

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ABC  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL

**JULIANA GUEIROS FUSATO RODRIGUES**

**ANÁLISE DOS FATORES MORFOMÉTRICOS E  
HIDROCLIMATOLÓGICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO  
TAMANDUATEÍ QUE INFLUENCIAM NA OCORRÊNCIA DE  
INUNDAÇÕES NO MUNICÍPIO DE SANTO ANDRÉ - SP**

Santo André

2017

**JULIANA GUEIROS FUSATO RODRIGUES**

**Análise dos fatores morfométricos e hidroclimatológicos da Bacia  
Hidrográfica do Tamanduateí que influenciam na ocorrência de inundações  
no município de Santo André - SP**

**Dissertação de mestrado apresentada ao  
Programa De Pós-Graduação Ciência e Tecnologia  
Ambiental, da Universidade Federal do ABC, como  
parte dos requisitos para a obtenção do título de  
Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental.**

**ORIENTADOR: Prof. Dra. María Cleofé Valverde Brambila**

Santo André

2017

Rodrigues, Juliana Gueiros Fusato

Análise dos fatores morfométricos e hidroclimatológicos da Bacia Hidrográfica do Tamanduateí que influenciam na ocorrência de inundações no município de Santo André - SP / Juliana Gueiros Fusato Rodrigues. — 2017.

130 fls. : il.

Orientadora: Maria Cleofê Valverde Brambila

Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do ABC, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, Santo André, 2017.

1. Inundações em Santo André-SP. 2. Análise morfométrica das sub-bacias do Rio Tamanduateí. 3. Relação chuva-inundação urbana. I. Brambila, Maria Cleofê Valverde. II. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, 2017. III. Título.

**Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, de acordo com as observações levantadas pela banca no dia da defesa, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.**

Santo André, 19 de Setembro de 2018.

Assinatura do autor: Juliana G.F. Rodrigues

Assinatura do orientador: Morie C. Velverde Bromberg



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**  
**Fundação Universidade Federal do ABC**  
**Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental**  
Avenida dos Estados, 5001 – Bairro Santa Terezinha – Santo André – SP  
CEP 09210-580 · Fone: (11) 4996-0017  
pgcta@ufabc.edu.br

### FOLHA DE ASSINATURAS

Assinaturas dos membros da Banca Examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Dissertação de Mestrado da candidata Juliana Gueiros Fusato Rodrigues, realizada em 24 de janeiro de 2018:

Prof.(a) Dr.(a) **Maria Cleofé Valverde Brambila** (Universidade Federal do ABC) – Presidente

Prof.(a) Dr.(a) **Diana Sarita Hamburger** (Universidade Federal do ABC) – Membro Titular

Prof.(a) Dr.(a) **Daniel Andrés Rodríguez** (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) – Membro Titular

Prof.(a) Dr.(a) **Andréa de Oliveira Cardoso** (Universidade Federal do ABC) – Membro Suplente

Prof.(a) Dr.(a) **Luz Adriana Cuartas Pineda** (Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais) – Membro Suplente

## **Agradecimentos**

Agradeço ao SEMASA – Serviço de Saneamento Básico de Santo André - pelo fornecimento do histórico da Defesa Civil utilizado neste trabalho.

Agradeço também a minha orientadora Profa. Dra. Maria Valverde pela confiança e ajuda durante os dois anos dessa pesquisa e aos membros da banca pelas sugestões de melhorias durante o trabalho.

Finalmente, sou grata a minha família e principalmente a minha mãe Sonia Fusato pelo apoio psicológico durante os dois árduos anos em que fui estudante de mestrado neste país.

## **RESUMO**

O município de Santo André está localizado na Região Metropolitana de São Paulo e sofre constantemente com eventos de inundações, enchentes e alagamentos. Esse trabalho teve o objetivo de estudar as inundações que ocorrem em Santo André com foco na análise morfométrica e hidroclimatológica das sub-bacias hidrográficas do rio Tamanduateí que drenam a parte urbana do município: Tamanduateí Médio I, Oratório, Ribeirão dos Meninos e Guarará. Inicialmente foi analisada a recorrência das inundações no município tendo como base os históricos de ocorrências da Defesa Civil para o ano de 2001 até 2016. Em seguida foram averiguadas as características morfométricas das sub-bacias, seguidas do estudo das chuvas. Foram criados mapas temáticos que permitiram visualizar as sub-bacias e os seus principais condicionantes às inundações. Os resultados mostram um total de 273 ocorrências de inundações nos dezesseis anos citados, com predominância durante o verão. A análise morfométrica indica propensão à inundações para a sub-bacia do Guarará (47% dos casos) pelos índices relacionados ao relevo. A sub-bacia do Tamanduateí Médio I (20% dos registros) possui uma tendência mediana a baixa para inundações, tanto pela geometria, quanto pelo relevo. A sub-bacia do Ribeirão dos Meninos (29% dos casos na porção em Santo André) é a menos propensa a sofrer com inundações em relação as áreas de drenagem vizinhas pelas suas características físicas. A sub-bacia do córrego Oratório pelos índices morfométricos teria maior tendência do que a sub-bacia do Ribeirão dos Meninos. O menor tempo de concentração encontrado foi da sub-bacia do Guarará, já a sub-bacia do Ribeirão dos Meninos possui o maior valor. A maioria dos eventos de inundação se associou com precipitação no mesmo dia e com cinco dias de chuva acumulada, sendo os intervalos de 15-30 mm, 31-50 mm e 51-70 mm os que se associaram com a maior frequência dos eventos. Além disso, observa-se que a antropização nas sub-bacias está diretamente relacionada ao risco à inundação devido a infraestrutura urbana inadequada ou inexistente.

**Palavras-chaves: Inundações. Santo André. Morfometria. Pluviosidade.**

## **ABSTRACT**

The city of Santo André is located in the Metropolitan Region of the State of São Paulo and constantly suffers from floods. This research has the aim to study the floods that occur in Santo André focusing on the morphometric and hydroclimatological analysis of the drainage sub-basins of the Tamanduateí river that drain the city: Tamanduateí Médio I, Oratório, Ribeirão dos Meninos and Guarará. Initially, the recurrence of the flood events was analyzed through the historical data of the Civil Defense regarding the occurrence of the events from 2001 to 2016. After that, the morphometric features of the watersheds were studied, followed by the analysis of the rainfall. The results showed a total of 273 flood events during the 16 years mentioned, most of them occurring in summer. The morphometric analysis indicates that the Guarará watershed (with 47% of the events) is naturally prone to floods because of its relief characteristics. The Tamanduateí Médio drainage basin has a medium tendency to flooding occurrence in terms of geometry and also the relief. The Ribeirão dos Meninos watershed (29% of the cases) is less prone to flood occurrences when compared to the other drainage basins nearby. The Oratório sub-basin is more vulnerable to floods than the Ribeirão dos Meninos watershed. The lowest time of concentration found was in the Guarará sub-basin and the highest value was found for the Ribeirão dos Meninos drainage basin. It is also possible to observe that anthropization in the watersheds is connected to the flood risk because of the inadequate or nonexistent urban infrastructure. The majority of the events were associated to rainfall in the day of the flood and five days of accumulated rainfall. The precipitation intervals that were related the most with the events were 15-30 mm, 31-50 mm e 51-70 mm.

**Keywords: Floods. Santo André. Morphometry. Rainfall.**

## SUMÁRIO

|          |  |     |
|----------|--|-----|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO</b>  | 13  |
| 1.1      | Justificativa  | 15  |
| 1.2      | Objetivos  | 16  |
| 1.2.1    | Geral  | 16  |
| <b>2</b> | <b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>   | 18  |
| 2.1      | Conceitos de inundação, enchente a alagamento  | 18  |
| 2.2      | Bacia Hidrográfica   | 20  |
| 2.3      | Caracterização morfométrica  | 21  |
| 2.3.1    | Área de drenagem   | 22  |
| 2.3.2    | Sistema de drenagem  | 24  |
| 2.3.3    | Relevo   | 28  |
| 2.4      | Bacias urbanas   | 32  |
| 2.5      | Controle de inundação e enchentes  | 35  |
| 2.5.1    | Medidas estruturais  | 36  |
| 2.5.2    | Medidas não estruturais  | 38  |
| 2.6      | Histórico das inundações no Rio Tamanduateí  | 39  |
| 2.7      | Estudos sobre inundações em bacias hidrográficas urbanas   | 44  |
| <b>3</b> | <b>MATERIAL E MÉTODOS</b>  | 49  |
| 3.1      | Área de estudo   | 49  |
| 3.1.1    | Bacia hidrográfica do alto Tietê: a sub-região Billings/Tamanduateí  | 50  |
| 3.1.2    | Características geológicas do Estado de São Paulo e do município de Santo André                                    | 56  |
| 3.2      | Dados  | 59  |
| 3.3      | Métodos  | 61  |
| 3.3.1    | Análise estatística das informações de eventos de inundação e enchente   | 62  |
| 3.3.2    | Estudo das características morfométricas das sub-bacias que fazem parte da área urbana de Santo André              | 63  |
| 3.3.3    | Análise da precipitação e a relação com os eventos de inundação  | 66  |
| 3.3.4    | Variabilidade espacial da chuva  | 67  |
| <b>4</b> | <b>RESULTADOS</b>  | 69  |
| 4.1      | Análise estatística dos históricos das ocorrências de eventos de inundação/enchentes/alagamentos                   | 69  |
| 4.1.1    | Análises dos bairros mais atingidos  | 71  |
| 4.1.2    | Situação dos três últimos anos das ocorrências de inundação em Santo André   | 73  |
| 4.2      | Frequência de inundações nos anos de 2014-2016 e análise morfométrica das sub-bacias da área urbana de Santo André | 78  |
| 4.2.1    | Sub-bacia do Guarará   | 78  |
| 4.2.2    | Subbacia do Tamanduateí Médio I  | 83  |
| 4.2.3    | Ribeirão dos meninos   | 88  |
| 4.2.4    | Sub-bacia do Oratório  | 93  |
| 4.3      | Análise comparativa das características morfométricas das sub-bacias da área urbana de Santo André                 | 95  |
| 4.4      | Análise da relação chuva-inundação urbana  | 100 |
| 4.4.1    | Padrão climatológico da chuva na área urbana de Santo André  | 100 |
| 4.4.2    | Espacialização para os verões dos anos de 2015, 2016 e 2017  | 102 |
| 4.4.2    | Análise das chuvas associadas aos eventos de inundação/alagamento/enchente, através da análise de frequência       | 106 |
| 4.5      | Mapas Temáticos das áreas atingidas por inundações urbanas   | 112 |
| <b>5</b> | <b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>  | 120 |

|          |                          |            |
|----------|--------------------------|------------|
| <b>6</b> | <b>REFERÊNCIAS .....</b> | <b>124</b> |
|----------|--------------------------|------------|

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|   |    |
|---|----|
| Figura 1- Esquematização de uma inundação próxima ao leito de um rio.....   | 18 |
| Figura 2– Diferenças entre a inundação brusca e gradual .....   | 19 |
| Figura 3 - Representação em planta e corte de uma bacia hidrográfica e seus divisores.....  | 20 |
| Figura 4 – Hidrógrafa idealizada e resposta generalizada as características de drenagem da bacia. O efeito de uma característica individual é mostrado assumindo-se que as outras características sejam constantes..... | 22 |
| Figura 5 - Hierarquia dos canais em uma bacia hidrográfica: a) método de Horton b) método de Strahler.....  | 25 |
| Figura 6- Características da rede de drenagem.....  | 27 |
| Figura 7- Padrões texturais de canais em uma bacia hidrográfica .....   | 28 |
| Figura 8 – Uso e ocupação do solo na área urbana do município de Santo André .....  | 35 |
| Figura 9 - Enchente no Rio Tamandateí em março de 1966. Local: Divisas entre Santo André, São Paulo e São Caetano. ....   | 41 |
| Figura 10- Enchente nas décadas de 1970 e 1990 em Santo André, respectivamente: a) Rua Monte Casseros com Alvares de Azevedo; b) Rua Alvares de Azevedo.....  | 42 |
| Figura 11 – Localização dos piscinões na cidade de Santo André.....   | 44 |
| Figura 12- Mapa de localização do município de Santo André .....  | 50 |
| Figura 13 - Localização das sub-bacias de estudo e fotografia aérea ilustrando a urbanização consolidada .....  | 53 |
| Figura 14 – Microbacias da região urbana do município de Santo André. ....  | 54 |
| Figura 15 - Segmentos da Província Estrutural Mantiqueira. ....   | 56 |
| Figura 16 - Compartimentação geológica da Região Metropolitana de São Paulo.....  | 58 |
| Figura 17– Mapa geológico do município de Santo André.....  | 59 |
| Figura 18- Localização das estações pluviométricas citadas na Tabela 5 .....  | 61 |
| Figura 19 – Esquematização da metodologia adotada.....  | 62 |
| Figura 20 - Número acumulado de eventos hidrometeorológicos ocorridos mensalmente durante o período de 2001 a 2016 em azul, e a média de eventos por mês é representada pelas barras vermelhas. ....                    | 69 |
| Figura 21 - Número de eventos registrados a cada ano, no período de 2001 a 2016.....  | 70 |
| Figura 22 - Os quinze bairros mais atingidos por inundações durante o período de 2001 até 2016 em Santo André. Os números indicam a quantidade de eventos registrados. ....   | 72 |
| Figura 23– Bairros que tiveram mais de uma rua atingida e valores de ocorrências em suas respectivas vias. ....   | 73 |
| Figura 24– Bairros com apenas uma rua atingida e ruas que fazem parte de mais de um bairro. Os números indicam a quantidade de eventos registrados. ....  | 73 |
| Figura 25- Bairros atingidos por inundações/enchentes no município de Santo André nos anos de 2014, 2015 e 2016 que registraram pelo menos dois eventos. ....   | 74 |
| Figura 26– Comportas utilizadas na Vila América para conter as águas pluviais. a) Rua Erato; b) Rua Nilo Peçanha. ....  | 75 |
| Figura 27- Cruzamento entre as ruas Nilo Peçanha e Erato na Vila América.....   | 76 |
| Figura 28- Avenida Maurício de Medeiros – Jardim Irene .....  | 77 |
| Figura 29- Danos causados por enchente na madrugada do dia 26 do mês de Janeiro de 2015 na Avenida Maurício Medeiros .....  | 77 |
| Figura 30- Sub-bacia do Guarará com rede de drenagem e bairros mais atingidos .....   | 79 |
| Figura 31– Número de ocorrências de enchentes/inundação na sub-bacia do Guarará nos anos de 2014, 2015 e 2016.....  | 80 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 32 – Localização das ruas mais atingidas na sub-bacia do Guarará ilustradas pelas linhas cinza e preta. ....   | 81  |
| Figura 33 - Hierarquia da rede hidrográfica da sub-bacia do Guarará obtida por meio do critério de Horton.....  | 82  |
| Figura 34- Bacia do Tamanduateí Médio I e os bairros mais atingidos por inundações.....   | 84  |
| Figura 35 - Número de eventos de inundação nos bairros mais atingidos da sub-bacia do Tamanduateí Médio entre os anos de 2014, 2015 e 2016. ....  | 85  |
| Figura 36 - Duas das ruas mais atingidas na sub-bacia do Tamanduateí Médio I. a) Rua Alencastro, bairro Silveira b) Rua Siqueira Alves, na Vila Alzira.....   | 85  |
| Figura 37 - Localização das ruas mais atingidas na sub-bacia do Tamanduateí Médio I. ....   | 86  |
| Figura 38- Rede Hierárquica da bacia do Tamanduateí Médio I .....   | 87  |
| Figura 39- Sub-bacia do Ribeirão dos Meninos e bairros mais atingidos .....   | 89  |
| Figura 40– Situação das ocorrências de inundações/enchentes na sub-bacia do Ribeirão dos Meninos durante os anos de 2014, 2015 e 2016.....  | 90  |
| Figura 41– Ruas mais atingidas por inundações na Bacia do Ribeirão dos Meninos .....  | 91  |
| Figura 42 – Ruas mais atingidas por inundações na sub-bacia do Ribeirão dos Meninos em Santo André. A) Avenida Bom Pastor, no bairro Bom Pastor (Ribeirão dos Meninos à direita, indicado pela seta) e b) Rua Pederneiras, na Vila Palmares.....            | 91  |
| Figura 43 - Ordenamento hierárquica da rede de drenagem do Ribeirão dos Meninos .....   | 92  |
| Figura 44- Sub-bacia do Ribeirão Oratório e bairros mais atingidos. ....  | 94  |
| Figura 45- Hierarquia da rede de drenagem da sub-bacia do Oratório .....  | 95  |
| Figura 46 – Padrões de precipitação para os meses de Dezembro, Janeiro e Fevereiro durante o período de 1961-1990 para a área urbana de Santo André.....  | 101 |
| Figura 47 – Espacialização das chuvas durante o verão de 2014-2015.....   | 102 |
| Figura 48 - Espacialização das chuvas durante o verão de 2015-2016 .....  | 104 |
| Figura 49 - Espacialização das chuvas durante o verão de 2016-2017 .....  | 104 |
| Figura 50 – Porcentagem dos eventos de inundação apenas para eventos relacionados a um e até cinco dias de chuva consecutiva para todos os eventos de inundação/enchente/alagamento. A) Pluviômetro Lucinda b) Pluviômetro Campestre .....                  | 107 |
| Figura 51 – Porcentagem dos eventos de inundação para eventos relacionados a um e até cinco dias de chuva consecutiva para os casos ocorridos apenas nos bairros da sub-bacia do Tamanduateí Médio I. A) Pluviômetro Lucinda b) Pluviômetro Campestre ..... | 109 |
| Figura 52 – Mapa temático contendo as sub-bacias urbanas estudadas .....  | 113 |
| Figura 53 – Mapa temático da sub-bacia do Guarará.....  | 116 |
| Figura 54- Mapa temático da sub-bacia do Tamanduateí Médio I.....   | 117 |
| Figura 55– Mapa temático da sub-bacia do Oratório .....   | 118 |
| Figura 56- Mapa temático da sub-bacia do Ribeirão dos Meninos .....   | 119 |

## LISTA DE TABELAS

|   |     |
|---|-----|
| Tabela 1– Resumo das principais medidas estruturais .....   | 36  |
| Tabela 2 – Piscinões que operam no município de Santo André - SP.....   | 43  |
| Tabela 3 - Bacias Hidrográficas da Macrozona Urbana e seus afluentes.....   | 51  |
| Tabela 4 – Características de temperatura e pluviosidade da subunidade climática IA1<br>definida por Tarifa; Armani (2001) .....  | 55  |
| Tabela 5- Nome das estações pluviométricas, localização e órgão responsável .....   | 59  |
| Tabela 6 – índices morfométricos utilizados, símbolo, fórmula e referência bibliográfica .....  | 64  |
| Tabela 7 – Resumo dos parâmetros e índices morfométricos encontrados para as bacias<br>hidrográficas da área urbana do município de Santo André.....                    | 96  |
| Tabela 8 – Frequência dos intervalos de chuva para os pluviômetros Lucinda e Campestre<br>para todos os bairros .....   | 107 |
| Tabela 9- Frequência dos intervalos de chuva para os pluviômetros Lucinda e Campestre para<br>os eventos ocorridos nos bairros da sub-bacia do Tamanduateí Médio I..... | 109 |
| Tabela 10 – Percentil 85% e 99% dos valores diários de chuva da estação Lucinda e<br>Campestre .....  | 111 |

## 1 INTRODUÇÃO

A atual situação do crescimento metropolitano tem como uma de suas principais características a importância assumida pela dimensão dos problemas urbanos. As regiões metropolitanas dependem de políticas integradas de desenvolvimento urbano e ações articuladas. Tais procedimentos são ausentes, o que agrava as inadequações de uso e ocupação do solo trazendo forte impacto ambiental (GROSTEIN, 2001).

Os efeitos do aumento populacional nas cidades são relevantes, sobretudo o aparelhamento urbano relativo aos recursos hídricos (TUCCI, 1997). As bacias hidrográficas são unidades espaciais de dimensões variadas, onde se organizam os recursos hídricos superficiais em função das relações entre a estrutura geológica-geomorfológica e as condições climáticas (MAGALHÃES JR., 2007).

A bacia hidrográfica é o elemento fundamental de análise dentro do ciclo hidrológico. A mesma trata-se de uma área de captação natural dos fluxos de água oriundos da precipitação, convergindo o escoamento para o exutório, seu único ponto de saída (COLLISCHON; TASSI, 2008). O conhecimento das características físicas de uma bacia hidrográfica é de extrema importância para compreender seu comportamento hidrológico e a disponibilidade do recurso hídrico (FREITAS, 2006).

A urbanização é uma das maiores responsáveis pelas modificações nas bacias hidrográficas. Nesse contexto, as mudanças nas características das bacias são consideradas como forças-motrizes na ocorrência de inundações, bem como o padrão de precipitação. Já as alterações no uso do solo das bacias, a impermeabilização, a urbanização e a construção de infraestrutura de transportes e de drenagens são vistos como pressão. Isso significa que dependendo de como forem manuseados induzem ou aumentam a ocorrência de inundações (TRAVASSOS, 2010).

A urbanização afeta os processos de escoamento produzidos por enchentes. Superfícies impermeáveis, retificação de canais e a elaboração de redes de drenagem tendem a diminuir o tempo de resposta hidrológica das bacias urbanas e reduzir a infiltração, conduzindo a maiores picos de enchente. Os solos em áreas urbanas tendem a infiltrar água em taxas menores e possuem volume de estoque reduzido em relação a solos naturais, principalmente devido à compactação (WRIGHT et al., 2012).

Este problema é agravado pelos resíduos sólidos, que transformam os rios em áreas degradadas e causam entupimento no sistema de drenagem pluvial, além do limitado serviço de esgotamento sanitário. Assim, as inundações e enchentes urbanas constituem-se em um dos

mais importantes impactos sobre a sociedade devido às modificações do processo de urbanização (TUCCI, 1997).

A Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) representa o maior aglomerado urbano do hemisfério Sul. Sua explosiva expansão vem acompanhada de conflitos relacionados à mineração, abastecimento de água, áreas de risco geológico, colapsos de terrenos cársticos etc. A história da urbanização na RMSP demonstra que os governos sempre negligenciaram os problemas que assolam a população, principalmente aqueles relacionados às inundações (RODRIGUEZ, 1998).

A antiga paisagem natural da RMSP era caracterizada por largas planícies de inundação e rios meandrantos, transformando as planícies em áreas inundáveis. No entanto, o processo de urbanização causou diminuição na permeabilidade original das unidades geológicas devido ao calçamento, cimentação e asfaltamento, contribuindo para a grande ocorrência de inundações (RODRIGUEZ, 1998).

A rede hidrográfica da RMSP é constituída prioritariamente pela bacia do Alto Tietê, sendo que esta hospeda os principais pontos críticos suscetíveis à inundação na região. Alguns municípios da RMSP são particularmente mais atingidos pelos eventos de inundação, dentre eles, destacam-se aqueles localizados na região do ABC Paulista, a sudeste da RMSP, que incluem Diadema, Mauá, São Bernardo do Campo, São Caetano, Ribeirão Pires, Rio Grande da Serra e por fim, Santo André. Este último se destaca por ser palco de frequentes ocorrências de inundação (NEVES, 2016).

O município de Santo André, localizado em uma região dinâmica do país devido as várias indústrias instaladas no local e também por estar próximo a capital paulista, é referência como forma de produção de riqueza econômica, que por sua vez não é sinônimo de desenvolvimento (NEVES, 2008), pois sofre com fenômenos hidrometeorológicos recorrentes.

O objetivo desse trabalho é analisar as características físicas das sub-bacias da área urbana de Santo André para compreender se as mesmas são naturalmente propícias as inundações/enchentes/alagamentos, sendo que os eventos nas sub-bacias mais atingidas foram localizados espacial e temporalmente por meio do histórico da Defesa Civil. Complementarmente foi analisada a precipitação para compreender a relação chuva-inundação/enchente/alagamento. Além disso, foram feitos mapas temáticos para integrar os principais fatores que se associam aos eventos, como a precipitação, declividade, índices morfométricos, hidrografia e a localização dos bairros mais atingidos.

## 1.1 Justificativa

Neves (2008) ressalta que inundações e enchentes são processos naturais de escoamento da água provenientes de intensas precipitações em uma bacia hidrográfica. Várzeas são áreas que geralmente não se encontram inundadas, mas que dependendo do volume de chuva são locais de extravasamento natural dos cursos d'água. Quando essas áreas são ocupadas, tanto para uso residencial quanto outros tipos de estabelecimentos, o fluxo natural da água encontra obstáculos que antes não existiam, gerando riscos aos elementos da paisagem construída.

As inundações, quando frequentes e intensas, estão geralmente relacionadas a perdas de vidas, bens materiais e proliferação de doenças. Além disso, o crescente cenário atual de aumento populacional exacerbado resulta na ocupação de áreas sujeitas à inundação, agravando sua ocorrência.

Quem reside na Região do ABC de São Paulo observa frequentemente a ocorrência de inundações durante o verão, período que mais chove no local, além de ser um fato abordado pela mídia, que todo o verão noticia casos de inundação na área. Em Santo André, principalmente durante os meses mais chuvosos, de dezembro a março, as precipitações que ocorrem no município, na maioria das vezes, causam inundação no rio Tamanduateí e afluentes que passam pela cidade.

A cidade de Santo André se desenvolveu nas várzeas do rio Tamanduateí e ao longo do tempo seu curso foi canalizado, transformando as áreas de várzea atualmente em grandes avenidas, como é o caso da Avenida dos Estados, umas das principais vias do local, que em época de chuvas intensas sofre com os impactos das inundações neste curso d'água.

Por outro lado, conforme chove, os alagamentos dificultam a movimentação dos veículos, como carros, ônibus e trens. Há de se levar em conta também o transtorno psicológico causado pelo rebaixamento no nível de qualidade de vida que as inundações provocam no local. Não só no município de Santo André, mas em outros locais com as mesmas características de infraestrutura urbana e de planejamento, o bem-estar social é extremamente prejudicado pela ocorrência desses episódios. Como exemplo atual desta situação no município de Santo André, cita-se o caso ocorrido no dia seis de abril de 2017, em que foi aberta uma cratera em uma ponte em Santo André, na região da Avenida do Estado, próximo a Universidade Federal do ABC. Neste dia choveu 105,7 mm (Estação Semasa RM9) e 126,5 mm no pluviômetro Utinga (G1 SÃO PAULO, 2017).

Diante deste cenário, é necessário concentrar estudos voltados à caracterização hidroclimatológica das sub-bacias em estudo, assim como nas características físicas das mesmas, que influenciam na ocorrência das inundações. Embora existam órgãos atuantes no saneamento ambiental como é o caso do Serviço Municipal de Saneamento Ambiental de Santo André – SEMASA e as diversas secretarias municipais (desenvolvimento urbano e habitação, mobilidade urbana, obras e serviços públicos, ciência e tecnologia, administração e modernização) é visível que os problemas relacionados às inundações ainda estão longe de ser solucionados ou minimizados. Um trabalho recente desenvolvido por Neves (2016) alerta que as medidas estruturais para a minimização de inundações e enchentes nos bairros de maior ocorrência de eventos não são suficientes.

Nesse contexto, este estudo propõe a caracterização morfométrica das sub-bacias urbanas que comportam o município de Santo André. Complementarmente, foi feita uma abordagem temporal e espacial dos eventos, bem como a relação das chuvas com as inundações. Os resultados obtidos por meio deste estudo podem auxiliar nas tomadas de decisões dos órgãos municipais encarregados da gestão da drenagem urbana e das águas pluviais a qual deve ocorrer dentro de um sistema de gerenciamento integrado da bacia hidrográfica.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Geral**

Estudar as inundações que ocorrem na cidade de Santo André–São Paulo através das análises morfométricas e hidroclimatológicas das sub-bacias hidrográficas do rio Tamanduateí que drenam o município: Sub-bacias do Guarará, Oratório, Ribeirão dos Meninos e Tamanduateí Médio I.

### **1.2.2. Específicos**

- Elaborar uma estatística dos eventos de inundação ocorridos em Santo André entre os anos de 2001 até 2016 por meio de um inventário fornecido pela Defesa Civil;
- Identificar áreas de inundação urbana com base nos históricos da Defesa Civil;
- Avaliar as características morfométricas das sub-bacias do Tamanduateí que fazem parte da porção urbana do município de Santo André, com ênfase nos cursos d'água que contribuem para a ocorrência dos eventos;
- Estudar a relação chuva-inundação urbana.

- Elaborar mapas temáticos que permitam visualizar de forma conjunta as áreas atingidas por inundações urbanas, com informações de pluviosidade, bairros mais atingidos, hidrografia e declividade.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

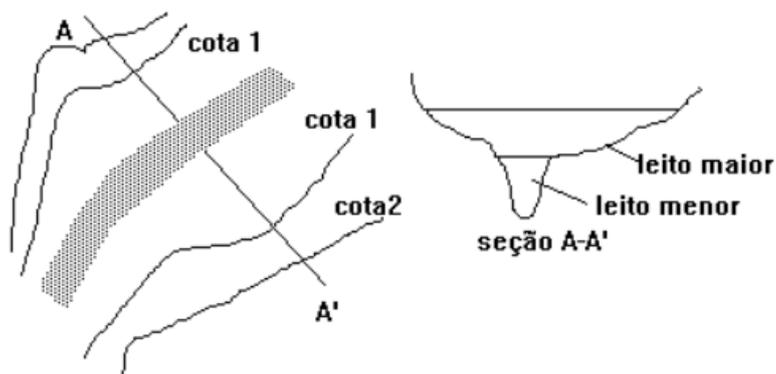
### 2.1 Conceitos de inundação, enchente e alagamento.

Não existe um consenso a respeito dos termos alagamento, enchente, enxurrada, inundação brusca e gradual pelos pesquisadores da área. Este tópico visa esclarecer estes diferentes tipos de processos e mencionar as diferenças nas classificações entre autores distintos.

De acordo com Macedo et al., (2007), as enchentes ocorrem quando as chuvas ao alcançarem um curso d'água causam aumento da vazão por certo período de tempo. Este acréscimo de água é também chamado de cheia. Com relação ao alagamento, este é definido como o acúmulo momentâneo de águas em certa área por problemas no sistema de drenagem, que pode ou não ter relação com processos de natureza fluvial. Assim, ele se torna um fenômeno comum em áreas urbanas. Ainda de acordo com Macedo et al., (2007) as enxurradas podem ser definidas como escoamento superficial concentrado e com alta energia de transporte, que pode ou não estar associada a áreas de domínio dos processos fluviais.

Em relação às inundações, durante o período de enchente, as vazões atingem uma magnitude que supera a capacidade de descarga da calha da drenagem e extravasam para áreas marginais geralmente não ocupadas pelas águas. A área marginal que recebe esses excessos de água recebe o nome de várzea ou leito maior (Figura 1). De acordo com Tucci (1997), a definição para áreas de risco às enchentes e inundações seriam terrenos marginais e cursos d'água ocupados por habitações precárias sujeitas ao impacto direto de processos de enchentes e inundação.

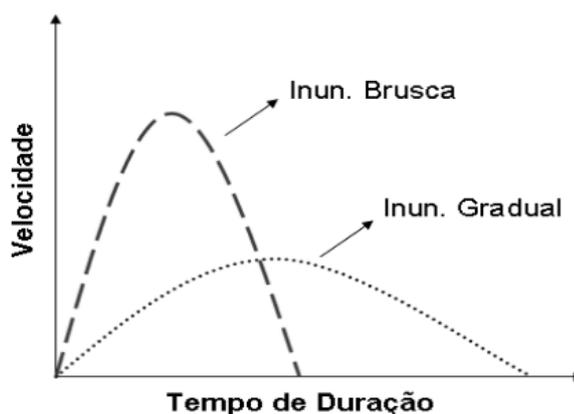
Figura 1- Esquemática de uma inundação próxima ao leito de um rio



Fonte: Tucci (1997)

Kobiyama et al. (2006) apontam o erro de diferentes conceitos para os termos citados anteriormente por muitos autores e diferenciam enchente de inundação através do fato de que quando o rio fica praticamente cheio, mas sem ocorrer o transbordamento, o evento é chamado de enchente ou cheia. Se as águas extravasam do leito do rio, o fenômeno é chamado de inundação, que pode ser dividida em brusca ou gradual. Na Figura 2 o tempo de duração da inundação brusca é menor, no entanto, a velocidade de escoamento é maior.

Figura 2– Diferenças entre a inundação brusca e gradual



Fonte: Kobiyama et al.(2006)

Castro (2003) considera enxurradas e inundações bruscas como o mesmo evento, que se caracteriza por ocorrer em locais de relevo acidentado, provocadas por chuvas intensas e concentradas, causando súbitas elevações dos caudais, que escoam de forma rápida e intensa. Devido à inclinação do terreno, a torrente se intensifica pelo favorecimento do escoamento, causando muitos danos.

De acordo com a classificação do Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres – CENAD (2012) o termo inundação brusca passou a ser chamado de enxurrada. Por meio desta classificação, os desastres naturais de natureza hidrológica são divididos em: Inundações, Enxurradas e Alagamentos.

A CENAD define as inundações da seguinte maneira:

Submersão de áreas fora dos limites normais de um curso de água em zonas que normalmente não se encontram submersas. O transbordamento ocorre de modo gradual, geralmente ocasionada por chuvas prolongadas em áreas de planície (CENAD, 2012).

Para as enxurradas, a definição é a seguinte:

Escoamento superficial de alta velocidade e energia, provocado por chuvas intensas e concentradas, normalmente em pequenas bacias de relevo acidentado caracterizada pela elevação súbita das vazões de determinada drenagem e transbordamento brusco da calha fluvial. Apresenta grande poder destrutivo (CENAD, 2012).

Em relação aos alagamentos, a definição se dá por:

Extrapolação da capacidade de escoamento de sistemas de drenagem urbana e conseqüente acúmulo de águas em áreas, calçadas ou outras infraestruturas urbanas, em decorrência de precipitações intensas. (CENAD, 2012).

Neste trabalho o termo inundação é utilizado para se referir ao acúmulo de água além da calha do rio devido as precipitações na área urbana de Santo André, sendo considerado um evento.

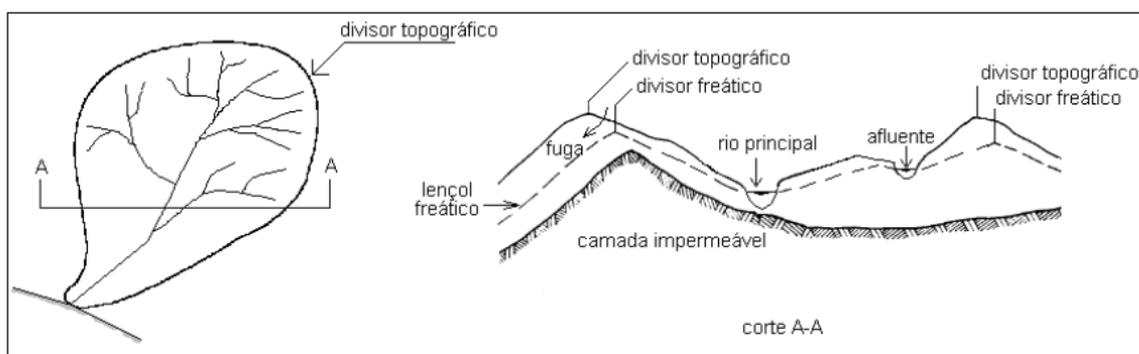
## 2.2 Bacia Hidrográfica

A bacia hidrográfica ou bacia de drenagem é uma área definida topograficamente, drenada por um curso d'água ou um sistema conectado a este, de modo que toda a vazão efluente é descarregada por meio de uma simples saída (VILLELA; MATTOS, 1975).

A bacia hidrográfica é necessariamente contornada por uma linha de separação que divide as chuvas que caem em bacias vizinhas, chamada de divisor. Este segue uma linha rígida ao redor da bacia, atravessando o curso d'água apenas através do ponto de saída. O divisor une os pontos de cota máxima entre bacias, embora possa haver no interior de uma bacia picos isolados com uma cota mais alta do que qualquer ponto do divisor (VILLELA; MATTOS, 1975).

A Figura 3 mostra além do divisor topográfico um divisor freático ou subterrâneo. Deste modo, pode-se dizer que existem dois divisores em uma bacia: o topográfico, condicionado pela topografia, que fixa a área pela qual provém o deflúvio superficial direto e o divisor freático, determinado pela estrutura geológica que estabelece os limites dos reservatórios de água subterrânea de onde vem o escoamento base da bacia (BARBOSA JR, 2007).

Figura 3 - Representação em planta e corte de uma bacia hidrográfica e seus divisores.



Fonte: Villela; Matos (1975)

### 2.3 Caracterização morfométrica

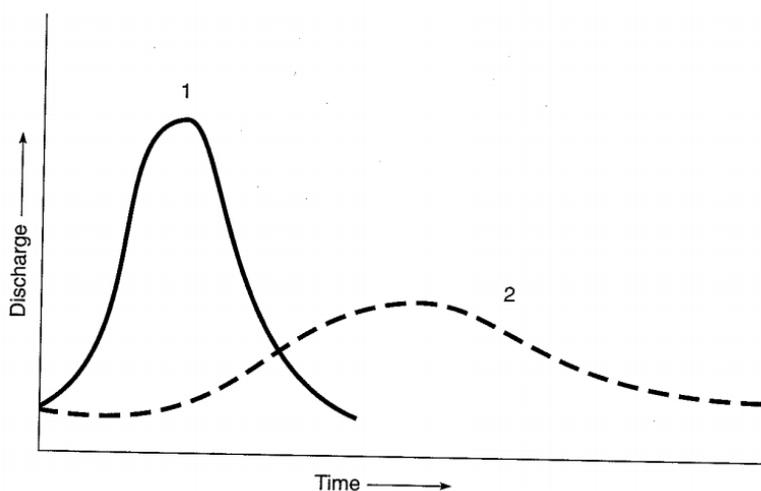
Os atributos físicos das bacias hidrográficas são muito importantes para caracterizar o seu comportamento hidrológico (VILLELA; MATTOS 1975). Abordagens que englobam informações obtidas pelos cálculos dos índices morfométricos são essenciais no processo de planejamento (SOARES et al., 2016).

Nesse contexto, a avaliação das características físicas das bacias pode ter aplicações diversas no gerenciamento das mesmas, tais como: prever o comportamento hidrológico, identificar mudanças no meio ambiente, auxiliar o zoneamento territorial, gerar bases para manejo integrado, priorizar áreas de intervenção e subsidiar o processo de gestão (SOARES et al., 2016). Assim, a identificação das características morfométricas das bacias hidrográficas é um procedimento prioritário nas análises hidrológicas ou ambientais e tem por objetivo compreender a dinâmica ambiental local e regional (TEODORO et al., 2007).

As características físicas de uma bacia contribuem para a magnitude do pico de enchente. A forma da hidrógrafa é influenciada não somente pela distribuição espacial e temporal da chuva, mas também pelas características físicas da bacia de drenagem. A hidrógrafa representa os efeitos integrados da área da bacia, densidade dos canais e geometria, solos e uso do solo (RITTER; KOCHER; MILLER, 1995).

A Figura 4 mostra um modelo esquemático da influência esperada das variações na morfometria da bacia na hidrógrafa baseando-se em generalizações de um grande número de estudos (RITTER; KOCHER; MILLER, 1995). Em cada caso, a influência de um parâmetro específico é mostrada assumindo que todas as outras variáveis climáticas, geológicas e morfométricas sejam constantes. Essa relação oferece um guia geral para uma análise inicial de suscetibilidade às inundações. Pela Figura 4 percebe-se que a hidrógrafa 1, ou seja, aquela que representa uma bacia em que as cheias ocorreriam de maneira mais rápida, representa uma área de drenagem pequena, com alta densidade de drenagem, alta amplitude (diferença entre a maior e menor cota dentro da bacia), forma equidimensional (formato mais arredondado, com menos irregularidades), solos finos e vegetação escassa. Uma bacia menos propensa a enchentes, representada pela hidrógrafa 2, seria uma área maior, com baixa densidade de drenagem, baixa amplitude, forma alongada, solo espesso e vegetação densa.

Figura 4 – Hidrógrafa idealizada e resposta generalizada as características de drenagem da bacia. O efeito de uma característica individual é mostrado assumindo-se que as outras características sejam constantes.



| <b>Característica</b> | <b>Hidrógrafa 1 (rápida)</b> | <b>Hidrógrafa 2 (lenta)</b> |
|-----------------------|------------------------------|-----------------------------|
| Área da bacia         | Pequena                      | Grande                      |
| Densidade de drenagem | Alta                         | Baixa                       |
| Amplitude             | Alta                         | Baixa                       |
| Forma da bacia        | Equidimensional              | Alongada                    |
| Solos                 | Fino                         | Espesso                     |
| Vegetação             | Escassa                      | Densa                       |

Fonte: Adaptado de Ritter; Kochel; Miller (1995).

De acordo com Vilella; Matos (1975) as principais características físicas das bacias hidrográficas podem ser agrupadas em geometria, drenagem e relevo. Tais fatores são descritos a seguir.

### 2.3.1 Área de drenagem

É a área ou superfície que fica dentro dos seus divisores topográficos. Através da área, é possível calcular diversas características físicas, relacionadas à forma da bacia.

A forma da bacia é delimitada pelo divisor de águas, e é importante devido ao tempo de concentração, que é o tempo que leva para que toda a bacia considerada contribua para o escoamento superficial na seção estudada. Em termos de chuva, o tempo de concentração é o tempo que leva uma gota de água mais distante até a seção de controle considerado na bacia. Geralmente as bacias dos grandes rios apresentam o formato de uma pêra ou um leque, porém as bacias pequenas podem ter formatos variados, o que depende da estrutura geológica do terreno. Vários índices podem ser utilizados para caracterizar a forma da bacia (VILLELLA; MATTOS, 1975), determinando assim a forma do escoamento superficial na rede de drenagem. Os três mais importantes são descritos a seguir:

- **Coefficiente de compacidade (kc):** expressa a relação entre o perímetro da bacia e o perímetro de um círculo de mesma área que a bacia, ou seja, relaciona a bacia com a forma de um círculo. É um número adimensional que varia com a forma da bacia, independentemente de seu tamanho. É dado pela seguinte fórmula:

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

Onde **P** é o perímetro da bacia em quilômetros e **A** é a área da bacia em km<sup>2</sup>.

Bacias mais alongadas terão um valor superior ao de uma unidade. Quanto mais se aproximar do valor 1, mais a bacia terá a forma de um círculo e desse modo haverá maior tendência para a ocorrência de enchentes, visto que toda a água escoada tenderá a alcançar o exutório da bacia simultaneamente (OLIVEIRA et al., 2010).

- **Fator de forma (kf):** de acordo com Christofolletti; Filho (1975), esse índice foi proposto por Horton (1935), relacionando a largura média e o comprimento axial da bacia. O comprimento axial (L) da bacia é medido quando se segue o curso d'água mais longo desde a desembocadura até a cabeceira que fica mais longe da bacia. A largura média é obtida quando se divide a área pelo comprimento da bacia. O fator de forma constitui um indicativo de probabilidade a enchente em uma bacia. Se uma bacia possui fator de forma baixo ela será menos sujeita a enchentes do que outra bacia de mesmo tamanho, mas com maior fator forma.

Uma chuva intensa não consegue cobrir toda extensão de uma bacia estreita e longa ao mesmo tempo. Além disso, em tal bacia, a contribuição dos tributários atinge o curso d'água principal em vários pontos ao longo do mesmo, diferente da bacia com formato próximo ao circular, na qual a concentração de todo o escoamento da bacia se dá apenas em um ponto (VILLELA; MATTOS, 1975).

Para o cálculo do fator forma, utiliza-se a seguinte expressão:

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

Onde **A** representa a área da bacia e **L** o comprimento axial.

O fator forma assume os seguintes valores (SCHIMITT; MOREIRA, 2015):

1,00 – 0,75 = sujeito a enchentes

0,75 – 0,50 = tendência mediana

< 0,50 = menor tendência

- **Índice de circularidade (Rc):** Esse índice foi proposto por Miller (1953) e representa a relação entre a área total da bacia e a área de um círculo de perímetro igual ao da área total da bacia. Um valor de 0,51 representaria um nível moderado de escoamento e não contribuiria

para cheias rápidas. Valores superiores a 0,51 indicam maior circularidade da bacia, o que favorece as inundações. Este índice se calcula através da seguinte formulação:

$$Rc = \frac{4\pi A}{p^2} \quad (3)$$

Onde **A** representa a área e **P** o perímetro.

### 2.3.2 Sistema de drenagem

O sistema de drenagem é formado pelo rio principal e por seus tributários. Através do estudo das ramificações, é possível inferir acerca da maior ou menor velocidade com que a água deixa a bacia hidrográfica (VILLELA; MATTOS, 1975). Além disso, a classificação da hierarquia da rede de drenagem facilita e torna mais objetivos os estudos morfométricos das bacias hidrográficas (CHRISTOFOLETTI, 1980).

As principais características da drenagem de uma bacia são citadas a seguir:

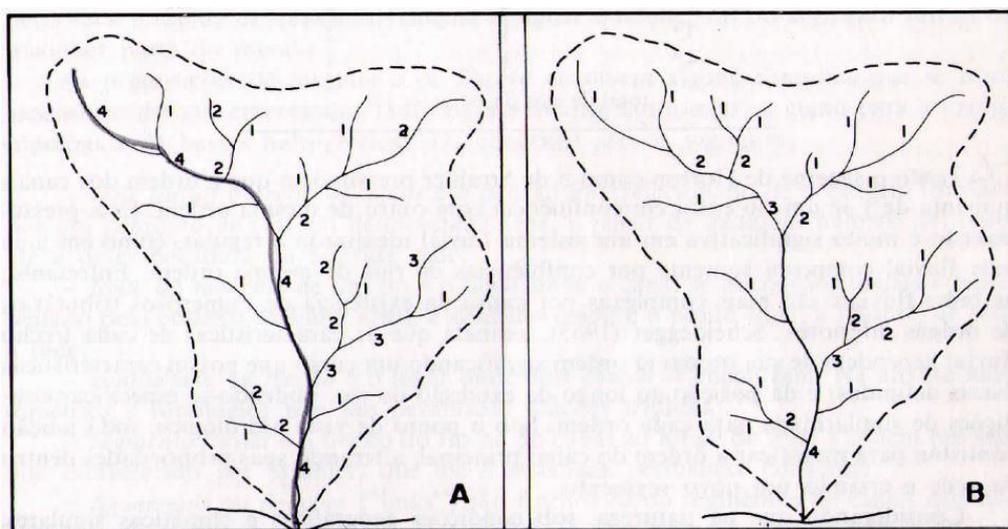
- **Ordem dos cursos d'água:** reflete o grau de ramificação ou bifurcação dentro da bacia (VILLELA; MATTOS, 1975). De acordo o procedimento de ordenamento de canais elaborado por Horton (1945), os canais de primeira ordem não possuem tributários. Os canais de segunda ordem recebem tributários apenas de primeira ordem e os canais de terceira ordem recebem afluentes de segunda e primeira ordem. Os canais de quarta ordem recebem tributários de terceira ordem e também de ordem inferior. Assim, pela proposta de Horton (1945), o rio principal apresenta maior ordem, o que é mantido desde a nascente até a foz. Para determinar qual é o canal principal e qual é o afluente a partir da última bifurcação, utiliza-se a seguinte regra: a partir da jusante da confluência, estende-se a linha do curso d'água para montante, para além da bifurcação, seguindo a mesma direção. O canal confluyente que apresentar maior ângulo é o de ordem menor. Caso os canais possuam o mesmo ângulo, o rio de menor comprimento deve ser designado como de menor ordem. A numeração deve ser efetuada para cada confluência com ordem mais elevada, até que o canal de *n*-ésima ordem seja estendido desde a confluência final até a nascente do tributário mais longo (

Figura 5a) (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Entretanto, pelo critério de Strahler (1952) as correntes formadoras tem ordem 1 (cabeceiras). O número 2 representa os cursos d'água formados por duas correntes de ordem 1. A junção de dois cursos d'água de ordem 2 forma correntes de ordem 3. Prossegue-se então atribuindo a maior ordem ao curso d'água formado por aqueles de ordens diferentes e atribuindo uma ordem acima no caso do curso d'água formado por aqueles de mesma ordem (

Figura 5b) (BARBOSA JR, 2007). Pelo critério de Strahler (1952), é eliminado o conceito de que o rio principal deve ter o mesmo número de ordem em toda sua extensão e a necessidade de se fazer a numeração a cada confluência (CHRISTOFOLETTI, 1980). Há de se ter cuidado na aplicação do ordenamento dos canais, pois se utilizado o critério de Horton, será obtido um resultado e se aplicado o critério de Strahler será obtido outro (MACHADO; SOUZA, 2005).

Figura 5 - Hierarquia dos canais em uma bacia hidrográfica: a) método de Horton b) método de Strahler.



Fonte: Christofolletti (1980)

- **Densidade de drenagem (Dd):** indicação do grau de desenvolvimento de um sistema de drenagem. Ele é expresso através da relação entre o comprimento total dos cursos d'água na bacia e sua área total.

A expressão que define a densidade de drenagem se dá por:

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

Na fórmula, **A** representa a área de drenagem e **L** é o valor do comprimento total dos cursos d'água na bacia. A densidade de drenagem varia inversamente com a extensão do escoamento superficial e fornece uma indicação da eficiência de drenagem da bacia. Tal índice varia de 0,5 km/km<sup>2</sup>, representando bacias de drenagem pobre, até 3,5 ou mais, para bacias com drenagem excelente (VILLELA; MATTOS, 1975).

A densidade de drenagem é especialmente importante no que concerne à medição do pico de fluxo. Ritter; Kochel; Miller (1995) citam vários estudos que demonstraram uma relação muito grande entre densidade de drenagem e a média anual de inundações. Uma superfície impermeável irá gerar uma densidade de drenagem alta, fluxo de base baixo e pico de descarga alto.

- **Frequência de riachos (Fr):** esse índice proposto por Horton (1945) indica o comportamento hidrográfico de uma área de drenagem quanto a sua capacidade para gerar novos cursos d'água (CHRISTOFOLETTI, 1980). É calculado da seguinte forma:

$$Fr = \frac{N_1}{A} \quad (5)$$

Onde  $N_1$  representa o número de riachos de primeira ordem.

- **Sinuosidade do curso d'água (Is):** expressa a relação entre o comprimento do canal ( $L$ ) e o comprimento de um talvegue ( $L_t$ ) que é a medida em linha reta do canal. A sinuosidade é um fator controlador da velocidade com que ocorre o escoamento. De acordo com Alves; Castro (2003) para um canal retilíneo, o índice de sinuosidade seria igual a 1. Um valor maior do que 2 representa um canal sinuoso.

$$Is = \frac{L}{L_t} \quad (6)$$

-**Propriedades da rede de drenagem:** trata-se da análise do modo com que os canais em uma bacia se arranjam. Em grande parte, esta feição é controlada pela estrutura geológica e pode se diferenciar pela natureza, disposição e grau de resistência das rochas (HOWARD, 1967). De acordo com Soares; Fiori (1976) a rede de drenagem fornece informações de grande importância, especialmente com relação à estrutura geológica do local, variações no estilo estrutural e nas fácies litológicas. Resumidamente, as propriedades mais importantes da rede de drenagem são: densidade de textura (que representa a trama dos canais) (Figura 6a); sinuosidade dos elementos texturais de drenagem (Figura 6b); angularidade (Figura 6c); tropia (Figura 6d); assimetria (Figura 6e); e por fim lineações de drenagem e formas anômalas diferentes do arranjo geral dos elementos de drenagem (Figura 6f).

Figura 6- Características da rede de drenagem

| A- DENSIDADE | B- SINUOSIDADE | C- ANGULARIDADE | D- TROPIA         | E- ASSIMETRIA | F- FORMAS ANÔMALAS             |
|--------------|----------------|-----------------|-------------------|---------------|--------------------------------|
| ALTA         | CURVOS         | ALTA            | UNIDIRECIONAL<br> | FRACA<br>     | MEANDROS ISOLADOS              |
| MÉDIA        | MISTOS         | MÉDIA           | BIDIRECIONAL<br>  | FORTE<br>     | EM ARCO                        |
| BAIXA        | RETILÍNEOS     | BAIXA           | TRIDIRECIONAL<br> |               | MULTIDIRECIONAL<br>DESORDENADA |
|              |                |                 | ORDENADA          |               |                                |

Fonte: Soares; Fiori (1976)

- **Padrões de rede de drenagem:** de acordo com Chistrofoletti (1980), os padrões de drenagem se referem ao arranjo espacial dos cursos fluviais que são influenciados pela disposição das camadas rochosas, pela resistência litológica, por diferenças na declividade e pela evolução geomorfológica local. De acordo com o autor, os padrões básicos são:

- *Dentrítico:* também conhecida como arborescente, pois seu desenvolvimento se assemelha à configuração de uma árvore. Se desenvolve tipicamente sobre rochas de resistência uniforme ou em estruturas sedimentares horizontais (Figura 7a).

- *Treliça:* composto de rios principais consequentes, correndo paralelamente, recebendo afluentes subsequentes que fluem em direção transversal aos primeiros. As confluências realizam-se em ângulos retos. Este padrão é encontrado em estruturas sedimentares homoclinais, estruturas falhadas e cristas anticlinais (Figura 7b).

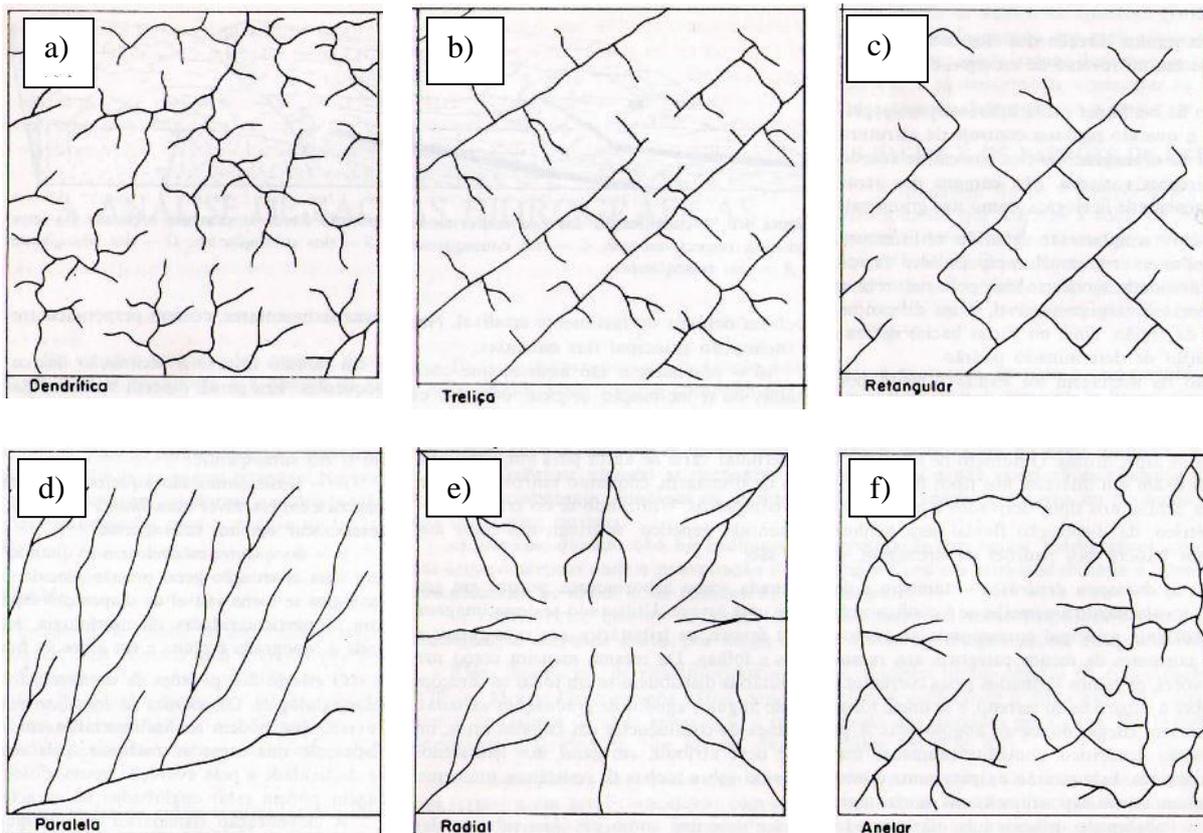
- *Retangular:* É uma modificação da drenagem treliça e se caracteriza por um aspecto ortogonal devido a bruscas alterações retangulares no curso das correntes fluviais, o que se dá por falhas, juntas ou diaclases (Figura 7c).

- *Paralela:* Se caracteriza pelo escoamento paralelo dos cursos d'água sobre uma área considerável. Localiza-se onde há presença de vertentes com declividades acentuadas ou onde existam controles estruturais que motivam a ocorrência de espaçamento regular (Figura 7d).

- *Radial*: Esse padrão se apresenta como correntes fluviais dispostas como raios de uma roda, em relação a um ponto central. Desenvolve-se sobre variados embasamentos e estruturas (Figura 7e).

- *Anelar*: Assemelha-se a anéis. São típicas de áreas dômicas profundamente entalhadas, em estruturas com camadas duras e frágeis (Figura 7f).

Figura 7- Padrões texturais de canais em uma bacia hidrográfica



Fonte: Christofolletti (1980)

### 2.3.3 Relevo

De acordo com Villela; Matos (1975) o relevo de uma bacia hidrográfica exerce grande influência nos fatores hidrológicos e meteorológicos. A forma com que ocorre o escoamento superficial é determinada pela declividade do terreno além de outros fatores que influenciam a geração e o escoamento do fluxo superficial. A altitude da bacia exerce influência na temperatura, precipitação e na evaporação.

As principais características do relevo de uma bacia são:

- **Amplitude Altimétrica (Aa)**: a amplitude altimétrica expressa a diferença entre a altitude máxima ( $A_{m\acute{a}x}$ ) e a altitude mínima ( $A_{m\acute{i}n}$ ) dentro de uma bacia hidrográfica (SCHUM, 1956):

$$Aa = A_{m\acute{a}x} - A_{m\acute{i}n}$$

- **Declividade:** Representa a inclinação da superfície do terreno em relação a horizontal. Controla a velocidade do escoamento superficial de modo a afetar o tempo em que a água da chuva leva para se concentrar nos leitos fluviais. Assim, os picos de enchentes, a infiltração e a suscetibilidade à erosão são controlados pela rapidez com que ocorre o escoamento sobre a área da bacia (VILLELA; MATOS 1975).

- **Declive médio do rio principal (Dm):** Este índice morfométrico indica a quantidade de energia disponível para a movimentação de água e sedimento ao longo do curso d'água, o que influencia diretamente o fluxo, assim como o substrato e o tipo de habitat presente na área de drenagem. Isso significa quanto maior o declive médio do riacho, maior será a velocidade do fluxo, o que torna o hidrograma de enchente mais pronunciado. A formulação é (SREEDEVI *et al.*, 2005):

$$Dm = \frac{A_{cab} - A_{foz}}{L} \quad (7)$$

Em que **L** é o tamanho do rio principal, **A<sub>cab</sub>** é a altitude na cabeceira e **A<sub>foz</sub>** a altitude na foz.

- **Curva hipsométrica:** representa graficamente o relevo médio de uma bacia, sendo a relação entre área e altura. Em outras palavras, é a variação dos vários terrenos da bacia com relação ao nível do mar (VILLELA; MATOS 1975).

- **Elevação média (E):** A elevação média é determinada através da altura de um retângulo de área equivalente à limitada pela curva hipsométrica e os eixos coordenados. Exerce grande influência na precipitação, perdas de água por evaporação e transpiração e também sobre o deflúvio médio. Uma bacia com grandes variações altimétricas acarreta em diferenças na temperatura média, o que influi a evapotranspiração.

- **Relação relevo (Rr):** índice expresso pela relação entre a amplitude altimétrica da bacia e o comprimento do canal principal. A relação relevo mede a declividade global da bacia hidrográfica e é indicativo da intensidade dos processos de erosão que acontecem nas encostas das bacias (SCHUMM, 1956). Este índice é calculado da seguinte forma:

$$Rr = \frac{Aa}{Mc} \quad (8)$$

Onde:

**Aa** representa a amplitude altimétrica e **Mc** é o maior comprimento da sub-bacia.

Quanto maior o valor de **Rr** maior será o desnível entre a cabeceira e o exutório e maior será a declividade média da bacia.

- **Fator topográfico (Ft):** O fator topográfico é calculado através da soma dos valores de índice de circularidade, relação de relevo e frequência de riachos. Essa variável é

proporcional à suscetibilidade a ocorrência de inundações na desembocadura na bacia (MORISAWA, 1962), ou seja, quanto maior o valor, maior a suscetibilidade.

$$Ft = Rc + Rr + Fr$$

- **Tempo de concentração (Tc):** De acordo com Tomaz (2013) o tempo de concentração é o tempo que leva para que toda a bacia considerada contribua para o escoamento superficial na seção de estudo, em outras palavras, o tempo que leva uma gota de água mais distante até o exutório.

Os fatores que influenciam no tempo de concentração são a área da bacia, o comprimento e declividade do canal mais longo e o comprimento ao longo do curso principal, desde o centro da bacia até a seção de saída considerada.

De acordo com Tomaz (2013) existem muitas fórmulas empíricas para determinar o tempo de concentração, que é uma informação muito importante, mas muito difícil de ser obtida. O autor salienta que o método de Kirpich, elaborado em 1940, é muito utilizado para calcular o tempo de concentração. Kirpich desenvolveu duas fórmulas: uma para o Tennessee e outra para Pennsylvania, ambas nos Estados Unidos. As equações são muito utilizadas no método racional.

Com relação à formulação que foi feita para o estado do Tennessee, ou seja, uma localização específica, Kirpich estudou seis pequenas bacias agrícolas, com altas declividades e solos bem drenados, desenvolvendo a seguinte fórmula:

$$Tc = 0,019 \cdot \frac{L^{0,77}}{S^{0,385}} \quad (9)$$

Sendo:

Tc= tempo de concentração Tennessee (min);

L= comprimento do talvegue (m);

S=declividade do talvegue (m/m).

De acordo com Tomaz (2013) caso o comprimento do talvegue for maior do que 10 quilômetros, esse método subestima o valor do tempo de concentração. Assim, o Centro Tecnológico de Hidráulica de São Paulo (CTH) sugere que a fórmula seja utilizada por meio de outros parâmetros, ilustrada nas equações abaixo:

$$Tc_{\text{(Kirpich I)}} = 57x (L^3/H)^{0,385} \quad (10)$$

$$Tc_{\text{(Kirpich II)}} = 57x \left(\frac{L^2}{S}\right)^{0,385} \quad (11)$$

Sendo:

L=comprimento do curso d'água (km)

H=diferença de cotas (m)

S=declividade equivalente (m/km)

Tc=tempo de concentração (min)

A declividade equivalente (S) é obtida da seguinte forma:

$$S = \left[ \frac{L}{P_1 + P_2 + \dots} \right]^2 \quad (12)$$

Onde:

$$P_1 = \Delta L_1 / J_1^{0,5} \quad (13)$$

$$J_1 = \Delta H_1 / L_1 \quad (14)$$

$\Delta H$  = diferença de nível em metros

L=Comprimento em km

$L = L_1 + L_2 + \dots$

Por meio dessas fórmulas, nota-se que a equação de Kirpich I pode ser utilizada quando os dados topográficos são mais escassos. A equação de Kirpich II, que leva em conta a declividade equivalente pode ser utilizada quando houver dados topográficos mais acurados.

Outra fórmula utilizada que leva em consideração a declividade equivalente é a elaborada por Tsuchiya (1978). O autor considera duas formulações diferentes para o tempo de concentração: uma para os meios urbanizados e a outra para meios rurais.

Para áreas não urbanizadas:

$$T_c = 0,83 \times L / I_{eq}^{0,6} \quad (15)$$

Para áreas urbanizadas:

$$T_c = 0,36 \times L / I_{eq}^{0,5} \quad (16)$$

Sendo:  $I_{eq}$  a declividade equivalente, dada em m/km, correspondente ao valor de S para a fórmula de Kirpich II citada acima.

O uso do solo e a cobertura alteram as características naturais da bacia, modificando a quantidade de água que infiltra, escoar e evapora, o que altera o tempo de viagem da água e por sua vez, o comportamento hidrológico da bacia. Assim, a urbanização pode influenciar no tempo de concentração da bacia e por isso, torna-se importante utilizar uma fórmula que leve em consideração o uso e ocupação do solo.

## 2.4 Bacias urbanas

A transformação do ambiente urbano está diretamente ligada a antropização, que modifica o meio ambiente natural, transformando os locais em áreas pavimentadas, impermeabilizadas e edificadas.

A criação de ambientes artificiais pode maximizar os problemas socioeconômicos e ocasiona desequilíbrios ambientais, tais como diminuição da biodiversidade, mudanças das condições climáticas, desconforto térmico, inundações, poluição, congestionamentos, riscos de acidentes naturais, etc. Ainda, as adversidades das cidades se potencializam pela falta de planejamento urbano, por meio de arquitetura inadequada e desrespeitosa com a natureza (SCHEUER; NEVES, 2016).

As áreas urbanas inadequadamente ocupadas e planejadas que se desenvolveram nas várzeas dos rios têm afetado de maneira negativa a qualidade de vida das pessoas através do aumento da frequência e nível das inundações, diminuição da qualidade da água e aumento de materiais sólidos no escoamento pluvial. Este processo é desencadeado por projetos de drenagem urbana inadequados, que tem como filosofia escoar a água precipitada o mais rápido possível da área projetada. Essa visão aumenta a magnitude da vazão máxima, a frequência e o nível de inundações à jusante (TUCCI, 2003). Além disso, há o aumento da produção de sedimentos devido aos resíduos sólidos, a desproteção das superfícies e a deterioração da qualidade da água, devido à lavagem de ruas, o transporte de material sólido e até mesmo às ligações clandestinas de esgotos (TUCCI, 1997).

De acordo com Tucci (1997), o crescimento urbano altera a cobertura vegetal e consequentemente provoca vários efeitos que modificam o ciclo hidrológico natural das seguintes formas: a) reduz a infiltração no solo; b) aumenta o escoamento superficial; c) reduz o escoamento subterrâneo e d) reduz a evapotranspiração.

Essas são as principais mudanças que ocorrem no ciclo hidrológico e consequentemente no balanço hídrico quantitativo, embora a proporção de ocorrência desses valores se altera de acordo com as condições de cada lugar em função do clima, pluviosidade, geologia, cobertura e tipo de solo (TUCCI, 1997).

As inundações urbanas podem ser provocadas por três tipos de problemas:

- a) Estrangulamento da seção do rio devido a aterros e pilares de pontes, estradas, aterros para aproveitamento da área, assoreamento do leito do rio e lixo;
- b) Remanso devido à macrodrenagem, rio principal, lago, reservatório ou oceano;
- c) Erros de execução e projeto de drenagem de rodovias e avenidas, entre outros.

Esses três problemas podem ocorrer em diferentes pontos da cidade, de forma isolada ou pela combinação dessas circunstâncias. O rio Tietê, no início do século passado, inundou a região de São Paulo algumas vezes por meio de situações do primeiro tipo. Com a crescente urbanização, a frequência dessas inundações aumentou devido à ocupação exacerbada e descontrolada de sua área ribeirinha e de seus afluentes principais, entre eles o Tamanduateí e o Pinheiros (TUCCI, 1997).

A tendência da urbanização é que ela ocorra no sentido de jusante para montante, devido às características do relevo. Em um projeto de loteamento, a prefeitura exige apenas a eficiência na drenagem da água por meio de esgotos pluviais. No entanto, sem o controle da urbanização e ampliação da capacidade de macrodrenagem, a ocorrência de enchentes aumenta. A combinação do impacto dos diferentes loteamentos produz aumento da ocorrência dos fenômenos hidrológicos à jusante. Isso ocorre devido à sobrecarga da drenagem secundária (condutos) sobre a macrodrenagem (riachos e canais) que atravessam a cidade (TUCCI, 1997). As áreas mais atingidas são aquelas mais antigas, localizadas a jusante, devido às construções a montante.

A impermeabilização do solo, a extensiva canalização e retificação dos cursos d'água em conjunto com o sistema de drenagem urbana, tanto natural quanto construída, tem sua capacidade de vazão reduzida devido ao assoreamento causado por sedimentos oriundos de processos erosivos das frentes periféricas de expansão urbana, lixo e entulho da construção civil (SANTOS, 2012).

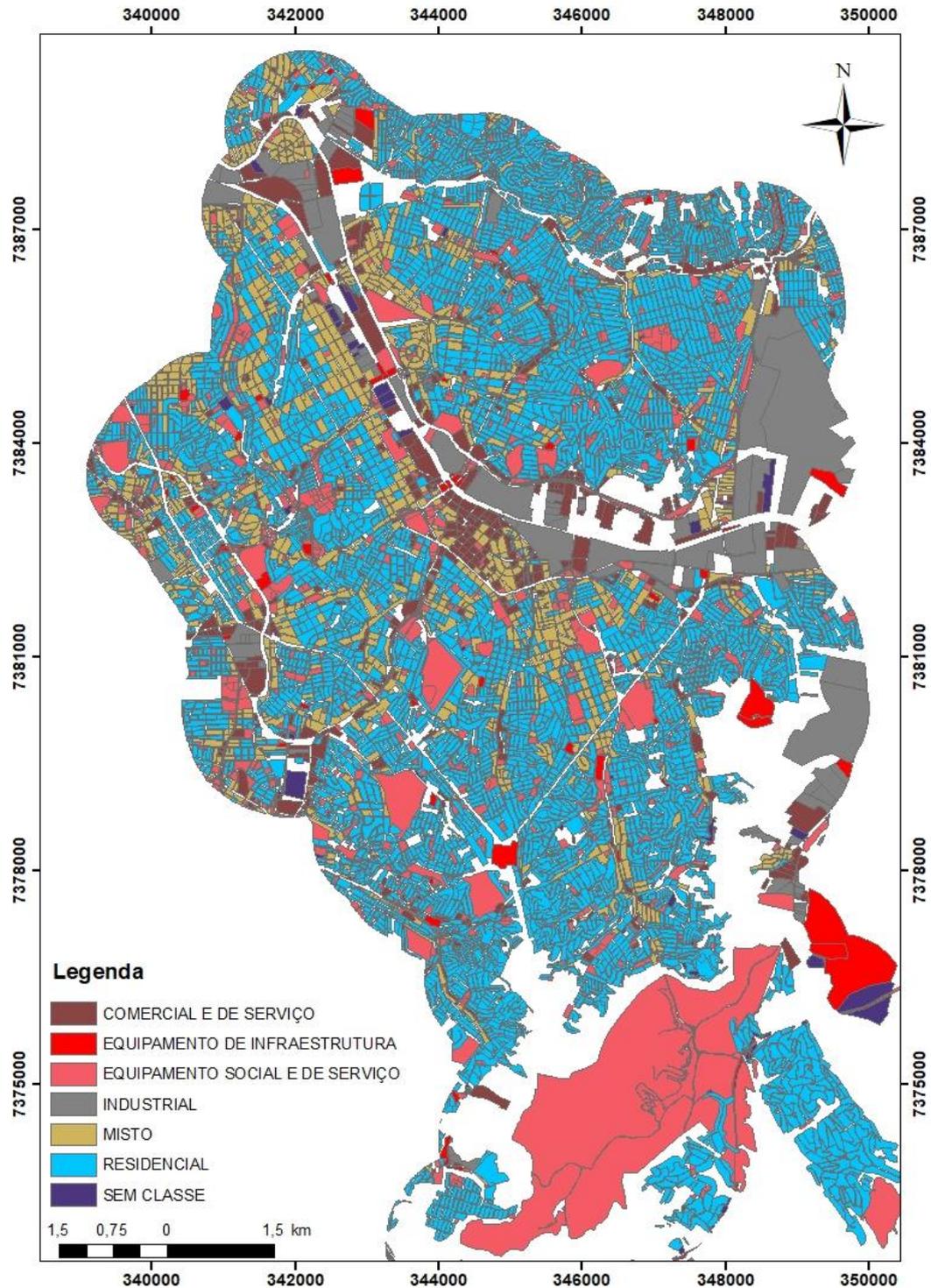
De acordo com Santos (2012) na Região Metropolitana de São Paulo os terrenos geológicos cristalinos mais erodíveis vem sendo ocupados sem nenhum critério técnico diferenciado. Os solos de alteração de rochas cristalinas são até 100 vezes mais erodíveis que os solos superficiais laterizados e os solos argilosos de idade terciária. A exposição desses solos acarreta em maior intensidade dos processos erosivos, o que colabora com o assoreamento da rede de drenagem. Na Região Metropolitana de São Paulo a perda de solos é estimada em 13,5 m<sup>3</sup> por ha/ano o que resulta na produção anual de 8.100.00 m<sup>3</sup>/ano de sedimentos, que contribuem para o assoreamento da rede de drenagem natural e construída, que chega a perder mais de 50% da sua capacidade de vazão.

Com relação à impermeabilização do solo, nas grandes cidades brasileiras, estima-se que 85% da chuva esco superficialmente comprometendo rapidamente o sistema de drenagem. Em uma floresta ocorre o oposto: o coeficiente de escoamento gira em torno de 20%. Esse cenário ainda se soma ao binômio erosão/assoreamento citado anteriormente (SANTOS, 2012).

As sub-bacias analisadas neste estudo se encontram em áreas urbanizadas de Santo André. A Figura 8 ilustra o uso e ocupação do solo da área urbana do município. Observa-se que a grande maioria da área está ocupada por uso residencial, seguida pelo uso industrial. Em rosa, a categoria equipamento social e de serviço oferece áreas de esporte e lazer, incluindo clubes, praças e parques, onde podem ser encontradas áreas verdes. Nesta classe também incluem serviços relacionados à educação como faculdades, escolas, estádios, cemitérios, presídio e órgãos de administração pública. As áreas mistas incluem tanto porções industriais quanto residências e de serviço.

Observa-se que a urbanização está consolidada na porção norte de Santo André. Isso também significa que o local está sujeito aos problemas citados anteriormente com relação a urbanização e o risco às inundações. Nos locais de uso residencial, industrial e misto grande parte do solo está impermeabilizada, dificultando a infiltração da água e maximizando os processos de inundação, além da erosão/assoreamento que podem ser causados tanto em ocupações regulares que geralmente utilizam serviços de terraplenagem que expõem os solos, quanto pelas áreas de alta declividade em terrenos cristalinos ocupadas irregularmente, ambas facilitando os processos de erosão. Assim, observa-se que o risco às inundações está diretamente relacionado com o grau de antropização.

Figura 8 – Uso e ocupação do solo na área urbana do município de Santo André



## 2.5 Controle de inundação e enchentes

As medidas de controle de inundação podem ser do tipo estrutural e não estrutural. As estruturais são aquelas que modificam o ambiente, ou seja, alteram os sistemas fluviais por meio de obras e deste modo tentam evitar os prejuízos causados pelas enchentes. As medidas

não-estruturais são qualquer política pública que não resulta em obras estruturais, incluindo políticas de ocupação do solo, sistemas de alerta e evacuação, por exemplo. Nesse contexto, o controle das enchentes é uma combinação de medidas estruturais e não-estruturais. As ações incluem as medidas de engenharia e de caráter social, econômico e administrativo (TUCCI 2003). A seguir essas medidas são explicadas detalhadamente.

### 2.5.1 Medidas estruturais

São obras de engenharia feitas para reduzir as enchentes. Dividem-se em extensivas ou intensivas. As extensivas agem na bacia procurando alterar as relações entre vazão e precipitação. Um exemplo é a alteração da cobertura vegetal do solo, que retarda e pode reduzir os picos de enchente, controlando a erosão da bacia. Por outro lado, as medidas intensivas agem no rio e possuem três tipos distintos: a) aceleram o escoamento, por meio da construção de diques e *poulders*, e aumentam a capacidade de descarga dos rios; b) retardam o escoamento, por meio de reservatórios e bacias de amortecimento e c) desviam o escoamento, através de canais de desvios.

A Tabela 1 sumariza as principais medidas estruturais adotadas para o controle de enchentes, bem como suas vantagens, desvantagens e aplicações.

A cobertura vegetal é importante, pois reduz a erosão do solo que pode aumentar gradualmente o nível dos rios e piorar as inundações. Esta medida geralmente é inviável, pois o reflorestamento das bacias possui um custo muito elevado. Dentro desse contexto, o controle da erosão do solo também se torna importante, pois o aumento da mesma implica na redução da área de escoamento dos rios e aumentos dos seus níveis. O controle da erosão pode ser feito através de reflorestamento, pequenos reservatórios, estabilização das margens e práticas agrícolas corretas (TUCCI, 2003).

Os reservatórios conseguem reter parte do volume da enchente, o que reduz a vazão natural, diminuindo as chances de extravasamento do leito. A água retida é escoada após a redução da vazão natural. Esse tipo de medida exige altos custos de construção e desapropriações.

Tabela 1– Resumo das principais medidas estruturais

| <b>Medida</b>             | <b>Vantagem</b>          | <b>Desvantagem</b>              | <b>Aplicação</b> |
|---------------------------|--------------------------|---------------------------------|------------------|
| <i>Medidas extensivas</i> |                          |                                 |                  |
| <b>Cobertura vegetal</b>  | Redução do pico de cheia | Impraticável para grandes áreas | Pequenas bacias  |
| <b>Controle de perda</b>  | Reduz assoreamento       | Idem ao anterior                | Pequenas bacias  |
| <i>Medidas Intensivas</i> |                          |                                 |                  |

|   |  |   |                                   |
|---|--|---|-----------------------------------|
| <b>Diques e <i>poulders</i></b>               | Alto grau de proteção de uma área              | Danos significativos caso falhe             | Grandes rios                      |
| <i>Melhoria do canal</i>                      |  |   |                                   |
| <b>Redução da rugosidade por desobstrução</b> | Aumento da vazão com pouco investimento        | Efeito localizado                           | Pequenos rios                     |
| <b>Corte de meandro</b>                       | Amplia a área protegida e acelera o escoamento | Impacto negativo em rio com fundo aluvionar | Área de inundação estreita        |
| <i>Reservatório</i>                           |  |   |                                   |
| <b>Todos os reservatórios</b>                 | Controle a jusante                             | Localização difícil                         | Bacias intermediárias             |
| <b>Reservatórios com comportas</b>            | Mais eficiente com o mesmo volume              | Vulnerável a erros humanos                  | Projetos de usos múltiplos        |
| <b>Reservatórios para cheias</b>              | Operação com o mínimo de pedras                | Custo não partilhado                        | Restrito ao controle de enchentes |
| <i>Mudança de canal</i>                       |  |   |                                   |
| <b>Caminho da cheia</b>                       | Amortecimento de volume                        | Depende da topografia                       | Grandes bacias                    |
| <b>Desvios</b>                                | Reduz vazão do canal principal                 | Idem ao anterior                            | Bacias médias e grandes           |

Fonte: TUCCI (2003)

Os diques ou *poulders* são muros laterais feitos de terra ou concreto, que podem ser inclinados ou retos e são construídos a uma distância da margem, protegendo as áreas ribeirinhas contra extravasamentos. O maior risco na construção de um dique é a correta definição da enchente máxima provável, devido à existência de um risco de colapso, em que os danos podem ser piores se o mesmo não existisse (TUCCI, 2003).

As modificações na morfologia dos rios em áreas urbanas visam reduzir a frequência de ocorrência das vazões por meio de tentativas de aumentá-las para um mesmo nível. Isto é possível pelo aumento da seção transversal ou aumento da velocidade. Essas medidas apresentam custos elevados.

As ações públicas estão incorretamente voltadas para medidas estruturais com visão pontual na maioria das cidades brasileiras. Utiliza-se a canalização para transferir a enchente de um ponto a outro sem a avaliação dos benefícios e efeitos a jusante dessas obras. Como exemplo, no Ribeirão dos Meninos no ABC Paulista, o custo de um canal retangular de 17 metros de largura e 7 metros de profundidade com paredes estruturadas foi de US \$ 50,0 milhões/km. Além do alto custo, os problemas não são resolvidos e o prejuízo público é enorme (TUCCI, 1997).

Para Santos (2012) as principais medidas estruturais em locais como a Região Metropolitana de São Paulo são ampliação das calhas dos rios principais, ampliação e

atualização da rede de drenagem construída, bem como o desassoreamento permanente de toda a rede de drenagem. Para o autor, também é necessário que as redes de drenagem construídas sejam ampliadas e atualizadas.

### **2.5.2 Medidas não estruturais**

As medidas não estruturais podem minimizar significativamente os prejuízos com um custo menor. Tais medidas podem ser agrupadas em: zoneamento das áreas de inundação através de regulamentação do uso da terra, construções a prova de enchente, previsão e alerta de inundação.

O zoneamento se baseia no mapeamento das áreas de inundação dentro da limitação da cheia com tempo de retorno de 100 anos ou mais e define um conjunto de regras para a ocupação das áreas de maior risco a inundação. A regulamentação depende das características do escoamento, da topografia e do tipo de ocupação dessas faixas. As construções a prova de enchente são um conjunto de medidas adotadas para minimizar a perda de prédios localizados nas várzeas durante as cheias. O sistema de previsão e alerta é um composto de aquisição de dados em tempo real e a transmissão das informações para um centro de análise. Através disso, ocorre a previsão atual por um modelo matemático, além do Plano de Defesa Civil que envolve tanto as ações individuais quanto em conjunto para reduzir as perdas durante as inundações (TUCCI, 1997).

Para TUCCI (1997) a melhor solução deve ser definida para cada caso em função das características do rio, do benefício na diminuição das enchentes e dos aspectos sociais de seu impacto. Geralmente, é necessário combinar medidas estruturais e não-estruturais. De qualquer forma, é a regulamentação do uso do solo que inicia o processo de controle, por meio de um plano diretor que leve em consideração as enchentes.

Santos (2012) salienta que medidas não estruturais importantes são o aumento da capacidade da retenção de águas de chuva por infiltração e reservação. Essas medidas incluem reservatórios domésticos e empresariais de acumulação e/ou infiltração de água da chuva, disseminação de bosques florestados, ajardinamento de calçadas pelos próprios moradores e a criação de sarjetas e pátios drenantes. Outra medida não estrutural prevista pelo autor é a redução radical da produção de materiais de assoreamento, que incluem os sedimentos, entulho e lixo. Além disso, é necessário conter a tendência ao espraiamento geográfico, muito comum nas grandes cidades brasileiras, com o que áreas naturais são incorporadas a mancha urbana, implicando em grande sobrecarga ao sistema de drenagem urbano.

### **2.5.2.1 Parques Lineares**

Na tentativa de criar áreas que atendam as demandas urbanas e que também tenham a capacidade de lidar com cheias periódicas, são criados espaços verdes públicos, também chamados de corredores verdes. Segundo Travassos (2010), no Brasil, dá-se o nome de parques lineares áreas verdes próximas aos rios ou a outras estruturas lineares nos espaços urbanos. Além disso, estruturas lineares no âmbito regional e fora de malhas urbanas são chamadas de corredores ecológicos.

O parque linear trata-se de uma intervenção urbanística associada à Rede Hídrica, em fundo de vale, especificamente na planície aluvial. Seus objetivos são: a) proteger ou recuperar os ecossistemas limítrofes aos cursos e corpos d'água; b) conectar áreas verdes e espaços livres c) controlar as enchentes e d) prover áreas verdes para lazer (TRAVASSOS, 2010).

De acordo com Silva-Sanchez; Jacobi (2013) em 2002, perante a aprovação do Plano Ambiental Estratégico previa-se que seriam implantados trinta parques lineares na cidade de São Paulo ao longo de uma década. Dois anos depois, esse número quadriplicou, aumentando o número de córregos que seriam recuperados. Infelizmente, passados dez anos, só foram construídos quatorze parques lineares.

Em Santo André, a Avenida das Nações no bairro Capuava foi a primeira via da cidade a ganhar um parque linear, com aproximadamente 1,2 quilômetros. Em 2015 havia um projeto para a criação de um parque linear no bairro de Tamarutaca, além do parque linear da Rua Adriático, também em fase de finalização no ano de 2015 (DIÁRIO DO GRANDE ABC, 2015)

Foram iniciadas as obras em Santo André de um parque linear nas margens do Córrego Beraldo em 2016, entre a Avenida Industrial e a linha férrea, próximo ao Terminal Rodoviário. O parque contará com 60 metros de extensão e complementa as obras de drenagem e como parte das exigências do Semasa em contrapartida aos novos edifícios particulares construídos pela empresa (NASCENTE, 2016).

## **2.6 Histórico das inundações no Rio Tamandateí**

Os rios foram grandes aliados dos colonizadores portugueses no território paulista desde o século 16. Os cursos d'água serviam de caminho entre o litoral e o planalto. A Várzea do Carmo era uma grande área por onde extravasavam as águas dos rios Tamandateí e Anhangabaú (SANTOS, 2002).

No entanto, durante os séculos 18 e 19, os rios próximos às cidades de São Paulo começaram a receber todo o tipo de lixo. A própria prefeitura incentivava o despejo de rejeitos nas várzeas dos cursos d'água. Esse cenário contribuiu para a proliferação de doenças e causou muitas mortes por tuberculose, varíola e febre amarela (SANTOS, 2002).

Com o advento da República, as questões sanitárias começaram a ganhar mais impulsos. A riqueza trazida pelo café modificava a paisagem da época, onde os barões do café começavam a construir seus palacetes. A Várzea do Carmo não era bem vista, já que a poluição aumentava cada vez mais. Infelizmente, a cidade não limpou e desocupou as várzeas, invés disso, modificou a geometria do rio, tentaram diminuir seu espaço e aterraram as áreas próximas a seu leito. Assim o Tamanduateí é retificado, ou seja, expurgado de erros e defeitos. Começa então a triste história entre os paulistanos e as tentativas de adequar o terreno as suas ambições (SANTOS, 2002).

O Rio Tamanduateí começou a ser retificado em 1886 até 1915 e foi canalizado até a foz do rio Tietê. Na década de 1920, a ocupação das várzeas do Tamanduateí prosseguia inclusive em Santo André. O Engenheiro Sanitarista Francisco Rodrigues Saturnino de Brito alertou à prefeitura de São Paulo sobre a ocorrência de inundações e afirmou que as várzeas do rio Tietê ainda podiam ser preservadas, pois a escala de ocupação ainda era relativamente pequena (SANTOS, 2002).

Santo André surgiu a partir da construção da estação São Bernardo, em 1867, em plena Várzea do Tamanduateí. Nesta época, o rio, cortando o atual grande ABC, desde Mauá a São Caetano até chegar ao Tietê, possuía águas limpas e piscosas. Durante as cheias, suas curvas espalhavam águas pelo entorno, muito diferente de seu atual trajeto, quase retilíneo (SANTOS, 2002).

Com a concentração do comércio e indústrias, o antigo bairro da Estação ganha o nome de Distrito de Santo André em 1910. A industrialização ganha impulso após a primeira Guerra Mundial e grandes unidades fabris se instalam em plena Várzea do Tamanduateí – Rhodia Química em 1919 e a Pirelli S.A Companhia de Condutores Elétricos em 1929, entre outras.

Na década de 1960 os problemas de enchentes (Figura 9) começam a se agravar em Santo André através de inundações no Bairro Silveira. As causas foram atribuídas ao represamento do Ribeirão Guarará (SANTOS, 2002).

No final dos anos 50 e 60 ocorreram rápidas mudanças. Grandes prédios foram construídos e cada pedacinho da cidade era disputado. Essa ocupação associada ao rápido

crescimento da cidade traria como consequência as enchentes para aquela porção central do município (SANTOS, 2002).

Em 1970 a população da cidade já chegava a 418 mil. Se em 1950 a cidade havia avançado sobre antigas estradas e caminhos, em 1970 já não havia mais espaços urbanos vazios. Nesta mesma década, a mancha urbana na região do ABC era contínua, sem diferenciação entre um município e outro. Nesta época a palavra de ordem no país era “crescer” e não havia preocupação acerca da problemática das enchentes.

O engenheiro Prestes Maia era defensor das transformações nas áreas próximas as margens dos rios em avenidas e foi escolhido para coordenar os trabalhos da recém-criada Comissão de Planejamento Urbanístico Geral da Sede de Santo André, em 1951. O engenheiro tinha se inspirado em projetos europeus, com grandes interligações entre avenidas radiais concêntricas, no entanto, os europeus utilizavam os canais como hidrovias e as margens como parques públicos. Enquanto isso, os brasileiros tinham a concepção de que os fundos de vale e as margens dos córregos deveriam ser aproveitados para a construção de avenidas. Isso levou a aumento do número de loteamentos e a utilização dos fundos de vale para construir avenidas marginais entre 1950 e 1970, período que se caracterizou pela crescente ocupação por famílias de baixa renda em margens de córregos e terrenos de alta declividade (SANTOS, 2002).

Figura 9 - Enchente no Rio Tamanduateí em março de 1966. Local: Divisas entre Santo André, São Paulo e São Caetano.



Fonte: Santos (2002)

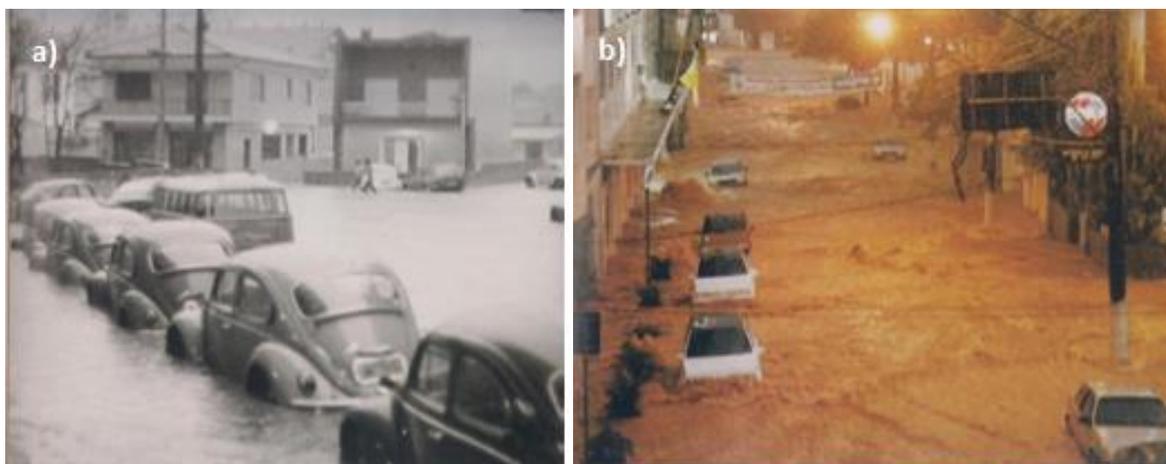
Em meados de 1960 surgem às primeiras favelas, como a do Quilombo, na Vila Palmares (um dos bairros mais atingidos por inundações no município), assim como Sacadura Cabral, Capuava, Tamarutaca e muitas outras.

Na época, as autoridades diziam que a melhor solução para o problema seria a retificação e alargamento do Tamanduateí. Era preconizado que as avenidas fossem feitas ao longo do rio Tamanduateí e dos Córregos dos Meninos e Oratório. Vias radiais iriam percorrer os fundos de vale dos afluentes do Tamanduateí e vias perimetrais interligariam os vales e circundariam as áreas comerciais, Central e do Parque das Nações. Enquanto eram executados esses projetos urbanísticos, o cenário das enchentes piorava.

Apesar das obras na década de 70, as enchentes aumentaram nos anos seguintes, principalmente em meados de 1980 (Figura 10a). O rio Tietê não conseguia mais escoar grandes volumes de água e impedia que seus afluentes, um deles o Tamanduateí, descarregassem suas águas em seu leito. Isso resultou em enchentes nos pontos mais baixos de todas as bacias, isto é, na foz de cada rio.

Na década de 1990 as enchentes continuaram (Figura 10b), muitas empresas no Vale do Tamanduateí sofreram com as enchentes, como a Laminação Nacional de Metais (ELUMA) e a Bridgestone/Firestone. Nesta mesma década havia mais de 100 núcleos de habitação precária ou subnormal, ou seja, estava criado o cenário perfeito para o agravamento das enchentes e outras situações de risco.

Figura 10- Enchente nas décadas de 1970 e 1990 em Santo André, respectivamente: a) Rua Monte Casseros com Alvares de Azevedo; b) Rua Alvares de Azevedo



Fonte: Santos (2002)

Diante dos problemas, os planos de drenagem elaborados pelo governo estadual a partir de 1997 passaram a prever a construção de reservatórios do tipo piscinões na bacia dos principais afluentes do Tietê, entre eles o Tamanduateí. Neste acordo, o governo faz o projeto e a obra e os municípios cedem a área e cuidam da manutenção. Até o ano de 2012 já haviam sido construídos 12 piscinões distribuídos pela bacia do Alto Tamanduateí.

### 2.6.1 Sistemas de Drenagem no município de Santo André

De acordo com o Semasa (2017), Santo André teve um grande programa de microdrenagem no ano de 1999, criado através do Plano Diretor de Drenagem, o que ajudou a reduzir as enchentes em muitos locais do centro da cidade e em bairros como a Vila Pires. A microdrenagem é necessária para evitar alagamentos pontuais e é feita para garantir o escoamento das águas pluviais em ruas, avenidas e espaços públicos.

Em contrapartida, a macrodrenagem se trata de grandes equipamentos utilizados para evitar enchentes e os danos causados pelas mesmas no município. Diferentemente da microdrenagem, a macrodrenagem é utilizada em áreas específicas que possuem problemas com cheias devido às chuvas.

Os reservatórios de contenção, chamados de piscinões, fazem parte da macrodrenagem de uma cidade. Em Santo André, existem sete piscinões, dois estaduais e cinco municipais, além de sete microrreservatórios (piscininhas) (Tabela 2).

Tabela 2 – Piscinões que operam no município de Santo André - SP

| Piscinão                             | Córrego Associado | Capacidade (m <sup>3</sup> ) | Ano de implantação |
|--------------------------------------|-------------------|------------------------------|--------------------|
| Jardim Bom Pastor                    | Araçatuba         | 19.300                       | 1994               |
| Vila América                         | Guarará           | 3.000                        | 2001               |
| Parque Central                       | Carapetuba        | 19.200                       | 2005-2008          |
| Santa Terezinha                      | Jundiaí           | 19.000                       | 1995               |
| <b>Municipais</b> Homero Thon        | -                 | 2.300                        | 2016               |
| Microrreservatórios da Vila Pires    | Guarará           | 4.510                        | -                  |
| <b>Estaduais</b> Grã-Bretanha (RM-9) | Meninos           | 120.000                      | 1999               |
| Oratório (RO-4)                      | Oratório          | 320.000                      | 2008               |

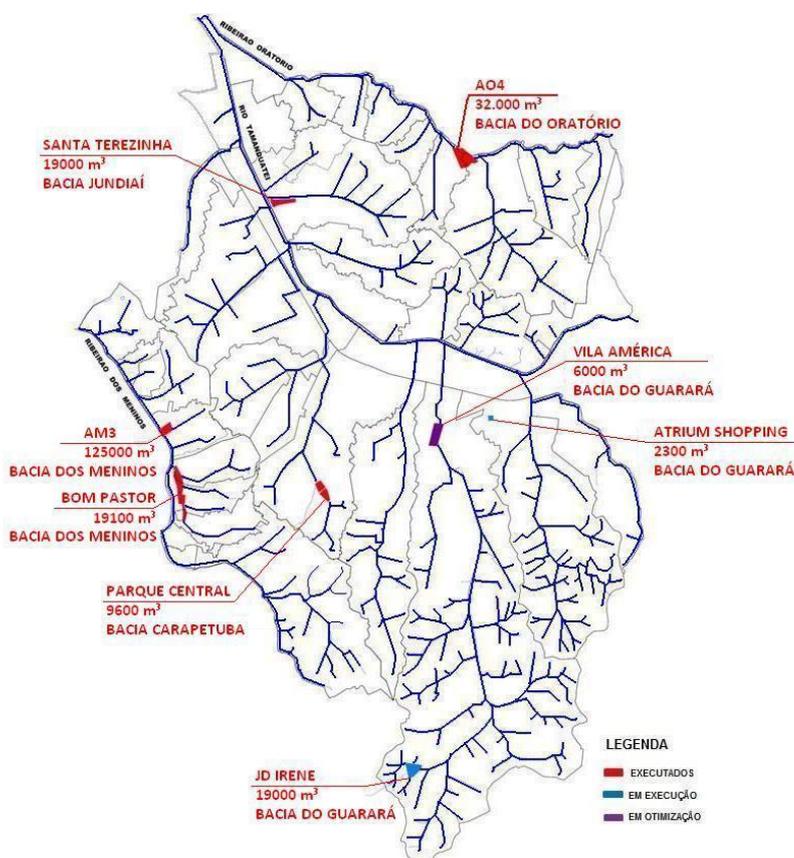
Fonte: SEMASA (2017)

A Figura 11 ilustra a localização dos reservatórios de contenção na cidade de Santo André. O piscinão do Jardim Bom Pastor está localizado na várzea do Ribeirão dos Meninos, e foi construído junto ao leito do córrego Araçatuba, trecho da Rua Dom Silvério Pimenta até a Rua Xingu. O piscinão da Vila América está localizado na Avenida Capitão Mário Toledo de Camargo com a Rua Erato, dentro da sub-bacia do Guarará. Em Santa Terezinha, o piscinão se localiza na várzea do rio Tamanduateí, construído paralelo ao Córrego Jundiaí, na Rua Engenheiro Olavo Alaysio de Lima. O piscinão Homero Thon se localiza na praça da Avenida Giovani Batista Pirelli e foi construído em contrapartida ao impacto gerado pelos empreendimentos imobiliários nas redondezas da área (SEMASA, 2017). O piscinão Atrium Shopping está em construção.

Os microrreservatórios da Vila Pires estão localizados na região do córrego do Guarará, nas seguintes vias: Caquito, Caravelas, Buri, Miguel Couto, Nossa Senhora de Lourdes, Imirim e Jericó.

Com relação às unidades estaduais, isto é, que não são responsabilidade do Semasa, são compostas pelo Piscinão Grã Bretanha (RM-9), localizado na Rua Grã-Bretanha, na Vila Príncipe de Gales e recebe água do Ribeirão dos Meninos. O piscinão Oratório (RO-4) está localizado paralelo a Avenida Nevada, no trecho entre as ruas Dolores Duran e Erlon Chaves, no Parque Oratório, recebendo águas do córrego Oratório (SEMASA, 2017).

Figura 11 – Localização dos piscinões na cidade de Santo André



Fonte: Neves (2016 apud SEMASA)

## 2.7 Estudos sobre inundações em bacias hidrográficas urbanas

Esta subseção descreve de forma sucinta alguns trabalhos atuais sobre o estudo de inundações urbanas tanto no Brasil quanto no exterior.

Diversas abordagens têm sido desenvolvidas no estudo destes eventos, desde a identificação dos fatores físicos e morfológicos das bacias urbanas que influenciam na ocorrência das inundações, a modelagem hidrológica, os eventos históricos e também a

análise de risco. Tanto no Brasil quanto no exterior, muitos autores focam na criação de modelos hidrológicos e hidráulicos para prever e analisar o risco das inundações nas cidades.

Na Região Metropolitana de Filadélfia, nos Estados Unidos, Javier et al. (2010) fizeram uma análise hidrometeorológica das chuvas e suas relações com as inundações em bacias urbanas. Foi concluído que processos superficiais do solo e a distribuição da pluviosidade no espaço e no tempo dos sistemas de tempestades se combinam para delinear a distribuição das enxurradas nas bacias urbanas da área de estudo. Para chegar nessa conclusão, os autores analisaram grandes eventos meteorológicos que originaram inundações, dentre estes o Furacão Floyd (16 e 17 de Janeiro de 1999) e a Tempestade Allison (16 e 17 de Junho de 2011).

Um estudo sobre as características morfométricas das bacias hidrográficas da cidade de Aqaba, localizada no sul da Jordânia foi desenvolvido por Farhan; Anaba (2016) para uma melhor compreensão dos fenômenos hidrometeorológicos da cidade, que tem sido exposta a processos de enxurradas de diferentes magnitudes desde meados de 1950, como resultado de condições climáticas, intervenções humanas e obras de engenharia. Os autores utilizaram dois métodos para avaliar o risco de inundações bruscas na bacia de Wadi Yutum: a aproximação de El-Shamy's e o método do ranking morfométrico. O objetivo foi comparar a eficácia desses dois métodos em dezessete sub-bacias e compreender se em ambas as aproximações os resultados eram parecidos. Pela aproximação de El-Shamy's são avaliadas as relações entre a taxa de bifurcação e a densidade de drenagem. Além disso, essa aproximação também analisa a relação entre a taxa de bifurcação e a frequência dos córregos, neste caso a razão entre o número total de canais e a área da bacia (FARHAN; ANABA, 2016). Já o método do ranking morfométrico consiste na utilização de grupos de parâmetros morfométricos, neste caso, dezessete deles. Três desses parâmetros são relacionados à rede de drenagem, seis parâmetros com a geometria da bacia, três com o aspecto da textura da rede de drenagem e cinco descrevem as características do relevo. De acordo com os autores, ao comparar os dois métodos, a única sub-bacia que apresentou alta suscetibilidade a enchentes nas duas metodologias, dentre as dezessete, foi aquela de número oito. Para fins de comparação, citam-se alguns dos principais índices dessa sub-bacia, como a área de 770 km<sup>2</sup>, densidade de drenagem de 1,50 km/km<sup>2</sup>, fator forma de 0,409, coeficiente de compacidade de 1,469 e amplitude de 1399 metros.

Para o Brasil citam-se alguns estudos, como o estudo de Bombassaro (2010) que envolveu inventários de dados de inundações e analisou os desastres naturais associados a esses fenômenos entre os anos de 1980 a 2007 na bacia hidrográfica do rio Taquari-Antas, no

Rio Grande do Sul. A pesquisa revelou a distribuição dos eventos adversos em diferentes escalas por meio do inventário, o que permitiu analisar os fatores que contribuem para a ocorrência dos acidentes. De acordo com o autor, com base na estatística realizada através dos dados históricos, nas características do relevo e das precipitações na bacia, foi concluído que as inundações que afetam a bacia em estudo são provocadas pelas características topográficas da mesma, que possui amplitude máxima de 1000 metros, associado com solos pouco desenvolvidos que favorecem o escoamento superficial. As chuvas intensas no alto curso provocam ondas de cheia que tem resposta no canal principal, de dois a três dias.

Machado et al. (2011) salientam a importância da análise dos parâmetros morfométricos de bacias hidrográficas por meio do uso de geotecnologias como elementos de suporte à definição e elaboração de indicadores para a gestão ambiental. Os autores discutem que esses indicadores contribuem para o melhor aproveitamento dos recursos naturais, além de se tratarem de um mecanismo de prevenção contra a degradação ambiental, possibilitando uma melhor relação entre o meio ambiente e os seres humanos. Os autores selecionaram 20 trabalhos que se tratavam da caracterização morfométrica de bacias e elencaram 56 índices. Dentre esses índices, foram selecionados 13 parâmetros (área, comprimento da bacia, frequência dos canais de 1 ordem, comprimento dos canais, comprimento do rio principal, densidade de drenagem, coeficiente de manutenção, hipsometria, declividade, orientação das vertentes, coeficiente de rugosidade, perfil topográfico e padrões de drenagem) que foram utilizados pelos autores para caracterizar a Bacia do rio Jacuípe, sub-bacia do rio Paraguaçu como estudo de caso. Além disso, os autores descreveram a importância dos índices escolhidos no que concerne à gestão ambiental.

Santos et al. (2012) realizaram a análise morfométrica das bacias de Perdizes e Fojo, localizadas em Campos do Jordão, no Estado de São Paulo. A análise envolveu parâmetros morfométricos como geometria, relevo, rede de drenagem e uso e ocupação do solo. Os autores observaram que as bacias são poucos suscetíveis a enchentes em condições normais de precipitação. O coeficiente de compactidade foi de 1,56 para a sub-bacia de Perdizes e 1,41 para a sub-bacia do Fojo, associados aos fatores forma  $F = 0,27$  e  $F = 0,29$ , respectivamente. Com relação ao índice de circularidade, foram encontrados os valores de 0,41 para Perdizes e 0,45 para Fojo, indicando que as duas sub-bacias não possuem padrão circular e sim alongado, o que indica menor concentração de deflúvio. Com relação ao uso e ocupação do solo, a análise revelou quatro tipos de cobertura vegetal, sendo que ambas sub-bacias possuem a cobertura do tipo Floresta como dominante, mas a sub-bacia do Fojo apresenta-se

melhor conservada, pois além de menor urbanizada, possui maior área com cobertura do tipo campo.

Silveira, Robaina & Trentin (2015) analisaram os eventos de inundação na cidade de São Gabriel, no Rio Grande do Sul, através de um inventário dos anos de 1980 a 2009. A análise dos autores relacionou os dados de precipitação com dados de cota do rio Vacacaí. Através da cota mínima de 502 centímetros registrada, foi possível saber a menor cota em que um evento é confirmado. De acordo com os dados históricos, os autores identificaram um evento importante, ocorrido em novembro de 1990, que apresentou uma das mais altas cotas de elevação das águas do rio Vacacaí, atingindo 810 cm.

Na região do ABC Paulista, onde se localiza o município de Santo André, ainda existem poucos estudos sobre as inundações urbanas, e nenhum que tenha analisado as características morfométricas das bacias que comportam o município.

Neves (2008) realizou um estudo no município de Santo André com o objetivo de descrever e analisar os danos materiais provocados por enchentes na perspectiva do afetado. Por meio de uma análise socioambiental do fenômeno das enchentes e inundações, o autor analisou o esforço do poder público no combate a esses fenômenos e a vulnerabilidade espacial das populações de baixa renda que habitam no local, principalmente nas áreas marginais. O estudo descreveu processos sociais e urbanos e também verificou as perspectivas futuras no que tange a vulnerabilidade. Para realizar tal compreensão sociológica, o autor utilizou o Discurso do Sujeito Coletivo (DSC) – com relação ao relato padrão dos afetados na convivência com enchentes, o que se trata de uma pesquisa qualitativa, realizada por meio de entrevistas.

Neves (2008) salienta que os moradores veem com descredito as ações municipais voltadas ao combate às enchentes. Para ele, os chamados piscinões seriam uma solução na visão de um planejador leigo, mas para os afetados, essas medidas estruturais não são eficazes, demonstrando a falta de diálogo entre a materialização de uma solução comum, no que concerne a técnica e a realidade do local. Além do mais, os moradores são reféns da escolha que fizeram em habitar nesses bairros no passado, estabelecendo uma relação de medo e angústia com o local. O estudo conclui que deve ser levado em consideração o discurso do sujeito coletivo afetado pelas enchentes em Santo André, passando a ser uma referência para que a Defesa Civil do município, em conjunto com outros órgãos municipais, busquem novas formas de atuação junto com as comunidades vulneráveis. Assim, seria possível promover uma cidadania participativa, cujos danos materiais e sociais relacionados às inundações/enchentes se tornem parte de um passado superado.

Santos et al. (2013) analisaram as inundações urbanas que ocorreram em Santo André entre os anos de 1999 a 2012, tendo como foco os afluentes da bacia hidrográfica do Tamanduateí: o Ribeirão dos Meninos, Oratório e rio Tamanduateí, constatando que o ciclo de enchentes ocorre com maior frequência em janeiro e fevereiro. Os autores analisaram a intensidade das chuvas que se associou com os eventos de inundação no município, utilizando informações de três pluviômetros localizados próximos aos cursos d'água citados. Foi observado que as áreas próximas ao Ribeirão dos Meninos possuíam os maiores valores de chuva, sendo que os anos de 2005 e 2008 foram os mais significativos no que concerne as enchentes em relação a este curso d'água. Além disso, houve destaque para o ano de 2011, o qual apresentou o maior número de ocorrência de inundações, que estiveram associados com maior frequência ao rio Tamanduateí, com valores de precipitação muito intensos, superando o valor diário de 120 mm no dia 15 de dezembro de 2011.

Fernandes; Valverde (2015) realizaram uma análise no comportamento do nível das águas na Bacia do Rio Tamanduateí e a relação deste com os desastres e a intensidade da chuva no município de Santo André. Para o estudo foram utilizados dados da altura do nível d'água (N.A.) obtidos de estações linimétricas localizadas no Rio Tamanduateí, Córrego do Guarará e Ribeirão dos Meninos, além de dados de chuva horária e histórico de ocorrência de inundações conforme dados fornecidos pela Defesa Civil entre 2011 e 2014.

Os autores constataram que um dos principais motivos para o aumento do nível são as fortes chuvas. O rio Tamanduateí apresentou um máximo de nível d'água, 5,53 metros, no verão de 2011, associado a um acúmulo de 62 mm de chuva em 30 minutos e para o Ribeirão dos Meninos encontraram o valor máximo de nível d'água de 4,13 metros. Foi constatado que esses máximos de N.A. têm relação direta com chuvas extremas e eventos de inundação. Os autores também criaram um índice de estados de comportamentos dos cursos dos rios, relacionado ao N.A., podendo os cursos d'água estar em estado normal, atenção, alerta e emergência. Valores acima de 3 metros de N.A. já indicam estado de alerta para todos os rios estudados (FERNANDES; VALVERDE, 2015).

Os autores também realizaram estudos do tempo de retorno (TR) de chuvas extremas, sendo que para chuvas entre 50-60 mm, TR=1 ano e 170-200 mm TR= 17 anos. Através do estudo, foi concluído que o tempo de retorno, a relação entre N.A. e inundações, bem como a propagação da onda de enchente, evidenciada pelo hidrograma, são parâmetros importantes no estudo dos impactos das chuvas intensas no município de Santo André (FERNANDES; VALVERDE, 2015).

Recentemente Neves (2016) desenvolveu um estudo focado na distribuição espacial e temporal das inundações em Santo André, analisando o histórico de eventos da Defesa Civil no período de 2001 até 2015 e os dados de chuva fornecidos pelo Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN) e pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE). Por meio do estudo das bacias do ribeirão dos Meninos, Oratório e rio Tamanduateí, o autor verificou que os eventos acontecem com maior frequência na época de chuvas, principalmente no mês de janeiro, sendo que ocorrência é comum em bairros e ruas próximos a córregos e rios. O autor concluiu que a micro-bacia do Guarará é a que apresenta mais problema de enchentes em seus três bairros mais críticos (Vila América, Jardim Irene e Jardim Santo André). Além disso, as inundações ainda persistem nos bairros mais críticos e as medidas de controle e gestão de enchentes não são suficientes para mitigar esse tipo de evento, mesmo em épocas de precipitação menos elevada. Com relação às chuvas, o autor encontrou três relações chuva-inundação de acordo com estudos de caso: a) chuva diária intensa ocorrida no local próximo ao evento de inundação, b) chuvas contínuas e persistentes por vários dias seguidos (até 4 dias) próximo ao local do evento de inundação e c) inundações provocadas por chuvas intensas que ocorrem a montante dos bairros atingidos seja no mesmo município ou em municípios próximos (Mauá e São Paulo).

Pelos trabalhos anteriores analisados, observa-se que o estudo das inundações é feito por meio de diversas abordagens, mas que no geral levam em consideração os inventários contendo dados históricos dos eventos em concomitância com outras análises incluindo o estudo das cotas dos rios e precipitação (NEVES, 2016; SILVEIRA; ROBAINA; TRENTIN, 2015, FERNANDES; VALVERDE 2015; SANTOS et al., 2013; JAVIER et al., 2010), o foco nas características físicas das sub-bacias (FARHAN; ANABA, 2016; MACHADO et al., 2011; SANTOS et al., 2012; BOMBASSARO, 2010), além de outras abordagens como estudos socioambientais (NEVES, 2008). Reunindo algumas das análises citadas, a presente pesquisa se foca no estudo dos índices morfométricos em conjunto da análise do histórico da Defesa Civil e complementarmente o estudo da precipitação.

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

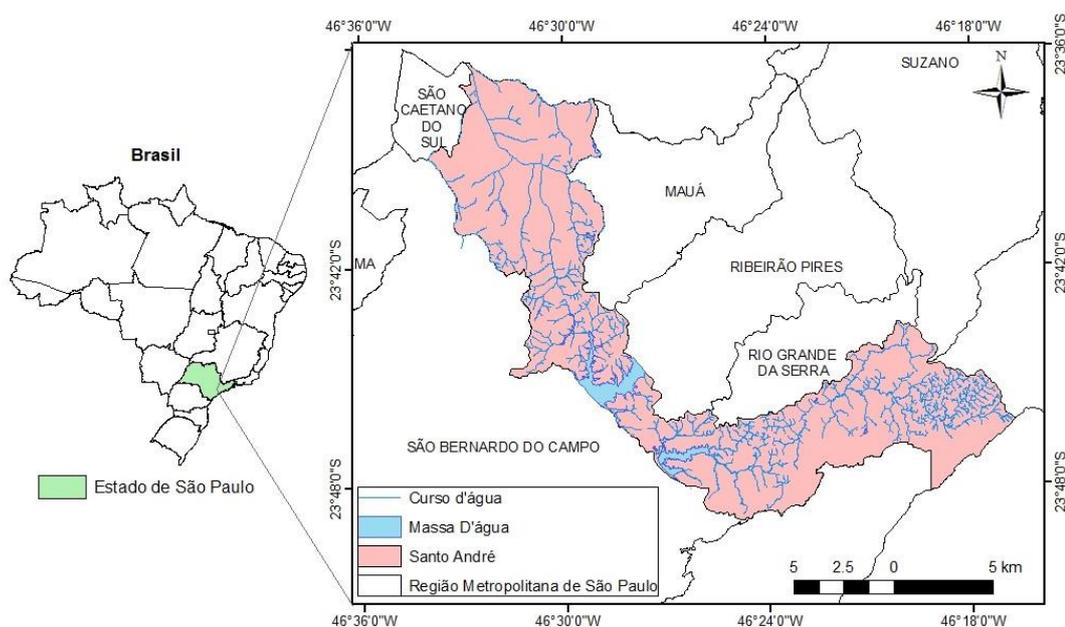
#### **3.1 Área de estudo**

Santo André é um município da Região Metropolitana do Estado de São Paulo, situando-se em uma altitude média de 760 metros acima do nível do mar, ocupando uma área de 175 km<sup>2</sup>. É a oitava cidade mais desenvolvida do Estado de São Paulo e a décima quinta

cidade mais desenvolvida de todo o país. Faz divisa com São Paulo, Mauá, Ribeirão Pires, Rio Grande da Serra, Suzano, Mogi das Cruzes, Santos, Cubatão, São Bernardo do Campo e São Caetano do Sul. Suas coordenadas geográficas são 23° 39' 50" S e 46° 32' 16" O (Figura 12) (PREFEITURA MUNICIPAL DE SANTO ANDRÉ, 2016).

O município faz parte da região dos Planaltos e Serras do Atlântico Leste-Sudeste, e possui áreas territoriais próximas à Serra do Mar. Seu principal acesso se dá através da Avenida dos Estados, às margens do Rio Tamanduateí, que liga a cidade a zona leste da cidade de São Paulo e ao município de Mauá (PREFEITURA MUNICIPAL DE SANTO ANDRÉ, 2016).

Figura 12- Mapa de localização do município de Santo André



Fonte: a autora

### 3.1.1 Bacia hidrográfica do alto Tietê: a sub-região Billings/Tamanduateí

A bacia do Alto Tietê está dividida em seis sub-regiões: Tietê/Cabeceiras, Penha/Pinheiros, Cotia/Guarapiranga, Juqueri/Cantareira e Pinheiros/Pirapora e Billings/Tamanduateí. Esta última compreende os municípios de Diadema, Mauá, Ribeirão Pires, São Bernardo do Campo, São Caetano do Sul e Santo André (COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO TIETÊ, 2009)

A Bacia do Rio Tamanduateí possui uma área de 323 km<sup>2</sup>. Seus limites oeste e sul correspondem aos divisores de água que a separam da Bacia Hidrográfica do Rio Pinheiros.

Seus limites leste e nordeste separam-na das bacias hidrográficas do Rio Guaió, Aricanduva e Córrego do Tatuapé (GOUVEIA, 2010).

De acordo com Gouveia (2010), a bacia hidrográfica do Tamanduateí compreende quatro formas de relevo: morros com topos convexos, colinas e patamares com topos plano-convexos e planícies fluviais, caracterizadas por terraços fluviais e Planícies de Inundação. Os morros com topos convexos são baixos a médios, estreitos e alongados. As formas de dissecação são médias a altas, com vales entalhados e densidade de drenagem média a alta. A drenagem possui padrão dendrítico, quase sempre obedecendo às direções estruturais regionais. A litologia se constitui basicamente de migmatitos, granitos, micaxistos e metarenitos. Ocorrem também anfibolitos. Quanto ao tipo de solo, predominam os tipos argissolo Vermelho-amarelo e Cambissolo.

Nas colinas e patamares com topos planos convexos destacam-se vales com cabeceiras bem entalhadas nas colinas, enquanto nos patamares o entalhamento é menos expressivo. Predominam argilas, areias e lentes de conglomerados. Quanto aos solos, estes são variegados associados à formação São Paulo.

As planícies fluviais se caracterizam por relevo plano, de origem fluvial e coluvionar. Ao longo do Rio Tamanduateí, a planície de inundação apresenta-se mais expressiva enquanto em seus afluentes é mais restrita e descontínua. Quanto à litologia, esta é composta de sedimentos arenosos e argilosos inconsolidados e o tipo de solo encontrado é o gleissolo.

### 3.1.1.1 Caracterização hidrológica de Santo André

Santo André, inserido na sub-região Billings/Tamanduateí, está dividido em duas Macrozonas: a Urbana e a de Proteção Ambiental. Na Macrozona de Proteção Ambiental estão localizadas duas bacias hidrográficas: bacia do Rio Mogi e a Bacia do Reservatório Billings, ambas com nascente no alto da Serra do Mar. Na Macrozona Urbana se situam três bacias hidrográficas: bacia do Ribeirão dos Meninos, Ribeirão Oratório e Rio Tamanduateí (Tabela 3), esta última abrange 53% da hidrografia urbana.

Tabela 3 - Bacias Hidrográficas da Macrozona Urbana e seus afluentes

| Ribeirão dos Meninos  |   | Ribeirão Oratório   |   | Tamanduateí  |   |
|---|---|---|---|--|---|
| Margem direita  | Margem esquerda   | Margem Direita  | Margem Esquerda   | Margem Direita   | Margem Esquerda   |
| Córregos: da Grotta, Contravertente do Beraldo, da R. Bretanha, | Córregos afluentes do ribeirão dos Meninos, município de São Bernardo | Córregos afluentes do ribeirão Oratório, município de São Paulo | Córregos: Taubaté, Maria Quitéria, Bahamas, do Meio, Lavapés, Guaixaya, | Córrego Jundiá e seus afluentes Córregos: Comprido, André Ramalho e Sorocaba | Córregos: Utinga, Beraldo, Cemitério, Carapetuba, e Apiaí |

|  |  |   |
|--|--|---|
| Monte Alto, do Campo<br>Araçatuba e<br>seu afluente<br>(Itororó) e<br>Taióca | Almada, da Av.<br>Cândido<br>Camargo, e da<br>Divisa | Córrego<br>Guarará e<br>seus<br>afluentes<br>Córrego<br>Cassaquera e<br>seus<br>afluentes |
|--|--|---|

Fonte: Prefeitura Santo André (2013)

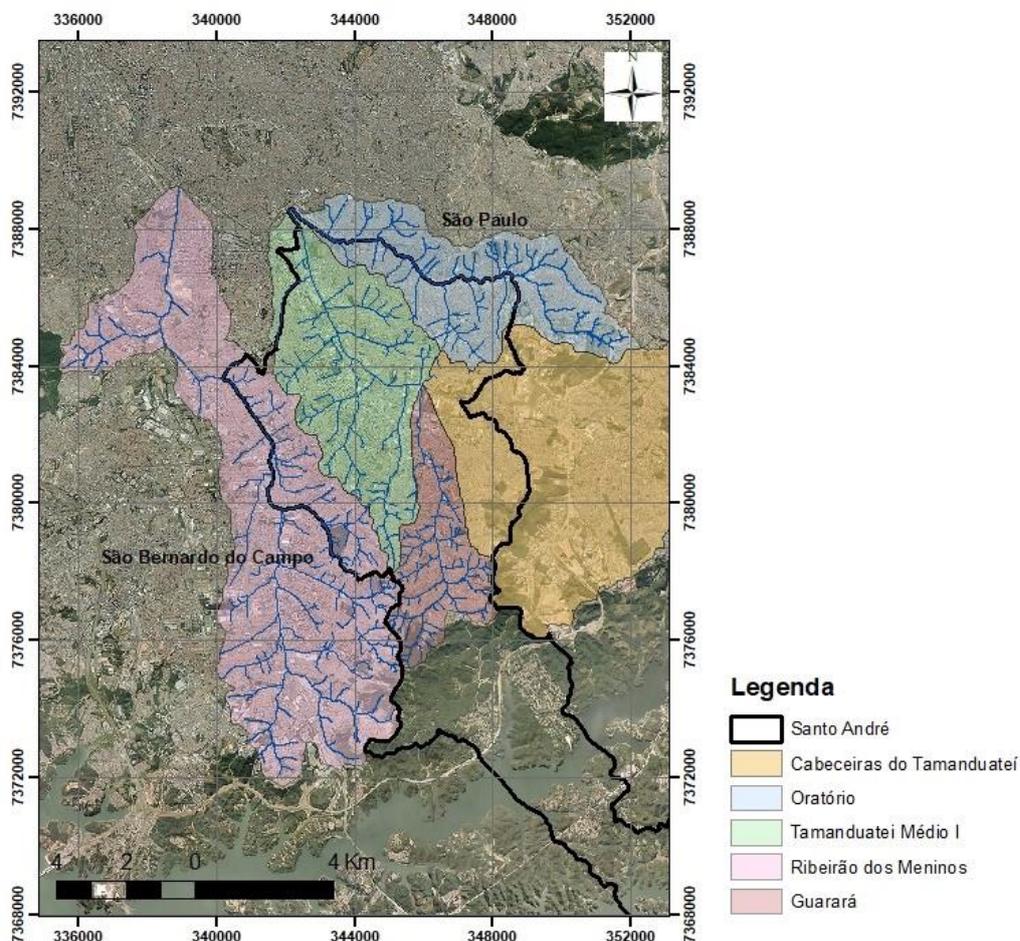
As bacias da Macrozona Urbana apresentam características distintas daquelas que se inserem na Macrozona de Proteção Ambiental, já que são afetadas por poluição e assoreamento provocados pela urbanização. No entanto, as bacias da Macrozona Ambiental são de extrema importância, pois constituem parte dos mananciais de abastecimento de água da Grande São Paulo, tanto para uso doméstico quanto industrial (PREFEITURA DE SANTO ANDRÉ, 2013).

Santo André possui 45% de sua área formada pela malha urbana, densa e consolidada, inserida na bacia hidrográfica do rio Tamanduateí. O restante da área, 55%, está situado nas áreas de proteção aos mananciais da represa Billings (JUNIOR; PEREIRA, BOTACINI, 1999).

Dentro da zona urbana do município situam-se os principais cursos d'água: o do rio Tamanduateí e os ribeirões dos Meninos e Oratório. Os dois últimos estão situados nas partes limítrofes do município com São Bernardo do Campo e São Paulo, respectivamente (JUNIOR; PEREIRA, BOTACINI, 1999).

A Figura 13 ilustra a localização das sub-bacias desses principais rios, que se inserem na porção urbana do município e o limite municipal de Santo André.

Figura 13 - Localização das sub-bacias de estudo e fotografia aérea ilustrando a urbanização consolidada



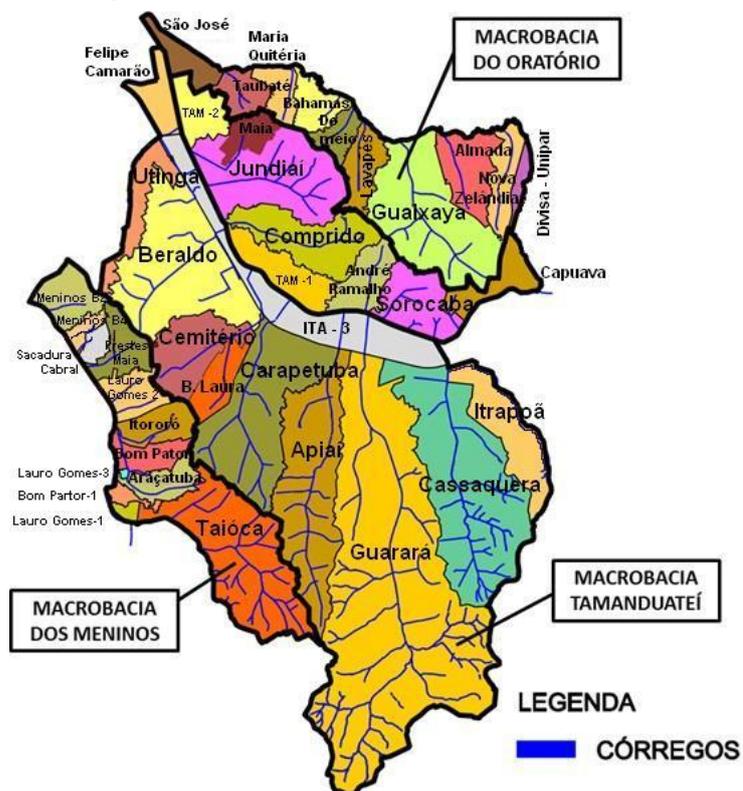
A sub-bacia do Guarará é a única que está inteiramente localizada dentro do município, seguida da sub-bacia do Tamandateí Médio I que possui uma pequena porção a noroeste fora da cidade. As sub-bacias do Ribeirão dos Meninos e Oratório possuem uma porção de suas áreas inseridas em outros municípios, principalmente em São Bernardo do Campo e São Paulo, respectivamente.

A Figura 14 ilustra as microbacias de drenagem definidas por meio dos córregos afluentes dos três principais cursos d'água (Tabela 3).

Os afluentes desses cursos d'água drenam e cruzam toda a porção urbana do município e encontram-se em situações distintas, podendo estar ou não retificados ou tamponados. Na região central e mais antiga da cidade os córregos estão canalizados e urbanizados, enquanto que existem córregos não canalizados ou com trechos parcialmente

canalizados em regiões ocupadas por favelas ou construções irregulares (JUNIOR; PEREIRA; BOTACINI, 1999).

Figura 14 – Microbacias da região urbana do município de Santo André.



Fonte: NEVES (2016 apud SEMASA).

### 3.1.1.2 Caracterização climatológica

Nas regiões Central e Sudeste do Brasil, onde está inserido o município de Santo André, a estação seca e chuvosa é bem definida. A estação chuvosa é influenciada pela Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). Durante o inverno, as regiões sudeste e centro-oeste são atingidas por frente frias que podem provocar geadas. A ZCAS modula a precipitação no sudeste do Brasil, sendo que o abastecimento de água na região depende das chuvas geradas por esse sistema atmosférico. No entanto, eventos extremos, tanto chuva quanto seca durante a estação chuvosa (outubro a março) podem ocorrer sem que as médias climatológicas sejam afetadas (CAVALCANTI et al., 2016).

De acordo com Tarifa; Armani (2001) a Bacia Hidrográfica do Rio Tamanduateí está inserida na Unidade Clima Tropical Úmido e de Altitude do Planalto Paulistano. Os autores apresentaram um estudo da subdivisão dos climas naturais do Município de São Paulo, não levando em consideração processo de urbanização e industrialização. Assim, foram definidos três mesoclimas distintos, com relação à geomorfologia: IA: topos elevados dos maciços,

serras e colinas altas; IB: colinas intermediárias, morros baixos, terraços e patamares; e IC: várzeas e terraços baixos. Essas unidades possuem subdivisões. A unidade IA se divide em IA1 (maciços, serras, e morros do alto Aricanduva e Itaquera) e IA2 (altas colinas e cumeadas planas do Espigão Central Paulista).

De acordo com Gouveia (2010) embora esse estudo realizado por Tarifa; Armani (2001) tenha sido feito para o município de São Paulo, os setores sul e sudeste da Bacia Hidrográfica do Tamanduateí, onde se encontram as nascentes e trechos superiores dos principais afluentes deste rio, como o Ribeirão dos Couros, Ribeirão dos Meninos e Ribeirão Guarará, podem ser correspondentes à unidade IA1, nas áreas constituídas por morros baixos e médios da Região do ABC Paulista.

Nessa área, a pluviosidade é um elemento muito importante, pois quando os sistemas atmosféricos (Sistemas frontais e a Zona de Convergência do Atlântico Sul) responsáveis pela precipitação se inserem na Bacia do Alto Tietê, a forma e orientação dos morros mais elevados aumentam a instabilidade desses sistemas, o que aumenta a taxa de pluviosidade total em relação às áreas mais baixas e planas. Nas subdivisões da unidade IA (IA1, IA2, e IA3) os totais anuais de pluviosidade podem variar de 1.250 a 1.450 mm (Tabela 4) (TARIFA; ARMANI, 2001).

Tabela 4 – Características de temperatura e pluviosidade da subunidade climática IA1 definida por Tarifa; Armani (2001)

| Unidade IA1 | Temperatura (° C) |                    |                    | Pluviosidade (mm) |                 |
|-------------|-------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-----------------|
|             | Média anual total | Média anual máxima | Média anual mínima | Total anual       | Máximos diários |
|             | 19,3-18,7         | 24,9-24,3          | 15,5-14,9          | 1400-1450         | 100-150         |

Fonte: Adaptado de Gouveia (2010)

Grande parte dos eventos de enchentes/inundações está relacionada a chuvas induzidas por ilhas de calor e circulação de brisa marítima. Existem também os eventos relacionados à orografia, sistemas convectivos de mesoescala, sistemas frontais e a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), como citado anteriormente. Fenômenos como El Niño e La Niña, considerados de grande escala, também influenciam os regimes de precipitação na região (SILVA; PEREIRA FILHO; HALAK., 2009).

Neves (2016) construiu uma climatologia mensal da precipitação com base em dados de pluviômetros localizados na área urbana de Santo André que apresentaram séries entre 17 e 25 anos. Foi encontrado que a região possui uma estação mais chuvosa correspondente ao verão, com pico de aproximadamente 250 mm no mês de janeiro, e 211 mm em fevereiro. De acordo com o autor, a região sul da área urbana é a que apresenta maior taxa de pluviosidade

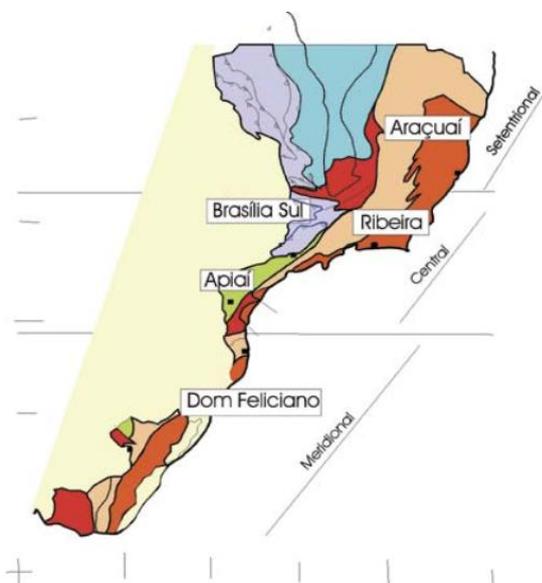
(principalmente no mês de fevereiro: 257 mm). Além disso, analisando eventos extremos por meio de *quantis* que permitiram identificar limiares extremos, valores diários maiores ou iguais que 38 mm já são suficientes para causarem inundações. No entanto, foram encontrados eventos de chuvas com intensidades 14 vezes maiores que tal limiar na série histórica analisada.

### 3.1.2 Características geológicas do Estado de São Paulo e do município de Santo André

A Região Metropolitana de São Paulo faz parte do arcabouço geológico do cinturão de dobramentos Ribeira, representado por rochas metamórficas, migmatitos e granitóides.

O Cinturão de Dobramentos Ribeira está localizado dentro da Província Mantiqueira central. A Figura 15 mostra as entidades tectônicas, diferenciadas por cores.

Figura 15 - Segmentos da Província Estrutural Mantiqueira.



Fonte: Heilbron et al. (2004)

A Província estrutural do escudo Atlântico Mantiqueira divide-se três compartimentos: setentrional, central e meridional, cada setor caracterizado por um cinturão de dobramento distinto. Este orógeno resultou de uma longa e complexa evolução na América do Sul durante o Neoproterozóico (99-520 Ma) (RODRIGUEZ, 1998).

O cinturão Ribeira, localizado na província Mantiqueira central, hospeda a Região Metropolitana de São Paulo que abrange oito entidades geológicas distintas (Figura 16): sedimentos aluviais do quaternário, sedimentos cenozoicos do *rift* continental do sudeste do Brasil, as suítes graníticas indiferenciadas, o Grupo São Roque, o Grupo Serra do Itaberaba, Grupo Amparo, Grupo Embu e Complexo Costeiro (RODRIGUEZ, 1998), que são descritos a seguir:

#### a) Complexo Embu

Trata-se de um complexo com uma faixa de afloramentos com direção NE-SW, formado por xistos, filitos, migmatitos, gnaisses migmatizados e corpos lenticulares de quartzitos, anfibolitos e rochas calciossilicatadas. É a unidade mais expressiva da Região Metropolitana São Paulo. É limitado ao norte pelas falhas de Taxaquara e Jaguari e ao sul pela Falha de Cubatão. Representa o embasamento de maior expressão em área das bacias de São Paulo e Taubaté.

O Complexo Embu apresenta alta suscetibilidade de ocorrência de escorregamentos em grande parte de sua área de exposição devido a sua litologia xistosa.

Os tipos de solos ocorrentes dependem da rocha cristalina presente no local. No caso do Complexo Embu, os solos resultantes de xistos micáceos possuem espesso manto de alteração e granulação fina a média. Os solos resultantes de gnaisses apresentam micas isorientadas e textura friável e micácea. Os solos resultantes de xistos quartzosos são arenosos, com estruturação foliada e apresentam espessos mantos de alteração (GOUVEIA, 2010).

#### b) Suítes Graníticas

Diversos corpos graníticos encontram-se distribuídos por toda a área de Região Metropolitana de São Paulo. São corpos de diferentes tamanhos, desde batólitos a stocks. São rochas de origem sintectônica e pós-tectônica. Essas rochas sustentam relevos de topografia elevada, como as serras da Cantareira, Itaquí, Itapeti e Caucaia. São rochas resistentes aos processos intempéricos e sobressaem-se no relevo. Possuem baixa a média potencialidade para ocorrência de deslizamentos.

#### c) Sedimentos Cenozóicos da Bacia de São Paulo

Os sedimentos cenozoicos da bacia de São Paulo se dividem em quatro formações:

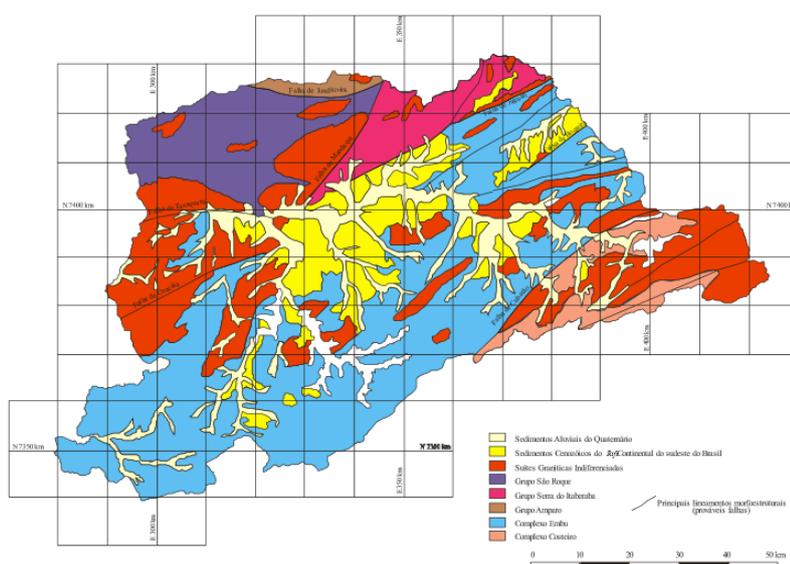
- Formação Resende: representa mais de 80% do preenchimento da Bacia de São Paulo. É constituída por depósitos de leques aluviais que gradam para depósitos relacionados à planície aluvial de rios entrelaçados.

- Formação Tremembé: Compreende sedimentos lacustres, constituídos por camadas de argilas verdes maciças intercaladas com argilas cinzas e pretas, ricas em matéria orgânica, formados em condições de semi-aridez. É uma formação restrita na Bacia Sedimentar de São Paulo.

- Formação São Paulo: É constituída de areias grossas a médias que gradam para finas e até siltes e argilas. Corresponde a depósitos de sistema fluvial meandrante. Sua principal exposição é ao longo do espigão central.

- Formação Itaquaquetuba: Corresponde a depósitos de sistema fluvial entrelaçado na Bacia de São Paulo, que ocorrem sob os aluviões holocênicos dos rios Tietê, Pinheiros e Tamandateí. Os depósitos são constituídos por areias médias a grossas, mal selecionadas, com estratificação cruzada acanalada e tabular de grande porte, apresentando níveis conglomeráticos e lamíticos.

Figura 16 - Compartimentação geológica da Região Metropolitana de São Paulo



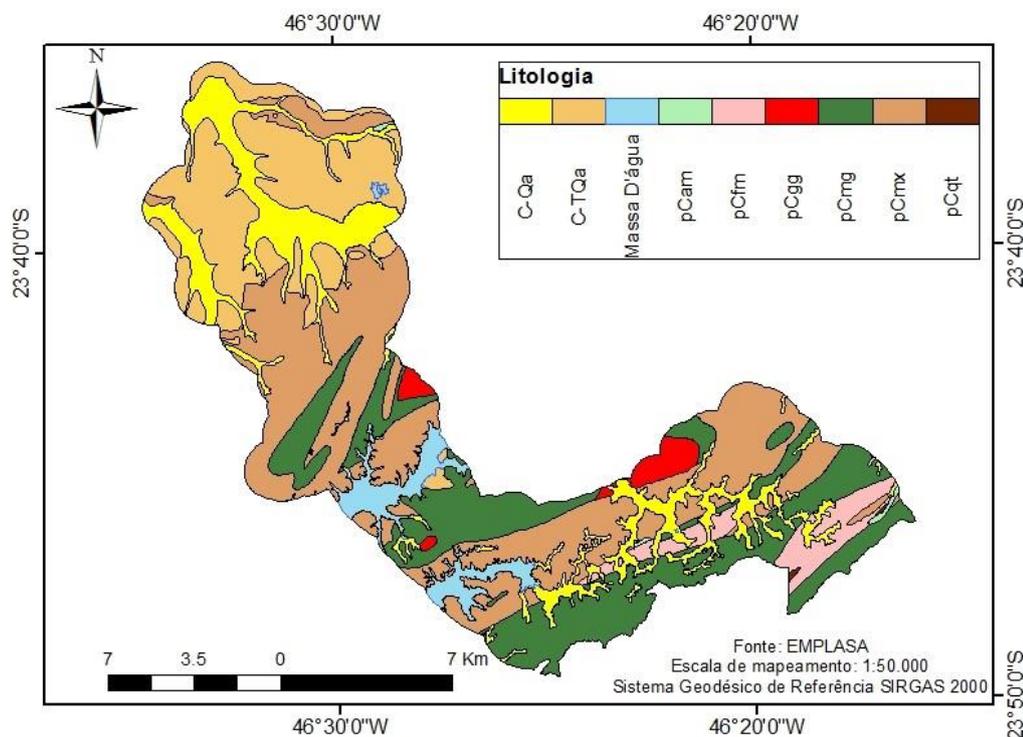
Fonte: Rodriguez (1998)

No município de Santo André, na Bacia Sedimentar de São Paulo, o planalto de São Paulo abriga as colinas e patamares com topos plano-convexos. A litologia nessa área se constitui de argilas, areias e lentes de conglomerados (GOUVEIA, 2010) (Figura 17).

No Cinturão Orogênico do Atlântico, o Planalto Paulistano (Cretáceo - Terciário) abriga as serras e morros cristalinos. Nesta área, a litologia é constituída por migmatitos, gnaisses, granitos, micaxistos e meta-arenitos (Figura 17). Ocorrem ainda de forma bem restrita, anfíbolitos (GOUVEIA, 2010).

As coberturas recentes do Quaternário que se encontram na bacia Terciária abrigam as planícies fluviais, estas que hospedam os terraços fluviais e as planícies de inundação. (GOUVEIA, 2010).

Figura 17– Mapa geológico do município de Santo André



\***C-Qa**: Aluviões fluviais, argila, areia e cascalho; **CT-Qa**: Argilas, areias e cascalhos da Formação São Paulo. Inclui depósitos elúvio-coluviais correlatos; **pCgg**: Granitos a granodioritos normais ou em parte gnáissicos, equigranulares ou profiróides; **pCmg**: Migmatitos e gnaisses graníticos, podem achar-se cisalhados até gnaisses miloníticos em zonas de movimentação tectônica intensificada; **pCmx**: Micaxisto e/ou meta-arenito de médio grau metamórfico, inclui também xistos miloníticos em zonas de movimentação tectônica; **pCfm**: Filitos e/ou metassilitos, inclui também filonitos em zonas de movimentação tectônica intensificada; **pCam**: Anfibolitos, metabasitos (metadiabásio, metagrabo); e **pCqt**: Quartzitos.

### 3.2 Dados

Para o desenvolvimento da pesquisa foram utilizados os seguintes dados:

- Dados de precipitação de estações pluviométricas localizadas na região de estudo disponíveis no Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) e no Centro de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais (CEMADEN) (Tabela 5). A Figura 18 ilustra a localização dessas estações pluviométricas que estão distribuídas na área urbana do município de Santo André.

Tabela 5- Nome das estações pluviométricas, localização e órgão responsável

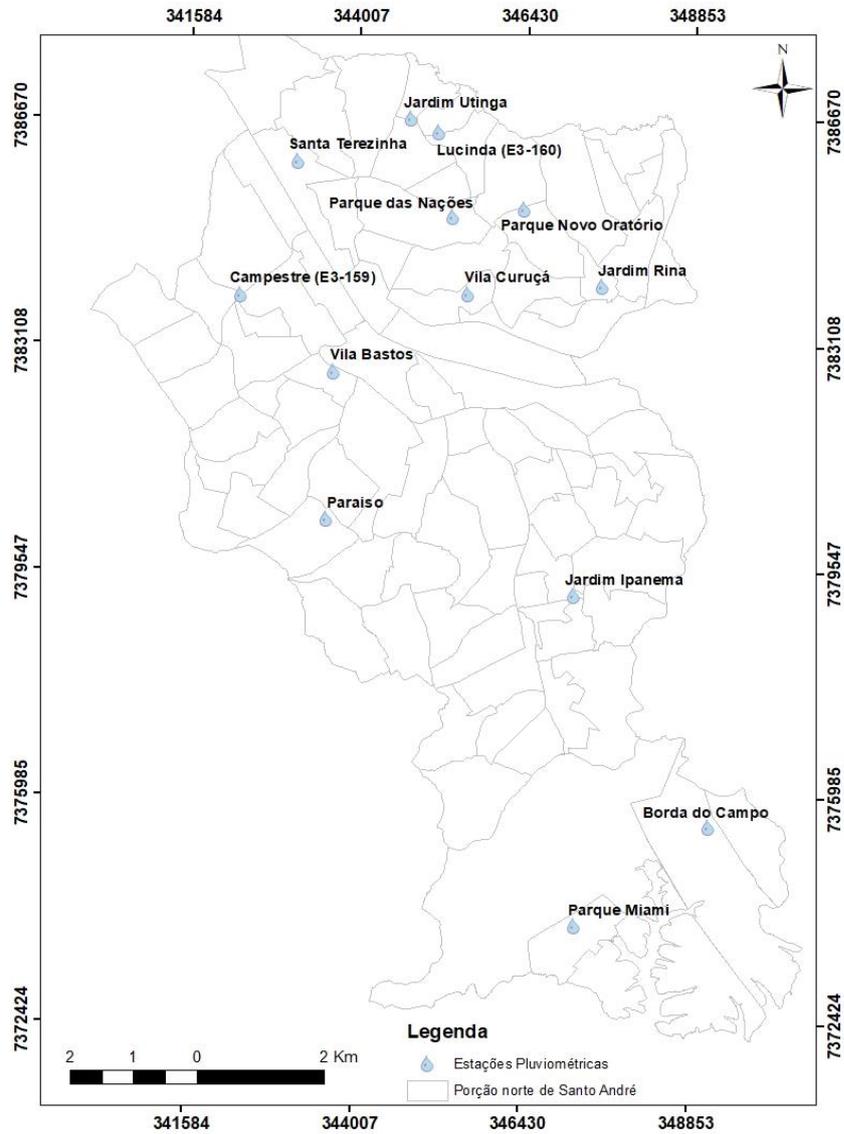
| Estação            | Longitude | Latitude | Responsável | Período   |
|--------------------|-----------|----------|-------------|-----------|
| Lucinda (E3-160)   | -46,51    | -23,625  | DAEE        | 2001-2016 |
| Campestre (E3-159) | -46,546   | -23,648  | DAEE        | 2001-2016 |
| Borda do Campo     | -46,48    | -23,724  | CEMADEN     | 2014-2017 |
| Jardim Ipanema     | -46,499   | -23,691  | CEMADEN     | 2014-2017 |
| Jardim Rina        | -46,495   | -23,647  | CEMADEN     | 2014-2017 |
| Jardim Utinga      | -46,522   | -23,623  | CEMADEN     | 2014-2017 |

|                      |         |         |         |           |
|----------------------|---------|---------|---------|-----------|
| Paraiso              | -46,534 | -23,68  | CEMADEN | 2014-2017 |
| Parque das Nações    | -46,516 | -23,637 | CEMADEN | 2014-2017 |
| Parque Novo Oratório | -46,506 | -23,636 | CEMADEN | 2014-2017 |
| Santa Terezinha      | -46,538 | -23,629 | CEMADEN | 2014-2017 |
| Vila Bastos          | -46,533 | -23,659 | CEMADEN | 2014-2017 |
| Vila Curuçá          | -46,514 | -23,648 | CEMADEN | 2014-2017 |
| Parque Miami         | -46,499 | -23,738 | CEMADEN | 2014-2017 |

- Dados de históricos de eventos de inundação, alagamentos, enchentes que ocorreram no local de estudo de acordo com os registros da Defesa Civil do município de Santo André, para o período de 2001 até 2016;

-Arquivos georreferenciados dos limites das bacias, sub-bacias e macrobacias que compõem o município de Santo André, fornecidos tanto pelo SEMASA quanto pelas prefeituras municipais (São Caetano, Santo André e São Paulo). Esses dados incluem os arquivos vetoriais para serem usados em *softwares* de Sistemas de Informações Geográficas (SIG). As camadas de informações incluem: os polígonos com as áreas das bacias e a delimitação dos municípios, a rede drenagem que compreende cada uma delas, bem como o uso do solo nas regiões de drenagem em escala 1:10.000.

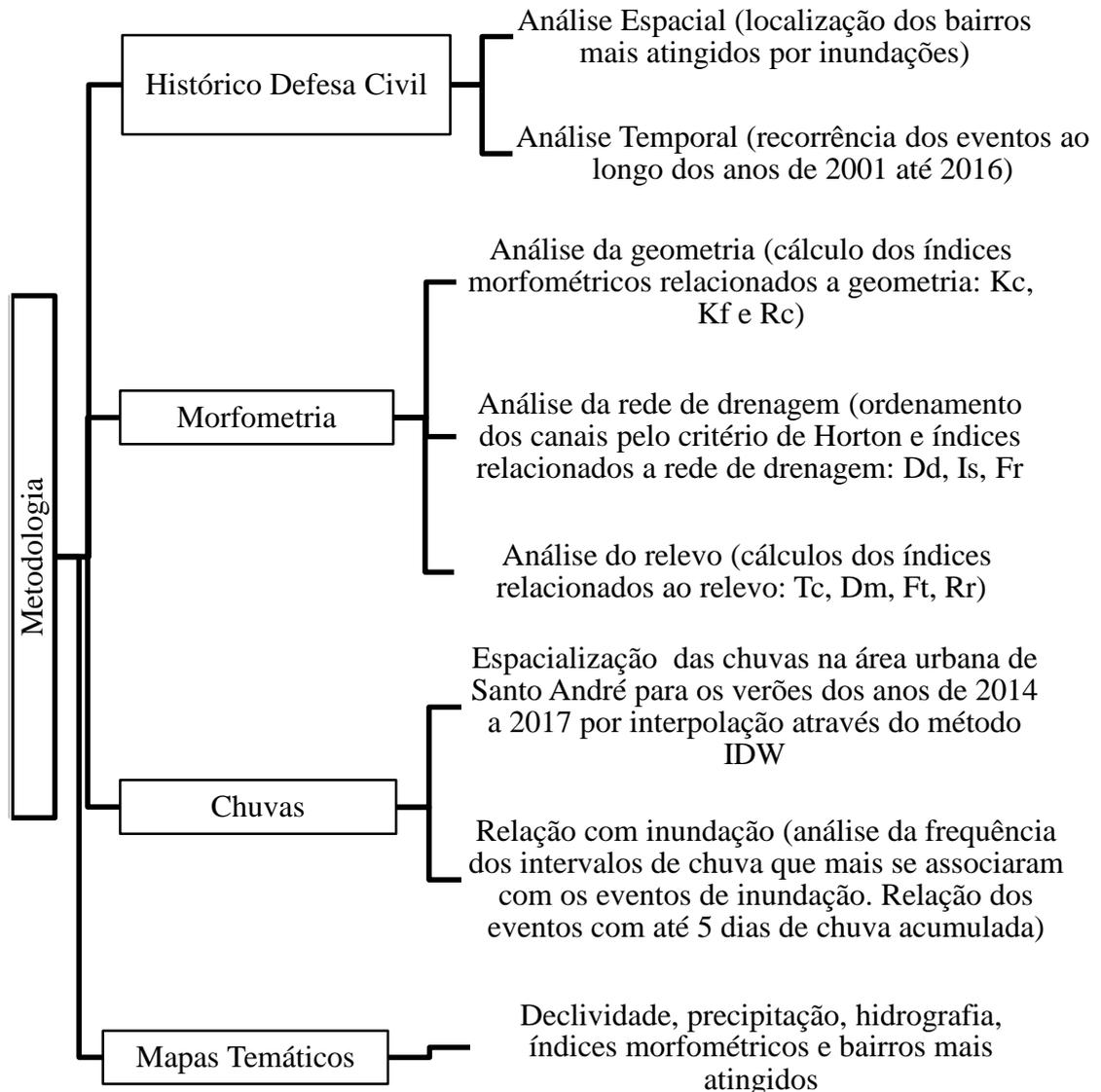
Figura 18- Localização das estações pluviométricas citadas na Tabela 5



### 3.3 Métodos

A Figura 19 resume e ilustra a metodologia que foi aplicada para a realização da pesquisa, que será descrita nos próximos itens.

Figura 19 – Esquematização da metodologia adotada



### 3.3.1 Análise estatística das informações de eventos de inundações e enchentes.

Os dados fornecidos pela Defesa Civil foram encaminhados em formato de planilha no MS Excel, uma para cada ano, entre 2001 e 2016. No arquivo constavam todas as ocorrências registradas pelos funcionários, como deslizamentos, inundações, alagamentos, remoção de insetos perigosos etc. Inicialmente, foi feita uma filtragem dos eventos de inundações, por meio de um código que a Defesa Civil usa (809-DDC – enchente – inundações – alagamento). Importante ressaltar que nos seus registros a Defesa Civil não faz a diferença se o evento é um alagamento, inundações ou enchente, o evento é registrado como: enchente – inundações – alagamento.

Nas planilhas estavam descritos o código do tipo de ocorrência, seguido pelo horário, o nome da rua, o número da casa e por fim, o bairro. Além disso, também constavam detalhes do atendimento, como por exemplo, eventos causados por rompimento de tubulação ou ocorrências devido às chuvas que ocorreram no dia anterior.

Para filtrar adequadamente apenas eventos causados por precipitação, além da análise prévia feita pela descrição da Defesa Civil, foram utilizados os dados dos pluviômetros da cidade, disponibilizados pelo CEMADEN e pelo DAEE. Assim, verificou-se se o chamado da Defesa Civil que constava o código DDC-809 realmente estava relacionado com as chuvas.

Feita a filtragem inicial dos eventos, a análise estatística foi iniciada. Foi contabilizado primeiramente o número total de eventos, seguido pela quantidade de registros a cada ano e mês a mês. Posteriormente foram localizados quais bairros eram mais atingidos e por fim, quais ruas desses bairros possuíam o maior número de chamados.

Durante a análise, foi possível notar que na maioria das vezes um mesmo evento atingia mais de um bairro e conseqüentemente, mais de uma rua. Assim, nesse trabalho, a intensidade de um evento hidrometeorológico foi definida pelo número de bairros atingidos e pela quantidade de chamados em uma mesma rua. Além disso, foi possível identificar quais ruas foram mais atingidas de acordo com o número de chamados registrados pela Defesa Civil durante o episódio.

Complementarmente, se deu ênfase na ocorrência de eventos ocorridos durante os últimos três anos: 2014, 2015 e 2016, pois além de refletir a situação atual, foi possível inferir se as medidas tomadas pelos órgãos responsáveis estão sendo suficientes para mitigar ou diminuir a ocorrência dos impactos dos fenômenos hidrometeorológicos.

### **3.3.2 Estudo das características morfométricas das sub-bacias que fazem parte da área urbana de Santo André**

#### **3.3.2.1 Base cartográfica**

A base cartográfica utilizada no presente estudo foi elaborada por meio da utilização do Sistema de Informação Geográfica (SIG) através do *software ArcGis*. Para isso, foram utilizados dados vetoriais e matriciais. O formato matricial ou *raster* se baseia na estrutura de grade de células, enquanto que o dado vetorial utiliza linhas, pontos e polígonos para representar feições através da extensão *shapefile* (DAVIS, 2001).

Para o estudo das características físicas das bacias hidrográficas analisadas no município de Santo André foram utilizados arquivos das bacias do Ribeirão dos Meninos, Oratório, Tamanduateí Médio I e Guarará, que também continham a rede hidrográfica em

escala 1:10.000, fornecidos pelo SEMASA, no formato vetorial e foram convertidos para *shapefile*. No *ArcMap*, utilitário do software ArcGIS, foram adicionados os arquivos vetoriais das quatro bacias urbanas supracitadas estudadas no município de Santo André, sendo que cada uma delas foi analisada separadamente.

O arquivo que contém a rede hidrográfica fornecido pelo SEMASA possui uma tabela de atributos em que consta a descrição básica de cada um dos canais, incluindo o comprimento e se estão ou não canalizados. Assim, foi possível o cálculo dos índices relacionados a drenagem.

Posteriormente foi adicionado um arquivo que continha a localização e divisão de todos os bairros de Santo André, para que fosse possível visualizar a proximidade dos mesmos aos cursos d'água. Além disso, outro arquivo vetorial com os logradouros do município foi sobreposto no mesmo arquivo em que continha a hidrografia, sendo possível relacionar as ruas mais atingidas e a proximidade das mesmas em relação aos córregos nas bacias.

Toda base cartográfica utilizada estava georreferenciada no sistema de coordenadas Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), zona 23°S, *datum* horizontal SIRGAS 2000.

Todos os índices morfométricos calculados no presente estudo estão listados na Tabela 6, os quais já foram detalhados na seção da Revisão Bibliográfica.

Tabela 6 – índices morfométricos utilizados, símbolo, fórmula e referência bibliográfica

|                  | <b>Índice morfométrico</b>  | <b>Símbolo/ unidade</b>    | <b>Fórmula</b>  | <b>Fonte</b>          |
|------------------|-----------------------------|----------------------------|---|-----------------------|
| <b>GEOMETRIA</b> | Coefficiente de compacidade | Kc                         | $(0,28) \frac{P}{\sqrt{A}}$<br>P: perímetro<br>A: área        | Villela; Matos (1975) |
|                  | Razão de circularidade      | Rc                         | $\frac{4\pi A}{p^2}$<br>A: área<br>P: perímetro               | Miller (1953)         |
|                  | Fator forma                 | Kf                         | $\frac{A}{L^2}$<br>L: comprimento axial da bacia              | Villela; Matos (1975) |
| <b>DRENAGEM</b>  | Densidade de drenagem       | Dd<br>(m/km <sup>2</sup> ) | $D_d = \frac{L}{A}$<br>L: comprimento total dos cursos d'água | Villela; Matos (1975) |

|               |                                   |                  |   |                                 |
|---------------|-----------------------------------|------------------|---|---------------------------------|
|               | Frequência de riachos             | Fr               | $\frac{N_1}{A}$<br>N <sub>1</sub> : número de riachos de primeira ordem   | Horton (1945)                   |
|               | Índice de sinuosidade             | Is               | $\frac{L}{L_t}$<br>L= comprimento do canal<br>L <sub>t</sub> : comprimento do talvegue  | Villela; Matos (1975)           |
| <b>RELEVO</b> | Relação Relevo                    | Rr               | $\frac{Aa}{Mc}$<br>Aa: amplitude<br>Mc: distancia vetorial desde a foz até o ponto mais extremo da sub-bacia, paralelo ao rio principal | Schumm (1956)                   |
|               | Fator topográfico                 | Ft               | Ft: Fr + Rr + Rc<br>Fr: Frequencia de riachos<br>Rr: relação relevo<br>Rc: Razão/índice de circularidade                                | Morisawa (1962)                 |
|               | Amplitude Altimétrica             | Aa (m)           | $A_{max} - A_{min}$   | Schum (1956)                    |
|               | Declive médio do Talvegue         | Dm (m)           | $Dm = \frac{A_{cab} - A_{foz}}{L}$<br>L: comprimento do canal principal   | Sreedevi <i>et al.</i> , (2005) |
|               | Tempo de contração                | Tc<br>Kirpich I  | $57x (L^3/A)^{0,385}$<br>A: amplitude<br>L: comprimento do canal principal  | Tomaz (2005)                    |
|               | Tempo de concentração área urbana | Tc Áreas urbanas | $0,36 \times L / Ieq^{0,5}$<br>Ieq: declividade equivalente   | Tsuchiya (1978).                |

Dentre os índices citados na Tabela 6, o tempo de concentração elaborado por Tsuchiya (1978) leva em consideração a urbanização da sub-bacia. Além disso, outros índices estão relacionados a intervenção antrópica, como a sinuosidade dos cursos d'água, cujo valor será menor devido as canalizações realizadas

Para o cálculo dos índices morfométricos relacionados ao relevo, foram utilizados dados matriciais e vetoriais obtidos por meio do *site* da CPRM (Serviço Geológico do Brasil). Esses dados fazem parte de um conjunto gerado pela CPRM na construção das cartas municipais de suscetibilidade. Em tais cartas é possível encontrar as áreas suscetíveis e o encarte dos temas, como declividade, hipsometria, padrões de relevo e dados hidrológicos e geológicos.

As imagens, os modelos digitais de superfície/terreno e as bases cartográficas que foram utilizadas pela CPRM na confecção nas cartas de suscetibilidade foram cedidos por diferentes órgãos, entre eles o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE e Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano S/A – Emplasa. Tais bases cartográficas variaram de 1:250.000 a 1:25.000 e foram ajustadas pela CPRM à escala 1:25.000 e/ou alteradas pela CPRM para adequar aos interesses do projeto.

De acordo a CPRM (2017), os dados matriciais, que inclui a hipsometria, utilizada neste trabalho, possuem buffer de 2 km e foram gerados por meio dos modelos digitais de elevação (MDE) oriundos de levantamento por RADAR (resolução de 1,0 a 10 m), aerofotogramétricos (resolução de 1,0 a 20 m) e do TOPODATA-INPE (resolução 30x30 m).

### **3.3.3 Análise da precipitação e a relação com os eventos de inundação.**

A precipitação possui três variáveis que permitem caracterizá-la: a sua altura (lâmina precipitada), a intensidade, duração e a frequência. A duração trata do período de tempo em que uma chuva cai e geralmente é medida em minutos ou horas. A altura é a espessura média da lâmina de água que cobriria a área atingida caso o local fosse plano e totalmente impermeável, sendo o milímetro a unidade utilizada para medir a chuva. A intensidade é a altura dividida pela duração e se expressa em  $\text{mm.hora}^{-1}$ . A frequência é a quantidade de eventos iguais ou maiores ao evento de chuva considerado. Chuvas muito intensas são raras e possuem baixa frequência, ao contrário de chuvas pouco intensas que são mais frequentes (COLLISCHON; TASSI 2008).

No presente estudo são identificadas as intensidades de chuva que se associaram com a ocorrência do evento, através de uma análise exploratória e de frequência, determinando-se as intensidades predominantes. Para realizar a análise de frequência, foram utilizados os dados diários de precipitação dos pluviômetros do DAEE localizados na sub-bacia do Tamanduateí Médio I: a) Lucinda (E3-160) que está localizado a nordeste da sub-bacia e b) Campestre (E3-159), a noroeste, para o período de 2001 até 2016.

Os dados de chuva foram organizados para um e até cinco dias de precipitação. Com o valor da chuva para cada dia de evento, foi analisado o intervalo de chuva que se associou com cada registro, cujos valores foram divididos em 20 mm de chuva por intervalo. Valores abaixo de 10 mm não foram considerados.

Desta forma, foi possível encontrar qual intervalo de precipitação foi mais frequente durante os eventos para um, dois, três, quatro e cinco dias de chuva.

### 3.3.4 Variabilidade espacial da chuva

De acordo com Yamamoto; Landim (2015) em um contexto regido por um fenômeno natural com distribuição espacial, a geoestatística calcula estimativas supondo que os valores das variáveis consideradas regionalizadas sejam espacialmente correlacionados. Assim, sua aplicação tem sido amplamente utilizada para calcular estimativas de variáveis em locais não amostrados. A geoestatística procura extrair características estruturais probabilísticas do fenômeno regionalizado, ou seja, uma função de correlação entre os valores que estão localizados em determinada vizinhança e direção em um espaço não amostrado.

Entre os métodos de interpolação disponíveis, os mais utilizados são a krigagem e o inverso do quadrado da distância (IDW). No primeiro, utiliza-se a dependência espacial entre amostras vizinhas por meio do semivariograma, estimando-se qualquer posição dentro do campo, sem tendência e com mínima variância (MELLO et al., 2003).

Pela Ponderação do Inverso das Distâncias (IDW) é implementado o pressuposto de que os pontos mais próximos entre si são mais parecidos do que os mais distantes. Desse modo, o IDW usa os valores amostrados a sua volta, que tem mais peso que os valores mais distantes, o que significa que cada ponto tem uma influência no novo ponto, que diminui na medida que a distância aumenta (JAKOB; YOUNG, 2016).

No método IDW o fator de ponderação é o inverso do quadrado da distância euclidiana entre o ponto conhecido e aquele que será estimado. O método é simples, mas menos acurado que a krigagem, pois não considera o padrão da estrutura da dependência espacial (MELLO et al., 2003).

A fórmula utilizada pelo método de interpolação IDW é:

$$X_p = \frac{\sum_{i=1}^n \left( \frac{1}{d_i^2} \cdot X_i \right)}{\sum_{i=1}^n \left( \frac{1}{d_i^2} \right)} \quad (17)$$

$X_p$ : variável interpolada;  $X_i$ : valor da variável da  $i$ -ésima localidade vizinha;  $d_i$ : distancia euclidiana entre o  $i$ -ésimo ponto de vizinhança e o ponto amostrado (MELLO et al., 2003).

O IDW é um interpolador em que poucas decisões são tomadas acerca dos parâmetros do modelo, sendo que o método pode ser utilizado para uma visualização preliminar da interporlação de uma superfície. No entanto, não se realiza uma avaliação da predição de erros, fato que pode produzir um efeito “*bull eyes*” ao redor da localização da informação, pequenas áreas que são diferentes da suavização geral da variável. O método funciona melhor caso os pontos amostrais estejam igualmente distribuídos na área, sem estarem concentrados em um local específico (JAKOB; YOUNG, 2016).

Este trabalho utilizou o método IDW descrito acima para espacializar as chuvas na área urbana de Santo André durante os verões de 2014 a 2017. O método se mostrou eficaz na presente pesquisa e foi escolhido devido à quantidade de pontos utilizados para a interpolação, embora os mesmos não estivessem igualmente distribuídos (Figura 18). Os mapas gerados permitiram visualizar a distribuição espacial da chuva na cidade para compreender a relação entre precipitação e as áreas em que ocorrem maior quantidade de eventos.

#### **3.3.4.1 Geração de mapas temáticos**

De acordo com Archela; Thery (2008) os mapas possuem características específicas que são capazes de classificá-los, representando elementos de um determinado espaço geográfico, de forma reduzida por meio de simbologias e projeção cartográfica. Nesse contexto, os mapas temáticos seriam a representação de qualquer tema, em conjunto com a reprodução do terreno.

Para elaborar um mapa temático, é necessário abranger algumas etapas, sendo elas: coleta de dados, análise e a interpretação das informações que serão representadas em um mapa base, geralmente extraído da carta topográfica. Neste sentido, compreende-se um mapa temático como uma ferramenta de visualização e comunicação que ilustra fenômenos de qualquer natureza, geograficamente distribuídos sobre a superfície da Terra (ARCHELA; THERY, 2008).

Nesse trabalho, os mapas temáticos produzidos ilustram a relação entre a chuva, a hidrografia, declividade, bairros mais atingidos e índices morfométricos.

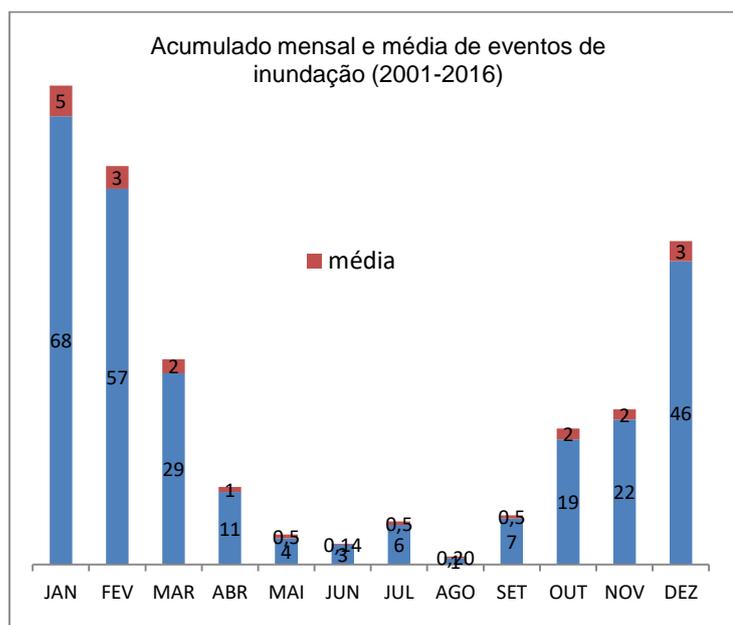
## 4 RESULTADOS

### 4.1 Análise estatística dos históricos das ocorrências de eventos de inundação/enchentes/alagamentos

Nessa seção apresenta-se a análise estatística dos históricos disponibilizados pela Defesa Civil de Santo André referente aos eventos de inundação/enchente/alagamento para os anos de 2001 até 2016.

A Figura 20 representa o número total de eventos por mês que ocorreram no período de análise: Janeiro de 2001 até Dezembro de 2016. No total, foram contabilizados 273 registros de ocorrências distribuídas ao longo dos meses durante todo o período analisado. Em vermelho destaca-se o valor médio de eventos por mês. Observa-se que o mês de janeiro possui uma média de 5 registros de eventos de inundação e os meses de fevereiro e dezembro 3. O mês de junho possui a menor média de registros de evento, 0,14.

Figura 20 - Número acumulado de eventos hidrometeorológicos ocorridos mensalmente durante o período de 2001 a 2016 em azul, e a média de eventos por mês é representada pelas barras vermelhas.



Fonte: o autor

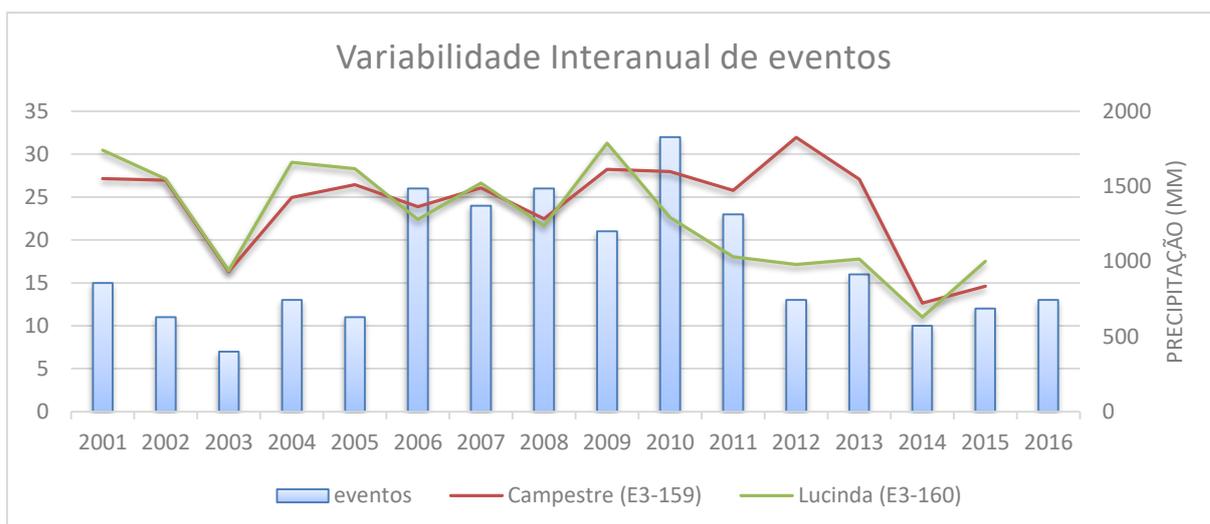
Esses resultados da distribuição mensal das ocorrências permitem afirmar que os meses de junho e agosto são os que menos sofrem com o tipo de fenômeno, contabilizando três e um evento, respectivamente. Os meses de janeiro, fevereiro e dezembro apresentam a maior taxa de fenômenos hidrometeorológicos: 68, 57 e 46, respectivamente.

O estudo desenvolvido por Neves (2016) a respeito do ciclo sazonal de precipitação em Santo André indica que os eventos de inundação no município acompanham a sazonalidade da chuva. Como observa-se na Figura 20, a maior ocorrência de eventos de

inundação ocorre no período de dezembro a março, correspondente à estação chuvosa e com maior número de registros no mês de janeiro.

A Figura 21 ilustra a variabilidade interanual de eventos e a precipitação anual acumulada para cada um dos anos na estação Campestre (E3-159) e Lucinda (E3-160), exceto para o ano de 2016, pois os dados não foram disponibilizados pelo DAEE. De acordo com o gráfico, 2010 é o ano em que foi registrado o maior número de ocorrências. Entre os anos de 2001 e 2005, a Defesa Civil registrou uma menor quantidade de eventos em comparação com os anos seguintes. Houve um decréscimo de eventos em 2011 e em 2012, seguido por um leve aumento de ocorrências em 2013, porém com uma nova queda no número em 2014 e 2015. O ano de 2016 se encerrou com treze casos de eventos, o que representa um leve aumento em comparação com os dois anos anteriores.

Figura 21 - Número de eventos registrados a cada ano, no período de 2001 a 2016.



Observa-se que o ano de 2003 foi aquele com menor registro de casos de inundação, apenas 7. Neste ano, a precipitação anual acumulada foi de 939 mm em ambas estações, segundo menor valor do período, estando abaixo apenas do ano de 2014, que registrou 629 mm na estação Lucinda. Os maiores valores de precipitação anual acumulada são os dos anos de 2004 (1659 mm, estação Lucinda), 2009 (1788 mm, estação Lucinda) e 2012 (1826 mm, estação Campestre). É possível notar que de acordo com esses valores os anos com maior taxa de precipitação anual acumulada não necessariamente são aqueles com maior número de registros de eventos pela Defesa Civil, como é o caso do ano de 2012, embora a precipitação neste ano no pluviômetro Lucinda tenha sido 980 mm, valor inferior aquele da estação Campestre. Ainda, é possível notar que a precipitação anual acumulada na estação Lucinda se associou mais com o registro dos casos de inundação.

Os anos de 2009 e 2010 foram peculiares em relação à precipitação, pois nessa época ocorreu o evento *El Niño* na região do Pacífico Equatorial de intensidade moderada que teve início no ano de 2009. O verão de 2009-2010 foi caracterizado por valores de precipitação mais altos do que a média histórica, principalmente na região sudeste do Brasil (INFOCLIMA, 2010).

Por outro lado, de acordo com Coelho; Cardoso; Firpo (2016) o verão de 2013/2014 foi classificado como excepcionalmente seco com término extremamente adiantado da estação chuvosa devido à ausência de episódio da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). Isso ocorreu devido ao estabelecimento de um sistema anômalo de alta pressão sobre o oceano Atlântico aquecido adjacente ao sudeste do Brasil, fato que bloqueou os sistemas frontais, favorecendo o aquecimento do oceano devido à incidência de radiação solar e desfavoreceu a formação da faixa de nebulosidade que influencia a ocorrência das chuvas no centro e sudeste do Brasil.

#### **4.1.1 Análises dos bairros mais atingidos**

A análise dos históricos dos eventos mostrou que alguns bairros foram particularmente mais atingidos durante os anos de 2001 a 2016. Entre os quinze bairros mais atingidos, destacam-se o Jardim Irene, Vila América e Vila Palmares, cada um com 43, 39 e 35 casos durante o período de análise, respectivamente. A Figura 22 ilustra a localização dos quinze bairros seguidos pelo número de eventos registrados.

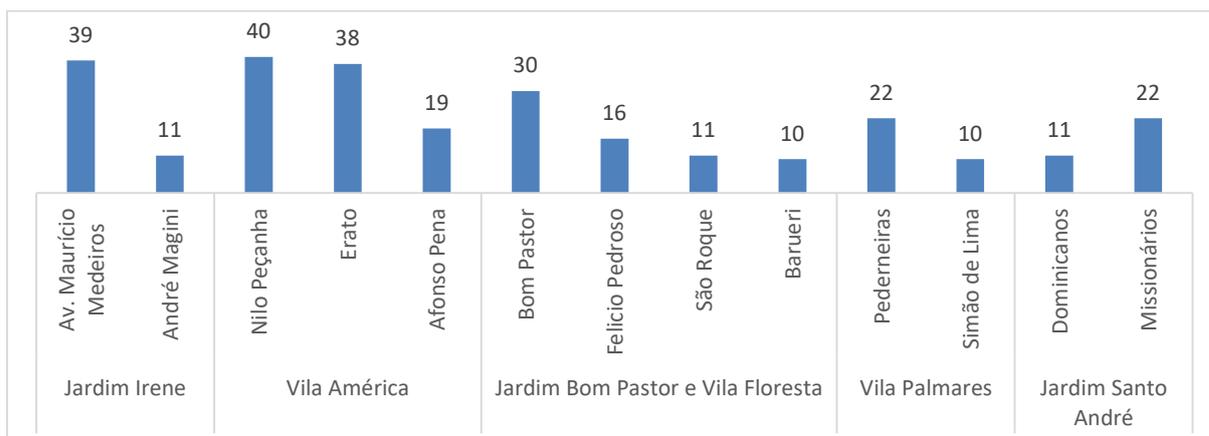
Também merecem destaque pela quantidade de registros o bairro Jardim Santo André, com 32 casos, a Vila Alzira com 27, Vila Floresta com 24 casos e o Recreio da Borda do Campo com 23. Os bairros mais atingidos, no geral, se encontram distribuídos na zona urbana do município, no setor central e sul, sendo que apenas o Recreio da Borda do Campo encontra-se mais afastado, localizado próximo à represa Billings.

De acordo com Santos (2002) o Bairro Silveira sofre com inundações desde a década de 1960, assim como a Vila Palmares e a Sacadura Cabral, onde se instalaram as primeiras favelas.

Dentro desses bairros, algumas ruas foram particularmente mais atingidas. A seguir, serão discutidas as vias que tiveram pelo menos dez registros de chamados por inundações dentro do período analisado.

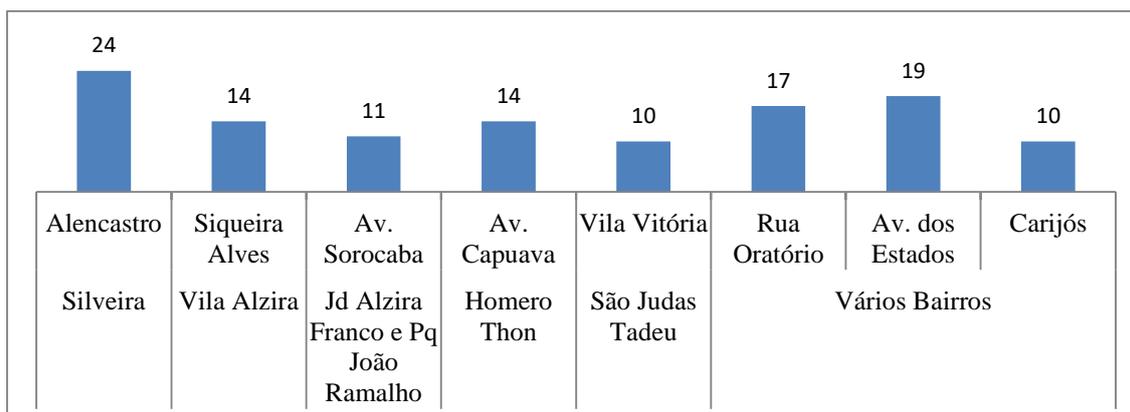


Figura 23–Bairros que tiveram mais de uma rua atingida e valores de ocorrências em suas respectivas vias.



Na Figura 24 se encontram os bairros em que apenas uma rua registrou mais de dez eventos de inundação, bem como três ruas que fazem parte de mais de um bairro, como é o caso da Avenida Oratório, Carijós e Avenida dos Estados.

Figura 24–Bairros com apenas uma rua atingida e ruas que fazem parte de mais de um bairro. Os números indicam a quantidade de eventos registrados.



No Bairro Silveira a Rua Alencastro é a mais atingida. Na Vila Alzira, a rua mais atingida foi a Siqueira Alves, com 14 eventos, assim como a Avenida Capuava no bairro Homero Thon. A Avenida dos Estados teve um total de 19 ocorrências, seguida pela Rua Oratório com 17 casos e a Rua Carijós, com 10. A Avenida Sorocaba, que registrou 11 eventos está localizada em dois bairros mais atingidos: O Jardim Alzira e o Parque João Ramalho.

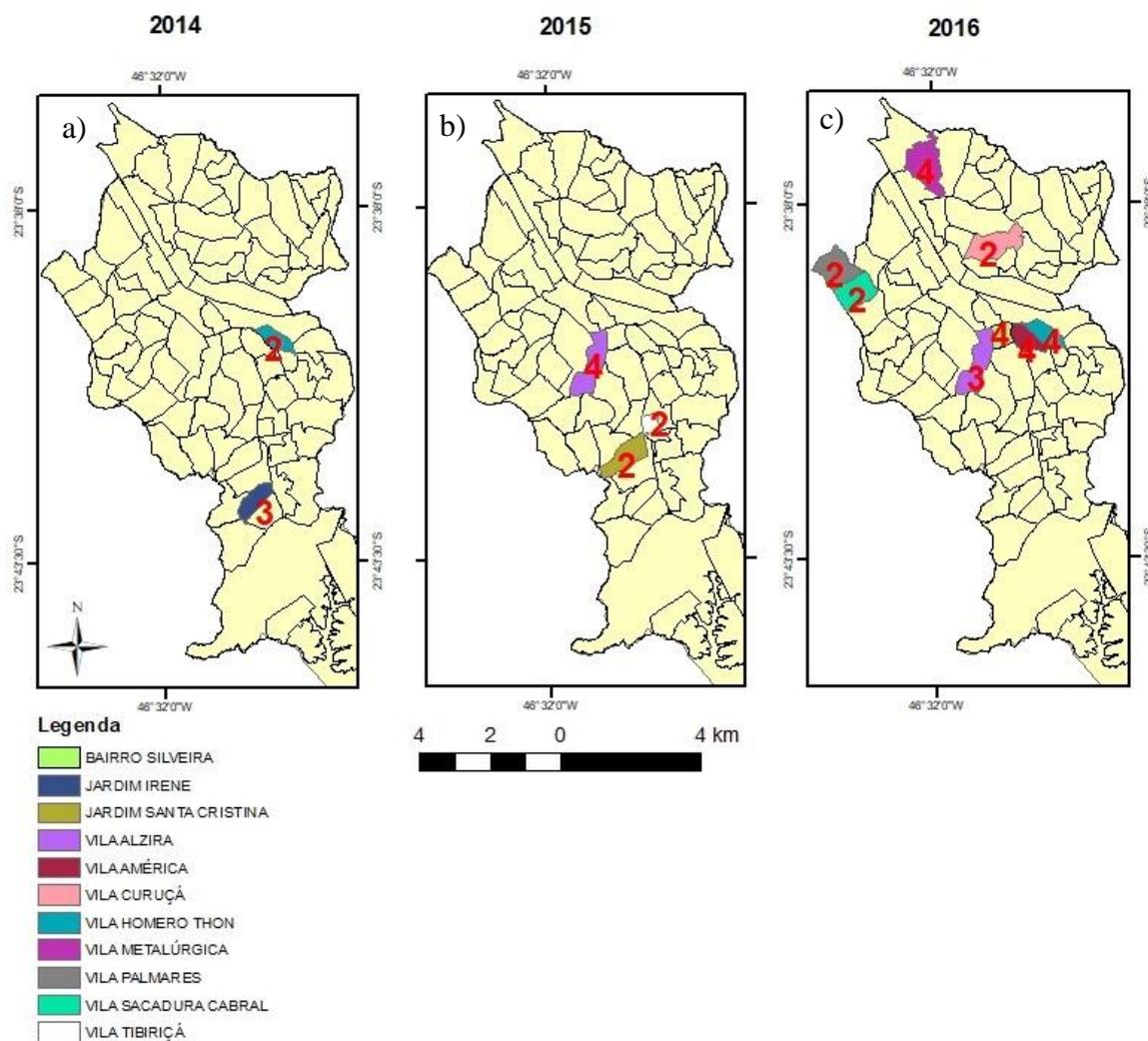
#### 4.1.2 Situação dos três últimos anos das ocorrências de inundação em Santo André

A análise dos últimos três anos de ocorrência de inundações em Santo André, isto é, nos anos de 2014, 2015 e 2016 indica que as inundações diminuíram consideravelmente de

acordo com os registros da Defesa Civil. Sabe-se, no entanto, que os anos de 2014 e 2015 tiveram índices de precipitação menores que o usual.

A Figura 25 ilustra os bairros que tiveram pelo menos dois registros de inundações nos anos de 2014, 2015 e 2016. Os números em vermelho são referentes à quantidade de casos.

Figura 25- Bairros atingidos por inundações/enchentes no município de Santo André nos anos de 2014, 2015 e 2016 que registraram pelo menos dois eventos.



Em 2014 (Figura 25a) apenas dois bairros tiveram mais de dois registros: a Vila Homero Thon e o Jardim Irene. Em 2015 (Figura 25b) os bairros com mais de dois registros foram a Vila Tibiriçá, Vila Alzira e o Jardim Santa Cristina. Em contrapartida, o ano de 2016 (Figura 25c) sofreu mais intensamente do que os anos de 2014 e 2015. Segundo os registros da Defesa Civil, um total de oito bairros teve mais de duas ocorrências de inundações sendo

que a Vila Metalúrgica, o Bairro Silveira, a Vila Homero Thon e a Vila América registraram quatro casos.

O Jardim Santo André, embora seja um dos bairros mais atingidos desde 2001, apresentou uma diminuição no número de eventos de inundação, com apenas um registro em cada um desses três anos. Também se observa que no Jardim Irene os casos também diminuíram, com apenas um evento em 2016. As Vilas América, Silveira, Homero Thon e Metalúrgica merecem destaque no que concerne a atual situação das enchentes em Santo André, pois foram os bairros mais atingidos no ano de 2016.

Com relação às ruas, no geral, as mesmas continuam sendo atingidas. No ano de 2016, por exemplo, na Vila Alzira, a rua mais atingida foi a Siqueira Alves e no Jardim Irene a Av. Maurício Medeiros. Pelos registros de ocorrência, a Rua Nilo Peçanha na Vila América é a mais atingida, seguida pela Avenida Maurício Medeiros no Jardim Irene.

Embora ambos os bairros sejam os mais atingidos por inundações, os mesmos possuem urbanização totalmente distinta. A Vila América (Figura 27) possui casas de alvenaria e maior impermeabilização do solo, devido a maior quantidade de asfalto. É possível observar que embora tenha sido construído um piscinão no bairro para conter as inundações, o mesmo possui uma capacidade muito inferior do que realmente é necessário para conter as enchentes no local, já que os eventos são recorrentes, sendo possível notar os casos de inundações que continuam ocorrendo durante os meses chuvosos. No mês de maio de 2016, iniciaram-se as obras de ampliação do piscinão deste bairro (NEVES, 2016). A Figura 26 ilustra as comportas instaladas em casas das ruas mais atingidas na Vila América para conter as águas das inundações.

Figura 26– Comportas utilizadas na Vila América para conter as águas pluviais. a) Rua Erato; b) Rua Nilo Peçanha.



Fonte: Neves (2016)

Em contrapartida, o Jardim Irene, principalmente a Avenida Maurício Medeiros, é composto de moradias mais simples, como barracos de madeira (Figura 28). Segundo um estudo específico no Jardim Irene realizado por Gonçalves (2009) o bairro está submetido a níveis de riscos ambientais muito altos devido a ocupação de áreas inadequadas, a insalubridade ambiental e a exposição do local à elevados índices de violência urbana. O bairro é extremamente desfavorecido em todos os aspectos relacionados a qualidade urbana. Entretanto, o processo histórico de ocupação e as condições atuais dificultam a requalificação urbana das áreas que foram irregularmente ocupadas. Um dos principais problemas é a ocupação de nascentes e assoreamento dos córregos presentes, devido a entulhos em suas margens e leitos.

Nesse contexto, a problemática da Vila América perante as inundações parece ser estrutural, ou seja, está relacionada ao mau planejamento da microdrenagem do local. A maior urbanização nesta área resulta em maior impermeabilidade do solo e menor quantidade de áreas verdes. Essa situação favorece a maior escoamento superficial, o que contribui para o processo de inundação.

Por outro lado, o Jardim Irene possui um solo mais permeável, como é possível observar na Figura 28, o que permite maior infiltração da água. Observa-se que nesta área as inundações estão relacionadas a áreas ocupadas de forma inadequada, como as margens de córregos naturalmente sujeitas a inundações na época de cheias.

Figura 27- Cruzamento entre as ruas Nilo Peçanha e Erato na Vila América



Fonte: Google Earth (2017)

Figura 28- Avenida Maurício de Medeiros – Jardim Irene



Fonte: Google Earth (2017)

Na Figura 29 observa-se que os barracos na Avenida Maurício Medeiros estão muito próximos ao curso d'água presente na via. Além disso, existe uma extrema precariedade ambiental, principalmente no que concerne ao saneamento básico e poluição. Tal precariedade pode ser observada por meio do lixo e entulhos espalhados pelas áreas ribeirinhas, favorecendo o assoreamento do córrego, bem como a proliferação de doenças.

Figura 29- Danos causados por enchente na madrugada do dia 26 do mês de Janeiro de 2015 na Avenida Maurício Medeiros



Fonte: SEMASA (2015)

As inundações em Santo André atingem bairros de diferentes níveis sociais e econômicos, o que sugere que o motivo da ocorrência desses eventos vai muito além da simples ocupação das várzeas dos córregos por família mais carentes. Nos bairros onde há urbanização mais consolidada, isto é, maior quantidade de casas de alvenaria, asfalto impermeabilizando o solo, além da remoção de grande parte da vegetação, as inundações

ocorrem com grande frequência, comprovando que a drenagem urbana e as intervenções feitas pela Prefeitura não são suficientes para conter a ocorrência desses fenômenos no município.

No bairro Jardim Santo André, as ruas Missionários e Dominicanos não registraram casos de enchentes nos três últimos anos de análise. Em contrapartida, outras ruas do mesmo bairro apresentaram registros, como é o caso da Viela Laplace (2016), a Rua Toledana (2015) e a Viela onze (2014) que fazem parte de comunidades na urbanização Lamartine, indicando que outras áreas carentes, além das ruas historicamente mais atingidas, vem sendo alvo de inundações.

#### **4.2 Frequência de inundações nos anos de 2014-2016 e análise morfométrica das sub-bacias da área urbana de Santo André.**

Nesta seção as sub-bacias do Tamandateí são analisadas separadamente. Primeiro são localizados os bairros e ruas mais atingidas e a frequência de inundações por bacia com relação aos anos de 2014, 2015 e 2016.

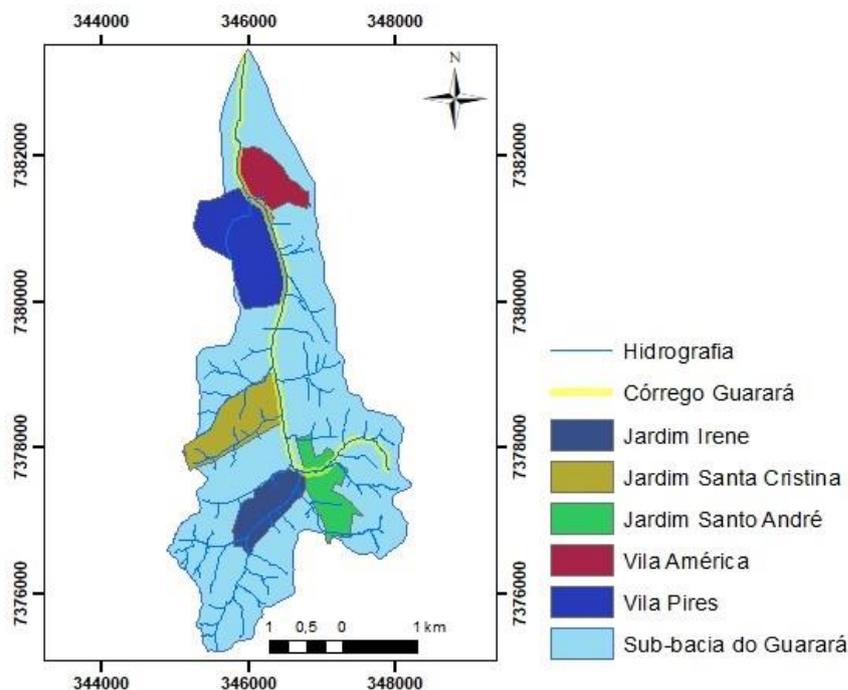
Posteriormente, são apresentados os resultados obtidos do cálculo dos parâmetros e índices morfométricos que caracterizam as sub-bacias do Guarará, Tamandateí Médio I, Ribeirão dos Meninos e Oratório.

##### **4.2.1 Sub-bacia do Guarará**

A sub-bacia do Guarará está inteiramente localizada na região urbana central do município de Santo André. Entre os quinze bairros mais atingidos pelas ocorrências de inundações/enchentes/alagamentos durante o período de 2001 até 2016, nesta bacia encontram-se o Jardim Irene, Jardim Santa Cristina, Jardim Santo André, Vila América e Vila Pires (Figura 30).

Dentre esses bairros, o que possui maior número de ocorrência é o Jardim Irene, com 43 casos, seguido pela Vila América, com 38 casos. Somando-se os casos presentes em todos os bairros, a bacia do Guarará teve 146 ocorrências de eventos hidrometeorológicos nos cinco bairros mais atingidos.

Figura 30- Sub-bacia do Guarará com rede de drenagem e bairros mais atingidos

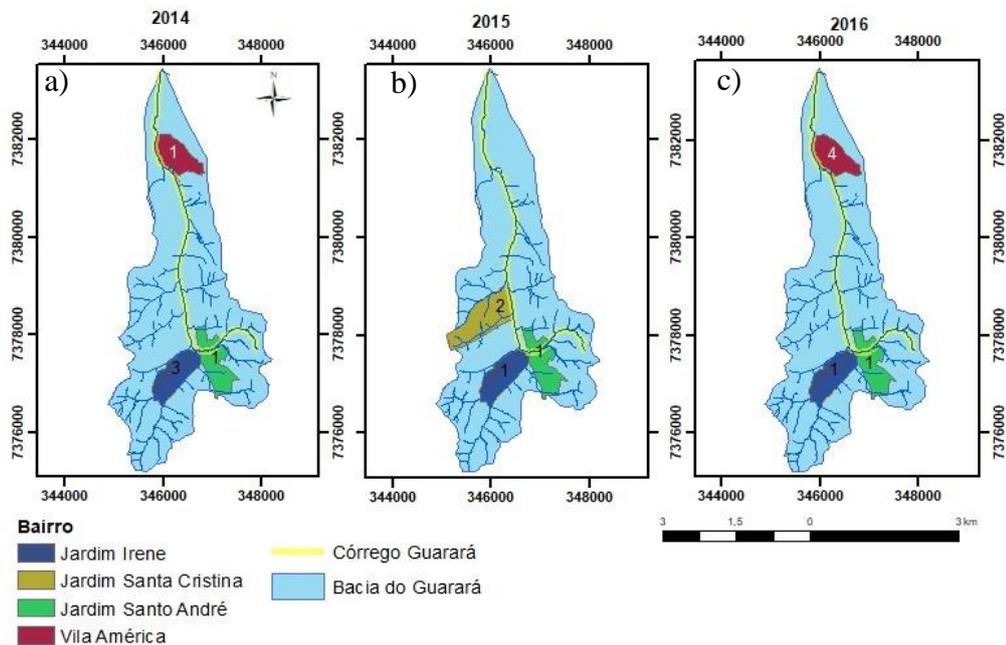


Diante dos casos de inundação/enchente/alagamento ocorridos na sub-bacia do Guarará de 2001 até 2016 tornou-se necessário analisar a situação atual destas ocorrências, isto é, dos últimos três anos. A Figura 31 ilustra a quantidade de eventos ocorridos nos bairros mais atingidos da sub-bacia do Guarará durante os anos de 2014, 2015 e 2016. Durante o ano de 2014 (Figura 31a) apenas três bairros foram atingidos por enchentes/inundações na sub-bacia do Guarará. O Jardim Irene, mais afetado, registrou três eventos, enquanto a Vila América e o Jardim Santo André registraram apenas um caso.

Em 2015 o cenário foi diferente (Figura 31b), pois a Vila América não teve nenhum caso, segundo os registros da Defesa Civil. Em contrapartida, o bairro mais atingido foi o Jardim Santa Cristina, com dois casos, seguido pelo Jardim Irene e Jardim Santo André, cada um com um registro.

Em 2016, a Vila América volta a ser atingida, mas desta vez com três casos, o que representa um aumento significativo com relação aos últimos dois anos. O Jardim Irene e Jardim Santo André continuam sendo atingidos, cada um com um registro (Figura 31c). Dentre esses cinco bairros mais atingidos na sub-bacia do Guarará entre os anos de 2001 até 2016 está a Vila Pires, que no período de 2014 até 2016 não apresentou mais casos de inundações/enchentes. O último registro nesse bairro foi em 2013, em que foi registrado apenas um evento.

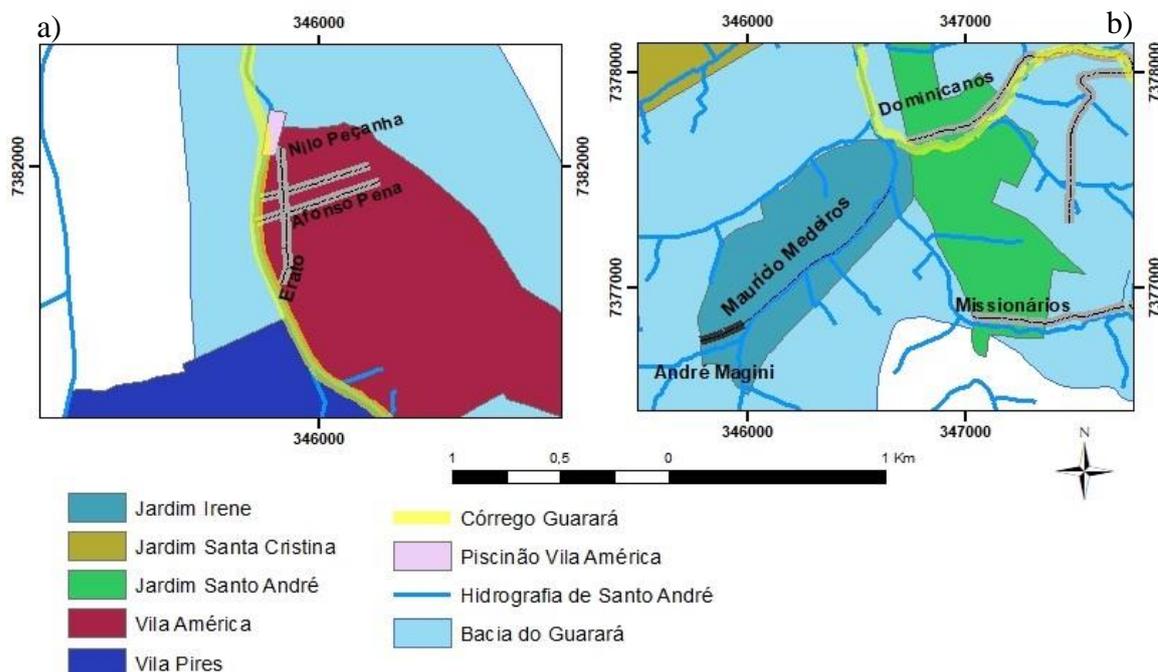
Figura 31– Número de ocorrências de enchentes/inundação na sub-bacia do Guarará nos anos de 2014, 2015 e 2016.



Com relação às ruas mais atingidas, já identificadas na seção 4.1, foram avaliadas a proximidade das mesmas aos cursos d'água. No caso da Vila América, localizado a jusante do Guarará, cujas ruas com maior número de chamados são a Rua Erato, Afonso Pena e Nilo Peçanha. Na Figura 32a, é possível visualizar que essas ruas além de estarem próximas entre si, se encontram ao lado do córrego do Guarará, evidenciando a influência deste curso d'água na ocorrência de inundações.

No caso do Jardim Irene que fica a montante da sub-bacia do Guarará, destacam-se as ruas Maurício Medeiros e André Magini. A primeira se encontra paralela a um afluente canalizado e aberto do Guarará, ilustrado na Figura 32b apenas com um contorno pontilhado, para que se possa visualizar o quão próximo à via se encontra do curso d'água. A Rua André Magini pode ser interpretada como uma continuação da Rua Maurício Medeiros e também é paralela a um afluente canalizado e aberto do Guarará. As ruas Missionários e Dominicanos, no Jardim Santo André, também estão paralelas e muito próximas a outros dois afluentes do córrego Guarará. O curso d'água próximo à Rua dos Missionários se encontra classificado como leito natural, enquanto que na Rua Dominicanos, parte do córrego se encontra canalizado e fechado.

Figura 32 – Localização das ruas mais atingidas na sub-bacia do Guarará ilustradas pelas linhas cinza e preta.



Diante disso, é possível inferir que esses córregos próximos a essas vias seriam os responsáveis pelos eventos de enchente/inundações, tanto a montante quanto a jusante do Ribeirão Guarará.

Os cálculos dos parâmetros morfométricos da sub-bacia Guarará evidenciaram que esta possui uma área de aproximadamente 13,46 km<sup>2</sup> e perímetro de 21 quilômetros. O rio principal da bacia, o Guarará, é de ordem 5 e a rede hierárquica dos canais pelo critério de Horton está ilustrada na Figura 33.

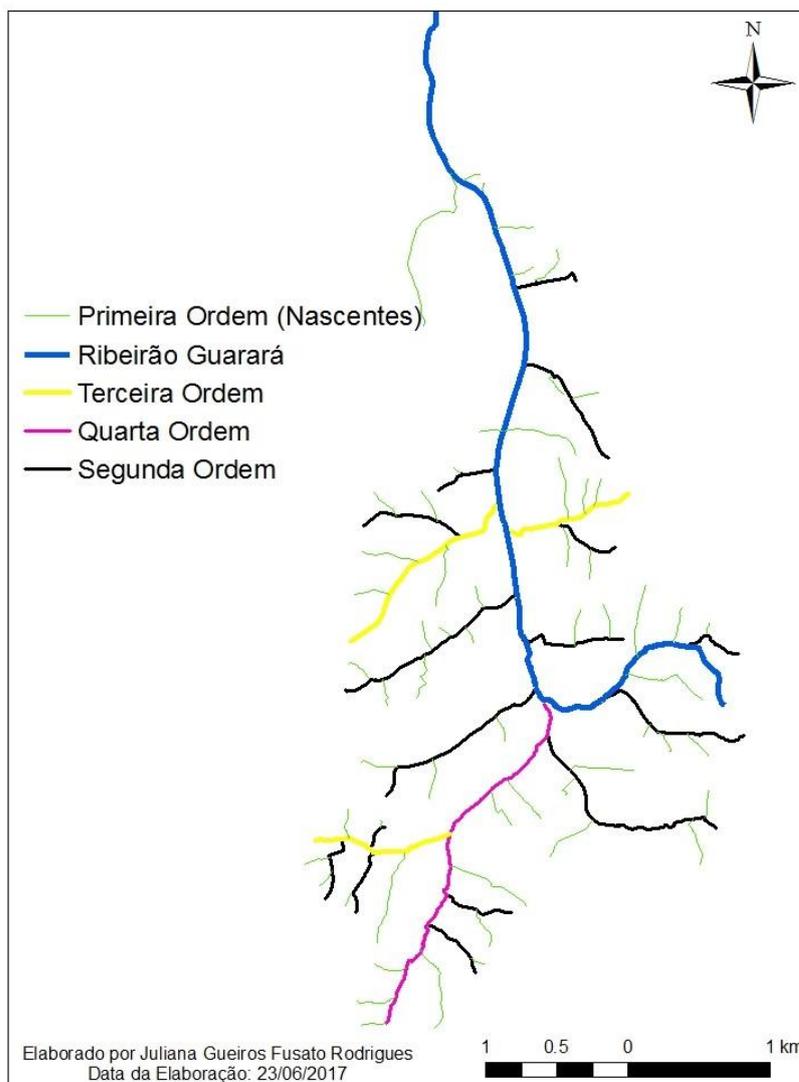
Com relação ao coeficiente de compacidade, quanto maior for mais irregular é a bacia, assim o tempo de concentração será maior e haverá menor tendência de haver picos de enchente. O valor obtido para a sub-bacia demonstra que a bacia é irregular, devido ao seu valor 1,63 ser distante do valor 1 (uma unidade, que corresponde a uma bacia com formato circular) não sendo, de acordo com suas características físicas de formato, predisposta as inundações.

Por outro lado, o fator forma de valor 0,199 indica uma probabilidade baixíssima para ocorrência de inundações, já que para valores menores que 0,50, a bacia seria menos propensa a ocorrência desses fenômenos.

Com relação à densidade de drenagem, a sub-bacia do Guarará é muito bem drenada, pois o valor de 3,46 km/km<sup>2</sup> indica o grande potencial hídrico da região. Entretanto, áreas bem drenadas tendem a ter um grande potencial erosivo. Quanto maior a densidade de

drenagem, menor o comprimento dos rios, além da maior velocidade com que a água pode atingir o rio, o que aumenta o efeito das enchentes a jusante da sub-bacia. Em uma sub-bacia com substrato rochoso mais permeável, a capacidade de formação de canais é reduzida, diminuindo a densidade de drenagem (BRUBACHER; OLIVEIRA; GUASSELLI, 2011).

Figura 33 - Hierarquia da rede hidrográfica da sub-bacia do Guarará obtida por meio do critério de Horton.



Hiruma; Ponçano (1994) encontraram valores de densidade de drenagem mais elevada ( $>2,50 \text{ km/km}^2$ ) em solos com presença de horizonte B textural<sup>1</sup>, com menores espessuras e que se desenvolvem sobre relevo mais ondulado e com maior declividade, sendo geralmente mais impermeáveis, permitindo maior escoamento superficial e a formação de novos canais.

<sup>1</sup> É um horizonte mineral subsuperficial com textura francoarenosa ou mais fina, em que houve incremento de argila (fração  $< 0,002 \text{ mm}$ ), orientada ou não, desde que não exclusivamente por descontinuidade de material originário, resultante de acumulação ou concentração absoluta ou relativa decorrente de processos de iluviação e/ou formação in situ e/ou herdada do material de origem e/ou infiltração de argila ou argila mais silte, com ou sem matéria orgânica e/ou destruição de argila no horizonte A e/ou perda de argila no horizonte A por erosão diferencial. Fonte: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2017)

Os menores valores de Dd foram encontrados em terrenos sedimentares de relevo plano e pouco ondulado. Valores intermediários de Dd são encontrados em latossolos de terrenos cristalinos.

Na sub-bacia do Guarará, há predominância de micaxistos e meta arenitos de baixo grau na porção sul, além dos aluviões fluviais seguindo a extensão do córrego Guarará (Figura 17). No extremo norte da sub-bacia do Guarará, observam-se argilas, areias e cascalhos da Formação São Paulo, mas grande parte da área urbana de Santo André é composta pelas formações terciárias, sendo esta a sub-bacia com maior porcentagem de rochas metamórficas, neste caso os micaxistos. Xistos são característicos por possuírem uma grande impermeabilidade, uma vez que as argilas provenientes da sua decomposição são muito absorventes e incham, não permitindo que a água se infiltre nas suas fendas, refletindo em maiores valores de Dd (3,46 km/km<sup>2</sup>) na sub-bacia do Guarará.

O canal principal tem uma sinuosidade muito baixa (1,28), sendo quase retilíneo. Isso se deve as obras de retificação e canalização do córrego Guarará. O baixo valor de sinuosidade implica em aumento da vazão do curso d'água já que a água percorre um percurso retilíneo. Esse aumento da vazão acaba afetando as áreas a jusante do córrego, como é o caso da Vila América.

O projeto de canalização do córrego Guarará foi apresentado ao governo federal no ano de 2008, mas ficou parado desde maio de 2011 e as obras foram retomadas pelo SEMASA em abril de 2013 (PREFEITURA DE SANTO ANDRÉ, 2013), com a conclusão em 2014 (DIÁRIO DO GRANDE ABC, 2014).

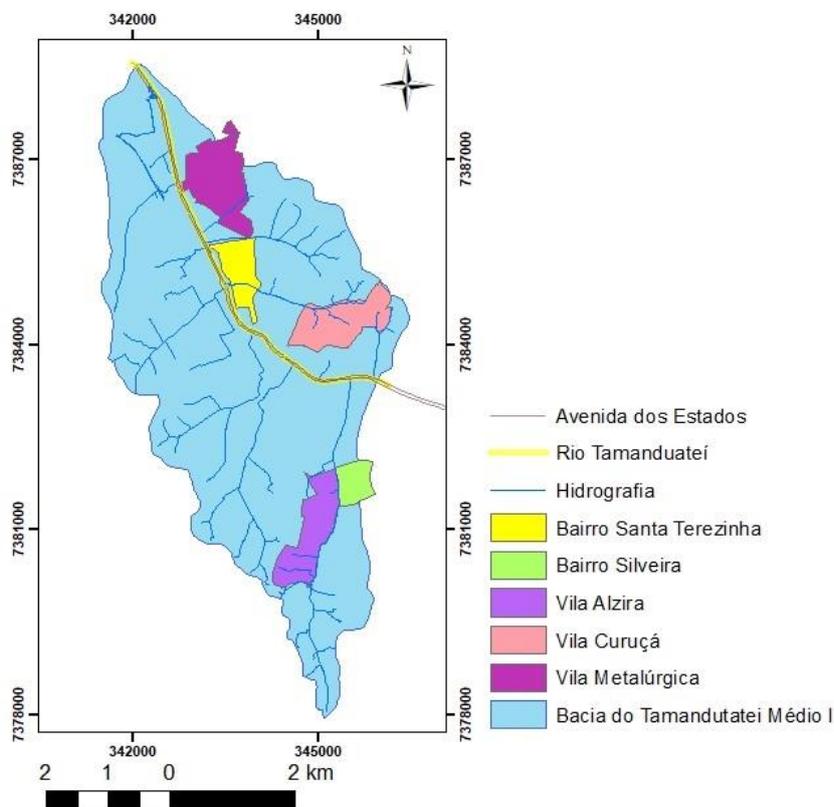
A amplitude na sub-bacia do Guarará de 202 metros demonstra que o relevo é acidentado, evidenciado pelo declive médio do riacho de 0,0177.

O tempo de concentração por Kirpich I é de 1,32 horas, enquanto que por Tsuchiya (1978) este número diminui para 1,14 horas, o que significa que ao utilizar um índice para área urbana, o tempo de concentração diminui.

#### **4.2.2 Subbacia do Tamanduateí Médio I**

A sub-bacia do Tamanduateí médio está localizada na região norte do município de Santo André (Figura 34). Entre os 15 bairros mais atingidos pelas inundações, estão inseridos nesta sub-bacia os bairros Silveira e Vila Alzira (montante), Santa Terezinha, Vila Curuçá e Vila Metalúrgica (jusante).

Figura 34- Bacia do Tamanduateí Médio I e os bairros mais atingidos por inundações

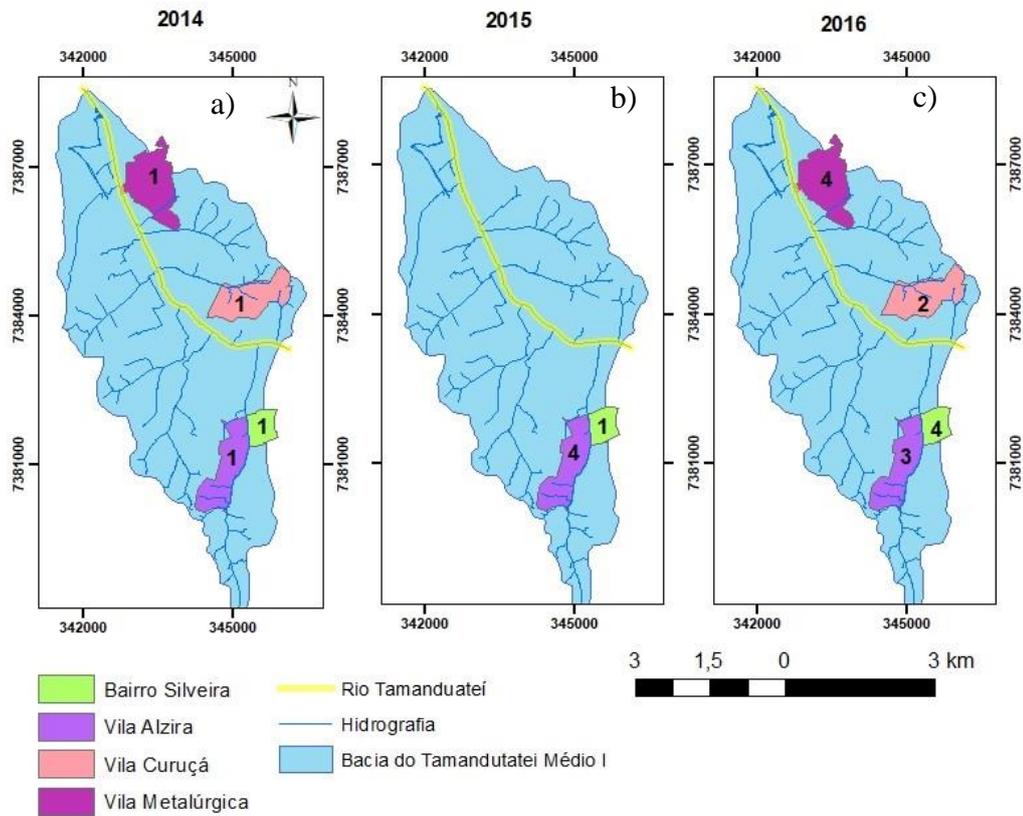


Ao todo, essa sub-bacia possui 64 registros de fenômenos hidrometeorológicos distribuídos nos bairros citados durante o período de 2001 até 2016. A Figura 35 ilustra a localização desses bairros na sub-bacia. Observa-se que o Rio Tamanduateí está próximo de três bairros: Vila Metalúrgica, Vila Curuçá e Bairro Santa Terezinha enquanto que os bairros localizados no setor sul da sub-bacia estão mais afastados do rio citado. No entanto, a Vila Alzira e o bairro Silveira são os que apresentam maior número de eventos durante os anos de 2001-2016. O bairro Santa Terezinha teve seu último registro de inundação no ano de 2012.

Os outros bairros apresentaram apenas uma ocorrência no ano de 2014 (Figura 35a), sendo que em 2015 (Figura 35b) apenas o bairro Silveira e a Vila Alzira sofreram com inundações, este último com quatro casos.

Em 2016 (Figura 35c), com exceção de Santa Terezinha, todos os outros quatro bairros tiveram ocorrências de inundações e com um aumento significativo no número de casos. A Vila Metalúrgica e o Bairro Silveira apresentaram quatro casos, a Vila Alzira três e Curuçá dois.

Figura 35 - Número de eventos de inundação nos bairros mais atingidos da sub-bacia do Tamanduateí Médio entre os anos de 2014, 2015 e 2016.



As ruas mais atingidas na sub-bacia do Tamanduateí Médio I são a Siqueira Alves, localizada na Vila Alzira, e a Alencastro, localizada no Bairro Silveira, sendo que o último se encontra muito próximo à Vila América, sendo separado apenas pelo Ribeirão Guarará. Esses bairros possuem urbanização consolidada (Figura 36).

Figura 36 - Duas das ruas mais atingidas na sub-bacia do Tamanduateí Médio I. a) Rua Alencastro, bairro Silveira b) Rua Siqueira Alves, na Vila Alzira



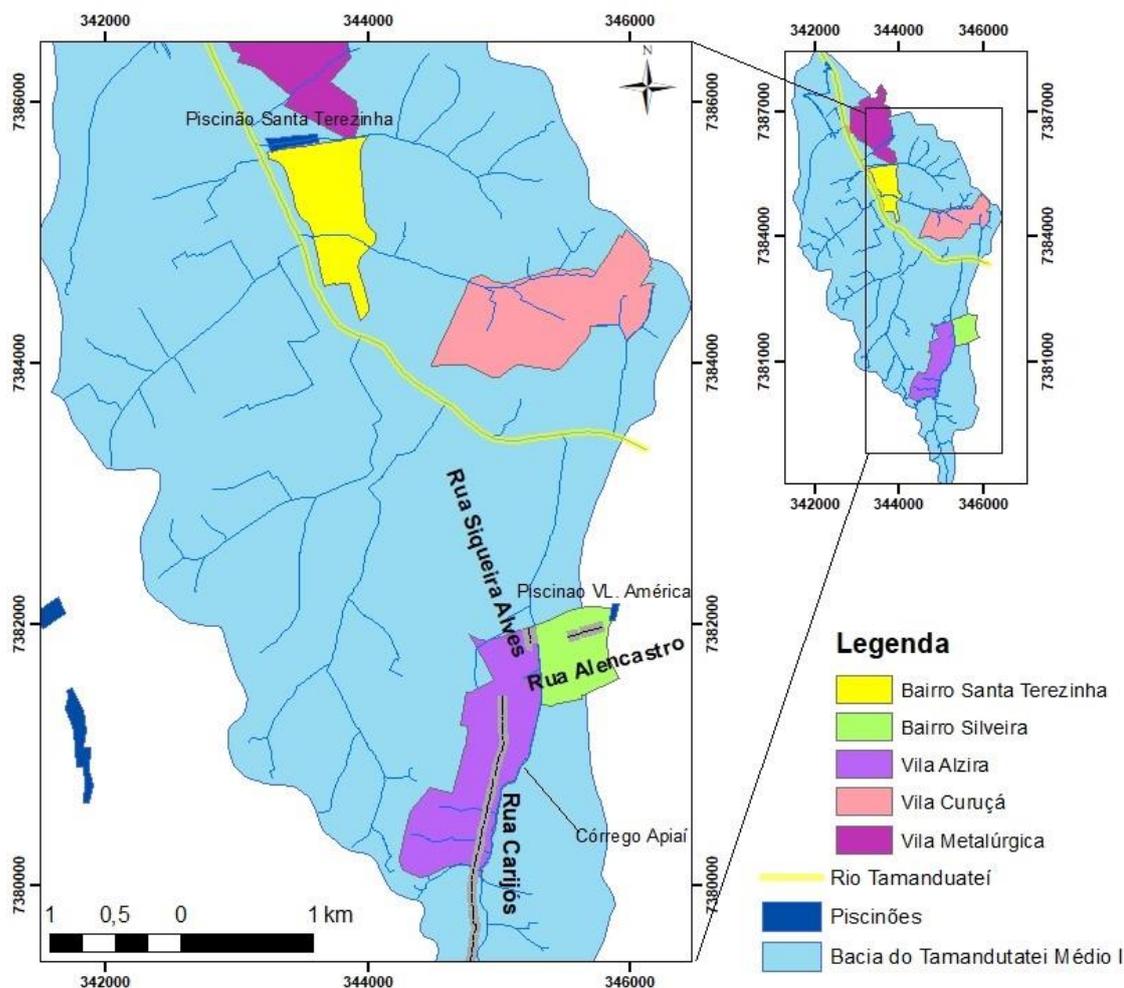
Fonte: Google Earth (2017)

A Vila Alzira encontra-se paralela a um afluente do rio Tamanduateí, o córrego Apiáí, sendo que a Rua Carijós, que passa por esse mesmo bairro, está entre as ruas mais atingidas,

com 10 casos (Figura 37). No trecho próximo à Rua Siqueira Alves o córrego Apiaí está canalizado e fechado, mas em outras áreas mais a montante, como na Avenida Firestone e nas proximidades da Rua Carijós, o mesmo se encontra canalizado e aberto (NEVES, 2016). As ruas Alencastro e Siqueira Alves estão muito próximas do córrego Apiaí, provavelmente sendo este o responsável pelas inundações nessas vias.

Com relação à Avenida dos Estados, que percorre mais de um bairro, a mesma possui 19 registros de casos de inundação entre 2001 e 2016 e é paralela ao rio Tamandateí, ou seja, juntam-se vários fatores que contribuem para a ocorrência de enchentes no local: canalização, retificação, poluição (o que gera um odor desagradável no local), assoreamento do rio e a completa impermeabilização da área que circunda o curso d'água.

Figura 37 - Localização das ruas mais atingidas na sub-bacia do Tamandateí Médio I.

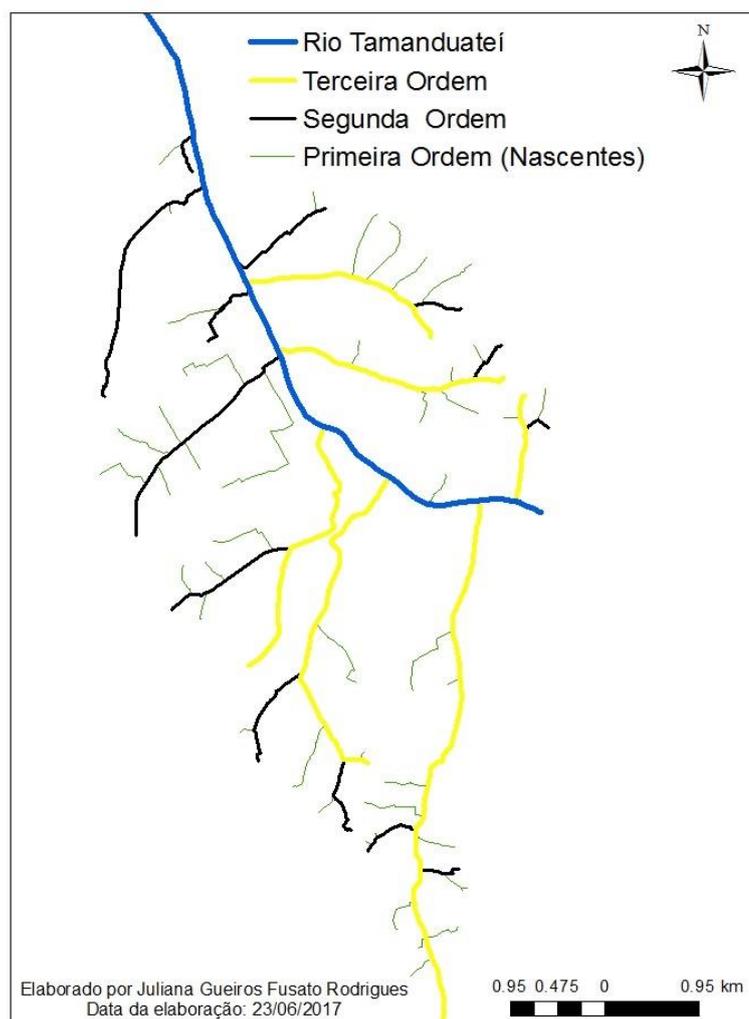


Na Figura 37 é possível observar os piscinões Santa Terezinha, ao norte da sub-bacia, que passa pelo córrego Jundiá dentro do Bairro Santa Terezinha, e o Vila América, a

esquerda do Bairro Silveira, cuja medida estrutural foi construída para minimizar os problemas de inundação nos bairros Silveira e Vila América. No entanto, de acordo com os moradores, ambos os pisciões apresentam problemas de limpeza. De acordo com os moradores, o piscião Santa Terezinha atrai pragas urbanas, como ratos, além do lixo espalhado pelo local (DIÁRIO DO GRANDE ABC, 2015).

Com relação à hierarquia da rede de drenagem, o rio Tamanduateí teria ordem quatro pelo critério de Horton e possui 49 riachos de primeira ordem (Figura 38).

Figura 38- Rede Hierárquica da bacia do Tamanduateí Médio I



Em se tratando dos parâmetros físicos a sub-bacia possui uma área de 27,76 km<sup>2</sup> e perímetro de 27 quilômetros, além do fator de compacidade apresentar um valor de 1,44289, indicando uma tendência mediana à ocorrência de enchentes. No entanto, essa sub-bacia possui menos registros de inundações/enchentes/alagamentos do que a bacia do Guarará.

O valor de 0,229 para o fator forma indica uma baixa propensão a enchentes, mas pelo coeficiente de compacidade a mesma seria medianamente propensa à ocorrência de enchentes.

A densidade de drenagem é média ( $2,07\text{km}/\text{km}^2$ ), com 126 canais em uma área de  $27,7\text{ km}^2$ . Como já citado anteriormente, quanto maior a densidade de drenagem, maior a velocidade da água que chega a jusante. O rio Tamanduateí, totalmente canalizado é praticamente retilíneo, evidenciado pela sua sinuosidade de apenas 1,10, o que também contribui para o aumento da vazão a jusante.

A sub-bacia possui uma amplitude de 98 metros e o rio Tamanduateí nesta seção possui um declive médio muito baixo, de apenas 0,0018.

O tempo de concentração encontrado utilizando a fórmula de Kirpich I foi de 1,64 horas e utilizando a fórmula de Tsuchiya (1978), em que se considera a urbanização, o valor foi de 1,99 horas. Espera-se que o tempo de concentração quando se utiliza um índice específico para áreas urbanas como o de Tsuchiya (1978) seja menor, como observado na sub-bacia do Guarará, no entanto, para a sub-bacia do Tamanduateí Médio I o valor do  $T_c$  levando-se em consideração a urbanização foi maior.

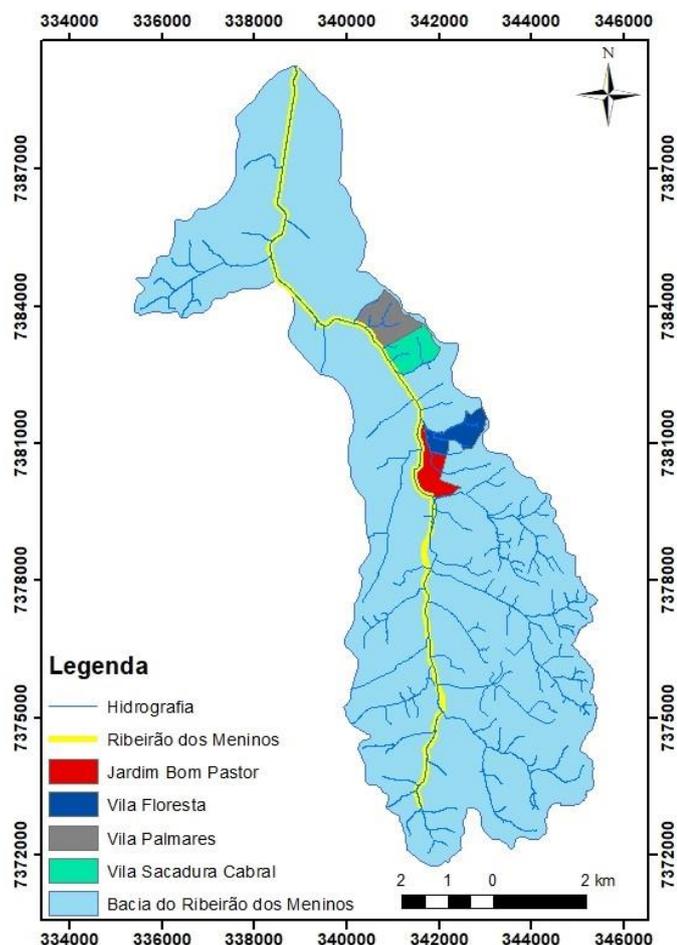
O tempo de concentração é influenciado pela declividade. Visto que a formulação desenvolvida por Tsuchiya (1978) utiliza parâmetros que se focam na declividade equivalente da área, este deve ser o motivo pelo qual o valor do tempo de concentração foi maior quando se considera a urbanização, já que a sub-bacia do Tamanduateí Médio I se localiza em um local com relevo menos acidentado.

A sub-bacia do Tamanduateí Médio se encontra sobre os aluviões fluviais, argila, areia e cascalho de idade quaternária, bem como as formações Terciárias da Formação São Paulo. Os sedimentos inconsolidados mais recentes são típicos de planícies aluviais. Esse tipo de característica geológica sustenta relevos menos acidentados e densidades de drenagem menores, já que são mais permeáveis e dificultam a formação de novos cursos d'água. Assim, nesta sub-bacia predomina a infiltração, existindo pouca escorrência a superfície.

#### **4.2.3 Ribeirão dos meninos**

A sub-bacia do Ribeirão dos Meninos está localizada na porção oeste do município de Santo André e abrange também o município de São Paulo, São Caetano do Sul e São Bernardo do Campo. Entre os 15 bairros de Santo André mais atingidos estão inseridos nesta sub-bacia os bairros Jardim Bom Pastor, Vila Floresta, Vila Palmares e Vila Sacadura Cabral, estando os dois últimos localizados na porção mais a jusante da área de drenagem.

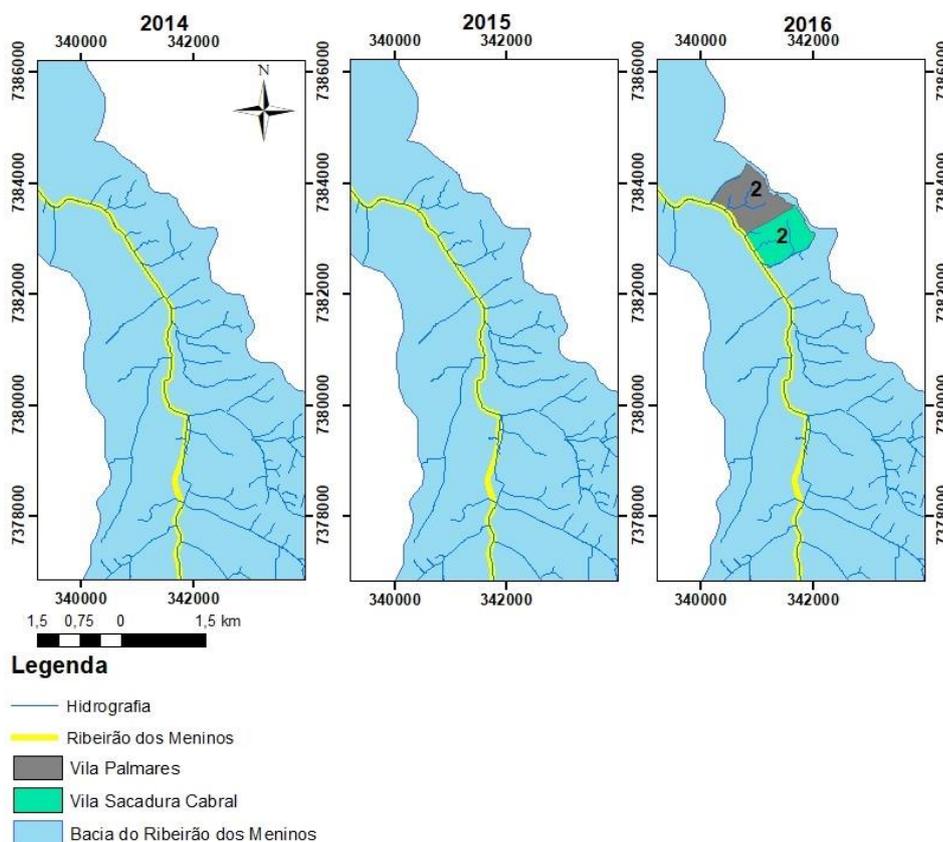
Figura 39- Sub-bacia do Ribeirão dos Meninos e bairros mais atingidos



Levando-se em consideração apenas estes quatro bairros, a sub-bacia possui 90 casos de inundações/enchentes desde 2001 até 2016, sendo 14 no Jardim Bom Pastor, 24 na Vila Floresta, 17 na Vila Sacadura Cabral e 35 na Vila Palmares, sendo este o bairro mais atingido. Todos esses bairros citados se encontram muito próximos ao Ribeirão dos Meninos (Figura 39).

Durante os anos de 2014 e 2015, nenhum desses bairros apresentou registro de inundações/enchentes, apenas durante o ano de 2016 foram registrados quatro casos, dois na Vila Palmares e dois na Vila Sacadura Cabral. Deste modo, pode-se inferir que principalmente com relação aos bairros mais a montante da sub-bacia, como é o caso do Jardim Bom Pastor e Vila Floresta, os problemas com relação a enchentes diminuíram consideravelmente, já que não é possível observá-los na Figura 40, que ilustra os bairros atingidos entre 2014-2016.

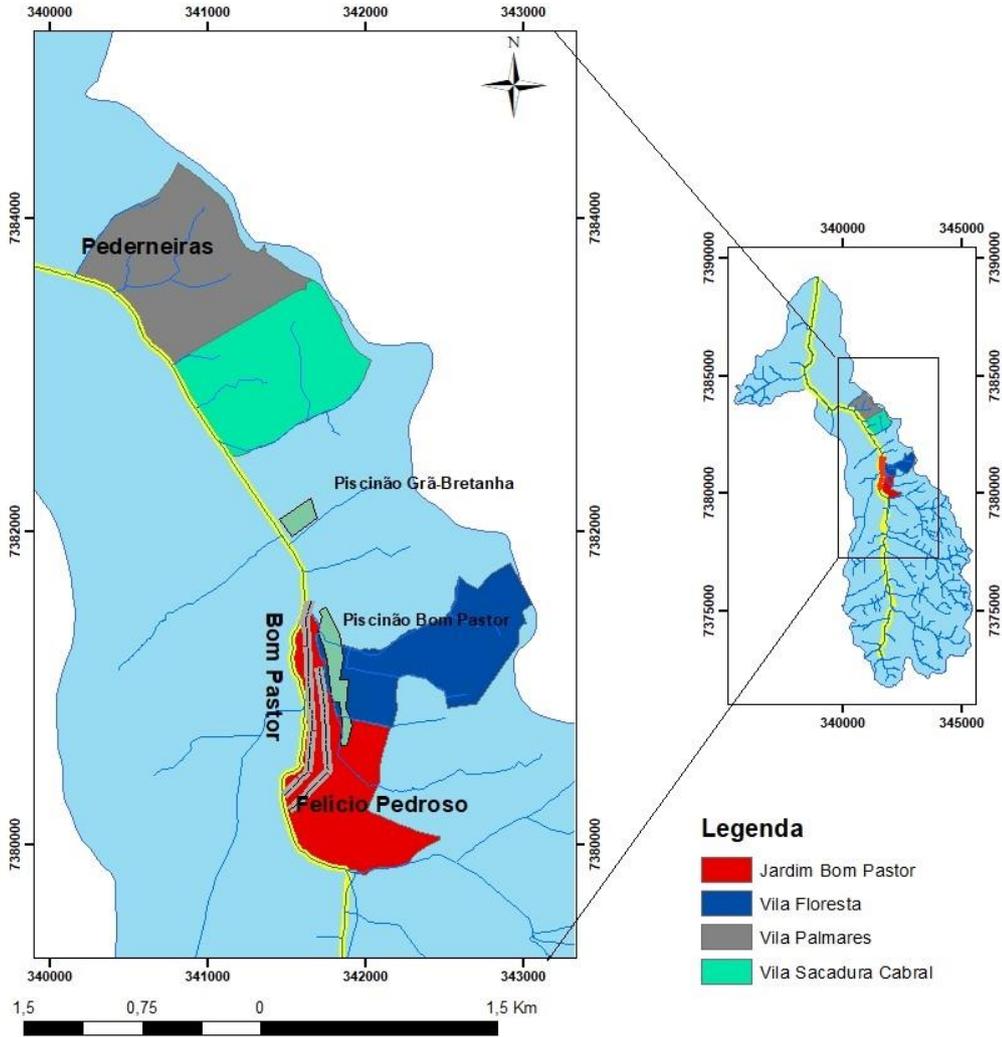
Figura 40– Situação das ocorrências de inundações/enchentes na sub-bacia do Ribeirão dos Meninos durante os anos de 2014, 2015 e 2016.



As ruas mais atingidas nos bairros citados são a rua Pederneiras localizada na Vila Palmares, e as ruas Felício Pedroso e Bom Pastor, ambas localizadas no Jardim Bom Pastor e também na Vila Floresta. Esta via encontra-se muito próxima ao Ribeirão dos Meninos, sendo praticamente paralela ao curso d'água, assim como a Rua Felício Pedroso. Imediatamente a direita dessas duas vias encontra-se o piscinão Bom Pastor, implantado em 1994 e com capacidade de 19,300 m<sup>3</sup>.

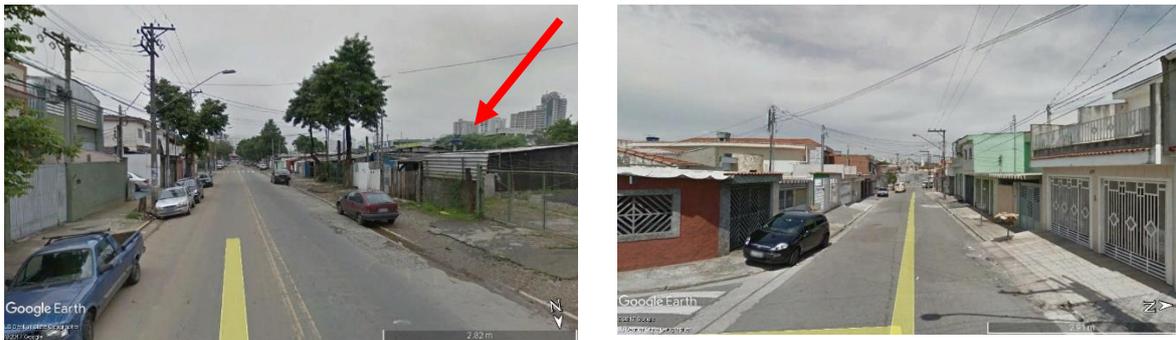
O piscinão Grã-Bretanha está localizado na sub-bacia do Ribeirão dos Meninos, logo abaixo da área da Vila Sacadura Cabral (Figura 41).

Figura 41– Ruas mais atingidas por inundações na Bacia do Ribeirão dos Meninos



A Figura 42 ilustra as ruas mais atingidas na sub-bacia do Ribeirão dos Meninos em Santo André. Pelas fotos, é possível observar que a urbanização está consolidada.

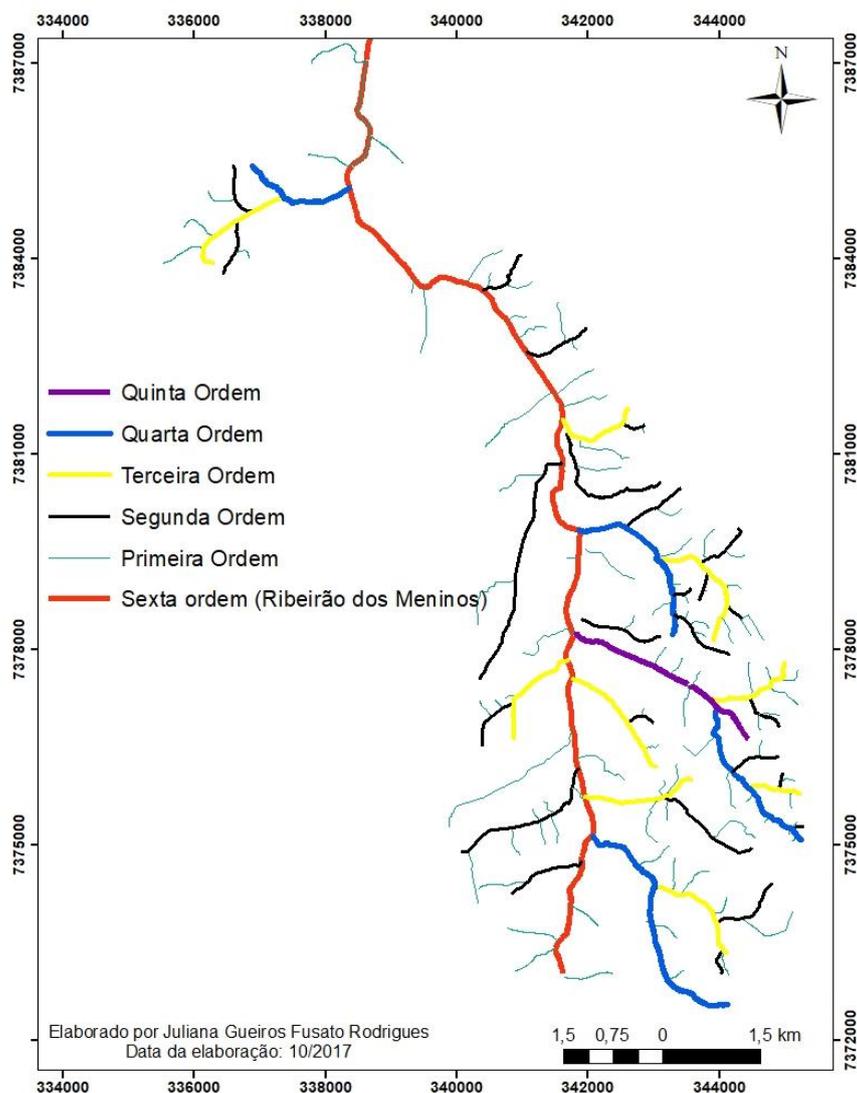
Figura 42 – Ruas mais atingidas por inundações na sub-bacia do Ribeirão dos Meninos em Santo André. A) Avenida Bom Pastor, no bairro Bom Pastor (Ribeirão dos Meninos à direita, indicado pela seta) e b) Rua Pederneiras, na Vila Palmeiras



Fonte: Google Earth (2017)

Ao realizar a classificação da hierarquia da rede de drenagem proposta por Horton, verificou-se que o Ribeirão dos Meninos é de sexta ordem e possui 121 nascentes, ou seja, canais de primeira ordem (Figura 43).

Figura 43 - Ordenamento hierárquica da rede de drenagem do Ribeirão dos Meninos



A sub-bacia do Ribeirão dos Meninos possui uma área de drenagem com 63,32 km<sup>2</sup>. O fator de compacidade de 1,865 distancia-se do valor de uma unidade, o que confirma o que se vê na figura com relação a forma da bacia, sendo a mesma distante de um formato circular. O valor de 1,954 para o fator de compacidade indica a baixa tendência a enchentes.

Com relação à densidade de drenagem, essa sub-bacia apresenta um valor mediano, de 2,526. Na porção que engloba Santo André, a sub-bacia do Ribeirão dos Meninos possui sedimentos inconsolidados de idade quaternária, bem como sedimentos terciários da Formação São Paulo. Na porção sul, predominam os micaxistos. Observa-se deste modo que

nesta área de drenagem os diferentes tipos de rocha podem resultar em diferentes permeabilidades de solo, sem levar em conta os processos relacionados a antropização que contribuem com diminuição na impermeabilidade da superfície.

O Ribeirão dos Meninos possui 18,9 km de extensão e um valor de sinuosidade baixo. A amplitude da bacia é de 239 metros.

Por Kirpich I, o tempo de concentração seria de 3,44 horas, mas diminuiu consideravelmente para 2,34 quando se aplicou a fórmula de Tsuchiya, que leva em consideração a urbanização.

#### **4.2.4 Sub-bacia do Oratório**

A sub-bacia do oratório está localizada na porção nordeste do município de Santo André e está inserida em parte dos municípios de São Paulo e Mauá (Figura 44).

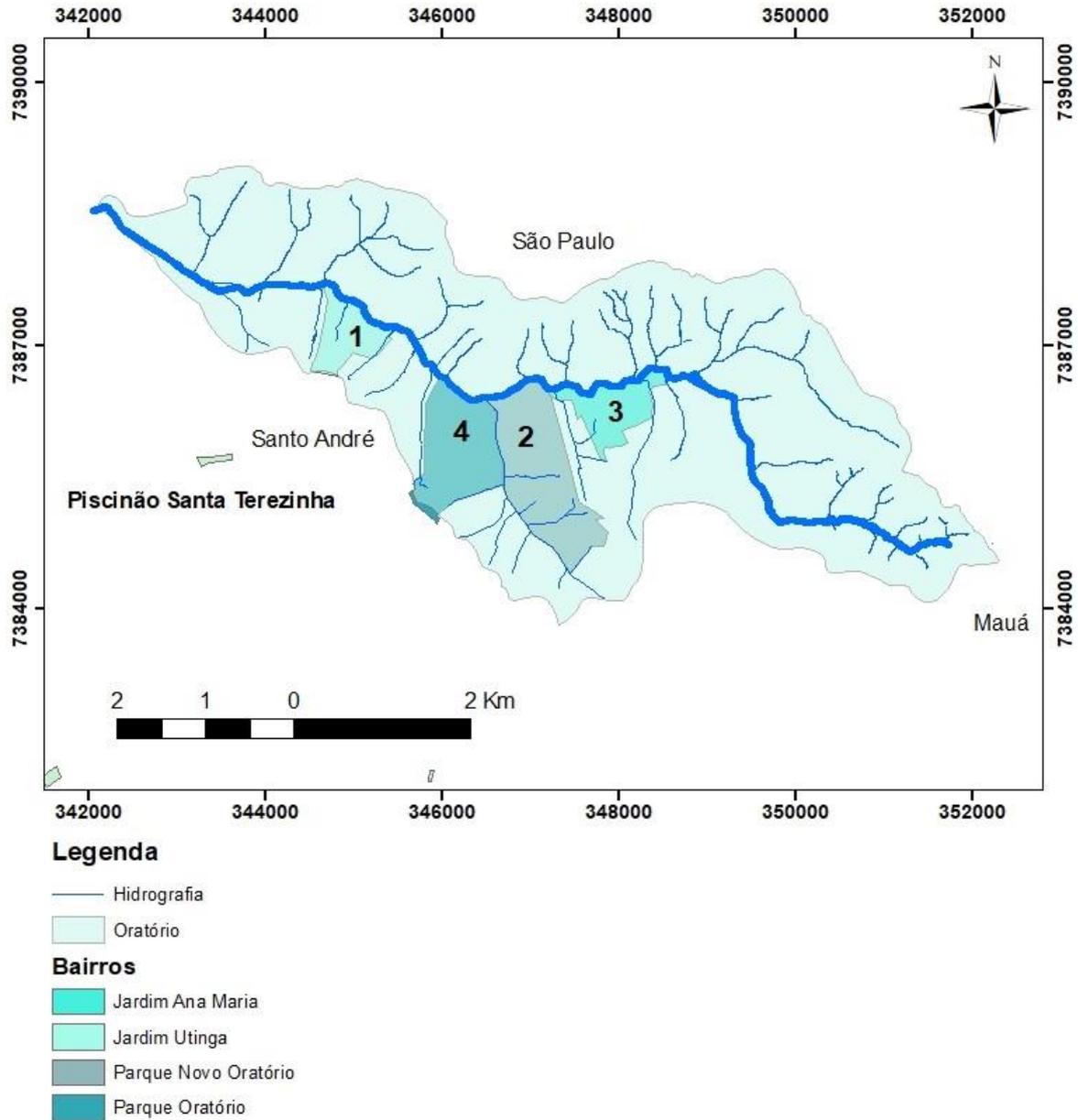
Dos 15 bairros mais atingidos durante os anos de 2001 até 2016, nenhum está localizado nesta sub-bacia. No entanto, verificou-se se no período de 2014-2016 essa sub-bacia apresentou números consideráveis de eventos de inundações registrados pela Defesa Civil, mas não o suficiente para estar entre os 15 bairros mais atingidos. Quatro bairros apresentaram registros nesses três anos citados, sendo eles: o Jardim Utinga com 1 caso, Ana Maria com 3 casos, Parque Novo Oratório com 2 casos e Parque Oratório, este último mais atingido, com 4 casos. Não se sabe, no entanto, a situação das inundações na porção que engloba o município de São Paulo e Mauá.

A sub-bacia possui uma área de 24 km<sup>2</sup>, perímetro de 28,5 km, e seu afluente principal, Ribeirão Oratório, possui 13 quilômetros de comprimento. O comprimento vetorial deste curso d'água é de 10,32 quilômetros.

Analisando-se separadamente a sub-bacia do Oratório, nota-se que a mesma possui índices que não a classificam como propensa a inundações. A bacia distancia-se da forma de um círculo, sendo seu valor de fator de compacidade 1,64 distante do valor de uma unidade, além do baixo valor para o fator forma, 0,231.

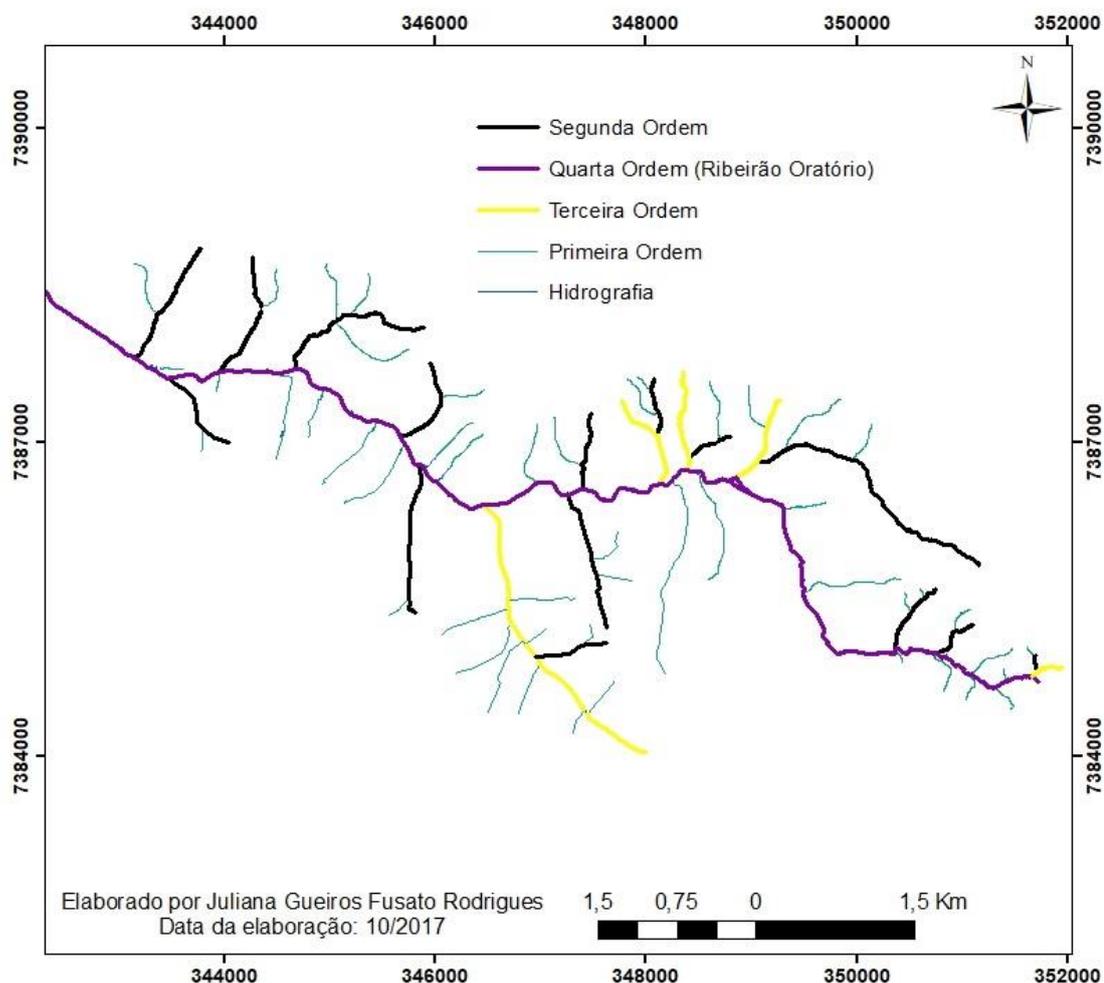
A sub-bacia possui uma amplitude de 148 metros e o declive médio do riacho possui um valor baixo, de 0,0067. A declividade controla a velocidade do escoamento superficial e, portanto, influencia no tempo de concentração, que no caso dessa sub-bacia, quando se leva em consideração a urbanização (TSUCHIYA 1978), é de 1,65 horas. Caso a bacia não fosse urbanizada o valor seria de 2,68 horas (Kirpich I).

Figura 44- Sub-bacia do Ribeirão Oratório e bairros mais atingidos.



Com relação à ordem hierárquica dos rios, por meio da classificação de canais proposta por Horton, o Ribeirão Oratório é de quarta ordem e possui 50 nascentes (ou riachos de primeira ordem) (Figura 45).

Figura 45- Hierarquia da rede de drenagem da sub-bacia do Oratório



### 4.3 Análise comparativa das características morfométricas das sub-bacias da área urbana de Santo André

A Tabela 7 ilustra os índices morfométricos obtidos para as quatro sub-bacias em estudo.

A área das sub-bacias variou de 13,46 km<sup>2</sup> (Guarará) a 63,32 km<sup>2</sup> (Ribeirão dos Meninos). De acordo com Tucci (1997) este é um parâmetro muito importante com relação ao potencial hídrico de uma sub-bacia e exerce grande influência na resposta hidrológica da mesma. Quanto maior a área, os hidrogramas serão menos íngremes, pois maior será o tempo de concentração, se os outros fatores forem desconsiderados.

Tabela 7 – Resumo dos parâmetros e índices morfométricos encontrados para as bacias hidrográficas da área urbana do município de Santo André

|                  | <b>Parâmetro/índice</b> | <b>Guarará</b> | <b>Tamanduateí<br/>Médio I</b> | <b>Rib.<br/>Meninos</b> | <b>Oratório</b> |
|------------------|-------------------------|----------------|--------------------------------|-------------------------|-----------------|
| <b>Geometria</b> | A (km <sup>2</sup> )    | 13,46          | 27,76                          | 63,32                   | 24              |
|                  | P (km)                  | 21             | 27                             | 53                      | 28,5            |
|                  | Kc -                    | 1,6310         | 1,44289                        | 1,865                   | 1,64            |
|                  | Kf -                    | 0,199          | 0,229                          | 0,1954                  | 0,231           |
|                  | Rc                      | 0,370726       | 0,47321                        | 0,28299                 | 0,36604         |
| <b>Drenagem</b>  | Dd (m/km <sup>2</sup> ) | 3,46           | 2,07                           | 2,526                   | 2,979           |
|                  | Is -                    | 1,28           | 1,10                           | 1,152                   | 1,269           |
|                  | L (km)                  | 7,8            | 7,4                            | 18,913                  | 13              |
| <b>Relevo</b>    | Rr                      | 24,63          | 8,9                            | 15,031                  | 13,45           |
|                  | Fr                      | 5,3491         | 1,7651                         | 1,9109                  | 2,0833          |
|                  | Ft                      | 30,35          | 11,13                          | 17,2                    | 15,9            |
|                  | Aa (m)                  | 202            | 98                             | 239                     | 148             |
|                  | Dm (m)                  | 0,0177         | 0,0018                         | 0,0023                  | 0,0067          |
|                  | Tc *                    | 1,32           | 1,64                           | 3,44                    | 2,68            |
|                  | Tc**                    | 1,14           | 1,99                           | 2,34                    | 1,65            |

A: Área; P: perímetro; Kc: coeficiente de compacidade; Kf: fator forma, Dd: Densidade de drenagem; Is: Sinuosidade do canal principal; L: comprimento do canal principal; Tc: tempo de concentração (\*Kirpich CTH I; \*\*Tsuchiya (1978) para área urbana; Aa: amplitude altimétrica; Dm: declive médio do riacho; Rr: relação relevo; Rc: razão de circularidade; Ft: fator topográfico; Fr: frequência de riachos

A amplitude altimétrica variou de 98 metros (Tamanduateí Médio I) até 239 metros (Ribeirão dos Meninos). No geral, a amplitude tende a aumentar com o tamanho da área da bacia, e neste caso era esperado que a sub-bacia do Ribeirão dos meninos possuísse a maior amplitude, no entanto, a sub-bacia do Guarará, que possui a menor área entre as quatro, possui o segundo maior valor de amplitude, evidenciado seu relevo mais conspícuo.

O coeficiente de compacidade relaciona o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo da mesma área e quanto maior o valor, mais irregular (VILLELA; MATOS 1975). Observa-se pelos valores que a sub-bacia do Tamanduateí Médio I seria a que mais se aproxima de uma área circular e a sub-bacia do Ribeirão dos Meninos seria aquela com o formato mais irregular, menos propensa a enchentes.

O fator forma expressa a relação entre a largura média e o comprimento axial da bacia, variando de 0 a 1, quanto mais próximo da unidade, maior a tendência a enchentes (VILLELA; MATOS 1975). Tal índice variou de 0,195 para a sub-bacia dos Meninos, que assim como pelo fator de compacidade, também seria menos propensa a enchentes, a 0,231 para Oratório. No entanto, para todas as sub-bacias o valor encontrado expressa baixa tendência a enchentes.

A relação relevo, que expressa a relação entre a amplitude e o comprimento do canal principal, medindo a declividade global da bacia (SCHUMM, 1956), variou de 24,63 na sub-bacia do Guarará, a 8,9 na sub-bacia do Tamanduateí médio I. Quanto maior o valor da relação relevo, maior os processos de erosão que atuam nas encostas das sub-bacias. Além disso, quanto maior este índice maior a velocidade de escoamento da água no canal principal. Observa-se, portanto, que a sub-bacia do Guarará por possuir um valor relativamente mais alto do que das outras sub-bacias, está mais sujeita a processos de erosão que além de influenciarem no aporte sedimentar que chega ao rio principal, aumentando a probabilidade de assoreamento, contribui para o aumento do pico da vazão que chega a jusante.

Áreas com alta densidade de drenagem refletem porções altamente dissecadas, respondendo rápido a determinadas quantidades de chuva, enquanto que a resposta hidrológica é mais lenta em bacias com baixa densidade de drenagem. Pelos valores observados na tabela, a sub-bacia do Guarará, por possuir a maior densidade de drenagem, responderia mais rápido à precipitação. De acordo com Linsley; Kohler; Paulhus (1975) valores altos são geralmente encontrados em bacias com declividade alta, cobertura vegetal esparsa e solos facilmente erodíveis, características, em parte, da sub-bacia do Guarará, já que neste trabalho não foram analisados os tipos de solo presentes nas sub-bacias. Visto que a amplitude da bacia do Guarará e a relação relevo são altas, além do desmatamento decorrente da urbanização, o valor da densidade de drenagem condiz com a afirmação dos autores.

A sub-bacia do Tamanduateí Médio I possui a menor densidade de drenagem. Esta área se encontra inteiramente na região onde estão as rochas Terciárias da Formação São Paulo e os depósitos quaternários inconsolidados que sustentam um relevo plano. Como citado anteriormente, menores densidades de drenagem são geralmente observadas em relevos suaves e terrenos sedimentares (HIRUMA; PONÇANO, 1994), características da sub-bacia do Tamanduateí Médio I.

O declive médio do riacho principal apresenta valores muito variados. A sub-bacia do Guarará possui o valor de 0,0177, já a sub-bacia do Tamanduateí possui um valor muito menor, de 0,0018, o que demonstra que o rio Tamanduateí nesta área possui um declive muito menor do que a sua bacia vizinha. De acordo com Villela; Matos (1975), quanto maior o declive do riacho, maior será a velocidade de fluxo, influenciando nos hidrogramas de enchentes, que serão pronunciados e estreitos. Assim, a sub-bacia do Guarará possuiria disparadamente maior energia associada ao escoamento da água da chuva quando comparada com as sub-bacias que a circundam.

O fator topográfico, variável que é diretamente proporcional ao potencial de inundação na desembocadura da bacia (MORISAWA, 1962), variou de 11,13 para Tamanduateí Médio I a 30,35, sendo este maior valor correspondente a sub-bacia do Guarará, o que condiz com o índice relação de relevo.

O tempo de concentração representa o tempo necessário para que toda a bacia contribua com o escoamento superficial na seção estudada, que neste caso é a porção mais baixa da bacia, ou a foz dos rios estudados. Quanto mais baixo for o valor, representado em horas, mais rápidas serão as ondas de enchentes e, por sua vez, quanto mais alto o valor, mais tempo será necessário para que ocorram as cheias e os eventos de inundações seriam menos intensos, pois a resposta hidrológica da bacia é mais rápida se o tempo de concentração é menor.

Utilizando essa formulação de Kirpich I (Equação 10) para calcular o tempo de concentração, os valores variaram de 1,42 horas para a sub-bacia do Guarará a 3,44 horas para a sub-bacia do Ribeirão dos Meninos. Isso significa que a sub-bacia do Guarará seria, entre as quatro analisadas, a que responde mais rapidamente as precipitações e, por sua vez, sofre mais impactos relacionados aos eventos hidrometeorológicos.

Ao utilizar a fórmula proposta por Tsuchiya (1978) em que se aplica para áreas urbanas, o valor do tempo de concentração para três das sub-bacias foi significativamente menor, variando de 1,14 para Guarará a 2,34 para Ribeirão dos Meninos, demonstrando que quando se leva em consideração a urbanização, o tempo de concentração diminui consideravelmente. Apenas uma exceção foi encontrada para a sub-bacia do Tamanduateí Médio I, pois o tempo de concentração aumentou utilizando-se a fórmula em que a urbanização é levada em consideração. É importante ressaltar que esta fórmula leva em consideração a declividade equivalente, explicada no capítulo 2, e por isso representa uma aproximação mais realista.

Se fossem avaliados apenas os índices de geometria e drenagem, seria possível inferir que a sub-bacia do Guarará não é propensa a inundações por suas características físicas, logo seria conveniente atribuir a causa dos eventos a outros fatores, principalmente aqueles relacionados à urbanização, como as obras de drenagem que modificam a resposta hidrológica da bacia frente a precipitações. No entanto, ao investigar mais profundamente por meio dos índices que levam em consideração o relevo da área, como o tempo de concentração, declive médio do riacho, relação relevo e fator topográfico, é possível observar que pelos valores obtidos por meio desses índices, a sub-bacia teria propensão a inundações em comparação com as áreas vizinhas, independentemente da urbanização. O contrário não é válido para a

sub-bacia do Tamanduateí Médio I: embora a bacia seja aquela que mais se aproxima da forma de um círculo se comparada as outras, os outros índices, principalmente aqueles relacionados ao relevo, não a classificam como uma área de drenagem naturalmente propensa a inundações. Sua amplitude é baixa, assim como o declive do rio Tamanduateí. O tempo de concentração só é menor do que o encontrado para a sub-bacia do ribeirão dos Meninos, mas deve-se levar em consideração que a área da segunda é consideravelmente maior e não foi analisada a quantidade de registros de inundação em toda a sub-bacia.

Apesar dessas características físicas a sub-bacia do Tamanduateí Médio I possui o segundo maior número de registros de inundações, perdendo apenas para Guarará. Nas margens do rio Tamanduateí foram construídas extensas vias e a região se encontra totalmente urbanizada, com praticamente nenhuma vegetação. Quando o rio Tamanduateí, totalmente canalizado e poluído transborda, as inundações causam grande transtorno a população.

No caso da sub-bacia do Oratório, sua suscetibilidade às inundações seria considerada baixa a mediana e seus valores não se diferenciam muito das outras sub-bacias. O índice de sinuosidade do ribeirão Oratório é o maior entre as sub-bacias, embora que esta área de drenagem possua o segundo menor tempo de concentração. Ainda, a sub-bacia seria mais propensa do que a própria sub-bacia do ribeirão dos Meninos para inundações.

Diante da análise morfométrica das quatro bacias citadas, é possível observar que a sub-bacia do Guarará apresenta características físicas atreladas ao relevo que a tornam vulnerável à ocorrência de inundações. Esses índices são expressos principalmente pelo tempo de concentração, fator topográfico e relação relevo. Observa-se que a sub-bacia do Guarará se diferencia das áreas de drenagem vizinhas também com relação à litologia, fator que exerce o papel principal no comportamento e desenvolvimento das bacias hidrográficas, já que as formações rochosas influenciam a drenagem e o relevo, fatores que são utilizados para caracterizar as sub-bacias.

A sub-bacia do Tamanduateí Médio I teria tendência baixa/mediana para inundações/enchentes/alagamentos, mas possui muitos registros. Já a sub-bacia do ribeirão dos Meninos seria, por suas características físicas, a menos propícia às inundações.

No entanto, a sub-bacia com menos casos registrados pela Defesa Civil é a ribeirão Oratório, somente na parte de Santo André. Isso pode estar relacionado com a capacidade de retenção dos piscinões associados a esta área de drenagem. De acordo com as informações do DAEE a respeito dos reservatórios operados pelo órgão, no ribeirão Oratório há um piscinão à montante do município de Santo André, o RO-1/Sônia Maria (Mauá) com capacidade de 120

mil m<sup>3</sup>, inaugurado em agosto de 2004. Além disso, o piscinão RO-4 Oratório (antigo AO4), também operado pelo DAEE, corresponde a um dos piscinões em Santo André com maior capacidade em volume de água armazenada (320.000 m<sup>3</sup>), capaz de reter um volume de água de pelo menos dez vezes maior que os outros piscinões construídos e administrados pelo SEMASA.

#### **4.4 Análise da relação chuva-inundação urbana**

##### **4.4.1 Padrão climatológico da chuva na área urbana de Santo André**

Nesta seção é discutido o padrão espacial da chuva na área urbana de Santo André durante os verões de 2015, 2016 e 2017 a fim de compreender a variabilidade espacial da chuva e a relação com os eventos de inundação. Este período foi utilizado devido a disponibilidade de dados de precipitação.

Para que se possa analisar o padrão espacial para verões específicos, é necessário ter uma referência do comportamento climatológico da área, realizado com dados de ao menos trinta anos. Assim, foi utilizado o padrão climatológico da área urbana de Santo André para os meses de janeiro, fevereiro e dezembro elaborado por Valverde et al., (2017) por meio de uma análise espacial obtida com os dados CHIRP (*Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data*) para o período de 1961 – 1990. Tais dados foram gerados pelo Grupo de Cientistas de Risco Climático do Instituto Geológico e do Centro de Observação da Terra dos EAU. Os dados do CHIRP foram obtidos por meio da combinação de estações pluviométricas e dados de chuva de satélite TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*), cuja resolução espacial (latitude x longitude) é de 0,05 graus (5,5 km) (Funk et al., 2015) (Figura 46).

Observa-se que pela Figura 46a o mês de dezembro, no geral, possui valores menores de precipitação mensal acumulada, se comparado com janeiro e fevereiro. A região do extremo norte é a que registra menores valores, até 190 mm. Em contrapartida, a porção sudeste ilustra valores maiores que a parte central (210 mm), porém as maiores taxas são observadas na região sul, até 250 mm.

O mês de janeiro possui valores mais altos de precipitação (Figura 46b). A porção sul possui valores maiores, ultrapassando os 300 mm, seguida da região sudeste (280 mm) e por fim, a região do extremo norte com valores menores (260 mm).

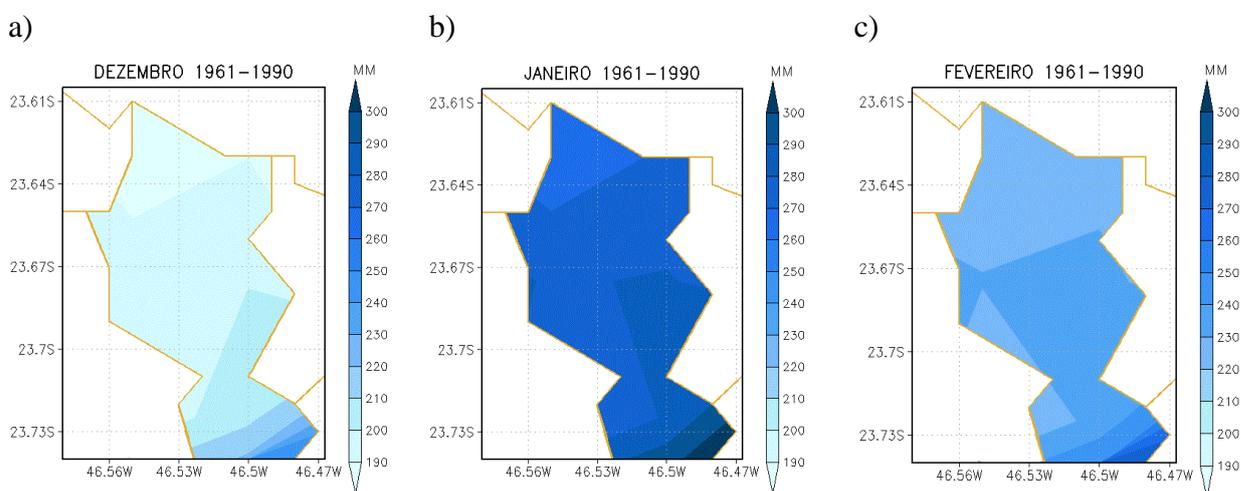
O mês de fevereiro (Figura 46c) seria o período com valores intermediários em comparação com dezembro e janeiro. A porção sul registra os maiores valores (260 mm),

seguida pela porção central (230 mm) e finalmente a parte norte, com valores em torno de 220 mm.

Nos meses de dezembro e janeiro o extremo norte possui menores valores de chuva, enquanto que em fevereiro não há essa diferenciação de valores na porção setentrional. A parte sudeste também não se diferencia por maiores valores como nos dois meses anteriores. Com relação à porção sul, essa se destaca novamente por valores maiores do que todo o resto da parte urbana (270 mm).

Assim, de modo geral, observa-se que nos três meses a região sul possui valores maiores de chuva, seguida pela região sudeste, central e por fim, o extremo norte.

Figura 46 – Padrões de precipitação para os meses de Dezembro, Janeiro e Fevereiro durante o período de 1961-1990 para a área urbana de Santo André.



Fonte: Valverde et al.,(2017)

Na região norte se localiza parte da sub-bacia do Tamandateí Médio I e parte da sub-bacia do Oratório na região nordeste, locais onde são observados os menores valores de precipitação. Na porção sudeste, que se destaca por possuir o segundo maior valor de chuva, localiza-se parte da sub-bacia do Guarará, área de drenagem que concentra o maior número de casos de inundação/enchente/alagamentos. A região centro-oeste, onde se insere a sub-bacia do Ribeirão dos Meninos, possui valores semelhantes aos da parte central, onde também está inserida parte da sub-bacia do Guarará.

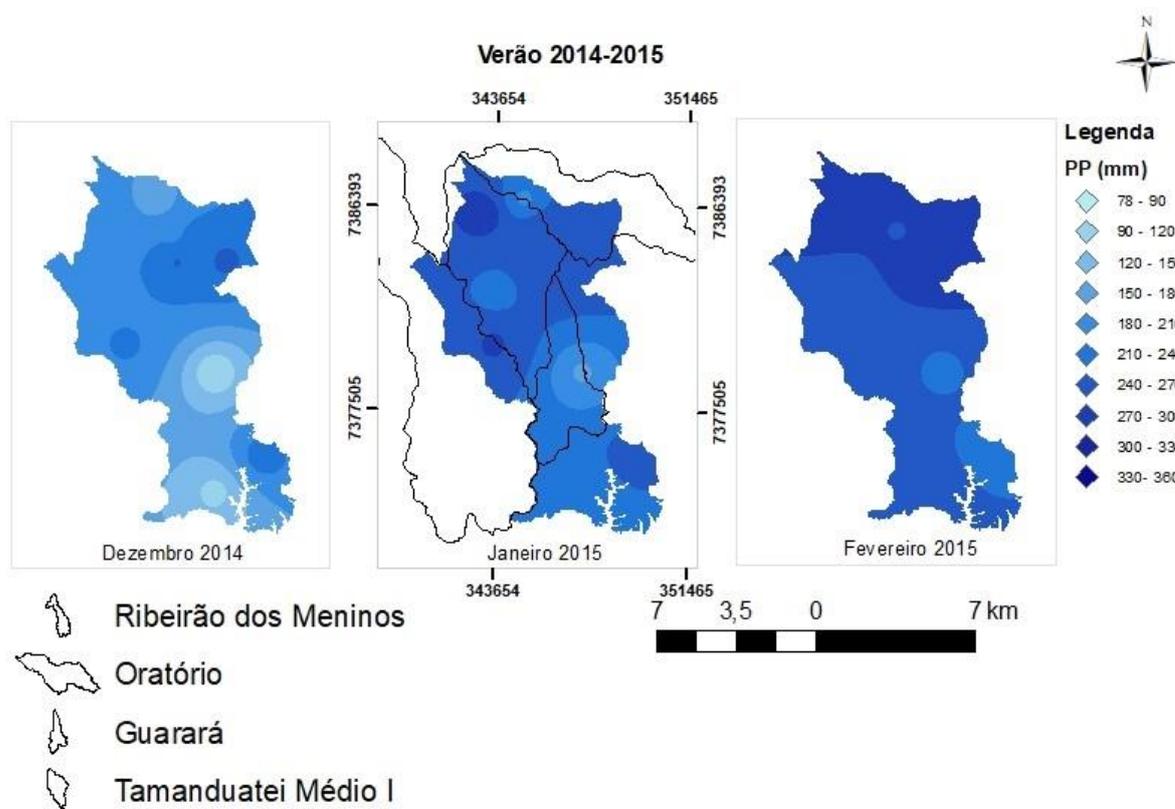
Observa-se que a sub-bacia do Guarará é a área de drenagem cujos valores de precipitação são maiores, desconsiderando a porção sul, cujas sub-bacias não são analisadas no presente estudo.

#### 4.4.2 Espacialização para os verões dos anos de 2015, 2016 e 2017.

Nesta seção são apresentados os mapas com a espacialização das chuvas para os verões de 2015, 2016 e 2017. Durante esse período a precipitação variou de 78 mm até 360 mm.

Para o verão de 2014-2015 (Figura 47) que inclui os meses de dezembro de 2014 e janeiro e fevereiro de 2015, os valores variaram entre de 98,42 mm em dezembro 2014 (pluviômetro instalado no Jardim Ipanema, sudeste da área urbana) e 296 mm em fevereiro de 2015 (Jardim Rina, nordeste da área urbana).

Figura 47 – Espacialização das chuvas durante o verão de 2014-2015



Neste verão, é possível observar que as regiões norte e principalmente nordeste registraram valores maiores de precipitação se comparadas com a região sul. Assim, observa-se que para este verão choveu menos onde se insere a sub-bacia do Guarará e mais onde estão localizadas partes das sub-bacias do Tamanduateí Médio I e Oratório. No entanto, de acordo com a Figura 25, onde estão os bairros mais atingidos durante o período de 2014-2016, observa-se que nesse verão essas sub-bacias não foram tão atingidas como a sub-bacia do Guarará, sendo possível observar que mesmo com menores valores de chuva comparados a outras áreas, essa sub-bacia ainda apresenta mais casos de inundações do que as outras áreas.

No entanto, é possível que a sub-bacia receba contribuição do escoamento da água da chuva de outros afluentes ou da região à montante, além de que pode ser observado para o mês de janeiro e fevereiro que o setor norte da bacia do Guarará (região mais problemática) apresenta maior chuva em relação aos outros setores.

A sub-bacia com o segundo maior número de eventos é a do Ribeirão dos Meninos, apenas considerando a porção de Santo André, que se localiza na região centro-oeste da área urbana. Para esta área, observa-se, no entanto, que os valores de precipitação não são os mais altos.

Durante o verão de 2015-2016 (Figura 48) os valores variaram de 78 mm em dezembro de 2015 (pluviômetro do Parque Novo Oratório, norte da área urbana) a 357 mm em fevereiro 2016 (Jardim Rina, nordeste da área urbana). O mês de dezembro teve menores valores registrados na porção leste, em parte das sub-bacias do Oratório e Guarará. Em janeiro a variação foi mais homogênea, com a porção norte com valores levemente maiores.

Nesse verão, destaca-se o mês de fevereiro, que possui maiores valores de precipitação, apresentando altos valores tanto na região nordeste (sub-bacia do Oratório) quanto na porção sul. No entanto, a sub-bacia do Oratório registrou apenas um caso de inundação no Parque Novo Oratório durante o mês de fevereiro de 2016. Durante os meses de janeiro e fevereiro de 2016, os bairros que mais apresentaram registros foram aqueles que fazem parte da sub-bacia do Guarará (Vila América, três casos) e alguns bairros da porção norte (Vila Metalúrgica, três casos, no extremo norte).

Para o verão de 2016-2017 (Figura 49) o menor valor de precipitação encontrado foi de 89 mm em fevereiro de 2017 (Parque Miami, extremo sul) e o maior valor de 360 mm em janeiro do mesmo ano (Vila Bastos, centro). Para esse último verão observa-se que a região norte da porção urbana do município de Santo André possui valores mais altos de precipitação do que a porção sul, nos três meses.

O mês de dezembro de 2016 registrou casos de inundação tanto na sub-bacia do Tamandateí Médio I quanto na sub-bacia do Guarará, embora as taxas de precipitação tenham sido relativamente baixas, o que significa que mesmo com baixas precipitações, os casos de inundação não cessam.

Figura 48 - Espacialização das chuvas durante o verão de 2015-2016

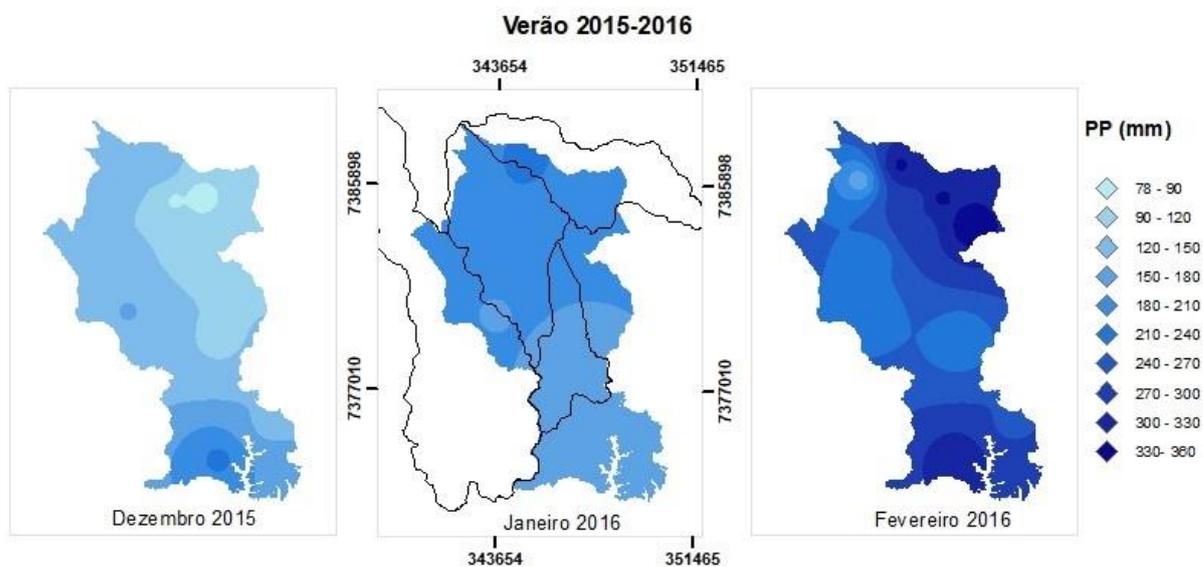
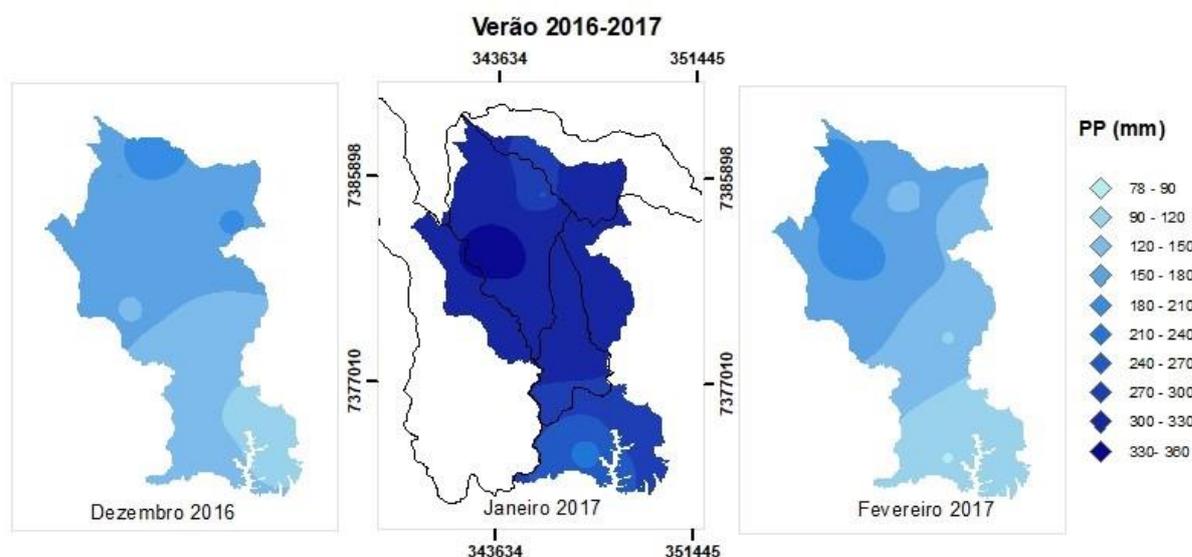


Figura 49 - Espacialização das chuvas durante o verão de 2016-2017



Observa-se que comparando o padrão espacial de precipitação do verão durante o período de 1961 – 1990 com os verões de 2015, 2016 e 2017 existem algumas similaridades, como o mês de dezembro, que continua sendo aquele com menor taxa de pluviosidade. Para o verão de 2016-2017, o mês de janeiro apresentou maior taxa de chuva, assim como no padrão climatológico.

No entanto, existem algumas diferenças entre os dois resultados. Observa-se que a região sul, que possui maiores valores de precipitação em relação à porção norte, não necessariamente se sobressai mais com relação aos valores nos verões de 2014-2017, sendo que durante os verões de 2014-2015 e 2016-2017 a porção sul registrou menores valores.

No padrão climatológico a porção sudeste apresenta o segundo maior valor de precipitação (apenas abaixo da porção norte), no entanto, nos verões analisados, os dados de chuva mostram que essa região apresentou valores menores de chuva em relação as outras áreas, como pode ser observado principalmente no verão de 2014-2015.

No padrão de precipitação, o mês de janeiro é o que possui a chuva mais intensa, o que não se observa para janeiro de 2015 e 2016. Sabe-se que o ano de 2015 sofreu intensamente com a falta de precipitação na região sudeste do Brasil (COELHO; CARDOSO; FIRPO, 2016) e essa diferença em relação ao padrão climatológico pode ter sido ocasionada por esse fenômeno. Em contrapartida, o mês de janeiro de 2017 apresentou os maiores valores de precipitação, assim como no padrão climatológico, pois a intensidade das chuvas aumentou após o período da seca.

O mês de fevereiro de 2015 e 2016 apresentou taxas maiores na porção nordeste, região que no padrão climatológico não se sobressai em relação aos valores de chuva. Essas principais diferenças demonstram a variabilidade espacial da chuva a cada ano, que pode ser diferente do padrão climatológico.

Considerando a localização das sub-bacias, de acordo com a espacialização das chuvas para os três verões, observou-se que os maiores valores não foram encontrados na porção central, onde se localiza a sub-bacia do Guarará. Ainda pode-se observar pequena variação de precipitação dentro da própria sub-bacia. A área de drenagem apresenta menores valores de precipitação na porção sul, onde se inserem os bairros Jardim Irene e Jardim Santo André, mais carentes. No extremo norte da sub-bacia os valores de chuva são maiores e nesta região se localiza o bairro Vila América, que possui urbanização consolidada.

De acordo com o SEMASA (2013), grande parte dos canais de microdrenagem que compõem o sistema ligado à parte urbana do município de Santo André não está em condições adequadas de funcionamento. Esse cenário agrava as condições de escoamento decorrentes de chuvas de baixa intensidade para alguns locais. Os resultados no presente trabalho permitem inferir que a sub-bacia do Guarará pode ser considerada como um desses locais, já que seus valores de precipitação para os verões analisados são menores do que nas outras áreas e os casos de inundação são mais frequentes. Pelo padrão climatológico, o local onde a sub-bacia se insere possui valores mais altos de chuva do que a porção norte do município, menores apenas do que na porção sul. Esse cenário se soma com suas características morfométricas associadas ao relevo, o que faz com que a área de drenagem seja mais suscetível a inundações.

De acordo com o SEMASA (2013) uma das causas das inundações em locais de pouca pluviosidade é a ocupação da faixa de manutenção dos rios por famílias de baixa renda. Esse cenário pode ser observado no Jardim Santo André e no Jardim Irene, à montante da sub-bacia, principalmente na Avenida Maurício Medeiros, paralela a um afluente do Guarará, que sofre constantemente com inundações. Outros fatores que causam inundações, relacionados à drenagem e também citados pelo SEMASA incluem obstruções devidas a pontes, bueiros e vigas de lixo, além do assoreamento dos talwegues. Nobre et al. (2010) ressalta que a energia erosiva das enchentes causa o assoreamento dos trechos de jusante nos cursos d'água, aumentando a ocorrência de inundação, situação observada na Vila América e Silveira.

O sistema atual de macrodrenagem do município de Santo André apresenta problemas relacionados ou ao subdimensionamento ou a falta de manutenção da rede hidráulica atual (SEMASA, 2013).

Nobre et al., (2010) ressalta que na RMSP o sistema de drenagem tem um papel importante devido ao seu impacto negativo e de difícil solução técnica. A medida que os córregos foram canalizados e apesar de várias intervenções técnicas, as inundações aumentaram com o passar dos anos. Além disso, os problemas de drenagem se agravam devido à ocupação de fundos de vale e má qualidade ambiental dos espaços urbanizados, concomitantes com a eliminação das áreas verdes, a impermeabilização do solo e a favelização dos terrenos, formando áreas de risco ao longo dos cursos d'água.

#### **4.4.2 Análise das chuvas associadas aos eventos de inundação/alagamento/enchente, através da análise de frequência.**

Para a análise de frequência dos intervalos de chuva foram utilizados os dados do pluviômetro Lucinda (E3-160) e Campestre (E3-159), por possuírem registro de precipitação desde o ano de 1999, ambos localizados na sub-bacia do Tamanduateí Médio I, nordeste e norte, respectivamente. Realizaram-se dois tipos de análises: a primeira tendo como base a informação dos dois pluviômetros considerou todos os eventos localizados na área urbana. Na segunda análise foram filtrados apenas os bairros que estão localizados na sub-bacia do Tamanduateí Médio I, pois os pluviômetros se localizam nesta área de drenagem.

Na análise de frequência consideraram-se os eventos de inundação/alagamento/enchente que se associaram com chuvas em até cinco dias consecutivos.

##### **4.4.2.1 Análise dos dados de chuva considerando todos os eventos localizados na área urbana**

Em se tratando de todos os eventos ocorridos, observa-se através dos dados diários de precipitação que para a estação Lucinda a maior parte dos eventos de inundação está relacionada à precipitação no dia do evento, ou seja, sem chuva em pelo menos 5 dias anteriores (24%), seguida por cinco dias de chuva acumulada (21%) (Figura 50a). Para a estação Campestre, 25% dos eventos se associa a cinco dias de chuva acumulada e 23% a precipitações no dia do evento (Figura 50b), resultados similares a estação Lucinda.

Para o pluviômetro Lucinda, de acordo com a Tabela 8, o maior número de eventos em cinco dias de chuva consecutivos está dentro do intervalo de 31–50 mm e 51-70 mm. Para um dia de chuva, os intervalos de 15-30 mm e 31-50 mm se associam com maior frequência aos eventos de inundação.

Com relação ao pluviômetro Campestre o intervalo de precipitação que se associa com maior frequência para cinco dias de chuva acumulada é 51-70 mm e 91-110 mm. Para um dia de chuva acumulada o intervalo de chuva que aparece com maior frequência são 15-30 e 31-50 mm.

Figura 50 – Porcentagem dos eventos de inundação apenas para eventos relacionados a um e até cinco dias de chuva consecutiva para todos os eventos de inundação/enchente/alagamento. A) Pluviômetro Lucinda b) Pluviômetro Campestre

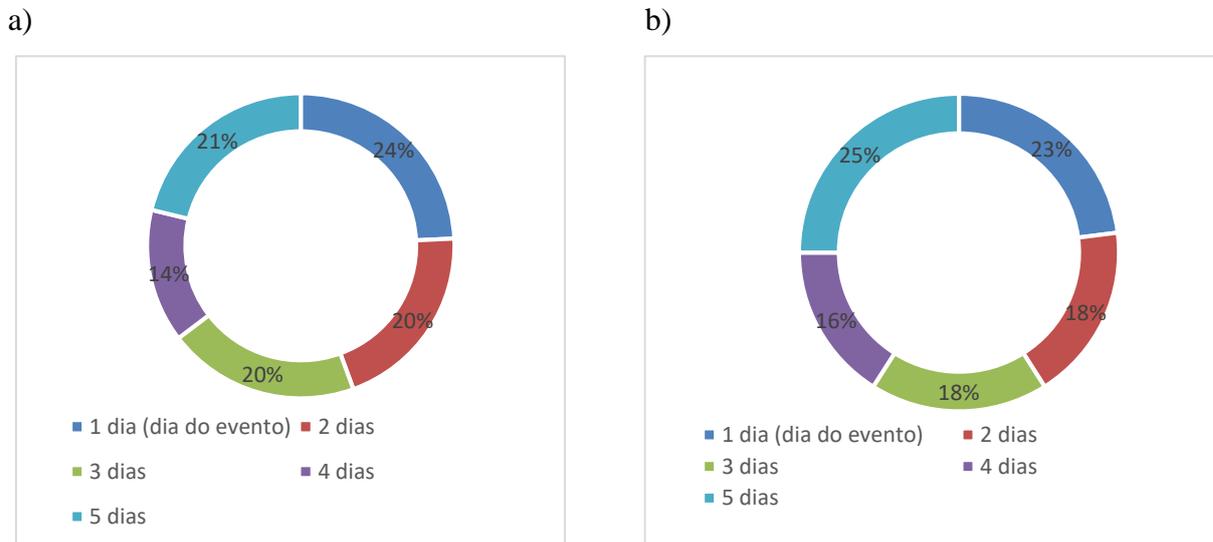


Tabela 8 – Frequência dos intervalos de chuva para os pluviômetros Lucinda e Campestre para todos os bairros

| Intervalo (mm) | Pluviômetro Lucinda            |        |        |        |        | Pluviômetro Campestre          |        |        |        |        |
|----------------|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|
|                | Frequência (número de eventos) |        |        |        |        | Frequência (número de eventos) |        |        |        |        |
|                | 1 dia                          | 2 dias | 3 dias | 4 dias | 5 dias | 1 dia                          | 2 dias | 3 dias | 4 dias | 5 dias |
| 15-30          | 13                             | 7      | 3      | 1      | 1      | 12                             | 4      | 8      | 1      | -      |

|              |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 31-50        | 10        | 13        | 13        | 5         | 10        | 15        | 9         | 7         | 6         | 6         |
| 51-70        | 5         | 4         | 4         | 4         | 9         | 7         | 7         | -         | 3         | 11        |
| 71-90        | 7         | 2         | 7         | 4         | 3         | 2         | 4         | 2         | 5         | 6         |
| 91-110       | -         | 4         | 2         | 5         | 5         | 2         | 1         | 5         | 6         | 8         |
| 111-130      | 1         | 2         | 2         | 2         | 5         | -         | 1         | 1         | 4         | 2         |
| 131-151      | -         | -         | 1         | -         | 2         | -         | -         | 1         | 1         | 5         |
| >151         | -         | -         | 1         | 2         | 2         | -         | 1         | -         | 1         | 2         |
| <b>Total</b> | <b>36</b> | <b>32</b> | <b>33</b> | <b>23</b> | <b>37</b> | <b>38</b> | <b>27</b> | <b>24</b> | <b>27</b> | <b>40</b> |

#### 4.4.2.1 Análise dos dados de chuva considerando apenas os eventos ocorridos dentro dos bairros da sub-bacia do Tamanduateí Médio I

Levando em consideração apenas os eventos de inundação ocorridos dentro dos bairros que pertencem a sub-bacia do Tamanduateí Médio I, observa-se que no pluviômetro Lucinda 25% dos eventos se associam a três e cinco dias de chuva consecutivos e 20% a precipitações ocorridas no dia do evento (Figura 51a). A Tabela 9 ilustra os intervalos de chuva associados aos eventos de inundação. Para três e cinco dias de chuva acumulada, observa-se que o intervalo de 31-50 mm se associa com a maior frequência aos registros.

Para o pluviômetro Campestre, quando analisados apenas os casos ocorridos em bairros inseridos dentro da sub-bacia do Tamanduateí Médio I, observa-se que a maioria dos eventos está relacionada a cinco dias consecutivos de precipitação (29%) e que 27% dos eventos estão associados a precipitações no mesmo dia do evento (Figura 51b). Esse resultado é similar ao da estação Lucinda, em que a maioria dos eventos está relacionada a cinco dias, seguida de precipitação no dia do evento. Pela Tabela 9 observa-se que para cinco dias de precipitação acumulada, o intervalo de precipitação que ocorre com maior frequência é o de 131-151 mm, diferindo-se da estação Lucinda. Para precipitações ocorridas no dia do evento, o intervalo que se associa com maior frequência é o de 31-50 mm, também diferente da estação Lucinda, em que as inundações causadas por chuva no mesmo dia se associam com maior frequência ao intervalo 15-30 mm. Assim, observa-se que para a estação Lucinda, os eventos de inundação se associam a menores valores de chuva.

Figura 51 – Porcentagem dos eventos de inundação para eventos relacionados a um e até cinco dias de chuva consecutiva para os casos ocorridos apenas nos bairros da sub-bacia do Tamanduateí Médio I. A) Pluviômetro Lucinda b) Pluviômetro Campestre

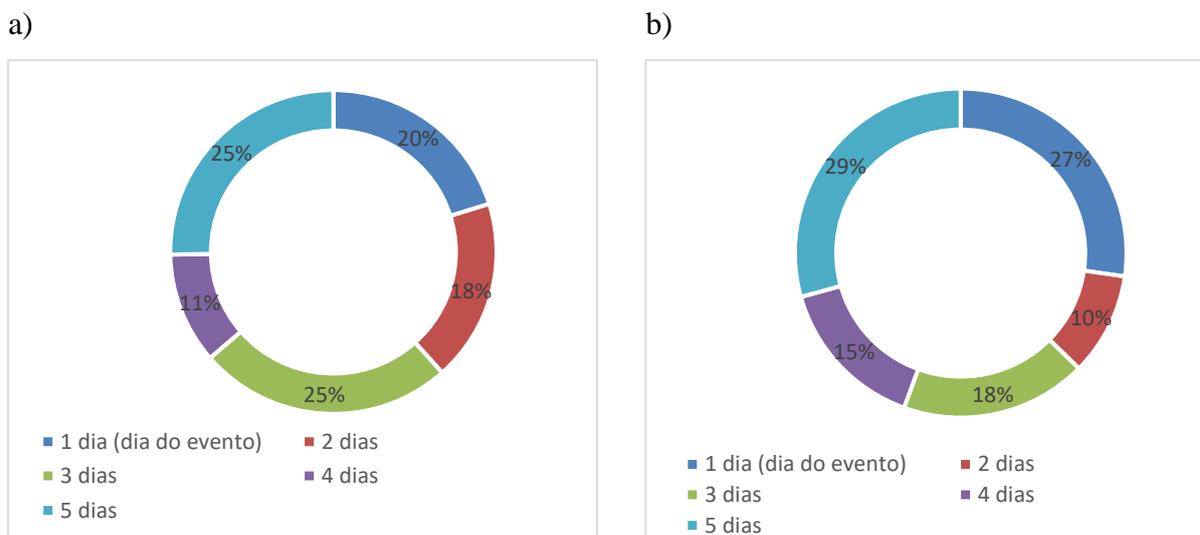


Tabela 9- Frequência dos intervalos de chuva para os pluviômetros Lucinda e Campestre para os eventos ocorridos nos bairros da sub-bacia do Tamanduateí Médio I

| Intervalo (mm) | Pluviômetro Lucinda            |           |           |          |           | Pluviômetro Campestre          |          |           |           |           |
|----------------|--------------------------------|-----------|-----------|----------|-----------|--------------------------------|----------|-----------|-----------|-----------|
|                | Frequência (número de eventos) |           |           |          |           | Frequência (número de eventos) |          |           |           |           |
|                | 1 dia                          | 2 dias    | 3 dias    | 4 dias   | 5 dias    | 1 dia                          | 2 dias   | 3 dias    | 4 dias    | 5 dias    |
| 15-30          | 6                              | 3         | -         | -        | -         | -                              | 1        | 5         | -         | -         |
| 31-50          | 5                              | 4         | 6         | 1        | 7         | 6                              | 2        | 4         | 2         | 3         |
| 51-70          | 2                              | 2         | 2         | 2        | 2         | 3                              | -        | -         | 2         | 4         |
| 71-90          | 2                              | 1         | 4         | 1        | 2         | 2                              | 3        | 1         | 3         | 3         |
| 91-110         | -                              | 3         | 1         | 2        | 4         | 1                              | -        | 3         | 2         | 4         |
| 111-130        | -                              | -         | 1         | -        | 2         | -                              | 1        | -         | 1         | 1         |
| 131-151        | -                              | -         | 1         | -        | 2         | -                              | -        | 1         | 1         | 5         |
| >151           | -                              | -         | 1         | 2        | 2         | 1                              | -        | -         | 1         | 1         |
| <b>Total</b>   | <b>15</b>                      | <b>13</b> | <b>16</b> | <b>8</b> | <b>21</b> | <b>13</b>                      | <b>7</b> | <b>14</b> | <b>12</b> | <b>21</b> |

Pelos dados de chuva de ambas as estações pode-se inferir que para os dois pluviômetros e tanto para os eventos ocorridos em toda área urbana ou apenas na sub-bacia do Tamanduateí Médio I, observa-se, de um modo geral, que os eventos de inundação/enchente/alagamento se associam a cinco dias de precipitação e também a chuva ocorrida no dia do evento. O intervalo de chuva que se relaciona com maior frequência aos

eventos de inundação em cinco dias de chuvas é 31-50 mm, embora se tenha observado na estação Campestre maior frequência do intervalo 51-70 mm.

O limiar 31-50 mm de chuva para cinco dias de precipitação acumulada é um valor baixo. É provável que chova no máximo 10 mm de chuva em cada um dos dias anteriores ao evento e que os casos possam estar relacionados a inundações graduais, que através da precipitação recorrente, mas que pode ser de baixa intensidade, encharca o solo e aumenta o nível dos rios, causando transbordamento e conseqüentemente eventos de inundação/enchentes/alagamentos.

Para precipitações no dia do evento, o intervalo de chuva de maior frequência é de 15-30 mm e 31-50 mm, tanto para os bairros em toda área urbana quanto para sub-bacia do Tamandateí Médio I, havendo apenas uma exceção na estação Campestre, para os bairros localizados nesta sub-bacia, em que o intervalo de 31-50 mm se sobressaiu para um dia de chuva.

As diferenças nos pluviômetros podem ser explicadas pelas suas localizações. A espacialização das chuvas para os verões de 2014-2017 e o padrão climatológico discutido anteriormente ilustra que a região nordeste da área urbana apresenta maiores valores de precipitação, onde se localiza a estação Lucinda, embora os eventos de inundação neste pluviômetro estejam associados a menores valores de precipitação, entre 15-30 e 31-50 mm.

#### **4.4.2.2 Limiares diários extremos**

Valverde et al., (2017) calcularam os limiares diários extremos de chuva através de percentis de 15% a 99% por meio de dados diários de chuva obtidos na estação Lucinda para os meses de dezembro a janeiro. A Tabela 10 ilustra os percentis 85% e 99% para ambas as estações. De acordo com Nobre et al., (2010), totais de chuva acima de 30 mm em apenas um dia na cidade de São Paulo tem potencial para causar eventos de inundações graves, similar aos valores encontrados para este trabalho. Complementarmente, Neves (2016) concluiu que para Santo André, 38 mm de chuva já são suficientes para causar eventos de inundação.

Para o percentil 85% os meses de março e janeiro seriam aqueles com maior probabilidade de ocorrência de eventos extremos para a estação Lucinda. No pluviômetro Campestre, os meses de janeiro, fevereiro e março teriam maior potencial para eventos extremos.

Tabela 10 – Percentil 85% e 99% dos valores diários de chuva da estação Lucinda e Campestre

| <b>Mês</b> | <b>Diários<br/>Lucinda<br/>(mm)<br/>(P99%)</b> | <b>Diários<br/>Lucinda<br/>(mm)<br/>(P85%)</b> | <b>Diários<br/>Campestre<br/>(mm)<br/>(P99%)</b> | <b>Diários<br/>Campestre<br/>(mm)<br/>(P85%)</b> |
|------------|--|--|--|--|
| Janeiro    | 83   | 30   | 64   | 31   |
| Fevereiro  | 80   | 27   | 97   | 31   |
| Março      | 79   | 30   | 58   | 30   |
| Abril      | 56   | 16   | 70   | 26   |
| Mai        | 49   | 11   | 55   | 13   |
| Junho      | 47   | 20   | 103  | 23   |
| Julho      | 73   | 19   | 57   | 21   |
| Agosto     | 27   | 8  | 32   | 10   |
| Setembro   | 81   | 16   | 73   | 16   |
| Outubro    | 66   | 18   | 66   | 18   |
| Novembro   | 62   | 25   | 67   | 23   |
| Dezembro   | 98   | 25   | 68   | 25   |

Fonte: Valverde et al., (2017)

Para a estação Campestre, de acordo com o percentil 99%, os meses de fevereiro e junho apresentam os maiores valores extremos de chuva, diferentemente da estação Lucinda, em que os meses com maiores valores de chuva janeiro e dezembro.

Esses valores extremos diários de chuva apresentam potencial para causar eventos de grande magnitude na cidade de Santo André, causando perdas de vidas e de bens materiais.

#### **4.5 Mapas Temáticos das áreas atingidas por inundações urbanas**

Nesta seção são ilustrados os mapas temáticos com a superposição da hidrografia, bairros mais atingidos, declividade e precipitação, bem como a indicação dos valores dos índices morfométricos considerados mais importantes para se ter uma visão geral das sub-bacias.

Os valores de precipitação média mensal dos verões para o período de 1961-1990, de acordo com o padrão climatológico elaborado por Valverde et al., (2017) são representados por símbolos (gotas) que indicam maior ou menor intensidade das chuvas, assim, quanto maiores os símbolos, maiores os valores, que variaram entre 230 mm a 260 mm.

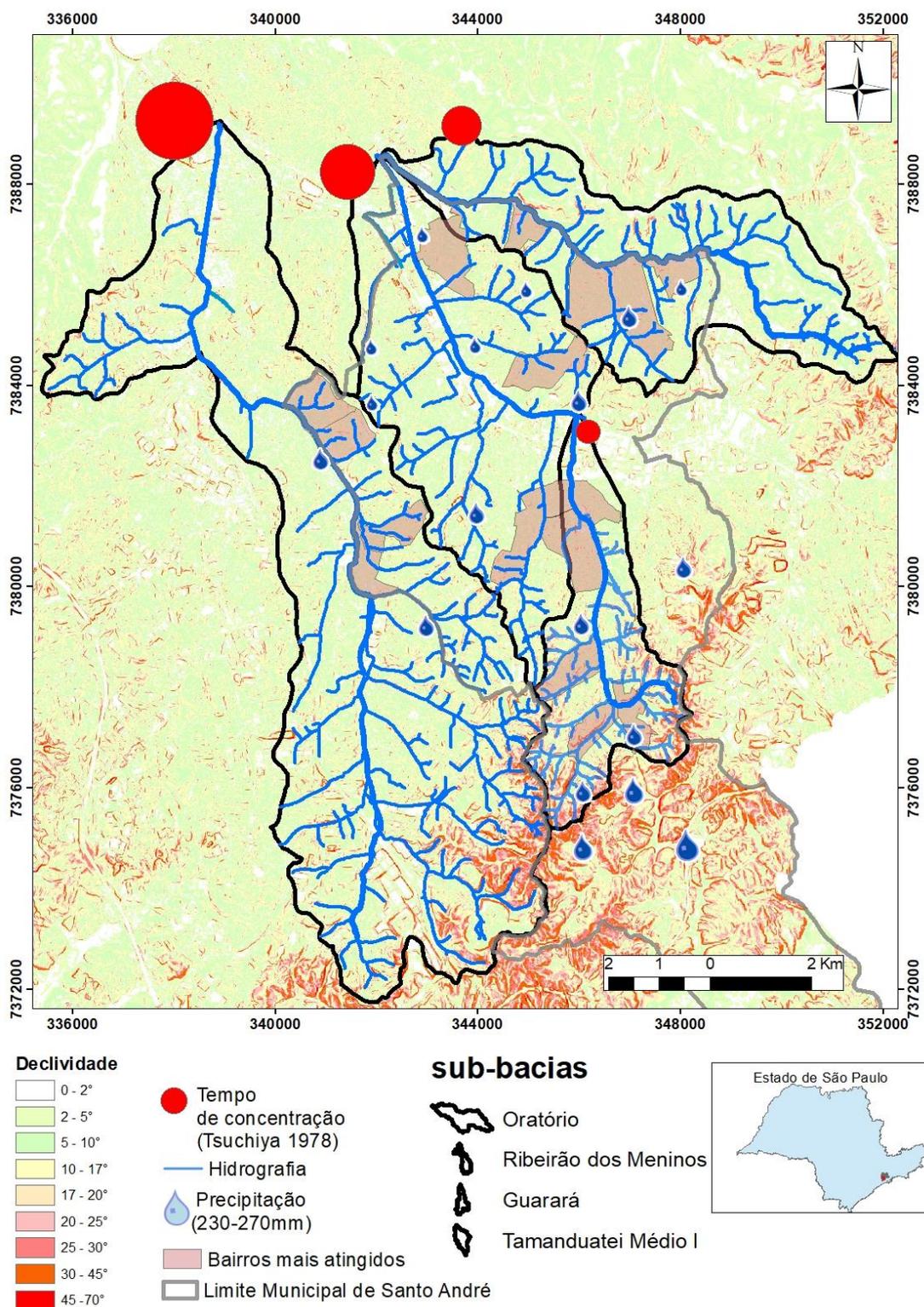
A declividade está representada em graus. Observa-se que a porção sul do município possui as maiores declividades, representadas pelas cores mais quentes, vermelho e laranja. Esta é uma característica importante dos terrenos, já que quanto maiores os valores, maior a probabilidade de erosão nas encostas, principalmente se esses locais são irregularmente habitados. Os processos erosivos em terrenos de alto declive degradam a infraestrutura urbana de dois modos: primeiro nos locais fonte dos sedimentos, áreas onde a erosão ocorre, destruindo as ruas, edificações, sistemas de drenagem e produzindo áreas de risco. A outra forma de degradação ocorre nas áreas de destino dos sedimentos devido ao intenso assoreamento das drenagens naturais e construídas, sendo esta uma das principais causas das inundações (SANTOS, 2012).

No município de Santo André, os sedimentos terciários e quaternários possuem baixas declividades. Nessa área se encontra a sub-bacia do Tamanduateí Médio I e Oratório, além de uma pequena porção nordeste da sub-bacia do Ribeirão dos Meninos. Essas áreas seriam aquelas de destino dos sedimentos provenientes do setor sul da cidade de Santo André, onde ocorrem as maiores declividades, e são propícias ao assoreamento da rede de drenagem.

A porção sul da sub-bacia do Guarará, assim como Ribeirão dos Meninos, tem capacidade para gerar sedimentos que comprometem as áreas à jusante. Além disso, neste setor estão as rochas cristalinas do Complexo Embu, que são até 100 vezes mais erodíveis do que as rochas terciárias encontradas ao norte da cidade.

A Figura 52 ilustra as quatro sub-bacias estudadas e a declividade das áreas vizinhas. O tempo de concentração está representado por círculos, sendo que quanto maior a forma, maior o valor desta variável. Observa-se a relação entre tempo de concentração e área da sub-bacias: quanto maior a área, maior o valor deste índice.

Figura 52 – Mapa temático contendo as sub-bacias urbanas estudadas



A sub-bacia do Guarará possui maiores declividades na porção sul, próximo aos bairros mais atingidos Jardim Santo André e Jardim Irene. É possível observar que a Avenida

Maurício Medeiros, no Jardim Irene, é acompanhada por um valor de declividade muito superior as áreas vizinhas, seguindo o curso do rio, bem como da via. O mesmo cenário é observado para a Rua Dominicanos, no Jardim Santo André: esta via mais atingida é paralela a um afluente do Guarará, sendo que valores mais altos de declividade acompanham o córrego.

Do ponto de vista geotécnico, a ocupação dessas áreas ribeirinhas de alta declividade é problemática, pois expõe enormes superfícies de solo aos processos erosivos e colabora para o assoreamento da drenagem. Esse cenário pode acarretar em solapamento das margens de córregos, além do maior risco às inundações. Adicionalmente, o lixo urbano não recolhido e entulho de construção civil lançado de forma irregular agrava o processo de erosão nessas áreas (SANTOS, 2012). Observa-se assim, a vulnerabilidade ambiental da ocupação dessa região na sub-bacia do Guarará, cuja erosão contribui para o assoreamento nas áreas a jusante, onde se encontram a Vila América e a Vila Pires.

A porção norte possui menor declividade, mas o solo encontra-se quase que totalmente impermeabilizado, pois o adensamento urbano é maior em áreas de relevo mais plano. A média de precipitação dos verões de acordo com o padrão climatológico variou de 250 mm na porção sul a 240 mm na região norte (Figura 53).

A sub-bacia do Tamanduateí Médio I não possui altos valores de declividade, sendo que quase toda sua totalidade inclui valores entre 5°-17°, com taxas menores ainda ao longo do rio Tamanduateí (0-2°) (Figura 54). A precipitação média mensal dos verões de acordo com o padrão climatológico dentro da sub-bacia varia de 240 mm na porção sul a 230 mm na área ao norte. O problema nesta área pode estar relacionado com o assoreamento dos rios e a incapacidade de a rede de drenagem dar vazão as águas pluviais, agravado pela superfície quase que totalmente impermeabilizada. No entanto, a sub-bacia do Tamanduateí Médio I não é uma área fonte de sedimentos que contribuem para o assoreamento da drenagem, pois sua baixa declividade não favorece os processos de erosão, além de seus solos serem menos erodíveis. No entanto, ainda pode haver grande contribuição de lixo e entulhos.

Assim como o Tamanduateí Médio I, na sub-bacia do Oratório predominam os valores de declividade entre 5°-17°, com pouca ocorrência de declividades maiores, encontradas na porção do município de São Paulo, que pode contribuir para os processos de erosão e consequente assoreamento do córrego Oratório e seus afluentes, caso haja ocupação irregular. Dentro desta área de drenagem a precipitação média varia de 230 a 240 mm (Figura 55).

Na sub-bacia do Ribeirão dos Meninos, as maiores declividades estão na porção sul (25°-45°). Nos locais onde se encontram os bairros mais atingidos em Santo André os valores

desta variável são mais baixos (5°-17°). Nesta área a precipitação média é de 240 mm (Figura 56).

Visto a distribuição da declividade na porção sul da cidade, onde se encontram rochas cristalinas muito erodíveis, além, inclusive, da maior taxa de precipitação nessas áreas a montante, é necessário ter maior atenção no controle da erosão em tais locais, principalmente na sub-bacia do Guarará. É preciso estabelecer uma política habitacional que resulte na redução da ocupação dessas zonas periféricas da cidade, considerando os fundos de vale e as encostas de alta declividade. Deve-se reduzir radicalmente a produção de materiais que causam assoreamento.

Com relação à porção norte, com menores declividades e terrenos menos erodíveis, deve-se levar em consideração a atualização e desassoreamento da rede de drenagem, além do aumento da capacidade de retenção de águas da chuva por infiltração e reservação, por meio, por exemplo, de ajardinamento, criação de valetas e calçadas drenantes.

Figura 53 – Mapa temático da sub-bacia do Guarará

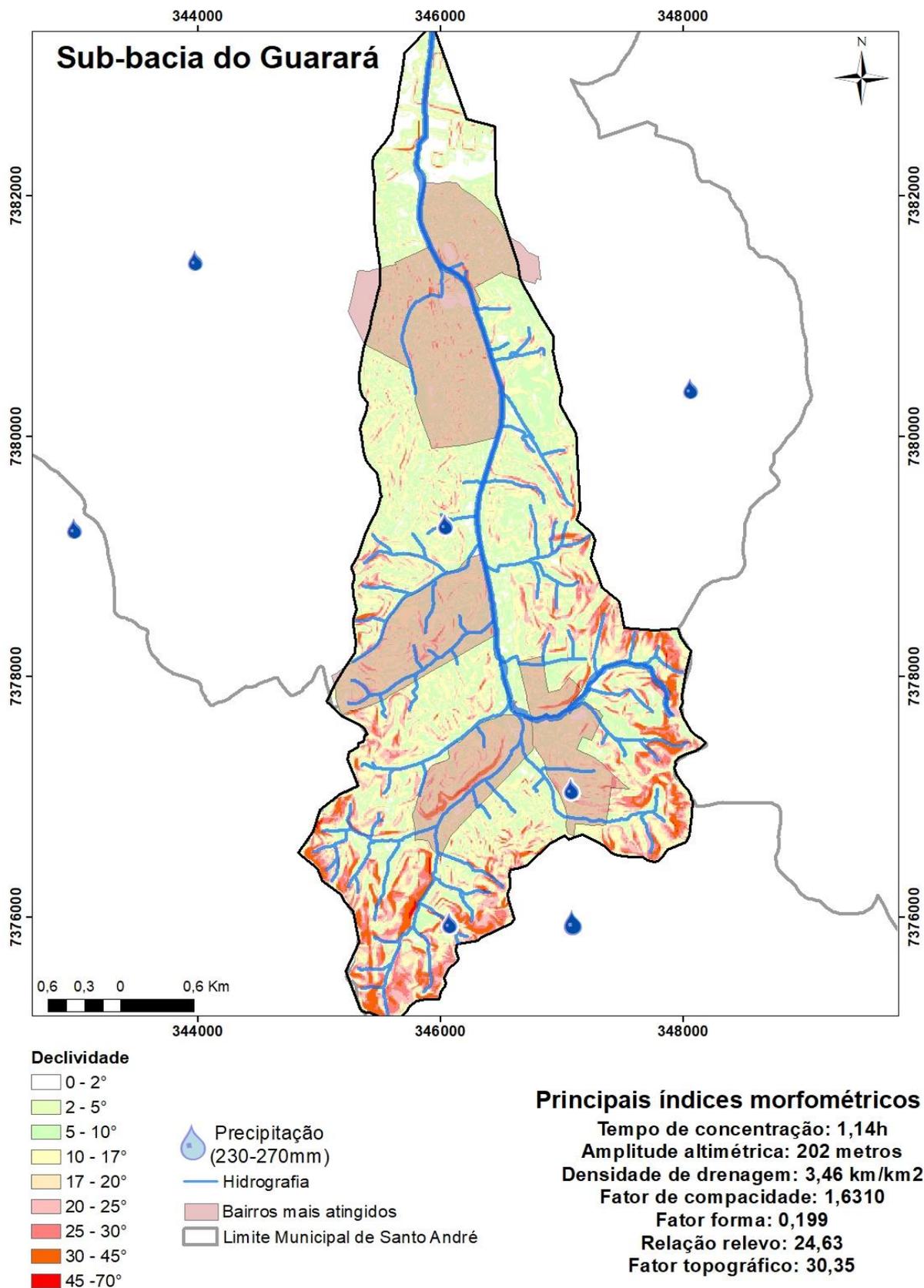
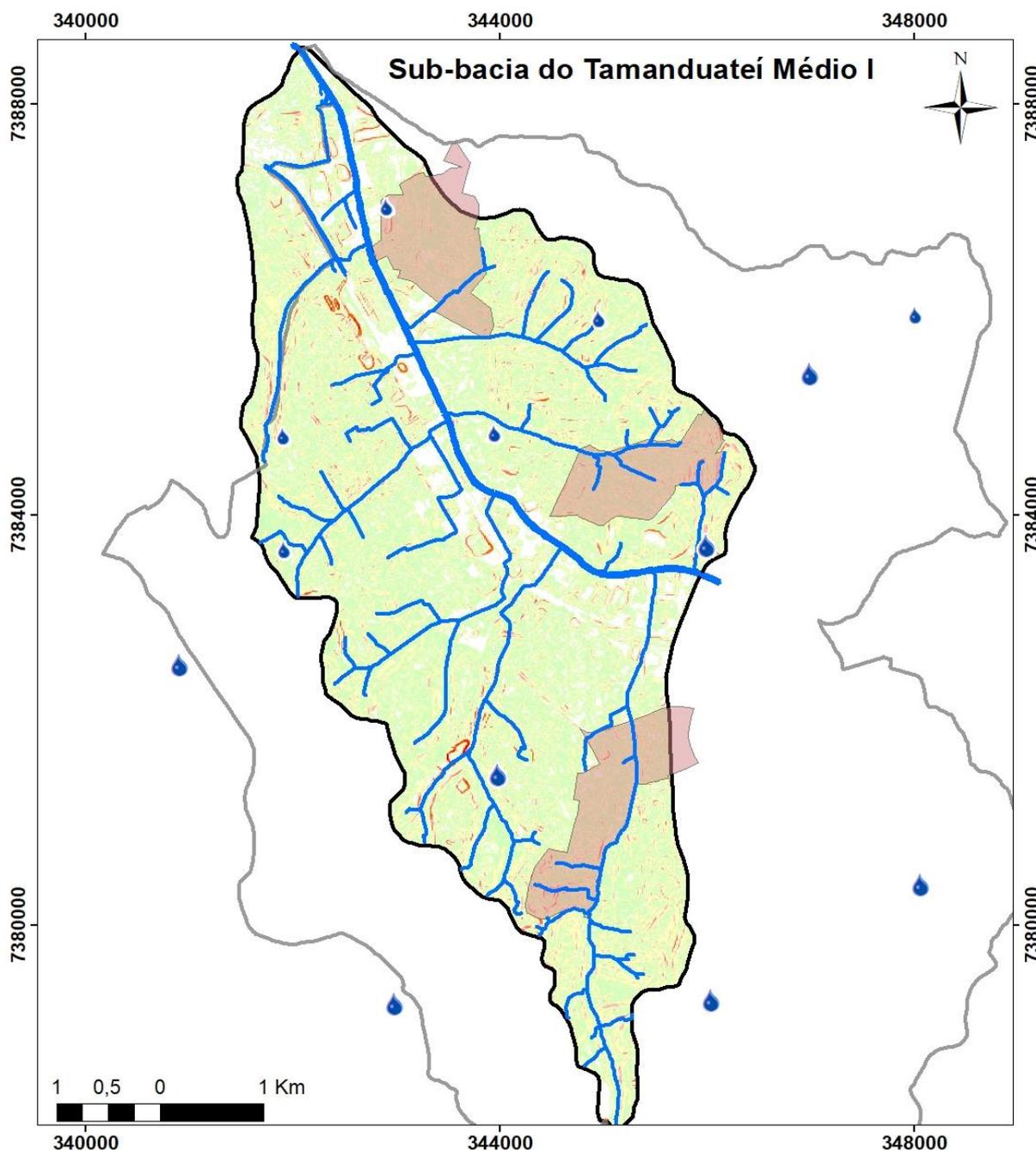


Figura 54- Mapa temático da sub-bacia do Tamanduateí Médio I

**Declividade**

- 0 - 2°
- 2 - 5
- 5 - 10
- 10 - 17
- 17 - 20
- 20 - 25
- 25 - 30
- 30 - 45
- 45 - 70



Precipitação  
(230mm - 260mm)



Hidrografia



Bairros mais atingidos



Limite Municipal de Santo André

**Principais índices morfométricos**

Tempo de concentração: 1,99h  
 Amplitude altimétrica: 98 metros  
 Densidade de drenagem: 2,07 km/km<sup>2</sup>  
 Fator de compacidade: 1,44289  
 Fator forma: 0,229  
 Relação relevo: 8,9  
 Fator topográfico: 11,13

Figura 55– Mapa temático da sub-bacia do Oratório

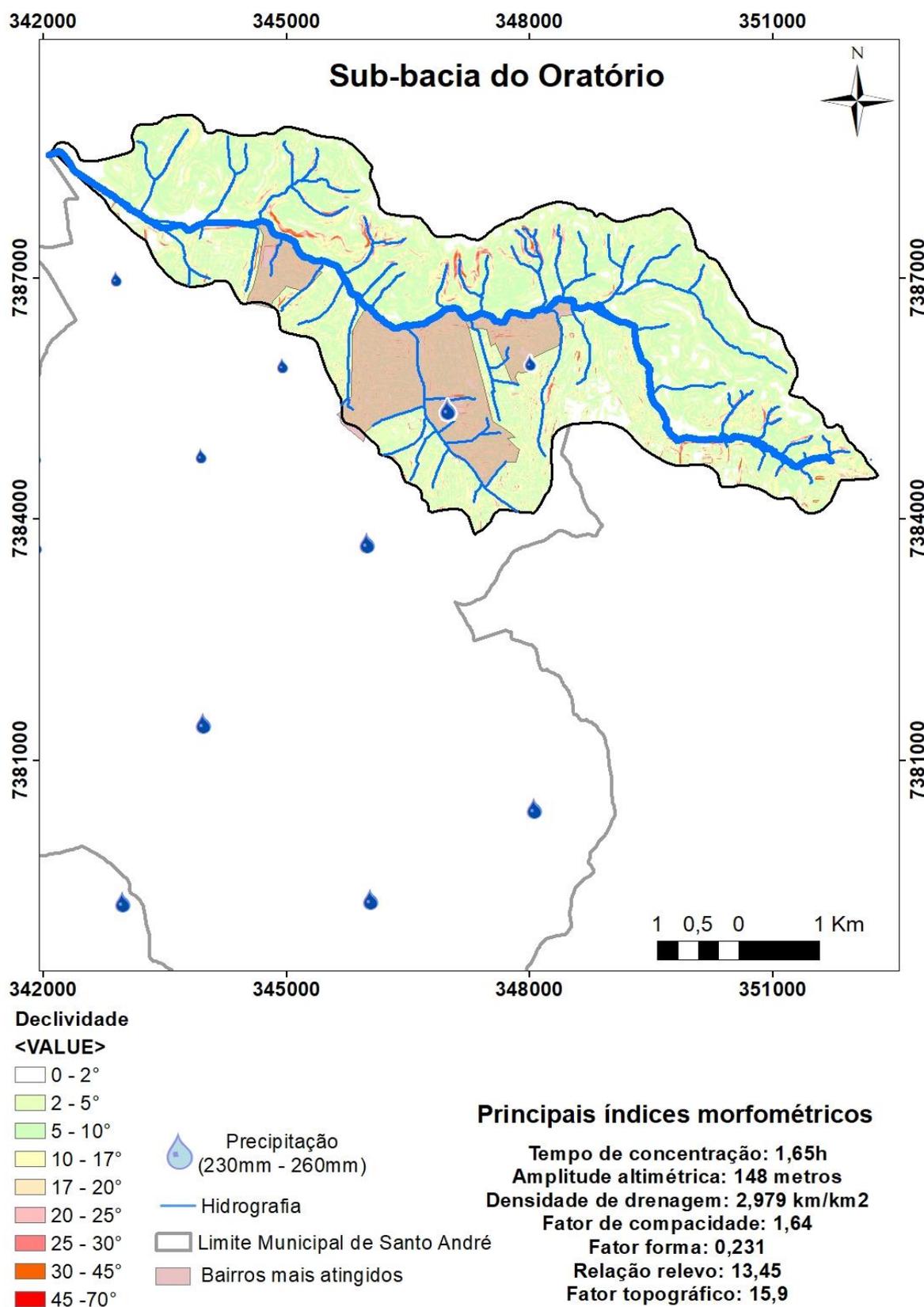
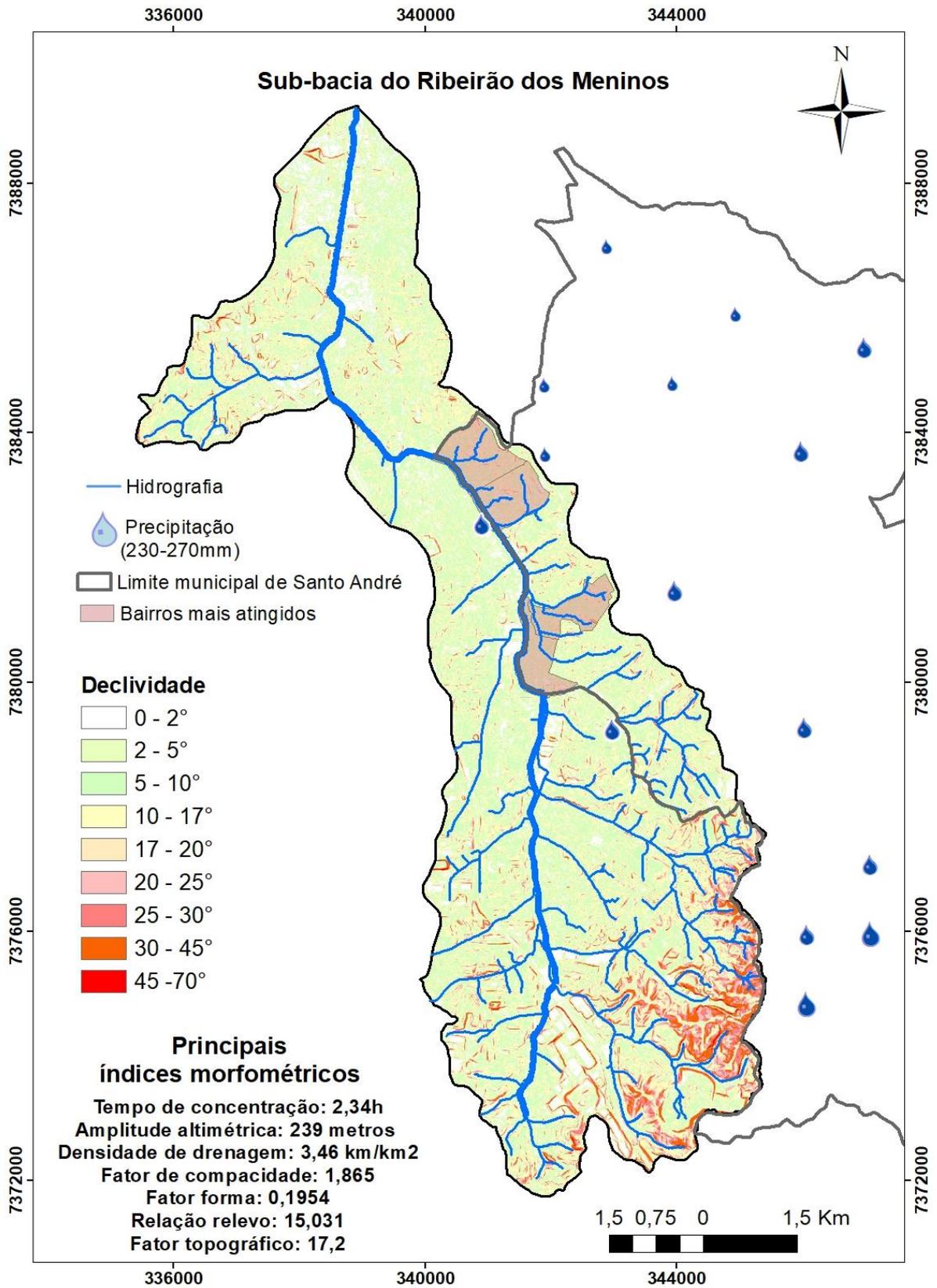


Figura 56- Mapa temático da sub-bacia do Ribeirão dos Meninos



## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse trabalho teve o objetivo de estudar as características morfométricas das sub-bacias urbanas que fazem parte do município de Santo André: sub-bacia do Guarará, Ribeirão dos Meninos, Oratório e Tamanduateí Médio I, e a relação desses parâmetros com as inundações que ocorrem na cidade.

A análise da ocorrência de eventos de inundação no município por meio do histórico da Defesa Civil durante o período de 2001 até 2016 indica que durante os meses de verão as inundações são mais frequentes e no inverno são mais escassas. O ano de 2010 foi o que mais apresentou eventos de inundação, sendo que em 2009 e 2010 ocorreu o fenômeno El Niño, o que aumentou as taxas de precipitação.

O estudo da situação mais recente demonstra que, segundo os registros da Defesa Civil, durante os anos de 2014 e 2015 os eventos diminuíram, enquanto que no ano de 2016 os fenômenos se intensificaram, o que pode ser explicado pela baixa taxa de pluviosidade nos anos de 2014 e 2015. Pelo fato de que em 2016 as inundações voltam a ocorrer de acordo com o registro da Defesa Civil demonstra que a medida que a taxa de pluviosidade aumenta, os fenômenos hidrometeorológicos também passam a ser mais frequentes. Como não foram obtidas informações acerca de melhorias no sistema de drenagem ou mesmo de medidas não-estruturais realizadas, não é possível relacionar esses fatores aos eventos registrados.

A sub-bacia do Guarará se destaca por apresentar grande parte dos casos de inundação no município de Santo André (47%). Dos quatro bairros mais atingidos, dois se encontram a jusante (Vila América e Vila Pires) e dois estão localizados a montante (Jardim Irene e Jardim Santo André). A análise morfométrica da sub-bacia do Guarará, através dos índices relacionados a geometria indica que a sub-bacia não seria propensa a sofrer com inundações. Analisando-se mais profundamente por meio dos índices relacionados ao relevo, como tempo de concentração, declive médio do riacho, fator topográfico e relação relevo, observou-se que esta sub-bacia teria maior propensão à inundações do que as sub-bacias vizinhas.

Observa-se que tanto em bairros com a urbanização mais consolidada, como é o caso da Vila América, quanto em bairros mais carentes, com a infraestrutura urbana mais precária, como o Jardim Irene, as inundações são recorrentes. Esse fato pode indicar no primeiro caso, problemas relacionados a rede de drenagem e no segundo caso a problemática das inundações pode estar relacionada a problemas sociais e econômicos, já que as populações mais carentes

ocuparam a área ribeirinha sem qualquer resguardo, evidenciado pela proximidade da Avenida Maurício Medeiros a um afluente do Guarará.

Com relação a sub-bacia do Tamanduateí Médio I, esta apresenta 20% do total de casos de inundação em Santo André, sendo dois bairros particularmente mais atingidos: Vila Alzira e Bairro Silveira, ambos localizados a montante da sub-bacia. Os dois possuem urbanização consolidada, mas sua localização indica que provavelmente o córrego responsável pelas inundações é o Apiaí e não o Tamanduateí.

A sub-bacia do Ribeirão dos Meninos, maior área de drenagem entre as sub-bacias de estudo, sendo que somente uma pequena porção ao leste pertence a Santo André, contabilizou 90 casos de inundação (29%) entre 2001 e 2016 no município citado, sendo os bairros mais atingidos o Jardim Bom Pastor, Vila Floresta, Vila Palmares e Vila Sacadura Cabral, estando esses quatro bairros relativamente próximo entre si, na porção mais a jusante. A maioria dos índices morfométricos, principalmente aqueles relacionados a forma, indica que entre as quatro sub-bacias analisadas esta seria a menos propensa a inundações.

Os índices morfométricos da sub-bacia do Oratório não indicam que a área de drenagem seria menos propensa a enchentes, sendo que inclusive seu tempo de concentração é menor do que das sub-bacias do Ribeirão dos Meninos e Tamanduateí Médio I, no entanto, os piscinões administrados pelo DAEE que operam dentro e a montante desta sub-bacia, possuem capacidade muito superior de retenção de água do que os localizados nas outras áreas de drenagem.

A espacialização das chuvas para os verões de 2014 a 2017 demonstra que o mês de janeiro possui as maiores taxas de precipitação, corroborado pelo padrão climatológico, além do mês de dezembro ser aquele com menor taxa de pluviosidade. Entre as principais variações entre o padrão climatológico e a espacialização para os verões específicos, observa-se que a porção sul teve menores valores de precipitação em comparação a região norte na interpolação para os verões, assim como a região sudeste com menores valores de chuva. Pela espacialização das chuvas, foi possível observar que onde se localiza a sub-bacia do Guarará não foram encontrados os maiores valores de chuva, além de própria variação de valores dentro da área, sendo a porção a jusante com precipitação mais intensa. Observou-se também que a porção nordeste teve maiores precipitações do que as outras áreas, onde se insere a sub-bacia do Oratório. Na sub-bacia do Guarará foi construído o piscinão da Vila América, além dos microrreservatórios presentes na mesma. Na sub-bacia do Tamanduateí Médio I existe um piscinão localizado no Bairro Santa Terezinha, que apesar de ter sido construído em 1995, o local apresentou seu último registro pela Defesa Civil apenas no ano de 2012.

Ainda referente à chuva e sua relação com os eventos de inundação, foi constatado que os eventos se associaram mais com precipitações ocorridas no dia do evento e com cinco dias de chuva acumulada, sendo os intervalos de 15-30, 31-50 e 51-70 mm aqueles que se associaram com maior frequência aos eventos. Ainda, foram comparados os valores de precipitação diária com os percentis 85% e 99%, sendo possível observar que muitos eventos ocorreram ultrapassando os valores dos percentis, o que indica grande potencial das chuvas causarem inundações, de acordo com os trabalhos anteriores (NEVES 2016).

Ao comparar as sub-bacias do Tamanduateí Médio I e Guarará, observam-se cenários distintos. Embora as duas estejam inteiramente urbanizadas, a sub-bacia do Guarará se localiza em terreno geológico diferente, se assentando em sua maior parte sobre rochas metamórficas, enquanto que a sub-bacia do Tamanduateí Médio está sobre sedimentos Terciários e Quaternários, o que torna seu relevo menos acidentado, com menor declividade, maior permeabilidade, podendo ser menos suscetível às inundações. A sub-bacia do Guarará possui maior número de casos de inundação registrados pela Defesa Civil, mas seria menos suscetível a inundações pela sua forma. Ao analisar os índices relacionados ao relevo, esta sub-bacia teria maior probabilidade a inundações do que a sub-bacia do Tamanduateí Médio I.

Por meio dos resultados encontrados que incluíram análise dos dados históricos dos eventos, estudo das características morfométricas das sub-bacias, em conjunto com o estudo das chuvas, pode-se concluir que a sub-bacia do Guarará é topograficamente mais suscetível às inundações do que as sub-bacias vizinhas. Além disso, sua localização na área central totalmente urbanizada, projetos de drenagem inadequados e medidas estruturais que não possuem capacidade para lidar com o escoamento das águas pluviais provenientes das precipitações intensas que ocorrem durante os meses de verão, favorecem a intensificação da ocorrência dos eventos hidrometeorológicos. As demais sub-bacias possuem menor propensão a enchentes por meio dos fatores morfométricos, a citar a sub-bacia do Oratório. Porém, o fato da Defesa Civil de Santo André ter registrado poucos casos de inundações na sub-bacia do Oratório não significa que outros eventos não tenham ocorrido, mas sim que o registro não foi feito. Além disso, não se teve informação de ocorrência de inundações na porção da sub-bacia que se encontra no município de São Paulo.

Os mapas temáticos permitiram visualizar a junção das informações referentes à declividade, hidrografia, bairros mais atingidos e precipitação, sendo possível visualizar de forma generalizada a interposição dessas características para compreender o cenário das inundações na área urbana de Santo André. Observa-se pelos mapas que a porção sul da cidade de Santo André possui maiores declividades, com alguns dos bairros mais atingidos

por inundações localizados nessa região, sendo que a própria ocupação dessas áreas de maior declive próximo da margem de córregos favorece a erosão e conseqüente assoreamento dos bairros a jusante. Além disso, observa-se maior taxa de precipitação a montante.

Diante desses resultados, recomenda-se aprofundar os estudos no que se refere ao comportamento da chuva na montante e jusante, por meio de informações de chuva obtidas dos pluviômetros do CEMADEN para cada uma das sub-bacias, assim como trabalhar com medidas de vazão ou cota para monitorar com maior precisão a ocorrência chuva – inundação. Além disso, é necessário que se obtenha informações dos fenômenos hidrometeorológicos dos municípios vizinhos, já que as sub-bacias se localizam em mais de uma cidade.

É necessário trabalhar os históricos da Defesa Civil, de forma a diferenciar os eventos entre inundação, enchente ou alagamento, que são processos distintos. Também é importante que sejam elaborados estudos e planos para controle e prevenção das inundações na cidade de Santo André a nível de sub-bacias, principalmente no que concerne à rede de drenagem e as medidas estruturais e não-estruturais para a prevenção e mitigação desses fenômenos, que como demonstrado nesse estudo, são recorrentes e necessitam de maior atenção das políticas públicas.

Finalmente, é necessário criar políticas habitacionais que controlem a ocupação irregular nas áreas de fundo de vale e margens de córregos de alta declividade, cuja erosão favorece o assoreamento dos rios, além do controle do lixo urbano e entulhos de construção civil, agravando os problemas de inundação. Também é necessária a ampliação e atualização da rede de drenagem, que atualmente se mostra incapaz de dar vazão à quantidade de escoamento superficial oriundo das precipitações, que é agravado pela quase que total impermeabilização da superfície da cidade, comprovando que o grau de antropização em conjunto com a inadequação dos projetos urbanos pode ser o maior agravante das inundações.

## 6 REFERÊNCIAS

ARCHELA, Rosely Sampaio; THÉRY, Hervé. Orientação metodológica para construção e leitura de mapas temáticos. **Confins [Online]**, v. 3, 2008.

ALVES, Paula.; CASTRO, Amorim. Influência de feições geológicas na morfologia da bacia do rio Tanque (MG) baseada no estudo de parâmetros morfométricos e análise de padrões de lineamentos. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 33, n. 2, p. 117-127, 2003.

BARBOSA JR, Antenor Rodrigues. Elementos de Hidrologia Aplicada. 2007. Disponível em: [http://www.em.ufop.br/deciv/departamento/~antenorrodrigues/12\\_Bacia%20hidrografica.pdf](http://www.em.ufop.br/deciv/departamento/~antenorrodrigues/12_Bacia%20hidrografica.pdf) Acesso em: 31 de maio 2017.

BOMBASSARO, Magno. Contribuição Geográfica para o Estudo das Inundações na Bacia Hidrográfica do Rio Taquari-Antas, RS. **Geografias: Artigos Científicos**, Belo Horizonte, p.69-86, jul/dez 2010.

BRUBACHER, João Paulo; OLIVEIRA, Guilherme. Garcia.; GUASSELLI, Laurindo Antonio. Suscetibilidade de enchentes a partir da análise das variáveis morfométricas na bacia hidrográfica do rio dos Sinos/RS. **XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO-SBSR**, p. 1279-1286, 2011.

CASTRO, Antônio Luiz Coimbra de. **MANUAL DE DESASTRES: DESASTRES NATURAIS**. Brasília: Ministério da Integração Nacional, 2003. 174 p. Disponível em: <[http://www.integracao.gov.br/c/document\\_library/get\\_file?uuid=47a84296-d5c0-474d-a6ca-8201e6c253f4](http://www.integracao.gov.br/c/document_library/get_file?uuid=47a84296-d5c0-474d-a6ca-8201e6c253f4)>. Acesso em: 10 abr. 2016.

CAVALCANTI, Iracema et al. **Tempo e clima no Brasil**. Oficina de textos, 2016.

CENTRO NACIONAL DE GERENCIAMENTO DE RISCOS E DESASTRES. **Anuário Brasileiro de Desastres Naturais**. Brasília, 2012. Disponível em: <[http://www.integracao.gov.br/c/document\\_library/get\\_file?uuid=f22cccd-281a-4b72-84b3-654002cff1e6&groupId=185960](http://www.integracao.gov.br/c/document_library/get_file?uuid=f22cccd-281a-4b72-84b3-654002cff1e6&groupId=185960)>. Acesso em: 25 abr. 2016.

CHRISTOFOLETTI, Antonio. FILHO, Archimedes Peres –Estudo sobre a Forma de Bacias Hidrográficas–. **Boletim de Geografia Teórica, Rio Claro**, v. 5, n. 9-10, p. 83-92, 1975.

\_\_\_\_\_. A análise de bacias hidrográficas. **Geomorfologia**, Blucher. v. 2, p. 102-121, 1980.

COELHO, Caio.; CARDOSO, Denis; FIRPO, Mari. A seca de 2013 a 2015 na região sudeste do Brasil. **Climanálise –Edição Especial de 30 anos**, p. 55-61, 2016.

COLLISCHONN, Walter; TASSI, Rutinéia. **Introduzindo Hidrologia**. 5. ed. Porto Alegre: Iph Ufrgs, 2008. 149 p. Disponível em: <[http://www.ctec.ufal.br/professor/crfj/Pos/Hidrologia/apostila\\_Completa\\_2008.pdf](http://www.ctec.ufal.br/professor/crfj/Pos/Hidrologia/apostila_Completa_2008.pdf)>. Acesso em: 28 mar. 2016.

COMITÊ, DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO. TIETÊ. Plano de bacia hidrográfica do Alto Tietê. **São Paulo: Fundação de apoio à Universidade de São Paulo (FUSP)**, 2009.

COMITÊ, DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO TIETÊ. **Plano de Bacia do Alto Tietê: relatório final**, 2002.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. 2017. **Cartas de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações**. 2017. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/Gestao-Territorial/Geologia-de-Engenharia-e-Riscos-Geologicos/Cartas-de-Suscetibilidade-a-Movimentos-Gravitacionais-de-Massa-e-Inundacoes-3507.html>>. Acesso em: 01 jul. 2017.

DAVIS, Bruce Ellsworth. **GIS: A visual approach**. Cengage Learning, 2001.

**DIÁRIO DO GRANDE ABC: Canalização é finalizada, mas urbanização não chega a Vl. Luzita**. Santo André, 12 mar. 2014. Disponível em: <<http://www.dgabc.com.br/Noticia/515792/canalizacao-e-finalizada-mas-urbanizacao-nao-chega-a-vl-luzita>>. Acesso em: 15 dezembro 2017.

\_\_\_\_\_: **Tamarutaca terá parque linear**. Santo André, 11 jul. 2015. Disponível em: <<http://www.dgabc.com.br/Noticia/1586852/tamarutaca-tera-parque-linear>>. Acesso em: 15 maio 2017.

\_\_\_\_\_: **Sujeira em córrego e piscinão oferece risco a moradores**. Santo André, 03 set. 2015. Disponível em: <<http://www.dgabc.com.br/Noticia/1575084/sujeira-em-corrego-e-piscinao-oferece-risco-a-moradores>> Acesso em: 29 set 2017.

EMPRABA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Subsuperficiais: Horizonte B textural (bt)**. 2017. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/solos/sibcs/horizontes-diagnosticos/subsuperficiais>>. Acesso em: 18 dez. 2017.

ESRI (United States). **FAQ: What is the difference between a shapefile and a layer file?** 2017. Disponível em: <<http://support.esri.com/technical-article/000011516>>. Acesso em: 15 maio 2017.

FARHAN, Yahya; ANABA, Omar. Flash Flood Risk Estimation of WadiYutum (Southern Jordan) Watershed Using GIS Based Morphometric Analysis and Remote Sensing Techniques. **Open Journal of Modern Hydrology**, v. 6, n. 02, p. 79, 2016.

FARIAS, Roberto Nascimento de et al. Análise morfométrica e de usos do solo da bacia hidrográfica do arroio candiota. **Pesquisas em Geociências**, Porto Alegre, v. 2, n. 42, p.159-172, maio 2015.

FERNANDES, Julia; VALVERDE Maria Cleofé. Estudo hidro-climatológico da bacia do Rio Tamandateí: impactos das fortes chuvas no nível da água dos rios em Santo André/SP. In: V ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UFABC, 2015, Santo André. V ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UFABC, 2015.

FREITAS, Gabriel Vendruscolo de. A bacia hidrográfica como unidade territorial para o planejamento e gestão ambiental: estudo da bacia hidrográfica do Ribeirão Preto no município de Ribeirão Preto-SP. **Dialogus. Ribeirão Preto**, v. 1, n. 2, p. 65-84, 2006.

FUNK, Chris et al. The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes. **Scientific data**, v. 2, p. 150066, 2015.

G1 SÃO PAULO. **Chuva abre buraco que 'engole' poste em ponte em Santo André, no ABC: Córrego do Oratório transbordou e espalhou lixo e entulho pelas ruas**. 2017. Disponível em: <<https://g1.globo.com/sao-paulo/noticia/chuva-abre-buraco-que-engole-poste-em-ponte-em-santo-andre-no-abc.ghml>>. Acesso em: 19 nov. 2017.

GONÇALVES, Marina Bombachini. **Qualidade urbana em assentamentos de ocupação de baixa renda: O caso do Complexo do Jardim Irene, em Santo André, SP**. 2009. 190 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, São Judas Tadeu, São Paulo, 2009.

GOUVEIA, Isabel Cristina Moroz Caccia. **Da originalidade do sítio urbano de São Paulo às formas antrópicas: aplicação da abordagem da Geomorfologia Antropogênica na Bacia Hidrográfica do Rio Tamanduateí, na Região Metropolitana de São Paulo**. 2010. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

GROSTEIN, Marta Dora. Metrôpole e expansão urbana: a persistência de processos "insustentáveis". **São Paulo em perspectiva**, v. 15, n. 1, p. 13-19, 2001.

HIRUMA, Silvio Takashi; PONÇANO, Waldir Lopes. Densidade de drenagem e sua relação com fatores geomorfo-pedológicos na área do alto Rio Pardo-SP e MG. **Revista do Instituto Geológico**, v. 15, n. 1/2, p. 49-57, 1994.

HEILBRON, Monica et al. Província Mantiqueira. **Geologia do continente sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**, p. 203-235, 2004.

HOWARD, Arthur David. Drainage analysis in geologic interpretation: a summation. **AAPG bulletin**, v. 51, n. 11, p. 2246-2259, 1967.

INFOCLIMA. **Boletim de Informações Climáticas do CPTEC/INPE**. MCT/INPE/CPTEC. Ano 17, Número 01, 2010. Disponível em: <[http://infoclima1.cptec.inpe.br/~rinfor/pdf\\_infoclima/201001.pdf](http://infoclima1.cptec.inpe.br/~rinfor/pdf_infoclima/201001.pdf)>. Acessado em 23/11/2017.

JAKOB, Alberto Augusto Eichman; YOUNG, Andrea Ferraz. O uso de métodos de interpolação espacial de dados nas análises sociodemográficas. **Anais**, p. 1-22, 2016.

JAVIER, Julie Rose. et al. Flash Flooding in the Philadelphia Metropolitan Region. **Journal Of Hydrologic Engineering**, [s.l.], v. 15, n. 1, p.29-38, jan. 2010. American Society of Civil Engineers (ASCE).

JUNIOR, Sebastião Ney Vaz; PEREIRA, Norma Gebran; BOTACINI, Silvia Maria. Plano diretor de drenagem do município de Santo André. In: **Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 20ª Feira Internacional de Tecnologias de Saneamento Ambiental**, 3. ABES, 1999. p. 1-8.

KOBIYAMA, Masato et al. **PREVENÇÃO DE DESASTRES NATURAIS: Conceitos Básicos**. Curitiba: Organic Trading, 2006. 109 p. Disponível em:

<[http://www.labhidro.ufsc.br/Artigos/desastres\\_naturais\\_conceitos.pdf](http://www.labhidro.ufsc.br/Artigos/desastres_naturais_conceitos.pdf)>. Acesso em: 10 abr. 2015.

LANDIM, PAULO M. BARBOSA. Introdução aos métodos de estimação espacial para confecção de mapas. **DGA, IGCE, UNESP/Rio Claro, Lab. Geomatématica, Texto Didático**, v. 2, p. 20, 2000.

LINSLEY, Ray, KOHLER, Max, PAULHUS, Joseph. *Hydrology for Engineers*. 2 ed., New York, McGraw-Hill. 482p. 1975.

MACHADO, Gilnei; SOUZA, João Oliveira. Análise morfométrica da bacia hidrográfica do rio Chôco–Ibaiti–PR. **Anais do X Encontro de Geógrafos da América Latina. Universidade de São Paulo**, p. 8366-8382, 2005.

MACHADO, Ricardo Augusto Souza et al. Análise morfométrica de bacias hidrográficas como suporte a definição e elaboração de indicadores para a gestão ambiental a partir do uso de geotecnologias. **Anais do XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR, Curitiba**, 2011.

MACEDO, Eduardo Soares de et al. **Mapeamento de Riscos em Encostas e Margens de Rios**. Brasília: Ministério das Cidades/instituto de Pesquisas Tecnologias - IPT, 2007. 176 p.

MAGALHÃES JÚNIOR, A. P. **Indicadores ambientais e recursos hídricos: realidade e perspectivas para o Brasil a partir da experiência francesa**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007, 688p.

MELLO, Carlos Rogério de. et al. Krigagem e inverso do quadrado da distância para interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 27, n. 5, p. 925-933, 2003a.

MORISAWA Marie E. **Quantitative Geomorphology of Some Watersheds in the Appalachian Plateau**. *Geological Society of America Bulletin*, vol. 73, issue 9, p. 1025. 1975

**NASCENTE: Jornal Interno do SEMASA**. Santo André, set. 2016.

NEVES, Rafael Antônio Teixeira das. **O combate às enchentes no município de Santo André/SP: caracterização socioambiental do problema e subsídios dos afetados ao planejamento das ações de Defesa Civil**. 2008. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

NEVES, Bianca Ferreira. **Estudo das inundações no município de Santo André e sua relação com as chuvas intensas**. 2016. 99 f. Monografia - Curso de Eng. Ambiental e Urbana, Universidade Federal do Abc, Santo André, 2017.

OLIVEIRA, Paulo Tarso Sanches de et al. Caracterização morfométrica de bacias hidrográficas através de dados SRTM. 2010.

PREFEITURA DE SANTO ANDRÉ. **Anuário de Santo André 2013**. Secretaria de Desenvolvimento Econômico e Trabalho & Secretaria de Comunicação. Disponível em:

<http://www2.santoandre.sp.gov.br/index.php/2014-09-10-19-59-37/publicacoes/category/3-anuarios-de-santo-andre>. Acesso em: 26/04/2016.

\_\_\_\_\_. **Canalização do Córrego Guarará chega à estrada do Cata Preta**. 2013. Disponível em: <<http://www2.santoandre.sp.gov.br/index.php/component/k2/item/7104-canalizacao-do-corrego-guarara-chega-a-estrada-do-cata-preta>>. Acesso em: 01 dez. 2017.

\_\_\_\_\_. **Cidade:** Geografia. 2016. Disponível em: <<http://www2.santoandre.sp.gov.br/index.php/cidade-de-santo-andre/geografia>>. Acesso em: 22 abr. 2016.

RITTER, Dale, Craig. KOCHER, and Jerry MILLER. *Process Geomorphology*, 3rd ed., 546 pp., W. C. Brown, Dubuque, Iowa. 1995.

RODRIGUEZ, Sergio Kleinfelder. **Geologia urbana da região metropolitana de São Paulo**. 1998. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

SANTOS, Magda Carmo dos. **Águas Revoltas: história das enchentes em Santo André**. Santo André. Prefeitura Municipal, 2002.

SANTOS, Agenor Micaeli et al. Análise morfométrica das sub-bacias hidrográficas Perdizes e Fojo no município de Campos do Jordão, SP, Brasil. **Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 7, n. 3, 2012.

SANTOS, Álvaro Rodrigues dos. Enchentes e deslizamentos: causas e soluções. **São Paulo: Pini.[Links]**, 2012.

SANTOS, Clodoaldo Leonardo; VALVERDE, María Cleofé; CORDEIRO, Denival Rodrigues. **INUNDAÇÕES URBANAS: ESTUDO DE CASO EM SANTO ANDRÉ DO ABC PAULISTA**. In: 14º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 2013, Rio de Janeiro. 14º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 2013.

SCHEUER, Junior Miranda; NEVES, Sandra Mara Alves da Silva. Planejamento urbano, áreas verdes e qualidade de vida. **Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade**, v. 11, n. 05, p. 74-89, 2016.

SCHMITT, Aldrei; MOREIRA, Carlos Roberto. Manejo e gestão de bacia hidrográfica utilizando o software gratuito Quantum-GIS. **Revista Cultivando o saber**, p. 125-137, 2015.

SCHUMM, Stanley Alfred. The evolution of drainage systems and slopes in bad lands at Perth, Amboi, New Jersey. *Geol. Soc. Ame. Bull.* 67 (5), pp. 597-646, 1956.

SEMASA, Serviço Municipal de Saneamento Ambiental de Santo André **Balanco final do POCV 2014/2015 - Defesa Civil de Santo André/Semasa**. 2015. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/SemasaSantoAndre/balano-final-do-pocv-20142015-defesa-civi-de-santo-andrsemasa>>. Acesso em: 14 maio 2017.

\_\_\_\_\_: Proteção e Defesa Civil. Artigo 2. **Informes da Operação Chuva de Verão**. Disponível em: <<http://www.semasa.sp.gov.br/protecao-e-defesa-civil/boletim-informativo-da-defesa-civil/artigos-do-boletim-da-defesa-civil/artigo-2/>>. Acessado em: 30/11/2016.

\_\_\_\_\_. **Drenagem:** Piscinões. 2017. Disponível em: <<http://www.semasa.sp.gov.br/drenagem/macrodrenagem/piscinoes/>>. Acesso em: 23 abr. 2017.

SILVA, Daniel dos Santos; PEREIRA FILHO, Augusto José; HALLAK, Ricardo. Classificação de sistemas meteorológicos e comparação da precipitação estimada pelo radar e medida pela rede telemétrica na Bacia Hidrográfica do Alto Tietê. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, n. 3, p. 292-307, 2009.

SILVA-SÁNCHEZ, Solange; JACOBI, Pedro R. Políticas de recuperação de rios urbanos na cidade de São Paulo: possibilidades e desafios. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, v. 14, n. 2, p. 119-132, 2013.

SILVEIRA, Vanessa Salvadé; ROBAINA, Luis Eduardo de Souza; TRENTIN, Romário. ESTUDO DAS INUNDAÇÕES NA CIDADE DE SÃO GABRIEL, RS. **Geo Uerj**, [s.l.], n. 26, p.270-287, 21 ago. 2015. Universidade de Estado do Rio de Janeiro.

SOARES, Paulo Cesar; FIORI, Alberto Pio. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. **Notícia Geomorfológica**. v. 16, p. 71-104, 1976.

SOARES, João Vianeí. **Introdução a Hidrologia de Florestas**. 2004. Disponível em: <[www.dsr.inpe.br/dsr/vianeí/hidrologia/PPTs\\_PDFs/](http://www.dsr.inpe.br/dsr/vianeí/hidrologia/PPTs_PDFs/)>. Acesso em: 24 set. 2015.

SOARES, Leonardo Silva et al. ANÁLISE MORFOMÉTRICA E PRIORIZAÇÃO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS COMO INSTRUMENTO DE PLANEJAMENTO AMBIENTAL INTEGRADO. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 31, p. 82-100, 2016.

TARIFA, José. Roberto.; ARMANI, Gustavo. Unidades climáticas naturais. **Os climas na cidade de São Paulo**. São Paulo: FFLCH-USP, 2001.

TEHRANY, Mahyat Shafapour et al. Flood susceptibility mapping using integrated bivariate and multivariate statistical models. **Environ Earth Sci**, [s.l.], v. 72, n. 10, p.4001-4015, 4 maio 2014. Springer Science + Business Media.

TRAVASSOS, Luciana Rodrigues Fagnoni Costa. **Revelando os rios: novos paradigmas para a intervenção em fundos de vale urbanos na Cidade de São Paulo**. 2010. Tese (Doutorado em Ciência Ambiental) - Ciência Ambiental, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. doi:10.11606/T.90.2010.tde-22102010-104858. Acesso em: 2017-02-17.

TEODORO, Valter Luiz Iostet al. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista UNIARA**, v. 20, p. 137-156, 2007.

THOMPSON, Steven. Sampling. New York, Wiley-Interscience Publication, 1992. 343p.

TOMAZ, Plínio. Curso de manejo de águas pluviais. **Guarulhos: Plínio Tomaz**, 2013.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. Água no meio urbano. Livro *Água Doce*, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1997

\_\_\_\_\_. Drenagem Urbana. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 55, n. 4, 2003. Disponível em: <[http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0009-67252003000400020](http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252003000400020)>. Acesso em: 9 abr. 2016.

\_\_\_\_\_. Gestão da drenagem urbana/Carlos E. M. Tucci. Brasília, DF: CEPAL. Escritório no Brasil/IPEA, 2012. (Textos para Discussão CEPAL-IPEA, 48). 50p.

WRIGHT, Daniel. et al. Hydroclimatology of flash flooding in Atlanta. **Water Resources Research**, v. 48, n. 4, 2012.

YAMAMOTO, Jorge Kazuo; LANDIM, Paulo M. Barbosa. **Geoestatística: conceitos e aplicações**. Oficina de Textos, 2015.

YOUSSEF, Ahmed; PRADHAN, Biswajeet; SEFRY, Saleh A. Flash flood susceptibility assessment in Jeddah city (Kingdom of Saudi Arabia) using bivariate and multivariate statistical models. **Environ Earth Sci**, [s.l.], v. 75, n. 1, 18 dez. 2015. Springer Science + Business Media.

VALVERDE, Maria Cleofé *et al.*, (2017). **Regionalização da precipitação em ambientes urbanos com vista à determinação de limiares deflagradores de eventos de inundação e deslizamentos: apoio à prevenção de desastre no ABC Paulista**. Universidade Federal do ABC, Santo André. 2017.

VILLELA, Swami Marcondes; MATTOS, Arthur. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo: Mcgraw-hill, 1975. 245 p.