

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE  
CAMPINAS**

**CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS, AMBIENTAIS E DE  
TECNOLOGIAS PROGRAMA DE POS-GRADUAÇÃO  
STRICTO SENSU EM SISTEMAS DE INFRAESTRUTURA  
URBANA**

**LEONARDO DA SILVA GRANZIERA**

**INFLUÊNCIA DA OCUPAÇÃO URBANA NO  
ESCOAMENTO SUPERFICIAL:  
ESTUDO DE CASO EM PIRACICABA -SP**

**CAMPINAS**

**2021**

**LEONARDO DA SILVA GRANZIERA**

**INFLUÊNCIA DA OCUPAÇÃO URBANA NO  
ESCOAMENTO SUPERFICIAL  
ESTUDO DE CASO EM PIRACICABA -SP**

Dissertação apresentada como exigência para obtenção do título de Mestre em Sistemas de infraestrutura urbana, Programa de Pós-graduação Stricto Sensu em Sistemas de infraestrutura urbana, do Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias, da Pontifícia Universidade Católica de Campinas.

Orientador: Prof. Dr. Marcius Fabius de Carvalho

Coorientadora: Profa. Claudia Cotrim Pezzuto

**PUC-CAMPINAS**

**2021**

Ficha catalográfica elaborada por Vanessa da Silveira CRB 8/8423  
Sistema de Bibliotecas e Informação - SBI - PUC-Campinas

711.4 Granziera, Leonardo da Silva  
G765i

Influência da ocupação urbana no escoamento superficial: estudo de caso em Piracicaba - SP / Leonardo da Silva Granziera. - Campinas: PUC-Campinas, 2021.

49 f.: il.

Orientador: Marcius Fabius H. de Carvalho; Coorientador: Cláudia C. Pezzuto.

Dissertação (Mestrado em Sistemas de Infraestrutura Urbana) - Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbana, Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologia, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2021.

Inclui bibliografia.

1. Planejamento urbano. 2. Drenagem. 3. Inundações. I. Carvalho, Marcius Fabius H. de. II. Pezzuto, Cláudia C. III. Pontifícia Universidade Católica de Campinas. Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbana. IV. Título.

CDD - 22. ed. 711.4

# INFLUÊNCIA DA OCUPAÇÃO URBANA NO ESCOAMENTO SUPERFICIAL: ESTUDO DE CASO EM PIRACICABA - SP

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Sistemas de Infraestrutura Urbana do Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias da Pontifícia Universidade Católica de Campinas como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Sistemas de Infraestrutura Urbana.

Área de Concentração: Sistemas de Infraestrutura Urbana.

Orientador (a): Prof. (a). Dr. (a). Marcius Fabius Henriques de Carvalho.

Coorientador (a): Cláudia Cotrim Pezzuto.

Dissertação defendida e aprovada em 30 de março de 2021 pela Comissão Examinadora constituída dos seguintes professores:



---

Prof. Dr. Marcius Fabius Henriques de Carvalho  
Orientador da Dissertação e Presidente da Comissão Examinadora  
Pontifícia Universidade Católica de Campinas



---

Profa. Dra. Lia Lorena Pimentel  
Pontifícia Universidade Católica de Campinas



---

Prof. Dr. Takao Suguiy  
Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer

**PUC-CAMPINAS**

**2021**

**Pontifícia Universidade Católica de Campinas Centro  
de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias Programa de Pós-  
Graduação Stricto Sensu em Sistemas de Infraestrutura Urbana**

Autor: GRANZIERA, Leonardo da Silva

Influência da Ocupação Urbana no Escoamento Superficial: Estudo de Caso em Piracicaba -SP

Dissertação de Mestrado em Sistemas de infraestrutura urbana, Programa de Pós-graduação Stricto Sensu em Sistemas de infraestrutura urbana

**BANCA EXAMINADORA**

Presidente e Orientador Prof. Dr. Marcius Fabius Henriques de Carvalho

1º Examinador Prof. Dr. Takao Suguiy

2º Examinador Profa. Dra. Lia Lorena Pimentel

Campinas, 25 de março de 2021

## **Dedicatória**

Aos meus pais, Júlio Nicolau e Maria Aparecida,  
pelo exemplo e apoio em todos os momentos da minha  
formação, à minha Esposa Luana pelo companheirismo,  
e ao meu Filho Davi, que sempre foi e  
será minha motivação para continuar a  
estudar e não desistir, perante  
todos os desafios.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Prof. Dr. Marcius Fabius de Carvalho

Incentivador, guia e mestre sempre atento e aplicado na minha formação profissional, amigo sincero que sempre acreditou no meu potencial, em todos os momentos.

À Profa. Dra. Cláudia Cotrim Pezzuto,

Coorientadora, que veio a somar conhecimento, estímulos e importantes sugestões na minha formação profissional, acreditando também em meu trabalho.

À Profa. Dra. Regina Márcia Longo

Pelo apoio, colaboração, por acreditar no meu trabalho, em momentos importantes e decisivos de minha formação.

À Profa. Dra. Lia Lorena Pimentel

Pelo apoio, e confiança no meu trabalho.

"O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001".

“Comece fazendo o que é necessário, depois o  
que é possível, e de repente você estará  
fazendo o impossível”.  
São Francisco de Assis



## RESUMO

GRANZIERA, Leonardo da Silva. *Influência da Ocupação Urbana no Escoamento Superficial: Estudo de Caso em Piracicaba -SP*. 2021. Dissertação (Mestrado em Sistemas de infraestrutura urbana, Programa de Pós-graduação Stricto Sensu em Sistemas de infraestrutura urbana, do Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias, da Pontifícia Universidade Católica de Campinas, 2021).

Os eventos de inundação durante os períodos de chuvas fortes se intensificam com o crescimento urbano como resultado do aumento da impermeabilidade do solo e do escoamento superficial, levando a um aumento da vulnerabilidade das cidades. O objetivo desta dissertação é avaliar a correlação entre a precipitação pluviométrica, vazão fluvial do Rio Piracicaba e os impactos da ocupação urbana na ocorrência de enchentes no meio urbano da cidade de Piracicaba-SP, no período de 2002 a 2018. Os dados de dois pontos de vazão e um ponto para a precipitação foram disponibilizados através dos postos do DAEE- Departamento de Águas e Energia Elétrica. A análise dos dados durante o período de estudo apontou para uma tendência de acréscimo das vazões máximas, e um decréscimo nas precipitações acumuladas no período de amostragem. A análise do crescimento urbano foi realizada a partir de imagens históricas trabalhadas no software "Google Earth Pro", utilizando metodologia de fotointerpretação nos anos de 2007, 2011, 2016 e 2020. Os resultados indicaram aumento das ocupações urbanas dos bairros escolhidos para o estudo. Indicadores associados aos bairros Vale do Sol, Parque Residencial Piracicaba, Ondas, mostraram que a causa das inundações é consequência direta de uma ocupação sem planejamento, principalmente de áreas de drenagem natural e amortecimento de cheias, já os bairros Centro e Bairro Verde, não tiveram alterações nas condições de risco, apesar de estarem vulneráveis a alagamentos, por serem áreas consolidadas desde o início da análise.

Palavras-chave: *Ocupação Urbana, Precipitação, Drenagem Urbana, Inundação.*

## **ABSTRACT**

GRANZIERA, Leonardo da Silva. Influence of Urban Occupation on Surface Runoff: Case Study in Piracicaba -SP. 2021. Dissertation (Master's degree in Urban Infrastructure Systems, Stricto Sensu Graduate Program in Urban Infrastructure Systems, Center for Exact, Environmental and Technology Sciences, Pontifical Catholic University of Campinas, 2021.

Flood events during periods of heavy rainfall intensify with urban growth because of increased soil impermeability and surface runoff, leading to increased vulnerability of cities. The objective of this dissertation is to evaluate the correlation between rainfall, river flow of the Piracicaba River and the impacts of urban occupation on the occurrence of floods in the urban environment of the city of Piracicaba-SP, from 2002 to 2018. Data from two flow points and one point for precipitation were made available through the DAEE stations – Departamento de Águas e Energia Elétrica. Data analysis during the study period pointed to a trend of increase in maximum flows, and a decrease in accumulated precipitations in the sampling period. The analysis of urban growth was performed from historical images worked on the software "Google Earth Pro", using photointerpretation methodology in the years 2007, 2011, 2016 and 2020. The results indicated an increase in the urban occupations of the neighborhoods chosen for the study. Indicators associated with the neighborhoods Vale do Sol, Parque Residencial Piracicaba, Ondas, showed that the cause of flooding is a direct consequence of an occupation without planning, mainly of areas of natural drainage and flood damping, while the neighborhoods Centro and Bairro Verde, had no changes in risk conditions, despite being vulnerable to flooding, because they are consolidated areas since the beginning of the analysis.

Keywords: Urban Occupation, Precipitation, Urban Drainage, Flood.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diferença entre inundação e enchente.....	20
Figura 2. Mapa de localização da área de estudo.....	25
Figura 3: Mapa de Zona Especial de Risco (ZER)- Fonte: Adaptado do Plano Diretor de Piracicaba, SP.....	26
Figura 4: Pontos de dados pluviométricos e Vazão- Piracicaba, SP- Fonte: Adaptado do Google Earth pelo Autor.....	27
Figura 5: Preenchimentos de Dados faltantes de vazão (Ponto 1) .....	28
Figura 6: Bairros selecionados para análise- Fonte: Adaptado do Google Earth pelo Autor.....	29
Figura 7: Classificação de Ocupação - Fonte: Adaptado do Google Earth pelo Autor.....	31
Figura 8: Diferença de Vazões. Ano de 2002, 2007, 2011 e 2016.....	33
Figura 9 - Precipitação Média Mensal Acumulada. Anos de 2002 a 2019. Período de verão (janeiro e fevereiro) .....	34
Figura 10- Vazão Acumulada do Mês de Janeiro e População Estimada dos Anos. Anos de 2002, 2007, 2011 e 2016. Período de verão (dezembro a março) .....	35
Figura 11 – Análise de ocupação Bairro Ondas nos anos (2007, 2011, 2016 e 2020). Adaptado do Google Earth pelo Autor.....	36
Figura 12 – Análise de ocupação Bairro Pq. Residencial Piracicaba nos anos (2007,2011, 2016 e 2020). Adaptado do Google Earth pelo Autor.....	37
Figura 13 – Análise de ocupação Bairro Vale do Sol nos anos (2007,2011, 2016 e 2020). Adaptado do Google Earth pelo Autor.....	38
Figura 14 – Análise de ocupação Bairro Centro nos anos (2007, 2011, 2016 e 2020). Adaptado do Google Earth pelo Autor .....	39
Figura 15 – Análise de ocupação Bairro Verde nos anos (2007,2011, 2016 e 2020). .....	40
Figura 16 – Avanço da Ocupação sobre Áreas de risco a inundações.....	41

# LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Diferenças entre Vazão Acumulada por mês (m <sup>3</sup> /s) à Montante Jusantes. P2-P1.....	32
Tabela 2 - Dados de Precipitação Acumulada por mês (mm). Anos de 2002, 2007, 2011 e 2016. Período de verão (dezembro a março) .....	34
Tabela 3 - Crescimento da População- Piracicaba, SP.....	35
Tabela 4 - Classificação de Ocupação Bairro Ondas (Área %) .....	36
Tabela 5 - Classificação de Ocupação Bairro Pq. Res. Piracicaba (Área %) .....	37
Tabela 6 - Classificação Bairro Vale do Sol (Área %) .....	38
Tabela 7 - Classificação Bairro Centro (Área %) .....	39
Tabela 8 - Classificação Bairro Verde (Área %) .....	40

# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
1.1. Objetivo .....	14
1.1.1. Objetivo Geral .....	14
1.1.2. Objetivos Específicos .....	14
1.2. Justificativa .....	15
1.3. Organização da Dissertação .....	15
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>16</b>
2.1. Urbanização e impactos ambientais urbanos .....	16
2.2. A Drenagem Urbana .....	18
2.2.1 Sistemas de Drenagem Urbana Sustentáveis .....	19
2.2.2 Inundações urbanas .....	19
2.3 Precipitação no meio urbano .....	21
<b>3. METODOLOGIA</b> .....	<b>24</b>
3.1 Delimitação da área de estudo .....	24
3.1. Dados de vazão e precipitação .....	26
3.2. Relação da ocupação urbana e enchentes .....	28
3.3. Caracterização de Uso e Ocupação dos Bairros de estudo .....	29
<b>4. RESULTADOS</b> .....	<b>32</b>
4.1 Análise de Vazão no período.....	32
4.2. Análise da Precipitação no período .....	33
4.3 Crescimento da população versus crescimento da vazão .....	34
4.4 Classificação das Ocupações das áreas de estudo .....	35
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>41</b>
<b>6. REFERÊNCIAS</b> .....	<b>42</b>
<b>APÊNDICE A – Dados de P 3 (Precipitação mensal: 2002 a 2018) Ponto D4-104 (DAEE)</b> .....	<b>49</b>
<b>APÊNDICE B – Dados do P1 (Vazão mensal: 2002 a 2018) Ponto 4D-015 (DAEE)....</b>	<b>49</b>
<b>APÊNDICE C – Dados do P2 (Vazão mensal: 2002 a 2018) Ponto 4D-007 (DAEE)....</b>	<b>49</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A demanda por habitação, infraestrutura, saneamento, serviços de saúde e educação tem aumentado significativamente os problemas ambientais e de gestão urbana. Dessa forma à medida que as cidades expandem seus perímetros, córregos e lagos são aterrados, margens de rios e áreas naturais ocupadas, cortadas encostas causando a degradação progressiva de áreas de mananciais, como consequência do surgimento de loteamentos irregulares, com índices de ocupação incompatíveis com a capacidade de suporte do meio (LIMA; LOPES; FAÇANHA, 2019).

O crescimento urbano traz consigo também impactos sobre as condições de escoamento superficial, principalmente quando não há planejamento adequado, necessitando de novas soluções para enfrentar os problemas causados por este crescimento em especial o aumento dos picos de vazão e a poluição das águas pluviais (SILVA; PAIVA; SANTOS, 2016). Tucci (2012) destaca a contaminação dos mananciais superficiais e subterrâneos com os efluentes urbanos, a disposição inadequada dos esgotos sanitários, pluviais e resíduos sólidos das cidades, tendo como consequência inundações nas áreas urbanas devido à impermeabilização das superfícies e canalização do escoamento pluvial, a erosão e sedimentação gerando áreas degradadas.

O uso do solo é resultado do desenvolvimento e expansão das atividades econômicas pela incorporação de novos espaços às cidades, contribuindo para o aumento dos riscos de degradação ambiental, por ocorrerem na maioria das vezes desprovidos de estudos e planejamentos voltados para o reconhecimento das potencialidades e fragilidades do ambiente (BRAZIL, 2016).

Um processo de urbanização de uma área sem um planejamento adequado provoca inúmeras alterações físicas nas camadas mais superficiais do solo, na cobertura vegetal e na topografia do terreno fazendo com que a infiltração no terreno e a retenção por vegetais sejam reduzidas, e a água disponível na superfície aumenta.

O mesmo efeito ocorre quando adotada pelos órgãos técnicos uma visão tradicional e imediatista do planejamento urbano que atribui pouca importância às águas pluviais em relação à manutenção natural dos recursos hídricos e de forma superficial os fatores urbanos sociais provedores de ocupações de risco e suas

consequências para a população. A densidade de ocupação do meio urbano, reflete diretamente na demanda de água, na produção de esgoto, na geração de resíduos sólidos e impermeabilização do solo, afetando a drenagem urbana.

Segundo Alves e Formiga (2018), a impermeabilização do solo e a ausência de cobertura vegetal produzem maior volume de escoamento superficial, aumentando os picos de vazão e reduzindo o tempo de retardo para estabilização dos canais de drenagem.

Fiorio, Nakai e Batagin (2019) afirma que a expansão urbana somada à ocupação de espaços sem um prévio planejamento tem ocasionado situações de conflitos entre a ocupação antrópica e os espaços naturais.

Segundo Welerson e Silva (2019), o crescimento urbano sobre uma bacia hidrográfica, influencia significativamente as características hidrológicas do meio, principalmente devido ao aumento da impermeabilização do solo.

Para Holanda e Soares (2019), o aumento de áreas impermeabilizadas nas bacias urbanas causado pela ocupação urbana pode ser o principal responsável por alterações no escoamento superficial, podendo impactar os sistemas de drenagem urbana, causando inundações cada vez maiores e mais frequentes nos núcleos urbanos.

Outro fator que pode influenciar a ocorrência de inundações é o aumento das precipitações nas estações chuvosas com a maior frequência de chuvas intensas, conseqüentemente aumento da vazão dos cursos d'águas. As alterações na intensidade de precipitação podem sobrecarregar os sistemas de drenagem urbana, podendo resultar em alagamentos, agravamento de doenças transmitidas pela água e aumento do risco de perdas materiais (SABÓIA *et al.*, 2017).

No processo de escoamento de água proveniente de precipitações máximas ocorre a interação entre fatores como o uso e cobertura do solo, a declividade e a forma da bacia hidrográfica. Os fatores acima associados à urbanização sem planejamento adequado conduzem a adensamentos do espaço, aumento do processo de impermeabilização e redução da cobertura vegetal que sobrecarregam os sistemas de drenagens e em ocorrências de inundações urbanas (ALMEIDA *et al.*, 2019) e (TARGA *et al.*, 2012).

Desafios maiores são encontrados em núcleos urbanos de países em desenvolvimento pois além de investirem em infraestrutura precisam atender às necessidades das populações mais carentes.

Esta pesquisa tem como foco o município de Piracicaba que, pelas suas características hídricas somadas ao crescimento urbano no entorno do Rio Piracicaba e seus afluentes, vem se tornando cada vez mais vulnerável aos eventos de enchentes e inundações (PIRACICABA, 2019). Propõe-se a avaliar os reflexos da ocupação urbana sobre o sistema de drenagem do município de Piracicaba, relacionando-a com os dados de precipitação do trecho em estudo e associando-a ao potencial de risco dos locais de inundações. O período de análise é de 2002 a 2018.

## **1.1. Objetivo**

### **1.1.1. Objetivo Geral**

O objetivo desta dissertação é avaliar o reflexo da ocupação urbana e da precipitação no escoamento superficial da cidade de Piracicaba e associar estes eventos às áreas de risco de inundação consideradas no estudo.

### **1.1.2. Objetivos Específicos**

Para atingir o objetivo geral foram propostos os seguintes objetivos específicos:

- Levantar e analisar os dados pluviométricos e fluviométricos disponíveis no perímetro do município de Piracicaba para as séries históricas no período estudo de 2002 a 2018.
- Levantar e analisar os dados de crescimento populacional, densidade populacional, grau de urbanização e renda, disponíveis nas bases de dados do IBGE e SEADE, no período de 2002 a 2018.
- Avaliar a contribuição do crescimento urbano com o aumento da impermeabilização do solo, no período de 2007 a 2020, de acordo com a análise de fotointerpretação de imagens históricas do município.



- Concluir, a partir das análises acima, sobre áreas de alagamento no espaço urbano da Cidade de Piracicaba para o período de 2002 a 2018.

## **1.2. Justificativa**

O crescimento dos centros urbanos contribui para uma acentuada impermeabilização do solo e tendo como consequência o aumento de áreas alagáveis e torna-se o principal fator causador das inundações urbanas. Esses eventos não estão somente associados às questões climáticas, como também estão relacionados com fatores sociais, e a vulnerabilidade de cada região (AVILA; MATTEDI; SILVA, 2017).

O município de Piracicaba, pelas suas características hídricas, somadas ao crescimento urbano no entorno do Rio Piracicaba e seus afluentes, vem se tornando cada vez mais vulnerável com relação aos eventos de enchentes e inundações (PIRACICABA, 2019). Notícias de jornal apontam para 61 pontos de alagamento (PEREIRA, 2020) e ações da Prefeitura com instalação de 30 placas em pontos críticos de alagamento em Piracicaba (PIRACICABA, 2021). Estes fatos justificam o estudo e a busca de identificação das principais causas destes eventos.

## **1.3. Organização da Dissertação**

A dissertação está organizada em 5 capítulos, este capítulo é o introdutório, que busca de forma geral abordar a problemática do crescimento urbano e seus efeitos sobre a drenagem, e escoamento superficial de áreas urbanizadas, apresentando o objetivo geral, objetivos específicos, e justificativa da pesquisa.

No segundo capítulo é apresentada a revisão bibliográfica, buscando suporte na literatura, junto aos temas abordados, com intuito de subsidiar a hipótese da pesquisa, e fomentar as informações técnicas necessárias.

No terceiro capítulo é apresentada a metodologia, descrevendo a forma que se buscou as informações sobre as series históricas de vazão do rio Piracicaba, precipitação e análise qualitativa e quantitativa dos níveis de ocupação do Município de Piracicaba- SP, para assim gerar as tabelas, e gráficos com os resultados.

No quarto capítulo são apresentados os resultados, gerados a partir do levantamento de dados e cruzamentos de informações hidrológicas e de ocupação.

No quinto capítulo estão as considerações finais, com as conclusões interpretadas a partir dos resultados, e relacionadas com a hipótese inicial.

Por fim, são listados os apêndices que apresentam as séries históricas de vazão, e precipitações mensais acumuladas, utilizadas nas análises e na formulação dos gráficos e tabelas.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Esse trabalho busca uma perspectiva com análise da relação entre os efeitos da precipitação, dos avanços da ocupação urbana possivelmente sem um planejamento adequado e seus efeitos em ocorrência de enchentes no perímetro urbano da Cidade de Piracicaba.

### **2.1. Urbanização e impactos ambientais urbanos**

O avanço da urbanização sobre as áreas naturais traz novos desafios para o planejamento dos núcleos urbanos principalmente para os países em desenvolvimento por ocorrências de ações associadas a solução dos problemas das populações mais carentes, como assentamentos irregulares. A expansão urbana, somada à ocupação de espaços sem um prévio planejamento, tem ocasionado situações de conflitos entre a ocupação antrópica e os espaços naturais (FIORIO; NAKAI; BATAGIN, 2019). Neste contexto, é imprescindível um bom planejamento, de forma a permitir o desenvolvimento socioeconômico e garantir a segurança da população, diminuindo os impactos ambientais urbanos (PBMC, 2016).

A ocupação urbana muitas vezes é orientada pelos desmembramentos de glebas urbanizáveis, realizados a partir dos interesses financeiros, e de ocupações irregulares, que na maioria dos casos, encontram-se em situações de risco, e em regiões sujeitas a inundações. Esta ocupação acelerada e não planejada vem intensificando a degradação ambiental (ZEILHOFER; MIRANDA, 2012).

A impermeabilização do solo, a pavimentação de áreas de infiltração, com a aplicação de materiais como asfalto e concreto, são fatores de desequilíbrio no

meio urbanizado, refletindo diretamente no ciclo hidrológico (TUCCI, 2012). Em outro trabalho o autor afirma que a densidade de ocupação do meio urbano, reflete diretamente na demanda de água, na produção de esgoto, na geração de resíduos sólidos, na impermeabilização de áreas com consequência para a população residente e que este cenário de uso do solo urbano é o agente potencial que pode afetar toda infraestrutura urbana e não deve prescindir de um bom planejamento (TUCCI, 2013).

A ocupação urbana sem o devido planejamento, altera as características naturais da superfície, modifica a infiltração da água no solo e dificulta o escoamento superficial, saturando o sistema de drenagem trazendo como consequência as inundações urbanas resultantes da saturação da capacidade dos sistemas de drenagem naturais ou construídos, não escoando a vazão produzida pela precipitação excedente (LUCAS *et al.*, 2015).

Segundo Gimenez (2017), há também um problema social com relação a ocupação urbana, onde geralmente as populações de maior poder aquisitivo majoritariamente ocupam os locais mais estruturados das cidades, conseqüentemente expondo a população mais vulnerável às áreas mais precárias, desprotegidas e comumente propensas a eventos adversos.

Outro efeito causado pelo alto grau de urbanização é a impermeabilidade do solo. Segundo Aragão *et al.* (2017), a impermeabilização não planejada das áreas urbanas é responsável por alterações significativas nos sistemas hidrológicos locais, visto a redução da infiltração da água da chuva, o aumento dos picos de vazão de cheia, a antecipação no tempo desta vazão máxima até uma seção de destino e o aumento do volume escoado sobre a superfície, levando a uma maior intensidade e frequência de inundações.

Cárdenas (2017) afirma que estas mudanças têm produzido um aumento do escoamento e conseqüente, diminuição da infiltração, sobrecarregando a drenagem superficial, impedindo assim a recarga natural dos aquíferos. Na mesma direção, Marques (2019) destaca que uma das principais deficiências do planejamento urbano está relacionada ao sistema drenagem, resultante do adensamento da ocupação urbana, do processo de impermeabilização e redução da cobertura vegetal causando o aumento do escoamento superficial. Por conseguinte, das inundações.

O processo de adensamento e a expansão urbana sobre as áreas de recarga hídrica, alteram as características de permeabilidade do solo, aumentando o escoamento superficial nos núcleos urbanos (PAIVA *et al*, 2017).

Para Trentin, Robaina e Avila (2019), o crescimento desordenado e as especulações imobiliárias são responsáveis pela formação dos vazios urbanos desconectados, consequência da falta de planejamento, fatores estes que contribuem para desastres ambientais, tornando as populações urbanas mais vulneráveis a impactos negativos da urbanização.

Para Holanda e Soares (2019), o processo de urbanização interfere nos elementos do ciclo hidrológico, alterando as características de infiltração, escoamento e evaporação da água pluvial, a impermeabilização do solo causada por esse processo, reflete diretamente nos sistemas de drenagem urbana.

## **2.2. A Drenagem Urbana**

No Brasil, a percepção da complexidade dos sistemas de drenagem e da insustentabilidade na abordagem tradicional gerou a partir da década de 80 um grande esforço por mudanças conceituais, resultando na colocação do item drenagem urbana como um dos componentes do saneamento básico, traduzido na Lei Nacional de Saneamento Básico (BRASIL, 2007, artigo 3o., inciso I, alínea d).

De acordo com Souza, Moraes e Borja (2013), o conceito de sistema de drenagem urbana adotado no País, resume-se em um conjunto de elementos destinados a recolher as águas pluviais precipitadas sobre uma determinada região e que escoam sobre sua superfície, conduzindo-as a um destino, de forma rápida em contraposição ao processo natural de drenagem e infiltração.

A principal função da drenagem é evitar os processos erosivos do solo, reduzir e, se possível, evitar as enchentes e o processo de perda das capacidades dos mananciais (TUCCI, 2012).

Segundo Souza (2013), o conceito de drenagem deve ser ampliado com uma abordagem sustentável, com a finalidade de minimizar os riscos aos quais a sociedade está sujeita e a diminuir os prejuízos causados pelas inundações, possibilitando o desenvolvimento urbano da forma integrada com as outras atividades urbanas.

### **2.2.1 Sistemas de Drenagem Urbana Sustentáveis**

As bacias hidrográficas são definidas como as principais unidades para o planejamento dos recursos hídricos, nelas ocorrem diversos processos como, por exemplo, mudanças no uso e ocupação do solo que influenciam e afetam de forma direta ou indireta os parâmetros relacionados a disponibilidade hídrica como a vazão dos cursos d'águas (MARTINS, 2017).

A Bacia Hidrográfica é considerada também como uma unidade espacial de investigação e intervenção hidroambiental, apontando as condições de transformação do meio físico natural, muitas vezes causadoras de modificações e diversos problemas quanto aos riscos associados a desastres e a falta de salubridade para a população urbana (PEIXOTO; SILVEIRA, 2017).

Um dos principais fatores de transformação das características naturais das bacias hidrográficas é a ocupação causada pelo espaço urbano, em sua maioria de modo desorganizado, sem a tomada de precauções que visem a prevenção de danos ao meio ambiente, resultando em vários efeitos como desastres e situações de riscos para a população urbana (SANTOS, 2016).

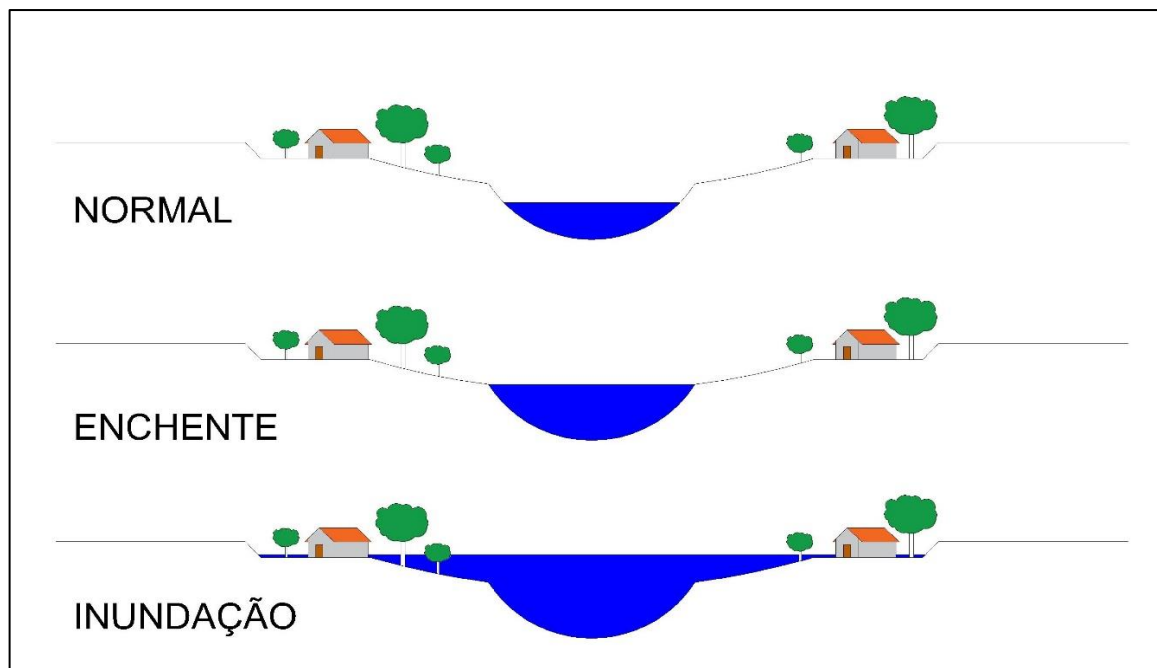
Segundo Welerson e Silva (2019), o crescimento urbano sobre uma bacia hidrográfica, influencia significativamente as características hidrológicas do meio urbano, principalmente devido ao aumento da impermeabilização do solo.

Para Aragão et al. (2017), o aumento de áreas impermeabilizadas nas bacias urbanas pode ser o principal responsável por alterações no escoamento superficial, podendo impactar os sistemas de drenagem urbana e causando inundações cada vez maiores e mais frequentes.

### **2.2.2 Inundações urbanas**

Para discorrer sobre as problemáticas das inundações urbanas é necessário diferenciar os termos inundações e enchentes. Para Goerl e Kobiyama (2005) o termo enchente significa a elevação das águas de um rio até a altura de suas margens, sem a ocorrência de transbordamento nas áreas adjacentes, já quando ocorre o transbordamento utiliza-se o termo inundação, Figura 1.

**Figura 1:** Diferença entre inundação e enchente.



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Segundo Santos (2015), pode-se dizer que a diferença entre enchente e inundação se resume ao confinamento ou não das águas de um curso d'água no seu canal de drenagem, sendo assim pode haver ao longo de um mesmo curso d'água trechos tanto com enchentes quanto inundações que podem ou não impactar de forma destrutiva as ocupações humanas que estejam dentro de seu domínio.

Existem dois tipos de inundações, as inundações graduais e as bruscas. Como o próprio nome diz, as inundações graduais são aquelas que ocorrem gradualmente, ou seja, lentamente, traduzida em inglês como *flood* ou *flooding*, já as inundações bruscas ou chamadas *flash floods*, são as inundações que ocorrem repentinamente, com pouco tempo de alarme e alerta para o local de ocorrência, (BRAZIL, 2016). Geralmente as inundações bruscas ocorrem em áreas com maior declividade, as águas escoam mais rapidamente para o canal, elevando o seu nível em um curto espaço de tempo. Entretanto também podem ocorrer em áreas planas devido a intensa urbanização e impermeabilização do solo.

Outro conceito, o alagamento ocorre pelo acúmulo de água em determinados pontos da cidade devido à ineficiência dos sistemas de drenagem

podendo ou não estar relacionado a processos de natureza fluvial (CARVALHO; MACEDO; OGURA, 2007).

Segundo Braga (2016), só a partir dos últimos trinta anos que o tema inundação passou a ser objeto de planejamento, sofrendo restrições quanto à ocupação e ao tipo de obras, com intuito de garantir a área da seção de escoamento e a minimizar as perdas de carga hidráulica em decorrência de edificações nestas áreas.

Para Avila, Mattedi e Silva (2017) e Maropo, Nunes e Silveira (2019), nas últimas décadas as populações urbanas enfrentam um número considerável de problemas causados pelas inundações, eventos esses resultantes de ações acumulativas, como também relacionados com fatores sociais e vulnerabilidade de cada região, aumentando para consequências adversas sobre as cidades.

Segundo Sousa e Gonçalves (2018), as inundações são causadas pela supressão de vegetação, impermeabilização das áreas urbanas, construção inadequada de diques, alteração dos cursos naturais dos rios e projetos ineficazes de drenagem, estes fatores aliados ao escoamento superficial, favorecem a ocorrência de inundações em períodos com alto índice pluviométrico.

### **2.3 Precipitação no meio urbano**

As variações climáticas locais podem ser avaliadas por meio de séries históricas de variáveis meteorológicas, a exemplo da temperatura do ar e da precipitação pluvial. A partir da análise de tendências destas variáveis para um determinado local é constatada a ocorrência ou não de mudanças no clima em uma determinada região (SANTOS *et al.*, 2009).

No estudo realizado em algumas microrregiões do estado da Bahia por Silva e Azevedo (2008), entre os anos 1970 a 2006, constatou-se que houve tendências positivas para mudanças nas precipitações, como por exemplo na microrregião de Irecê, apresentando aumento na frequência, e diminuição no total anual.

Marengo (2010) destaca o grau de incerteza dos modelos de tendência, apresentando grande divergência, tanto para tendências positivas, como negativas para as precipitações no Brasil.

O estudo de tendências de séries históricas de precipitação, realizado por Assis, Lacerda e Sobral (2012), no estado de Pernambuco, entre os anos 1963 a 2008, mostrou mudança no padrão das precipitações observadas sobre a bacia do Rio Capibaribe com tendência de redução dos índices pluviométricos, juntamente com a diminuição do número de dias com precipitações intensas e aumento de dias secos.

Já o estudo por meio de series históricas pluviométricas, realizado por Souza, Azevedo e Araújo (2012), em Recife-PE, no período de 1961 a 2008, constatou que, apesar dos resultados apresentarem um aumento nos índices de frequências de eventos extremos não houve alterações quantitativas significativas.

Segundo conclusões de Dantas, Santos e Olinda (2015), as alterações nos padrões dos índices de extremos climáticos podem estar associadas ao adensamento das edificações, modificações no uso do solo nas cercanias da estação meteorológica, como também, às altas taxas de crescimento urbano experimentadas pelas cidades brasileiras de médio a grande porte.

Simioni *et al.* (2014) afirmam que a análise da distribuição da precipitação pluviométrica em uma bacia hidrográfica é um mecanismo essencial para nortear medidas de gestão dos recursos hídricos. Os autores reconhecem que o estudo do regime de chuvas se torna uma ferramenta para o planejamento e a conservação do meio ambiente.

Para Conceição *et al.* (2016), o estudo sobre os índices pluviométricos, medida em milímetros, resultado do somatório da quantidade da precipitação de água num determinado local durante um dado período de tempo, é significativa para a análise dos espaços urbanos. Os índices pluviométricos são indicadores relevantes para a análise da disponibilidade, escassez de água e interpretação das condições climáticas.

Sabóia *et al.* (2017) afirma, que as alterações na intensidade de precipitação podem sobrecarregar os sistemas de drenagem e resultar em alagamentos, agravamento de doenças transmitidas pela água e aumento do risco de perdas materiais.

Outro fator importante associado à precipitação ocorrida sobre espaços urbanos impermeáveis é seu efeito sobre o aumento do escoamento superficial e da velocidade de deslocamento por condutos e canais de drenagem, diminuindo a oportunidade de infiltração (TUCCI, 2016). Esses fatores somados à urbanização



sem planejamento e ao crescimento desordenado de cidades ao longo dos cursos d'água favorecem a ocorrência de inundações urbanas (ALMEIDA *et al.*, 2019).

A análise espacial de tendências das precipitações, permite observar as mudanças no comportamento e indicar em quais regiões uma determinada variável vem sofrendo mudanças, identificar locais que estão sofrendo modificações meteorológicas, possibilitar o planejamento preventivo, e tomadas de decisão, (SALVIANO; GROppo; PELEGRINO, 2016). Os autores, afirmam que, de acordo com os resultados do trabalho realizado entre os anos de 1961 e 2011, as tendências na precipitação não têm um valor significativo em mais de 70% do território brasileiro em todos os meses com tendências não significativas variando entre 72 e 95% nos meses de março e fevereiro, respectivamente. Em particular, apontam um aumento de 4,8%, nos valores de precipitação para o Estado de São Paulo.

Para Silva, Montenegro e Souza (2017), a análise da tendência de séries históricas de precipitação, também são maneiras de se determinar a ocorrência de mudanças nos índices climáticos locais, possibilitando a avaliação de suas consequências sobre as bacias hidrográficas e, conseqüentemente, sobre a sociedade.

O trabalho de Santos (2016), realizado no município de Uberaba-MG, aponta que o avanço da área urbana do município em direção ao leito do rio Uberaba, está diretamente relacionado a tendência de aumento das vazões máximas no referido rio.

Estudos realizados por Rampazo e Nunes (2017), na região da cidade de São Paulo entre os anos de 1959 e 2013, identificaram que o aumento dos impactos deflagrados pela precipitação relaciona-se mais à desestruturação do espaço urbano e a outros problemas do que propriamente aos quantitativos de chuva.

Estudos de correlação entre a precipitação pluviométrica e a vazão fluvial em bacias hidrográficas são importantes indicadores de vulnerabilidade urbana diante das intempéries climáticas, e auxiliam no entendimento e prevenção de desastres (TERASSI; CORREA; GALVANI, 2018).

Murara e Mendonça, (2019) afirmam que quando maior a intensidade da precipitação nos espaços urbanos, maiores são os danos e perdas no meio urbano.

Portanto, colocando toda a referência consultada dentro do contexto deste estudo, tem-se as questões de pesquisa:

- (1) A variação da precipitação é realmente relevante para o aumento da ocorrência de eventos de inundações nas áreas consideradas em estudo do centro urbano da cidade de Piracicaba?
- (2) O avanço da ocupação urbana, sua densidade, são os maiores motivadores para os eventos de inundações?

Com as respostas a estas questões, busca-se entender como o desencadeamento de fenômenos como enchentes e inundações relacionam-se a uma conjunção de fatores naturais e a ação humana. Dentre os fatores naturais, considera-se a precipitação, o comportamento fluvial, e a morfometria. Dentre os fatores antrópicos considera-se a ocupação sem planejamento adequado, portanto ocorrendo de forma desordenada do solo.

### **3. METODOLOGIA**

O objetivo desta dissertação é avaliar o reflexo da ocupação urbana e da precipitação no escoamento superficial da cidade de Piracicaba e associar estes eventos às áreas de risco de inundação consideradas no estudo. Após o levantamento bibliográfico sobre o tema, Iniciou-se a caracterização da área de estudo. A seguir foram levantados os dados de vazão e precipitação, bem como a taxa de crescimento urbano o que permitiu o cruzamento das variáveis socioambientais para identificação do nível de risco às inundações.

#### **3.1 Delimitação da área de estudo**

O município Piracicaba, no estado de São Paulo, está localizado a Longitude:  $-47,64685^{\circ}$  - Latitude:  $-22,72372^{\circ}$ ; possui uma área territorial de 1.378,50 km<sup>2</sup>, sendo o 19º Município do Estado em Extensão, sua área urbana é 233,36 km<sup>2</sup> e área rural é 1.145,14 Km<sup>2</sup>, com uma população estimada em 404.142 habitantes (IBGE, 2019). A densidade populacional do município está estimada em 293,18 hab. /Km<sup>2</sup>, com grau de urbanização de 98,20 %, e taxa geométrica de crescimento anual entre (2010 e 2021) de 0,66 (SEADE, 2021). A cidade de

Piracicaba está entre as 100 cidades mais populosas do Brasil, ficando em segundo lugar no ranking de Desenvolvimento e Gestão (MACROPLAN, 2018).

O município está localizado a 152 km da capital do Estado de São Paulo, integra a região administrativa de Campinas e é servida pelas Rodovias SP 127, SP 147, SP304 e SP 308, (Figura 2). Faz divisa com os municípios de Rio Claro, Limeira, Santa Bárbara D'Oeste, Laranjal Paulista, Iracemápolis, Anhembi, São Pedro, Charqueada, Rio das Pedras, Tietê, Conchas, Santa Maria da Serra, Ipeúna e Saltinho (IPPLAP, 2021).

Dentro do perímetro urbano foram escolhidos 05 Bairros:

- Bairro Centro (Região Central);
- Bairro Vale do Sol (Região Norte);
- Bairro Ondas (Região Oeste);
- Parque Residencial Piracicaba (Região Norte);
- Bairro Verde (Região Sul).

Os critérios de escolha foram: proximidade com as margens do Rio Piracicaba, evolução das características e potencial de ocupação, de acordo com o período de estudo, vulnerabilidade a inundações, de acordo com os apontamentos do Plano Diretor do município.

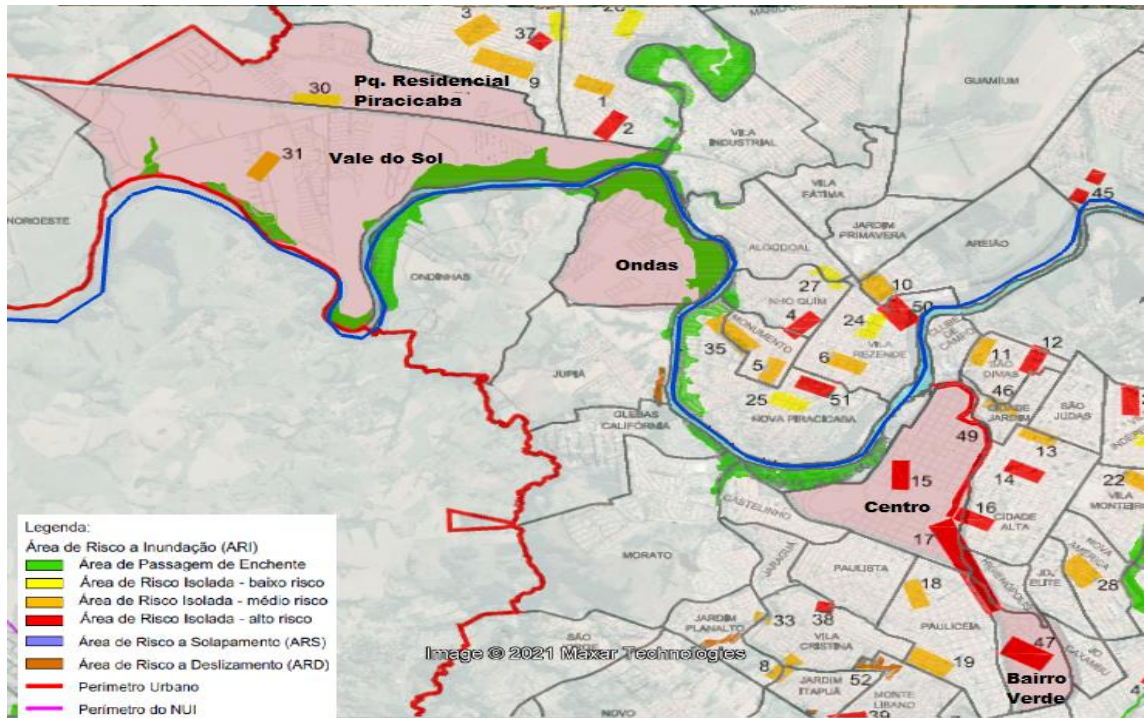
**Figura 2:** Mapa de localização da área de estudo.



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

O Plano Diretor de Desenvolvimento de Piracicaba, Lei complementar 405/2019, aponta 52 áreas classificadas como de alto, baixo e médios riscos; movimentos de massa; enchentes e inundações isoladas em todo perímetro urbano, como mostra a Figura 3 (PIRACICABA, 2019).

**Figura 3:** Mapa de Zona Especial de Risco (ZER).



**Fonte:** Adaptado de Piracicaba (2019) pelo Autor.

### 3.1. Dados de vazão e precipitação

Os dados para a análise de precipitação e vazão, foram levantados de acordo com a localização de pontos existentes de coleta e dados históricos disponíveis (DAEE, 2020). A Figura 4 apresenta a localização dentro do perímetro do município de Piracicaba de 02 pontos de coletas de dados sobre vazão e 01, ponto de coleta de dados de precipitação do Rio Piracicaba.

**Figura 4:** Pontos de dados pluviométricos e Vazão- Piracicaba, SP.



**Fonte:** Adaptado do Google Earth pelo Autor.

A partir da base de dados telemétricos de precipitações diárias e vazão foram consultadas três bases de coleta do órgão DAEE:

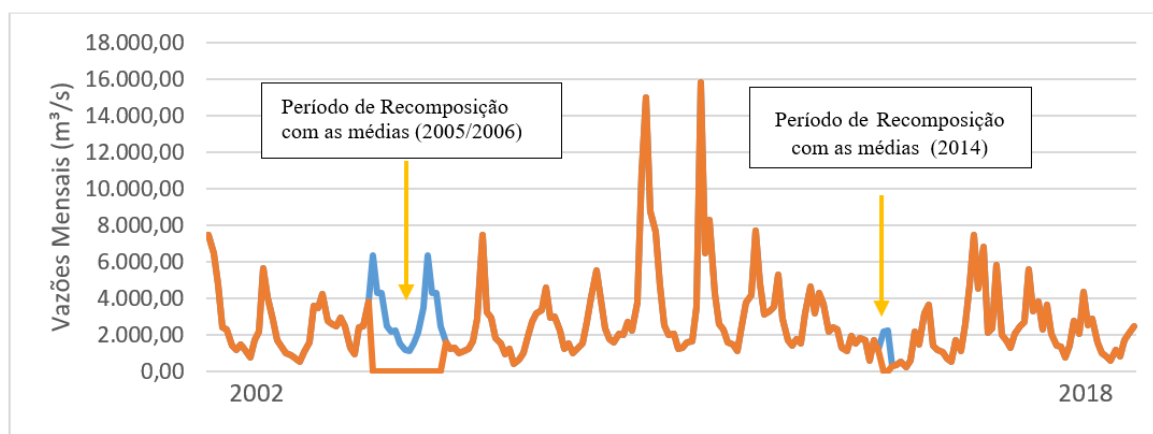
- I. ponto 1- vazão (posto DAEE nº 4D-015) caracterizado como a montante;
- II. ponto 2- vazão (posto DAEE nº 4D-007), caracterizado como a jusante da área de estudo;
- III. ponto 3 - precipitação (posto DAEE nº D4-104), localizado próximo ao ponto 1 de vazão.

Considerando estes pontos, foi selecionada a série histórica de 2002 a 2018 de vazão e precipitação (DAEE, 2020). Estas informações foram extraídas do banco de dados do DAEE, e tabeladas conforme Apêndice A, Apêndice B e Apêndice C.

A partir do conjunto de dados coletados, foram realizadas análises estatísticas de linhas de tendências no software “Microsoft Excel”, para detectar consistências dos dados, e avaliar alterações de comportamento no decorrer dos anos, identificando a ocorrência de mudanças com relação às precipitações no período e seus possíveis efeitos sobre os índices fluviométricos do rio Piracicaba, ou seja, na vazão do Rio Piracicaba.

Foi identificada a falta de dados de vazão, em P1 (4D-15), considerado a montante do trecho de estudo, entre os meses de 01/2005 a 04/2006, e 05/2014 a 06/2014. Para retirar a descontinuidade dos dados destes períodos (Figura 5), utilizou-se as médias dos valores das vazões para cada mês, dentro do período da série histórica entre 2002 a 20018, com intuito de não comprometer as análises de picos de vazões.

**Figura 5:** Preenchimentos de Dados faltantes de vazão (Ponto 1).



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

### 3.2. Relação da ocupação urbana e enchentes

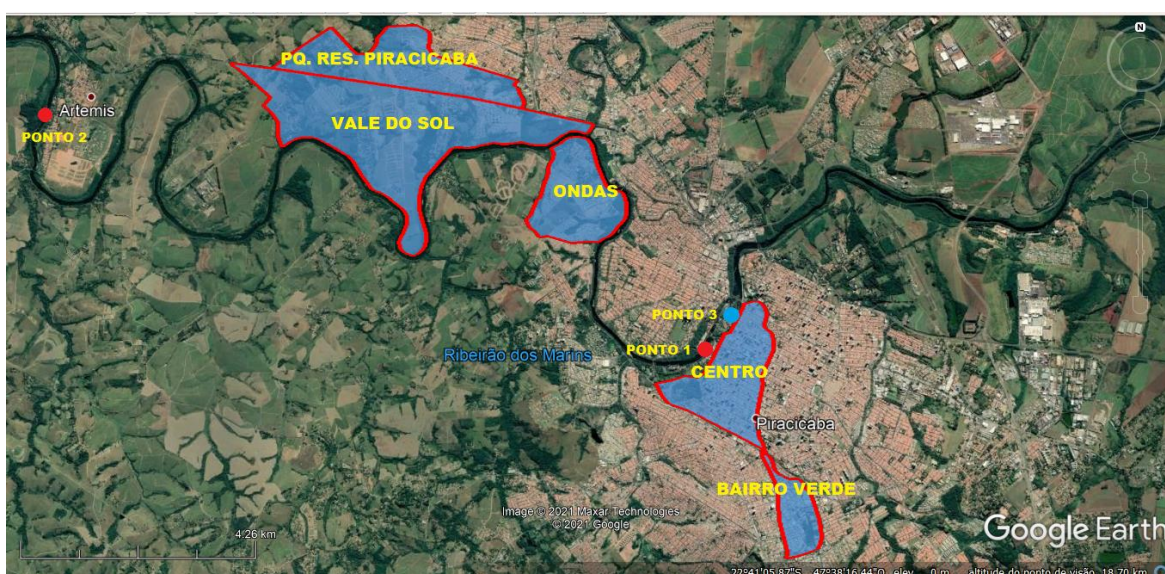
Foram coletados dados do crescimento urbano ocorrido no mesmo período de estudo. A partir deles, analisada a taxa de crescimento urbano e o índice de impermeabilização do solo da malha urbana do município (IPPLAP, 2021).

A área de estudo é composta pelos Bairros: Vale do Sol, Residencial Parque Piracicaba, Ondas, Centro e Bairro Verde, **Figura 6**. Sua escolha foi resultante da avaliação de bairros com grande potencial de ocupação, de acordo com a interpretação das imagens históricas no período, bem como, a relação dessas áreas com o potencial de inundação, de acordo com as áreas de risco de inundações cadastradas no mapeamento apontado na **Figura 3**, inserido pelo Plano Diretor do município de Piracicaba (PIRACICABA, 2019).

De acordo com os locais apontados pelo Plano Diretor do Município, das 52 áreas isoladas de risco a enchentes, 07 locais estão localizados nos Bairros escolhidos, como mostrado abaixo:

- Bairro Centro: Rua Ulha Cintra, Avenida 31 de Março, Rua Ipiranga e Riachuelo, Avenida Armando de Salles Oliveira (Alto risco);
- Bairro Verde: Avenida 31 de Março (Alto risco)
- Bairro Vale do Sol: Rua João Carregari (Médio Risco) - Grand Park Residencial, e Margem Direita do Rio Piracicaba;
- Bairro Pq. Res. Piracicaba: Rua São Pedro (Baixo Risco);
- Bairro Ondas: Margem esquerda do Rio Piracicaba.

**Figura 6:** Bairros selecionados para análise.



**Fonte:** Adaptado do Google Earth pelo Autor.

### 3.3. Caracterização de Uso e Ocupação dos Bairros de estudo

O Zoneamento Urbano, de acordo com Piracicaba (2019), que compõe o Plano Diretor do município, classifica o Bairro Centro, situado no centro da cidade, em sua maior parte como uma Zona Urbana de Reabilitação Central (ZURC), composta por uma das ocupações mais antigas do Município e que possui as melhores condições de infraestrutura e equipamentos, com elevada concentração de empregos e serviços e crescente esvaziamento populacional.

O Bairro Verde está classificado como uma Zona Urbana de Requalificação de Bairros 2 (ZURB 2), caracterizada por ser uma região consolidada da cidade e que possui condições adequadas de infraestrutura.

O Bairro Parque Residencial Piracicaba, está com parte classificada como Zona Urbana de Requalificação de Bairros 2 (ZURB 2), e uma pequena parcela como Zona Especial de Interesse Social (ZEIS 2/C).

A maior parte do bairro Ondas está classificada com uma ZUOR - Zona Urbana de Ocupação Restrita, composta por áreas com acentuada declividade, suscetibilidade a erosão do solo e concentração de recursos hídricos. O bairro Vale do Sol, é o mais diversificado com relação ao zoneamento, contendo:

- I. *ZUCO 1 - Zona Urbana de Contenção 1, caracterizada principalmente pela instituição de faixa non aedificandi com 70m (setenta metros) de largura, na qual fica imposta a restrição de não construir e a destinação de área verde, com a finalidade de separar o uso residencial do industrial;*
- II. *ZEIS 2 - Zonas Especiais de Interesse Social 2, constituídas por empreendimentos habitacionais de interesse social que sejam promovidos e implantados pela iniciativa privada;*
- III. *ZEIS 3 - Zonas Especiais de Interesse Social 3 constituídas por empreendimentos habitacionais de interesse social, promovidos e implantados pela iniciativa privada, na forma de parcelamento do solo urbano com edificação (casas) ou condomínio de casas superpostas;*
- IV. *ZUPIA - Zona Urbana de Proteção e Interesse Ambiental, constituída por um conjunto de áreas de proteção da paisagem e do meio ambiente, constituídos pelos jardins botânicos e maciços florestais de interesse ambiental no perímetro urbano; e*
- V. *ZURB 2 - Zona Urbana de Requalificação de Bairros 2.*

Para análise qualitativa e quantitativa do uso e ocupação do solo dos referidos Bairros, foi realizada uma reclassificação de acordo com o tipo de ocupação em três níveis: alta, média e baixa ocupação, utilizando a técnica de fotointerpretação, a partir de imagens históricas, adaptado segundo a proposta de Ferreira (1995) apud Targa *et al.* (2012):

I - Classe Baixa Ocupação – adotada em situações de ocorrência de áreas em que há presença de árvores nas ruas, gramados nas áreas de passagem, casas com jardim e quintal, os recuos entre as edificações são mais amplos e estas não se unem umas às outras, permitindo uma maior ventilação e há uma menor concentração de pessoas.

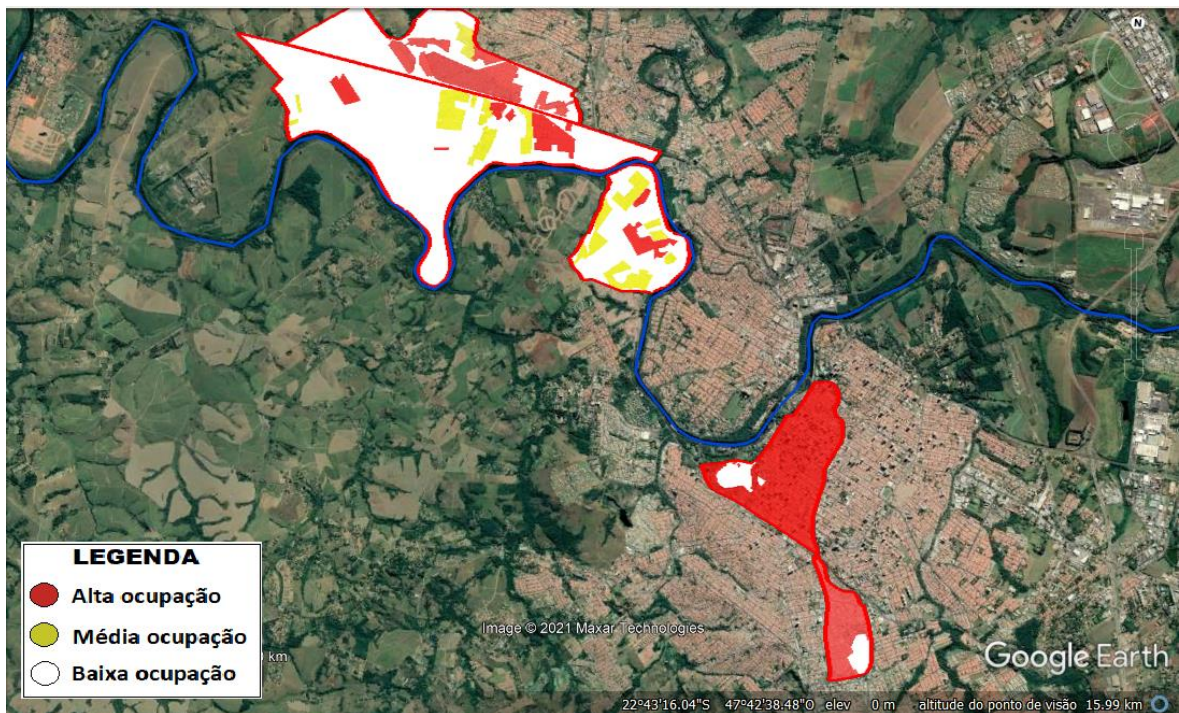
II – Classe Média Ocupação – adotada quando a urbanização não é tão adensada, mas já se observa uma aproximação entre as moradias e uma diminuição das áreas verdes.



III – Classe Alta Ocupação – adotada quando se observa que as construções ficam encostadas umas às outras e praticamente não se tem área verde, as calçadas são estreitas, as ruas asfaltadas e existem estivas dando acesso à margem do igarapé. Além de uma maior concentração de pessoas na classe alta ocupação, em geral há pouca ventilação e o conseqüente aumento de temperatura.

As imagens históricas de satélite foram selecionadas de acordo com a disponibilidade e qualidade, trabalhadas no software “Google Earth Pro”. Para avaliação da ocupação urbana foram escolhidos os anos (2007-2011-2016-2020). Os intervalos de foram estabelecidos para haver uma melhor percepção da evolução ao longo do período de análise. A partir deste levantamento pode-se obter a taxa aproximada de crescimento da malha urbana para as áreas consideradas no período em estudo. As porcentagens de ocupação também foram fornecidas pelo software “Google Earth Pro”, a partir dos levantamentos de áreas, formadas pelos polígonos demarcados pela classificação de acordo com a **Figura 7**.

**Figura 7:** Classificação de Ocupação.



**Fonte:** Adaptado do Google Earth pelo Autor.

## 4. RESULTADOS

A influência da ocupação urbana no escoamento superficial da cidade de Piracicaba foi avaliada a partir do acompanhamento e comparação da evolução dos dados de vazão, precipitação e do crescimento urbano no município no período de 2002 a 2018.

### 4.1 Análise de Vazão no período

A primeira análise deu-se no sentido de avaliar se houve influência significativa da precipitação na variação de vazão dentro do período de estudo considerado.

A **Tabela 1** apresenta as diferenças de vazões entre o posto à Jusante (à esquerda) e o posto à Montante (à direita) da **Figura 4**. Portanto, aponta para o incremento de vazão entre estes dois pontos. Foram selecionados para o estudo os meses de dezembro janeiro, fevereiro e março para os anos 2002, 2007, 2011 e 2016. Estes quatro meses foram escolhidos por representarem o período de maior de vazão no perímetro urbano da cidade, portanto, de maior interesse para avaliações de inundações.

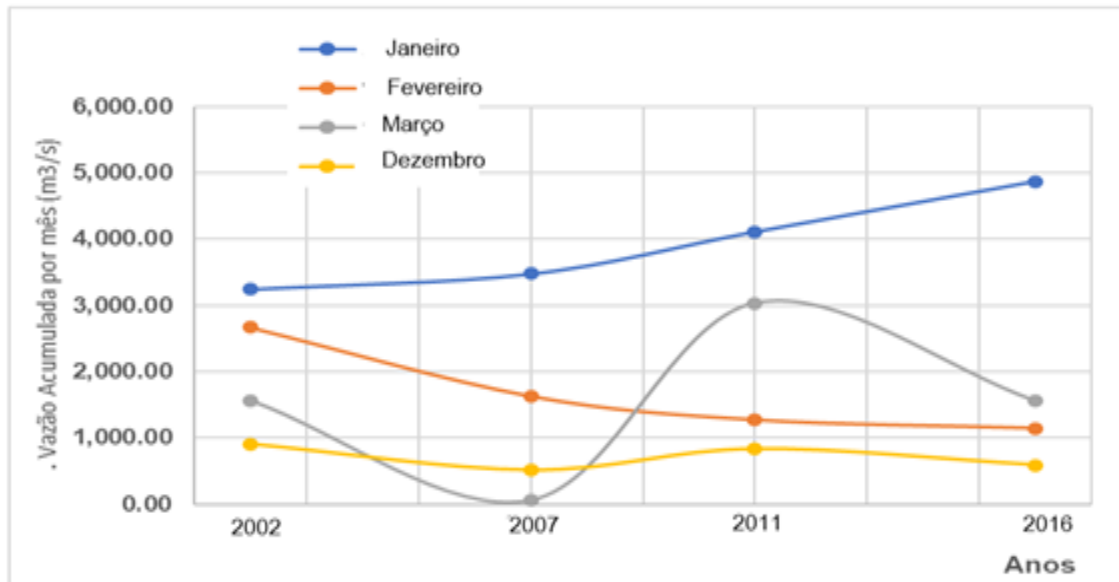
**Tabela 1** - Diferenças entre Vazões mensais ( $m^3/s$ ) à Montante Jusantes. (P2-P1)

Ano	Mês			
	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.
<b>2002</b>	910,74	3.247,88	2.672,10	1.566,36
<b>2007</b>	513,12	3.480,28	1.628,14	58,2
<b>2011</b>	837,7	4.112,22	1.270,16	3.036,00
<b>2016</b>	591,67	4.869,42	1.142,70	1.554,96

A **Figura 8** apresenta o comportamento dos incrementos de vazões entre os dois postos montante e jusante para os quatro meses e o período considerado pelo estudo. Observa-se que o mês de janeiro é o que apresenta a maior vazão e crescente ao longo do período de estudo, portanto o de maior interesse para identificação de enchentes. Verifica-se que as vazões dos meses de janeiro, ao longo do período de 2002 a 2016 passou de 3.247,88  $m^3/s$  em 2002 para 4.869,42  $m^3/s$  em 2016, representando um aumento de 49%. Esta evolução justifica a busca por fatores motivadores deste comportamento que podem ser oriundas de um

aumento de precipitação, aumento da ocupação ou de ambas. Fatores que passam a serem analisados.

**Figura 8** – Diferença de vazões. Ano de 2002, 2007, 2011 e 2016.



Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4.2. Análise da Precipitação no período

A **Tabela 2** e **Figura 9** mostram os dados de precipitações acumuladas para os meses de dezembro, janeiro e fevereiro, no período de 2002 a 2019. Verifica-se que as médias mensais de precipitações do mês de janeiro são as mais elevadas. Entretanto, apresentam uma pequena tendência de decréscimo ao longo dos anos de estudo, uma vez que o ajuste por uma reta de tendência no “Excel” indica uma inclinação da levemente negativa, como apontado pelo coeficiente negativo verificado na equação 1, extraído da **Figura 10**:

$$y = -3,2821x + 294,09 \quad \text{Eq.1}$$

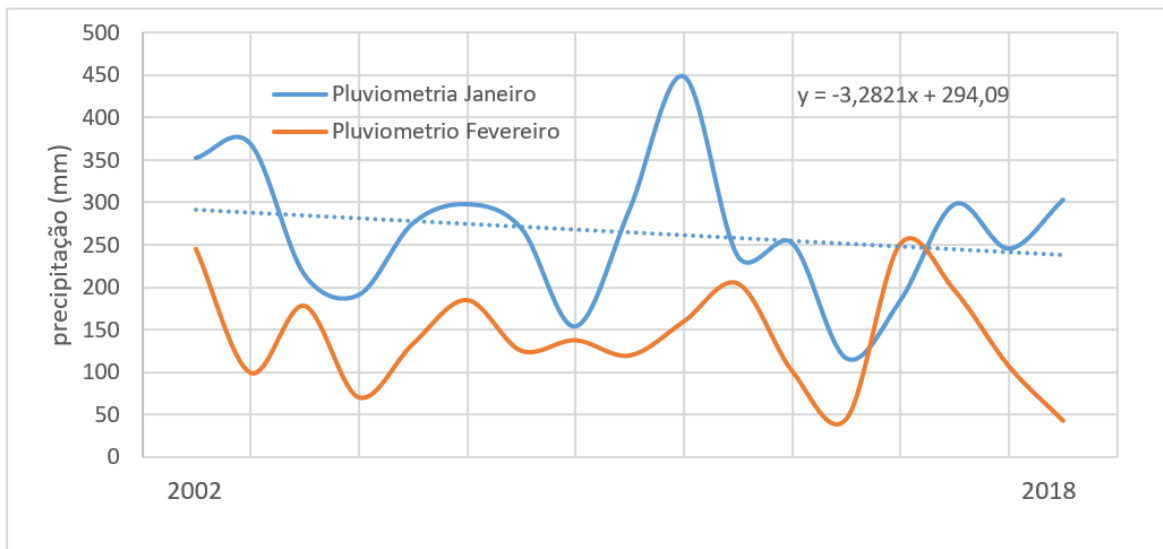
Onde a variável (x) representa o ano considerado e (y) a precipitação. O resultado apontando para um comportamento estável ao longo do período de estudo está de acordo com o encontrado por Salviano, Groppo e Pellegrino (2016).

**Tabela 2** - Dados de Precipitação Acumulada por mês (mm). Anos de 2002, 2007, 2011, 2016 e 2018. Período de verão (dezembro a março).

Ano	Mês			
	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.
2002	150,4	352,2	245,6	323,3
2007	309,1	297,7	185,4	54,9
2011	145,4	448,4	160,1	245
2016	184,4	297,8	196,5	152,6
2018	164,2	302,90	43,20	110,1

Fonte: DAEE (2020).

**Figura 9** - Precipitação Média Mensal. Anos de 2002 a 2018. Período de verão (janeiro e fevereiro).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Este resultado se contrapõe a tendência da vazão mensal de janeiro ao longo dos anos (**Figura 9**).

#### 4.3 Crescimento da população versus crescimento da vazão

Quando a evolução da ocupação urbana do município, bem como o grau de urbanização (quociente entre a população urbana pela população total do

município), verificou-se uma tendência do avanço da malha urbana no período (2002 a 2016) como observado na **Tabela 3**. Ao avaliar o crescimento populacional do período e a vazão total no mês de janeiro, verifica-se que ambos apresentam um crescimento acentuado, sendo que a vazão do mês de janeiro apresentou um crescimento mais acentuado que a população anual.

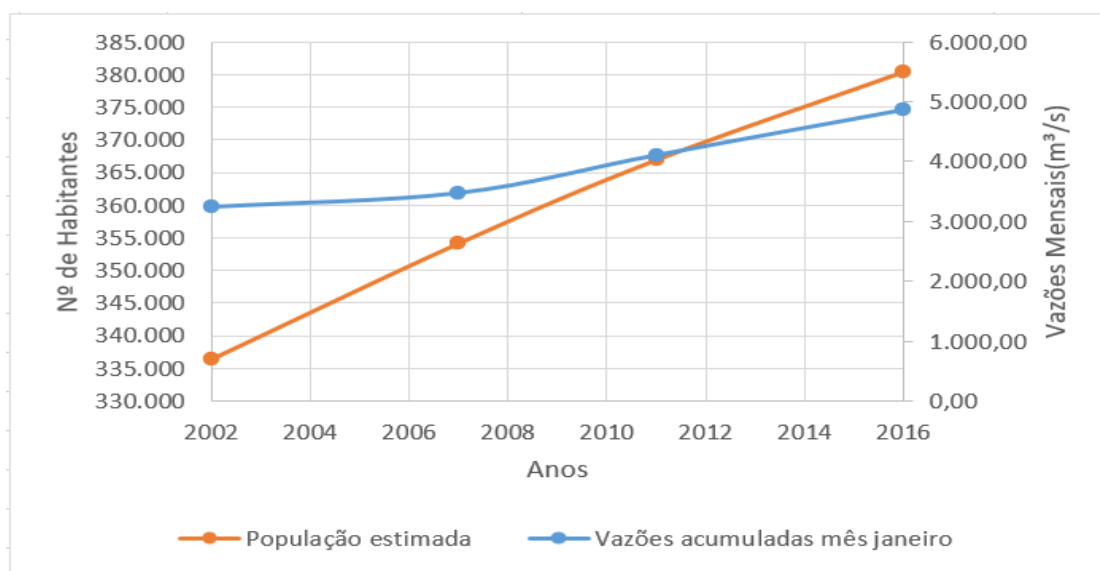
**Tabela 3** - Crescimento da População- Piracicaba- SP.

Ano	Nº Habitantes	Grau De Urbanização %
2002	336.473	96,21
2007	354.214	97,06
2011	367.004	97,91
2016	380.494	98,10

Fonte: SEADE (2020).

A **Figura 10** representa o comportamento das vazões mensais de janeiro nos anos (2002, 2007, 2011 e 2016), em comparativo com a evolução da população estimada no mesmo período.

**Figura 10-** Vazão Acumulada do Mês de Janeiro e População Estimada dos Anos. Anos de 2002, 2007, 2011 e 2016. Período de verão (dezembro a março).



#### 4.4 Classificação das Ocupações das áreas de estudo

Este item procura classificar a ocupação das cinco áreas em estudo segundo a nomenclatura de proposta de Ferreira (1995) apud Targa *et al.* (2012),

e o comparativo entre os anos 2007, 2011, 2016 e 2020, verificou-se as seguintes informações:

No Bairro Ondas, região Oeste do município, de acordo com a **Tabela 4**, extraída a partir da análise das imagens, aplicando a metodologia de classificação de ocupação, verificou-se um aumento significativa de ocupação a partir do ano de 2016, bem como, em sua maioria ocupações entre média e alta densidade como mostra **Figura 11**.

**Figura 11** – Análise de ocupação Bairro Ondas nos anos (2007,2011, 2016 e 2020).



Fonte: Adaptado do Google Earth pelo Autor.

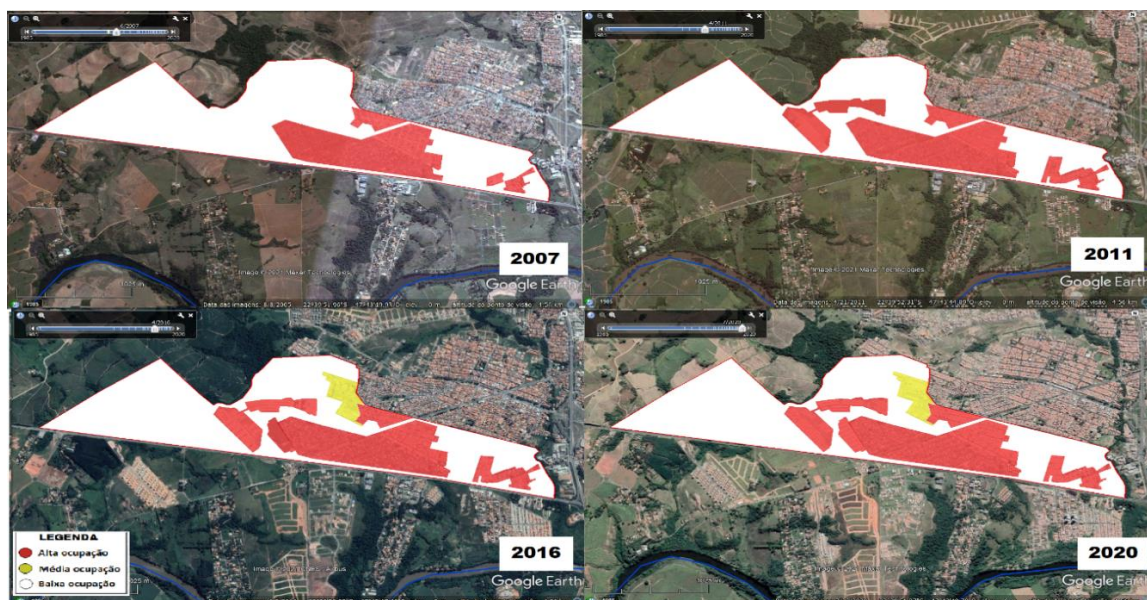
**Tabela 4** - Classificação de Ocupação Bairro Ondas (Área %).

OCUPAÇÃO	2007	2011	2016	2020
BAIXA	92,80%	90,41%	68,30%	66,99%
MÉDIA	7,20%	9,59%	23,97%	23,97%
ALTA	0,00%	0,00%	7,73%	9,04%

No Bairro Parque Residencial Piracicaba situado na região Norte do município, aplicando a classificação adotada neste trabalho verificou-se a partir da análise das imagens que entre os anos 2007 e 2011, um aumento de

ocupações, em sua maioria de alta densidade com poucas alterações até 2020, como mostra a **Tabela 5** e **Figura 12**.

**Figura 12** – Análise de ocupação Bairro Pq. Residencial Piracicaba nos anos (2007,2011, 2016 e 2020).



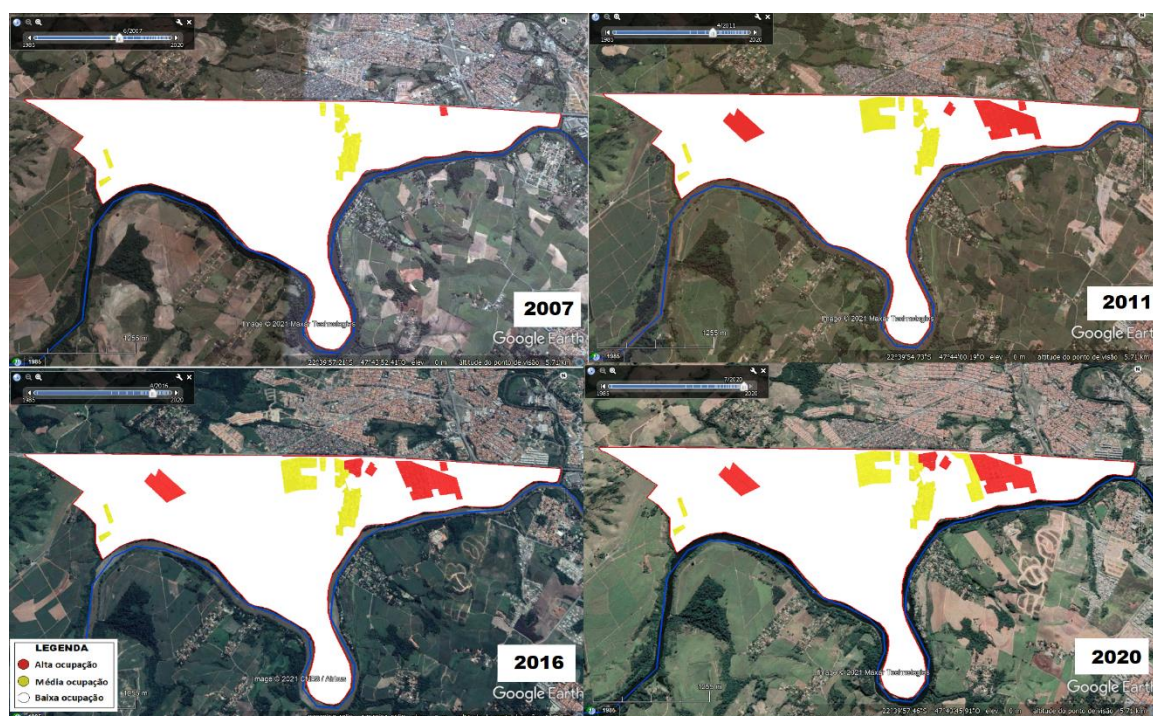
Fonte: Adaptado do Google Earth pelo Autor.

**Tabela 5** –Classificação de Ocupação Bairro Pq. Res. Piracicaba (Área %).

OCUPAÇÃO	2007	2011	2016	2020
BAIXA	77,72%	69,83%	64,89%	64,89%
MÉDIA	0,00%	0,00%	3,44%	3,44%
ALTA	22,28%	30,17%	31,67%	31,67%

Já no Bairro Vale do Sol, também na região Norte do município, de acordo com a **Tabela 6**, extraída a partir da análise das imagens, aplicando a mesma classificação, verificou-se a partir do ano 2011, um aumento significativo de ocupações entre média e alta ocupação, com poucas alterações até 2020, como mostra **Figura 13**.

**Figura 13** – Análise de ocupação Bairro Vale do Sol nos anos (2007,2011, 2016 e 2020).



Fonte: Adaptado do Google Earth pelo Autor.

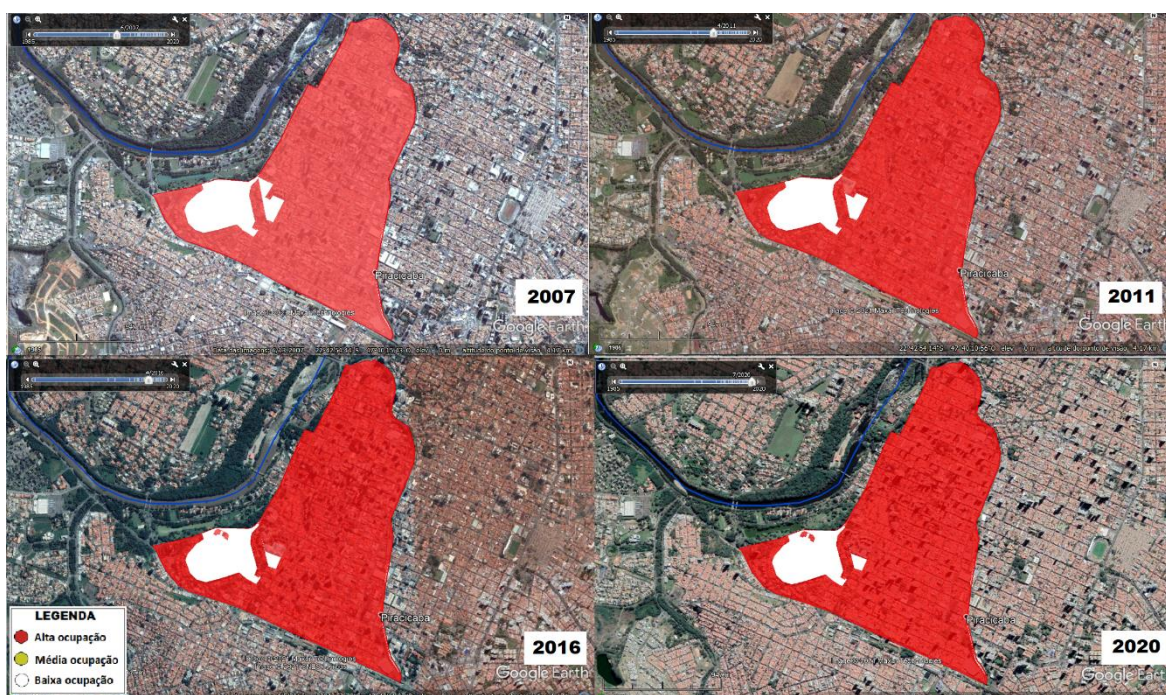
**Tabela 6** - Classificação Bairro Vale do Sol (Área %).

OCUPAÇÃO	2007	2011	2016	2020
BAIXA	97,15%	89,23%	88,60%	87,32%
MÉDIA	2,69%	4,85%	6,12%	6,12%
ALTA	0,16%	5,92%	6,55%	6,55%

Já no Bairro Centro, aplicando a mesma metodologia, de acordo com a **Tabela 7**, e **Figura 14**, verificou-se que as características de ocupação desde o ano 2007 já demonstravam como de alta ocupação, como poucas alterações no período abordado, como já esperado, por se tratar da área central da cidade, consolidada, com muitos edifícios de característica vertical.



**Figura 14** – Análise de ocupação Bairro Centro nos anos (2007, 2011, 2016 e 2020).



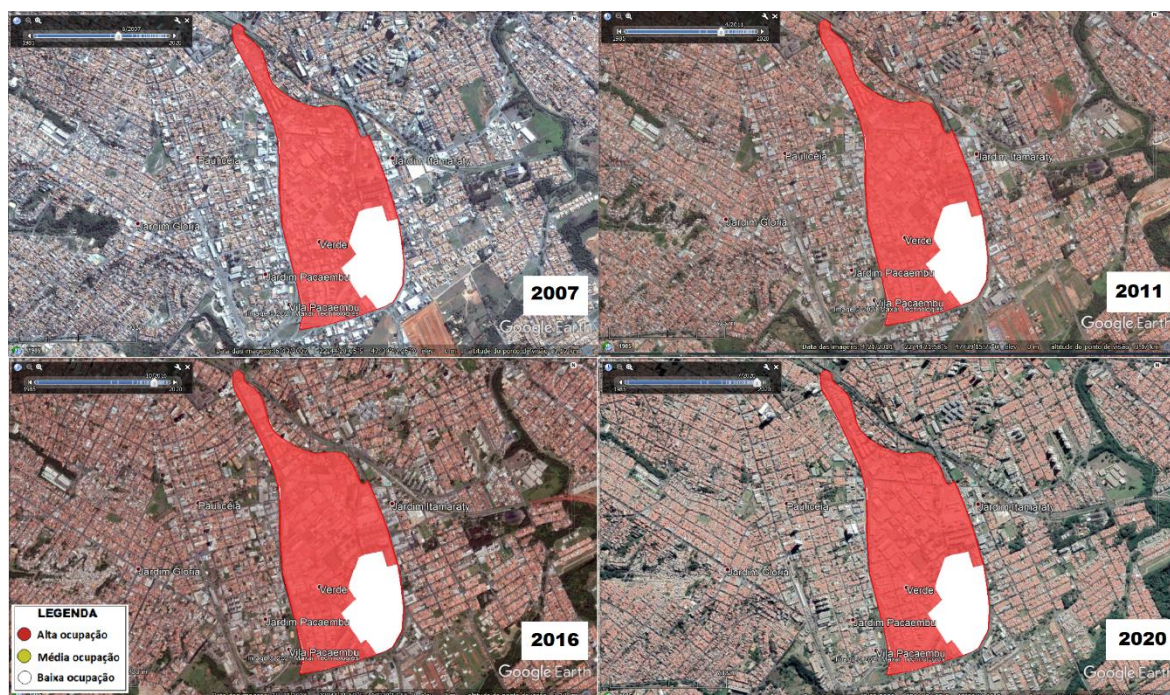
Fonte: Adaptado do Google Earth pelo Autor.

**Tabela 7-** Classificação Bairro Centro (Área %)

OCUPAÇÃO	2007	2011	2016	2020
BAIXA	9,14%	8,79%	8,10%	8,10%
MÉDIA	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
ALTA	90,86%	91,21%	91,90%	91,90%

No Bairro Verde, região Sul do município, o ultimo bairro analisado, também foi caracterizado em sua maioria como de alta ocupação, sem características intermediárias de média ocupação, de acordo com a **Tabela 8**, e **Figura 15**, o bairro encontra-se consolidado desde o ano 2007, com aproximadamente 81,23%, tendo apenas 18,97% de sua área territorial, com baixa ocupação até o ano 2020.

**Figura 15** – Análise de ocupação Bairro Verde nos anos (2007,2011, 2016 e 2020).



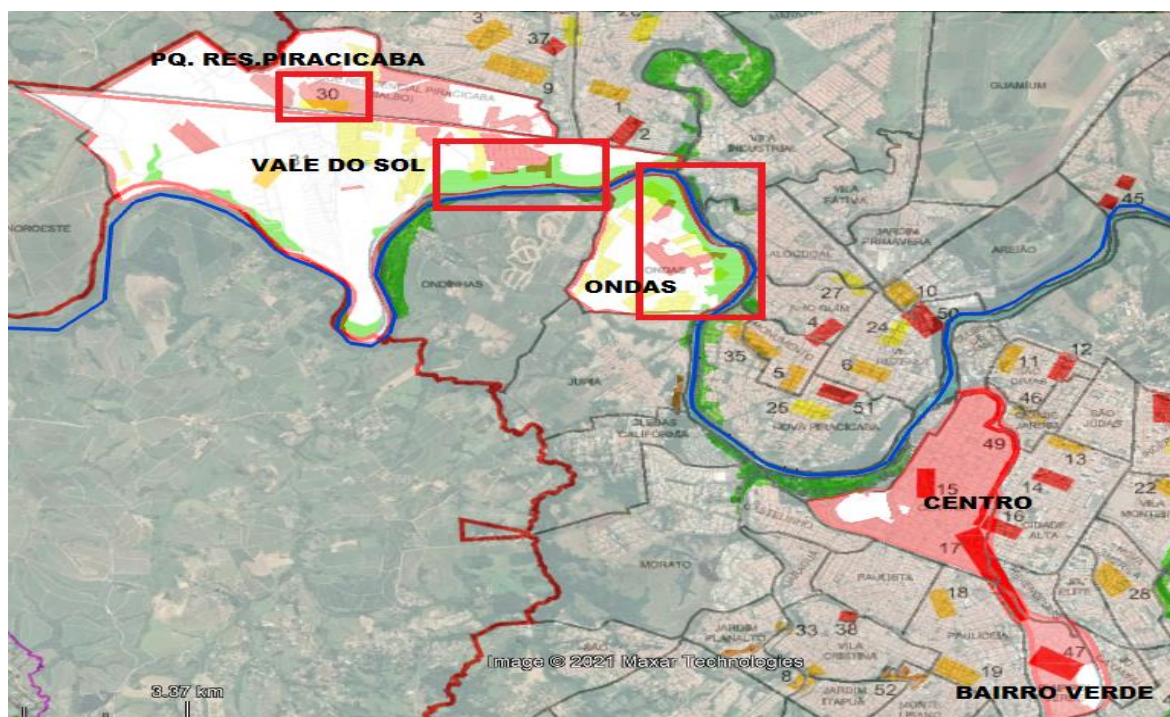
Fonte: Adaptado do Google Earth pelo Autor.

**Tabela 8-** Classificação Bairro Verde (Área %)

OCUPAÇÃO	2007	2011	2016	2020
BAIXA	18,97%	18,97%	18,97%	18,97%
MÉDIA	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
ALTA	81,03%	81,03%	81,03%	81,03%

Utilizando a sobreposição de imagens, relacionado as ocupações dos referidos Bairros, verso o Mapa de áreas de risco (**Figura 3**), verificou-se uma tendencia de crescimento da ocupação sobre as áreas marginais do Rio Piracicaba, consequentemente indicadas como áreas de risco de inundação, demonstrado na imagem da **Figura 16**.

**Figura 16** – Avanço da Ocupação sobre Áreas de risco a inundações.



. **Fonte:** Adaptado do Google Earth e Plano Diretor de Piracicaba pelo Autor.

Com relação as análises dos dados históricos entre os anos 2002 e 2018, indicam que os índices de precipitação de acordo com os pontos de coleta, não sofreram variações significativas, com relação aos aumentos das vazões do rio.

De acordo com a análise do crescimento urbano nos anos 2007, 2011, 2016 e 2020, tomando como indicadores o Bairros Vale do Sol, Ondas e Parque Residencial Piracicaba, analisados nas classificações de ocupação, os resultados demonstram grandes avanços das ocupações sobre as áreas de recarga hídrica do Rio Piracicaba, comprometendo as áreas naturais de drenagem, e o amortecimento das enchentes.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com o comparativo dos dados de diferença de vazão entre os dois pontos de observação, ponto à jusante e o ponto à montante, considerado dentro do perímetro urbano do rio Piracicaba, verificou-se que os picos de vazão tiveram um aumento significativo de 49,91% entre os anos de 2002 a 2016. Contrapondo-se a este crescimento, os dados pluviométricos no mesmo período demonstraram

um pequeno decréscimo (ou constância) representado por sua linha de tendência no mês de janeiro, mês da ocorrência de maior precipitação e de vazão.

Os dados da evolução populacional do município de Piracicaba demonstraram um aumento de aproximadamente 13,1 % na população, entre os anos 2002 a 2016, em paralelo com o aumento acentuado da vazão acumulada no período.

Considerando os Bairros escolhidos para análise de ocupação, os bairros Vale do Sol, Parque Residencial Piracicaba, Ondas, mostraram que a causa das inundações é consequência direta de uma ocupação sem planejamento, principalmente de áreas de drenagem natural e amortecimento de cheias, já os bairros Centro e Bairro Verde, não tiveram alterações nas condições de risco, apesar de estarem vulneráveis a alagamentos, por serem áreas consolidadas desde o início da análise.

Considerando esses indicadores, a pequena diminuição nas precipitações acumuladas a partir do ano de 2002, conclui-se que as situações de inundações, nas áreas de risco dos respectivos bairros, foram principalmente provocadas pela ocupação mal planejada aliado ao sufocamento das drenagens naturais do rio Piracicaba. A contribuição das alterações climáticas é menos significativa.

## 6. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Laura Thebit de; SILVA, Felipe Bernades; CECÍLIO, Roberto Avelino; ABREU, Marcel Carvalho e FRAGA, Micael de Souza. (2019). **Análise do Comportamento da Vazão e Precipitação na Influência de Enchentes na Bacia Hidrográfica a Montante da Cidade de Itajubá**. Revista Augustus, [S.L.], v. 24, n. 49, p. 124-145, 17 dez. Sociedade Unificada de Ensino Augusto Motta -UNISUAM. <http://dx.doi.org/10.15202/1981896.2019v24n49p124>.

ALVES, Patrícia Layne e FORMIGA, Klebber Teodomiro Martins. (2019). **Efeitos da arborização urbana na redução do escoamento pluvial superficial e no atraso do pico de vazão**. Ciência Florestal, Santa Maria- RS, v. 29, n. 1, p. 193-207, 01 jan. Trimestral.

ARAGÃO, Ricardo de; CRUZ, Marcus Aurélio Soares; CORREIA, Ernesto Cleiton de Oliveira; MACHADO, Lucas Ferreira Melo e FIGUEIREDO, Eduardo Enéas de. (, 2017). **Land use and population density Impacts on runoff in a Brazilian northeast urban area via geotechnology and hydrologic modeling**. Revista Brasileira de Geografia Física, [S.L.], v. 10, n. 2, p. 543-557. GN1 Genesis Network. <http://dx.doi.org/10.5935/1984-2295.20170035>.

ASSIS, Janaina Maria Oliveira de; LACERDA, Francinete Francis e SOBRAL, Maria do Carmo Martins. (2012). **Análise de Detecção de Tendências no Padrão Pluviométrico na Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe**. Revista Brasileira de Geografia Física, Recife- PE, v. 1, n. 2, p. 320-331, 28 maio. Trimestral.

AVILA, Maria Roseli Rossi; MATTEDI, Marcos Antonio e SILVA, Maria Salete da. (2017). **Serviço Social e desastres: campo para o conhecimento e a atuação profissional**. Serviço Social & Sociedade, [s.l.], n. 129, p. 343-365, ago. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0101-6628.112>.

BRAGA, Júlia Oliveira. (2016). **Alagamentos e Inundações em Áreas Urbanas: Estudo de Caso na Cidade de Santa Maria - DF**. 2016. 42 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Departamento de Geografia, Instituto de Ciências Humanas, Universidade de Brasília, Distrito Federa.

BRASIL. (2007). **LEI Nº 11.445, DE 5 DE JANEIRO DE 2007**. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico; cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico, Brasília, DF, jan.

BRAZIL, João Luiz Santana. (2016). **Eventos Pluviais Extremos e Risco de Inundações Na Cidade de Aracaju/SE**. 106 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Geografia – PPGeo, Pró-reitora de Pós-graduação e Pesquisa – POSGRAP, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão – SE.

CÁRDENAS, Erika Fhaisuly Sierra. (2017). **Avaliação dos Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentável Mediante o Modelo Urban Waters Use (UWU) em Área Urbana da Cidade De Curitiba**. 113 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental da Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

CARVALHO, Celso Santos; MACEDO, Eduardo Soares de; e OGURA, Agostinho Tadashi. (2007). **Mapeamento de riscos em encostas e margens de rios**. Brasília, DF, 176 p.

CONCEIÇÃO, Renaildo Santos da; PEREIRA, Lara Barros e VEIGA, Artur José Pires. (2016). **Análise da Temperatura do Ar, Precipitação, Evapotranspiração, Déficit e Excedente Hídrico em Vitória da Conquista- BA, DE 1961 A 1990**. Revista Eletrônica Geoaraguaia, Barra do Garças-MT, v. 6, n. 1, p. 71-83, 18 maio. Semestral.

DAEE - Departamento de Águas e Energia Elétrica. (2020). **Sistema Integrado de Bacias Hidrográficas**, Disponível em: <http://sibh.dae.sp.gov.br>, acesso em 10 de ago. de 2020.

DAEE - Departamento de Águas e Energia Elétrica. **Manual de Operação das Salas de Situação**: Estado de São Paulo. 2017. Disponível em: <https://progestao.ana.gov.br/portal/progestao/progestao-1/acompanhamento-programa/aplicacao-dos-recursos/acompanhamento-das-metas-de-cooperacao->

federativa/manuais-de-salas-de-situacao/anexo-2-manual-de-operacao-das-salas-de-situacao.pdf. Acesso em: 06 abr. 2021.

DANTAS, Leydson Galvíncio; SANTOS, Carlos Antonio Costa dos; e OLINDA, Ricardo Alves de. (2015). **Tendências anuais e sazonais nos extremos de temperatura do ar e precipitação em campina grande - PB**. *Revista Brasileira de Meteorologia*, [s.l.], v. 30, n. 4, p. 423-434, dez. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0102-778620130088>.

FIORIO, Peterson Ricardo; NAKAI, Érica Silva e BATAGIN, Bruna. (2019). **Temporal Analysis of Soil Use and Occupation of Stream Watershed in Piracicaba (SP), Brazil**. *Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ*, [s.l.], v. 42, n. 1, p. 179-187, 25 mar. Instituto de Geociências - UFRJ. [http://dx.doi.org/10.11137/2019\\_1\\_179\\_187](http://dx.doi.org/10.11137/2019_1_179_187).

GIMENEZ, Deborah Fernanda Santana. (2017). **Análise da Precipitação Pluvial e Ocorrências de Desastres Naturais no Estado de São Paulo (1976 – 2012) Dissertação**. 2017. 98 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia, Instituto de Geociências., Universidade Estadual de Campinas, Campinas- SP.

GOERL, Roberto Fabris e KOBIYAMA, Masato. (2005). **Considerações sobre inundações no Brasil**. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 16, Joao Pessoa - PB: ABRH, Anais.

HOLANDA, Marco Aurélio Calixto Ribeiro de; e SOARES, Willames de Albuquerque. (2019). **Analysis of the effect of impermeability of urban soils on the infiltration of rainwater in the city of Recife, PE**. *Rev. Ambiente. Água*, Taubaté, v. 14, n. 4, e 2386. Disponível em <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1980993X2019000400312&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1980993X2019000400312&lng=pt&nrm=iso)>. acesso em 28 set. 2020.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2019). **Dados censitários**. Disponível em < <https://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em 21 set 2020.

IPPLAP – INSTITUTO DE PESQUISAS E PLANEJAMENTO DE PIRACICABA. (2021). Prefeitura Municipal de Piracicaba. **Piracicaba em dados**. Disponível em: <https://ipplap.com.br>. Acesso em: 26 jan. 2021.

LIMA, Silvia Maria Santana Andrade; LOPES, Wilza Gomes Reis e FACANHA, Antônio Cardoso. (2019). **Desafios do planejamento urbano na expansão das cidades: entre planos e realidade**. *Urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana*, 11, e20190037. <https://doi.org/10.1590/2175-3369.011.e20180037>.

LUCAS, Alessandro Hirata; SOBRINHA, Loide Angelina; MORUZZI, Rodrigo Braga e BARBASSA, Ademir Paceli. (2015). **Avaliação da construção e operação de técnicas compensatórias de drenagem urbana: o transporte de finos, a capacidade de infiltração, a taxa de infiltração real do solo e a permeabilidade da manta geotêxtil**. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, [s.l.], v. 20, n. 1, p.17-28, mar. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522015020000079923>.

MACROPLAN: Empresa De Consultoria. (2018). **Desafio da Gestão Municipal 2018**. índice dos Desafios da Gestão Municipal (IDGM). Disponível em <<https://www.macroplan.com.br/publicacoes/>>. Acesso em 20 ago. 2020.

MARENGO, Jose Antonio. (2010). **Condições Meteorológicas Extremas e Eventos Climáticos no Brasil**. FBDS (org) Mudanças Climáticas Eventos Extremos no Brasil. p: 05-19. FBDS & LLOYD'S.

MAROPO, Vivianne Lisbethe Bezerra; MORAIS, Emilia Evangelista; NUNES, André Cavalcanti e SILVEIRA, José Augusto Ribeiro da. (2019). **Planejamento urbano sustentável: um estudo para implantação de infraestrutura verde no Bairro Bancários, João Pessoa-PB, Brasil**. Urbe - Revista Brasileira de Gestão Urbana, Curitiba, v. 11, fev. 21.

MARQUES, Victor Pereira. (2019). **Estudo de Medidas Estruturais em Planos Diretores De Drenagem Urbana**. 78 f. Monografia (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.

MARTINS, Lorraine Campos. (2017). **Vazão máxima em pequena bacia hidrográfica parcialmente urbanizada em Uberlândia – MG**. 81 f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Qualidade Ambiental) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

MURARA, Pedro e MENDONÇA, Magaly. (2019). **Variabilidade e Tendências das Precipitações Pluviais em Rio do Sul – SC**. Revista Brasileira de Geografia Física, Recife, Brasil. v. 12, n. 6, p. 1996-2007, 30 out. Bimensal.

PAIVA, Laura Gomes Girão; SANTOS, Jefferson Lima dos; FREITAS, Luis Carlos Bastos; VERÍSSIMO, Cesar Ulisses Vieira; VASCONCELOS e Sonia Maria Silva. (2017). **Análise Espaço-Temporal do Uso e Ocupação Associada à Impermeabilização do Solo na Microbacia do Rio Granjeiro, CE**. Revista de Geologia, Fortaleza - CE, v. 30, n. 1, p. 95-114, 26 fev. Disponível em: <http://periodicos.ufc.br/geologia/article/view/19734>. Acesso em: 21 out. 2020.

PBMC, 2016: **Mudanças Climáticas e Cidades. Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas** Ribeiro, S.K., Santos, A.S. (Eds.). PBMC, COPPE – UFRJ. Rio de Janeiro, Brasil. 116p. ISBN: 978-85-285-0344-9.

PEIXOTO, Filipe da Silva e SILVEIRA, Renata Nayara Câmara Miranda. (2017). **Watershed: trends and approach of applicability in urban environment**. Revista Brasileira de Geografia Física, [S.L.], v. 10, n. 3, p. 840-853. GN1 Genesis Network. <http://dx.doi.org/10.5935/1984-2295.20170054>.

PEREIRA, Rodrigo. (2020) **Piracicaba tem 61 áreas de risco de alagamento, diz prefeitura**. G1, Piracicaba. Disponível em<<https://g1.globo.com/sp/piracicaba-regiao/noticia/2020/03/10/piracicaba-acumula-61-areas-com-risco-de-alagamento-aponta-prefeitura.ghtml>>. Acesso em: 16 fev. 2021.

PIRACICABA, Prefeitura Municipal. (2019). **Plano Diretor de Desenvolvimento de Piracicaba**. Lei Complementar Nº 405, de 18 de dezembro de 2019.

PIRACICABA, Prefeitura Municipal de Piracicaba. (2021). Secretaria Municipal de Obras (comp.). **Prefeitura instala placas em pontos críticos de alagamento**. Disponível em: <http://www.piracicaba.sp.gov.br/imprimir/prefeitura+instala+placas+em+pontos+criticos+de+alagamento.aspx>. Acesso em: 16 fev. 2021.

RAMPAZO, Núria Aparecida Miatto e NUNES, Lucí Hidalgo. (2017). **Tendências da precipitação diária no estado de São Paulo a partir do Índice de Concentração (IC)**. Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento, [S.L.], p. 2454-2466. INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS - UNICAMP. <http://dx.doi.org/10.20396/sbgfa.v1i2017.2312>.

SABÓIA, Marcos Abílio Medeiros de; SOUZA FILHO, Francisco de Assis de; ARAÚJO JÚNIOR, Luiz Martins de; e SILVEIRA, Cleiton da Silva. (2017). **Climate changes impact estimation on urban drainage system located in low latitudes districts: a study case in Fortaleza-CE**. RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v. 22, n. 21.

SALVIANO, Marcos Figueiredo; GROppo, Juliano Daniel e PELLEGRINO, Giampaolo Queiroz. (2016). **Análise de Tendências em Dados de Precipitação e Temperatura no Brasil**. Revista Brasileira de Meteorologia, [s.l.], v. 31, n. 1, p. 64-73, mar. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0102-778620150003>.

SANTOS, Carlos Antonio Costa dos; BRITO, José Ivaldo Barbosa de; RAO, Tantravahi Venkata Ramana, MENEZES, Hudson Ellen Alencar. (2009). **Tendências dos índices de precipitação no Estado do Ceará**. Rev. Bras. Meteorol. São Paulo, v. 24, n. 1, p. 39-47.

SANTOS, Vitor de Oliveira. (2016). **Identificação e análise de tendências das variáveis hidrológicas e mudanças no uso e ocupação das terras no alto curso da bacia hidrográfica do Rio Uberaba, em Minas Gerais**. 129 f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Instituto de Geografia. Universidade Federal de Uberlândia - UFU. Uberlândia/MG.

SANTOS, Stefanie Almeida dos. (2015). **ESTUDO DE ÁREAS URBANAS SUSCEPTÍVEIS A FENÔMENOS DE INUNDAÇÕES, ENCHENTES E ALAGAMENTOS NA CIDADE DE ALEGRETE-RS**. 115 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Pampa, Alegrete.

SEADE - Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados. (2021). **Dados estatísticos**. Disponível em < <https://www.seade.gov.br/>>. Acesso em 21 set 2020.

SILVA, Roberto Omena Barbosa da; MONTENEGRO, Suzana Maria Gico Lima e SOUZA, Weronica Meira de. (2017). **Tendências de mudanças climáticas na precipitação pluviométrica nas bacias hidrográficas do estado de Pernambuco**. Eng. Sanit. Ambient. Rio de Janeiro, v. 22, n.3, p.579-589.



SILVA, Thomas Fernandes da; PAIVA, Anderson Luiz Ribeiro de; e SANTOS, Sylvana Melo dos. (2016). **Análise Estatística e Tendência das Precipitações no Município de Caruaru - PE**. In: XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2016, Brasília. Anais [...]. Brasília, ABRH, p. 1-8.

SILVA. Gildarte Barbosa e; AZEVEDO, Pedro Vieira de. (2008). **Índices de tendências de mudanças climáticas no estado da Bahia**. Engenharia Ambiental. Espírito Santo do Pinhal, v. 5, n. 3, p. 141-151.

SIMIONI, João Paulo Delapasse; ROVANI, Franciele Francisca Marmentini; IENSSE, Amanda Comassetto; e WOLLMANN, Cássio Arthur. (2014). **Caracterização da Precipitação Pluviométrica na Bacia Hidrográfica no Rio Ibicuí, RS**. Geography Department University Of Sao Paulo, [S.L.], v. 28, p. 112-133, 2 fev. Universidade de São Paulo, Agência USP de Gestão da Informação Acadêmica (AGUIA). <http://dx.doi.org/10.11606/rdg.v28i0.520>.

SOUSA, Raimundo Expedito dos Santos e GONÇALVES, Guilherme Felipe Ganime. (2018). **Um Estudo Sobre os Impactos Decorrentes de Inundações no Município de Belo Horizonte**. Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental, [S.L.], v. 7, n. 3, p. 591-606, 3 out Universidade do Sul de Santa Catarina - UNISUL. <http://dx.doi.org/10.19177/rgsa.v7e32018591-605>.

SOUZA, Vladimir Caramori Borges de; MORAES, Luiz Roberto Santos; e BORJA, Patrícia Campos. (2013). **DÉFICIT NA DRENAGEM URBANA: buscando o entendimento e contribuindo para a definição**. Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais, [S.L.], v. 1, n. 2, p. 162-175, 13 nov. Revista GESTA. <http://dx.doi.org/10.17565/gesta.v1i2.7213>.

SOUZA, Vladimir Caramori Borges de. (2013). **GESTÃO DA DRENAGEM URBANA NO BRASIL: desafios para a sustentabilidade**. Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais, [S.L.], v. 1, n. 1, p. 58-72, 27 mar. Revista GESTA. <http://dx.doi.org/10.17565/gesta.v1i1.7105>.

SOUZA, Werônica Meira de; AZEVEDO, Pedro Vieira de; e ARAUJO, Lincoln Eloi de. (2012). **Classificação da Precipitação Diária e Impactos Decorrentes dos Desastres Associados às Chuvas na Cidade do Recife-PE**. Revista Brasileira de Geografia Física, Recife- PE, v. 2, n. 1, p. 250-268, 20 abr. Bimensal.

TARGA, Marcelo dos Santos; BATISTA, Getulio Teixeira; DINIZ, Hélio Nóbile; DIAS, Nelson Wellausen; e MATOS, Fernando Cardoso. (2012). **Urbanização e escoamento superficial na bacia hidrográfica do Igarapé Tucunduba, Belém, PA, Brasil**. Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal Of Applied Science, [S.L.], v. 7, n. 2, p. 120-142, 31 ago. Instituto de Pesquisas Ambientais em Bacias Hidrográficas (IPABHi). <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.905>.

TERASSI, Paulo Miguel de Bodas; CORREA, Márcio Greyck Guimarães e GALVANI, Emerson. (2018). **Avaliação Do Potencial Erosivo Das Chuvas Em Anos De Ocorrência Do Fenômeno El Niño -Oscilação Sul Na Bacia Hidrográfica Do Rio Piquiri-Paraná**. Revista Eletrônica do Curso de Geografia - UFG/REJ, Jataí-go, v. 1, n. 30, p. 1-19, 03 abr.

TRENTIN, Romario; ROBAINA, Luís Eduardo de Souza e AVILA, Luciele de Oliveira. (2019). **Proposal Methodology for Analysis of Population Vulnerability at Hazard Areas**. Mercator, [S.L.], v. 18, n. 02, p. 1-13, 15 fev. Mercator - Revista de Geografia da UFC. <http://dx.doi.org/10.4215/rm2019.e18004>. TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. Gestão da Drenagem Urbana. [S.I.]: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – Ipea, 2012. 54 p.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. (2012). **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 4ª ed. Porto Alegre: ed. ABRH e Editora da UFRGS.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. (2016). **Regulamentação da drenagem urbana no Brasil**. REGA - Revista de Gestão de Água da América Latina, Porto Alegre, v. 13, n. 1, p. 29-42, 27 abr.

WELERSON, Camila Coelho e SILVA, Benedito Cláudio. (2019). **Análise do impacto do crescimento urbano em uma microbacia hidrográfica no município de Itajubá/MG**. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 12, n. 3.

ZEILHOFER, Petere MIRANDA, Cláudio Santos de. (2012). **Proposta de Parcelamento e Infraestrutura em Bacias Urbanas: Estudo de Caso - Córrego do Moinho, Cuiabá, MT**. GEOUSP Espaço e Tempo (Online), [S. I.], v. 16, n. 2, p. 37-53. DOI: 10.11606/issn.2179-0892.geousp.2012.74251. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/geousp/article/view/74251>. Acesso em: 30 out. 2020.

