



**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS – CAV**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS – PPGCAMB**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**Urbanização, hidrologia e manejo sustentável de  
águas pluviais na bacia hidrográfica do rio Ponte  
Grande-Lages-SC**

NICOLE MARTINS MACHADO PESSOA

**LAGES**  
**2022**

**NICOLE MARTINS MACHADO PESSOA**

**URBANIZAÇÃO, HIDROLOGIA E MANEJO SUSTENTÁVEL DE ÁGUAS  
PLUVIAIS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PONTE GRANDE – LAGES -  
SC**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós- Graduação em Ciências Ambientais do Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ciências Ambientais.

Orientador: Valter Antonio Becegato

Coorientador: Flávio José Simioni

**LAGES**

2022

**NICOLE MATINS MACHADO PESSOA**

**URBANIZAÇÃO, HIDROLOGIA E MANEJO SUSTENTÁVEL DE ÁGUAS  
PLUVIAIS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PONTE GRANDE - LAGES  
- SC**

Dissertação apresentada ao Programa de  
Pós- Graduação em Ciências Ambientais  
do Centro de Ciências Agroveterinárias  
da Universidade do Estado de Santa  
Catarina, como requisito parcial para a  
obtenção do grau de Mestre em Ciências  
Ambientais.

Orientador: Valter Antonio Becegato

**BANCA EXAMINADORA**

Orientador

---

Professor Dr. Valter Antonio Becegato

Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC

Membros:

---

Professor Dr. João Batista Pereira Cabral

Universidade Federal de Jatai-GO

---

Professor Dr. Leonardo Josoé Biffi

Universidade do Estado de Santa Catarina-UDESC

Lages, 12 de setembro de 2022.

A minha bisavó Georgina Martins por ter sido colo e afago na minha primeira infância, me ensinando a rezar, amar a natureza e a ter fé.

Aos meus avós adotivos João Maria Alfredo da Silva e Tereza Alencar da Silva, por terem me deixado importantes memórias e me ensinarem que a família é a gente que escolhe.

A minha tia Elisabete Morais Brizola por ter sido um exemplo de mulher determinada, destemida e confiante.

A meus sobrinhos Isabelle, Lorenzo, Heitor e Henrique, que representam o futuro e é por eles que procuro fazer minha parte para tornar esse mundo melhor.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha “eu” do passado, por passar por todos os percalços e ter persistido, apesar de termos ter pensado em desistir muitas vezes, nos agarramos a um único objetivo, e hoje aqui estamos, ou melhor... estou.

Agradeço aos meus gatos Ummy, Heimerdinger (não escolhi esse nome) e Pantufa, que sempre estiveram ao meu redor, ou em cima do teclado, enquanto escrevia este trabalho.

Agradeço aos meus pais Janaina Martins Machado e Melquior Wilmar Pessoa por todos os incentivos e recursos despendidos para que eu chegasse até aqui. Agradeço ao meu irmão Nicolas Martins Machado Pessoa por todos os memes e brincadeiras, e por ter ido embora pra UDESC de Joinville me deixando a escrivadinha que usei para escrever esse trabalho. Agradeço a minha avó Maria Salete Martins, por ser sempre meu alicerce, por me enxergar e me tranquilizar.

Agradeço ao meu grupo “Trio de Seis”, composto por Isadora Schlichting, Emili Louise Diconcili Schutz, Cristiane Gracieli Koth, Letícia Margarete de Moliner e Jéssica Terezinha Vitche da Soler, por todo apoio, risadas, ajudas e por sempre partilharem as experiências, tornando a jornada mais leve. Agradeço a Jordana dos Anjos Xavier pelos desabafos, auxílios e pela tranquilidade passada. Agradeço a Dayane Macedo Medeiros pelo incentivo desde o início e por ser um exemplo de mulher batalhadora e persistente.

Agradeço a Vanessa Jutel dos Santos por toda ajuda, mas sobretudo pela amizade genuína.

Agradeço ao meu orientador Valter Antonio Becegato por toda paciência, recursos e incentivos. Agradeço à minha coorientadora Adriana Berlanda pela persistência no meu trabalho e por ter dedicado a mim muito do seu tempo escasso.

Agradeço a meu namorado Ricardo Duarte, por nunca ter deixado com que duvidasse de mim mesma, por sempre me incentivar, acolher e compreender.

A minha chefe Simone Ramos Andrade e seu esposo Ubyratan Andrade pela compreensão, auxílio e humanidade exercida frente às minhas questões familiares, de saúde e de estudo.

Agradeço aos meus primos Marcos de Liz Pessoa e Makhelly de Liz Pessoa por sempre se preocuparem comigo, me incentivando e me tratando como irmã.

A meu psicólogo Guilherme Vinicius Valdrigues Santos, que não me permitiu esquecer que estou dando meu melhor com aquilo que tenho.

Por fim, agradeço ao Universo (ou Deus, como queiram), que em sua unidade me conduziu nos melhores caminhos, me apresentou as melhores pessoas e me mostrou os maiores milagres, não me deixando duvidar de sua grandeza e extraordinariedade.

“Caso não sejam realizadas mudanças substanciais na forma de gerenciar o espaço das cidades o prejuízo para população e para o ambiente podem se tornar irreversíveis. Esta herança será transferida para as próximas gerações e seremos lembrados principalmente pela nossa irresponsabilidade em não conter este tipo de desenvolvimento.”

Carlos E. M. Tucci.

## RESUMO

A urbanização se estabeleceu de forma acelerada e sem fiscalização, provocando deficiências na implantação das infraestruturas urbanas, assim muitas populações se instalam em áreas irregulares, suscetíveis a desastres hidrológicos. Juntamente a isso, a impermeabilização das superfícies acontece de forma intensa, provocando grandes volumes de escoamento superficial, agravando consideravelmente os eventos de inundações e alagamentos. Tradicionalmente, o conceito de drenagem pluvial é aplicado para captar o escoamento superficial e encaminhá-lo rapidamente aos corpos hídricos. No entanto, esta prática está muito associada a intensificação dos desastres hidrológicos. Nesse cenário, o presente estudo buscou trazer um diagnóstico a partir do uso e ocupação da terra bem como das características morfométricas, na porção inicial da bacia hidrográfica do rio Ponte Grande, comparando as normativas existentes sobre áreas de preservação, além da modelagem de cenários. A área de estudo, em características naturais, produz grandes volumes de escoamento superficial em virtude da baixa permeabilidade do solo. O território continua se consolidando de forma a ocupar áreas de risco de alagamentos. Para testar a eficiência da reorganização da paisagem e do manejo sustentável de águas pluviais organizou-se a modelagem de 3 cenários, onde o Cenário I representou a situação atual, o Cenário II a área com reestruturação das APPs dos corpos hídricos e nascentes e implantação de bacia de infiltração e o Cenário III também com reestruturação das APPs mas com uso de bacia de retenção. A simulação mostrou que as bacias de infiltração elevaram as vazões de pico em 2,15%, não sendo este um resultado satisfatório, enquanto as bacias de retenção amortizaram as vazões de pico em 28,38%.

**Palavras-chave:** Escoamento Superficial. SWMM. Manejo sustentável de águas pluviais. LID



## ABSTRACT

Urbanization was established in an accelerated way and without supervision, causing deficiencies in the implementation of urban infrastructure, so many populations settle in irregular areas, susceptible to hydrological disasters. In addition to this, the waterproofing of surfaces happens intensively, causing large volumes of surface runoff, considerably aggravating the events of flooding and inundation. Traditionally, the concept of rainwater drainage is applied to capture surface runoff and quickly route it to water bodies. However, this practice is closely associated with the intensification of hydrological disasters. In this scenario, the present study sought to bring a diagnosis from the use and occupation of the land as well as the morphometric characteristics, in the initial portion of the Ponte Grande watershed, comparing the existing regulations on preservation areas, in addition to the modeling of scenarios. The study area, in natural characteristics, produces large volumes of surface runoff due to the low permeability of the soil. The territory continues to consolidate in order to occupy areas at risk of flooding. To test the efficiency of landscape reorganization and sustainable rainwater management, 3 scenarios were modeled, where Scenario I represented the current situation, Scenario II the area with restructuring of APPs of water bodies and springs and implementation of infiltration basin and Scenario III also with restructuring of APPs but with the use of detention basin. The simulation showed that the infiltration basins increased the peak flows by 2.15%, which is not a satisfactory result, while the detention basins amortized the peak flows by 28.38%.

**Keywords:** Urbanization. Runoff. SWMM. Sustainable management of rainwater. LID

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Rio Ponte Grande com início de extravasamento de água sobre a pista durante evento de precipitação. ....	17
Figura 2 - Mapa de localização da área em estudo. ....	20
Figura 3 - Tipologia dos solos no município de Lages e na área de estudo. ....	23
Figura 4 - Cortes no terreno na região de estudo, apresentando características de Cambissolo. ....	24
Figura 5 - Mapa de declividades da porção inicial da Bacia Hidrográfica do rio Ponte Grande-Lages-SC. ....	25
Figura 6 - Principais confluências no canal principal. ....	29
Figura 7 - Pontes sobre o rio Ponte Grande. ....	29
Figura 8 - Estruturas públicas instaladas nas marginais dos corpos hídricos. ....	30
Figura 9 - Uso e ocupação em Áreas de Preservação Permanente. ....	31
Figura 10 - Localização condomínio Ponte Grande. ....	34
Figura 11 - Loteamento e empreendimentos na área de estudo. ....	35
Figura 12 - Linha férrea como restrição à drenagem natural. ....	36
Figura 13 - Divisão das sub-bacias na área em estudo. ....	41
Figura 14 - Cenário II e III - Alocação dos dispositivos de amortização. ....	43
Figura 15 - Fluxograma das etapas para modelagem. ....	44
Figura 21 - Dados de entrada para as sub-bacias. ....	46
Figura 17 - Chuva total diária do período de 17/05/2017 a 07/06/2017. ....	46
Figura 18 - Bacia de infiltração ....	48
Figura 19 – Configuração da bacia de detenção. ....	51
Figura 20 - Resultado da simulação no Cenário I. ....	52
Figura 21 - Resultado da simulação no Cenário II. ....	53
Figura 22 - Resultado da simulação no Cenário III. ....	53
Figura 23 - Comparação da vazão de pico dos cenários. ....	54
Figura 24 - Exemplo de execução de reservatório de detenção. ....	56

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Materiais para elaboração do mapeamento. ....	21
Tabela 2 - Classes de uso do solo. ....	22
Tabela 3 - Subgrupos dos Cambissolos húmicos distróficos. ....	23
Tabela 4 – Classes de declive. ....	25
Tabela 5 - Dados de entrada para cálculo dos parâmetros morfométricos. ....	26
Tabela 6 - Parâmetros Morfométricos. ....	27
Tabela 7 - Resultados dos parâmetros morfométricos. ....	28
Tabela 8 - Usos do solo em porcentagem relativa à área da bacia hidrográfica. ....	30
Tabela 9 - Valores de CN médios obtidos para cada sub-bacia. ....	45
Tabela 10 - Áreas impermeáveis e permeáveis. ....	47
Tabela 11 - Condutos. ....	47
Tabela 12 - Camada de solo. ....	49
Tabela 13 - Pré-dimensionamento de camada de armazenamento. ....	49
Tabela 14 - Parâmetros das Equações IDF. ....	50
Tabela 15 - Pré-dimensionamento. ....	50
Tabela 16 - Relação densidade de fluxo. ....	51
Tabela 17 - Resultado do relatório de estado da simulação. ....	52

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

### Capítulo 1 – Investigação da urbanização na bacia hidrográfica do rio Ponte Grande

IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
SNIS	Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento
SUS	Sistema Único de Saúde
COBRADE	Classificação e Codificação Brasileira de Desastres
LAIA	Laboratório de Avaliação de Impacto Ambiental
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
CF	Código Florestal
ESMEV	Escola Superior de Medicina Veterinária
CAV	Centro de Ciências Agroveterinárias
APP	Área de Preservação Permanente
PDDT	Plano Diretor de Desenvolvimento Territorial

### Capítulo 2 – Simulação de dispositivos de LID para a gestão sustentável de águas pluviais na bacia hidrográfica do Rio Ponte Grande

SWMM	<i>Storm Water Management Model</i>
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i>
SCS	<i>Soil Conservation Service</i>
CN	<i>Curve Number</i>

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	<b>13</b>
1.1 OBJETIVOS.....	14
1.1.1 Objetivo geral .....	14
1.1.2 Objetivos específicos.....	14
1.2 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO .....	14
<b>CAPÍTULO 1 - INVESTIGAÇÃO DA URBANIZAÇÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PONTE GRANDE – LAGES - SC .....</b>	<b>16</b>
1.1 INTRODUÇÃO.....	16
1.2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	20
1.2.1 Caracterização da área e delimitação da bacia hidrográfica.....	20
1.2.2 Uso e ocupação.....	21
1.2.3 Caracterização do solo.....	22
1.2.4 Parâmetros morfométricos.....	26
1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	29
1.4 CONCLUSÃO.....	37
<b>CAPÍTULO 2- SIMULAÇÃO DE MEDIDAS MITIGATÓRIAS PARA A GESTÃO SUSTENTÁVEL DE ÁGUA PLUVIAIS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PONTE GRANDE – LAGES - SC.....</b>	<b>39</b>
1.1 INTRODUÇÃO.....	39
1.2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	40
1.2.1 Área de estudo .....	40
1.2.2 Cenários .....	41
1.2.3 Storm Water Management Model (SWMM).....	44
1.2.4 Dimensionamento dos dispositivos de amortização .....	48
1.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	52
1.4 CONCLUSÃO.....	57
<b>3 CONCLUSÃO GERAL .....</b>	<b>58</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>59</b>
<b>APÊNDICE A – USO E OCUPAÇÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PONTE GRANDE NOS ANOS DE 1985, 1990, 2000, 2010 E 2020.....</b>	<b>70</b>

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

A urbanização no Brasil ocorreu em duas fases, sendo a primeira o momento em que a população urbana ultrapassa a população rural em quantidade e a segunda quando o indivíduo busca espaço dentro da parcela urbana, lutando para garantir acesso aos serviços, bens e oportunidades (ZAZYKI; MARIN; MOURA, 2020). Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) a população urbana brasileira, nos resultados do último censo, correspondia a 84,4% e, 6% deste percentual residiam em moradias inadequadas (IBGE, 2010).

Zazyki, Marin e Moura (2020) esclarecem que o ingresso na sociedade urbana vai além da expressão demográfica, visto que apesar de estar inserido no contexto urbano, muitos habitantes recorrem ao fenômeno chamado como favelização. Neste contexto, as pessoas que não contam com recursos financeiros suficientes para acessar o mercado formal de moradia, estabelecem suas habitações em áreas impróprias, de risco ou não recomendadas, que não dispõem de infraestruturas básicas.

O esgotamento sanitário e o manejo de águas pluviais compreendem os piores índices quando em comparação ao abastecimento de água, limpeza urbana e coleta de resíduos sólidos. Conforme o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) apenas metade da população brasileira possui coleta de esgoto e desta quantia uma pequena parcela passa por tratamento (SNIS, 2018). Então, na ausência de sistema de coleta de esgoto, estes efluentes são comumente direcionados às canalizações pluviais e posteriormente liberados nos corpos hídricos sem qualquer tratamento.

A problemática relacionada ao passivo socioambiental oriunda da ocupação irregular denotam efeito-cascata, visto que o Sistema Único de Saúde (SUS) é sobrecarregado em virtude das doenças propagadas pelo lançamento de esgoto em locais inapropriados e pela ampliação desses efeitos quando em situação de eventos hidrológicos críticos (CRUZ, 2018). Assim, a urbanização se estabelece com soluções que refletem técnicas tradicionais e higienistas, estando associadas ao aumento de vazões de pico e de escoamento superficial nas bacias hidrográficas (CARULLI *et al.*, 2021).

Neste viés, considerando a necessidade de se trabalhar no planejamento e estruturação da zona urbana, o presente estudo visa, em seu Capítulo I, o mapeamento e a investigação da parcela superior da bacia hidrográfica do rio Ponte Grande – Lages - SC a fim de identificar suas características e, no Capítulo II, verificar, com o auxílio de modelagem computacional, a aplicação dos conceitos de hidrologia urbana, com

alternativas para a ocupação sustentável dos territórios com o intuito de promover a melhor coexistência com a hidrografia natural e melhores condições de sanidade para os habitantes.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo geral

Analisar as características de ocupação da área de estudo utilizando dos princípios da hidrologia urbana e do desenvolvimento sustentável e verificar seus impactos para o ambiente e para a população. Definir possíveis ações mitigatórias através de modelagem computacional e investigar a influência das diferentes coberturas de superfície no escoamento superficial.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- a) Analisar o comportamento da bacia hidrográfica através do mapeamento e da determinação de seus parâmetros morfométricos;
- b) Verificar como ocorreu a consolidação da ocupação no território e quais as regulamentações vigentes acerca;
- c) Identificar dispositivos de amortização que melhor se adaptem às características de bacia hidrográfica e
- d) Avaliar o escoamento superficial resultante em simulação no *software* SWMM.

## 1.2 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A presente pesquisa foi estruturada em dois capítulos, além desta introdução e conclusão geral, onde cada capítulo corresponde a dois objetivos específicos.

O capítulo um apresenta o artigo intitulado “Investigação da urbanização na porção inicial da bacia hidrográfica do rio Ponte Grande”, que realiza análise acerca da consolidação da urbanização na área de estudo, cálculo dos parâmetros morfométricos a fim de compreender os processos hidrológicos, mensuração das Áreas de Preservação Permanente (APP) e comparação da realidade instaurada com as legislações pertinentes.

O capítulo dois compreende o artigo intitulado “Simulação de dispositivos de LID para a gestão sustentável de águas pluviais na bacia hidrográfica do Rio Ponte Grande” e objetiva verificar a geração de escoamento superficial, através de modelagem em *software*, comparando a configuração atual da urbanização à estruturação de dois cenários

idealizados que contam com medidas compensatórias para manejo sustentável das águas pluviais.



## **CAPÍTULO 1 - INVESTIGAÇÃO DA URBANIZAÇÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PONTE GRANDE – LAGES - SC**

### **1.1 INTRODUÇÃO**

A expansão das áreas urbanas traz intensa alteração do uso e cobertura da terra, tais modificações, quando não planejadas adequadamente corroboram com problemas associados ao saneamento básico (VAN WELIE *et al.*, 2018). Em virtude das constantes alterações da cobertura natural das superfícies, há um aumento no volume e na velocidade do escoamento superficial dentro das bacias hidrográficas, ocasionando redução do tempo de concentração e aumento das vazões de pico (GIGLIO & KOBİYAMA, 2013; LORENZON *et al.*, 2015; PEREIRA, *et al.*, 2016).

Em áreas urbanizadas é frequente a presença de pavimentações. Essas superfícies artificiais contribuem com a alteração do ciclo hidrológico, pois favorecem o aquecimento e intensificam a ascensão vertical do vapor d'água, gerando condições propícias para a ocorrência de enxurradas, oriundas de chuvas com grande intensidade em curtos períodos, podendo causar situações críticas nos sistemas de drenagem (WYÊGA *et al.*, 2018; DEFESA CIVIL, 2019).

A intensidade e frequência das chuvas também é influenciada pela urbanização. As precipitações, podem ser entendidas como todas as formas de umidade que se direcionam ao solo, de acordo com Giglio & Kobiyama (2013) se caracterizam em três tipos: as convectivas, frontais e orográficas. A precipitação convectiva gera grandes volumes em pouco tempo, ocasionada pelo fluxo vertical de ar provocado pelas massas de ar quente que se formam junto ao solo (WYÊGA *et al.*, 2018), a precipitação frontal é caracterizada pelo encontro de duas massas de ar, uma fria e seca e outra quente e úmida e a precipitação orográfica se forma quando uma nuvem encontra um obstáculo no caminho, como montanhas por exemplo, causando nebulosidades e chuvas torrenciais nas encostas dos morros (BONNET *et al.*, 2018; TAVARES & FERREIRA, 2020).

Por consequência desastres naturais de origem hidrológica acontecem. A Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE) detalha e separa estes desastres em três categorias. A primeira, definida como inundação, acontece quando há submersão de áreas fora dos limites normais de um curso de água em zonas que normalmente não se encontram submersas. Nesse caso a submersão ocorre de forma gradual e é causado por chuvas prolongadas em áreas de planície. A segunda classe é chamada enxurrada e define o escoamento superficial de alta velocidade e energia provocado por chuvas intensas e concentradas em bacias de pequeno porte e relevo

acidentado. A terceira classe denominada alagamento detalha que este evento acontece quando há a extrapolação da capacidade de escoamento dos sistemas de drenagem urbana, gerando acúmulo de água nas vias públicas e em outras infraestruturas urbanas, e este decorre de precipitações intensas (DEFESA CIVIL, 2019).

A zona urbana da cidade de Lages/SC enfrenta desafios nos períodos chuvosos, considerando os últimos 25 anos, episódios de inundações expressivas foram registrados nos anos de 1997, 2005, 2008, 2011, 2013, 2014 e 2017 e houveram ainda eventos de menores magnitudes nos intervalos destes períodos (LAGES, 2017; MAKRAKIS, 2017; NETO *et al*, 2015; BARÃO, 2022; MORAES, 2022).

No início do mês de maio do ano de 2022, ocorreram altas pluviosidades, no total 121,8mm em 24 horas, ocasionando extravasamentos ao longo do canal principal e casos mais graves de água sobre a pista (LAGES, 2022). A Figura 1 mostra, à esquerda, o rio Ponte Grande, onde é possível perceber o início do evento.

Figura 1 - Rio Ponte Grande com início de extravasamento de água sobre a pista durante evento de precipitação.



Fonte: Autora (2022).

A ocupação sustentável e segura deve ser empregada a fim de evitar e remediar danos causados pelo crescimento desordenado e começa adotando-se a bacia hidrográfica como unidade territorial de planejamento. O estudo hidrológico torna possível a detecção de áreas de risco e o planejamento do desenvolvimento do território, de acordo com as limitações e características naturais, além disso, o correto planejamento garante o manejo adequado de resíduos sólidos e sanitários, pois considera o crescimento populacional (MIRANDA & FARIAS, 2021). O instrumento de planejamento utilizado para gestão,

que implementa políticas voltadas ao desenvolvimento sustentável é o Plano Diretor, este norteia o desenvolvimento territorial em variadas escalas e deve estar associado ao Plano Diretor de Recursos Hídricos (AGUIAR *et al.*, 2022).

O Plano Diretor de Desenvolvimento Territorial (PDDT) de Lages, de 22 de agosto de 2018, definido como o instrumento estratégico e global da política de desenvolvimento urbano e territorial, apresenta sucintas disposições que expressam a preocupação e interesse para com os recursos hídricos e saneamento básico. Nele é proposto a melhoria da qualidade de vida da população, inclusão social de forma a reduzir as desigualdades e democratização do acesso à moradia digna (LAGES, 2018). A cidade não possui Plano Diretor de Recursos Hídricos, mas em seu Capítulo XIV o PDDT expõe sobre o Programa de Gerenciamento das Bacias Hidrográficas e dos Potenciais Hídricos, onde são previstas medidas para a preservação dos potenciais naturais do município. Mais especificamente, no inciso X do art. 74, a lei prevê que sejam identificados, reconhecidos e mapeados os recursos hídricos, avaliando sua situação ambiental. É identificado maior interesse nos corpos hídricos que se localizam em áreas urbanas com o intuito de promover restauração ambiental (LAGES, 2018).

No que se refere a ocupação de áreas ribeirinhas, existe a preocupação com a preservação desde o Decreto Federal nº 23.793 de 23 de janeiro de 1934 que as considerava área de “floresta protetora” atribuindo a função de conservar o regime das águas, evitar erosão e assegurar condições salubres, sendo permitida a sua exploração somente em caso de grande vantagem, como por motivo de interesse científico, e somente com autorização concedida pelo governo à repartição solicitante (BRASIL, 1934). A Lei nº 12.651 de 25 de maio de 2012, o Código Florestal Brasileiro, evoluiu a floresta protetora, chamando-as de Áreas de Preservação Permanente (APP) e apresenta diretrizes para tal, igualmente válidas em zonas rurais ou urbanas. A exigência é de que exista vegetação nativa na faixa marginal de 30 metros para cursos d’água com menos de 10 metros de largura na calha de seu leito regular, caso em que se enquadra o rio Ponte Grande. Para nascentes, a APP deve se apresentar com 50 metros de raio independentemente da situação topográfica. (BRASIL, 2012).

A Lei nº 14.285, de 29 de dezembro de 2021 altera a Lei n. 12.651/2012 nas definições de área urbana consolidada e define que deve atender critérios como estar dentro do perímetro urbano, dispor de sistema viário, ser organizada em quadras e lotes edificáveis, apresentar uso predominantemente urbano e dispor de ao menos dois equipamentos de infraestrutura urbana (drenagem pluvial, esgotamento sanitário,

abastecimento de água potável, distribuição de energia elétrica, limpeza urbana) (BRASIL, 2021).

Além disso, a Lei nº 14.285/2021 define que os limites das áreas de preservação permanente de marginais de qualquer curso d'água natural das áreas urbanas serão determinados pelos planos diretores municipais e pelas leis de uso do solo (BRASIL, 2021).

No entanto, a referida lei, juntamente com a Resolução do Conselho Estadual do Meio Ambiente de Santa Catarina n. 196 de 3 de junho de 2022, reforça que as áreas consolidadas podem sim definir faixas marginais distintas daquelas estabelecidas pela Lei n. 12.651/2012, desde que não estejam em área de risco de desastres e seja observado as diretrizes dos planos de recursos hídricos e de drenagem, quando existirem. Também deve-se garantir que as atividades ou empreendimentos a serem instalados na APP sejam de interesse social ou de baixo impacto (BRASIL, 2021; SANTA CATARINA, 2022).

Como a cidade de Lages não possui Plano de Recursos Hídricos e o Diagnóstico Socioambiental para a regulamentação da área urbana consolidada, este trabalho considerou as exigências presentes na Lei 12.651/2012 pois as áreas consolidadas nas APPs estão alocadas em área de risco.

Nesse sentido, as ações do Estado se dão também através da empresa de comercialização e distribuição de eletricidade de Santa Catarina, que a fim de arcar com a responsabilidade socioambiental e exercer sua atividade dentro da Legislação Federal, criou uma cartilha de critérios ambientais que devem ser observados para a aprovação de novas conexões a rede de distribuição de energia, barrando a alocação de edificações em áreas inapropriadas, como as APPs. A ligação nesses locais será realizada somente sob apresentação de alvará, habite-se ou autorização da prefeitura, que segue protocolo interno para deliberação da ordem de serviço (CELESC, 2016).

No entanto, a população em conjunto aos profissionais da engenharia e o poder público continuam empregando métodos tradicionais de urbanização na implantação dos novos loteamentos e residências e, ainda ocupa as áreas de APPs utilizando-se do termo “área consolidada”. Dessa forma, a zona urbana continua a se estabelecer desconsiderando estudos hidrológicos e ocupação sustentável e segura da bacia hidrográfica. Tal ação resulta em prejuízos, tanto para a infraestrutura quanto para a saúde pública, uma vez que a cidade não conta com total coleta dos efluentes sanitários gerados e estes se direcionam aos corpos hídricos sem tratamento. Na bacia hidrográfica em questão, é possível verificar os resultados obtidos por Oliveira (2015) e Lavnitk (2018)

comprovando que esta contaminação ocorre de modo acentuado. Como resultado as doenças de veiculação hídrica surgem prejudicando a população e sobrecarregando o sistema público de saúde (MASCIOPIENTO *et al.*, 2019).

Neste cenário, o presente estudo analisa a propensão a eventos de alagamentos através do cálculo da morfometria da bacia hidrográfica, confrontando-os com a realidade estabelecida na porção inicial da bacia hidrográfica do rio Ponte Grande. Também são relacionados os aspectos e consequentes impactos, para a população e meio ambiente, comparando a área consolidada com as legislações pertinentes.

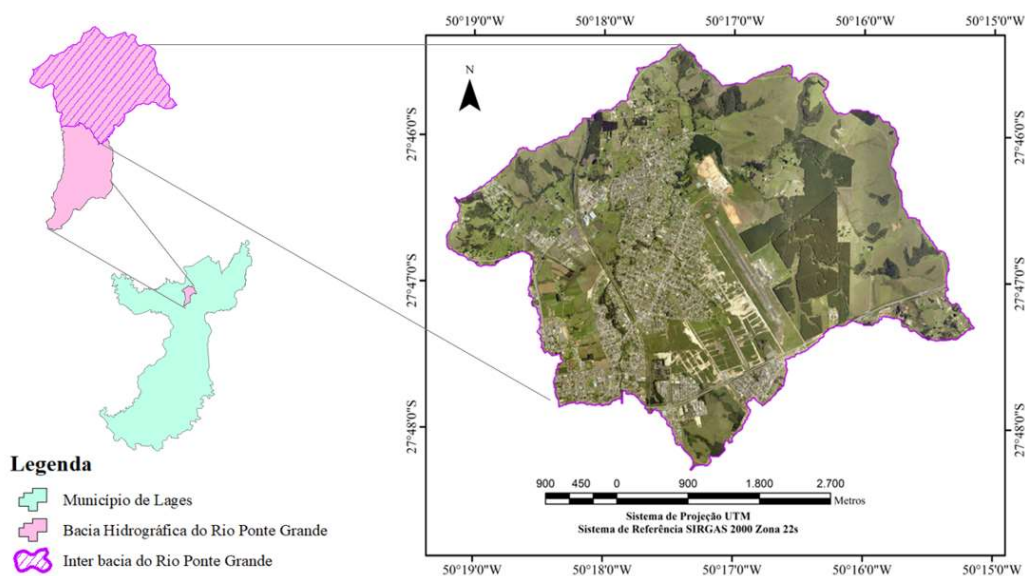
## 1.2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 1.2.1 Caracterização da área e delimitação da bacia hidrográfica

O estudo foi realizado na bacia hidrográfica do rio Ponte Grande, afluente da margem direita do rio Caveiras, com foco em sua porção inicial cuja área é de 18,88km<sup>2</sup> (Figura 2), compreendida nas coordenadas 27° 46' 31,1" S e 50° 17' 30,7" W, e representa aproximadamente 69% de toda a bacia hidrográfica.

Esta área foi escolhida por ser uma região em desenvolvimento e que apresenta características rurais e urbanas. O exutório foi localizado sob a BR-282, em razão das reformas realizadas na rodovia e implantação de vias marginais que levou à canalização do rio causando a divisão artificial do fluxo através da área da seção das aduelas utilizadas. Há ainda, cortando a bacia transversalmente, a via férrea que também impõe restrições aos fluxos naturais da rede hidrográfica.

Figura 2 - Mapa de localização da área em estudo.



Fonte: Autora (2022).

O pré-processamento da bacia hidrográfica foi desenvolvido utilizando-se de Modelo Digital de Terreno (MDT) e o mapa de uso e ocupação foi elaborado a partir de ortofotos com resoluções espaciais de 1 metro e pixel de 0,4 metros por pixel respectivamente, além de visitas ao local. Para análise do uso da terra através dos anos, foram utilizados mosaicos oriundos de sensoriamento remoto do projeto MapBiomias (MAPBIOMAS, 2020), que é um banco de dados nacional produzido por organizações não governamentais, universidades e *startups* de tecnologia que acompanham o desenvolvimento do território, tendo materiais a partir do ano de 1985. Além de fornecer mosaicos com resolução espacial máxima de 30 m, o projeto fornece relatórios que avaliam questões como desmatamento, áreas de mineração, irrigação, qualidade de pastagens e queimadas. A origem destes materiais está descrita na Tabela 1.

Tabela 1 - Materiais para elaboração do mapeamento.

<b>Material</b>	<b>Origem</b>
MDT	SIG SC (2012)
Imagens	SIG SC (2012); Google maps imagery – satellite and aerial (2021)
Mosaicos	MapBiomias (2022)

Fonte: Autora (2022).

### 1.2.2 Uso e ocupação

A análise da bacia hidrográfica do rio Ponte Grande foi desenvolvida dentro do Laboratório de Avaliação de Impacto Ambiental (LAIA – CAV/UDESC), desde o trabalho de Oliveira (2015), onde fora realizada sua caracterização, com o estudo temporal do uso e ocupação da terra e a determinação de parâmetros físico-químicos de qualidade de água. Dando sequência, Lavnitcki (2018) e Lemos *et al*, (2021) atualizaram estes estudos. Oliveira (2015) e Lemos *et al*, (2021) identificaram, para toda a área da bacia, 7 classes de uso e ocupação da terra, sendo elas: água, campo, floresta nativa, área urbana, silvicultura e solo exposto. A segunda autora acrescentou a classe solo exposto em seu trabalho devido às intensas modificações que a região vem sofrendo em função de plantios, supressão de vegetação, aterros e cortes do terreno para loteamentos e construções, além da abertura de estradas e acessos que a urbanização exige.

Santos *et al* (2020), a fim de promover um estudo que contemple o desenvolvimento da urbanização e a influência da ação antrópica nas áreas vegetadas,

definiram para a bacia em estudo 11 classes, estas detalham a área urbana com os principais tipos de pavimentação, cobertura dos terrenos e usos das edificações presentes. A classificação foi atualizada para o período referente ao primeiro semestre de 2021 conforme mostra a Tabela 2.

Tabela 2 - Classes de uso do solo.

OLIVEIRA (2015)	LEMOS <i>et al</i> , (2021)	SANTOS <i>et al</i> (2019)	AUTORA (2022)
Agricultura	Agricultura	Água	Agricultura
Água	Água	Comercial	Água
Área urbana	Área urbana	Pavimento asfáltico	Campo
Campo	Campo	Pavimento em concreto	Comercial
Mata nativa	Mata nativa	Pavimento intertravado	Pavimento asfáltico
Silvicultura	Silvicultura	Residencial multifamiliar	Pavimento em concreto
	Solo exposto	Residencial unifamiliar	Pavimento intertravado
		Sem pavimento	Residencial multifamiliar
		Terreno com vegetação densa	Residencial unifamiliar
		Terreno sem vegetação	Silvicultura
			Terra
			Terreno sem vegetação
			Vegetação nativa

Fonte: Autora (2021).

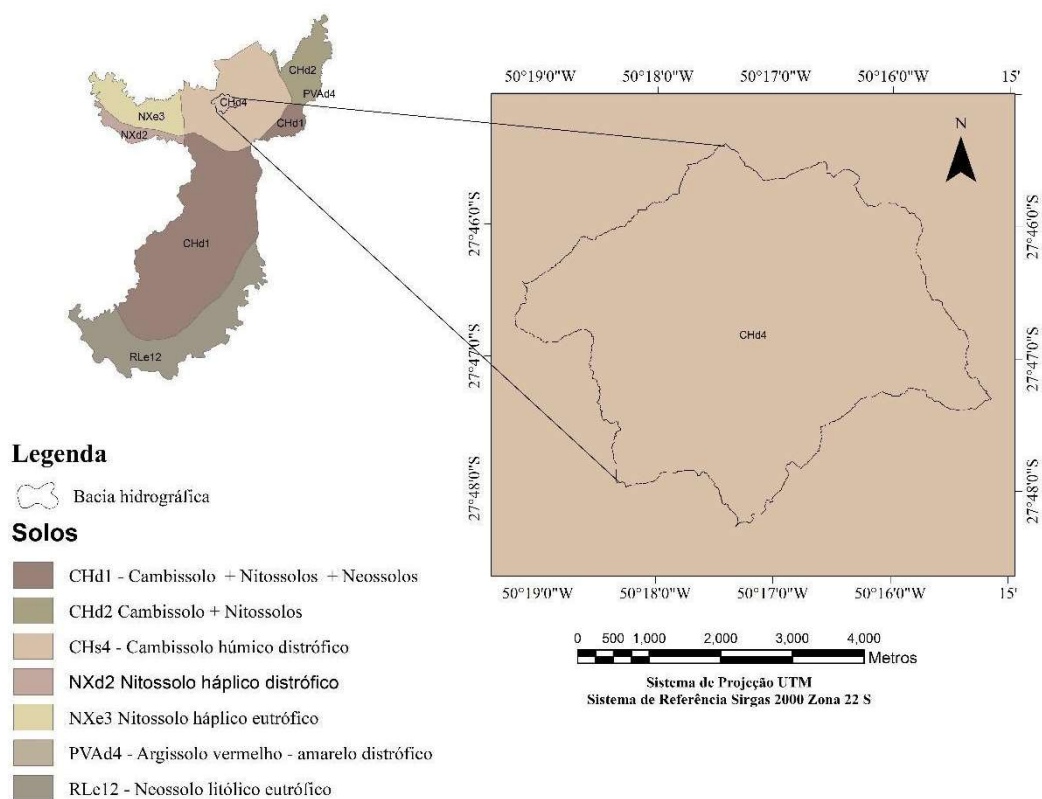
### 1.2.3 Caracterização do solo

De acordo com mapeamento realizado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), exposto na Figura 3, na área há predominância de Cambissolo Húmico Distrófico (EMBRAPA, 2008 e 2011). Zaroni & Santos (2020) descreveram que os Cambissolos Húmicos são caracterizados por um horizonte superficial húmico, de cor escura e rico em matéria orgânica. Os autores também ressaltam que são solos pouco desenvolvidos, pois apresentam características das rochas originárias, como evidência, tem-se a presença de minerais primários em sua composição. Esta classe de Cambissolo é associada a climas frios e de altitude, fornece baixa permeabilidade, baixa fertilidade e acidez considerável (SANTOS; ZARONI; ALMEIDA, 2020).

Em estudo realizado por Bertol *et al* (2001) localizado em terreno inscrito na bacia, o solo foi classificado como Cambissolo Húmico Alumínico Argiloso. Na classificação da EMBRAPA, os solos alumínicos possuem teores elevados de alumínio e

afetam de forma significativa o desenvolvimento de raízes, o que não gera aeração no solo, e dificulta a infiltração da água neste meio.

Figura 3 - Tipologia dos solos no município de Lages e na área de estudo.



Fonte: Autora (2022).

Segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos, Zaroni & Almeida, 2018) os Cambissolos húmicos distróficos podem se apresentar com as características descritas na Tabela 3. A coloração amarelada (Figura 4) é um indício de que o solo faz parte do subgrupo latossólico.

Tabela 3 - Subgrupos dos Cambissolos húmicos distróficos.

Quarto nível (subgrupos)	Características
lépticos	Restrição à drenagem devido a contato lítico na subsuperfície.
latossólicos	A presença de horizonte espódico dificulta a penetração de raízes e de água.
típicos	Não apresentam nenhuma característica restritiva no quarto nível de classificação.

Fonte: Adaptado de Santos, Zaroni & Almeida (2018).



Figura 4 - Cortes no terreno na região de estudo, apresentando características de Cambissolo.



Fonte: Autora (2021).

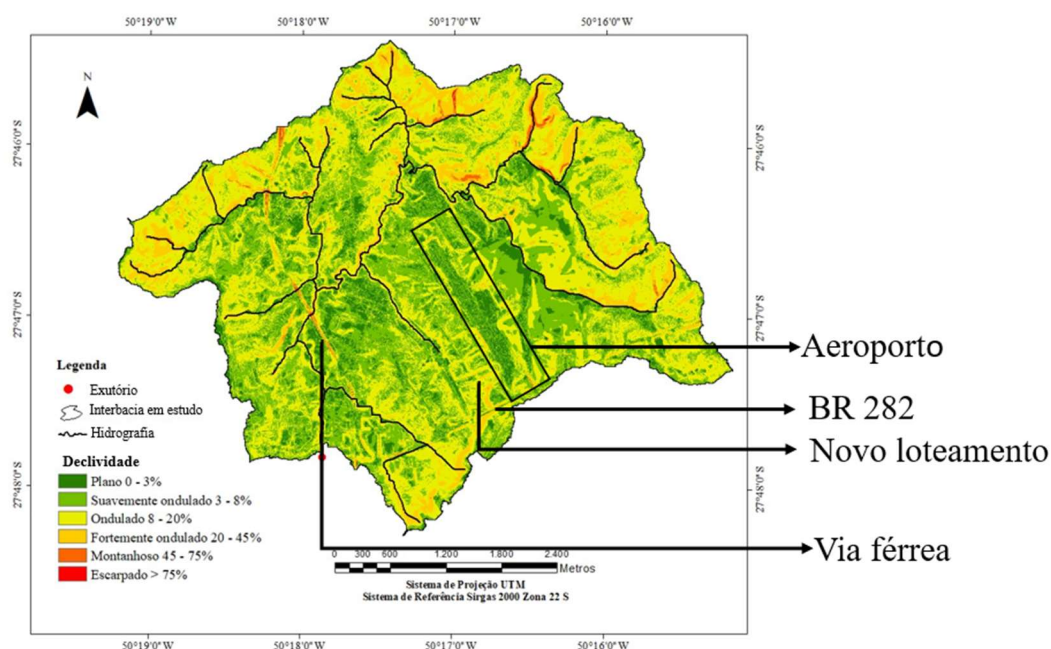
Além da classificação do tipo de solo, é importante para o estudo a determinação das classes de declive, já que estão diretamente relacionadas ao fluxo e velocidade da água na paisagem. Quanto maior for o trecho em declive, maior será a velocidade de escoamento, influenciando a qualidade da água e a infiltração dos volumes no solo. Esta caracterização também contribui na indicação e restrição de uso de áreas tidas como de risco (GARCIA *et al.*, 2020). A declividade conjuntamente à hidrografia, é relevante para o conhecimento dos padrões necessários à compreensão das condições estruturais da bacia hidrográfica.

A Tabela 4 detalha as áreas correspondentes a cada classe de relevo e o mapa temático da Figura 5 apresenta a hidrografia e as declividades da área, ambos elaborados utilizando as classes recomendadas pela EMBRAPA (1979).

Tabela 4 – Classes de declive.

Declividade (%)	Discriminação	Área (km <sup>2</sup> )	(%)
0-3	Relevo plano	1,91	10,02
3-8	Relevo suavemente ondulado	6,61	34,61
8-20	Relevo ondulado	8,71	45,65
20-45	Relevo fortemente ondulado	1,72	9,00
45-75	Relevo montanhoso	0,12	0,64
>75	Relevo fortemente montanhoso	0,01	0,07
<b>Total</b>		<b>19,08</b>	<b>100</b>

Figura 5 - Mapa de declividades da porção inicial da Bacia Hidrográfica do rio Ponte Grande-Lages-SC.



Fonte: Adaptado EMBRAPA (1979).

É possível distinguir a posição da via férrea à esquerda, esta apresenta grande declividade quando comparada ao seu entorno, ocasionando interferências na paisagem natural. A linha férrea altera o fluxo das águas, pois em sua extensão cruza a hidrografia 5 vezes. Observa-se também os divisores de água da bacia, ao norte, em que o relevo predominante é o ondulado. As nascentes se localizam também ao norte, nas áreas mais declivosas. O terreno do aeroporto e o arruamento realizado no novo loteamento, são facilmente perceptíveis, uma vez que são áreas artificialmente modificadas, pois são regiões que apresentam formato definido, e que diferem da forma com que o relevo se organiza no restante da bacia.

### 1.2.4 Parâmetros morfométricos

Podendo ser entendido como um conjunto de procedimentos metodológicos, os parâmetros morfométricos tem o objetivo de orientar, investigar e compreender cientificamente os componentes naturais de uma bacia hidrográfica. O estudo da morfometria iniciou em 1945 com Horton, através das leis do desenvolvimento dos rios e suas bacias, tendo essa perspectiva se ampliado com os estudos de autores como Freitas em 1952, Schumm em 1956, Strahler e Melton em 1957, Silveira em 2005 e Collischon e Dornelles em 2013 (ALVES *et al*, 2020; SANTOS *et al*, 2020). Desde então a análise morfométrica determina potenciais e limitações do uso e ocupação da terra, sendo ferramenta de auxílio e planejamento das atividades a serem desenvolvidas na área, uma vez que facilita o entendimento do regime hidrológico e permite a previsão das suscetibilidades e fragilidades daqueles ambientes (EL-FAKHARANY & MANSOUR, 2021).

Para tal, é necessário que se tome conhecimento de algumas características físicas (Tabela 5), estas foram obtidas após a delimitação e obtenção da hidrografia, curvas de nível e declividades.

A coleta de dados foi realizada no *software* ArcGis e processada em planilha eletrônica para geração dos índices morfométricos calculados pelas Equações descritas na Tabela 6.

Tabela 5 - Dados de entrada para cálculo dos parâmetros morfométricos.

Parâmetro	Origem
Área total (A)	Processamento do MDT no <i>Software</i> ArcGis
Perímetro (P)	
Comprimento axial da bacia (Lb)	
Altitude máxima (Hmáx)	
Altitude média (Hméd)	
Altitude mínima (Hmín)	
Declividade média	
Comprimento total dos canais (Lt)	
Comprimento total do canal principal (L)	
Comprimento vetorial do canal principal (Lv)	
Hierarquia fluvial	

Fonte: adaptado de Santos *et al* (2020).

Tabela 6 - Parâmetros Morfométricos.

Parâmetro	Fórmula	Parâmetro	Fórmula
Coefficiente de compacidade (Kc)	$K_c = 0,28 \times \frac{P}{\sqrt{A}}$ Equação 1	Relação de relevo (Rr)	$R_r = \frac{H_b}{L}$ Equação 5
Índice de circularidade (Ic)	$I_c = 4\pi \times \frac{A}{P^2}$ Equação 2	Amplitude altimétrica do rio principal (Hr)	$H_r = H_{r\max} - H_{r\min}$ Equação 6
Amplitude altimétrica da bacia hidrográfica (Hb)	$H_b = H_{\max} - H_{\min}$ Equação 3	Declividade do canal principal (Ip)	$I_p = \frac{H_r}{L}$ Equação 7
Índice de rugosidade (Ir)	$I_r = H_b \times D_d$ Equação 4	Índice de sinuosidade (Is)	$I_s = \frac{L}{L_v}$ Equação 8

Fonte: Adaptado Santos *et al* (2020).

O coeficiente de compacidade (Kc) faz a relação entre o perímetro da bacia e o perímetro de um círculo de mesma área, quanto mais próximo de 1 for o coeficiente de compacidade mais rápido é o escoamento (BATISTA *et al*, 2018). Segundo Fiorese (2021), o índice de circularidade (Ic) caracteriza as bacias hidrográficas conforme seu formato alongado ou arredondado. De acordo com o mesmo autor, o índice de rugosidade indica a característica do relevo.

Conforme Alves *et al.* (2020), as amplitudes altimétricas da bacia hidrográfica (Hb) e do canal principal (Hr) expressam a diferença entre o ponto mais alto da bacia e a sua desembocadura. Melo *et al.* (2020), diz respeito a configuração do curso hídrico, quanto menos sinuoso for menor será a dificuldade que o corpo hídrico terá para alcançar a sua foz, sendo então um controlador da velocidade do curso d'água. A declividade do canal principal, assim como a relação relevo, também exerce influência sobre o tempo de escoamento da água ao longo da bacia hidrográfica, visto que quanto maior a declividade, maior a velocidade desse escoamento (ALVES *et al*, 2020; MELO *et al*, 2020).

Os parâmetros utilizam-se da inspeção de diferentes variáveis para a geração de seus resultados, podendo resultar em conclusões individuais divergentes entre si, por isso a morfometria precisa ser interpretada a partir da análise de todos os fatores, e nunca separadamente (AL-HURBAN *et al*, 2021). Após extração dos dados e processamento destes, obteve-se os resultados descritos na Tabela 7.

Tabela 7 - Resultados dos parâmetros morfométricos.

	PARÂMETRO	VALOR	UNIDADE
Características geométricas	Área	19,08	Km <sup>2</sup>
	Perímetro	31,33	km
	Comprimento axial da bacia	4,36	km
	Coefficiente de compacidade	2,01	Adimensional
	índice de circularidade	0,24	Adimensional
Características do relevo	Densidade hidrográfica	2,04	Canais.km <sup>-2</sup>
	Altitude mínima Hmin	879,00	m
	Altitude média Hmed	920,00	m
	Altitude máxima Hmax	1004,00	m
	Amplitude altimétrica da bacia	125,00	m
	Amplitude altimétrica do rio principal	81,00	m
	Declividade média	5,75	%
	Declividade do canal principal	0,01	m.m <sup>-1</sup>
	Índice de rugosidade	215,05	Adimensional
	Índice de sinuosidade	2,8	Adimensional
	Relação de relevo	0,01	Adimensional
	Comprimento total dos canais	32,83	km
Características da rede de drenagem	Comprimento total do canal principal	9,88	km
	Comprimento vetorial do canal principal	4,34	km
	Hierarquia fluvial	4 <sup>a</sup>	Ordem

Fonte: Autora (2022).

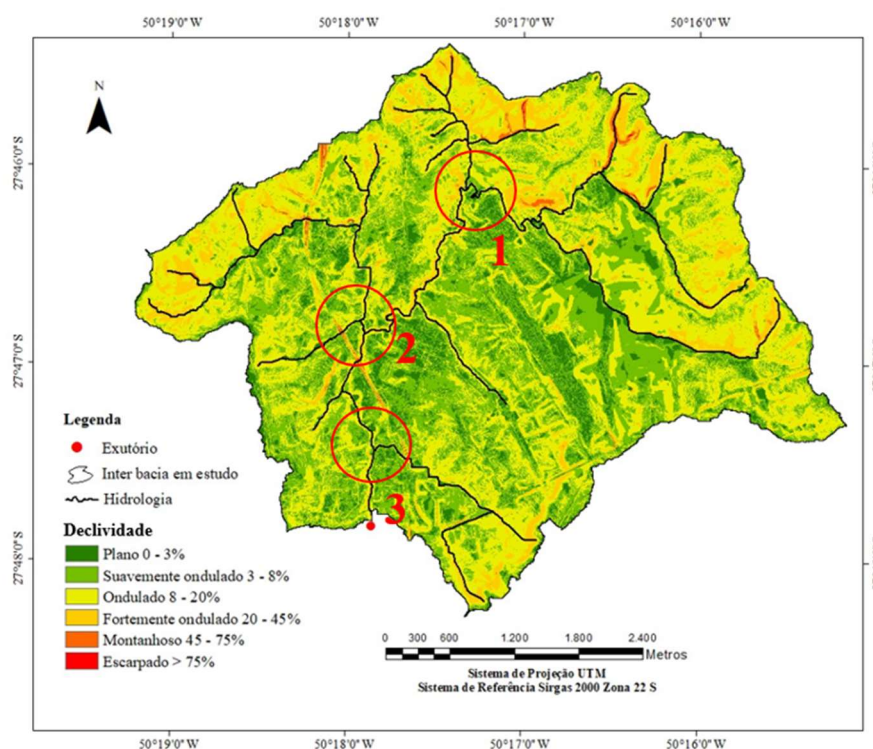
A bacia hidrográfica, por sua extensão, é considerada de médio porte. Com características de relevo moderada, comprovadas pelas amplitudes altimétricas e declividades. O índice de sinuosidade indica que os canais não são retilíneos e o coeficiente de rugosidade ratifica a baixa movimentação do relevo favorecendo o fluxo de baixa velocidade.

Em condições naturais de ocupação, isto é, considerando que não existam coberturas de solo artificiais, a análise não revela propensão a eventos de inundações em função dos valores encontrados no índice de circularidade e no coeficiente de compacidade, aliados às características de relevo encontradas. Ainda para este cenário, os parâmetros estimados expressam que os alagamentos registrados decorrem da baixa permeabilidade natural do solo.

As confluências na bacia (Figura 6) também revelam algumas características: na região identificada como 1, tem-se a primeira mudança de classe de relevo, indo de ondulado a suavemente ondulado, ou seja, o primeiro desnível significativo dentro da bacia - que leva a redução da velocidade de escoamento e acúmulo de águas na confluência; entre as regiões 1 a 2 permanece o relevo plano, mantendo baixa a velocidade

de escoamento no canal principal e, na região 3 há a última e maior confluência de canais, neste ponto o corpo hídrico apresenta maior volume por reunir todos os canais da bacia, então, naturalmente, há a tendência dos volumes não infiltrados direcionarem-se através da topografia e se acumularem no local. Esta situação se faz crítica na ocorrência de chuvas intensas e de curtos períodos, associadas à restrição de fluxo imposta pelas obras rodoviárias, pois resulta em sobrecarga e extravasamentos do corpo hídrico.

Figura 6 - Principais confluências no canal principal.



Fonte: Autora (2022).

### 1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A bacia hidrográfica apresenta situações problemáticas acerca de sua ocupação, sendo importante que se investigue como ela se constituiu. A área, anteriormente composta por fazendas, iniciou a implantação de residências e comércio local em meados das décadas de 1940 e 1950, com os bairros Conta Dinheiro e Guarujá (LAGES, 2019; ASSOCIAÇÃO RURAL DE LAGES, 2019). Segundo as mesmas fontes, atualmente possui 6 bairros em seus limites, sendo eles Conta Dinheiro, Jardim Celina, Tributo, Guarujá e Bates, estes ainda são considerados suburbanos por estarem distantes da área central da cidade. A implantação da área urbana se intensificou por volta dos anos 1970, período em que também foi instalado na área a Escola Superior de Medicina Veterinária

(ESMEV) que veio a se tornar Centro de Ciências Agroveterinárias (CAV) em 1983 (CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS, 2020).

O mapeamento de uso e ocupação da terra nos anos de 1985, 1990, 2000, 2010 e 2020 foi disponibilizado através de mosaicos pela MapBiomias, este foi processado e organizado para obtenção dos dados detalhados na Tabela 8 e ilustrados na figura disponível no APÊNDICE A.

Tabela 8 - Usos do solo em porcentagem relativa à área da bacia hidrográfica.

<b>Classes (%)</b>	<b>1985</b>	<b>1990</b>	<b>2000</b>	<b>2010</b>	<b>2020</b>
Campo	39,59	30,93	23,82	25,95	23,27
Área urbana	21,35	23,51	29,31	33,43	38,21
Mata nativa	34,51	32,61	38,76	28,41	25,97
Agricultura	3,01	12,03	5,10	2,38	1,58
Silvicultura	0,00	0,00	2,02	9,02	9,54
Solo exposto	1,47	0,89	0,99	0,75	1,38
Água	0,06	0,03	0,00	0,05	0,05
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Fonte: Adaptado de MapBiomias (2021)

As áreas de campo e de mata nativa diminuíram de 1985 para 1990, sendo perceptível essa mudança pelo aumento das áreas de agricultura e urbanas. Até os anos 2000, as áreas de campo continuaram reduzindo, dando lugar a área urbana e mata nativa, podendo o último ser regeneração das áreas de agricultura e campo que deixaram de ser utilizados para este fim. Neste período também a silvicultura começa a aparecer, mesmo que de forma discreta. Em 2010, as áreas de silvicultura aumentam juntamente com áreas de campo e área urbana, enquanto a agricultura e a mata nativa diminuem. Em 2020 o crescimento da área urbana persiste, tendo um aumento significativo, semelhante ao ocorrido em levantamento do ano 2000.

Ao analisar as mudanças no território é notável a supressão das áreas de mata nativa nos últimos 20 anos de análise. Além disso, áreas de mata ciliar não são respeitadas, sobretudo nas regiões mais baixas da bacia. A Figura 7 retrata locais próximos às pontes sobre o rio Ponte Grande. É possível observar tal consolidação da área urbana nas margens do corpo hídrico desrespeitando totalmente os 30 metros de Área de Preservação Permanente (APPs) exigidas pela Lei n. 12.651/2012.



Figura 7 - Pontes sobre o rio Ponte Grande.

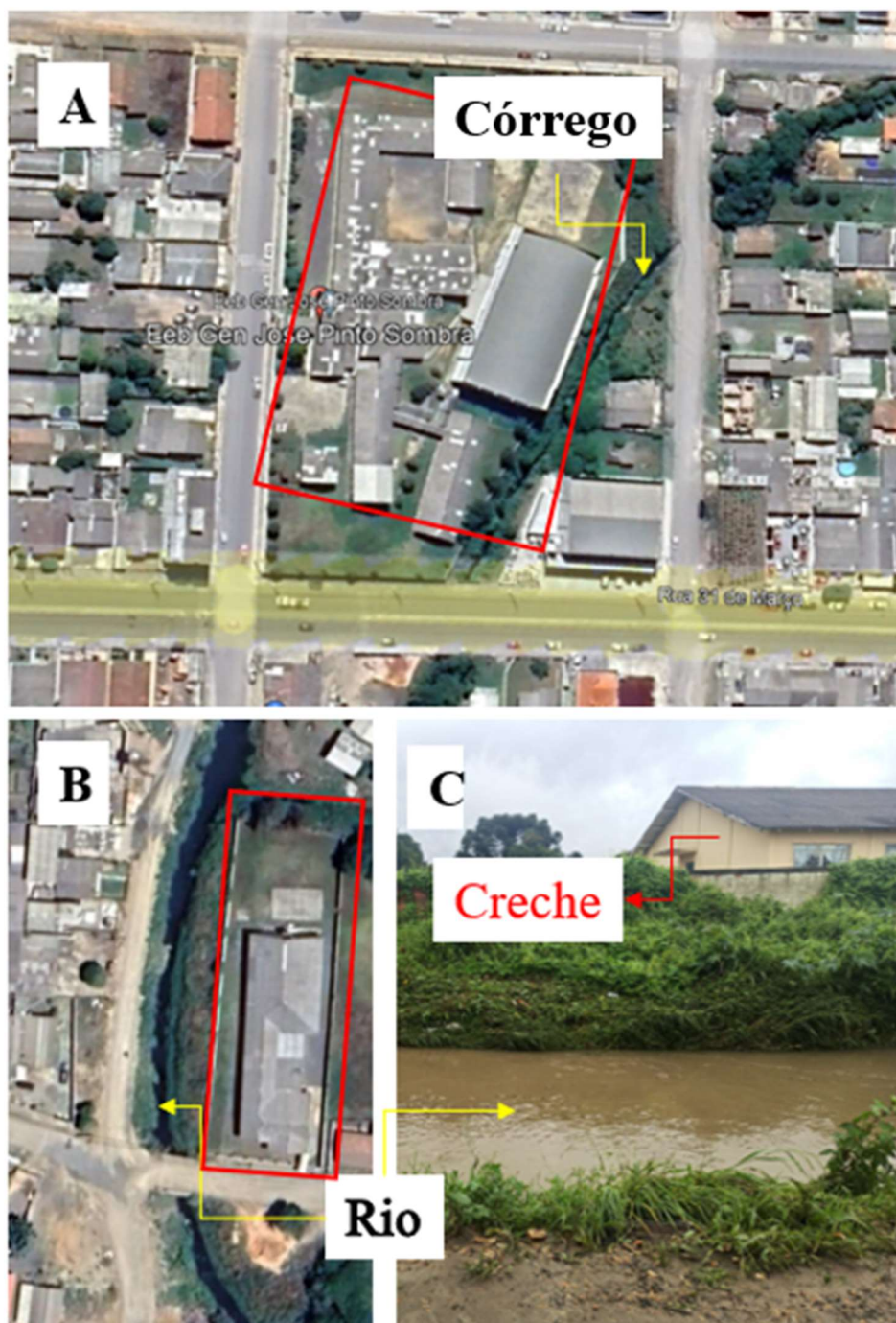


Fonte: Autora (2022).

Destaca-se ainda a presença de corpos d'água dentro do terreno de duas estruturas de atendimento à crianças e adolescentes: A Escola de Educação Básica Pinto Sombra (Figura 8A) e o Centro de Educação Infantil São Vicente (Figura 8B e Figura 8C), sendo esta última a ocupação mais preocupante, pois está instalada na marginal do rio Ponte Grande, próximo ao exutório da bacia e ao lado da confluência maior (região 3 da figura 6), onde costuma apresentar focos de inundação.



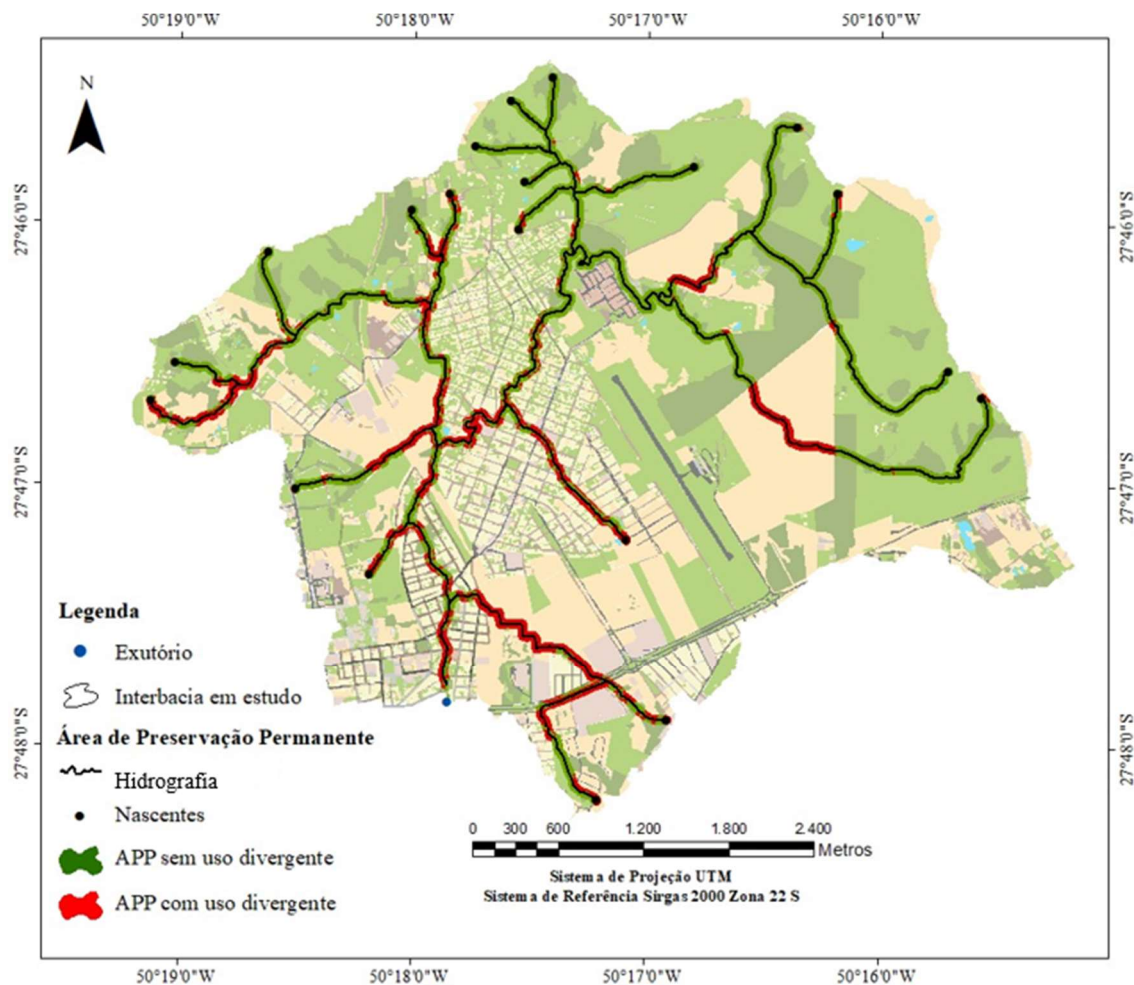
Figura 8 - Estruturas públicas instaladas nas marginais dos corpos hídricos.



Fonte: Adaptado Google Earth e Autora (2022).

A fim de avaliar o estado das Áreas de Preservação Permanente, foi realizado manualmente o mapa de uso e ocupação, com posterior extração de *buffer* para a delimitação das áreas de APPs (Figura 9).

Figura 9 - Uso e ocupação em Áreas de Preservação Permanente.



Fonte: Autora (2022).

Em região de nascentes, 27,25% da área destinada à vegetação nativa está ocupada com outras coberturas, já nas margens dos corpos hídricos 29,18% estão ocupadas com as demais classes. Apenas analisando para o curso principal 76,36% da APP está suprimida.

A urbanização se firma desrespeitando as Áreas de Preservação Permanente com o amparo do conceito de área de interesse social, presente na Lei n. 12.651/2012 e discorrido no artigo 280 do PDDT (LAGES, 2018), que esclarece que projetos e obras desenvolvidas em APP localizadas nas margens de cursos d'água ou em topos de morro são permitidas desde que estejam situados em área urbana consolidada e não tenham mais as características que lhe fizeram ser APP. No entanto, estas áreas devem ser destinadas à habitação popular.

Apesar desta permissão, desprezar a APP significa que o corpo hídrico não tem suas funções protegidas, pois, de acordo com Viegas *et al.*, (2018) estas são agentes

importantes para a perpetuação da biodiversidade e para o abastecimento hídrico, além de contribuírem com a qualidade do ar, regulação das médias térmicas e redução dos alagamentos em áreas urbanas. Ribeiro *et al.*, (2018) reforça sua importância afirmando que possuem papel importante na promoção do ecossistema equilibrado dada a sua atuação na proteção das marginais dos cursos hídricos, uma vez que impedem a ocorrência de assoreamento, reduzem a possibilidade de contaminações e ainda atuam como reguladores de vazão.

Povoar as proximidades dos corpos hídricos também traz malefícios à qualidade de vida da população, já que na ocorrência de inundações há prejuízos tanto na infraestrutura urbana quanto para a saúde pública, no entanto existem razões de ordem social e econômica para que a população estabeleça moradia nestas áreas de risco (SOUSA & GONÇALVES, 2018). A pesquisa realizada por Fragoso e Silva (2020) mostrou que quanto mais próximo da linha da pobreza, menor o nível de instrução da população, expondo-os a situações de vulnerabilidade social. Segundo os autores, uma vez que estes não possuem níveis de instrução adequados, a exposição a situações de vulnerabilidade ambiental aumenta, dificultando tomadas de decisão individuais de melhoria e segurança de moradia devido à precariedade das condições socioeconômicas.

Segundo os dados reunidos por Lemos *et al.*, (2021) a renda per capita mensal da população residente na bacia hidrográfica do rio Ponte Grande varia de  $\frac{1}{4}$  a 2 salários-mínimos, configurando situação de vulnerabilidade social e ambiental. A vulnerabilidade ocorre como risco social quando há precariedade em serviços coletivos e de investimentos públicos que visam evitar desproteção social das comunidades carentes, podendo ou não estar associada a riscos ambientais. A vulnerabilidade ambiental se refere a fatores ecológicos e biológicos, decorrentes das atividades humanas, podendo afetar a estabilidade ecológica de um local (BELATO *et al.*, 2021).

Os riscos ecológicos e biológicos incluem a ocupação de áreas de risco e sem acesso a saneamento básico. Na área de estudo, foi constatado essa realidade através das autoras Oliveira (2015) e Lavnitk (2018) comprovando contaminação acentuada dos corpos hídricos.

Apesar das inundações acarretarem grandes perdas, estas são fenômenos que ocorrem periodicamente, fazendo parte do ciclo natural do ambiente, desta forma, os eventos críticos não deixarão de acontecer em períodos de grandes pluviosidades, uma vez que é comportamento natural do corpo hídrico diante das características da bacia hidrográfica. A população afetada não possui condições financeiras ou discernimento

para habitar outras regiões, assim sendo, é dever do Poder Executivo Municipal planejar e realocar estes indivíduos.

As APPs ocupadas na área de estudo não cumprem o primeiro requisito da Lei n. 14285/2021, pois atualmente há risco de desastres de origem hidrológica nas margens do corpo hídrico, sobretudo ao longo do canal principal, entretanto os demais afluentes também podem gerar estes eventos.

A bacia hidrográfica em estudo, apesar de contar com 38,21% de área urbana, ainda apresenta locais para expansão. Contudo, deve-se evitar a urbanização sem o devido planejamento, para que o quadro atual não seja agravado.

As ocupações consolidadas em áreas ribeirinhas, apesar de amparadas pelo PDDT, denotam uma ação conformista. Desse modo, é necessário que estas áreas sejam reprojatadas e, quando necessário, a população seja realocada. O PDDT garante esse direito aos moradores em seu artigo 291, onde diz, no inciso 2 que o Poder Executivo Municipal pode assegurar concessão de uso especial para fins de moradia individual ou coletivamente em local diferente daquele que gerou esse direito em hipótese de necessidade de desadensamento por motivo de projeto e obra de urbanização (LAGES, 2018).

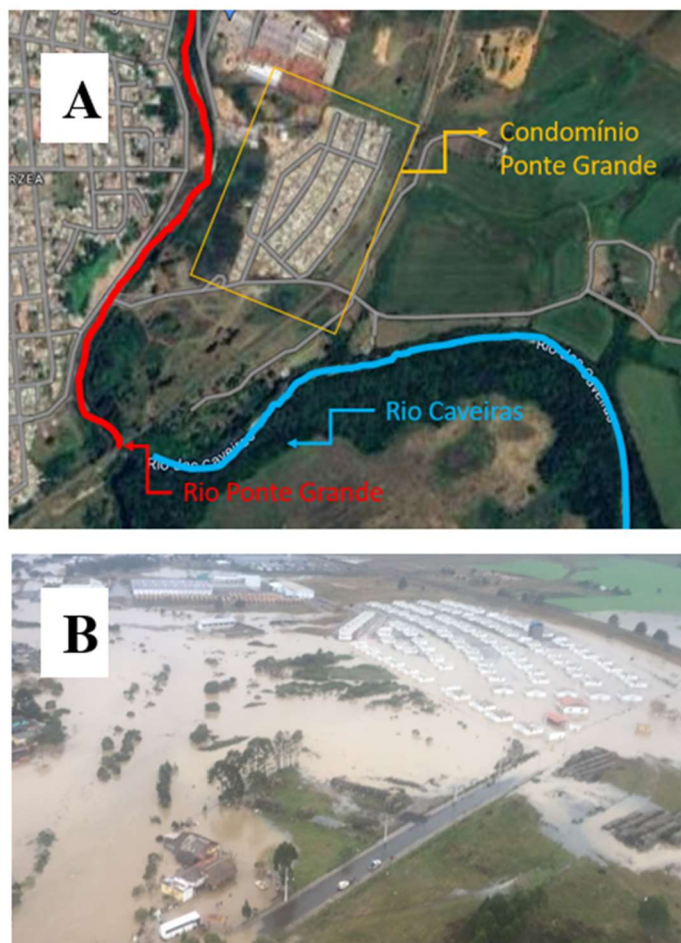
Tal ação já ocorreu quando em setembro de 2016, foram iniciadas as obras do Complexo Ponte Grande em região a jusante da área de estudo. Inicialmente foram investidos recursos provindos do governo federal, 200 residências foram construídas em um condomínio e posteriormente entregues a população desapropriada (SIEGA, 2018; CHAGAS, 2018). Contudo, o condomínio foi construído próximo ao exutório do rio Ponte Grande, onde este encontra o rio Caveiras, conforme mostra a Figura 10A. O terreno escolhido está localizado em área de várzea e em 2017 em período anterior a entrega das residências, houve uma grande inundação, que ultrapassou os limites das APPs, atingindo as casas recém-construídas (Figura 10B). Com esse episódio fica clara a não utilização de estudos hidrológicos para a ocupação das bacias e é possível perceber que os sistema de drenagem e as infra estruturas inseridas no sistema urbano seguem os padrões tradicionais, onde, para evitar o escoamento superficial, técnicas estruturais de drenagem pluvial são empregadas com o intuito de direcionar as vazões diretamente aos corpos hídricos em pontos a jusante, entretanto esta ação provoca o aumento das vazões de pico nos exutórios e consequentemente o aumento da extensão das inundações (SOUZA *et al.*, 2017; RODRIGUES & SANTINI, 2021).



A administração se provou despreparada em pronunciamento errôneo prestado à imprensa, pois julgou a situação através do senso comum, dizendo que o problema eram obstáculos no rio:

Com o desassoreamento do rio e, uma nova passagem através de uma nova obra de arte, tendo em vista que a galeria lá existente torna-se ineficiente com volumes excessivos de precipitação e, ainda mais, com qualquer tipo de obstáculo, como o que foi constatado nestes dias com o acúmulo de lixo, entulho, além do assoreamento da obra na entrada do desembocue no rio Caveiras e mesmo com a enchente, o rio Caveiras está entre 1,5 a 2 metros abaixo do nível do Ponte Grande (SIEGA, 2017).

Figura 10 - Localização condomínio Ponte Grande.



Fonte: Adaptado Google Maps (2022) e Siega (2017).

Tucci (2003) defende que a legislação é a medida não-estrutural mais importante, e esta age de modo a ordenar o desenvolvimento da área urbana. Os empreendimentos devem seguir princípios básicos, pautados nas medidas não-estruturais, que compreendem o não aumento de vazões a jusante, controle e planejamento dos impactos considerando a bacia hidrográfica como unidade territorial de planejamento, horizonte do

plano de drenagem condizente com o Plano Diretor da cidade e o controle de resíduos sólidos e efluentes previsto neste planejamento.

A ocupação da área de estudo por antigos e novos empreendimentos - fábricas, lojas de departamentos, de materiais de construção, shopping e supermercado - que devido às suas grandes dimensões e estacionamentos, impermeabilizam o terreno; e de loteamentos que seguem conforme os métodos tradicionais de instalação, sem quaisquer estudos ambientais ou hidrológicos da região, por estarem em pontos a montante do rio Ponte Grande, colaboram significativamente para o aumento das vazões no exutório.

Na Figura 11 é visível que o arruamento e os lotes estão com solo exposto após terraplanagem, favorecendo a erosão e o carreamento de solo para a rede de drenagem, o que pode causar a redução gradual da seção até o bloqueio total do fluxo em tubulações. As ruas do novo loteamento terminam em cota mais baixa e essas declividades menores se direcionam para a região da linha férrea, como esta impõe restrição no fluxo natural, há a formação de banhados, perceptíveis também pela coloração verde mais forte da vegetação (Figura 12).

Figura 11 - Loteamento e empreendimentos na área de estudo.



Fonte: Adaptado Google Earth (2022).

Figura 12 - Linha férrea como restrição à drenagem natural.



Fonte: Adaptado de Google Earth (2022).

Este divisor artificial criado pela ferrovia será prejudicial quando as moradias se estabelecerem, uma vez que a canalização dos efluentes domésticos é feita de acordo com a gravidade. As residências existentes, que aparecem no canto superior esquerdo, já enfrentam essa dificuldade, sendo registrado canalizações direcionadas à parte mais baixa, efluentes e águas pluviais ao acúmulo naquela área, sem o tratamento adequado.

A Câmara de Vereadores de Lages, apesar de desconhecer sobre manejo sustentável de águas pluviais, tramitou o Projeto de Lei nº 0064/2017 que pretendia a criação de programa para o reaproveitamento de água da chuva com o uso de cisternas nas edificações, contudo este foi arquivado pelas comissões por ser considerada uma ação dispendiosa (CÂMARA MUNICIPAL DE LAGES, 2017). Por focar apenas no viés econômico a curto prazo e desconhecer as contribuições diretas para os aspectos hidrológicos, o Poder Legislativo da cidade vai na contramão do que o restante do mundo vem executando.

A exemplo, Yang, Zhang e Krebs (2022) aplicaram telhados verdes, pavimentos permeáveis e células de biorretenção em diversos pontos de uma bacia hidrográfica com características pouco permeáveis da cidade de Chaohu na China. Os autores testaram a eficiência deste sistema através de simulação no *software* SWMM, onde o volume de escoamento apresentou redução de 45 a 80% e as vazões de pico de 39 a 60% durante os eventos simulados. WANG *et al.*, (2018) analisaram a adição de dispositivos de biorretenção em 4 bacias hidrográficas, duas em Cingapura e duas em Shenzhen, na China, ambas com solo impermeabilizado por ocupação residencial, comercial e industrial, e

avaliaram que a área de biorretenção ideal para as bacias varia de 3,2 a 6,8% para um funcionamento eficiente do sistema. Pereira *et al.* (2021) registrou jardins de chuva sendo aplicados na cidade de São Paulo e ressaltou que os fatores que determinam o grau de contribuição das células de biorretenção é sua localização.

Tais sistemas apresentam eficiência comprovadas pelas modelagens e reservatórios de detenção, porém, é preciso salientar que estes dispositivos devem ser dimensionados e modelados para que haja a verificação da eficiência em sua instalação. É preciso ressaltar também que, para o correto funcionamento de qualquer dispositivo, é necessário que as áreas possuam rede coletora de esgoto separada da rede de drenagem pluvial, assim estas soluções não se tornam riscos sanitários, com liberação de mal cheiro e proliferação de vetores de doenças.

#### 1.4 CONCLUSÃO

A análise da morfometria da referida bacia hidrográfica revela que em condições naturais, isto é, sem alterações antrópicas, a área já apresenta tendências a inundações dada a baixa permeabilidade do solo da região. Uma vez que a ocupação se encontra bem consolidada, a situação da permeabilidade é agravada, levando ao aumento do escoamento superficial e a consequente redução do tempo de concentração.

Assim sendo, é preciso repensar a forma com que as ocupações se estabelecem. Entretanto, a frequência com que a população fixa suas residências em área de risco e a ausência de incentivos e legislações acerca do manejo das águas pluviais denotam que, no município como um todo, faltam profissionais e ferramentas que auxiliem na previsão e planejamento do uso sustentável da terra e a adequada expansão do território urbanizado.

É fundamental que o planejamento ocorra de forma a garantir o cumprimento de leis e normas respeitando também as características da região. Além disso, planos de alerta e apoio pós-eventos também são necessários a fim de orientar e redirecionar os a população a habitação segura, sendo tais ações depreendidas como medidas não estruturais.

Ademais, é primordial que estas medidas não estruturais sejam implantadas em sincronia com as medidas estruturais, devendo estas ser modeladas e bem planejadas. A construção de infraestruturas como rede coletora de esgotos e rede de drenagem, associados a dispositivos que realizem o manejo sustentável das águas pluviais, são



assuntos urgentes para que se promova a universalização do acesso ao saneamento e qualidade de vida para a população.

Ações de educação ambiental também podem contribuir para que o conhecimento a respeito do comportamento dos rios se popularize entre os habitantes, melhorando sua relação com o ambiente e evitando assim as ocupações das áreas de risco e a poluição dos corpos d'água.

## **CAPÍTULO 2- SIMULAÇÃO DE MEDIDAS MITIGATÓRIAS PARA A GESTÃO SUSTENTÁVEL DE ÁGUA PLUVIAIS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PONTE GRANDE – LAGES - SC**

### **1.1 INTRODUÇÃO**

As alterações ambientais causadas pelas atividades antropogênicas vêm se intensificando ao longo dos anos, gerando mudanças significativas nas coberturas das superfícies e na dinâmica dos ecossistemas (PAN, *et al.*, 2018). Isso significa intensas impermeabilizações e diminuição da infiltração da água da chuva resultando em aumento do escoamento superficial e redução do tempo de concentração das bacias hidrográficas (GROPPO *et al.*, 2019).

Os métodos tradicionais de drenagem pluvial são utilizados para resolução dos problemas com escoamento superficial. Este sistema se resume na criação de técnicas estruturais com o objetivo de direcionar as vazões aos corpos hídricos o mais rápido possível, seguindo uma metodologia higienista. Entretanto esta ação provoca a redução do tempo de concentração, o aumento das vazões de pico e consequentemente a ocorrência de inundações, transferindo e acumulando este fluxo para as bacias hidrográficas a jusante (SOUZA *et al.*, 2017; RODRIGUES, SANTINI, 2021).

Desde a década de 1930 é observada a ineficiência dos sistemas tradicionais (ICE, 2004). Diante disso, surgiram os sistemas sustentáveis para manejo de águas pluviais, compreendidos no conceito de hidrologia urbana, e aplicados com o intuito de manter as características naturais em um ambiente antropizado. Visam, então, aprimorar a forma com que a ocupação ocorre na bacia hidrográfica, compensar as alterações realizadas e gerir adequadamente os volumes de água dentro da própria bacia, evitando enviá-los para as unidades a jusante (THANVISITTHPON, 2019; POUR *et al.*, 2020).

Ao redor do mundo, estes sistemas adquiriram diferentes nomenclaturas como o *Best Management Practices* (BMPs) iniciado em 1930 e *Low Impact Development* (LID) nos anos 2000 nos Estados Unidos, *Sustainable Drainage Systems* (SUDs) em 1992 no Reino Unido, *Water Sensitive Urban Design* (WSUD) em 1992 na Austrália e *Low Impact Urban Design and Development* (LIUDD) em 2006 na Nova Zelândia (ICE, 2004; LUAN *et al.*, 2019). Os dispositivos podem apresentar diferentes configurações, mas comumente se apresentam como telhados verdes, jardins de chuva, bacias de infiltração e cisternas.

De acordo com A'safet *et al.*, (2020) os telhados verdes são compostos por camada de vegetação, substrato, filtrante e tubulações. Os autores demonstram que a aplicação deste dispositivo pode reduzir em até 50% a velocidade de escoamento. Kasprzyk *et al.*

(2022) definem o jardim de chuva como uma depressão plantada, projetada para coletar, armazenar, infiltrar e filtrar as águas pluviais de uma pequena área. O jardim de chuva combina diferentes camadas de solo para infiltração e adubo para promover atividade microbológica. Os autores enfatizam que, com uso de vegetação apropriada e camadas filtrantes de substrato, o jardim de chuva pode proporcionar um processo chamado fitorremediação, que consiste na capacidade de remoção de poluentes de algumas plantas, melhorando a qualidade da água a ser infiltrada no solo. As bacias de infiltração são dispositivos alocados em depressões naturais no relevo, onde a água da chuva é naturalmente direcionada e armazenada, podendo infiltrar no solo ou apenas deter volumes e posteriormente encaminhar a rede de drenagem através de drenos (KIM *et al.*, 2019).

Estes sistemas podem estar associados e devem ser projetados de acordo com as características de cada local, assim garante a implantação eficaz. Para auxiliar nesse processo, a modelagem hidrodinâmica tem sido empregada, já que permite o entendimento e quantificação dos processos que ocorrem nas bacias hidrográficas, contribuindo para a compreensão de cenários atuais e previsão de impactos em cenários hipotéticos, favorecendo a gestão e fundamentação de decisões (ONGDAS *et al.*, 2020; KUMAR *et al.*, 2021).

O *Storm Water Management Model* (SWMM) já é amplamente aplicado e se mostra o *software* mais completo para fases preliminares de projeto (CADORE; ADAMATTI; BRAVO, 2019). Este é utilizado para a verificação de vazões de pico, seja em series temporais com diferentes tempos de retorno ou para testes de eficiência de dispositivos de amortização (AKTER; TANIM; ISLAM, 2020; VEMULA; RAJU; VEENA, 2020; FAUZIAH; WAHYUDI; POEDJIASTOETI, 2022).

Desse modo, objetivou-se com este estudo testar soluções incorporando as diretrizes de hidrologia urbana para atenuação das vazões de pico na bacia hidrográfica do rio Ponte Grande, por meio dos *softwares* ArcGis para pré-processamento e delimitação, e SWMM para realizar e simulação dos diferentes cenários.

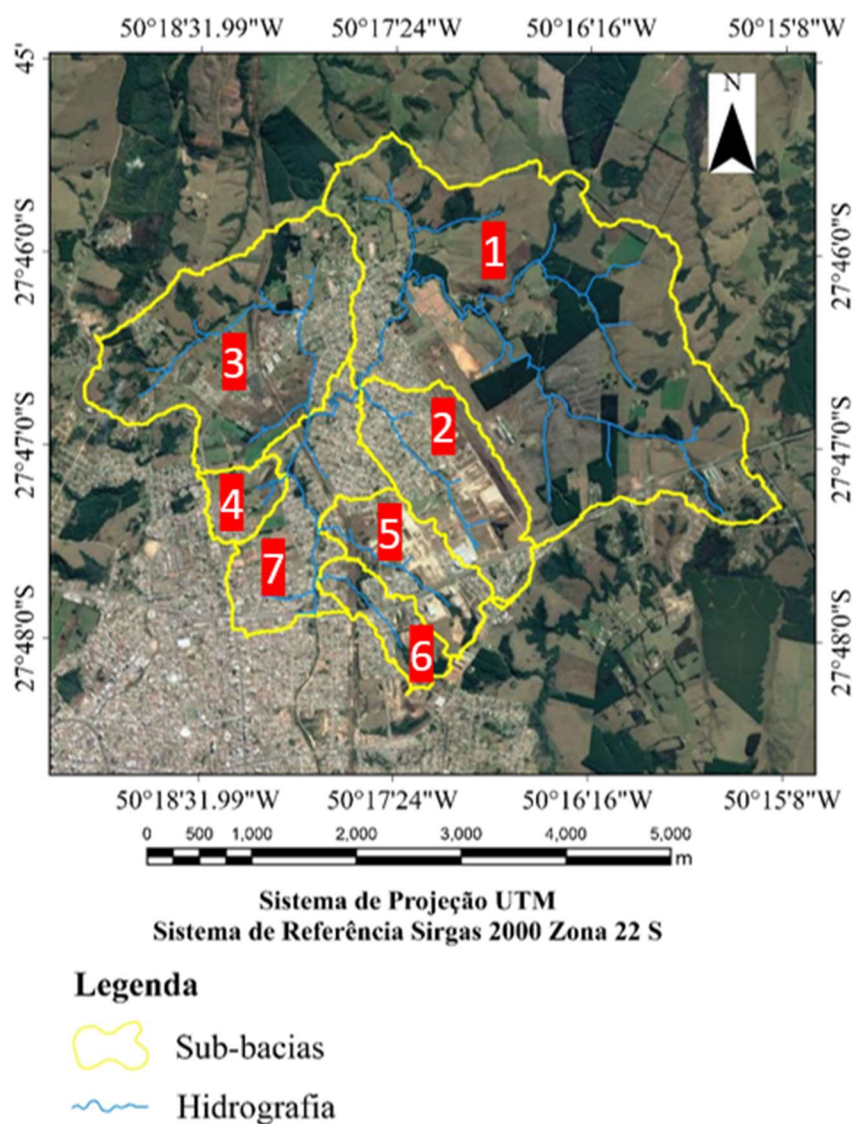
## 1.2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 1.2.1 Área de estudo

O estudo foi realizado na bacia hidrográfica do rio Ponte Grande, afluente da margem direita do rio Caveiras, com foco em sua porção inicial cuja área é de 19,08 Km<sup>2</sup>, compreendida entre as coordenadas 50°19'13"O e 27°45'23"S, e representa

aproximadamente 69% de toda a bacia hidrográfica. Esta possui características rurais e urbanas e áreas para expansão urbana. De acordo pré-processamento realizado no *software* ArcGis obteve-se a discretização da área, que topograficamente pode ser dividida em 7 sub-bacias (Figura 13).

Figura 13 - Divisão das sub-bacias na área em estudo.



Fonte: Autora (2022)

### 1.2.2 Cenários

A fim de determinar o efeito das ações antrópicas foi realizado mapeamento onde foram detalhadas as 13 classes de uso e cobertura do solo propostas e utilizadas para as modelagens. A classificação foi feita através de vetorização no *software* ArcGis.

Para a simulação e obtenção de hidrogramas foram organizados três cenários, sendo a situação atual, discutida no capítulo I deste trabalho. Considerando a aplicação de técnicas de hidrologia urbana organizou-se os Cenários II e III.

O processo de consolidação da área urbana aconteceu de modo a desconsiderar as marginais dos rios como áreas de risco, por conta disso as matas ciliares se encontram ocupadas por edificações em diversos pontos, onde os habitantes estão vulneráveis a eventos de inundações.

A preservação das APPs, definidas pela Lei n. 12.651/2012 como áreas protegidas, cobertas ou não por vegetação nativa (BRASIL, 2012) é medida importante para a salvaguarda das funções dos recursos hídricos e da biodiversidade. Os corpos hídricos que possuam leito de até 10 metros de largura devem apresentar margens preservadas de 30 metros, e 50 metros de raio para as nascentes, conforme as preconizações na referida Lei.

As faixas marginais ao longo do rio Ponte Grande estão suprimidas em cerca de 76,36%, já as nascentes apresentam 29,81% de ocupação divergente da Lei n. 12.651/2012, assim sendo necessário que a vegetação se restabeleça, respeitando também as características regionais. Dessa forma, a idealização dos Cenários II e III busca restauração de tais áreas. Por consequência, as residências localizadas nestas áreas precisarão ser removidas e as famílias realocadas.

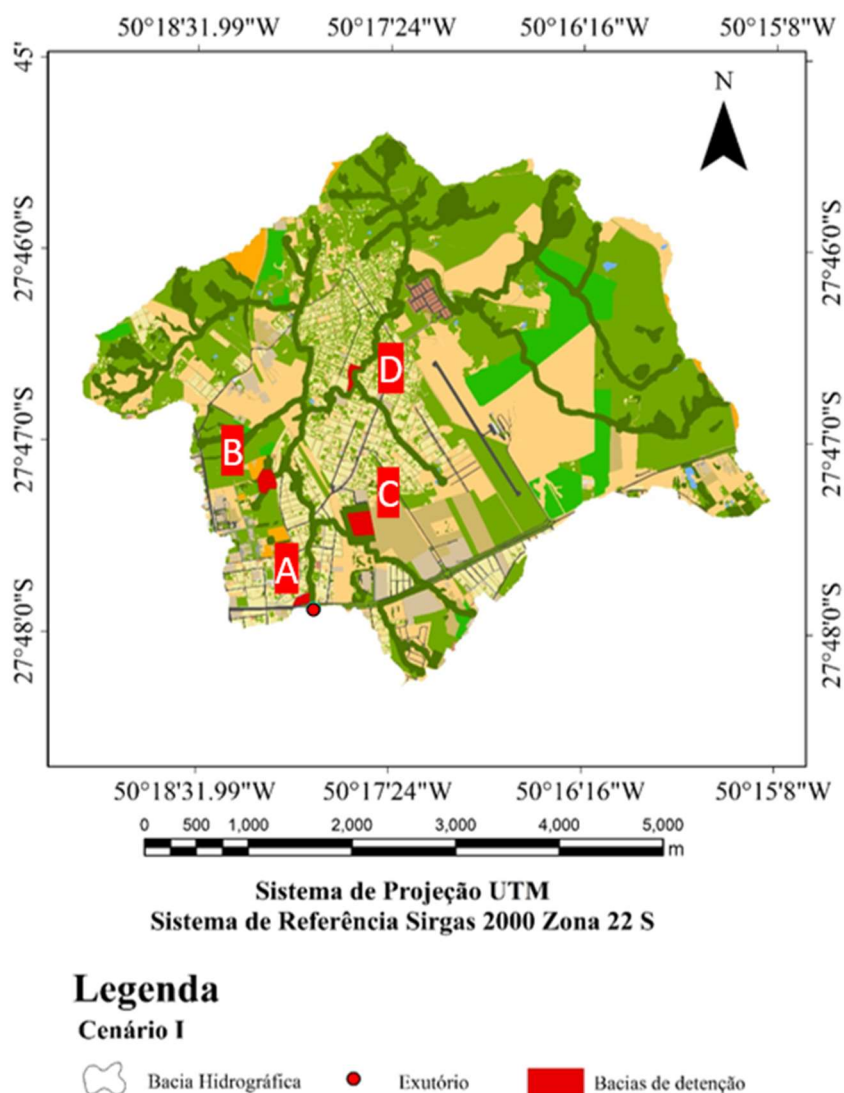
Com esta ação, busca-se um aumento nas áreas de vegetação nativa, que podem resultar em maior absorção da água da chuva e causar redução no escoamento superficial e atenuação das ondas de cheia (SHI *et al.*, 2022). Além da restauração das APPs, também foi utilizada a introdução de dispositivos de amortização com o intuito de enquadrar a área no conceito de hidrologia urbana, que busca o manejo sustentável das águas provenientes das precipitações. Para escolha da medida compensatória é preciso analisar as características físicas e econômicas da região, para que sejam eficientes e aplicáveis.

A solução telhado verde não se mostra adequada em função de seus elevados custos de implantação, visto que é necessário soluções para impermeabilização e projeto estrutural mais robusto a fim de suportar o peso excedente das camadas de solo (SHAFIQUE *et al.*, 2018). Já cisternas e jardins de chuva requerem a utilização do método racional para sua análise, que limita em até 2km<sup>2</sup> a área das bacias a serem estudadas, sendo esta uma visão voltada para a microdrenagem. (SANTOS *et al.*, 2020; CHEN *et al.*, 2020).

Assim sendo, as bacias de infiltração e de detenção se mostram como alternativas mais adequadas, uma vez que se poderá utilizar, em grande parte, as depressões naturais na paisagem e recolherão apenas o escoamento excedente dos corpos hídricos. Então, no Cenário II serão alocadas as bacias de infiltração e no Cenário III as bacias de detenção.

Para os dois cenários foi utilizada a mesma locação para os dispositivos de amortização (Figura 14). O dispositivo D fica posicionado na sub-bacia 1 e requer a desapropriação de duas quadras conforme a demarcação no mapa. O dispositivo B fica na sub-bacia 4, dentro dos limites do CAV-UEDESC. O dispositivo C fica dentro da sub-bacia 5, na região mais baixa do loteamento existente na área e o dispositivo A ficará na última sub-bacia (7) ocupando terreno existente que não possuía edificações até a data do presente estudo.

Figura 14 - Cenário II e III - Alocação dos dispositivos de amortização.



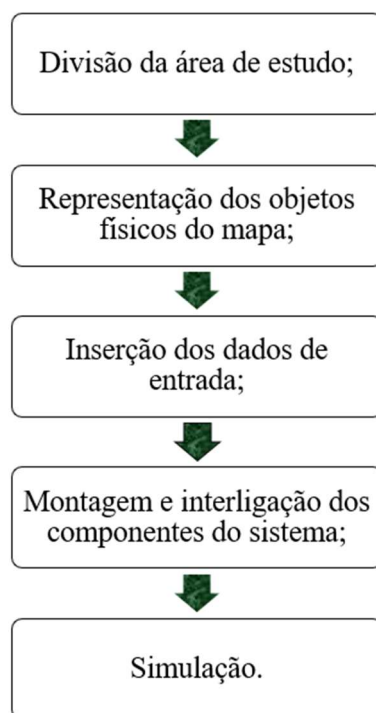
Fonte: Autora (2022).

### 1.2.3 Storm Water Management Model (SWMM)

O *Storm Water Management Model* (SWMM) é um modelo dinâmico de simulação de precipitações que pode ser utilizado para uma única simulação ou por um período estendido (ZENG *et al.*, 2021). Desenvolvido pela *Environmental Protection Agency* (EPA), o modelo permite a demonstração da precipitação, interceptação, infiltração, escoamento superficial nas vertentes e na rede de drenagem, evapotranspiração e armazenamento em depressões, sendo um dos programas mais utilizados para planejamento da drenagem urbana visto que permite também a inserção e quantificação de medidas de controle de vazão de pico, possibilitando o controle das inundações e o planejamento nas bacias hidrográficas urbanas (ZHANG, ZHE, 2019).

Filianoti *et al.*, (2020) explica que o modelo consiste em vários componentes denominados como blocos, o bloco *RUNOFF* simula hidrogramas utilizando as características físicas da bacia e os dados meteorológicos como dados de entrada. A modelagem é então executada segundo as etapas representadas no esquema da Figura 15.

Figura 15 - Fluxograma das etapas para modelagem.



Fonte: Autora (2022).

A infiltração nas áreas permeáveis é estimada por meio do método *Soil Conservation Service* (SCS) – *Curve Number* (CN) no bloco *RUNOFF*. O método SCS foi desenvolvido, empiricamente, pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos

em 1954, tendo passado por inúmeras revisões desde a sua primeira documentação (VERMA *et al.*, 2017). Este método é um dos mais populares para transformação de chuva-vazão pela sua facilidade, aplicabilidade a bacias hidrográficas e qualidade de resultados fornecidos (VERMA *et al.*, 2017; FERNANDEZ, 2019). O SCS é capaz de fornecer a chuva excedente a partir de uma precipitação e determinar o hidrograma de escoamento superficial, sendo adequado para rastrear a retenção de umidade do solo e o conteúdo de umidade antecedente (KIM *et al.*, 2018, SIA; SILVA, 2021).

O parâmetro CN representa o potencial de escoamento superficial utilizando um valor numérico que varia de 0 a 100, entretanto algumas pesquisas constataam que na realidade este valor situa-se entre 40 e 98, sendo influenciado pelo uso e ocupação da terra e tipo de solo (VERMA *et al.*, 2017). Sartori (2004) agrupou os solos brasileiros de acordo com características pedológicas. Por se tratar de um Cambissolo, o solo da região se enquadra no grupo hidrológico C.

Os valores obtidos para CN estão descritos no Tabela 9. Em virtude da heterogeneidade nos usos da terra de cada sub-bacia foi empregada média ponderada relativa ao total da área ocupada por cada classe definida.

Tabela 9 - Valores de CN médios obtidos para cada sub-bacia.

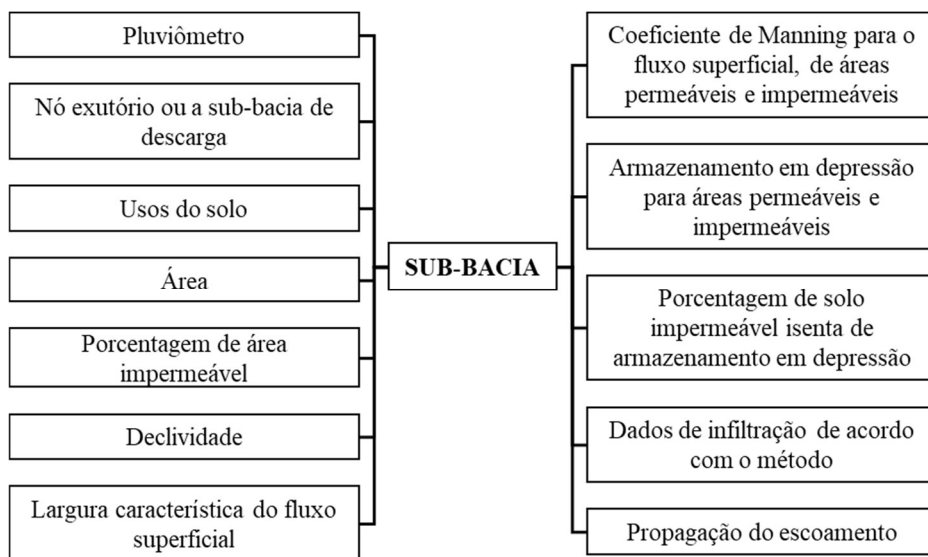
SUB-BACIA	CNmédio CENÁRIO I	CNmédio CENÁRIO II e III
1	76	73,12
2	84,83	80,85
3	78,45	78,03
4	83,17	81,96
5	90,82	90,13
6	83,32	81,82
7	87,81	86,49

Fonte: Autora (2022).

A representação dos objetos físicos é feita com a inserção de sub-bacias, nós e condutos, que necessitam de dados de entrada para que estes sejam equivalentes ao cenário que se deseja representar. Os dados necessários para cada um encontram-se descritos na Figura 16.



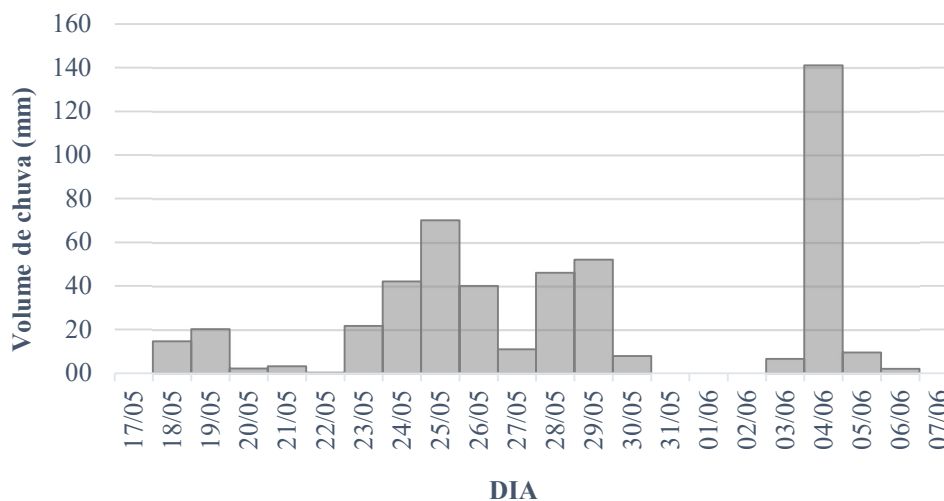
Figura 16 - Dados de entrada para as sub-bacias.



Fonte: Santos *et al.*, (2020).

Os dados pluviométricos escolhidos se referem ao evento de chuva extrema (Figura 17), que ocorreu entre os dias 17/05/2017 a 07/06/2017, com pluviosidade de 141mm no dia 04/06, excedendo em um dia a média mensal que varia de 90 a 130mm (MEDEIROS, 2018).

Figura 17 - Chuva total diária do período de 17/05/2017 a 07/06/2017.



Fonte: Medeiros (2018).

As porcentagens das áreas permeáveis e impermeáveis foram determinadas a partir do mapa de uso e ocupação do solo (Tabela 10).

Tabela 10 - Áreas impermeáveis e permeáveis.

ÁREAS	CLASSES
Impermeável	Unifamiliar
	Multifamiliar
	Comercial
	Concreto
	Asfalto
	Pavimento Intertravado
	Solo exposto
Permeável	Água
	Silvicultura
	Agricultura
	Sem vegetação
	Campo
	Vegetação nativa

Fonte: Autora (2022).

Dados como área, usos do solo, declividade e largura do fluxo superficial foram obtidos no *software* ArcGis. A propagação do escoamento escolhida foi o *outlet*, visto que os corpos hídricos recebem o escoamento das áreas permeáveis e impermeáveis, sendo este método utilizado para todas as sub-bacias.

Os condutos são os objetos responsáveis pelo transporte da água de um nó a outro, sendo necessárias, para a caracterização dentro do SWMM, informações de nós de entrada e saída e comprimento do conduto. Como os condutos representam os corpos hídricos dentro do sistema, os dados foram extraídos através da tabela de atributos presente no ArcGis. Além disso, o coeficiente de Manning e a geometria da seção transversal também são requeridos. Para a área foram necessárias 5 ramificações que representam os corpos hídricos, conforme detalhados na Tabela 11.

Tabela 11 -Dados de entrada dos Condutos.

PROPRIEDADES	C1	C2	C3	C4	C5
Cota nó de entrada (m)	890,29	881,91	881,04	880,4	879,51
Cota nó de saída (m)	881,91	881,04	880,4	879,51	879,63
Comprimento (ha)	928,21	381,48	717,62	486,76	289,94
Coeficiente de Manning	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Seção transversal	Trapezoidal	Trapezoidal	Trapezoidal	Trapezoidal	Trapezoidal

Fonte: Autora (2022).

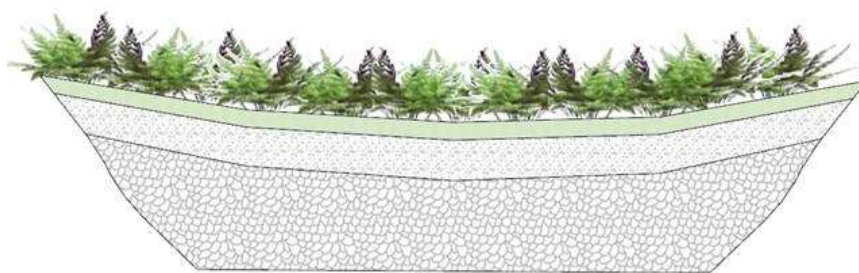
### 1.2.4 Dimensionamento dos dispositivos de amortização

Para o cenário II e III foram adotadas as bacias de infiltração e retenção como estratégia de amortização em decorrência da disponibilidade de depressões no relevo, naturalmente vegetadas e sem uso.

#### 1.2.4.1 Bacia de infiltração

Na bacia de infiltração os volumes são amortizados através da infiltração da camada de armazenamento que leva o fluxo até a camada de solo natural da área, não sendo empregado o dreno profundo (ROSSMAN, 2010). A Figura 18 ilustra exemplo da configuração das bacias de infiltração que serão aplicadas em região próxima ao exutório de suas respectivas sub-bacias.

Figura 18 - Bacia de infiltração



Fonte: Autora (2022).

A camada superficial, composta por cobertura vegetal, requer os seguintes dados de entrada: espessura, porosidade, capacidade de campo, ponto de murcha, condutividade hidráulica do solo saturado, declividade da condutividade e Potencial Matricial. A capacidade de campo descreve a razão do volume de água nos poros pelo volume total do solo após ter sido drenado naturalmente. O ponto de murcha expressa a razão do volume de água nos poros de um solo relativamente seco. A declividade da condutividade hidráulica é a inclinação média logarítmica entre a condutividade e a umidade do solo. O Matricial é o valor médio do solo na frente de umedecimento (ROSSMAN, 2010).

Conforme o manual do SWMM, a camada de solo deve manter sua espessura entre 450 e 900 mm. Adotou-se valor igual ao mínimo recomendado em função da camada impermeável se apresentar em baixas profundidades na área de estudo. Para solos com presença de argila e silte a recomendação é que se considere a declividade da condutividade hidráulica igual a 15 (ROSSMAN, 2010). Os demais dados estão descritos no Tabela 12, considerando o solo como Argila Arenosa (BERTOL, 2001).

Tabela 12 - Camada de solo.

CAMADA DO SOLO	VALOR	UNIDADE
Porosidade	0,430	Adimensional
Capacidade de campo	0,321	Adimensional
Ponto de murcha	0,221	Adimensional
Condutividade hidráulica	0,508	mm.h <sup>-1</sup>
Potencial matricial	240,03	mm

Fonte: Autora (2022).

Para a camada de armazenamento é necessário a determinação de altura de brita ou cascalho, índice de vazios, taxa de infiltração e fator de colmatação. O manual do SWMM recomenda que seja utilizado 150mm para a camada de brita. No entanto foi feita verificação através de pré-dimensionamento a fim de garantir que este valor suprirá as necessidades de cada bacia (ROSSMAN, 2010). Para pré-dimensionamento da camada utilizou-se a metodologia disponível na Tabela 13.

Tabela 13 - Pré-dimensionamento de camada de armazenamento.

PRÉ-DIMENSIONAMENTO – BACIA DE INFILTRAÇÃO	
Profundidade média do volume de acumulação do dispositivo	$H = V_{\max} = \left( \sqrt{\frac{a}{60}} \times \sqrt{C} \times T^{\frac{b}{2}} - \sqrt{\frac{c}{60}} \times \sqrt{q_s} \right)^2$
Equação IDF	$i = \frac{k \times T^m}{(t + d)^n}$
Conversões da fórmula IDF usual para IDF Talbot	$a = 0,68 \times k \times \exp(0,06 \times n^{-0,26} \times d^{1,13})$ $b = m$ $c = 1,32 \times n^{-2,28} \times d^{0,89}$ $i = \frac{a \times T^b}{t + c}$
Correção do parâmetro “a”	$a_{\text{corrigido}} = \frac{i_{\text{usual}}}{i_{\text{Talbot}}} \times a$
A vazão de saída constante	$q_s = \times K_{\text{sat}}$

Fonte: Silveira e Goldenfum (2007); Souza e Essig (2014).

A Tabela 14 apresenta os parâmetros utilizados para a equação IDF usual e IDF de Talbot.

Tabela 14 - Parâmetros das Equações IDF.

PARÂMETROS DA EQUAÇÃO IDF USUAL		PARÂMETROS DA EQUAÇÃO IDF DE TALBOT	
k	2050,00	a	25009,121
m	0,20	b	0,20
d	30	c	35,53
n	0,89		

Fonte: Autora (2022).

Bertol et al. (2001) define que o Cambissolo Húmico Aluminico contém 42,1 g.kg<sup>-1</sup> de argila, 43,7 g.kg<sup>-1</sup> de silte e 14,2 g.kg<sup>-1</sup> de areia. Os dados fornecidos expressam que o solo se aproxima da Argila Arenosa, sendo o valor da condutividade hidráulica do solo saturado igual a 0,508. Com o coeficiente redutor proposto por Silveira & Goldenfum (2007) igual a 0,5, a vazão de saída constante do dispositivo será igual a 0,254 mm.h<sup>-1</sup>.

Os coeficientes de escoamento e a profundidade mínima requerida para as bacias de retenção se encontram na Tabela 15.

Tabela 15 - Pré-dimensionamento.

BACIA	i usual (mm.h <sup>-1</sup> )	i Talbot (mm.h <sup>-1</sup> )	a corrigido	qs (mm/h)	H (mm)
A	113,03	874,49	3232,59	0,254	35,01
B	113,03	874,49	3232,59	0,254	22,37
C	113,03	874,49	3232,59	0,254	12,29
D	113,03	874,49	3232,59	0,254	10,32

Fonte: Autora (2022).

A altura da camada de brita sugerida por Rossman (2010) se mostrou adequada para as quatro bacias de infiltração. Para o índice de vazios obteve-se o valor de 0,75, estando dentro dos valores recomendados. O mesmo autor recomenda que o valor mínimo no SWMM para a taxa de filtração seja de 250 mm.h<sup>-1</sup>.

#### 1.2.4.2 Bacia de retenção

A bacia de retenção se diferencia, no SWMM, da bacia de infiltração apenas pela última camada, ou seja, o fundo da camada de armazenamento é impermeável e os volumes são direcionados ao dreno profundo, que os encaminha até o corpo hídrico. Assim, os critérios adotados para a camada de superfície e camada de solo foram os mesmos utilizados para a bacia de infiltração, no entanto, o cálculo da altura de armazenamento utiliza outra metodologia.

Por necessitar de impermeabilização e dreno profundo com diâmetro considerável, este dispositivo conta com maiores interferências para a sua implantação, o que permite que sejam adotadas maiores profundidades. Dessa forma, diferente da metodologia

utilizada para a bacia de infiltração que determina as profundidades através das equações IDF, para a bacia de retenção foi utilizado como critério de dimensionamento a vazão obtida através do pico de precipitação presente na série temporal empregada, relacionando a mesma com a fórmula do coeficiente de drenagem, descrito na Tabela 16.

Tabela 16 - Relação densidade de fluxo.

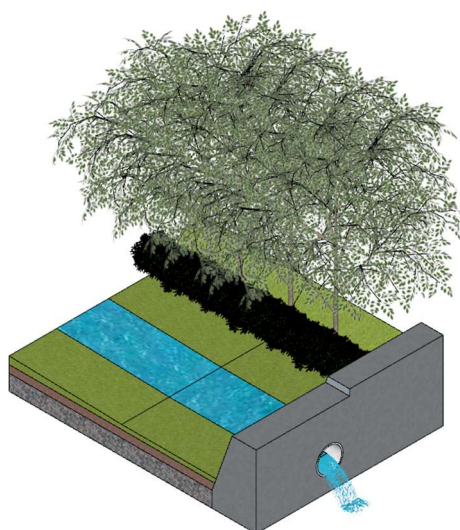
PRÉ-DIMENSIONAMENTO – BACIA DE DETENÇÃO		PARÂMETROS DA EQUAÇÃO	
Coeficiente de drenagem	$C = \frac{q}{(h - Hd)^n}$	q (m/h)	1600
		h (mm)	1500
		Hd (mm)	1000
		n	0,5

Fonte: Adaptado Rossman (2010) e Autora (2022).

Os parâmetros h e Hd referem-se à altura de armazenamento e ao diâmetro do dreno profundo, respectivamente.

Para que fosse possível a simulação, utilizou-se os critérios pré-programados no SWMM, mas na aplicação do sistema em situação real os resultados podem ser melhorados quando estas são alocadas no exutório das sub-bacias em que se localizam mas, ao longo do corpo hídrico (*inline*). Dessa forma, o dreno deve ser dimensionado de maneira a suportar o fluxo equivalente à vazão normal do rio e a vazão excedente, quando ocorrer, é armazenada e lentamente liberada, conforme a Figura 19 ilustra.

Figura 19 – Configuração da bacia de retenção.



Fonte: Autora (2022).

Uma vez que a impermeabilização não é necessária, a camada de vegetação empregada é responsável pela estabilidade dos taludes e também por melhorar a qualidade das águas pluviais. Tem-se então, nesta configuração, a associação da retenção com a infiltração, a evapotranspiração e a fitorremediação.

### 1.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a modelagem dos Cenários I, II e III a simulação foi executada. Os erros de continuidade das simulações não devem ser superiores a 10%, e como pode ser visto na Tabela 17, os valores obtidos encontram-se dentro do recomendado.

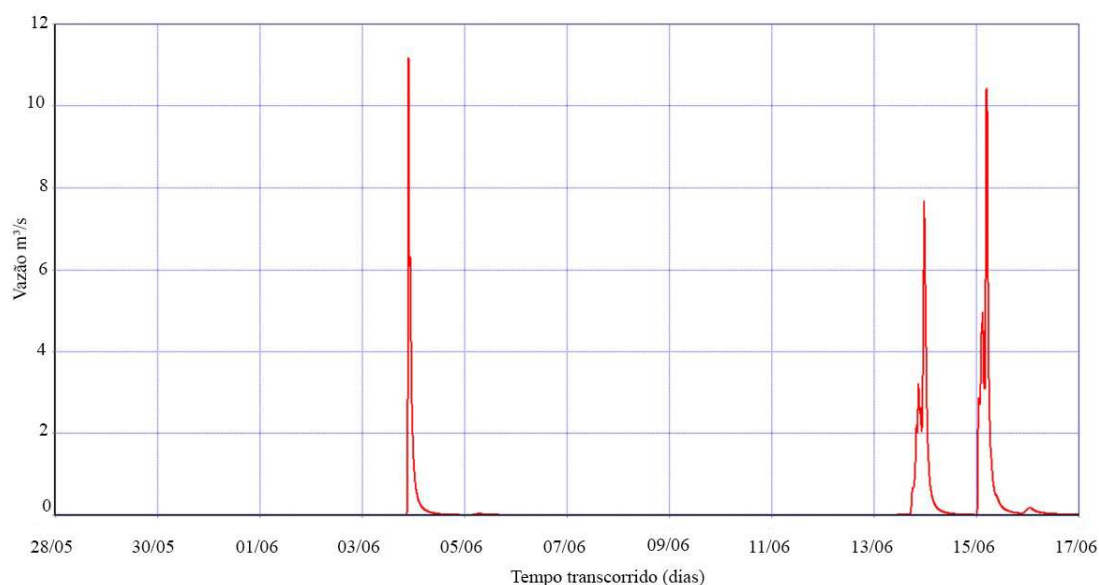
Tabela 17 - Resultado do relatório de estado da simulação.

ERROS DE CONTINUIDADE			
Cenários	I	II	III
Escoamento superficial	-0.02%	-0.04%	-0.06%
Propagação de vazão	-0.01%	-0.01%	-0.02%

Fonte: Autora (2022).

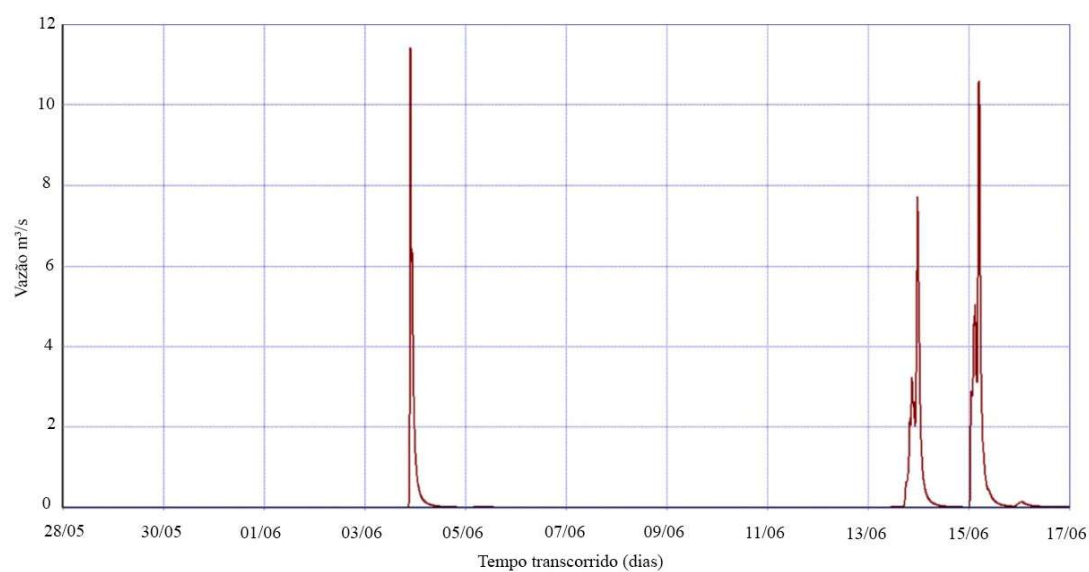
Os hidrogramas apresentados nas Figuras 20 a 22 são representativos da vazão que chega ao ponto exutório da bacia.

Figura 20 - Resultado da simulação no Cenário I.



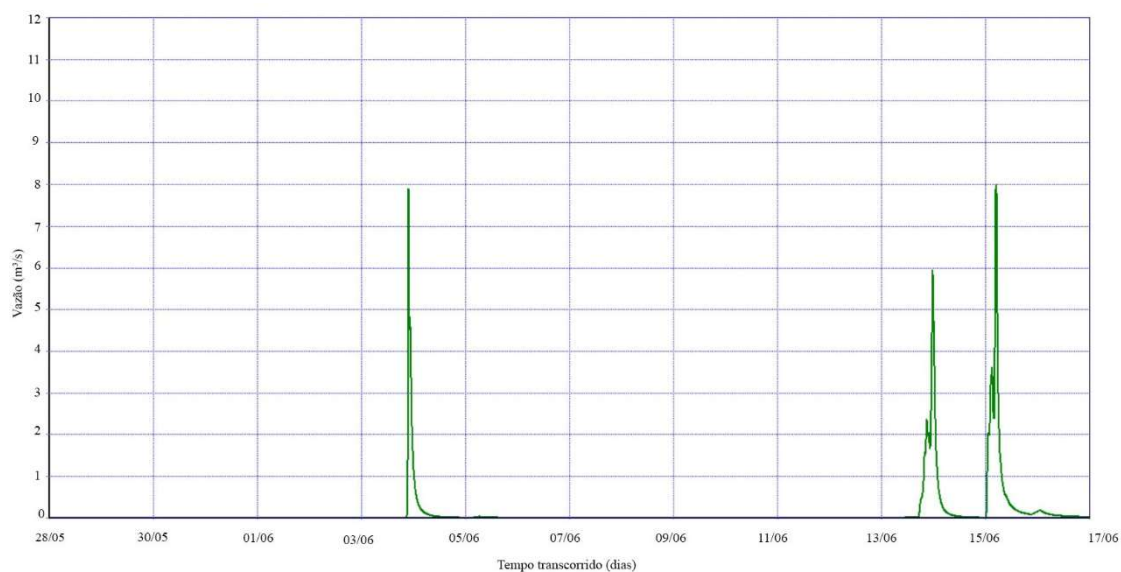
Fonte: Adaptado de relatório SWMM (2022).

Figura 21 - Resultado da simulação no Cenário II.



Fonte: Adaptado de relatório SWMM (2022).

Figura 22 - Resultado da simulação no Cenário III

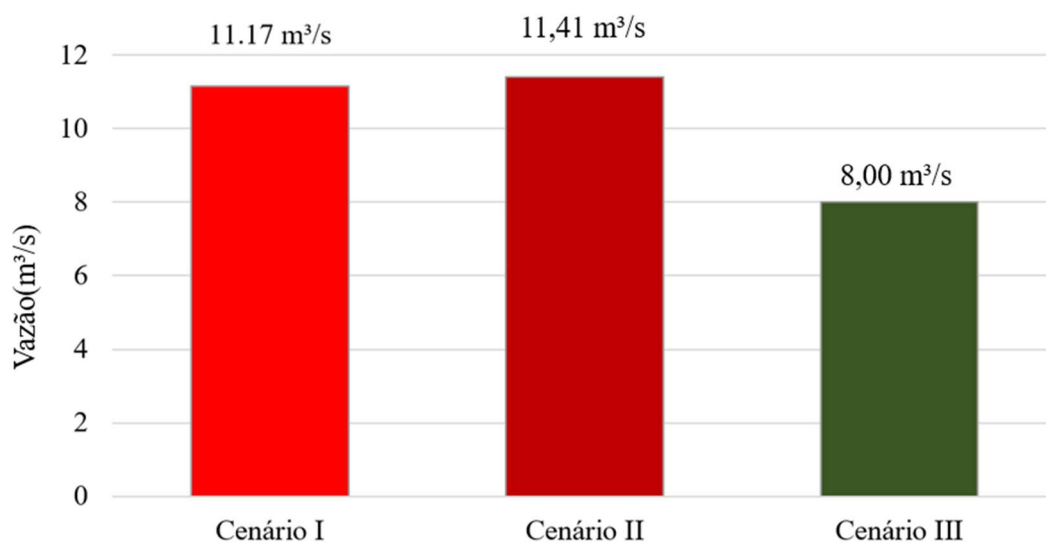


Fonte: Adaptado de relatório SWMM (2022).

O ponto de maior vazão em ambos os cenários acontece no dia 04 de julho, dia em que ocorre a maior acumulação de volume precipitado da série temporal. Na Figura 23 encontram-se as vazões de pico dos três cenários.



Figura 23 - Comparação da vazão de pico dos cenários.



Fonte: Autora (2022).

Com análise das vazões de pico é possível perceber um aumento de 2,15% no Cenário II, onde foram aplicadas as diretrizes de ampliação da vegetação nativa e bacias de infiltração. Tal comportamento diverge das expectativas da aplicação de medida de amortização. Canholi (2014) e Martins (2017) esclarecem que sistemas de controle centralizado, como é o caso das bacias de infiltração, possuem melhor eficiência em áreas afastadas do núcleo urbano, pois os usos da terra não apresentam coberturas tão impermeabilizadas quando comparadas às áreas urbanizadas consolidadas, associado a baixa permeabilidade do solo, justifica assim o resultado insatisfatório dessa medida compensatória.

No Cenário III, no qual também foi aplicado a ampliação da vegetação nativa em APPs e instalação de bacias de retenção, conforme critérios pré-programados no software, houve uma amortização equivalente a 28,38% em relação ao cenário atual, sendo este resultado satisfatório. O sucesso deste dispositivo se deve ao represamento e da lenta liberação do fluxo através do dreno profundo. A modelagem não considera a infiltração e evapotranspiração uma vez que o dispositivo é não permeável e não vegetado, por tanto, numa configuração que considere tais processos obterá melhores resultados.

Vemula, Raju e Veena (2020) estudaram o comportamento hidrológico da bacia hidrográfica do rio Musi na cidade de Hyderabad na Índia, utilizando também bacias de retenção. Os autores obtiveram 23% de amortização das vazões de pico. Akter, Tanim e

Islam (2020) ao analisar uma bacia hidrográfica na cidade de Chittagong, em Bangladesh, detectaram amortização de 28,66% através da utilização de bacias de retenção.

Outra possível solução para esta região é a aplicação de técnicas de controle na fonte, com captação de água da chuva realizada a partir dos telhados das edificações e armazenados em cisternas estanques, no entanto essa medida é de aplicação individual, exigindo outra perspectiva para o estudo de sua implantação.

Neste viés, o Plano Diretor de Desenvolvimento do Território do município de Lages-SC apresenta exigências para a construção de sistemas de captação de água de chuva em edificações novas acima de 500m<sup>2</sup> de projeção de cobertura de telhado. No entanto, essa condição exclui a maioria das residências da área, visto que a padronização dos terrenos da cidade é de 360m<sup>2</sup> (LAGES, 2018).

Ao observar o que está sendo aplicado em relação aos conceitos de hidrologia urbana, há os casos de Stenlose (Dinamarca), Queensland (Austrália), Ohio, Oregon, Texas e Utah (Estados Unidos da América) e Seul (Coreia do Sul) que utilizam de legislação para regulamentar coleta de água de chuva, suas perspectivas são voltadas a critérios de qualidade de água. Quanto ao Brasil, pode-se utilizar como exemplo as cidades de São Paulo, Rio de Janeiro, Porto Alegre, Curitiba e Florianópolis, estas apresentam legislações que regulamentam a coleta de água pluvial com foco em controle de vazões (ROCHAT, 2020; BORGET; MARTINS, 2022). Ambas as demandas são de importante aplicação e vão de encontro a sustentabilidade dos meios e a redução de prejuízos sociais e econômicos.

Curitiba se destaca com o Decreto nº 1733 de 10 de outubro de 2019 por determinar área permeável mínima e utilizar a implantação de sistema de coleta de chuva como mecanismo de prevenção de cheias, e exige que sejam aplicados em toda nova construção ou reforma localizada nas zonas problemáticas determinadas a partir de zoneamento. Os reservatórios podem ser desenvolvidos por unidade de contribuição ou em conjunto, e devem obedecer a critérios de dimensionamento (CURITIBA, 2019).

A Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) apresenta um estudo de caso em que uma cisterna de retenção foi construída na praça Celso Luft, em Porto Alegre – RS (Figura 24). Este dispositivo foi instalado sob a área da praça, com capacidade de armazenamento de 6000m<sup>3</sup>. Sobre a laje do reservatório existe uma quadra de esportes, o que indica a versatilidade deste tipo de sistema. Segundo o projeto, as águas pluviais que atingem o pavimento, entram nas bocas de lobo e são levados ao reservatório. Então, as

águas, que poderiam provocar alagamentos, são armazenadas e lentamente desviadas para a rede de drenagem existente, de acordo com sua capacidade (ABCP, 2020).

Figura 24 - Exemplo de execução de reservatório de retenção.



Fonte: ABCP (2020).

Desta forma, a criação de legislação regulamentadora para a implantação de cisternas, como técnica de controle na fonte pode implicar em reduções nas vazões de pico, sendo aplicável outro estudo hidrológico na região. Conjuntamente, a implantação de sistema semelhante, com área disponível para lazer na região, agrega também para a qualidade de vida dos habitantes (CAHILL; 2000, DASHPER; KING, 2021, SANTOS; CHAVES; VIEIRA, 2022).

A execução de medidas estruturais pode ser feita utilizando-se de recursos provenientes da aplicação de tarifas ao sistema de drenagem pluvial, a exemplo do que já é feito em países como a Alemanha, França, Polónia, Dinamarca, Inglaterra e País de Gales, Suécia, Suíça, Estados Unidos da América, Canadá e África do Sul (OLIVEIRA, 2022). Segundo a mesma autora, a Alemanha e a França aplicam taxas sobre a drenagem de águas pluviais de acordo, principalmente, com as medidas das áreas impermeáveis, havendo ainda incentivos para a adoção de práticas que provoquem a ampliação da permeabilidade dos lotes.

## 1.4 CONCLUSÃO

Na análise do Cenário I foi possível detectar a problemática relacionada com supressão das áreas de mata ciliares, além disso, observou-se áreas com depressões naturais.

Para os cenários idealizados foram aplicadas medidas condizentes com a hidrologia urbana, restaurando a mata ciliar dos corpos hídricos e nascentes associando tais medidas a implantação de bacias de infiltração e de retenção para o Cenário II e Cenário III respectivamente, por serem os dispositivos que mais se mostram adequados às características topográficas da região. Quatro bacias foram alocadas nas depressões naturais dos exutórios das sub-bacias em que se encontravam.

A simulação e comparação entre os cenários I e II não revelou êxito na implantação das bacias de infiltração, resultando em um aumento de 2,10% das vazões de pico. A explicação para tal efeito está na ocupação da área e também nas características do solo. Solos de baixa capacidade permeável associados à ocupação urbana resultam na não eficiência das bacias de infiltração. A comparação entre os cenários I e III demonstrou amortização de 28,34%, mostrando que as bacias de retenção são uma medida eficiente, já que sua forma de esgotamento conta com dreno profundo e não somente com a infiltração dos volumes no solo. Estes resultados podem ser otimizados com a implantação da bacia de retenção *inline* sem impermeabilização.

Recomenda-se para a área novo estudo hidrológico investigando a eficiência da coleta de águas pluviais através dos telhados das residências e reservação destes volumes em cisternas estanques. Tal prática, conhecida como controle dos volumes na fonte, já é realizada e regulamentada através de legislação em várias cidades pelo país.

### 3 CONCLUSÃO GERAL

A ocupação desordenada trás diversos prejuízos ao planejamento do território e a qualidade de vida da população. As ocupações das faixas marginais dos corpos hídricos, ainda que em áreas tidas como consolidadas não impedem a ocorrência de desastres de origem hidrológica, permanecendo a população constantemente vulnerável a esses eventos. Ademais, a interpretação equivocada na demarcação da área consolidada despreza as exigências de não ocupação das APPs em regiões que apresentam risco de desastres, previstas na Lei nº 14.285, de 29 de dezembro de 2021.

Também é notável a ausência de estudos hidrológicos para a implantação de infraestruturas de manejo sustentável das águas pluviais, sendo a metodologia tradicional amplamente empregada, apesar de esta ser facilmente associada a elevação das vazões de pico das bacias hidrográficas.

A aplicação de estudo de morfometria na bacia hidrográfica do rio Ponte Grande revelou que, sem alterações antrópicas, a área já apresenta tendências a inundações, dada a baixa permeabilidade do solo da região. Isso torna a realidade ainda mais preocupante já que urbanização impermeabiliza as superfícies no processo de uso e ocupação da terra e intensifica a geração de escoamento superficial.

Buscando gerir esta problemática, a modelagem foi empregada com a montagem de três cenários, onde o primeiro representava a realidade atual e o segundo e terceiro idealizados de forma a reestabelecer as APPs suprimidas, retirando as ocupações divergentes, e aplicando bacias de infiltração e retenção nos cenários II e III respectivamente.

O cenário II apresentou elevação das vazões de pico em 2,15%, cuja explicação se encontra no funcionamento do dispositivo, pois a bacia de infiltração trabalha com a percolação dos volumes armazenados no solo. Como a região apresenta solo com baixa permeabilidade o sistema não se mostrou eficiente.

O cenário III resultou 28,38% de amortização das vazões de pico. Como o dispositivo trabalha com descarga através de dreno profundo as vazões serão liberadas lentamente para os corpos hídricos, o que demonstra que essa é a técnica mais adequada para aplicação na área de estudo.

A verificação através de outros softwares que possuam configurações menos rigidez que permitam maior liberdade no desenvolvimento de diferentes estruturas aplicáveis a diferentes poderá apresentar melhores resultados.

## REFERENCIAS

- AGUIAR, W J; BRAGA, R A P; SELVA, V s F; SOBRAL, M C M. Integração entre planos diretores municipais e planos de bacias hidrográficas no Semiárido Nordeste: perspectivas para a governança. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [s. l], v. 15, n. 1, p. 487-502, mar. 2022. Bimestral.
- AKTER, A.; TANIM, A. H.; ISLAM, M. K. Possibilities of urban flood reduction through distributed-scale rainwater harvesting. **Water Science And Engineering**, [S.L.], v. 13, n. 2, p. 95-105, jun. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wse.2020.06.001>.
- AL-HURBAN, A.; AL-RUWAIH, F.; AL-DUGHAIIRI, A. Quantitative Geomorphological and Hydromorphometric Analysis of Drainage Basins of As Sabriyah (Kuwait) Using GIS Techniques. **Journal Of Geographic Information System**, [S.L.], v. 13, n. 02, p. 166-193, 2021. Scientific Research Publishing, Inc.. <http://dx.doi.org/10.4236/jgis.2021.132010>.
- ALVES, W. S.; MARTINS, A. M.; PÔSSA, É. M.; MOURA, D. M.; SANTOS, L. N. S.; FERREIRA, R. S.; NUNES, N. C.; PEREIRA, M. A. B.; MOREIRA, E. P. Morfometria da Bacia Hidrográfica do Rio Verdinho, Sudoeste de Goiás, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 07, p. 3636-3658, 2020.
- A'SAF, T. S.; AL-AJLOUNI, M. G.; AYAD, J. Y.; OTHMAN, Y. A.; HILAIRE, R. St. Performance of six different soilless green roof substrates for the Mediterranean region. **Science Of The Total Environment**, [S.L.], v. 730, p. 139182, ago. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139182>.
- ABCP. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (São Paulo). Soluções Para Cidades. Reservatórios de Detenção. 2020. Disponível em: <https://www.solucoesparacidades.com.br/saneamento/reservatorios-de-detencao/>. Acesso em: 10 abr. 2022.
- ASSOCIAÇÃO RURAL DE LAGES. Um pouco da história. Um pouco da história. Disponível em: <https://lagesrural.com.br/historia>. Acesso em: 06 mar. 2022.
- BARÃO, Milton. Choveu 43mm nas últimas 24h em Lages, com muitas ocorrências. 2022. Disponível em: <https://www.lages.sc.gov.br/noticia-descricao/3595/blog-da-prefa:-choveu-43mm-nas-ultimas-24h-em-lages,-com-muitas-ocorrencias->. Acesso em: 10 abr. 2022.
- BATISTA, D. F.; CABRAL, J. B. P.; ROCHA, T.; BARBOSA, G. R. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Ribeirão Santo Antônio - GO. **Geoambiente On-Line**, [S.L.], n. 29, 16 jan. 2018. Universidade Federal de Goiás. <http://dx.doi.org/10.5216/revgeoamb.v0i29.50882>.
- BELATO, L. S.; SERRÃO, S. L. C.; AMORIM, R. G.; COELHO, R.; DIAS, R. P.; CORDEIRO, A. C. C.; MOREIRA, L.; ANDRADE, D.; LEMOS, F.; OLIVEIRA, T. J. J.; ROSÁRIO, R.; MIRANDA, G. Proposta metodológica para mapeamento da vulnerabilidade socioambiental: caso do município de Belém, Pará, Brasil. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.12, n.3, p.554-569, 2021. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.003.0045>
- BERTOL, I.; BEUTLER, J. F.; LEITE, D.; BATISTELA, O. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. **Scientia Agricola**, v. 58, n. 3, p. 555-560, 2001. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162001000300018>

BONNET, S. M.; DEREZYNSKI, C. P.; NUNES, A. Caracterização Sinótica e Climatológica de Eventos de Chuva Pós-Frontal no Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 33, n. 3, p. 547-557, Sept. 2018. Available from <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0102-77862018000300547&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-77862018000300547&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em 18 mai. 2021.

BORGERT, A. E. MARTINS, Leandro Guimarães Bais. **Avaliação do potencial de aplicação de técnicas compensatórias em áreas urbanas consolidadas**. 2017.

BRASIL. Lei n. 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Brasília: DOU, 2012.

BRASIL. Lei nº 14.285, de 29 de dezembro de 2021. Altera as Leis n os 12.651, de 25 de maio de 2012, que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa, 11.952, de 25 de junho de 2009, que dispõe sobre regularização fundiária em terras da União, e 6.766, de 19 de dezembro de 1979, que dispõe sobre o parcelamento do solo urbano, para dispor sobre as áreas de preservação permanente no entorno de cursos d'água em áreas urbanas consolidadas. BRASIL. Lei n. 12.651, de 25 de maio de 2012. Institui o novo Código Florestal Brasileiro. Brasília: DOU, 2021.

BRASIL. Presidência da República. Decreto nº. 23.793, de 23 de janeiro de 1934. Aprova o Código Florestal. Brasília: DOU, 1934.

BRASIL. Resolução CONAMA Nº 429, de 28 de fevereiro de 2011. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=644>. Acesso em: 27 ago. 2019

CADORE, R. C.; ADAMATTI, D. S.; BRAVO, J. M. Estruturas sustentáveis de desenvolvimento de baixo impacto e modelos hidrológicos. **Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, [s. l], v. 23, n. , p. 1-10, 24 nov. 2019

CAHILL, Caitlin. Street Literacy: urban teenagers' strategies for negotiating their neighbourhood. **Journal Of Youth Studies**, [S.L.], v. 3, n. 3, p. 251-277, set. 2000. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/713684375>.

CAMARA MUNICIPAL DE LAGES. **PROJETO DE LEI Nº 0064/2017**. 2017. Disponível em: <https://www.camaralages.sc.gov.br/proposicoes/Projetos-de-Lei/2017/1/0/26029>. Acesso em: 05 jun. 2020.

CANHOLI, Aluisio. P. Drenagem urbana e controle de enchentes. 2. ed. **São Paulo: Oficina de Textos**, 2014.

CARULLI, E. E.; FERRARA, L. N.; MACHADO, É. C. M.; GRACIOSA, M. C. P. A dimensão ambiental na urbanização de favelas: visão crítica sobre drenagem nos estudos de caso das bacias do Ponte Baixa e Sapé. In: ENCONTRO NACIONAL PELOS DIREITOS HUMANOS À ÁGUA E AO SANEAMENTO, Brasília. **Anais eletrônicos...** Brasília: Observatório Nacional dos Direitos à água e ao saneamento. 11 dez. 2021.. Disponível em: <[https://web.archive.org/web/20220113175238id\\_/https://www.sisgeenco.com.br/anais/endorhas/2021/arquivos/PC32474488880-01.pdf](https://web.archive.org/web/20220113175238id_/https://www.sisgeenco.com.br/anais/endorhas/2021/arquivos/PC32474488880-01.pdf)>. Acesso em: 21 jan. 2022

CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS. UDESC. **Histórico do Centro de Ciências Agroveterinárias da Udesc.** 2020. Disponível em: <https://www.udesc.br/cav/sobreocentro/historico>. Acesso em: 28 mar. 2022.

CELESC. **Ligações de novas unidades consumidoras: áreas legalmente protegidas.** 2016. Disponível em: [https://www.celesc.com.br/arquivos/manuais/Cartilha-APP\\_Celesc.pdf](https://www.celesc.com.br/arquivos/manuais/Cartilha-APP_Celesc.pdf). Acesso em: 26 jul. 2021.

CHAGAS, P. Prefeitura vai entregar 200 casas do Condomínio Ponte Grande. 2018. Disponível em: <https://lageshoje.com.br/prefeitura-vai-entregar-200-casas-do-condominio-ponte-grande/>. Acesso em: 03 fev. 2022.

CHEN, Lu-Ming et al. Assessment of clogging of permeable pavements by measuring change in permeability. **Science of the Total Environment**, v. 749, p. 141352, 2020.

COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. Hidrologia para engenharia e ciências ambientais. Porto Alegre: Editora **ABRH**, 2013.

CRUZ, C. E. S. REGULARIZAÇÃO FUNDIÁRIA E CIDADE SUSTENTÁVEL: panorama sobre tendências atuais da urbanização brasileira. **Revista de Direito Urbanístico, Cidade e Alteridade**, [S.L.], v. 4, n. 1, p. 59, 20 ago. 2018. Conselho Nacional de Pesquisa e Pos-Graduacao em Direito - CONPEDI. <http://dx.doi.org/10.26668/indexlawjournals/2525-989x/2018.v4i1.4282>.

CURITIBA. Decreto nº 1733, de 10 de outubro de 2019. “Dispõe sobre os critérios para implantação dos mecanismos de contenção de cheias para retenção e/ou detenção de águas pluviais.”. **Decreto Nº 1733**. I. ed. Curitiba, PR,

DASHPER, K.; KING, J.. The outdoors as a contested leisure terrain. **Annals Of Leisure Research**, [S.L.], v. 25, n. 3, p. 435-443, 12 abr. 2021. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/11745398.2021.1899832>.

DEFESA CIVIL. **COBRADE – Classificação e Codificação Brasileira de Desastres.** 2019. Disponível em: <https://www.defesacivil.sc.gov.br/download/cobra-de/>. Acesso em 07 de ago. 2020.

ECKART, K.; MCPHEE, Z.; BOLISSETTI, T. Performance and implementation of low impact development – A review. *Science Of The Total Environment*, [S.L.], v. 607-608, p. 413-432, dez. 2017. **Elsevier BV**. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.254>.

EL-FAKHARANY, M. A.; MANSOUR, N. M. Morphometric analysis and flash floods hazards assessment for Wadi Al Aawag drainage Basins, southwest Sinai, Egypt. *Environmental Earth Sciences*, [S.L.], v. 80, n. 4, p. 168, fev. 2021. **Springer Science and Business Media LLC**. <http://dx.doi.org/10.1007/s12665-021-09457-1>.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, Rio de Janeiro, RJ. **Súmula da 10ª reunião Técnica de Levantamento de Solos**. Rio de Janeiro: 1979. 83p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. O novo mapa de solos do Brasil: legenda atualizada. **EMBRAPA Solos**, 2008

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. O novo mapa de solos do Brasil: legenda atualizada. **EMBRAPA Solos**, 2011.

FAUZIAH, S.; WAHYUDI, S. I.; POEDJASTOETI, H. Analisis Saluran Drainase di



Pusat Kota Jepara dengan Program EPA SWMM 5.1 dan HEC RAS 4.1.0. **Bentang: Jurnal Teoritis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil**, [S.L.], v. 10, n. 2, p. 97-108, 6 jul. 2022. Universitas Islam 45. <http://dx.doi.org/10.33558/bentang.v10i2.3197>.

FERNANDEZ, O. V. Q. Simulação da vazão máxima pelo método de Ven Te Chow (scs) em bacias hidrográficas urbanizadas de Marechal Cândido Rondon, Paraná. **Geographia Meridionalis**, [S.L.], v. 4, n. 2, p. 246, 28 jan. 2019. Universidade Federal de Pelotas. <http://dx.doi.org/10.15210/gm.v4i2.14502>.

FILIANOTI, P.; GURNARI, L.; ZEMA, D. A.; BOMBINO, G.; SINAGRA, M.; TUCCIARELLI, T. An Evaluation Matrix to Compare Computer Hydrological Models for Flood Predictions. **Hydrology**, [S.L.], v. 7, n. 3, p. 42, 15 jul. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/hydrology7030042>.

FIORESE, C. H. Caracterização morfométrica da sub-bacia hidrográfica do córrego Mão Forte Quente, Espírito Santo. 2021.

FRAGOSO, M. L., & SILVA, T. A. A. da. Desastre, risco e vulnerabilidade urbana: uma análise a partir das enchentes e inundações no município de Escada/PE. *Revista Cadernos De Ciências Sociais Da UFRPE*, 1(14), 36–53. Recuperado de <http://200.17.137.114/index.php/cadernosdecienciasocias/article/view/2564>

FREITAS, R. O. Textura de drenagem e sua aplicação geomorfológica. **Boletim Paulista de Geografia**. São Paulo, v. 11, p.53-57, 1952.

GARCIA, Y. M.; CAMPOS, S.; TAGLIARINI, F. S. N.; CAMPOS, M.; RODRIGUES, B. T.. Declividade e potencial para mecanização agrícola da bacia hidrográfica do Ribeirão Pederneiras - Pederneiras/SP. **Revista Brasileira de Engenharia de Biossistemas**, [S.L.], v. 14, n. 1, p. 62-72, 31 mar. 2020. Universidade Estadual Paulista - Campus de Tupa.

GIGLIO, J.; KOBIYAMA, M. Intercepção da Chuva: uma revisão com ênfase no monitoramento em florestas brasileiras. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [S.L.], v. 18, n. 2, p. 297-317, 2013. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v18n2.p297-317>.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA.

Censo Demográfico, 2010. Disponível em:<[www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)>. Acesso em: 17 mar. 2021.

GROPPO, J.; SALEMI, L. F.; MORAES, J. M.; TREVISAN, R.; MARTINELLI, L. A. Processos hidrológicos em uma sub-bacia do Parque Estadual da Serra do Mar, núcleo Santa Virgínia. **Ciência Florestal**, [S.L.], v. 29, n. 2, p. 595, 30 jun. 2019. Universidad Federal de Santa Maria. <http://dx.doi.org/10.5902/1980509831323>

ICE, G.. History of innovative best management practice development and its role in addressing water quality limited waterbodies. **Journal Of Environmental Engineering**, Corvallis, v. 130, n. 6, p. 684-689, jul. 2004. Disponível em: [https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/\(ASCE\)0733-9372\(2004\)130:6\(684\)](https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)0733-9372(2004)130:6(684)). Acesso em: 25 maio 2022.

KASPRZYK, M.; SZPAKOWSKI, W.; POZNAŃSKA, E.; BOOGAARD, F. C.; BOBKOWSKA, K.; GAJEWSKA, M. Technical solutions and benefits of introducing rain gardens – Gdańsk case study. **Science Of The Total Environment**, [S.L.], v. 835, p. 155487, ago. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155487>.

KIM, Hwansuk; MALLARI, Kristine Joy B.; BAEK, Jongrak; PAK, Gijung; CHOI, Hyun Il; YOON, Jaeyoung. Considering the effect of groundwater on bioretention using the Storm Water Management Model. **Journal Of Environmental Management**, [S.L.], v. 231, p. 1270-1276, fev. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.03.032>.

KING, A.; ODUNITAN-WAYAS, F.; CHAUDHURY, M.; RUBIO, M.; BAIOCCHI, M.; KOLBE-ALEXANDER, T.; MONTES, F.; BANCHOFF, A.; SARMIENTO, O.; BÄLTER, K. Community-Based Approaches to Reducing Health Inequities and Fostering Environmental Justice through Global Youth-Engaged Citizen Science. **International Journal Of Environmental Research And Public Health**, [S.L.], v. 18, n. 3, p. 892, 21 jan. 2021. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph18030892>.

KUMAR, Prashant; DEBELE, Sisay E.; SAHANI, Jeetendra; RAWAT, Nidhi; MARTI-CARDONA, Belen; ALFIERI, Silvia Maria; BASU, Bidroha; BASU, Arunima Sarkar; BOWYER, Paul; CHARIZOPOULOS, Nikos. Nature-based solutions efficiency evaluation against natural hazards: modelling methods, advantages and limitations. **Science Of The Total Environment**, [S.L.], v. 784, p. 147058, ago. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147058>.

LAGES. Alexandre Lenzi. Defesa Civil. **Arquivo do dia**: 6 de junho de 2017. 6 de junho de 2017. 2017. Disponível em: <https://www.defesacivil.sc.gov.br/2017/06/06/>. Acesso em: 26 maio 2020.

LAGES. Marcelo Pakinha. Gabinete. **Festa no Guarujá celebra os 67 anos do bairro e “Dia D” do Comunidade Melhor**. 2019. Disponível em: <https://www.lages.sc.gov.br/noticia-descricao/457/fe>

LAGES. Ari Junior. Defesa Civil Municipal (org.). Atualização Defesa Civil Lages: acumulado de chuva nas últimas 24 horas é de 121.8mm. acumulado de chuva nas últimas 24 horas é de 121.8mm. 2022. Disponível em: <https://www.lages.sc.gov.br/noticia-descricao/3761/atualizacao-defesa-civil-lages:-acumulado-de-chuva-nas-ultimas-24-horas-e-de-121.8mm>. Acesso em: 03 maio 2022.

LAGES. Lei Complementar nº 523, de 22 de agosto de 2018. Institui o Plano Diretor de Desenvolvimento Territorial de Lages - PDDT - Lages. 2018.

LAVNITCKI, Laís. **Avaliação da qualidade da água superficial e sedimentos da bacia hidrográfica do Rio Ponte Grande no município de Lages/SC**. 2018. 131 p. Dissertação (Mestrado)- Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Mestrado em Ciências Ambientais, Lages, 2018.

LEMO, M. R.; BECEGATO, V. A.; BECEGATO, V. R.; ROSINI, D. N. Estudo do desenvolvimento urbano da bacia hidrográfica do Rio Ponte Grande, em Lages/SC. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.12, n.1, p.347-361, 2021. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.001.0029>

LIMA, W. J. R.; SANTOS, F. A.; CRUZ, M. L. B. Análise dos parâmetros morfométricos da sub-bacia hidrográfica do riacho Caraúna, em Quixeramobim (Ceará). **Geoambiente On-Line**, [S.L.], n. 29, p. 1-1, 16 jan. 2018. Universidade Federal de Goiás. <http://dx.doi.org/10.5216/revgeoamb.v0i29.42567>.

LORENZON, A. S.; DIAS, H. C. T.; TONELLO, K. C. Escoamento superficial da água da chuva em um fragmento florestal de Mata Atlântica, Viçosa-MG. **Revista Brasileira**

**de Agropecuária Sustentável**, [S.L.], v. 5, n. 1, 30 jul. 2015. Revista Brasileira de Agropecuaria Sustentavel. <http://dx.doi.org/10.21206/rbas.v5i1.316>.

LUAN, Bo; YIN, Ruixue; XU, Peng; WANG, Xin; YANG, Xiaomin; ZHANG, Lan; TANG, Xiaoyan. Evaluating Green Stormwater Infrastructure strategies efficiencies in a rapidly urbanizing catchment using SWMM-based TOPSIS. *Journal Of Cleaner Production*, [S.L.], v. 223, p. 680-691, jun. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.028>.

MAMÉDIO, F.; CASTRO, N. M. R.; CORSEIUL, C. W. Tempo de concentração para Bacias Rurais Monitoradas na Região do Planalto Basáltico no Sul do Brasil. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, [S.L.], v. 15, n. 1, p. 4-4, 20 jul. 2018. Associacao Brasileira de Recursos Hidricos - ABRH. <http://dx.doi.org/10.21168/rega.v15e1>.

MAKRAKIS, M. C. **Mapeamento e análise das áreas suscetíveis a inundações do município de Lages - SC**. 2017. 92 f. Tese (Doutorado) - Curso de Sensoriamento Remoto, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

MAPBIOMAS. **Mosaicos Landsat**. 2021. Disponível em: [https://storage.googleapis.com/mapbiomas-public/brasil/collection-6/lclu/coverage/brasil\\_coverage\\_1985.tif](https://storage.googleapis.com/mapbiomas-public/brasil/collection-6/lclu/coverage/brasil_coverage_1985.tif). Acesso em: 20 mar. 2022.

MARTINS, Leandro Guimarães Bais. **Avaliação do potencial de aplicação de técnicas compensatórias em áreas urbanas consolidadas**. 2017.

MCCUEN, R. H. Hydrologic design and analysis. **Prince Hall, New Jersey**, ed. 2nd. p.814, 1998.

MASCIOPINTO, C.; GIGLIO, O.; SCRASCIA, M.; FORTUNATO, F.; ROSA, G.; SUFFREDNI, E.; PAZZANI, C.; PRATO, R.; MONTAGNA, M. T. Human health risk assessment for the occurrence of enteric viruses in drinking water from wells: role of flood runoff injections. **Science Of The Total Environment**, [S.L.], v. 666, p. 559-571, maio 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.107>.

MELO, D. O. S.; SANTOS, L. S.; BARBOSA, A. G.; MENDES, L. A. Caracterização morfométrica da Bacia Hidrográfica do rio Real pelo uso de dados SRTM e tecnologias SIG. *Revista Brasileira de Geografia Física*, [S.L.], v. 13, n. 07, p. 3554, 11 dez. 2020. *Revista Brasileira de Geografia Física*. <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v13.07.p3554-3570>.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. Panorama do saneamento básico no Brasil - vol 2.: Análise situacional do déficit em saneamento básico. MORAES, L. R. S. (coord). Brasília: Ministério das Cidades/ Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, 2014. 340 p

MIRANDA, M S A; FARIAS, J F. Unidades geoecológicas do médio curso da bacia hidrográfica do Rio Potengi-RN: apontamentos para um futuro sustentável. **REDE-Revista Eletrônica do PRODEMA**, v. 1, n. 15, p. 94-104, 2021.

MORAES, Iran Rosa. Atualização Chuvas: famílias afetadas recebem atendimentos da defesa civil municipal. famílias afetadas recebem atendimentos da Defesa Civil Municipal. 2021. Disponível em: <https://www.lages.sc.gov.br/noticia-descricao/2737/atualizacao-chuvas:-familias-afetadas-recebem-atendimentos-da-defesa-civil-municipal->. Acesso em: 01 abr. 2022.

ND REDAÇÃO. Veja os vídeos da enchente em Lages. 2011. Disponível em: <https://ndonline.com.br/florianopolis/noticias/veja-os-videos-da-enchente-em-lages>. Acesso em: 24 nov. 2018.

NETO, S. L. R.; RICARDO, G. S.; MENDES, C. F.; CUNHA, M. B. Modelagem hidráulica dos eventos de inundações em Lages (SC). In: **VI Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental**. Anais eletrônicos. Porto Alegre, RS. 2015.

OLIVEIRA, J. C. **Caracterização ambiental da bacia hidrográfica do rio Ponte Grande no município de Lages - SC**. 2015. 152 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental - Área: Ecologia de espécies florestais e ecossistemas associados) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Lages/SC, 2015.

OLIVEIRA, V. I. P. S. **A Integração das Redes Hidrográficas e Pluviais no Ciclo Urbano da Água. Problemas, Perspetivas, Implicações e Soluções**. 2022. 131 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Engenharia do Ambiente, Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, Porto, 2022.

ONGDAS, N.; AKIYANOVA, F.; KARAKULOV, Y.; MURATBAYEVA, A.; ZINABDIN, N. Application of HEC-RAS (2D) for Flood Hazard Maps Generation for Yesil (Ishim) River in Kazakhstan. **Water**, [S.L.], v. 12, n. 10, p. 2672, 24 set. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/w12102672>.

PAN, L.; CHEN, Y.; ZHANG, T. Impact of urbanization on flood of Shigu creek in Dongguan city. **Proceedings Of The International Association Of Hydrological Sciences**, [S.L.], v. 379, p. 55-60, 5 jun. 2018. Copernicus GmbH. <http://dx.doi.org/10.5194/piahs-379-55-2018>.

PEREIRA, M. C. S.; GOBATTI, L.; SOARES, M. C.; LEITE, B. C. C.; MARTINS, J. R. S. Soluções baseadas na natureza: quadro da ocupação da cidade de São Paulo por células de biorretenção. **Revista Labverde**, [S.L.], v. 11, n. 1, p. 95-120, 14 dez. 2021. Universidade de São Paulo, Agência USP de Gestão da Informação Acadêmica (AGUIA). <http://dx.doi.org/10.11606/issn.2179-2275.labverde.2021.189292>.

POUR, S. H.; WAHAB, A. K. A.; SHAHID, S.; ASADUZZAMAN, M.; DEWAN, A. Low impact development techniques to mitigate the impacts of climate-change-induced urban floods: current trends, issues and challenges. **Sustainable Cities And Society**, [S.L.], v. 62, p. 102373, nov. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scs.2020.102373>.

RIBEIRO, A. M.; PASQUALETTO, A.; GARÇÃO, A. L. PROPOSTA DE PLANO DE RECUPERAÇÃO DA MATA CILIAR DO RIO DO PEIXE - MUNICÍPIO DE SANTA CRUZ DE GOIÁS- GO. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, [S.L.], v. 7, n. 4, p. 761, 12 dez. 2018. Universidade do Sul de Santa Catarina - UNISUL. <http://dx.doi.org/10.19177/rgsa.v7e42018761-781>

ROCHAT, E. **Rainwater Harvesting Laws You Need to Know About**. 2020. Perfect Water. Disponível em: <https://4perfectwater.com/blog/rainwater-harvesting-laws#:~:text=Is%20it%20Illegal%20to%20Harvest,that%20falls%20on%20their%20prperty..> Acesso em: 25 jun. 2021.

RODRIGUES, G. C.; SANTINI, M. A. Avaliação do emprego de técnicas compensatórias na sub-bacia urbana Ribeirão do Santa Rita do município de Fernandópolis, São Paulo. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 26, p. 231-237, 2021.

ROSSMAN, L. A. **Storm water management model user's manual, version 5.0**. Cincinnati: National Risk Management Research Laboratory, Office of Research and Development, US Environmental Protection Agency, 2010.

SANTA CATARINA. Resolução nº 196, de 3 de junho de 2022. Estabelece orientações com objetivo de unificar procedimentos na aplicação da Lei nº 14285, 29 de dezembro de 2021 que alterou a Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa, a Lei nº 11.952, de 25 de junho de 2009, que dispõe sobre regularização fundiária em terras da União, e Lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979, que dispõe sobre o parcelamento do solo urbano, para dispor sobre as áreas de preservação permanente no entorno de cursos d'água em áreas urbanas consolidadas.. **Resolução Consema Nº 196, de 3 de Junho de 2022..** Florianópolis, SC

SANTOS, A. V., BOUÉRES, L. M. S., & PEREIRA, M. R. Políticas urbanas brasileiras: Importância de espaços públicos no bairro Cantinho do Céu. *Revista do CEDS*, 2(10).

SANTOS, L. P.s; CHAVES, S. V. V.; VIEIRA, V. C. B. ESPAÇOS PÚBLICOS E QUALIDADE DE VIDA NAS CIDADES: uma análise do plano diretor de ordenamento territorial de teresina (pdot). *Revista Equador*, [S.L.], v. 10, n. 3, p. 103-123, 23 fev. 2022. Universidade Federal do Piauí. <http://dx.doi.org/10.26694/equador.v10i3.12959>.

SANTOS, V. J.s; CHAVES, M. V.; BERLANDA, A.; STEINSHEUSER, D. F.. **Análise e dimensionamento para implantação de drenagem pluvial, com modelagem e aplicação de técnicas LID, através do software SWMM, para bacia hidrográfica do rio Ponte Grande, com ênfase na rua Independência, Lages/SC**. 06. ed. Lages: Universidade do Planalto Catarinense, 2020. 224 p. (Projeto realizado para o Plano de Drenagem de Lages).

SANTOS H. G.; ZARONI, M. J. ALMEIDA E. P. C.; Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Cambissolos Húmicos. 2020. Disponível em: [https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos\\_tropicais/arvore/CONT000gn1sba0i02wx5ok0liq1mqkbnn5r8.html](https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONT000gn1sba0i02wx5ok0liq1mqkbnn5r8.html). Acesso em: 1 abr. 2022.

SARTORI, A. **Avaliação da Classificação Hidrológica do Solo para a Determinação do Excesso de Chuva do Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos**. 2004. 189 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Comissão de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

SCHUMM, Stanley A. Evolution of drainage systems and slopes in badlands of Perth Amboy. *Geological Society of America Bulletin*, n. 67, p. 597-646, 1956.

SIA, N. B. P.; SILVA, J. C. Drenagem Urbana - cálculos e estimativas através do Modelo Soil Conservation Service (SCS). / Urban Drainage - calculations and estimates using the model Soil Conservation Service (SCS). *Brazilian Journal Of Development*, [S.L.], v. 7, n. 4, p. 33506-33514, 1 abr. 2021. South Florida Publishing LLC. <http://dx.doi.org/10.34117/bjdv7n4-011>

SIEGA, L. Redação Revista Visão. Obras de saneamento do Complexo Ponte Grande são retomadas. Mas somente agora? Não estavam em obras há um bom tempo? 2018. Disponível em: <http://portal.revistavisao.com.br/post/28897/obras-de-saneamento-do-complexo-ponte-grande-sao-retomadas-mas-somente-agora-nao-estavam-em-obras-ha-um-bom-tempo/>. Acesso em: 03 fev. 2022.

SILVEIRA, A. L. L. Desempenho de fórmulas de tempo de concentração em bacias urbanas e rurais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 10, n. 1, p. 5-23, 2005.

SILVEIRA, A. L. L.; GOLDENFUM, J. A. Metodologia generalizada para pré-dimensionamento de dispositivos de controle pluvial na fonte. **Rbrh: revista brasileira de recursos hídricos**. Porto Alegre, RS. Vol. 12, no. 2 (abr./jun. 2007), p. 157-168, 2007.

Sistema de Informações Geográficas de Santa Catarina (SIG SC). **Sistema de download:** dados matriciais e vetoriais. Dados matriciais e vetoriais. 2012. Disponível em: <http://sigsc.sc.gov.br/download/index.jsp>. Acesso em: 25 set. 2021.

SHAFIQUE, M.; KIM, R.; RAFIQ, M. Green roof benefits, opportunities and challenges—A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 90, p. 757-773, 2018.

SHI, P.; LI, P.; LI, Z.; SUN, J.; WANG, D.; MIN, Z.. Effects of grass vegetation coverage and position on runoff and sediment yields on the slope of Loess Plateau, China. **Agricultural Water Management**, Lages, v. 259, n. 107231, p. 30-35, jan. 2022. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378377421005084>. Acesso em: 01 abr. 2022.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO (SNIS). **Diagnóstico dos Serviços de água e Esgoto:** 2018. 2018. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/diagnostico-anual-agua-e-esgotos/diagnostico-dos-servicos-de-agua-e-esgotos-2018>. Acesso em: 30 maio 2022

SOUSA, R. E. S.; GONÇALVES, G. F. G.. Um estudo sobre os impactos decorrentes de inundações no município de Belo Horizonte. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**. v. 7, n. 3, p. 591, 3 out. 2018. Universidade do Sul de Santa Catarina - UNISUL. <http://dx.doi.org/10.19177/rgsa.v7e32018591-605>.

SOUZA, C. V. F.; OLIVEIRA, R.H.; CATALDI, M. Avaliação Numérica da Influência da Urbanização no Regime de Convecção e nos Padrões de Precipitação da Região Metropolitana de São Paulo. *Revista Brasileira de Meteorologia*, [S.L.], v. 32, n. 4, p. 495-508, dez. 2017. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0102-7786324001>.

STRAHLER, A. N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. **Transaction of American Geophysical Union**, v.38, n.6, p.913-920, 1957.

THANVISITTHPON, N. Impact of land use transformation and anti-flood infrastructure on flooding in world heritage site and peri-urban area: a case study of thailand's ayutthaya province. *Journal Of Environmental Management*, [S.L.], v. 247, p. 518-524, out. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.06.094>.

TAVARES, C. M. G.; FERREIRA, C. C. M. A relação entre a orografia e os eventos extremos de precipitação para o município de Petrópolis- RJ. **Revista Brasileira de Climatologia**, [S.L.], v. 26, p. 752-783, 11 jun. 2020. Universidade Federal do Paraná. <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v26i0.71123>.

TUCCI, C. E. M.. DRENAGEM URBANA. **Ciência e Cultura: Gestão das águas**, São Paulo, v. 55, n. 4, p. 36-37, dez. 2003.

TURMINA, Eliana et al. Banco de sementes do solo em área de recuperação com histórico agropecuário. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 12, n. 8, p. 65-74, 2021.

VAN WELIE, M. J.; ROMIJN, H. A. NGOs fostering transitions towards sustainable urban sanitation in low-income countries: insights from transition management and development studies. **Environmental Science & Policy**, [S.L.], v. 84, p. 250-260, jun. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsci.2017.08.011>.

VEMULA, S.; RAJU, K. S.; VEENA, S. S. Modelling impact of future climate and land use land cover on flood vulnerability for policy support – Hyderabad, India. **Water Policy**, [S.L.], v. 22, n. 5, p. 733-747, 27 jul. 2020. IWA Publishing. <http://dx.doi.org/10.2166/wp.2020.106>.

VERMA, S.; VERMA, R. K.; MISHRA, S. K.; SINGH, A.; JAYARAJ, G. K.. A revisit of NRCS-CN inspired models coupled with RS and GIS for runoff estimation. **Hydrological Sciences Journal**, [S.L.], v. 62, n. 12, p. 1891-1930, 4 ago. 2017. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/02626667.2017.1334166>.

VIEGAS, S.; ALMEIDA, R. M.; SOUZA, F. S. A identificação das áreas de preservação permanente no município de Santarém, estado do Pará, Brasil, a partir de técnicas de geoprocessamento. **Revista Geonorte**, [S.L.], v. 9, n. 33, p. 153-169, 18 dez. 2018. Revista Geonorte. <http://dx.doi.org/10.21170/geonorte.2018.v.9.n.33.153.169>.

WANG, Mo; ZHANG, Dong Qing; SU, Jin; DONG, Jian Wen; TAN, Soon Keat. Assessing hydrological effects and performance of low impact development practices based on future scenarios modeling. *Journal Of Cleaner Production*, [S.L.], v. 179, p. 12-23, abr. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.096>.

WYŚGA, B.; KUNDZEWICZ, Z. W.; KONIECZNY, R.; PINIEWSKI, M.; ZAWIEJSKA, J.; RADECKI-PAWLIK, A. Comprehensive approach to the reduction of river flood risk: case study of the upper vistula basin. **Science Of The Total Environment**, [S.L.], v. 631-632, p. 1251-1267, ago. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.015>.

YANG, W.; ZHANG, J.; KREBS, P. Low impact development practices mitigate urban flooding and non-point pollution under climate change. **Journal of Cleaner Production**, v. 347, p. 131320, 2022.

YU, S. L.; JIA, H. China's ambitious Sponge City initiative: A monumental effort for green/gray infrastructure integration. **ASCE EWRI Currents**, v. 17, n. 4, p. 8-9, 2016.

ZARONI, M. J.; SANTOS, H. G. (Brasília). Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Solos Tropicais: Cambissolos. 2020. Disponível em: [https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos\\_tropicais/arvore/CONTAG01\\_8\\_212200611538.html](https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONTAG01_8_212200611538.html). Acesso em: 20 abr. 2022

ZAZYKI, M. A.; MARIN, S.; MOURA, G. L. IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO BRASILEIRA E O DIREITO DE PROPRIEDADE. **Revista Gestão e Desenvolvimento**, [S.L.], v. 17, n. 3, p. 34, 21 out. 2020. Associacao Pro-Ensino Superior em Novo Hamburgo. <http://dx.doi.org/10.25112/rgd.v17i3.1993>.

ZHANG, S; ZHE, L. Simulation of Urban Rainstorm Waterlogging and Pipeline Network Drainage Process Based on SWMM. **Journal Of Physics: Conference Series**, [S.L.], v. 1213, p. 052061, jun. 2019. IOP Publishing. <http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/1213/5/052061>.

ZENG, Z.; YUAN, X.; LIANG, J.; LI, Y. Designing and implementing an SWMM-based web service framework to provide decision support for real-time urban stormwater management. **Environmental Modelling & Software**, [S.L.], v. 135, p. 104887-104890,

jan. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2020.104887>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364815220309440>. Acesso em: 27 set. 2021.



## APÊNDICE A – USO E OCUPAÇÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PONTE GRANDE NOS ANOS DE 1985, 1990, 2000, 2010 E 2020

