

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**  
**FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS**  
**DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA**

**ANÁLISE DOS RESERVATÓRIOS DE DETENÇÃO NA RELAÇÃO ENTRE  
REDUÇÃO DE VAZÃO E OCORRÊNCIAS DE ALAGAMENTO NO  
MUNICÍPIO DE SÃO PAULO: ESTUDO DE CASO ENTRE 2013-2021**

**VICTOR VIEIRA RUFINO SANTOS**

**SÃO PAULO**

**2023**

**VICTOR VIEIRA RUFINO SANTOS**

**ANÁLISE DOS RESERVATÓRIOS DE DETENÇÃO NA RELAÇÃO ENTRE  
REDUÇÃO DE VAZÃO E OCORRÊNCIAS DE ALAGAMENTO NO  
MUNICÍPIO DE SÃO PAULO: ESTUDO DE CASO ENTRE 2013-2021**

Trabalho de Graduação Individual  
apresentado ao Programa de  
Graduação em Geografia da  
Universidade de São Paulo, como  
requisito parcial para a obtenção do  
grau de Bacharel.

Prof. Dr. Alfredo Pereira de Queiroz Filho – Orientador

**SÃO PAULO**

**2023**

**ANÁLISE DOS RESERVATÓRIOS DE DETENÇÃO NA RELAÇÃO ENTRE  
REDUÇÃO DE VAZÃO E OCORRÊNCIAS DE ALAGAMENTO NO  
MUNICÍPIO DE SÃO PAULO: ESTUDO DE CASO ENTRE 2013-2021**

Por

VICTOR VIEIRA RUFINO SANTOS

Trabalho de Graduação Individual  
aprovado para obtenção do grau de  
Bacharelado, pela Banca examinadora  
formada por:

---

Orientador: Prof. Dr. Alfredo Pereira de Queiroz Filho

---

Membro: Prof. Dr. Fernando Nadal Junqueira Villela

---

Membro: Dr. Pedro Bueno Rocha Campos

São Paulo, 15 de fevereiro de 2023

## **RESUMO**

A pesquisa investigou, dentro de dez sub-bacias hidrográficas da bacia do Alto Tietê, os efeitos dos reservatórios de retenção, conhecidos popularmente como piscinões, na diferença de drenagem a jusante utilizando metodologia com base no trabalho de Nakayama e Silveira (2009). Comparou-se os resultados das vazões com as ocorrências de alagamento visando entender suas relações no município de São Paulo. Os resultados mostram que existe diminuição nas ocorrências de alagamentos em áreas com vazões reduzidas pelos reservatórios.

**Palavras-chave:** Análise Espacial, Hidrografia, Reservatórios de retenção, Alagamentos, Microbacias, São Paulo.

## **ABSTRACT**

The research investigated, within ten sub-basins of the Alto Tietê basin, the effects of detention reservoirs, popularly known as *piscinões*, on the downstream drainage difference using a methodology based on the work of Nakayama and Silveira (2009). The results were compared with the occurrences of flooding in order to understand their relationship in the municipality of São Paulo. The results show that there is a decrease in the occurrences of flooding in areas with reduced flows by the reservoirs.

**Key-words:** Spatial Analysis, Hydrography, Containment Reservoirs, Flooding, Watersheds, São Paulo.

## SUMÁRIO

<b>RESUMO.....</b>	<b>4</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>5</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>12</b>
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>13</b>
<b>3. REVISÃO DA LITERATURA.....</b>	<b>13</b>
<b>4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>15</b>
4.1. Bacia Hidrográfica.....	15
4.2. Alagamentos e métodos de proteção.....	16
4.2.1. Medidas Estruturais.....	21
4.2.2. Medidas não estruturais.....	21
4.2.3. Medidas não convencionais.....	22
4.3. Piscinões no contexto da Urbanização de São Paulo.....	24
<b>5. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E JUSTIFICATIVA.....</b>	<b>25</b>
<b>6. MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>28</b>
6.1. Metodologia.....	28
6.2. Fluxograma.....	30
6.3.1. Bacias Hidrográficas.....	32
6.3.2. Reservatórios de Detenção.....	33
6.3.3. Alagamentos.....	34
6.4. Métricas.....	35
6.4.1 Microbacias.....	35
6.4.2 Segmentação.....	36
6.5. Características Físicas.....	37
6.6. Cálculo da Chuva de Projeto.....	40
6.7. Cálculo da Vazão de Projeto.....	42
6.8. Piscinões <i>Off-line</i> .....	43
6.8.1 Altura.....	44
6.9. Simulação.....	45
6.9.1. Software ABC6.....	45
6.10. Relação com Ocorrências de Alagamentos.....	51
<b>7. RESULTADOS.....</b>	<b>51</b>
7.1. Diferença de Vazão dos Reservatórios de Detenção.....	52
7.2. Diferença de Vazão em cada Microbacia.....	53
7.3. Análise da Diminuição das Ocorrências de Alagamentos.....	54

7.4. Limitações da Pesquisa.....	56
<b>8. CONCLUSÕES.....</b>	<b>57</b>
<b>9. REFERÊNCIAS.....</b>	<b>58</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Resposta hidrológica de uma bacia hidrográfica (TUCCI, 2007)	16
Figura 2: Diferença de vazão entre hidrogramas (TUCCI, 2007)	18
Figura 3: Reservatórios de tipo <i>In-line</i> e <i>Off-line</i> (PATTERSON, 2016, Adaptado).	23
Figura 4: Localização da área de estudo	28
Figura 5: Fluxograma da pesquisa	31
Figura 6: Ocorrências de alagamentos (2013-2021)	34
Figura 7: Correção de erros do tipo "sink" (ALVES SOBRINHO et al., 2010)	36
Figura 8: Exemplo de segmentação (Fonte: o autor)	37
Figura 9: Localização das sub-bacias hidrográficas analisadas.	40
Figura 10: Curva IDF do projeto	41
Figura 11: Hidrograma triangular (NAKAYAMA E SILVEIRA, 2009)	43
Figura 12: Sub-bacias hidrográficas Aricanduva e Belini (Fonte: o autor)	46
Figura 13: Sub-bacias hidrográficas Cordeiro e Ipiranga (Fonte: o autor)	47
Figura 14: Sub-bacias hidrográficas Itaquera e Meninos (Fonte: o autor)	48
Figura 15: Sub-bacias hidrográficas Piqueri e Pirajussara (Fonte: o autor)	49
Figura 16: Sub-bacias hidrográficas Ribeirão Vermelho e Rio das Pedras (Fonte: o autor)	50
Figura 17: Eficiências dos Reservatórios de detenção e redução das vazões dentro das microbacias	54
Figura 18: Diferença das Ocorrências de Alagamento dentro das microbacias	55
Figura 19: Diferença das Ocorrências de Alagamento em áreas com redução de vazão	56

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Porcentagem de áreas impermeabilizadas e diretamente conectada	39
Tabela 2: Características físicas das sub-bacias	39
Tabela 3: Métricas para os reservatórios de retenção usados na pesquisa	44
Tabela 4: Redução das vazões causadas pelos reservatórios de retenção	52

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: Equação do Método das Perdas da Reserva Natural	28
Equação 2: Equação do hidrograma triangular	42
Equação 3: Equação da ascensão do hidrograma	42
Equação 4: Equação do tempo de retardamento da bacia	42
Equação 5: Equação da altura do reservatório	44

## LISTA DE SIGLAS

DAEE	Departamento de Águas e Energia Elétrica
e-SIC	Sistema Eletrônico de Informação ao Cidadão
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDF	Intensidade, Duração e Frequência
MNT	Modelo Numérico de Tempo
NASA	Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço
PNSB	Pesquisa Nacional de Saneamento Básico
SCS	<i>Soil Conservation Service</i>
SIURB	Secretaria Municipal de Infraestrutura Urbana
SIGRC	Sistema Integrado de Gestão do Relacionamento com o Cidadão
SMSUB	Secretaria Municipal de Subprefeituras
SMUL	Secretaria Municipal de Urbanismo e Licenciamento
SRTM	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
SWMM	<i>Storm Water Management Model</i>
USGS	<i>United States Geological Survey</i>
USP	Universidade de São Paulo

## 1. INTRODUÇÃO

Na região onde atualmente encontra-se o município de São Paulo, a relação entre a população e seus rios é histórica. Zagni (2004) aponta que os nativos locais se utilizavam dos frequentes eventos de cheia como forma de conseguir alimento. Após esses eventos, grande parte dos peixes encalhavam em áreas previamente submersas, permitindo com que os nativos os coletassem com facilidade.

Tão importante eram as cheias que as tribos locais nomearam a região de “Piratininga”, “peixe seco” traduzido do tupi (ZAGNI, 2004; IBGE, 2017), indicando a tendência natural do município de sofrer com eventos constantes de inundação.

Uma das características da apropriação do espaço pelo homem é a manipulação das formas naturais da terra, no que se refere à rede hidrográfica de São Paulo. Isto aconteceu principalmente através da canalização de córregos e impermeabilização do solo (GOUVEIA, 2016, p. 12; SANTOS; MAZIVIERO, 2016, p. 24).

Devido às construções e modificações feitas no espaço, os sistemas naturais tornam-se cada vez mais instáveis. As inundações naturais são agravadas por conta da aceleração do escoamento, aumentando os picos de vazão a jusante, intensificando o fenômeno (CANHOLI, 2005, p. 22).

Na tentativa de mitigar ou prevenir os efeitos dos alagamentos, a prefeitura de São Paulo emprega diferentes técnicas de combate, entre elas a construção de reservatórios de detenção (ou contenção), conhecidos popularmente como piscinões (SÃO PAULO, 2021, p 114).

Os reservatórios são adaptados dependendo da disponibilidade de área e da necessidade específica do tipo de estrutura (LÍVEA et al. 2019, p. 280). De modo geral, funcionam através da retenção do excedente de vazão dos escoamentos dos cursos d'água e são construídos em locais críticos após estudos hidrológicos (DAEE, 2022).

Entretanto, a falta de manutenção, como observado por Lívea et al. (2019, p. 292), pode prejudicar o bom funcionamento dos reservatórios causando o efeito inverso ao esperado.

A flutuação nas ocorrências de alagamento pode indicar alteração na eficiência de um reservatório de detenção. A análise dos dados pode auxiliar na avaliação do desempenho e verificar se existe correlação entre a eficiência do reservatório e os pontos de alagamentos.

## **2. OBJETIVOS**

A pesquisa tem como objetivo geral, verificar se a redução total de vazão a jusante após a introdução de reservatórios de detenção de tipo *off-line* e seu impacto nas ocorrências de alagamentos no município de São Paulo, entre os anos de 2013 e 2021.

### **Objetivos Específicos:**

- Calcular as alterações nas vazões após a introdução de reservatórios de detenção;
- Indicar os piscinões que apresentem altas taxas de alteração no número de alagamentos a jusante, dentro das sub-bacias;
- Relacionar a redução de vazão dos reservatórios com os registros de ocorrências de alagamentos.

## **3. REVISÃO DA LITERATURA**

A revisão de literaturas, permitiu o entendimento de como diversos autores abordam e aplicam diferentes metodologias para implementação e avaliação dos dispositivos de detenção.

Ao realizar simulações para microbacias de 300 e 600 m<sup>2</sup> de Porto Alegre-RS, Tassi (2002) observou a redução de até 50% após a introdução de microrreservatórios em cada lote. Importante salientar que

a autora notou que devido a impermeabilização do solo, houve um aumento de 8,4 vezes na vazão de pico.

Costa Junior e Barbassa (2005), analisaram a viabilidade da implementação de mecanismos de retenção das inundações em 164 lotes em Jaboticabal-SP. Apesar de não apresentar cálculos matemáticos das vazões, os autores, após análise da área concluíram que 82,8% dos lotes se mostraram aptos para receber dispositivos e medidas de proteção contra cheias, com 80,7% dos terrenos passíveis da construção de pavimento permeável.

Alves, Menezes Filho e Costa (2007) calcularam volumes de 4,88 e 5,88 m<sup>3</sup> para reservatórios de retenção de Goiânia-GO. Em sua pesquisa, os autores consideraram chuvas de 5 minutos com intensidades variando entre 145,3 mm/h e 17,2 mm/h.

Nakayama e Silveira (2009) realizaram simulações para a bacia do Ribeirão dos Couros em São Bernardo do Campo-SP, através do software de modelagem hidrológica ABC6. Após a comparação de modelos virtuais de bacias hidrográficas, com e sem múltiplos reservatórios de retenção, os modelos indicaram redução de 149 m<sup>3</sup>/s na vazão (de 249 m<sup>3</sup>/s desconsiderando todos os piscinões, para 140 m<sup>3</sup>/s com seis reservatórios ativos).

Após simular a construção de dois reservatórios de retenção com 3,25 m<sup>3</sup> e 5,015 m<sup>3</sup>, em um lote padrão de 300 m<sup>2</sup> em Uberlândia-MG, Francischet e Alamy Filho (2011) obtiveram redução da vazão entre 21,7%-37,4% em reservatórios de 3,25 m<sup>3</sup> e 64,0% e 65% para reservatórios com 5,015 m<sup>3</sup>.

Silva e Cabral (2014) avaliaram a introdução de reservatórios de retenção, em três níveis diferentes (lotes, ruas e reservatório único), em uma área altamente impermeabilizada (80%) na bacia do canal da Sanbra em Recife-PE. Os autores utilizaram do modelo hidrológico *Storm Water Management Model* (SWMM), desenvolvido pela *Environmental Protection Agency* (EPA). Como resultados, foram obtidas reduções de

43% da vazão através de reservatórios individuais em cada lote, diminuição de 60% para reservatório nas ruas e queda de 80% da vazão quando aplicado um reservatório único a montante da bacia.

Paulino e Silva (2017), estudaram os impactos da aplicação de reservatórios de retenção em um bairro do município de João Pessoa-PR. A pesquisa observou uma área de 33,8 ha com 438 lotes entre 360 e 450 m<sup>2</sup>. Foram simulados pelos autores as condições naturais antes e depois da construção dos lotes através do modelo SWMM. O estudo concluiu que os reservatórios são capazes de amortecer 3200 l/s, retardando o pico de vazão em aproximadamente 30 minutos.

Lívea et al. (2019) observaram a implementação de reservatórios de retenção em três cidades do sudeste brasileiro: Rio de Janeiro-RJ, São Paulo-SP e Uberaba-MG. No Rio de Janeiro, os autores observaram cinco piscinões com capacidade total de 119.000 m<sup>3</sup>. Em São Paulo, a pesquisa focou no reservatório do Rincão com capacidade total de 355 milhões de litros. Já em Uberaba observaram o piscinão Parque das Acácias, com cerca de 70.000 m<sup>2</sup> de área. Lívea et al. (2019) observaram que além das enchentes os reservatórios recebem água de transbordo de rios poluídos, os quais carregam resíduos sólidos que bloqueiem as grades de entrada. Os autores concluem que a falta de manutenção, tanto do reservatório quanto no entorno, podem limitar os efeitos dos piscinões.

## **4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **4.1. Bacia Hidrográfica**

Tucci (1999) sintetiza bacia hidrográfica como um sistema físico, composto de um conjunto de superfícies vertentes de captação natural da água precipitada. Convergingo o escoamento para um único ponto em seu exutório, a entrada neste sistema é composta pelo volume precipitado, enquanto a saída pelo volume escoado, considerando as perdas por evapotranspiração e infiltração.

Neste conjunto sistêmico, realizam-se os balanços de entrada e saída de água, permitindo a delimitação das bacias e sub-bacias, com sua interconexão dada pelos sistemas hídricos (PORTO; PORTO, 2008, p. 45). A figura 1 corresponde à resposta hidrológica de uma bacia hidrográfica.

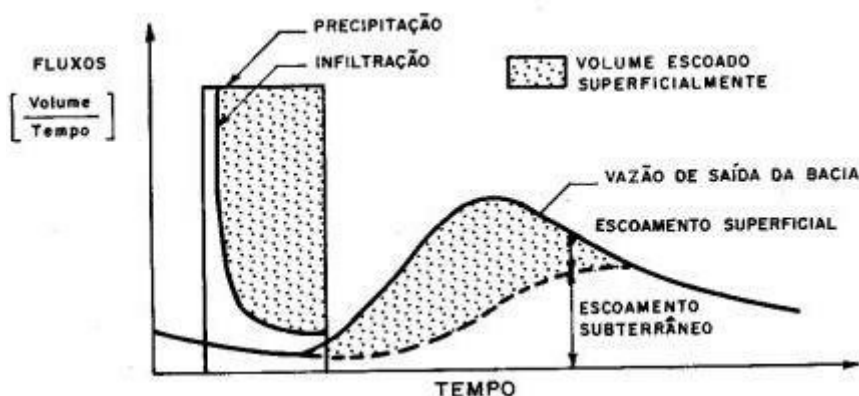


Figura 1: Resposta hidrológica de uma bacia hidrográfica (TUCCI, 2007)

As informações do relevo permitem a delimitação dos divisores de águas, separando as direções do escoamento da chuva até o exutório da bacia. Esta delimitação pode ser realizada de forma manual ou automática, com a utilização de *softwares* de geoprocessamento. Jenson e Domingue (1988) afirmam que os parâmetros automáticos de criação possuem a mesma acurácia da delimitação manual.

#### 4.2. Alagamentos e métodos de proteção

As enchentes e inundações segundo Tominaga, Santoro e Amaral (2005) são eventos naturais que ocorrem de forma periódica nos cursos d'águas, sua frequência é amplificada por diversos fatores como intensidade e distribuição das chuvas, permeabilidade e saturação do solo além das condições e forma do relevo.

Enchentes e inundações diferem-se através da sua magnitude. Enchentes ocorrem quando o nível do rio eleva-se a um ponto superior de

que sua situação normal. Já as inundações ocorrem quando tal elevação afeta a área de inundação, também chamada de planície de inundação.

Quando inundações ocorrem em áreas urbanas e são geradas por problemas de drenagem, geralmente associados com o uso do solo urbano, são comumente chamadas de alagamentos. Os alagamentos nem sempre estão relacionados com processos fluviais.

Segundo Enomoto (2004, p. 1), as enchentes de um rio ocorrem de forma natural e não devem ser consideradas como algo incomum ou catastrófico. Para a autora, todos os rios possuem uma área natural de inundação, o grande problema acontece quando existe uma invasão destes limites pela população, acarretando perdas materiais e até mortes, sobretudo quando os alagamentos são repentinos.

Diversos fatores favorecem ou dificultam as ocorrências de alagamentos, no caso dos grandes centros urbanos os principais agravantes estão relacionados às ações da sociedade que alteram o escoamento e infiltração natural das águas (ENOMOTO, 2004, p. 1).

Dentro de um plano de escoamento pluvial, Tucci (2007) distingue dois processos que permitem a criação de inundações, são eles:

- Inundações em áreas ribeirinhas;
- Inundações causadas pela urbanização.

Tucci (2007) explica que as inundações em áreas ribeirinhas ocorrem através de um processo natural dentro do leito dos rios de grandes bacias, maiores que 1000 km<sup>2</sup>. Tais inundações ocorrem devido a eventos anormais de precipitação o qual amplia o volume de fluxo do rio, afetando principalmente populações que moram próxima ou dentro da planície de inundação.

Já as inundações causadas pela urbanização acontecem principalmente devido à impermeabilização do solo e obstruções ao

escoamento. Desta forma, parte da água que seria infiltrada e outra parte que seria retida pela vegetação passa a escoar pelos condutos, aumentando substancialmente o escoamento superficial (TUCCI, 2007). A figura 2 apresenta um hidrograma hipotético, esquematizado por Tucci (2007), mostrando a diferença entre uma bacia natural (sem interferência antrópica) e outra em área urbana.

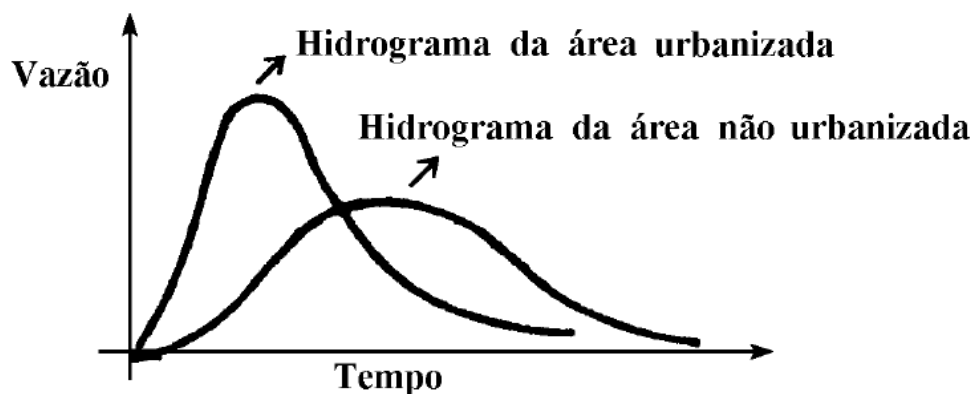


Figura 2: Diferença de vazão entre hidrogramas (TUCCI, 2007)

Com a urbanização, existe o empenho de canalizar ou “tornar subterrâneo” tudo o que se deseja “esconder” da paisagem (ENOMOTO, 2004, p. 5). Conceito expressado no século XIX com a construção de grandes galerias subterrâneas, resultando no aumento de vazão em áreas urbanas.

No século XX, os projetos de canalização foram aprimorados através de modelos matemáticos, hidrológicos e hidráulicos, além da implementação das análises estatísticas dos eventos não usuais de precipitação. Há também a separação do esgoto das águas pluviais por razões sanitárias (ENOMOTO, 2004, p. 4).

Enomoto (2004, p. 5) destaca que, na década de 1970, adotou-se na Europa e na América do Norte algumas soluções de drenagem

alternativas e compensatórias. Tais soluções possuíam o objetivo de compensar os efeitos da urbanização sobre os processos hidrológicos.

Chow, Maidment e Mays (1988, p. 152-153) resumem em duas maneiras os efeitos da urbanização na alteração da vazão:

1. O volume de água disponível para escoamento aumenta na medida que aumentam as áreas impermeabilizadas (como ruas, estacionamentos e telhados), reduzindo a infiltração;
2. Mudanças na eficiência hidráulica associada a canais artificiais e sistemas de escoamento, aumentam a velocidade de escoamento e a magnitude dos picos de inundação.

Para Tucci (2012, p. 8) os principais problemas relacionados ao uso do solo que resultam em impactos diretos nos sistemas hídricos são:

1. Expansão irregular sobre áreas de mananciais, comprometendo a sustentabilidade hídrica;
2. Ocupação, principalmente pela população de baixa renda, de áreas de risco de encostas e de inundações ribeirinhas;
3. Aumento da densidade habitacional, demandando mais água e o aumento da carga de poluentes;
4. Intensa impermeabilização das áreas públicas e canalização dos rios. Canholi (2005) complementa ao dizer que, com a expansão da urbanização, muitas cidades veem a ampliação dos sistemas de drenagem como caras e inviáveis.

Ao observar dados da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB), Guerra (2011) concluiu que para a diminuição dos desastres relacionados à drenagem urbana, são necessários dispositivos de retenção ou amortecimento das águas pluviais. Os dados da PNSB de 2008 indicam que apenas 11,9% dos municípios brasileiros possuem algum dispositivo de controle das águas pluviais.

Guerra (2011) aponta que o monitoramento regular das vazões garante uma curva de descarga pluvial ideal, além da identificação de locais críticos e do planejamento eficiente.

As medidas de controle são classificadas por Nakazone (2005, p. 29) em:

1. **Na fonte ou distribuídas:** controle em qualquer área primária de desenvolvimento, atuando próximo à formação do escoamento superficial;
2. **A jusante:** agem diretamente sobre os cursos d'água de maior vazão, nas bacias ou sub-bacias.

Já as diferentes medidas de controle de drenagem são separadas por Nakazone (2005, p. 27) em:

- **Convencionais ou Tradicionais:** relativas aos conceitos clássicos de “canalização”, como apresentado por Enomoto (2004), com a implementação de galerias ou canais, retificações de córregos, etc., proporcionando o rápido afastamento dos escoamentos.
- **Alternativas ou compensatórias:** utilizam os conceitos de armazenamento e infiltração, com a adequação e otimização dos sistemas, criando condições para aumentar o tempo de concentração, evitando o agravamento a jusante.

Canholi (2005) divide as medidas de controle de drenagem de duas formas:

- Medidas Estruturais;
- Medidas Não Estruturais;
- Medidas Não Convencionais.

#### 4.2.1. Medidas Estruturais

Compreendem obras de engenharia implementadas para reduzir o risco de enchentes, modificando o sistema fluvial, retendo temporariamente o escoamento (ENOMOTO, 2004, p. 10; CANHOLI, 2005, p. 29). Righetto (2011, p. 30) afirma que os sistemas estruturais permitem o controle quali-quantitativo da vazão gerada na bacia, através do armazenamento temporário ou redução da carga poluidora.

As medidas estruturais são subdivididas por Canholi (2005, p. 29) em dois grupos distintos, de acordo com seu objetivo:

1. **Intensivas**: separadas em quatro tipos:

- Aceleração do escoamento: canalização;
- Retardamento do fluxo: bacias de retenção;
- Desvio do escoamento: canais de desvio;
- Ações individuais: visando tornar as edificações à prova de enchentes.

2. **Extensivas**: pequenos armazenamentos disseminados na bacia, como em lotes privados; recomposição da cobertura vegetal ou controle de erosão do solo.

#### 4.2.2. Medidas não estruturais

As medidas não estruturais se utilizam de meios naturais para a geração do escoamento, não contemplando obras, porém conscientizando a sociedade em relação ao comportamento das enchentes e seus agravantes (RIGHETTO, 2011, p. 30). Tais medidas não são projetadas para a completa proteção da população, exigindo da mesma uma maior atuação (ENOMOTO, 2004, p. 11). Canholi (2005) afirma que as medidas não estruturais procuram disciplinar as pessoas,

alterando as atividades econômicas locais e o comportamento da população.

Nas ações sociais relacionadas às medidas não estruturais, Canholi (2005) destaca:

- Regulamento do uso do solo;
- Educação ambiental voltada ao controle da poluição difusa, erosão e lixo;
- “Seguro-enchente”;
- Elaboração de sistemas de alerta e previsão de inundações.

#### 4.2.3. Medidas não convencionais

Tais medidas são definidas por Canholi (2005, p. 31) como “estruturas, obras, dispositivos ou mesmo conceitos, cuja utilização não se encontra ainda disseminada”. Tais soluções não podem ser encaixadas com os conceitos tradicionais de canalização, porém associam-se as mesmas para otimização do sistema de drenagem.

São consideradas medidas não convencionais, estruturas que aumentam os processos de infiltração, armazenam o escoamento em reservatórios ou retardam o fluxo nas calhas dos córregos e rios (CANHOLI, 2005).

Para Canholi (2005) estruturas de retenção construídas a jusante visam o controle dos escoamentos nas bacias e sub-bacias, através da retenção dos volumes escoados, reduzindo os picos das enchentes, impedindo inundações. Esse tipo de controle é comum em grandes e médios rios.

A ideia de retenção e retenção das águas dos rios, não é recente. No entanto, os reservatórios modernos possuem origem no século XX com a implementação em países da Europa, Oceania e América do Norte, com uso massivo desde 1970 (TOMAZ, 2002, p. 1).

No Brasil, na década de 1920 o engenheiro sanitaria Saturnino de Brito projetou dois grandes reservatórios, nunca construídos, posicionados junto ao rio Tietê e Tamanduateí, para a retenção de um milhão de metros cúbicos cada. Os reservatórios imaginados por Saturnino tinham múltiplos objetivos para além de reter o excesso da drenagem. Para o engenheiro os reservatórios permitiriam passeios náuticos e o embelezamento da cidade (TOMAZ, 2002).

Existem atualmente dois tipos de reservatórios de retenção, indicados por Nakayama e Silveira (2009), como: *in-line* e *off-line*, apresentados através da figura 3. Os reservatórios do tipo "*in-line*" são construídos no próprio leito do rio, sendo que toda drenagem local escoada dentro do reservatório e sua liberação realiza-se através de um descarregador de fundo e vertedor de superfície. Canholi (2005) afirma que os reservatórios "*in-line*" também possuem a capacidade de geração de energia hidroelétrica, com turbinas de energia construídas em sua base, sendo esta modificação comum em reservatórios no Brasil.

Os reservatórios de detenção "*off-line*" são construídos nas laterais do leito do rio em que, a partir de um determinado nível de cheia, parte da drenagem é desviada para o reservatório através de um vertedor lateral. O excesso da vazão é armazenado temporariamente no piscinão e seu retorno posterior ao rio pode ser realizado, de forma controlada, por gravidade ou bombeamento.

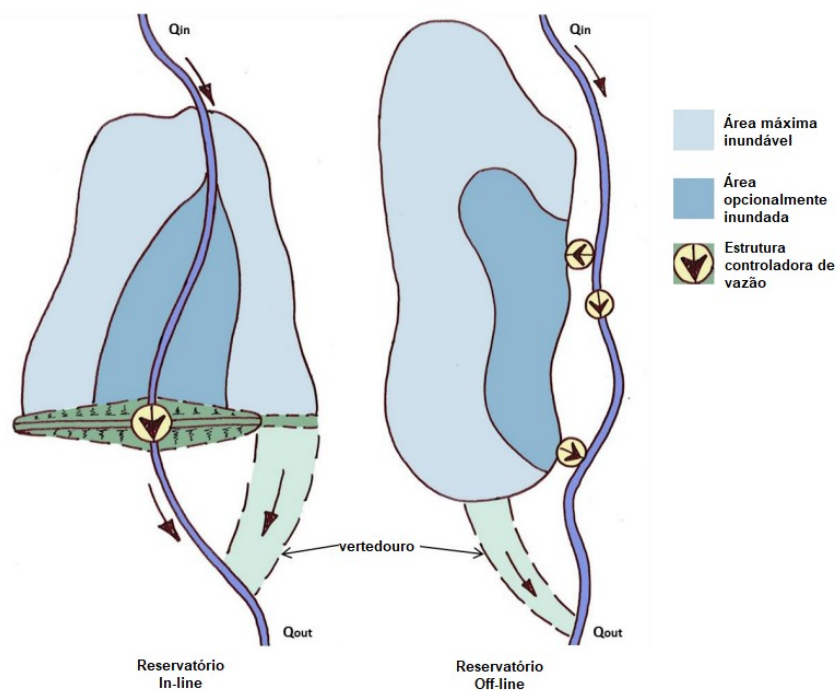


Figura 3: Reservatórios de tipo In-line e Off-line (PATTERSON, 2016, Adaptado)

#### 4.3. Piscinões no contexto da Urbanização de São Paulo

A região onde se encontra o município de São Paulo, possui historicamente uma forte relação com sua rede de drenagem e os fenômenos de inundação. Santos e Maziviero (2016, p. 23-24), aponta que existem registros de 1813 onde são relatados os transbordamentos do rio Tamanduateí que segundo os autores “transformavam parte da cidade em ilhas”.

Ab’Saber (1958) discorre que, anteriormente, as planícies de inundação ao longo do rio Pinheiros eram raramente ocupadas, porém com o crescimento da cidade e a implementação das indústrias, as áreas antes rejeitadas foram ocupadas por bairros operários. Rodrigues (2010, p. 113) afirma que a supressão das planícies de inundação pela ocupação urbana foi iniciada na década de 1960.

Para o combate dos alagamentos foram inicialmente adotadas retificações em diversas bacias, tais ações foram inicialmente bem-sucedidas, porém com o aumento da urbanização e a impermeabilização dos solos, as medidas anteriormente aplicadas tornaram-se inúteis (SANTOS; MAZIVIERO, 2016, p. 24).

Com a alteração dos sistemas hidrológicos e a forte ocupação das planícies dos rios de São Paulo, a partir do final dos anos 1980, o termo “piscinão” começou a ter popularidade devido aos eventos de alagamento. Em um estudo de 2010, Rodrigues (2010, p. 113) aponta um aumento de 300% na magnitude dos eventos fluviais extremos em cursos fluviais de maior ordem.

Tomaz (2002) considera o reservatório do Pacaembu, projetado em concreto armado e construído em 1994, como o primeiro reservatório de detenção moderno do Brasil, a partir disso múltiplos piscinões foram construídos em diversas áreas de risco em São Paulo.

## **5. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E JUSTIFICATIVA**

Localizada no sudeste do Brasil, em uma área de 1.509 km<sup>2</sup>, o município de São Paulo abriga cerca de 12 milhões de pessoas segundo estimativas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022).

O substrato do município é composto principalmente por rochas cristalinas pré-cambrianas situadas em morros e serras, camadas sedimentares do terciário encontram-se em colinas e sedimentos do período quaternário em planícies aluvionares (SVMA; IPT, 2004).

Para Ab’Saber (1958, p. 173-174), o domínio geográfico que precede a confluência entre o rio Tietê e Pinheiros é dotado de diversos tipos de colinas, resultando em uma amplitude altimétrica baixa (entre 40 e 60 metros), mas com variados elementos topográficos e detalhes do relevo.

Os diferentes componentes do relevo central de São Paulo, segundo Ab’Saber (1958) são:

- Altas colinas de topo aplainado do Espigão Central;
- Altas colinas dos rebordos dos espigões principais;
- Patamares e rampas suaves escalonados dos flancos do Espigão Central;

- Colinas tabulares do nível intermediário;
- Baixas colinas terraceadas;
- Terraços fluviais de baixas relatividades enxutas;
- Planícies de inundação sujeitas a inundações periódicas;
- Planícies de inundação sujeitas a enchentes anuais.

O município de São Paulo possui um clima tropical de altitude e grande diferenciação climática local. Os eventos de precipitação em grande magnitude ocorrem principalmente entre os meses de novembro a março, correspondendo aproximadamente ao verão. As taxas de pluviosidade entre 21 de dezembro e 20 de março correspondem a mais do que a metade do total anual (PACHECO, 1984, p. 10; 17).

Assim como a distribuição anual das chuvas, a intensidade dos eventos de precipitação é diferente no espaço. Pacheco (1984, p. 12) observa aumento de pluviosidade na direção sul do município, além do efeito de altitude manifestado no alto curso do rio Tietê, com valores médios de pluviosidade de 1.300 mm/ano.

Pacheco (1958, p. 14) notou um aumento progressivo da pluviosidade média anual. Já Minuzzi et al. (2007) observaram um início precoce da temporada de chuvas e ampliação do período chuvoso no sudeste do Brasil.

Sobre às características hidrológicas do município, grande parte situa-se na bacia do Alto Tietê a qual corresponde a uma área de cerca de 5.900 km<sup>2</sup> drenada pelo rio Tietê. A bacia possui um regime hidrológico muito complexo devido as grandes alterações antrópicas. Anteriormente meandrante, os rios Tietê e Pinheiros por toda parte urbana sofreram com o processo de retificação (SVMA; IPT, 2004).

Os rios Tietê, Pinheiros, Tamanduateí, Aricanduva e Embu-Guaçu compõem os principais cursos d'água que percorrem o município, além dos córregos Pirajussara, Ipiranga, Cabuçu de Cima, Cabuçu de Baixo e

Mandaqui, entre outros. Abrigam quase a totalidade do reservatório Guarapiranga e um trecho da represa Billings, formados artificialmente no início do século XX, com a finalidade primordial de geração de energia elétrica (SVMA; IPT, 2004, p. 15).

Gouveia (2016) afirma que devido às características naturais da região, em 1554, fundou-se onde hoje se localiza o município de São Paulo. A partir do século XVIII, iniciou um período de crescimento econômico, expandindo para as margens dos principais leitos d'água (SVMA; IPT, 2004). Com a chegada do ciclo do café o município passou por um crescimento vertiginoso, expandindo para os locais de inundação recorrentes. Em 1968 foi contratado um consórcio para a elaboração do Plano Urbanístico Básico (PUB) o qual apontou grande defasagem entre as necessidades da população e os serviços oferecidos pela administração pública. Ab'Saber (1958, p. 178) apontou que áreas mal drenadas, anteriormente abandonadas, foram dominadas por bairros industriais e operários.

Apesar da hegemonia econômica de São Paulo, o município apresenta grande desigualdade socioespacial, concentrando população em áreas com alto grau de vulnerabilidade (ALVES, 2005). Mesmo com baixas taxas de mortalidades causadas por alagamentos, existe uma imensa perda material gerada pelo fenômeno (SVMA; IPT, 2004, p. 130).

A pesquisa estudou a área que compreende as sub-bacias hidrográficas que contêm os reservatórios de retenção *off-line* do município de São Paulo (figura 4). Tal região foi escolhida devido à vulnerabilidade e combate históricos às inundações e alagamentos, utilizando diferentes formas para a mitigação dos efeitos, como os piscinões.

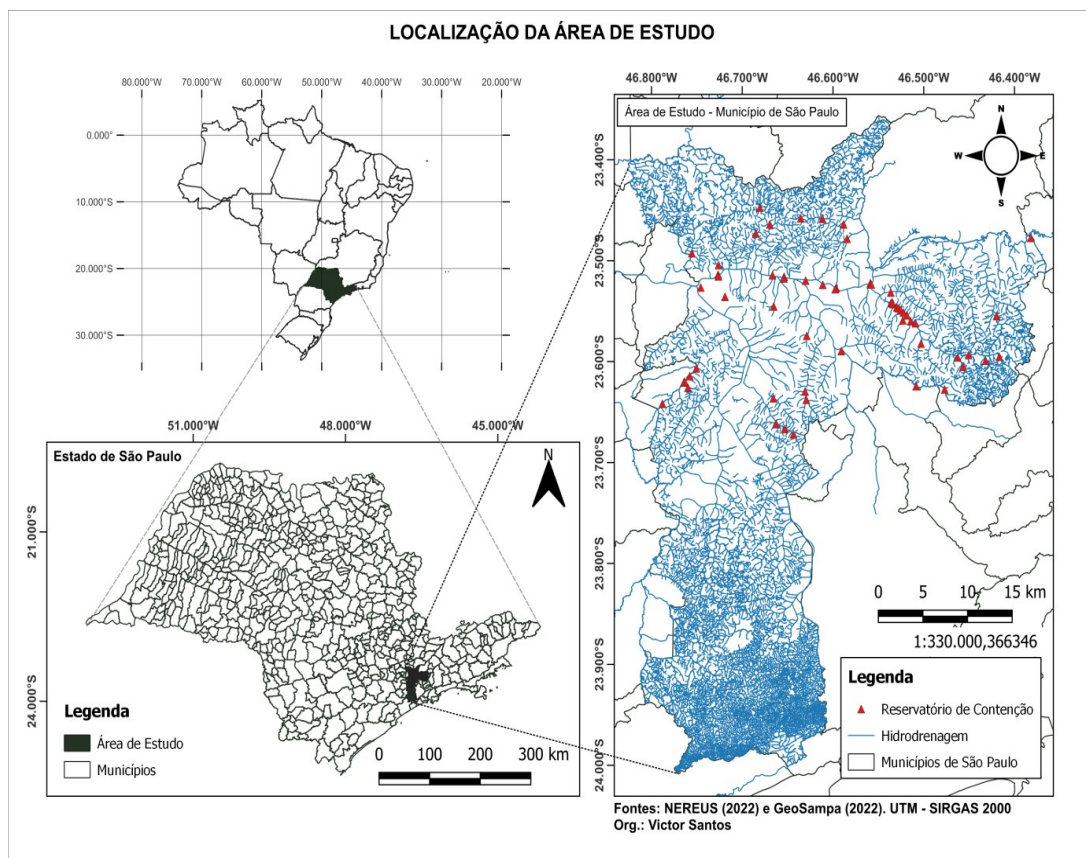


Figura 4: Localização da área de estudo

## 6. MATERIAIS E MÉTODOS

### 6.1. Metodologia

Diversos estudos na área de hidrologia observam a eficiência dos reservatórios de detenção através da diferença temporal da vazão. Trabalhos, como de Silva e Cabral (2014) e Paulino e Silva (2017) utilizam o Método das Perdas da Reservação Natural, criado por Canholi (2005), onde o autor descreve que “o volume do reservatório deve ser no mínimo igual ao volume perdido de reservação devido à urbanização”. Nesta metodologia aplica-se o seguinte cálculo:

$$V_s = V_d - V_a \quad (1)$$

Sendo:

- $V_s$  = Diferença entre os volumes;

- $V_a$  = Volume natural (antes dos reservatórios);
- $V_d$  = Volume posterior (depois dos reservatórios).

A pesquisa utilizou do método adaptado de Nakayama e Silveira (2009), onde em vez de comparar bacias perturbadas e bacias não perturbadas, serão comparadas as diferenças de vazão de bacias urbanizadas antes e após a introdução destes mecanismos de regulação da drenagem.

Para o cálculo da vazão de projeto utilizará do hidrograma triangular do *Soil Conservation Service* (SCS). Segundo Tomaz (2002, p. 406) o método SCS é principalmente aplicado para bacias com áreas que variam entre 3 km<sup>2</sup> a 250 km<sup>2</sup>, devido a esta grande amplitude, múltiplos estudos se utilizam deste método.

O método SCS baseia-se no conceito de hidrograma unitário, ou seja, cada hidrograma corresponde exclusivamente a uma bacia hidrográfica (TOMAZ, 2002). Nesta pesquisa, cada microbacia possui seu hidrograma baseado nas características físicas de cada local.

Tomaz (2002) aponta que a montagem do hidrograma unitário requer dados sobre as precipitações e vazões das bacias utilizadas. Entretanto estes dados não são amplamente divulgados, por isso através de fórmulas empíricas, são criados hidrogramas sintéticos com a determinação da vazão de pico. A forma do hidrograma baseia-se, tanto em um triângulo quanto em curva de acordo com as características físicas da bacia, admitindo os seguintes parâmetros:

- A intensidade da pluviosidade é constante durante a chuva que produz o hidrograma;
- A chuva é uniformemente distribuída em toda a área de drenagem da bacia;

- O tempo de duração do hidrograma do escoamento superficial direto é devido a uma chuva de duração unitária e constante;
- Os efeitos de todas as características de uma bacia incluindo: forma, declividade, retenção, infiltração, rede de drenagem, capacidade de escoamento do canal, etc. São refletidos na forma do hidrograma unitário.

A pesquisa utilizará do método do hidrograma unitário triangular sintético do SCS, devido sua maior facilidade de manipulação e estimativa dos dados.

## 6.2. Fluxograma

A pesquisa seguiu as etapas de trabalho com base no fluxograma apresentado na figura 5.

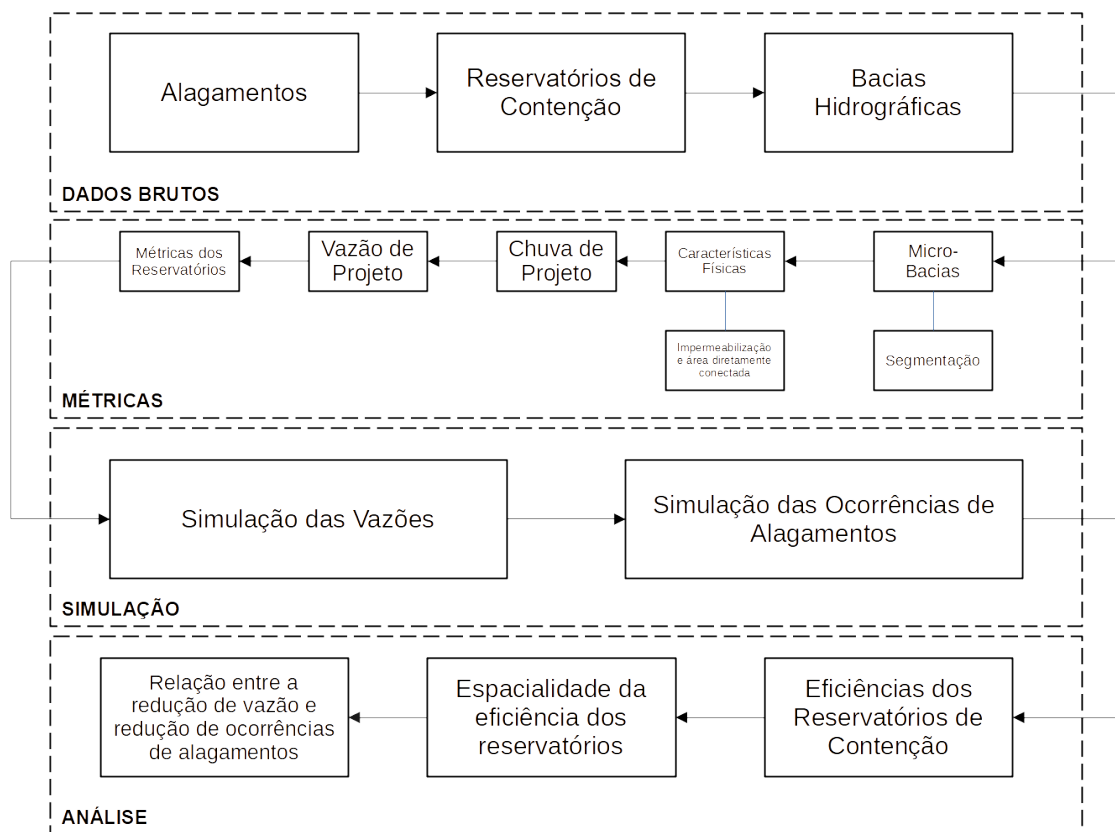


Figura 5: Fluxograma da pesquisa

O trabalho foi iniciado com a coleta dos dados de alagamentos, reservatórios de detenção e bacias hidrográficas de São Paulo. Para o cálculo das diferentes métricas dos reservatórios, vazão de projeto, características físicas das sub-bacias e montagem das microbacias, foram utilizadas as informações contidas nos metadados dos dados brutos coletados. Para a chuva de projeto, utilizou-se as informações pluviométricas fornecidas pelo software ABC6.

Dividiu-se a simulação em duas etapas distintas. As simulações das vazões foram realizadas através de software de modelagem hidrográfica, com os dados das microbacias e reservatórios de detenção. As simulações das ocorrências de alagamento foram calculadas através das taxas de aumento para cada sub-bacia, antes da inauguração dos piscinões.

A análise da eficiência dos piscinões, foi realizada observando a diferença de vazão antes e depois da construção dos reservatórios. A análise da espacialidade, ocorre com a georreferenciamento das vazões dentro das microbacias que compõem as sub-bacias. A relação entre a redução de vazão e redução de ocorrências de alagamento, foi observada através da comparação entre os locais com diminuição de vazão e os locais com diminuição das ocorrências de alagamentos.

### 6.3. Coleta de Dados

Os principais atributos utilizados foram: localização e data de inauguração dos piscinões em São Paulo; Ocorrências de alagamentos registradas pela Defesa Civil; Bacias e Sub-Bacias Hidrográficas da cidade de São Paulo, além das suas características físicas.

Os dados foram obtidos das plataformas digitais GeoSampa, coordenado pela Secretaria Municipal de Urbanismo e Licenciamento (SMUL). Bem como, do Sistema Eletrônico de Informação ao Cidadão (e-SIC) <<https://esic.prefeitura.sp.gov.br/>> o qual permite o encaminhamento de pedidos de acesso à informação a órgãos e entidades do executivo, aparada pela Lei nº 12.527/2011 (BRASIL, 2022).

Dados sobre as diversas ocorrências registradas pela Defesa Civil, assim como a geolocalização de parte dos reservatórios de detenção, foram coletados através da plataforma GeoSampa <<http://geosampa.prefeitura.sp.gov.br/>>.

#### 6.3.1. Bacias Hidrográficas

O GeoSampa também possui em sua base de dados informações sobre sub-bacias hidrográficas, nas quais estão contidos os diversos reservatórios de detenção abordados pela pesquisa. Através dos metadados de cada camada vetorial, realizou-se os cálculos das

características físicas de cada sub-bacias como comprimento do talvegue e tempo de concentração.

Devido ao objetivo do trabalho observar e comparar dados entre jusante e montante dos reservatórios de detenção, foram criadas diversas microbacias hidrográficas de terceira ordem, permitindo a investigação segmentada da eficiência dos reservatórios e sua correlação com os eventos de alagamentos.

### 6.3.2. Reservatórios de Detenção

Apesar de a plataforma GeoSampa disponibilizar a localização e características físicas de 53 piscinões, não constavam nos arquivos informações cruciais para a pesquisa como o ano de inauguração dos reservatórios. Requisitou-se tais informações através da plataforma e-SIC para a Secretaria Municipal de Infraestrutura Urbana (SIURB) e Secretaria Municipal de Subprefeituras (SMSUB). O pedido foi baseado no § 1º do artigo 16 do decreto Nº 53.623, de 12 de dezembro de 2012 o qual regulamenta a lei federal Nº 12.527, de 18 de novembro de 2011, no âmbito do poder executivo. Estabelecendo procedimentos e outras providências correlatas, para garantir o direito de acesso à informação (SÃO PAULO, 2012).

Os dados foram disponibilizados no formato de texto em tabelas, pela SIURB e SMSUB respectivamente. Os elementos em tabelas foram agrupados a partir do nome de cada reservatório, georreferenciando os locais através de pontos com base nos endereços fornecidos.

No total, foram recebidos 13 reservatórios administrados pela SIURB e 54 pela SMSUB. Dos 67 reservatórios, 17 possuem interesse para a pesquisa por serem do tipo *off-line*, sendo o restante do tipo *in-line* ou por bombeamento. Estes reservatórios *off-line* foram construídos entre os anos de 2003 e 2019 e localizam-se em 10 sub-bacias, diferentes do Alto Tietê.

### 6.3.3. Alagamentos

Os registros referentes às ocorrências de alagamento (figura 5), foram extraídos do Sistema Integrado de Gestão do Relacionamento com o Cidadão (SIGRC) pela Defesa Civil de São Paulo. Segundo a SIGRC, as informações sobre as ocorrências são filtradas no intuito de excluir os eventos cancelados, indeferidos e duplicados. Realizou, posteriormente, uma nova análise individual das inconsistências. Bem como verificou possíveis ausências de dados, incoerências, duplicações ou valores discrepantes (SÃO PAULO, 2022).

As informações retiradas do GeoSampa são disponibilizadas em formato vetorial *shapefile* (shp) na projeção SIRGAS-2000 (EPSG: 31983) e latitude 23S. Como forma de seguir a padronização das informações disponibilizadas, todos os conteúdos utilizados foram georreferenciados para a mesma projeção e latitude.

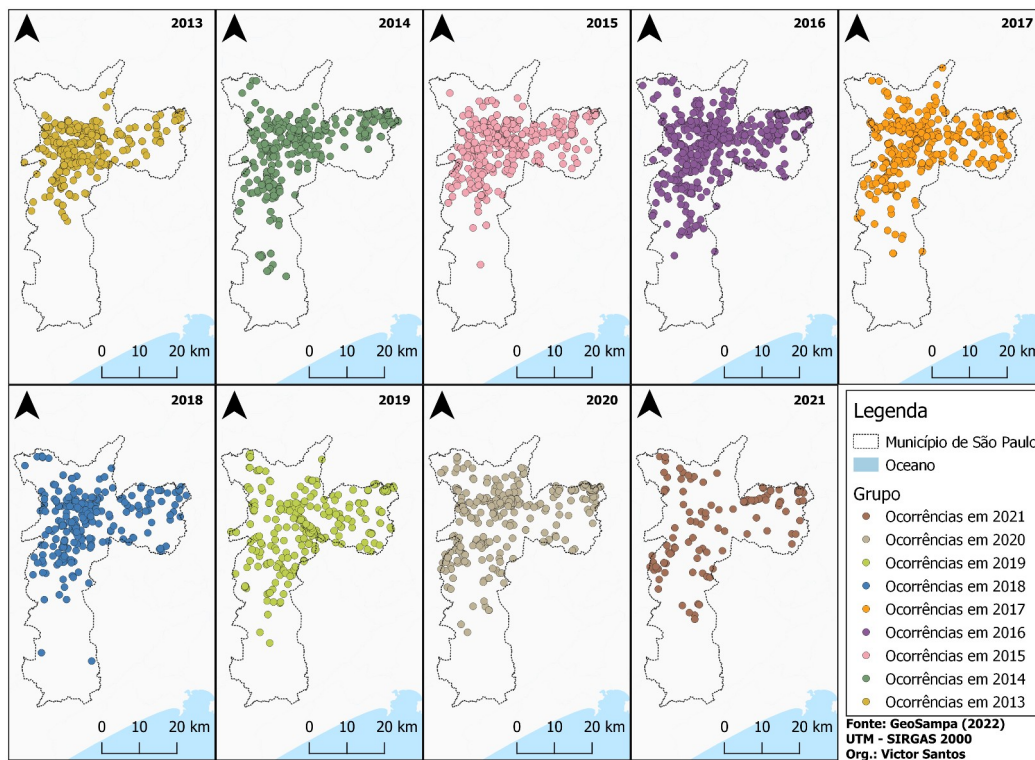


Figura 6: Ocorrências de alagamentos (2013-2021)

#### 6.4. Métricas

A modelagem digital das bacias hidrográficas requer diferentes métricas, as quais foram coletadas através dos metadados disponibilizados ou normalizadas através das bibliografias observadas.

##### 6.4.1 Microbacias

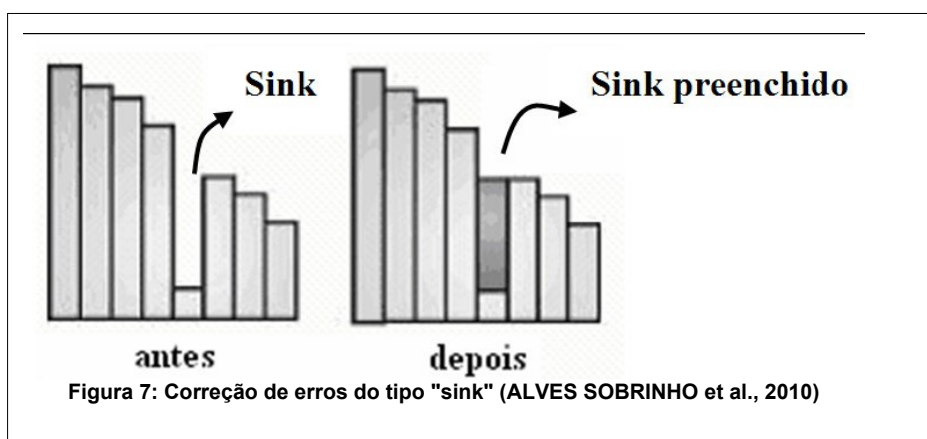
São consideradas pela pesquisa como microbacia, as segmentações das sub-bacias hidrográficas do Alto Tietê, esta nomenclatura permite uma melhor diferenciação das escalas de segmentação. A delimitação, segmentação e manipulação das microbacias foram realizadas dentro do software de geoprocessamento QGIS.

Para a criação das microbacias, foram coletadas imagens de satélite da Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço (NASA) dos Estados Unidos utilizando o *plug-in* SRTM-Downloader. A missão *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), dispõe de dados topográficos e imagens de satélite de forma pública através do *United States Geological Survey* (USGS). A saída do SRTM-Downloader, resultou em uma imagem de satélite no sistema de coordenadas WGS 84 (EPSG: 4326). Tais dados foram tratados com a alteração do sistema de coordenadas para SIRGAS-2000 (EPSG: 31983).

Alves Sobrinho et al. (2010, p. 49) afirmam que os dados SRTM possuem, de modo geral, grande acurácia. No entanto, é possível que existam falhas no Modelo Numérico de Tempo (MNT) causando o que são comumente denominados de “*sinks*”.

Os *sinks* são caracterizados por Mendes e Cirilo (2001) como áreas rodeadas por cotas superiores, normalmente causada por corpos hídricos e relevo acidentado. Alves Sobrinho et al. (2010) consideram os *sinks* como um empecilho ao escoamento, durante a aplicação de modelos hidrológicos.

Para reparar os efeitos dos *sinks*, utilizou-se da função “*fill sinks*” a qual considera a altitude de *pixels* vizinhos para preencher áreas com dados deficientes, gerando um mapa de melhor consistência. A figura 6 apresenta de forma gráfica a correção dos *sinks*. A função *fill sinks* pode ser realizada de múltiplas formas. Na pesquisa utilizou-se para o reparo o método Wang & Liu, recomendado em grandes áreas utilizando satélites de alta resolução (WANG; LIU, 2006).



Após a correção dos *sinks*, executou-se a função *r.watershed* para aquisição dos seguimentos hídricos de cada bacia. Essa função é essencial para a montagem das microbacias.

As microbacias foram renderizadas através da função *Watershed Basins (Extended)*, resultando na saída de diversas microbacias em cada sub-bacia em camadas vetoriais.

#### 6.4.2 Segmentação

Para a montagem dos segmentos, utilizou-se das ferramentas de manipulação de vetores “União” e “Dissolver” do software QGIS, com base em duas regras para o estabelecimento das microbacias:

1. Um reservatório de detenção deve conter uma microbacia imediatamente a jusante e a montante de sua localização, permitindo análise das vazões antes e depois de sua localização;

2. Bacias diretamente conectadas com o rio, onde se encontram o reservatório serão separadas através de microbacias com rios de terceira ordem. Caso contrário a bacia será abordada como unidade unitária.

A figura 8 apresenta um exemplo de segmentação para a sub-bacia do Pirajussara.

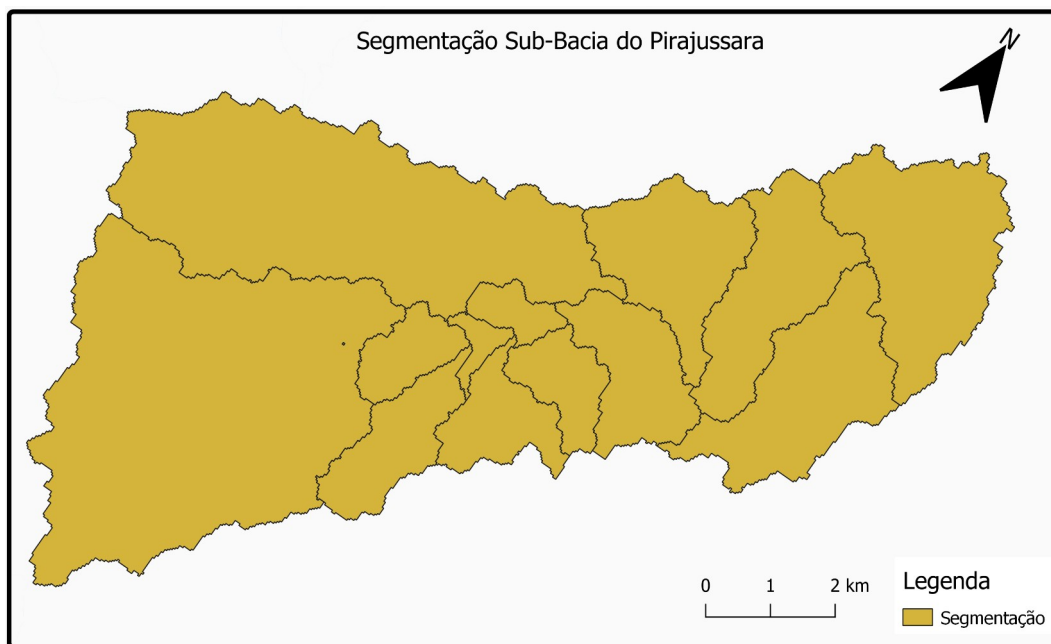


Figura 8: Exemplo de segmentação (Fonte: o autor)

### 6.5. Características Físicas

Para a simulação das vazões foram necessárias a coleta e o cálculo de algumas métricas relativas às bacias hidrográficas e aos piscinões, foram elas:

- Tempo de Concentração;
- Área Impermeável;
- Área Diretamente Conectada;
- Chuva de Projeto;
- Duração da Chuva de Projeto;
- Curva IDF (Intensidade, Duração, Frequência);

- Curva CN (Curve Number);
- Vazão de Projeto.

O tempo de concentração é o tempo necessário para que toda a bacia esteja contribuindo para a vazão de saída (SILVEIRA, 2005). Este parâmetro surgiu da hipótese de que a bacia hidrográfica, corresponde a um sistema linear de escoamento superficial direto.

Devido a grande variabilidade das características das bacias hidrográficas, existem diversos cálculos possíveis o que pode gerar em uma grande diferença no resultado. Por isso as formas são separadas entre regiões macro e micro além de bacias urbanas, altamente impermeabilizadas, e rurais (QUEIROZ; ALVES, 2020).

Diante todas as fórmulas analisadas, utilizou-se do método cinemático, criado pelo *Soil Conservation Service* (SCS) em 1969. Este método consiste na somatória dos tempos de trânsito e permite considerar as características de cada bacia (QUEIROZ; ALVES, 2020).

Outra estimativa se relaciona com a aquisição das áreas impermeáveis das sub-bacias e áreas diretamente conectadas com o sistema de drenagem. A impermeabilidade da sub-bacia implica diretamente sobre seu escoamento superficial (TUCCI, 2007). Enquanto a área diretamente conectada corresponde a locais que possuem conexão direta com o curso d'água. Ou seja, o escoamento acontece rapidamente e não influencia o sistema de drenagem.

Para a medição das áreas impermeabilizadas a pesquisa utilizou da contagem de *pixels* de um determinado tipo de uso do solo, conforme mapas disponibilizados pela plataforma MapBiomias. Zonas com tipo de uso "urbano" foram consideradas como áreas impermeáveis, enquanto outros usos como permeáveis. Aplicou-se um cálculo único porcentual de áreas impermeáveis para cada sub-bacia observada.

As áreas diretamente conectadas foram calculadas através da contagem de *pixels* das imagens rasterizadas dos rios sob a contagem total de *pixels* dentro das sub-bacias, com o uso do cálculo porcentual unitário para cada sub-bacia.

Já para o cálculo das áreas diretamente conectadas, foram extrapolados em 100 metros entre ambas as bordas das linhas d'água na consideração das regiões que estão diretamente conectadas com o rio. Na tabela 1, observa-se os valores de impermeabilização do solo e também das áreas diretamente conectadas.

Sub-Bacia	Área Impermeável (%)	Área Diretamente Conectada (%)
Aricanduva	85,42	70,99
Belini	99,73	3,51
Cordeiro	98,91	62,95
Ipiranga	80,51	64,05
Itaquera	90,25	71,80
Meninos	100	6,83
Piqueri	61,13	50,12
Pirajussara	92,64	46,68
Ribeirão Vermelho	73,52	39,88
Rio das Pedras	100	87,99

Tabela 1: Porcentagem de áreas impermeabilizadas e diretamente conectada

A tabela 2, apresenta todas as características físicas calculadas para cada sub-bacia utilizada na pesquisa.

Sub-Bacia	Área (km <sup>2</sup> )	Talvegue (m)	Velocidade Média (m/s)	Tempo de concentração (m)
Córrego Ipiranga	23,118	12.069,47	1,47	136,84
Ribeirão Vermelho	34,238	12.911,91	1,77	121,58
Rio Aricanduva	103,900	23.651,08	1,58	249,48
Córrego Pirajussara	72,447	19.283,32	1,60	200,87
Córrego Cordeiro	16,904	10.813,92	1,37	131,56
ACDED – Fort. Ferraz/Belini	10,517	4.694,11	1,19	65,74
ACDED – Moinho Velho/Meninos	2,350	2.618,55	1,08	40,41
Ribeirão Itaquera	48,191	18.294,87	1,63	187,06
Rio das Pedras	5,338	6.289,91	1,58	66,35
Rio Tremembé/Piqueri	34,542	11.722,05	1,4	132,01

Tabela 2: Características físicas das sub-bacias



concentração de todas as bacias, resultando em um valor de 300 minutos, ou 5 horas.

Para o restante dos cálculos das chuvas de projeto foram utilizados os dados para a cidade de São Paulo, já presentes no software de simulação. Essas informações foram obtidas do Centro Tecnológico de Hidráulica da Escola Politécnica – Universidade de São Paulo (USP). A Figura 7 apresenta o gráfico IDF, dentro do software ABC6, utilizado em todo o projeto.

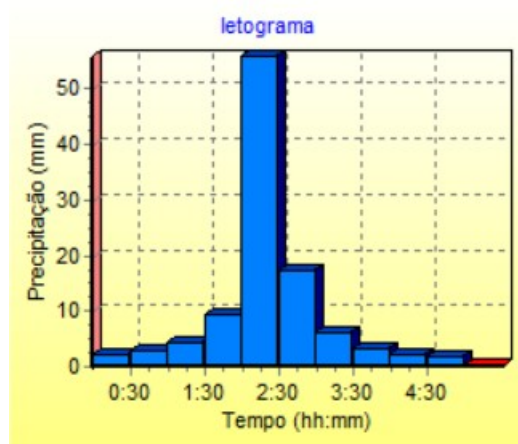


Figura 10: Curva IDF do projeto

Criado pelo *Soil Conservation Service* (SCS) o número de escoamento (*Curve Number* – CN) é um método simplificado que estima o escoamento superficial, obtendo previsões em função do excesso de precipitação. Este número é calculado por três fatores: umidade antecedente, tipo e ocupação do solo. Através da média ponderada dos fatores atribuiu-se um número que representa a capacidade de escoamento do solo, quanto maior o valor do CN menor é a capacidade de infiltração do solo.

Devido a realização da pesquisa de Nakayama e Silveira (2009) em local próximo e com características semelhantes à da cidade de São Paulo, foi adotado o valor, utilizados pelos autores, de 86 para o *Curve Number* de toda a pesquisa.

### 6.7. Cálculo da Vazão de Projeto

O hidrograma de projeto é o cálculo determinante para a transformação das chuvas em vazão (NAKAYAMA; SILVEIRA, 2009, p. 8). Assim como o tempo de concentração, existem diversos métodos para a realização do hidrograma, sendo o mais comum o método do hidrograma triangular criado pelo SCS. Tal método admite que o hidrograma de projeto apresenta forma triangular, com a seguinte relação:

$$t_b = 2,67 \cdot t_a \quad (2)$$

Onde:

- $t_b$  é o tempo de base do hidrograma;
- $t_a$  é o tempo de ascensão do hidrograma, dado por

$$t_a = t_p + D/2 \quad (3)$$

Onde:

- $D$  é a duração da chuva excedente;
- $t_p$  é o tempo de retardamento da bacia, intervalo entre instante correspondente a metade da duração da chuva e o instante do pico do hidrograma (NAKAYAMA; SILVEIRA, 2009); pode ser obtido o  $t_p$  em horas pela fórmula:

$$t_p = 0,6 \cdot t_c \quad (4)$$

Onde:

- $t_c$  é o tempo de concentração da bacia.

O aspecto gráfico do hidrograma triangular do SCS pode ser observado através da Figura 8.

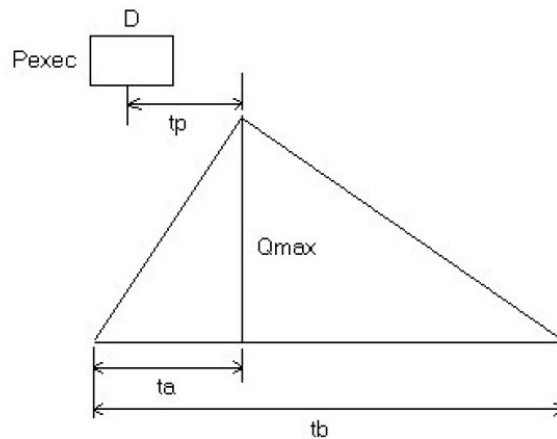


Figura 11: Hidrograma triangular (NAKAYAMA E SILVEIRA, 2009)

Nakayama e Silveira (2009, p. 9) afirmam que conhecida a área do triângulo, a qual corresponde o volume d'água precipitado sobre a bacia e o tempo da base, é possível determinar a vazão de pico. No projeto foram gerados um hidrograma para cada chuva excedente de 15 minutos, estes hidrogramas foram somados para a geração das diferentes vazões de pico observadas.

### 6.8. Piscinões *Off-line*

Na pesquisa apenas foram analisados os piscinões *off-line* devido à facilidade na obtenção dos dados necessários, os quais foram:

- Volume;
- Altura;
- Lâmina d'água inicial.

#### 6.8.1 Altura

Tanto as tabelas disponibilizadas pela SIURB e da SMSUB quanto os metadados fornecidos pelo GeoSampa não possuíam a altura dos piscinões. Para isso foi utilizado a área do reservatório para o cálculo da

altura, considerando que os reservatórios tenham lados de mesma medida. Assim se utilizou da seguinte equação:

$$h = \frac{v}{\sqrt{a}} \quad (5)$$

Sendo:

- $v$ : volume registrado do reservatório de detenção;
- $a$ : área do reservatório;
- $h$ : altura calculada do reservatório.

As métricas para todos os reservatórios podem ser observadas através da Tabela 3.

Reservatório	Ano	Área (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Altura (m)	Lâmina d'água inicial (m)
Aliomar Baleeiro	2019	17.012	200.000	11,75	0,59
Anhanguera	2010	14.481	100.000	6,90	0,35
Aricanduva V	2002	17.830	167.000	9,36	0,47
Cedrolândia	2004	11.100	113.00	10,18	0,51
Cordeiro RCO-1	2018	3.645	50.000	13,71	0,70
Cordeiro RCO-2	2016	3.943	51.000	12,93	0,65
Cordeiro RCO-3	2018	3.645	48.000	13,16	0,66
Diogenes	2019	903	2.000	2,21	0,11
Guamiranga	2017	50.039	850.000	16,98	0,85
Inhumas	2010	13.981	144.500	10,33	0,52
Maria Sampaio	2014	13.966	120.000	8,59	0,43
Olaria	2014	9.033	120.000	13,28	0,67
Pedreira	2003	59.505	600.000	10,08	0,51
Rincão	2002	50.418	300.000	5,95	0,50
Rio das Pedras	2000	7.028	40.000	5,69	0,36
Sharp	2010	29.624	500.000	16,87	0,84
Tremembé R3	2019	7.507	18.000	2,39	0,12

Tabela 3: Métricas para os reservatórios de detenção usados na pesquisa

## 6.9. Simulação

A simulação consistiu na obtenção das vazões antes e depois da introdução dos piscinões.

### 6.9.1. Software ABC6

O trabalho utilizou do software ABC6 (Análise de Bacias Complexas 6), desenvolvido pelo LabSid do Departamento de Engenharia Hidráulica da Escola Politécnica (USP). Este software permite modelar bacias hidrográficas através de nós, a conexão entre cada nó (montante e jusante) resulta em uma bacia hidrográfica. Com o software, é possível transformar cada nó em um reservatório de detenção (*in-line* ou *off-line*).

Para o cálculo da vazão de projeto com os pisciões em operação, utilizou as hipóteses estimuladas por Nakayama e Silveira (2009) que foram:

1. O vertedor lateral, por onde ocorre a entrada de água nos pisciões, tem capacidade suficiente para suportar a cheia de projeto até o enchimento completo;
2. Os pisciões recebem a água da enchente até o enchimento total. Uma vez atingida a capacidade máxima, toda a água da enchente vai escoar pelo canal do rio;
3. No início da simulação, já existe em todos os pisciões, remanescente da chuva anterior que ainda não foi esgotada (adotado 5% da sua capacidade total).

As figuras 9, 10, 11, 12 e 13 mostram a modelagem dentro do software ABC6 das dez sub-bacias hidrográficas utilizadas na pesquisa.

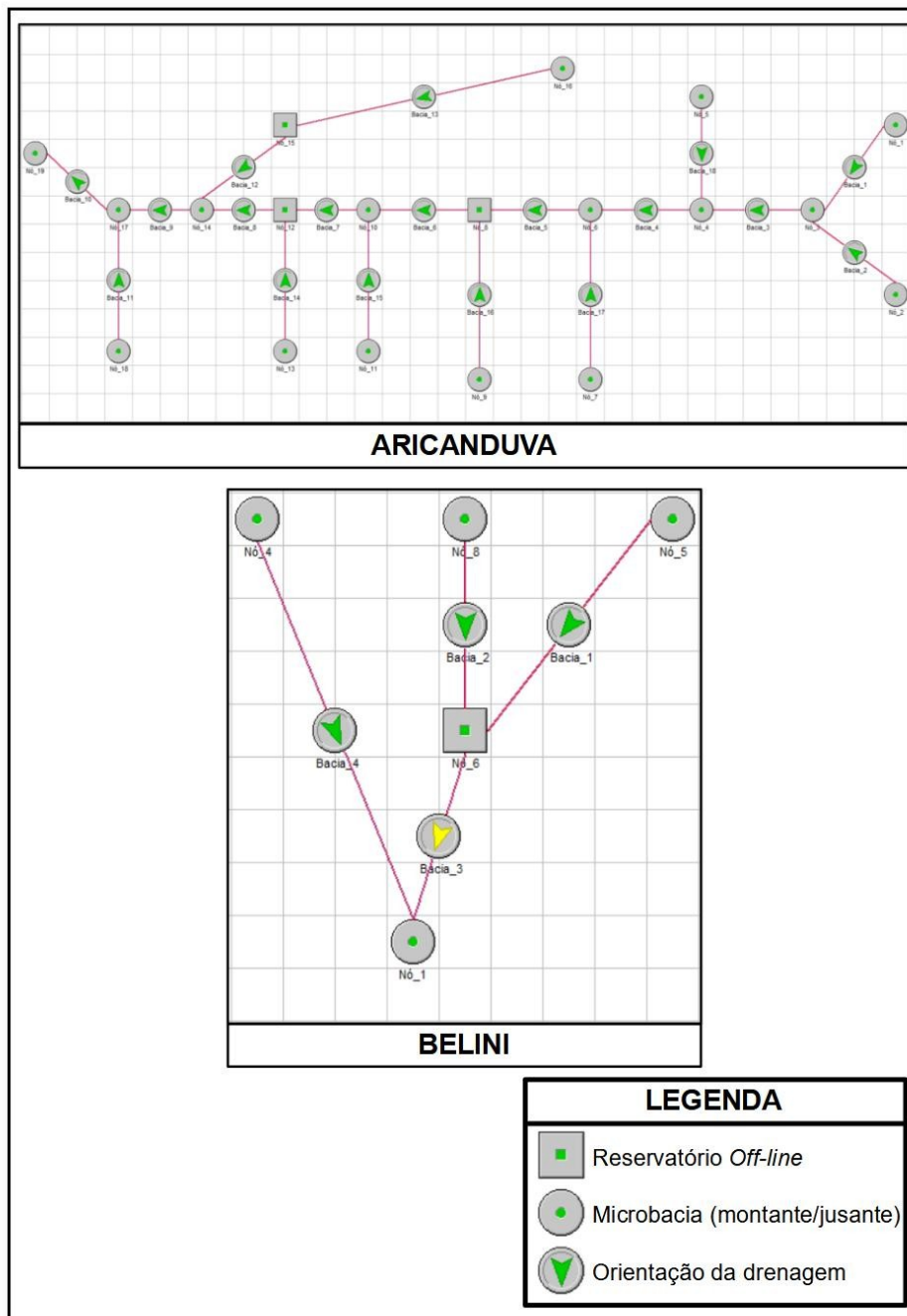


Figura 12: Sub-bacias hidrográficas Aricanduva e Belini (Fonte: o autor)

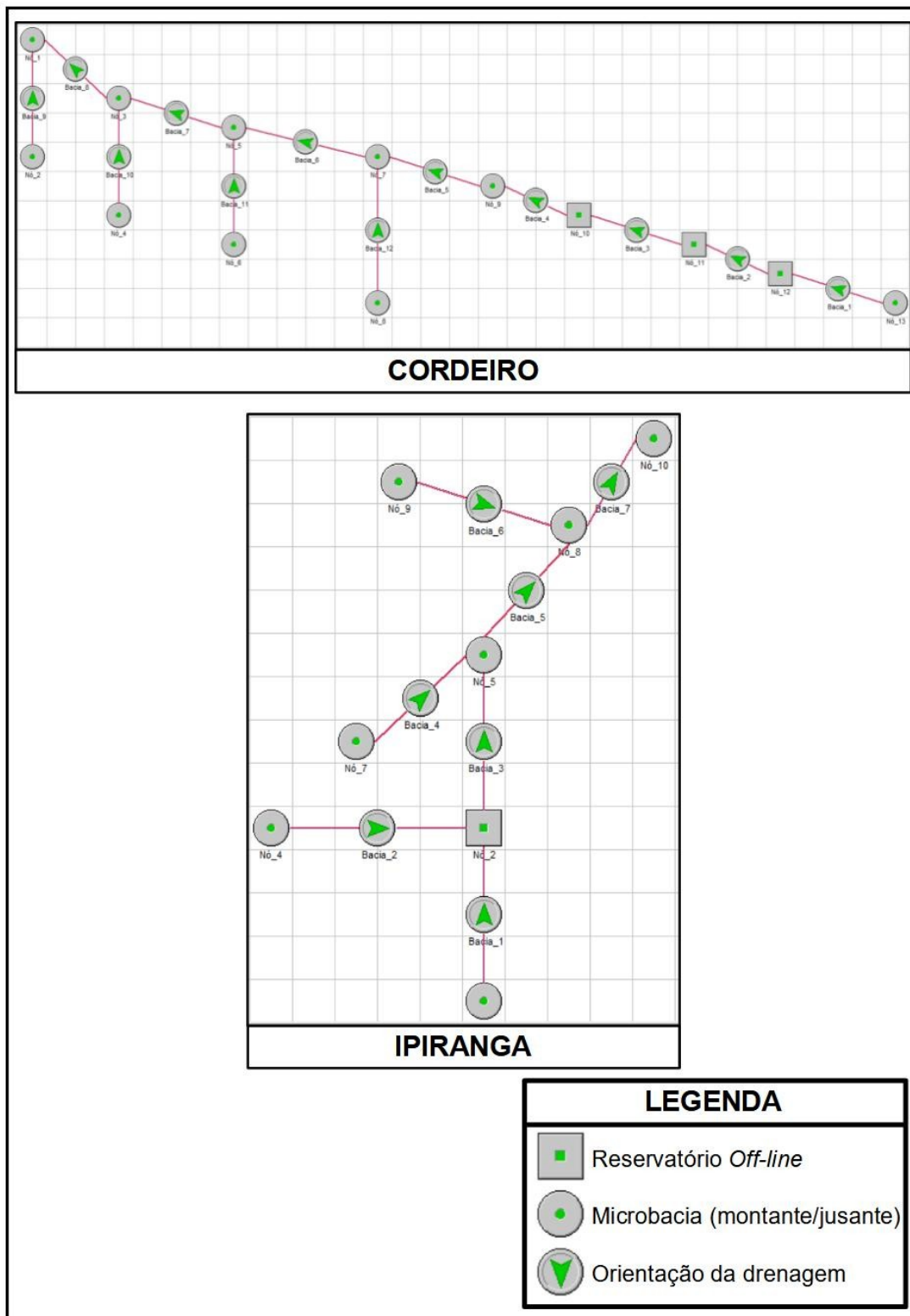


Figura 13: Sub-bacias hidrográficas Cordeiro e Ipiranga (Fonte: o autor)

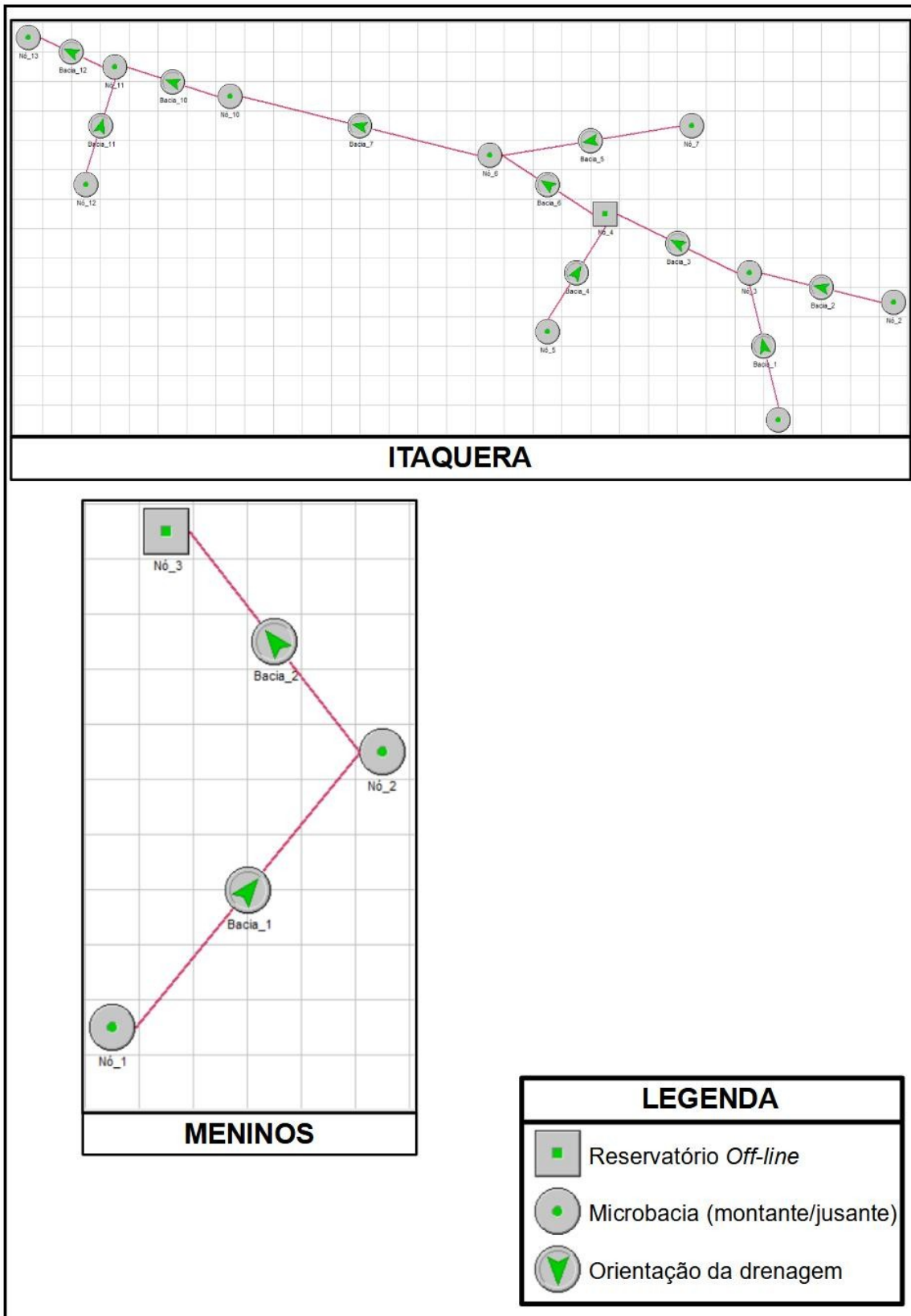


Figura 14: Sub-bacias hidrográficas Itaquera e Meninos (Fonte: o autor)

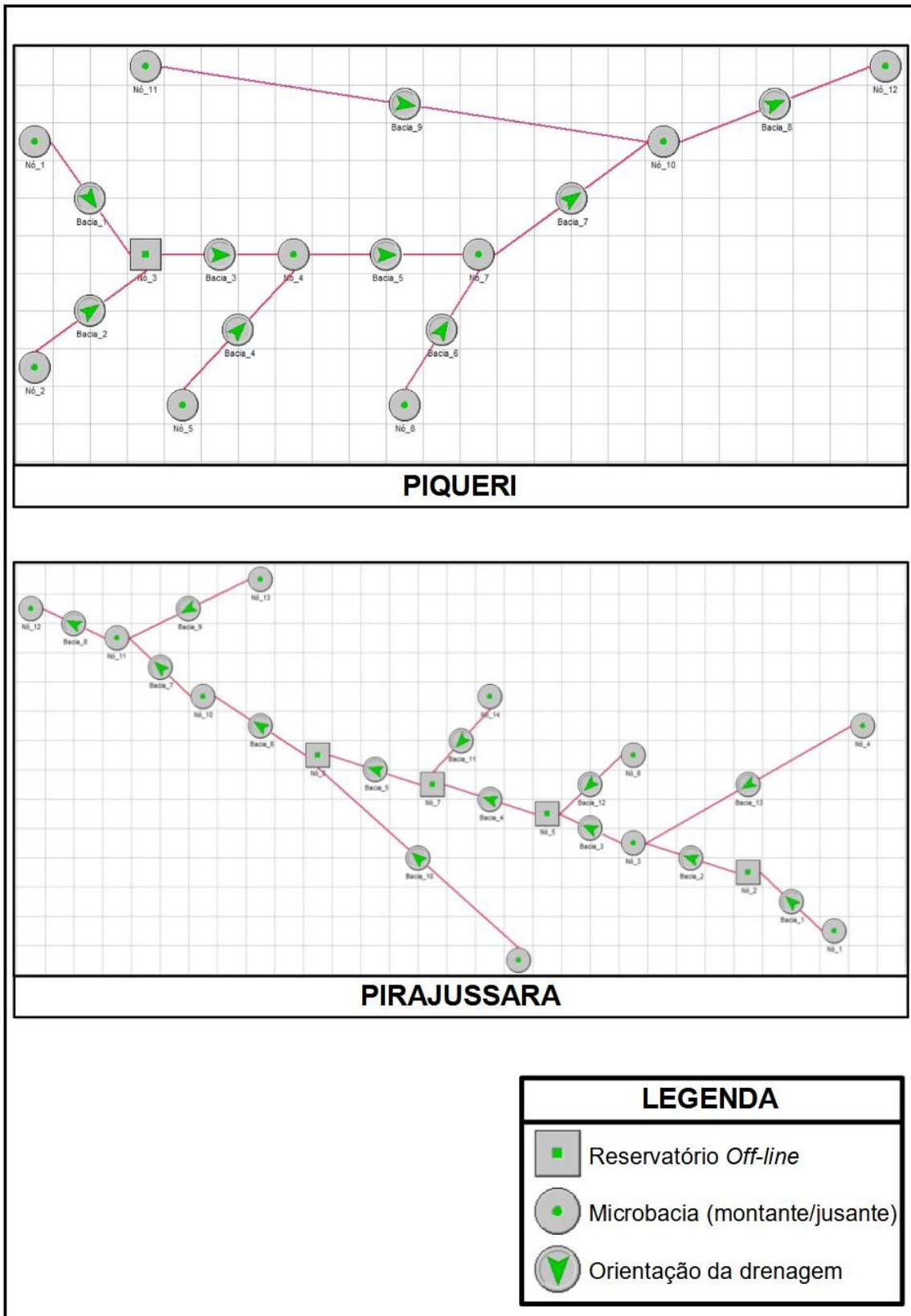


Figura 15: Sub-bacias hidrográficas Piqueri e Pirajussara (Fonte: o autor)

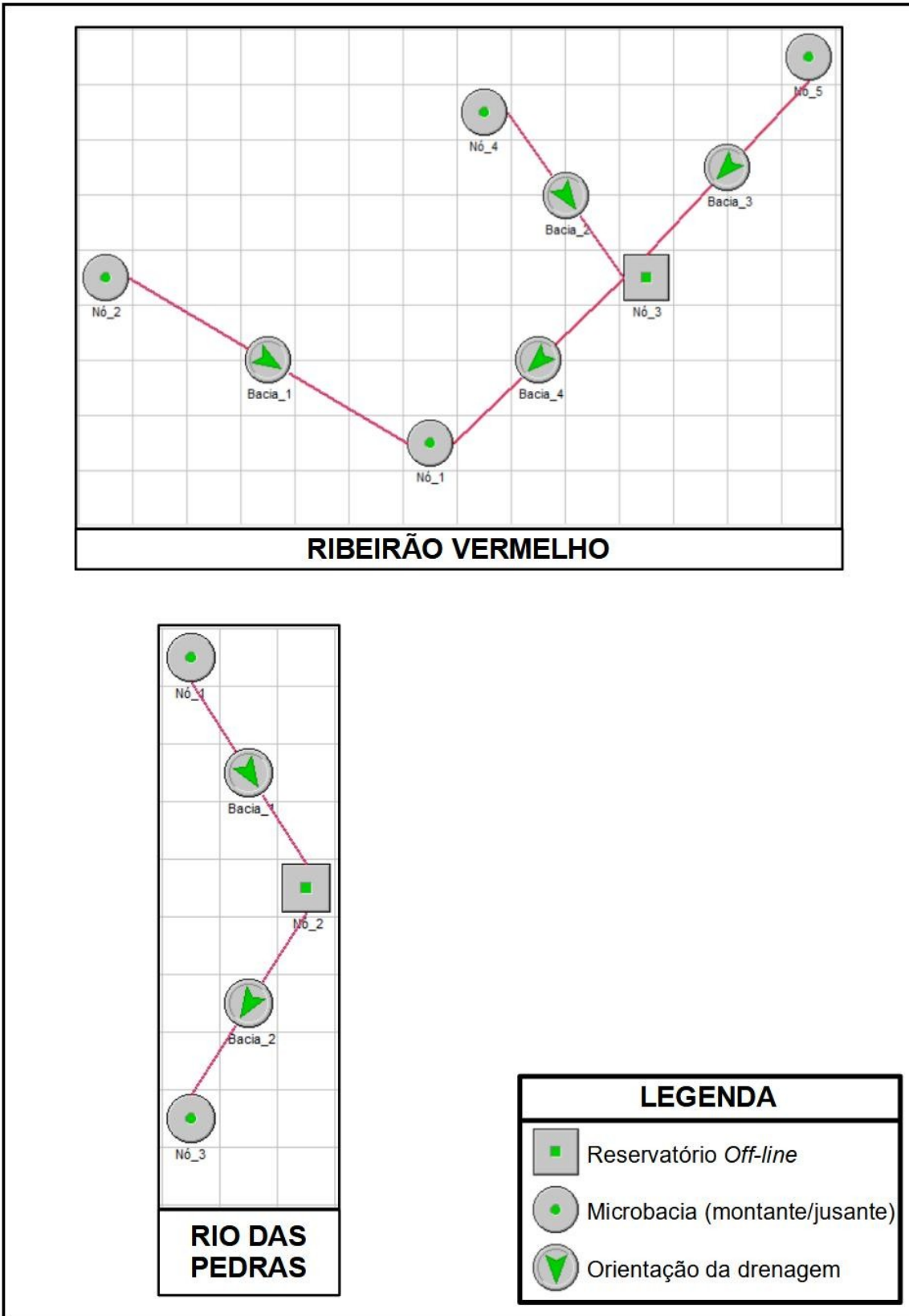


Figura 16: Sub-bacias hidrográficas Ribeirão Vermelho e Rio das Pedras (Fonte: o autor)

#### 6.10. Relação com Ocorrências de Alagamentos

Para análise aprofundada observou-se 10 reservatórios, em 6 sub-bacias, construídos entre 2013 e 2021, relacionando dados sobre ocorrências de alagamentos antes e depois da inauguração destes reservatórios. Foram calculados para cada sub-bacia, uma quantidade fixa de anos, com ocorrências de alagamentos antes e depois da inauguração dos reservatórios.

### 7. RESULTADOS

Após a execução das simulações, com e sem a presença dos reservatórios de retenção, foram coletados os dados de vazão das microbacias. As quais possuíam fluxo direto aos reservatórios, calculando de forma absoluta e percentual, as diferenças de vazão entre as simulações.

Também foram coletados, a jusante, os dados de vazão retida pelos piscinões para o cálculo de sua eficiência. Os resultados podem ser visualizados através da tabela 4.

Reservatório	Ano	Vazão	Vazão	Diferença (m³/s)	Diferença (%)
		Montante (m³/s)	Jusante (m³/s)		
Aliomar Baleeiro	2019	471,151	365,676	-105,48	-22,39
Anhanguera	2010	588,736	536,04	-52,70	-8,95
Aricanduva V	2002	3567,395	3479,336	-88,06	-2,47
Cedrolândia	2004	2390,625	2330,993	-59,63	-2,49
Cordeiro RCO-1	2018	118,804	92,64	-26,16	-22,02
Cordeiro RCO-2	2016	166,171	139,271	-26,90	-16,19
Cordeiro RCO-3	2018	201,301	175,991	-25,90	-12,57
Diogenes	2019	130,641	129,588	-1,05	-0,81
Guamiranga	2017	57,964	34,67	-23,29	-40,19
Inhumas	2010	3036,884	2960,689	-76,20	-2,51
Maria Sampaio	2014	1160,287	1096,975	-63,31	-5,46
Olaria	2014	1486,293	1423,011	-63,28	-4,26
Pedreira	2003	947,028	630,658	-316,37	-33,41
Rincão	2002	793,653	640,999	-152,65	-19,23
Rio das Pedras	2000	109,716	88,633	-21,08	-19,22
Sharp	2010	1572,969	1309,147	-263,82	-16,77
Tremembé R3	2019	394,404	385,158	-9,25	-2,34

Tabela 4: Redução das vazões causadas pelos reservatórios de detenção

### 7.1. Diferença de Vazão dos Reservatórios de Detenção

Os reservatórios de detenção reduziram em média 80,85 m³/s da vazão, o que representa uma redução de aproximadamente 13,60%. Tal redução compara-se com as diferenças vistas nas bibliografias revisadas. Houve uma grande variabilidade nas vazões entre os reservatórios, isto pode ser atribuído às diferentes características dos reservatórios e sub-bacias, não foram observados aumentos nas vazões em nenhuma das sub-bacias. O reservatório Diógenes obteve a menor taxa de diminuição da vazão, com redução de 0,81% se comparada ao período antes da construção. Outros piscinões como Tremembé R3 (2,34%), Aricanduva V (2,47%), Cedrolândia (2,49%), Inhumas (2,51%), Olaria (4,26%), Maria Sampaio (5,46%) e Anhanguera (8,95%), também tiveram reduções inexpressivas.

Não foi obtida nenhuma relação entre as taxas de redução de vazão, com os anos de inauguração dos reservatórios. Uma característica comum entre os reservatórios de retenção de com baixa redução (< 10%) está na pequena capacidade de projeto para retenção de drenagem, que somam, em média, um volume de cerca de 100.000 m<sup>3</sup>, metade da média de todos os reservatórios observados (200.000 m<sup>3</sup>).

Existe a possibilidade de que a pequena redução seja resultado da chuva de projeto calculada, pois ela levou em consideração todas as sub-bacias. A precipitação calculada pode ter sobrecarregado os reservatórios de menor capacidade.

Entre os reservatórios com grandes reduções de vazão, o reservatório Guamiranga obteve o maior valor porcentual, com uma redução de 23,29 m<sup>3</sup>/s o que representa uma diferença de 40,19%. Essa grande redução é provavelmente devido sua grande capacidade, de 850.000 m<sup>3</sup> e a pequena bacia na qual está localizado, de apenas 2 km<sup>2</sup>. É possível que tal diferença, deva-se ao fato do reservatório atender mais bacias do que foi observado.

Outros reservatórios como Aliomar Baleeiro e Pedreira, também apresentavam altas taxas de redução, com 105,47 m<sup>3</sup>/s e 316,37 m<sup>3</sup>/s respectivamente, o que representa percentualmente 22,39% e 33,41%. Ambos são grandes reservatórios, localizados nas cabeceiras das sub-bacias, coletando grande parte da drenagem inicial.

No geral, os reservatórios de retenção reduziram entre 10-20% da vazão a jusante, redução substancial considerando que todos os piscinões estavam com cerca de 5% de seu volume inicial preenchido.

## 7.2. Diferença de Vazão em cada Microbacia

A figura 14 apresenta a redução da vazão em cada segmento dentro das sub-bacias, os locais sem alteração na vazão não participam do sistema de drenagem dos reservatórios de retenção, ou se localizam a montante dos piscinões. Através da figura, a diferença porcentual de

vazão diminui conforme o rio segue a jusante. Isto é devido a contribuição dos tributários ao rio principal, aumentando a vazão total.

Observa-se também que a redução de vazão depende do volume de retenção do reservatório, em conjunto com o tamanho da bacia. E que uma grande eficiência do reservatório de detenção, não está diretamente relacionada com uma grande diminuição na vazão de uma microbacia.

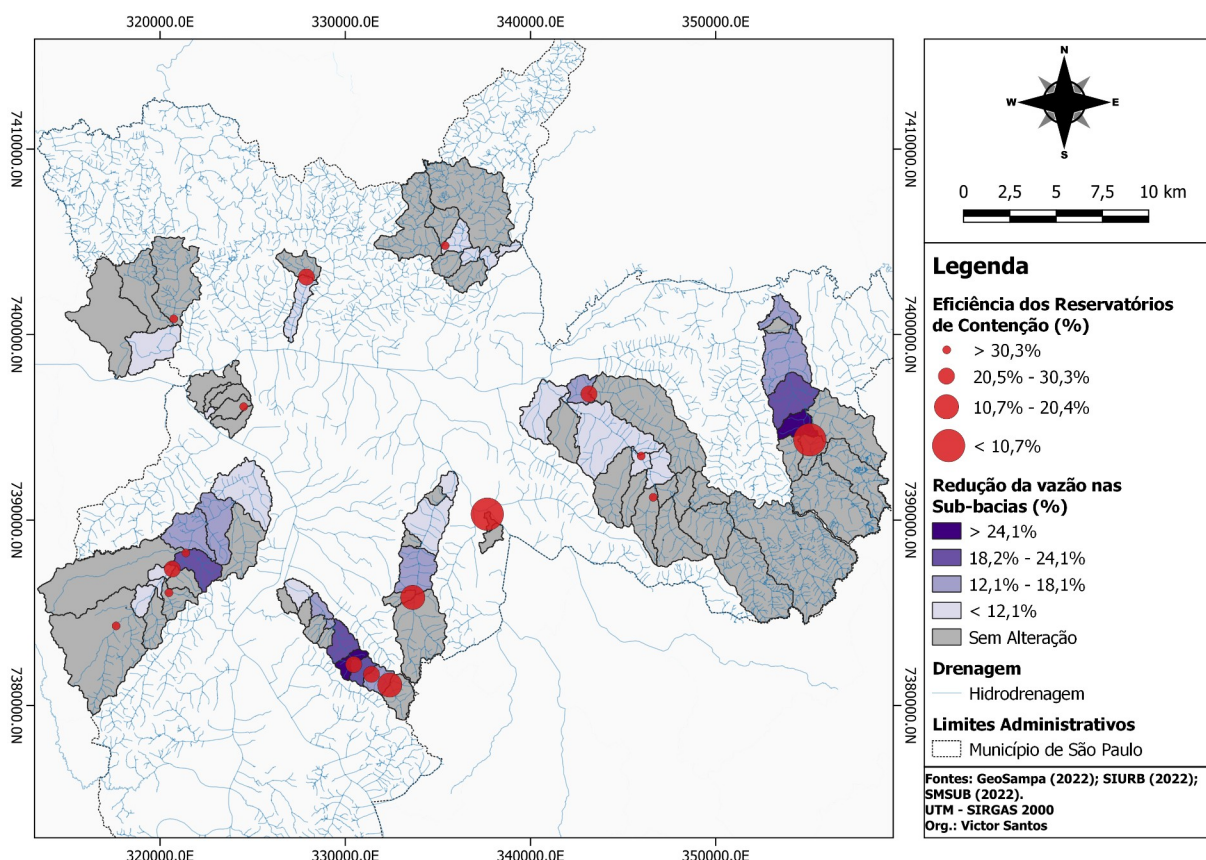


Figura 17: Eficiências dos Reservatórios de detenção e redução das vazões dentro das microbacias

### 7.3. Análise da Diminuição das Ocorrências de Alagamentos

A figura 15 mostra que existe uma redução geral no nas ocorrências de alagamentos. Dentro das 48 microbacias em análise, em 32 apresentaram diminuição, o que corresponde a 66,6% das microbacias observadas, 6 (12,5%) mantiveram em estabilidade. Ou seja, não houve diferença antes ou depois da introdução do reservatório de detenção e em 10 microbacias, que representam 20,8% do total, apresentaram aumento

no número de ocorrências. Sendo que, a maior parte (6) encontram-se na sub-bacia do Pirajussara.

Estes resultados apontam para uma pequena relação entre os pisciões e as ocorrências de alagamentos. Porém, é importante salientar que grande parte do aumento das ocorrências ocorre em microbacias, a montante dos pisciões ou próximo do exutório das sub-bacias. Nestas microbacias não existe efeito do pisciões sobre a redução da vazão, permitindo alagamentos em pontos previamente susceptíveis. Mesmo que algumas sub-bacias apresentem aumento nas ocorrências de alagamentos, tais aumentos são menores se comparados com as bacias que obtiveram reduções no número.

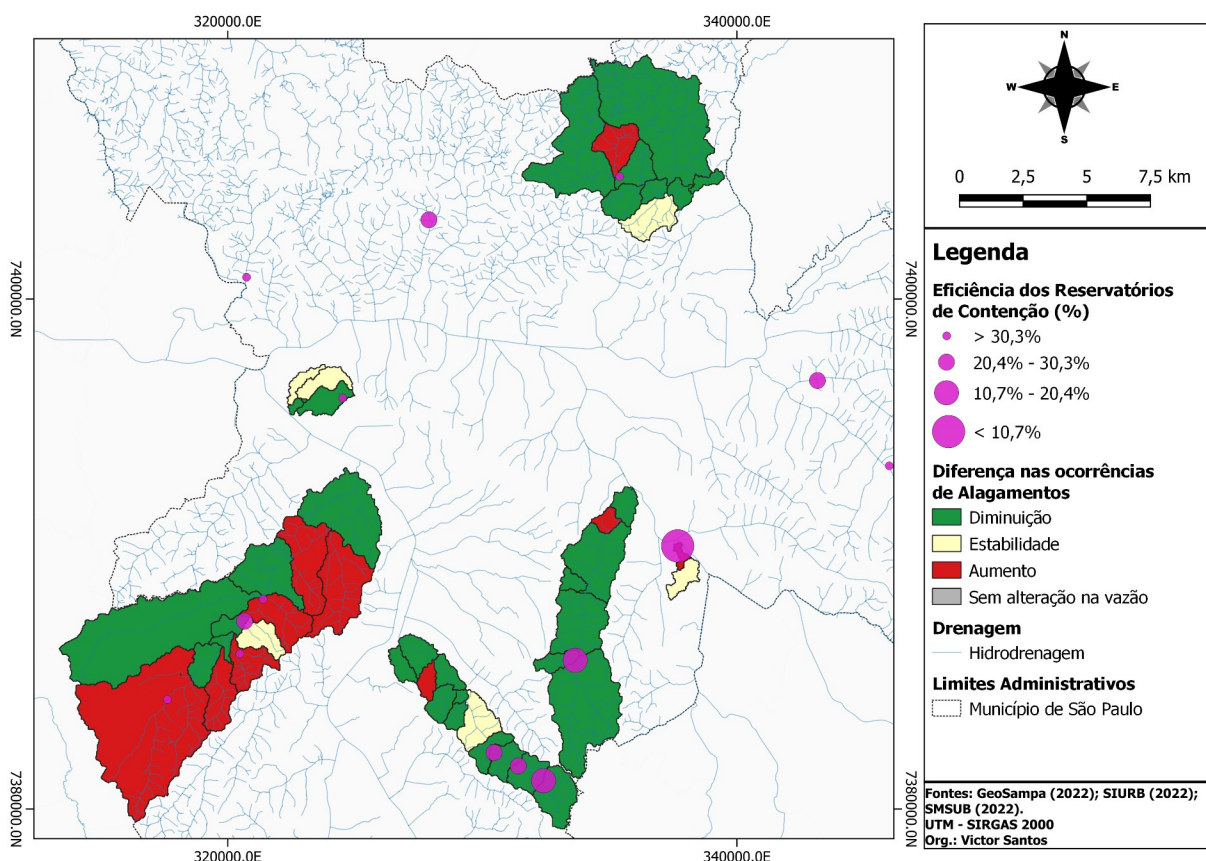


Figura 18: Diferença das Ocorrências de Alagamento dentro das microbacias

Quando excluídas microbacias não afetadas pelos reservatórios de retenção, existe uma relação ainda mais forte entre a redução da vazão e a redução no número de ocorrências. Das 22 bacias afetadas pelos pisciões, apresentada na figura 16, 19 mostram redução no número de ocorrências de alagamentos, o que representa 86,6% de todas as bacias, com apenas duas bacias (9,0%) apresentando aumento.

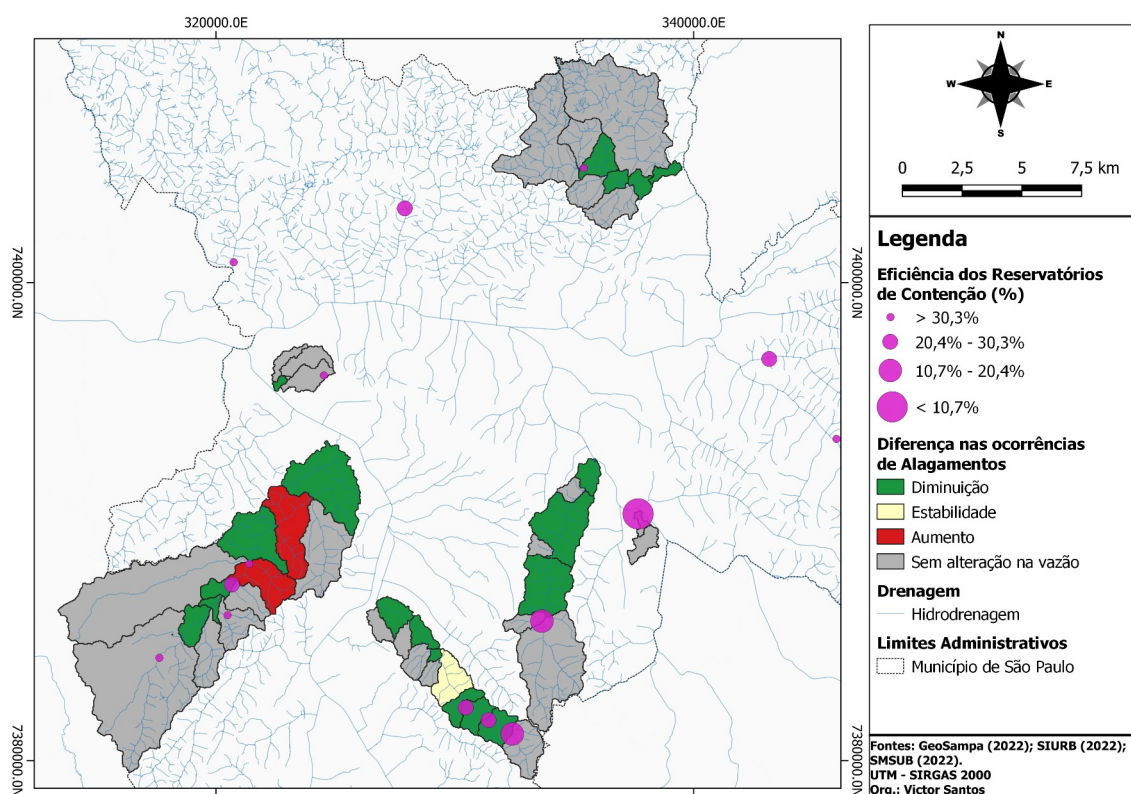


Figura 19: Diferença das Ocorrências de Alagamento em áreas com redução de vazão

#### 7.4. Limitações da Pesquisa

A principal limitação da pesquisa relacionou-se com a disponibilidade das datas de inauguração dos reservatórios de retenção, nos dados da plataforma GeoSampa. Para a resolução desta limitação realizou-se os cruzamentos das localizações dos reservatórios disponibilizados pelo GeoSampa, com as informações sobre as datas de inauguração obtidas pelo e-SIC.

Outra dificuldade, esteve na discrepância entre a data de inauguração e a data de operação inicial de alguns reservatórios. Alguns piscinões, por serem de obras em locais abertos sem a necessidade do bombeamento da água, afetam no padrão hidrológico antes da data de inauguração, o que pode causar erro de interpretação dos dados.

## **8. CONCLUSÕES**

Através das análises das vazões em microbacias hidrográficas antes e depois da construção de reservatórios de retenção, além de sua relação com as ocorrências de alagamentos, é possível afirmar que, de modo geral, os reservatórios de retenção cumprem sua função primordial de redução da drenagem. Tal redução está sujeita às características físicas tanto do piscinão, quanto das bacias hidrográficas, com menor impacto nas áreas próximas ao exutório, conforme a bacia recebe vazões de seus tributários.

Foi observada uma relação entre a diminuição da vazão causada pelos reservatórios e redução no número de ocorrências de alagamento, indicando que a redução no número de alagamentos pode apresentar-se como um parâmetro qualitativo, de fácil obtenção, na avaliação da eficiência dos reservatórios de retenção dentro das sub-bacias.

Estudos em microescala dentro das regiões com altos índices de ocorrências de alagamentos, podem apresentar os reais fatores que afetam diretamente na qualidade de vida dos habitantes locais.

## 9. REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A. N. Capítulo IV: O sítio urbano de São paulo. In: AZEVEDO, A. **A cidade de São Paulo**: Estudos de Geografia Urbana. São Paulo: Companhia Editora Nacional, vo. 1, 1958.
- ALVES, E. M. **Medidas não-estruturais na prevenção de enchentes em bacias urbanas**: cenários para a bacia do Gregório, São Carlos - SP. 2005. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005. doi:10.11606/D.18.2016.tde-15032016-141401. Acesso em: 2022-11-30.
- ALVES, F.; MENEZES FILHO, F. C. M.; COSTA, A. R da; Estimativa de Volume para Micro-reservatório Domiciliar no Controle de Cheias. *In*: XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 17., 2007, São paulo. **Anais** [...]. Disponível em <[https://www.researchgate.net/publication/342018804\\_ESTIMATIVA\\_DE\\_VOLUME\\_PARA\\_MICRO-RESERVATORIO\\_DOMICILIAR\\_NO\\_CONTROLE\\_DE\\_CHEIAS\\_URBANAS](https://www.researchgate.net/publication/342018804_ESTIMATIVA_DE_VOLUME_PARA_MICRO-RESERVATORIO_DOMICILIAR_NO_CONTROLE_DE_CHEIAS_URBANAS)>. Acesso em: 21 nov. 2022.
- ALVES SOBRINHO et al., T. Delimitação automática de bacias hidrográficas utilizando dados SRTM. **Engenharia Agrícola**, 2010. 30. 46-10.1590/S0100-69162010000100005.
- BARRETO DOS SANTOS, P.; MAZIVIERO, M. C. Impactos da inserção dos pisciões na escala local: O caso do Reservatório de Contenção RC5 - Taboão. **arq.urb**, [S. l.], n. 17, p. 22-44, 2016. Disponível em: <https://revistaarqurb.com.br/arqurb/article/view/170>. Acesso em: 19 dez. 2022.
- BAZZANO, M. G. P., ELTZ, F. L. F., CASSOL E. A. EROSIVIDADE E CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS DAS CHUVAS DE RIO GRANDE (RS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 2010, 34(1), 235-244. ISSN: 0100-0683. Disponível em: <<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180215873024>>. Acesso em: 22 nov. 2022.
- BRASIL, Governo Federal. **Manual e-SIC - Guia do Cidadão**. Brasília, 2022. Disponível em: <<https://www.gov.br/acessoainformacao/pt-br/lai-para-sic/guias-e-orientacoes/manual-e-sic-guia-do-cidadao#Um>>. Acesso em: 2 jul. 2022.
- CANHOLI, A. P. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. 2ª ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.
- CHOW, V. T., MAIDMENT, D. R., MAYS, L. W. **Applied hydrology**. Nova York, McGraw-Hill, 1988. 572P.
- COSTA JUNIOR, L. L. da C.; BARBASSA, A. P. Parâmetros de projeto de microrreservatório, de pavimentos permeáveis e de previsão de enchentes urbanas. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, v. 11, n. 1, p. 46-54, jan./mar. 2006. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/esa/v11n1/29137.pdf>>. Acesso em: 14 nov. 2022.

- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. **Piscinões**. São Paulo, 2022. Disponível em < <http://www.daee.sp.gov.br/site/piscinoes/>>. Acesso em: 02 jul. 2022.
- ELTZ, F.L.; REICHERT, J.M.; CASSOL, E.A. Período de retorno de chuvas em Santa Maria, RS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.16, p.265-269, 1992.
- ENOMOTO, C. F. **Método para elaboração de mapas de inundação**: estudo de caso na bacia do Rio Palmital, Paraná. 2004. 122 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.
- FRANCISCHET, M. M.; FILHO, J. E. A. Análise da influência dos reservatórios de retenção domiciliares no escoamento superficial urbano aplicados na estimativa de vazões críticas geradas em uma quadra padrão. *In*: XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 9., 2011, Maceió. **Anais [...]**. Disponível em: <<https://www.abrhidro.org.br/SGCv3/publicacao.php?PUB=3&ID=81&SUMARIO=970>>. Acesso em: 17 nov. 2022.
- GOUVEIA, I. C. M. A cidade de São Paulo e seus rios: uma história repleta de paradoxos, **Confins** [Online], 27 | 2016. DOI: <<https://doi.org/10.4000/confins.10884>> Disponível em: <<http://journals.openedition.org/confins/10884>>. Acesso em 02 jul. 2022.
- GUERRA, A. E. Qualidade e Eficiência dos Serviços de Saneamento. *In*: **ATLAS de Saneamento**. Rio de Janeiro: IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2011, p. 27-44.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Piratininga**. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/piratininga/historico>>. Acesso em 02 jul. 2022.
- JENSON, S.K.; DOMINGUE, J.O. Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, Bethesda, v.54, n.11, p.1.593-1.600, 1988.
- LÍVEA et al. P. A utilização de reservatórios no amortecimento de vazões de cheia: apresentação e discussão de casos do sudeste brasileiro. *Revista de Geografia e Ordenamento do Território (GOT)*. Porto, 2019, n.º 16 (março). **Centro de Estudos de Geografia e Ordenamento do Território**, p. 275-295, DOI: [dx.doi.org/10.17127/got/2019.16.012](https://doi.org/10.17127/got/2019.16.012). Disponível em: <<http://cegot.org/ojs/index.php/GOT/article/view/2019.16.012>>. Acesso em 02 jul. 2022.
- MENDES, C. A. B.; CIRILO, J. A. **Geoprocessamento em recursos hídricos**: princípios, integração e aplicação. Porto Alegre: ABRH, 2001. 536 p.
- MINUZZI, R. B. et al. (2007). Climatologia do comportamento do período chuvoso da região sudeste do Brasil. **Revista Brasileira De Meteorologia**. 22. 10.1590/S0102-77862007000300007. Disponível em:

<<https://www.scielo.br/j/rbmet/a/SfmzZ5dYNPbQqrjnJLsCCc/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 17 nov. 2022.

NAKAYAMA, P. T.; SILVEIRA, G. M. Avaliação da Eficiência dos Reservatórios de Retenção no Ribeirão dos Couros, na Região Metropolitana de São Paulo. *In: XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, 18., 2009, Campo Grande. **Anais** [...]. Disponível em: <[https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/110/f845468e57ed3b0b442f3019b60c1e5e\\_e10d09eda9eebec59b394f362e2186ad.pdf](https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/110/f845468e57ed3b0b442f3019b60c1e5e_e10d09eda9eebec59b394f362e2186ad.pdf)>. Acesso em: 17 out. 2022.

NAKAZONE, L. M. **Implantação de reservatórios de detenção em conjuntos habitacionais**: a experiência da CDHU. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006. doi:10.11606/D.3.2006.tde-13042006-210759.

PACHECO, A. **Análise das características técnicas e da legislação para uso e proteção das águas subterrâneas em meio urbano** (município de São Paulo). 1984. Tese (Doutorado em Geologia Geral e de Aplicação) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1984. doi:10.11606/T.44.1984.tde-23092015-145106.

PAULINO, V. W.; SILVA, G. B. L da. Avaliação de reservatórios de detenção como medida de controle do escoamento em áreas urbanas. *In: XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, 22., 2017, Florianópolis, **Anais** [...]. Disponível em: <<http://abrh.s3.amazonaws.com/Eventos/Trabalhos/60/PAP023258.pdf>>. Acesso em: 21 nov. 2022.

PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. L. Gestão de bacias hidrográficas. **Estudos Avançados**, [S. l.], v. 22, n. 63, p. 43-60, 2008. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/eav/article/view/10292>. Acesso em: 30 nov. 2022.

QUEIROZ, M.; ALVES, N. **Aplicação de Diferentes Fórmulas de Tempo de Concentração para uma Bacia Hidrográfica Urbana**, 2020. 9. 219-231. 10.20873/uft.2317-9430.2020v9n18p219.

RIGHETTO, A. M.; MOREIRA, L. F. F.; SALES, T. E. A. de. Manejo de Águas Pluviais Urbanas. *In: RIGHETTO, Antonio M. (coordenador). PROSAB 5 (Programa de Pesquisa em Saneamento Básico – Edital 5): Manejo de Águas Pluviais Urbanas*. Rio de Janeiro: ABES, 2009, p. 19-73, v.4.

RODRIGUES, C. Avaliação do impacto humano da urbanização em sistemas hidro-geomorfológicos. Desenvolvimento e aplicação de metodologia na grande São Paulo. **Revista do Departamento de Geografia**, [S. l.], v. 20, p. 111-125, 2011. DOI: 10.7154/RDG.2010.0020.0008. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47245>. Acesso em: 19 dez. 2022.

SÃO PAULO. PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO. **GeoSampa**. 2022. Disponível em: <[http://geosampa.prefeitura.sp.gov.br/PaginasPublicas/\\_SBC.aspx](http://geosampa.prefeitura.sp.gov.br/PaginasPublicas/_SBC.aspx)>. Acesso em: 02 jul. 2022.

\_\_\_\_\_. CASA CIVIL DO GABINETE DO PREFEITO. DECRETO Nº 53.623 de 12 de Dezembro de 2012: Regulamenta a Lei Federal nº 12.527, de 18 de novembro de 2011, no âmbito do Poder Executivo, estabelecendo

procedimentos e outras providências correlatas para garantir o direito de acesso à informação, conforme específica. **Legislação Municipal**. São Paulo, 2012. Disponível em: <<https://legislacao.prefeitura.sp.gov.br/leis/decreto-53623-de-12-de-dezembro-de-2012/detalhe>>. Acesso em: 02 jul. 2022.

SILVA, P. O da; CABRAL, J. J. da S. P. Atenuação de Picos de Vazão em Área Problema: Estudo Comparativo de Reservatórios de Detenção em Lote, em Logradouros e em Grande Área da Bacia. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, n. 2, p. 7-18, 2014. ISSN 2318-0331. Disponível em: <<https://www.abrhidro.org.br/SGCv3/publicacao.php?PUB=1&ID=165&SUMARIO=4768>>. Acesso em: 21 nov. 2022.

SILVEIRA, A. L. L da. Desempenho de Fórmulas de Tempo de Concentração em Bacias Urbanas Rurais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 10, n. 1. p. 5-23, 2005. ISSN 2318-0331. Disponível em: <<https://www.abrhidro.org.br/SGCv3/publicacao.php?PUB=1&ID=29&SUMARIO=896>>. Acesso em: 21 nov. 2022.

SECRETARIA MUNICIPAL DO VERDE E MEIO AMBIENTE, SVMA: INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS, IPT. **Geo Cidade de São Paulo** – Panorama do Meio Ambiente Urbano. São Paulo: Editora Imprensa Oficial, 2004.

TASSI, R. **Efeito dos microrreservatórios de lote sobre a macrodrenagem urbana**. 2002. 142 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

TOMAZ, P. **Cálculos hidrológicos e hidráulicos para obras municipais**. São Paulo, Editora Navegar, 2002.

TOMINGA, L. K.; SANTORO, J. e AMARAL. R. do (orgs.). **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. São Paulo: Instituto geológico, 2009.

TUCCI, C. E. M. Água no Meio Urbano. In: Aldo da Cunha Rebouças; Benedito Braga; José Galizia Tundisi. (Org.). **Águas Doces no Brasil**. 1ed. São Paulo: Escriuras, 1999, v. 1, p. 475-508.

TUCCI, C. E. M. **Inundações Urbanas**. Porto Alegre: ABRH/RHAMA, 2007.

TUCCI, C. E. M. **Gestão da drenagem urbana**/Carlos E. M. Tucci. Brasília, DF: CEPAL. Escritório no Brasil/IPEA, 2012. (Textos para Discussão CEPAL-IPEA, 48). 50p. ISSN: 2179-5495.

VERGUTZ, L. P.; SCHMIDT, M. C. Análise da implantação de reservatórios de detenção de forma que sejam minimizados os impactos causados por inundações. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, 2019. 24. 1267-1277. 10.1590/s1413-41522019175242.

WANG, L.; LIU, H. An efficient method for identifying and filling surface depressions in digital elevation models for hydrologic analysis and modelling. **International Journal of Geographical Information Science**, Oxfordshire, 2006 20:2, 193-213, DOI: 10.1080/13658810500433453. Disponível em:

<<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/13658810500433453>>.

Acesso em: 26 nov. 2022.

ZAGNI, R. M. Uma Análise Iconográfica de São Paulo “Várzea do Carmo, c. 1862”. **Lab. De Estudos sobre a Intolerância** – FFLCH/USP. São Paulo, 2004, 5p. in <https://diversitas.fflch.usp.br/sites/diversitas.fflch.usp.br/files/analise%2520iconografica.pdf>. Acesso em 02 jul. 2022.