

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

RENATO BRUNO DA SILVA PINHEIRO

**PADRÃO DE PRECIPITAÇÕES PLUVIAIS EM SANTO ANDRÉ - SP E OS
IMPACTOS NA MOBILIDADE DA LINHA 10-TURQUESA DA CPTM EM CASOS
INTENSOS**

São Paulo

2025

RENATO BRUNO DA SILVA PINHEIRO

Padrão de precipitações em Santo André – SP e os impactos na linha 10 Turquesa em casos intensos

Trabalho de Graduação Individual II (TGI II) apresentado ao Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, da Universidade de São Paulo, como requisito obrigatório à obtenção de título de Bacharel em Geografia.

Área de Concentração: Geografia Física

Orientador: Professor Doutor Emerson Galvani

São Paulo

2025

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo na Publicação
Serviço de Biblioteca e Documentação
Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas

Pp Pinheiro, Renato Bruno da Silva
Padrão de precipitações pluviiais em Santo André -
SP e os impactos na mobilidade da linha 10-Turquesa
da CPTM / Renato Bruno da Silva Pinheiro; orientador
Emerson Galvani - São Paulo, 2025.
109 f.

TGI (Trabalho de Graduação Individual)- Faculdade
de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da
Universidade de São Paulo. Departamento de Geografia.

1. Regime de chuvas. 2. Sistema clima urbano. 3.
Inundações urbanas. 4. Mobilidade CPTM. 5. Santo
André - SP. I. Galvani, Emerson, orient. II. Título.

PINHEIRO, Renato Bruno da Silva. **Padrão de precipitações pluviiais em Santo André – SP e os impactos na mobilidade da linha 10-Turquesa da CPTM.** Trabalho de Graduação Individual (TGI) apresentado à Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Bacharel em Geografia

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr. Emerson Galvani Instituição Universidade De São Paulo (USP)

Julgamento _____ Assinatura _____

Prof. Dr. Ricardo Mendes Antas Jr Instituição Universidade de São Paulo (USP)

Julgamento _____ Assinatura _____

Prof.^a Ma. Jakeline Baratto Instituição Universidade de São Paulo (USP)

Julgamento _____ Assinatura _____

RESUMO

Este trabalho analisa o padrão de precipitação pluvial no município de Santo André e seus impactos na mobilidade urbana da Linha 10 Turquesa da CPTM. O recorte espacial contempla os bairros Santa Terezinha, Parque das Nações, Curuçá, Vila Bastos e Jardim Utinga, selecionados por apresentarem maior recorrência de eventos pluviométricos críticos segundo os registros do CEMADEN. Essa delimitação possibilitou compreender de forma mais precisa como as condições ambientais locais se relacionam com episódios de interrupção da circulação ferroviária e transtornos na mobilidade cotidiana. A metodologia adotada integra observações quali-quantitativas, por meio da análise dos maiores acumulados diários registrados nos pluviômetros, selecionando os volumes que ultrapassam a normalidade e associando-os a eventos de transtornos climatológicos no meio urbano conforme sua intensidade. A escala temporal utilizada baseia-se em uma normal climatológica provisória, acompanhando os nove primeiros anos de monitoramento climático da Defesa Civil em parceria com o CEMADEN. O conceito de Sistema Clima Urbano (SCU), proposto por Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro, orientou a interpretação dos dados, auxiliando na compreensão da interação entre o microclima local, as escalas sinóticas e a dinâmica no espaço urbano. Os resultados demonstram que fatores climáticos como altitude, relevo, latitude e a proximidade com a Serra do Mar condicionam o município a ser influenciado por diversos sistemas atmosféricos, enquanto a configuração urbana exerce papel intensificador sobre determinados fenômenos meteorológicos. Aspectos como a impermeabilização do solo, as altas porcentagens de temperaturas de superfície e a drenagem precária contribuem para agravar os impactos dos eventos de chuva intensa, influenciando diretamente a mobilidade urbana e a ocorrência de interrupções na operação ferroviária da Linha 10 Turquesa.

Palavras-chave: padrão de precipitação; totais pluviométricos; mobilidade urbana; sistema clima urbano; inundações urbanas; Santo André; linha 10-Turquesa

ABSTRACT

This study analyzes the pattern of liquid precipitation in the municipality of Santo André and its impacts on urban mobility along CPTM's Line 10 Turquesa. The spatial scope includes the neighborhoods of Santa Terezinha, Parque das Nações, Curuçá, Vila Bastos, and Jardim Utinga, selected due to their higher recurrence of critical rainfall events according to CEMADEN records. This delimitation allowed for a more precise understanding of how local environmental conditions relate to episodes of railway circulation interruptions and disruptions to daily mobility. The adopted methodology integrates qualitative and quantitative observations through the analysis of the highest daily rainfall totals recorded by rain gauges, selecting volumes that exceed normal conditions and associating them with climatological disturbances in the urban environment according to their intensity. The temporal scale is based on a provisional climatological normal, corresponding to the first nine years of climate monitoring conducted by Civil Defense in partnership with CEMADEN. The concept of the Urban Climate System (SCU), proposed by Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro, guided the interpretation of the data, assisting in the understanding of the interaction between the local microclimate, synoptic scales, and the dynamics of urban space. The results indicate that climatic factors such as altitude, topography, latitude, and proximity to the Serra do Mar condition the municipality to be influenced by various atmospheric systems, while urban configuration plays an intensifying role in certain meteorological phenomena. Elements such as soil impermeabilization, high surface temperature percentages, and deficient drainage contribute to aggravating the impacts of intense rainfall events, directly affecting urban mobility and causing interruptions in the operation of Line 10 Turquesa.

Keywords: precipitation pattern; rainfall totals; urban Mobility; urban climate system; urban flooding; Santo André; Line 10–Turquoise

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização geográfica de Santo André - SP	24
Figura 2: Posição geográfica na RMSP e contexto regional de Santo André como integrante do ABC Paulista	24
Figura 3: Mapa da Linha 10 Turquesa (CPTM).....	25
Figura 4: Mapa de Santo André – SP com o traçado da linha férrea.....	26
Figura 5: Imagem de satélite dos arredores da linha férrea em Santo André - SP.....	27
Figura 6: Declividade do território municipal de Santo André – SP	30
Figura 7: Comunidade “Núcleo dos ciganos” em Santo André (SP).....	32
Figura 8: Circulação de trens interrompida na linha 10 por trecho alagado na altura de Utinga	32
Figura 9: Composição espacial da área de estudo.....	33
Figura 10: Média anual da TST para Santo André – SP (2016 – 2021).....	35
Figura 11: Variação da TST média anual dentro da área de estudo (2021).....	36
Figura 12: Temperaturas máximas de superfície registradas dentro da macrozona urbana de Santo André no ano de 2021	38
Figura 13: Temperaturas máximas de superfície registradas dentro da macrozona urbana de Santo André no ano de 2021, perspectiva mais aproximada da área estudada.....	39
Figura 14: Coeficiente de ilha de calor para os bairros estudados no recorte espacial e arredores em 2021	41
Figura 15: Mapa hidrográfico do município de Santo André - SP	43
Figura 16: Hidrografia nas proximidades do trecho da linha 10 turquesa da CPTM.....	43
Figura 17: Mapa litológico de Santo André - SP	44
Figura 18: Nível de impermeabilização na área de estudo.....	45
Figura 19: As duas macrozonas para o uso legal do solo.....	51
Figura 20: Imagem de satélite do território de Santo André – SP, com evidências do uso do solo no município que o subdivide em duas macrozonas, conforme o Plano Diretor.	51
Figura 21: Mapa de macrozoneamento para o uso legal do solo	53
Figura 22: O cálculo do volume de água pluvial e captação em pluviômetros.....	55
Figura 23: Mapa modelo COSMO do INMET (7X7Km).....	58
Figura 24: Modelo de tabela oficial divulgada mensalmente pela Defesa Civil,.....	60
Figura 25: Modelo de tabela com a presença de erros na quantificação diária da precipitação, ocasionada por falhas na captação.....	60

Figura 26: Dispersão espacial dos pluviômetros com foco nos bairros da área urbana 2	62
Figura 27: Distribuição pluviométrica de 2016	68
Figura 28: Distribuição pluviométrica de 2017	70
Figura 29: Distribuição pluviométrica de 2018.....	71
Figura 30: Distribuição pluviométrica de 2020	73
Figura 31: Distribuição pluviométrica de 2021	74
Figura 32: Distribuição pluviométrica de 2022.....	76
Figura 30: Distribuição pluviométrica de 2023	78
Figura 31: Distribuição pluviométrica de 2024	80
Figura 35: Trilhos da Linha 10-Turquesa submersos na estação Santo André (2018)	86
Figura 36: Usuários ilhados nas plataformas da estação Santo André (2018)	87
Figura 37: Níveis subterrâneos da estação Santo André são invadidos por alagamentos (2016)	88
Figura 38: Acesso à estação Santo André bloqueado pelas águas e trilhos submersos (2025)	88

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: média das taxas de temperatura do ar e precipitação pluvial em Santo André (2016 – 2024).....	28
---	----

LISTA DE QUADROS:

Quadro 1: Classificação de Intensidade das Chuvas mais presentes em literaturas.....	57
Quadro 2: A lista dos bairros contemplados pelas medições dos pluviômetros.....	61
Quadro 3: Os episódios de alagamento que afetaram a operação da Linha 10-Turquesa (2016– 2025).....	80

Sumário

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA	2
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	7
2.1 Conceito de precipitação na Geografia.....	7
2.2 Tipos de precipitação	8
2.3 Ocorrências que definem uma precipitação intensa	9
2.4 Inundações urbanas associadas a deficiência da drenagem pluvial por impermeabilização do solo	11
2.5 Índices pluviométricos e a quantificação do volume de chuva para a definição de padrões de precipitação.....	12
2.6 Climatologia urbana e a dinâmica atmosférica basal nas grandes cidades.....	13
2.7 Sistema de clima urbano (SCU)	14
2.8 Classificação climática Koppen – Geiger.....	15
2.9 Classificação climática de Novais e Galvani.....	17
3 OBJETIVOS.....	20
4 HIPOTESES.....	20
5 METODOLOGIA.....	21
6 ÁREA DE ESTUDO.....	23
6.1 Localização espacial e contexto histórico de Santo André.....	23
6.2 O relevo e o clima de Santo André.....	28
6.3 Delimitação do recorte espacial referente a área estudada	30
6.4 “Temperatura máxima de superfície” e “Nível de exposição populacional em vulnerabilidade à Ilha de calor urbano” (UrbVerde).....	34
Temperatura de superfície Terrestre (TST).....	34
Temperaturas máximas de superfície registradas em Santo André	37
Coeficiente de Ilha de Calor Urbano	40
6.5 Hidrografia e a impermeabilização do solo na área de estudo.....	41
6.6 Principais sistemas atmosféricos que atingem o município de Santo André	46
7 PLANO DIRETOR URBANÍSTICO DO MUNICÍPIO DE SANTO ANDRÉ E O USO DO SOLO	49
8 Caracterização da coleta dos dados, as fontes, as medidas e as escalas espaciais e temporais	54
9 TOTAIS PLUVIOMÉTRICOS DA ÁREA DE ESTUDO (2016 – 2024).....	63
9.1 Método de análise dos documentos de pluviosidade acumulada.....	63
9.1.1 Observação anual de 2016.....	65
9.1.2 Observação anual de 2017.....	67
9.1.3 Observação anual de 2018.....	69

9.1.4 Observação anual de 2019.....	70
9.1.5 Observação anual de 2020.....	71
9.1.6 Observação anual de 2021.....	72
9.1.7 Observação anual de 2022.....	73
9.1.8 Observação anual de 2023.....	75
9.1.9 Observação anual de 2024.....	78
10 OS IMPACTOS NA LINHA 10 - TURQUESA DA CPTM.....	80
11 REGIME PLUVIOMÉTRICO DE SANTO ANDRÉ CONSIDERANDO O TERRITÓRIO TOTAL.....	86
Considerações Finais.....	90
Referências bibliográficas.....	94

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

Os fenômenos atmosféricos circulam e contactam a superfície terrestre a todo instante, agindo não somente nos processos físicos e químicos do planeta, mas direcionando também os grupos sociais nos processos de ocupações dos espaços e no manejo de seus territórios. É fato que os atributos e os fatores climáticos influenciam a configuração dos objetos dispostos pela ação humana no espaço geográfico, como nos projetos arquitetônicos das construções civis, nas vestimentas dos indivíduos, na utilização dos meios de transportes, em atividades agropecuárias, indústrias, oferecimento de serviços etc. (AYOADE, 1996). Compreender, portanto, a variabilidade do tempo meteorológico ao longo dos anos e o seu monitoramento, tornam-se indispensáveis para a análise geográfica do clima em determinada escala espacial (no passado, presente e futuro), servindo de subsídio ao planejamento e à ordenação de territórios, bem como o entendimento das paisagens naturais ou artificiais, e a troca mútua entre os meios.

Faz-se necessária a diferenciação dos conceitos de “tempo meteorológico” e “clima”, no qual o primeiro refere-se a uma condição atual atmosférica em dado instante e local, definido pela radiação, temperatura, pressão, ventos, umidade, chuvas etc. Logo depois, o segundo nos indica uma sucessão de tempos atmosféricos típicos de determinada porção do espaço ao longo de anos. Além disso, a palavra clima (derivada do grego) significa inclinação, fazendo referência direta a curvatura da Terra, determinante nas condições climáticas em diferentes regiões do planeta. Dentre as condições momentâneas da atmosfera mais relevantes na vida das populações está a precipitação ou a falta dela. Precipitação é um processo natural e parte do ciclo da água na atmosfera terrestre, ocorre a partir da condensação de vapor d’água em gotas ou cristais de gelo ao atingirem tamanho crítico, impossibilitando que as correntes de ar os segurem, caindo em direção a superfície. O padrão de precipitação é a forma como as chuvas, o orvalho, a neblina, o granizo e a neve se distribuem, compreendê-los nos indica os eventos aos quais as regiões do planeta estão suscetíveis, principalmente nas densas áreas urbanas, onde vivem grande parte das populações; classificando zonas de risco, a vulnerabilidade e os pontos críticos, de acordo com a quantidade de precipitações por metro quadrado, bem como a duração, intensidade e frequência.

Obviamente, os estudos voltados à climatologia devem abranger uma análise dinâmica e não separatista, isto é, devem abarcar a análise combinatória dos elementos influenciados pelos fatores do clima que são de suma importância ao entendimento da situação geográfica e

o planejamento regional. Por exemplo, a precipitação está intrinsecamente relacionada às condições de umidade, temperatura e pressão na atmosfera em dado local e instantâneo. Por sua vez, todas essas variáveis sofrem interferência dos fatores geográficos físicos controladores do clima, dos quais pode-se mencionar o relevo, as latitudes, as altitudes, as correntes oceânicas, a influência da continentalidade ou maritimidade. Os fatores climáticos são componentes mais estáticos, porém seguem relevantes aos estudos, carregando consigo o balanço energético do planeta de acordo com a época do ano (estações climáticas), impactantes nas condições de radiação, pressão, jatos de ventos, temperaturas, correntes marítimas etc.

Em relação às latitudes, segundo Ayode, a variação latitudinal é o grande determinante da distribuição solar sobre o planeta, propiciando a formação de zonas e as diferenças de elementos climáticos entre as regiões do geoide terrestre:

“A latitude é o fator geográfico mais importante na determinação da temperatura média de um lugar, uma vez que controla a quantidade de radiação solar recebida. As regiões próximas ao equador recebem radiação mais intensa, enquanto as áreas de altas latitudes recebem menos energia solar.” (AYODE, 1996, p. 37)

Também nessa perspectiva, Conti e Furlan (1995) ressaltam que a variação latitudinal constitui a base para a compartimentação climática do planeta, refletindo-se em contrastes térmicos marcantes entre diferentes regiões. Do mesmo modo, Tarifa e Azevedo (2001) destacam que a latitude, além de influenciar diretamente o regime térmico, afeta indiretamente a circulação atmosférica e a formação de zonas climáticas. Assim, pode-se afirmar que a organização espacial do clima terrestre em diferentes escalas depende primeiramente e fundamentalmente da posição latitudinal, como também enfatizam Strahler e Strahler (1999) e Christopherson (2012), ao situarem a latitude como o fator primário no controle climático global. Neste sentido, Santo André localiza-se dentro de uma zona latitudinal tropical em uma área de transição para uma zona temperada subtropical.

Outro fator primordial para a análise da precipitação nos espaços das grandes cidades, é considerar o impacto da urbanização contemporânea, cujo a configuração dos objetos aliada as ações de alta emissão de poluentes degradantes ambientais e o baixo albedo¹ dos materiais

¹ Albedo é a medida da capacidade de uma superfície em refletir radiação solar, onde o seu poder de reflexão varia de 0 a 1 (0% a 100%).

como o do asfalto e o do concreto provocam o aumento das temperaturas e afetam a circulação dos ventos, a umidade relativa do ar e o comportamento de chuvas. A título de exemplo, o fenômeno intitulado “ilha de calor” (IC), caracteriza-se por acentuar a temperatura em dado perímetro, este altamente urbanizado em relação ao seu entorno com menor concentração urbana, no qual verifica-se a sua existência principalmente no período noturno (VOOGT e OKE, 2003). Além disto, o ritmo das atividades humanas integra o processo de aprisionamento de calor e ainda corrobora com a inserção de moléculas de água na parte basal atmosférica e contribuem para a evapotranspiração no espaço urbano, de acordo com Azevedo e Tarifa (2001), que trazem em seu trabalho evidências desse acréscimo pelo ritmo semanal da movimentação e trabalho humano utilizando o caso da Região Metropolitana de São Paulo, a qual Santo André faz parte.

A morfologia metropolitana apresenta materiais de construção com propriedades térmicas e permeabilidade favoráveis à formação de IC, bem como enorme desproporção entre áreas verdes e áreas construídas. De acordo com o Censo Demográfico do IBGE do ano de 2022, cerca de 87,4% dos brasileiros vivem em áreas urbanizadas, reforçando a urgência em voltar os olhos para os fenômenos recorrentes nesses locais e a importância de se pensar em alternativas capazes de amenizar os impactos das IC's. Já na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), são mais de 20 milhões de pessoas distribuídas dentre os municípios, configurando uma mancha urbana de potencial energético gigante.

Na análise climatológica, fundamentar o espaço das grandes cidades como um sistema de clima urbano (SCU), baseado na Teoria Geral dos Sistemas, faz-se então uma abordagem apropriada, tal qual a visão de Monteiro (1976). Um sistema evidencia-se pelo fluxo de circulação de material mobilizado (massa) e forças que realizam a mobilização (energia). Neste caso, o clima é fornecedor de energia e alimenta o sistema impactando na qualidade do ar, na porcentagem de umidade, na força e direções dos ventos e quantidades de precipitações. Para Monteiro (1976), um sistema de clima urbano é morfogênico, capaz de evoluir e de se adaptar. Pode-se enxergar um SCU como aberto, receptor de energia de um sistema em escala maior do qual ele se insere em uma zona latitudinal, em determinado hemisfério, numa certa época anual, caracterizando-se como o transformador dessa energia. Observa-se esta manifestação sistemática na análise dinâmica dos fenômenos atmosféricos em qualquer escala, envolvendo os componentes do clima, os fatores climáticos e agora a ação antropogênica. Para tanto, os estudos de clima urbano devem apresentar a influência dos sistemas maiores e a transformação da energia no ambiente da paisagem urbanizada.

É importante destacar que a maioria dos fenômenos meteorológicos ocorrem na troposfera, a camada inferior da atmosfera terrestre que se estende por cerca de 12km de altitude e é, portanto, a mais próxima à superfície. De tal maneira, quando se considera o SCU como um sistema aberto, deve-se trazer a mente que o clima urbano de uma cidade não receberá como energia em seu sistema apenas a radiação solar e estará sujeita apenas a ocorrência de aprisionamento dessa radiação por baixo albedo dos materiais, aumentando as temperaturas e ilhando o calor por causa de barreiras verticais que interferem na umidade, na formação de nuvens e nos movimentos mecânicos dos ventos. Isto quer dizer que, obviamente, os fenômenos de escala zonal e regional também estão a interferir no tempo meteorológico e, de acordo com a ocorrência ao longo dos anos, definem as características dos climas de escalas menores em suas épocas do ano. À título de exemplo, a ocorrência do encontro de massas de ar com diferentes temperaturas e densidades numa ou mais zonas latitudinais resultam na formação de uma frente climática, essa frente por sua vez vai interferir nos valores de temperatura e umidade relativa do ar, mostrando que as ilhas de calor não possuem energia o bastante para impedir que estes fenômenos atinjam as grandes cidades. Citações a sistemas atmosféricos de magnitude maior, como a zona de convergência do atlântico sul (ZCAS), comum no verão sul americano e que é composto por uma faixa de nebulosidade envolvendo massas com temperaturas, umidades e pressões distintas, causam chuvas intensas do sul da Amazônia ao sudeste do Brasil, também são válidas e importantes para entender o fluxo energético e a mobilização de elementos climáticos dentro dos centros urbanos e a perspectivas dos impactos que terão mediante as morfologias metropolitanas. No entanto, não se deve acreditar que a urbanização e a sua espacialidade têm pouco efeito sobre a atmosfera da Terra, pois os poluentes emitidos no cotidiano urbano são capazes de atingir pontos e camadas elevadas a modo de desequilibrar o balanço dos gases atmosféricos, direcionando outros desdobramentos climáticos. Ao tratar da natureza sistemática dessa relação SCU com a dinâmica escalar superior, é preciso ter como premissa as interações do sistema menor com os sistemas maiores.

Com a expansão contínua da mancha urbana de concreto na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) e a intensificação da verticalização das edificações destinadas à habitação, torna-se pertinente discutir a configuração de um clima urbano, marcado por uma distribuição sub-regional de seus elementos meteorológicos. A baixa cobertura vegetal, aliada à predominância de concreto, asfalto e materiais com baixa capacidade de refletir a radiação solar, favorece o aumento do armazenamento de calor e a formação de barreiras verticais que

dificultam a circulação atmosférica e atraem eventos convectivos². Somam-se a esse cenário a presença de indústrias e a intensa circulação de automóveis, que emitem poluentes e comprometem a qualidade da baixa atmosfera, interferindo no conforto térmico local. Tais ações antropogênicas modificam as paisagens e afetam os mecanismos de troca entre os sistemas atmosféricos, principalmente no que se refere à transferência de radiação e à composição do ar, influenciada pela interação entre diferentes gases. Em certas situações, a emissão de partículas pode fornecer novos núcleos de condensação, intensificando os processos de formação de nuvens e resultando em chuvas mais volumosas e localizadas.

A investigação sobre o padrão de precipitação no município de Santo André justifica-se diante da incidência de eventos intensos de chuva, os quais têm provocado impactos significativos na dinâmica urbana. Os processos de urbanização acelerada, somados à expansão do concreto e à redução das áreas de permeabilidade, favorecem a intensificação do clima urbano e a formação de ilhas de calor, o que influencia diretamente na circulação atmosférica e na concentração de umidade em setores específicos da cidade. Compreender essas dinâmicas torna-se fundamental para identificar as áreas mais suscetíveis à concentração de pluviosidade e, conseqüentemente, aos episódios de alagamentos. Um exemplo emblemático é a recorrência de inundações ao longo da Linha 10 – Turquesa da CPTM, que frequentemente paralisa o transporte ferroviário e prejudica a mobilidade cotidiana da população, especialmente nos períodos de pico de deslocamento. Essas ocorrências evidenciam que os efeitos do regime pluviométrico extrapolam a esfera ambiental, atingindo também aspectos sociais, econômicos e logísticos do território.

O sistema de transporte de Santo André integra trens, ônibus municipais, intermunicipais e trólebus, mas a ferrovia se destaca como pilar da mobilidade na região. A Linha 10-Turquesa da CPTM — com aproximadamente 37 km de extensão e 14 estações ao longo do trecho entre Rio Grande da Serra e a estação Luz — atende cerca de 358 mil passageiros por dia útil. Em Santo André, em dias mais movimentados registram em torno de 58,2 mil passageiros apenas na estação central, de acordo com a própria Companhia Paulista de Trens Metropolitanos (2023). A via férrea liga diretamente Santo André à capital e a outros municípios do Grande ABC, facilitando o acesso a emprego, educação e serviços e

² Os ventos convectivos são movimentos atmosféricos resultantes do processo de convecção térmica, que ocorre quando há um contraste de temperatura entre a superfície terrestre aquecida e o ar situado sobre ela. Esse aquecimento intensifica a instabilidade atmosférica, fazendo com que o ar quente e menos denso suba rapidamente, originando correntes ascendentes. Em níveis mais elevados, esse ar se resfria e pode condensar, formando nuvens do tipo *Cumulus* ou *Cumulonimbus*. Posteriormente, o ar resfriado tende a descer novamente, gerando correntes descendentes e ocasionando ventos horizontais muitas vezes fortes e irregulares na superfície (AYOADE, 1996).

promovendo integração territorial e social. Nesse contexto, a Linha 10-Turquesa funciona como a espinha dorsal da mobilidade regional, sendo essencial para garantir fluidez urbana e conectividade metropolitana.

Dessa forma, o estudo do regime de chuvas em Santo André, aliado à compreensão da relação entre clima urbano e estruturação territorial, oferece subsídios essenciais para o planejamento urbano e para a formulação de medidas preventivas. A análise proposta não apenas contribui para o entendimento dos condicionantes climáticos locais, mas também pode orientar políticas públicas voltadas à mitigação dos impactos causados pelos picos pluviométricos, sobretudo em áreas críticas como os eixos de transporte e circulação.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Conceito de precipitação na Geografia

Considerando que a climatologia a integra como disciplina, observa-se o que a ciência geográfica conceitua em relação ao termo. Na Geografia, designa-se precipitação como um fenômeno decorrente do ciclo hidrológico do planeta, que se refere ao depósito de água em seus diferentes estados presente no meio atmosférico em direção a superfície terrestre (chuva, neve, granizo, orvalho, geada, entre outros) pela ação da gravidade. De tal modo, entende-se igualmente que a ocorrência ou não de precipitação desempenha papel essencial na dinâmica climática e ambiental de uma região.

Sendo parte de um processo envolvendo múltiplas esferas, para um geógrafo a sua leitura deverá ser complexa, buscando a compreensão das suas causas e efeitos, isto é, entender as ocorrências que causam a suspensão das partículas na atmosfera e a distribuição espacial da umidade e os tipos de precipitações ao longo do tempo nas diversas regiões da Terra, observando os seus regimes e a sua influência na organização social ou ainda as interferências antrópicas nestes regimes.

De acordo com Mendonça e Danni-Oliveira (2007), a precipitação é o elemento climático principal na variabilidade climática, influenciando os tipos de clima e a dinâmica ambiental local. Monteiro (1976) estabelece que a análise da distribuição temporal e espacial das chuvas é essencial para compreender os processos de estruturação do território brasileiro, dada a importância das chuvas na configuração dos sistemas naturais e socioeconômicos.

A visão de Ayoade (1996) complementa através de uma perspectiva possibilista que a organização social fica condicionada (não de maneira absoluta) aos elementos e fatores climáticos, rejeitando qualquer ideal do determinismo geográfico, assumindo a importância que o clima assume na ocupação do território, na produção e no trabalho e até mesmo na infraestrutura das cidades. Ayoade (1996) observa tal influência como força motriz do planejamento territorial, da contenção de riscos e da adaptação das atividades humanas.

Neste viés, sob a perspectiva geográfica, para o caso de Santo André, ponderando o município como parte de um grande tecido metropolitano e a sua localização latitudinal, assume-se a existência de alterações no cotidiano resultantes de intensas precipitações líquidas e características de urbanização de um país em desenvolvimento incapazes de lidar com a alta pluviosidade.

2.2 Tipos de precipitação

A classificação dos tipos de precipitação proposta por Ayoade (1996) oferece uma base geográfica essencial para compreender o comportamento atmosférico que atua sobre Santo André. Entretanto, a análise desses fenômenos torna-se ainda mais consistente quando observada sob a perspectiva do Sistema Clima Urbano (SCU), desenvolvido por Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro (1976). O SCU propõe que a compreensão do clima em áreas urbanas deve considerar a interação entre fatores atmosféricos de diversas escalas (micro, meso e sinótica) e os elementos do ambiente construído, como impermeabilização do solo, densidade edificada, distribuição de áreas verdes e geração de calor antropogênico.

Os três tipos propostos por Ayode (1996) são:

1 - *Convectiva*: precipitação associada a inversão térmica do ar e a instabilidade atmosférica, resultante de um movimento vertical de uma massa de ar ascendente mais quente e menos densa no ambiente local, em particular no verão onde as superfícies sofrem maior aquecimento por radiação solar. Este fenômeno produz chuvas mais intensas, de curta duração e com variabilidade espacial. Comumente, essa variabilidade pode corresponder à aguaceiros violentos e dispersos com duração de meia a uma hora, em áreas de 20 a 50 km², com rajadas de ventos e trovões, incluindo granizo. Ou à aguaceiros organizados, concentrados em uma dada localidade e com curta duração, resultantes da passagem de uma massa de ar úmido sobre uma superfície quente.

2- *Ciclônica ou Frontal*: A precipitação resultante do movimento vertical de ar em grande escala, associado a sistemas de baixa pressão como as depressões, ocorre no encontro de duas massas com características distintas. À medida que a depressão se desloca, as precipitações menos intensas que as convectivas atingem áreas extensas em uma duração igual ou superior a 6 horas, podendo apresentar turnos que se prolongam por dias

3- *Orográfica*: Ocorre pelo movimento mecânico de subida forçada de uma massa quente e úmida ao encontrar barreiras topográficas largas, como cadeias montanhosas. Os terrenos elevados não são capazes de remover sozinho toda a umidade da massa de ar, onde o lado barlavento do relevo acaba por receber mais precipitações do que os terrenos baixos adjacentes, enquanto o lado sotavento pode receber precipitações em menor volume ou nenhum, ficando conhecidas como o lado a sofrer o efeito “sombra de chuva”. Portanto, é necessário analisar o grau de influência das topografias elevadas sobre a distribuição de precipitações, dependente da estabilidade atmosférica e do nível de umidade do ar. As barreiras orográficas podem influenciar a precipitação de uma ou mais maneiras, sendo comum que ocorra processos convectivos pelo aquecimento diferencial das vertentes montanhosas que foram expostas de maneiras distintas a insolação. Bem como o retardo do deslocamento de uma depressão, prolongando a duração de chuvas ciclônicas/frontais. Outro fenômeno associado é a ascensão turbulenta do ar por meio da fricção superficial, podendo formar nuvens stratus e stratocumulus, ocasionando chuvas finas e ligeiras.

Assim, os episódios de chuva observados em Santo André, sobretudo na área urbana estudada, não podem ser interpretados unicamente como respostas atmosféricas naturais, mas como eventos condicionados pela interação entre o relevo regional e a morfologia urbana com alterações dos fluxos de energia, umidade e escoamento superficial. Sob essa ótica, a precipitação se insere como elemento-chave das tramas climáticas urbanas, sendo tanto consequência das condições atmosféricas regionais quanto intensificada pela configuração morfológica da cidade, o que reforça a importância de integrar o SCU à análise das chuvas que atingem a região e dos impactos pluviométricos na Linha 10 Turquesa.

2.3 Ocorrências que definem uma precipitação intensa

A análise da precipitação intensa é um foco central na climatologia contemporânea devido à sua capacidade de desencadear impactos socioambientais significativos, especialmente em áreas urbanas desordenadas ou necessitantes de atualizações na infraestrutura. Nos estudos de climatologia e hidrologia, diversos autores e entidades a favor do clima pontuaram as suas

definições conceituais em torno desta variável meteorológica. A literatura clássica da climatologia dinâmica, conforme detalhado por Barry e Chorley (2010), aponta que uma chuva forte é resultado da combinação entre elevada umidade atmosférica, instabilidade convectiva e mecanismos de ascensão do ar, como linhas de instabilidade, sistemas frontais e atividades convectivas profundas. Ahrens (2013) complementa destacando que precipitações intensas estão diretamente relacionadas à formação de nuvens do tipo cumulonimbus, que se desenvolvem verticalmente em ambientes com forte aquecimento diurno e disponibilidade de umidade em baixos níveis. O IPCC (2021) identifica tendência global de intensificação do ciclo hidrológico, resultante do aquecimento atmosférico, o que contribui para o aumento da frequência, magnitude e severidade das precipitações intensas em diferentes regiões do planeta. O INMET classifica como precipitação intensa episódios em que os volumes de chuva e sua concentração no tempo excedem determinados limiares caracterizados pelo volume precipitado em certa duração em uma localidade, de modo a representar transtornos com potencial alagamentos, enxurradas, cortes de energia, quedas de árvores e outros danos. Tucci (2003) segue a mesma linha, relacionando grandes volumes a capacidade de drenagem da superfície atingida.

Mas foi Stephenson (2008) que melhor abordou o tema numa perspectiva atual, inserindo a variável dentro de uma classificação de eventos climáticos e meteorológicos extremos. Segundo a taxonomia proposta pelo mesmo, a precipitação intensa de curta duração com ocorrência esperada em determinada época anual se enquadra na categoria de evento de alto impacto, diferenciando-se de eventos extremos, eventos severos e eventos raros.

Em um breve resumo do que propõe a classificação de eventos de Stephenson (2008), considera-se que:

- *Eventos severos* são eventos que geram grandes perdas em medidas como número de vidas, capital financeiro ou qualidade ambiental (por exemplo, perda de espécies).

- *Eventos raros* são eventos que possuem baixa probabilidade de ocorrência. Devido à raridade desses eventos, as sociedades humanas (e outros ecossistemas) muitas vezes não estão bem adaptadas a eles e, portanto, sofrem grandes quantidades de danos quando ocorrem. Assim, apesar de raros, a alta vulnerabilidade associada a tais eventos pode frequentemente levar a grandes perdas médias (e, portanto, eles são um tipo de evento severo).

- *Eventos extremos* são eventos que apresentam valores extremos de certas variáveis meteorológicas importantes. Os danos geralmente são causados por valores extremos de

determinadas variáveis meteorológicas, como grandes volumes de precipitação (por exemplo, enchentes), altas velocidades do vento (por exemplo, ciclones), altas temperaturas (por exemplo, ondas de calor), etc. “Extremo” é geralmente definido como valores máximos ou ultrapassagem de limiares altos preexistentes. Tais eventos são geralmente raros; por exemplo, velocidades extremas do vento que excedem o valor de retorno de 100 anos, que têm probabilidade de apenas 0,01 de ocorrer em qualquer ano específico.

- *Eventos de alto impacto* são eventos severos que podem ser sistemas meteorológicos de curta duração (por exemplo, fortes tempestades) ou eventos de maior duração, como episódios de bloqueio atmosférico, que podem levar a ondas de calor prolongadas e secas. O programa THORPEX da Organização Meteorológica Mundial (OMM) usa a expressão “tempo de alto impacto” em vez de “tempo severo” para ajudar as pessoas a evitarem confundir o termo “severo” com apenas eventos de curta duração, como tempestades individuais.

Para o contexto da região sudeste do Brasil, em especial ao do Estado de São Paulo, onde localiza-se o município de Santo André numa faixa transicional entre o tropical e o subtropical, sabe-se que o regime de precipitações pluviais é resultado das interações com sistemas atmosféricos de escalas sinóticas, mesoescalas e escalas intrassazonal. As precipitações intensas estão comumente associadas a convecção do ar, tipicamente no verão do hemisfério sul.

2.4 Inundações urbanas associadas a deficiência da drenagem pluvial por impermeabilização do solo

Tucci (2003, 2008) destaca que as inundações urbanas são fenômenos hidrológicos resultantes da interação entre chuvas intensas e a dinâmica de ocupação da cidade. Diferentemente das cheias em áreas naturais, nas quais os rios possuem maior capacidade de armazenamento sazonal, o ambiente urbano apresenta condições que aumentam rapidamente o escoamento superficial, favorecendo o acúmulo de água em curtos períodos. Nesse sentido, a inundação deixa de ser um processo exclusivamente natural e passa a ser um problema essencialmente socioambiental, técnico e de planejamento urbano.

Um dos pontos centrais defendidos por Tucci (2003) é que o fator crítico não é apenas a intensidade ou o volume da chuva, mas sobretudo a transformação do uso do solo, que reduz a capacidade de infiltração. A impermeabilização causada por pavimentação, edificações,

canalização e retificação de cursos d'água altera completamente o balanço hídrico da bacia urbana, aumentando o pico de vazão e diminuindo o tempo de concentração. Assim, eventos que, em condições naturais, seriam absorvidos pela bacia, passam a gerar enxurradas, alagamentos e enchentes repentinas.

Tucci (2003) também evidencia que a resposta da cidade a eventos pluviométricos é cumulativa e sistêmica, ou seja, não depende exclusivamente da chuva do dia do evento. Problemas históricos de drenagem, obstrução de galerias, ocupação de várzeas e ausência de manutenção tornam as inundações resultado de processos estruturais.

Ainda para Tucci (2008), o modelo predominante de enfrentamento das inundações no Brasil foi historicamente reativo e corretivo, focado em obras canalizadas e soluções rígidas. Esse paradigma, contudo, não elimina o risco a longo prazo e pode até agravá-lo, pois acelera o fluxo da água e transfere a inundação para áreas a jusante na bacia. Entre outras discussões, referente ao plano de uso do solo nas cidades, o autor defende uma abordagem preventiva e integrada de gestão das águas pluviais priorizando soluções que levem em consideração as estruturas naturais de bacia hidrográfica, e não apenas intervenções pontuais difundidas quase que homoganeamente na urbanização contemporânea.

2.5 Indicies pluviométricos e a quantificação do volume de chuva para a definição de padrões de precipitação

Para os estudos em climatologia, um padrão de precipitação refere-se à frequência, duração, intensidade e espacialidade das chuvas de uma região ou área analisando o seu variação ao longo de um período, além de elucidar se há a concentração em determinadas estações (sazonalidade) ou se a distribuição acontece de maneira irregular ao longo do ano. Outra observação fundamental subsidiada pela análise de padrões de precipitação para a climatologia e a ciência geográfica em si, é a compreensão de eventos intensos como tempestades prolongadas ou estiagem, importantíssima ao planejamento. Todo o processo envolvendo a constituição de um padrão de precipitação se dá por meio da quantificação da água que se precipita da atmosfera em direção a superfície, onde a quantidade de chuva é medida com o auxílio de aparelhos que registram o seu volume seguindo uma série de critérios, comumente chamados de pluviômetros ou ainda de pluviógrafo, este último sendo mais sofisticado e completo no fornecimento de leituras que vão além do acumulado pluvial, fornecendo também a intensidade e a distribuição espacial e temporal.

A partir da captação desse volume, seguindo as normas estipuladas pelas organizações a trabalho do clima, é possível expressar a quantificação da água pluvial medida em dada área por valores ou totais pluviométricos, geralmente em milímetros por hora (mm/h). A análise desses totais num conjunto de dados cronológicos permite ao geógrafo caracterizar o regime de chuvas, identificando períodos de estiagem e de maior ocorrência de precipitação, além da intensidade.

Bendito e Tucci (2004) discutem que a previsão da intensidade e duração de precipitação com base em dados anteriores é totalmente estatística e não determinista, uma vez que a sua ocorrência é um processo aleatório e pode ser afetado por uma série de fatores mecânicos envolvendo as condições atmosféricas, a exemplo do crescimento ou não de gotículas para que se atinja tamanho crítico para que sejam precipitadas.

A intensidade das chuvas é comumente classificada conforme a taxa de precipitação horária. O Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2024) considera chuvas fracas as que apresentam precipitação inferior a 5 mm/h, moderadas entre 5 e 25 mm/h, fortes de 25 a 50 mm/h e muito fortes ou extremas acima de 50 mm/h. Essa classificação é essencial para a definição de alertas meteorológicos e para a gestão de riscos urbanos.

Nimer (1989) observa que o padrão pluviométrico do Sudeste brasileiro é marcado por uma forte sazonalidade, com a estação chuvosa concentrada entre novembro e março. No caso da Região Metropolitana de São Paulo, há tendência de ocorrência de eventos convectivos intensos durante o verão, quando as altas temperaturas e a umidade favorecem o desenvolvimento de tempestades localizadas.

2.6 Climatologia urbana e a dinâmica atmosférica basal nas grandes cidades

A climatologia urbana busca compreender as interações entre os elementos climáticos e a dinâmica das cidades, considerando os efeitos da urbanização sobre o ambiente atmosférico. De acordo com Monteiro (1976), o clima urbano é resultado das modificações introduzidas pelas atividades humanas, especialmente a impermeabilização do solo, a verticalização e a concentração de fontes de calor. Esses fatores alteram o balanço energético local, influenciando a temperatura e, conseqüentemente, a variação das chuvas.

Nas áreas urbanas da Região Metropolitana de São Paulo, onde se insere o município de Santo André, a precipitação apresenta forte variabilidade espacial e temporal. Mendonça e Danni-Oliveira (2007) destacam que a distribuição das chuvas em regiões metropolitanas é

fortemente condicionada pelas transformações do uso do solo e pela densidade de edificações, que contribuem para a intensificação de eventos convectivos localizados. Assim, o estudo do regime de precipitação urbana é fundamental para compreender as dinâmicas de risco associadas a enchentes e inundações.

2.7 Sistema de clima urbano (SCU)

Monteiro (1976), apoiado na Teoria Geral dos Sistemas (TGS) de Bertalanffy (1968), propôs que o clima urbano deveria ser compreendido pelos seus fenômenos de forma integrada, considerando as relações e as interações das “partes” com o “todo”, tal qual um sistema. Este sistema clima urbano seria aberto, dinâmico e adaptativo, mantendo trocas contínuas de energia, matéria e informação com os sistemas atmosférico latitudinais.

Sob a ótica da geografia, um clima é característico das interações entre sistemas de múltiplas esferas — atmosférico, hidrológico, pedológico, biogeográfico e antrópico — que compõem o sistema terrestre (CHRISTOFOLETTI, 1999). Nessa perspectiva, o espaço urbano é por si próprio um sistema em escala menor e é interdependente de interações e trocas com sistemas em escalas maiores (parte de um todo).

Na TGS, além da compreensão das interações, trocas e interdependências, é preciso entender o seu fluxo de funcionamento. Bertalanffy (1968) decreta que em todo sistema há:

- *Inputs (entradas)*: recursos, informações, matérias, energia presentes em um ambiente;
- *Processamento*: transformação dos elementos, segundo os mecanismos internos do sistema;
- *Outputs (saídas)*: resultados/produtos promovidos pelo sistema e devolvidos ao próprio ambiente;
- *Feedback (retroalimentação)*: é a forma como as saídas influenciam novas entradas, o processo de alimentar novamente o sistema com dados sobre a eficácia do produto.

Quando analisamos o SCU, proposto por Monteiro (1976), os fluxos fundamentais que mantêm o funcionamento e a dinâmica do sistema são o processamento de matéria/massa e energia provenientes de sistemas mais amplos. Sendo o urbano um espaço construído, uma paisagem artificial a interagir com a atmosfera, a biosfera, a hidrosfera e a geosfera, a sua territorialização se dará primeiramente pelas características do meio externo que fornecerá os insumos a serem processados no meio urbanizado e, segundo as suas internalidades, terá o

feedback necessário para o seu funcionamento. Isso implicará nas condições atmosféricas recorrentes dentro das grandes cidades.

Com base nas fundamentações teóricas extraídas da obra de Monteiro (1976), pode-se interpretar que, geograficamente, o fluxo de matéria num SCU corresponde à elementos como ar atmosférico, mais especificamente as massas de ar que se deslocam mediante gradientes de pressão formando ventos; vapor d'água resultantes de processos de evaporação evapotranspiração, influenciando diretamente os valores de umidade, formações de nuvens e a ocorrência de precipitações; águas de superfície e subterrânea, relacionadas não só a evaporação, mas aos fluxos de drenagem; degradantes ambientais, como gases poluidores e partículas sólidas, advindos das atividades humanas e industriais e alteram os balanços radioativos e térmicos da atmosfera, modificando também características da hidrosfera. Ao que diz respeito a energia, esta pode ser vista como a força impulsionadora nos processos em um sistema climático. No contexto urbano, ela se manifesta principalmente sob a forma de radiação solar, calor irradiado pelo albedo, gradientes de pressão que auxiliam os movimentos mecânicos das massas de ar e a energia antropogênica produzida e emitida pelas atividades humanas. Nesse sentido, a dinâmica atmosférica urbana é regulada pela energia processada e controladora de processos como aquecimento, resfriamento, circulação e formação de nuvens.

Ainda na interpretação da literatura de Monteiro (1976), no sistema clima urbano, massa e energia podem ser vistos como inputs a serem inseridos na morfologia das grandes e médias cidades, onde terão seus balanços dinamizados nestes espaços e os outputs darão as condições atmosféricas formadoras de tempos meteorológicos, no qual a sucessão e o comportamento destes tempos ao longo dos anos serão o feedback pelo qual se terá um clima típico daquela área ou região. A reflexão acerca da ação antrópica atuando sob os elementos e fatores climáticos nos permite enxergar maneiras de equilibrar as interações entre diversos sistemas. Outrossim, nessa perspectiva é possível perceber que o clima urbano não escapa das condições atmosféricas de sistemas maiores.

2.8 Classificação climática Köppen – Geiger

A classificação climática de Köppen–Geiger é uma das metodologias mais difundidas no campo da climatologia, sendo amplamente utilizada para a caracterização e distribuição dos climas terrestres. Criada por Wladimir Köppen, no início do século XX, e posteriormente revisada por Rudolf Geiger, essa classificação baseia-se na interação entre temperatura, regime de precipitações e vegetação natural, expressando os limites climáticos a partir de respostas biogeográficas observáveis (KÖPPEN, 1936; KÖPPEN; GEIGER, 1930). Conforme ressaltado

por Kottek et al. (2006), trata-se de um sistema bioclimático, uma vez que os critérios utilizados refletem os efeitos diretos do clima sobre os ecossistemas.

O sistema Köppen–Geiger divide os climas em cinco grupos principais: A (Tropical), B (Seco), C (Temperado), D (Continental) e E (Polar). Cada grupo é posteriormente subdividido de acordo com a distribuição sazonal das chuvas, intensidade térmica e balanço hídrico (ALVARES et al., 2013). Os critérios adotados incluem médias mensais de temperatura, totais pluviométricos anuais e sazonalidade das precipitações, permitindo uma análise em diferentes escalas, inclusive municipal (PEEL; FINLAYSON; MCMAHON, 2007).

No contexto brasileiro, o sistema tem sido amplamente utilizado para caracterizar o clima de municípios urbanos e metropolitanos. Segundo Alvares et al. (2013), o município de Santo André (SP) — localizado na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) — enquadra-se majoritariamente no tipo Cwa, descrito como clima temperado úmido com verões brandos e ausência de estação seca definida. Nesse tipo climático, as chuvas são bem distribuídas ao longo do ano, embora os meses de verão apresentem picos sazonais mais elevados, fenômeno típico de regiões influenciadas por sistemas atmosféricos tropicais e frentes frias de origem atlântica.

Estudos regionais da UFABC em parceria com a Defesa Civil (2020 – 2024) indicam que Santo André apresenta pluviometria significativa no verão, especialmente entre dezembro e março, com presença recorrente de sistemas convectivos e eventos de precipitação intensa — características compatíveis com a classificação Cwa de Köppen (ALVARES et al., 2013). A topografia acidentada e a urbanização densa também favorecem processos de escoamento superficial e formação de alagamentos, intensificando a importância de análises climatológicas locais para fins de planejamento urbano e gestão ambiental.

Assim, a classificação de Köppen–Geiger é fundamental para a compreensão da dinâmica climática de Santo André, auxiliando na identificação de padrões sazonais, na análise de eventos extremos e no embasamento de estudos de vulnerabilidade climática. Conforme apontam Beck et al. (2018), sua utilização em escala municipal contribui para o delineamento de cenários futuros de mudança climática, bem como para o planejamento ambiental e territorial.

2.9 Classificação climática de Novais e Galvani

A classificação climática proposta por Novais e Galvani (2022) representa um avanço significativo e um novo vigor para os estudos de climatologia regional no século XXI, ao integrar dados de reanálise climática de alta resolução (CHELSA) e uma abordagem metodológica hierárquica voltada a complexidade atmosférica do território paulista. Pela classificação adotada, o Estado de São Paulo encontra-se inserido em duas zonas climáticas definidas pela posição latitudinal em relação ao traçado do Trópico de Capricórnio: uma “zona quente”, correspondente às áreas situadas ao norte do trópico, e uma “zona moderada”, abrangendo as regiões ao sul dessa linha de latitude.

A partir dessas zonas, os autores estruturam seis níveis de categorização — Zona Climática, Clima Zonal, Domínio, Subdomínio, Tipo e Subtipo Climático — baseados em variáveis como temperatura média do mês mais frio, precipitação mensal e balanço hídrico climatológico. Tal estrutura permitiu identificar 87 subtipos climáticos no estado, evidenciando a forte influência da latitude, da altitude, do relevo e dos regimes de umidade na configuração climática regional. Essa análise que envolve um estudo híbrido e dinâmico, traz uma proposta que reconhece a heterogeneidade interna do estado de São Paulo, numa classificação que fortalece os fundamentos teóricos e aplicados da climatologia regional contemporânea, oferecendo suporte robusto para estudos que demandam precisão espacial.

A determinação de cada componente da hierarquia é determinada por variáveis dos elementos e fatores climáticos, onde os autores estipulam que:

A *zona climática* é definida pelo ângulo zenital durante o ano, com a incidência solar em alta na primavera e verão, atingindo-se o zênite dos raios solares no final de dezembro. A linha do Trópico de Capricórnio subsidia a divisão em duas zonas para o território paulista. Considerado o território brasileiro, Novais (2019) determina que uma zona climática quente se encontra desde as latitudes meridionais próximas do equador até o trópico de capricórnio, estendendo-se de 11°43’30 S a 23° 27’ S, caracterizada por um ciclo estacional marcante em combinação com uma insolação mais intensa ao longo do ano. Enquanto na zona climática moderada, estendendo-se do trópico de capricórnio até uma linha imaginária a 46°54’S que ultrapassa os limites territoriais de São Paulo, constitui uma porção espacial em que a trajetória média do sol apresenta uma amplitude significativa e contrasta em termos estacionários, onde quanto mais a sul do trópico, mais marcantes ficam as diferenças entre as estações.

O *clima zonal* é regulado pela Temperatura Média do Mês Mais Frio (TMMMF), podendo ocorrer em três variações. Tórrido (ou muito quente) com a TMMMF acima de

22,5°C; quente, com a TMMMF numa amplitude de 15°C a 22,5°C; Moderado, com a TMMMF entre 0° e 15°C. Para o estado de São Paulo, fora observado a não ocorrência da variação tórrido, sendo que em maior parte o território se adequa ao clima zonal quente, de TMMMF entre 18°C e 21,8°C, com o clima zonal moderado ocorrendo nas altitudes mais elevadas do Planalto atlântico, onde a TMMMF fica abaixo de 15°C. Destaca-se ainda que o clima zonal consegue ultrapassar os limites de sua zona climática e interferir nas condições térmicas de outras zonas. O *domínio climático*, além da TMMMF como variável determinante, considera-se os sistemas atmosféricos atuantes em escala zonal e regional. No contexto territorial brasileiro, o domínio equatorial registra TMMMF acima de 22,5°C e sofre influências da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). O tropical (TMMMF acima de 18°C) e o tropical ameno (TMMMF entre 15°C e 18°C) não estão sob influência da ZCIT e sim da ZCAS e sistemas frontais como a Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), áreas elevadas podem sofrer resfriamento adiabático. O subtropical tem TMMMF entre 10°C e 15°C, sofrendo influência do anticiclone polar ou da ASAS, podendo sofrer resfriamento adiabático em altitudes elevadas. O subtropical frio tem TMMMF abaixo de 10°C. No estado de São Paulo não há a ocorrência do domínio equatorial, apenas dos demais descritos.

O *subdomínio climático* refere-se à quantidade de meses secos ao longo do ano. Define-se “úmido” para 0 a 3 meses secos, “semiúmido” para 4 a 5 secos, “semisseco” para 6 a 7 meses secos e “seco” para 8 a 11 meses.

O *tipo climático* revela a unidade de relevo a qual os domínios e os subdomínios climáticos estão localizados na porção territorial brasileira, podendo considerar o contexto continental, coincidindo com grandes áreas de vegetações e sofrendo influências de sistemas meteorológicos associados a localidade.

O *subtipo climático* além de revelar a unidade de relevo, também os nomeia de acordo com a unidade geomorfológica. No auxílio da nomenclatura dentro do Estado de São Paulo, os autores utilizaram as unidades que constam no Banco de Dados de Informações Ambientais do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (BDIA/IBGE).

A tipologia de classificação climática aplicada ao Estado de São Paulo dos autores traz consigo a conceituação em torno de mês seco, por meio de uma metodologia que utiliza $P < ETP$ (P = precipitação e ETP = Evapotranspiração potencial), considerando o equilíbrio hídrico em um sistema ambiental (solo-planta-atmosfera).

Dessa forma, enquanto a classificação climática de Koppen-Geiger permite uma perspectiva mais global do contexto climático de Santo André, a classificação de Novais e Galvani aborda as especificidades físicas mais restritas do município em conjunção com as

escalas zonais do clima, fortalecendo a visão de Monteiro e o conceito de SCU proposto pelo autor. Uma boa razão para a utilização de duas classificações climáticas em um estudo sobre padrões de precipitação é que cada sistema enfatiza dimensões distintas do clima, permitindo uma análise mais robusta, comparativa e metodologicamente consistente. A combinação de duas abordagens traz um quadro mais completo do ambiente climático que influencia a precipitação, podendo servir até mesmo de reforço ao rigor científico da pesquisa.

3 OBJETIVOS

Adota-se como objetivo geral analisar o regime de precipitação pluvial dentro do município de Santo André na última década e descrever a composição de um padrão comportamental e suas características baseado nos totais pluviométricos da cidade, apontando se há uma época anual em que se concentram os maiores volumes ou se as chuvas se distribuem de forma mais irregular, e como o regime afeta a circulação de trens metropolitanos da Linha 10 turquesa da CPTM, prejudicando a mobilidade dos usuários em dias de casos intensos. São objetivos secundários (1) o levantamento de dados sobre os horários de maior frequência e se coincidem com os horários de pico de passageiros, bem como (2) o apontamento do grau de relação entre a urbanização e a intensidade de precipitação, isto é, a influência do clima urbano sobre o regime de chuvas. E ainda (3) as condições de infraestrutura da ferrovia, visando o entendimento do porquê os eventos climáticos de chuvas intensas afetarem tanto o seu sistema.

4 HIPOTETESES

Sob a problemática da interrupção da circulação de trens em dias de precipitação intensa e altos volumes pluviais, o levantamento de dados estatísticos sobre a população atendida pela linha 10 turquesa, o perfil dos usuários, as direções de fluxo e as rotas alternativas complementam a importância deste trabalho que deve integrar clima e sociedade. De tal modo, evoca-se a hipótese (1) de que o maior volume de chuva ocorre na estação do verão e se concentra nos horários de pico, coincidindo com a volta dos trabalhadores para suas casas, onde o fluxo dos indivíduos se dá no sentido centro (São Paulo) - ABC paulista, uma vez que alguns municípios da região se caracterizam como cidades dormitórios. Ainda, a hipótese (2) de que os entornos de Utinga e Campestre possuem configurações espaciais que impactam a atmosfera e são capazes de constituir um microclima propício ao fenômeno das ilhas de calor e da formação de chuvas torrenciais, influenciados igualmente pelas mudanças climáticas. E por fim, a hipótese (3) de uma infraestrutura precária na ferrovia e nas comunidades desordenadas e assentadas sob área de várzea acopladas à estação Utinga como elemento crucial para as inundações que impossibilitam as circulações.

5 METODOLOGIA

O presente trabalho traz uma abordagem mista “quali-quantitativa” ao analisar o regime de precipitação do município de Santo André (SP) no período compreendido entre 2016 e 2024, verificando e apontando os dados pluviométricos característicos de episódios de fortes chuvas e associando-os a transtornos do cotidiano urbano local, como a redução na mobilidade da via férrea da CPTM que cruza parte do território santo andreense por alagamentos. A pesquisa combina dados numéricos da pluviometria regional com levantamento e interpretação geográfica de dados socioambientais relacionados aos eventos de altos impactos.

O cronograma quantitativo consistiu principalmente no acesso a plataformas online de monitoramento meteorológico para a coleta de dados diretamente de fontes credíveis e oficiais, como o site da Prefeitura de Santo André que contém uma sessão voltada ao monitoramento climático que dispõe de registros diários, mensais e anuais do volume de chuva, numa importante parceria com o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN).

Na sessão qualitativa buscou-se entender e selecionar os fenômenos decorrentes de dias em que o volume pluvial ultrapassa valores considerados normais, de acordo com classificações de intensidade utilizadas por órgãos como o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), e que impactam as dimensões sociais e ambientais do espaço geográfico, a exemplo das inundações em áreas de via urbana que prejudicam o deslocamento em massa dos indivíduos e até mesmo a ocupação humana. Para isso, realizou-se consultas a sites de notícias jornalísticas e a relatórios da Defesa Civil de Santo André, a fim de localizar os pontos de maiores ocorrências. Com o apoio dos boletins climatológicos mensais de Santo André, elaborados pela Defesa Civil da cidade em parceria com a UFABC, que fornecem dados concretos que relacionam sistemas atmosféricos a eventos observados, a partir do ano de 2020 a interpretação dos totais ganha uma maior expressividade, na medida que é possível entender especificidades dos dias em que esses episódios ocorreram.

A metodologia começa pela delimitação de um recorte espacial cujo as dimensões satisfaçam as premissas do embasamento bibliográfico desta pesquisa, isto é, uma porção do espaço territorial do município em que se encontre presentes os conceitos de urbanização e clima urbano, de onde é possível extrair dados concretos sobre a precipitação na região e - o mais importante – integre os aspectos da problemática de mobilidade em casos intensos de chuvas. Revisitando materiais jornalísticos sobre o problema da paralisação da linha 10

turquesa da CPTM por causa da pluviosidade local, os bairros de Utinga e Santa Terezinha surgem em recorrentes citações e são apontados pelas notícias vinculadas às mídias jornalísticas regionais do ABC paulista como os pontos mais atingidos por alagamentos, tanto da via férrea quanto da pavimentação pública. Portanto, os estudos climáticos da pesquisa se darão principalmente no entorno de Utinga, a partir da ferrovia, mas não se restringirá no que tange informações sobre o público que utiliza o meio de transporte citado, quais os indivíduos mais afetados e para qual sentido se locomovem mais.

Para Brito, Silva e Crispim (2015), o recorte espacial de análise na ciência geográfica obedece a dimensão espaço-tempo materializada nas paisagens, e a coleta de dados em climatologia se volta à mesma grandeza, mesmo que a escala espacial varie entre macro, meso ou micro, é o que se denomina escala de abordagem. Ao estudo de caso desta pesquisa, selecionar um recorte espacial e determinar uma área específica a ser estudada, como amostragem correlacionada diretamente aos problemas de inundações e interrupção dos serviços de trens metropolitanos, faz-se pertinente a medida em que a precipitação não se distribui de forma homogênea dentro de um município. Fatores como altitude, uso e ocupação do solo, distância de áreas verdes ou corpos d'água, relevo e urbanização podem impactar na intensidade e frequência das chuvas.

Em climatologia, trabalha-se frequentemente com o conceito de “normal climatológica”, compreendido como os valores médios a longo prazo das variáveis meteorológicas em uma região, obtidos em períodos longos e uniformes. A Organização Meteorológica Mundial (OMM) define que as normais devem conter os registros de no mínimo três décadas consecutivas, onde variações entre duas normais podem ser entendidas como mudanças do clima regional, seja por impacto das transformações do espaço local ou pelos efeitos das mudanças climáticas globais. Os períodos que não se enquadram nessa abrangência temporal são comumente considerados como series históricas ou normal climatológica provisória, que é o caso dos registros da variação pluvial para a região imediata de Santo André, dos quais o início data do ano de 2016, sendo este a principal e única razão para a escolha do período de análise ser correspondente a 2016-2024.

Estudos a respeito dos elementos climáticos que dinamizam o comportamento atmosférico, com foco na precipitação diária ao longo dos anos, bem como os aspectos regionais físicos a exemplo do relevo, das altitudes, da hidrografia e da vegetação serão apresentados por meio da exibição de gráficos, tabelas e, obviamente, mapas. Atributos estes que são comumente retirados das mesmas fontes que os dados sobre precipitação, a exemplo do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), da Plataforma de monitoramento ambiental UrbVerde, o próprio site da Prefeitura de Santo André em parceria com a Defesa Civil da cidade, dentre outros.

6 ÁREA DE ESTUDO

6.1 Localização espacial e contexto histórico de Santo André

Localizado na região metropolitana de São Paulo, a sudeste no Estado de São Paulo e igualmente a sudeste no território brasileiro, no hemisfério sul a uma latitude de 23,66°S e a uma longitude de 46,53° O, o município de Santo André integra o conjunto urbano conhecido como o Grande ABC paulista (como representado nas figuras 1 e 2) e encontra-se na quinta posição das cidades paulistas mais vulneráveis aos desdobramentos do fenômeno das ilhas de calor, de acordo com levantamentos da plataforma de monitoramento online “Urbverde” da Universidade de São Paulo. A proximidade com grandes indústrias e com o polo petroquímico de Capuava caracteriza uma vulnerabilidade a alterações climáticas. A concentração do calor ilhado pela alta densidade de concreto e pavimentação presentes nas ruas e avenidas, proveniente das alterações de radiação e temperatura, levam a consequências como a intensificação das chuvas em determinados meses. Uma maior evaporação na superfície e, conseqüentemente, uma resposta mais rápida no processo de precipitação, põem em xeque a capacidade da malha urbana em lidar com as fortes chuvas, aumentando os níveis e pontos de inundações que afetam não somente as habitações e edificações, mas as principais vias da mobilidade urbana, impactando principalmente as classes mais desprivilegiadas, como é o caso dos alagamentos na linha 10 turquesa da Companhia Paulista de Trens Metropolitanos (CPTM), onde em episódios de precipitações líquidas extremas dos períodos mais chuvosos os trabalhadores passam horas sem conseguir retornar para suas casas, uma vez que esta via ferroviária é a principal da locomoção do centro de São Paulo ao interior do ABC paulista, sendo a opção mais barata também.

Figura 1: Localização geográfica de Santo André - SP



Fonte: Adaptado de SUMÁRIO DE DADOS DE SANTO ANDRÉ por Nunes, Philippi JR e Fernandes (2008)

Figura 2: Posição geográfica na RMSP e contexto regional de Santo André como integrante do ABC Paulista



Fonte: EMPLASA (2019)

De acordo com dados da própria CPTM (junho de 2025), divulgados em documentos de audiência pública sobre possíveis concessões de privatização, a linha 10 com 44 quilômetros de extensão é a segunda mais movimentada do Estado de São Paulo e transporta uma média de 361 mil passageiros nos dias úteis, conectando o Grande ABC a região central da capital paulista, totalizando em 2025 dezesseis estações de embarque e desembarque do município de Rio Grande da Serra ao bairro da Barra Funda. Ainda de acordo com estudos feitos pelo informativo “Diário da CPTM” (2024), o pico de movimentação de pessoas ocorre em dois horários, das 06h às 9h e das 16h às 20h. A linha conecta-se também com outras linhas de trens e metrô através de estações-chaves, como é o caso da conexão com a linha 2

verde do metrô em Tamanduateí, das conexões com as linhas 3 vermelha do metrô, 11 Coral e 12 safira da CPTM na estação Brás; as conexões com as linhas 1 azul e 4 amarela do metrô e 7 Rubi da CPTM na estação Luz e 8 diamante na estação Barra Funda. A linha 13 jade com acesso direto ao Aeroporto Internacional de Guarulhos completa as conexões na estação Luz. A Figura 3 abaixo mostra a extensão atual da linha e as conexões com as demais linhas do transporte ferroviário metropolitano.

Figura 3: Mapa da Linha 10 Turquesa (CPTM)

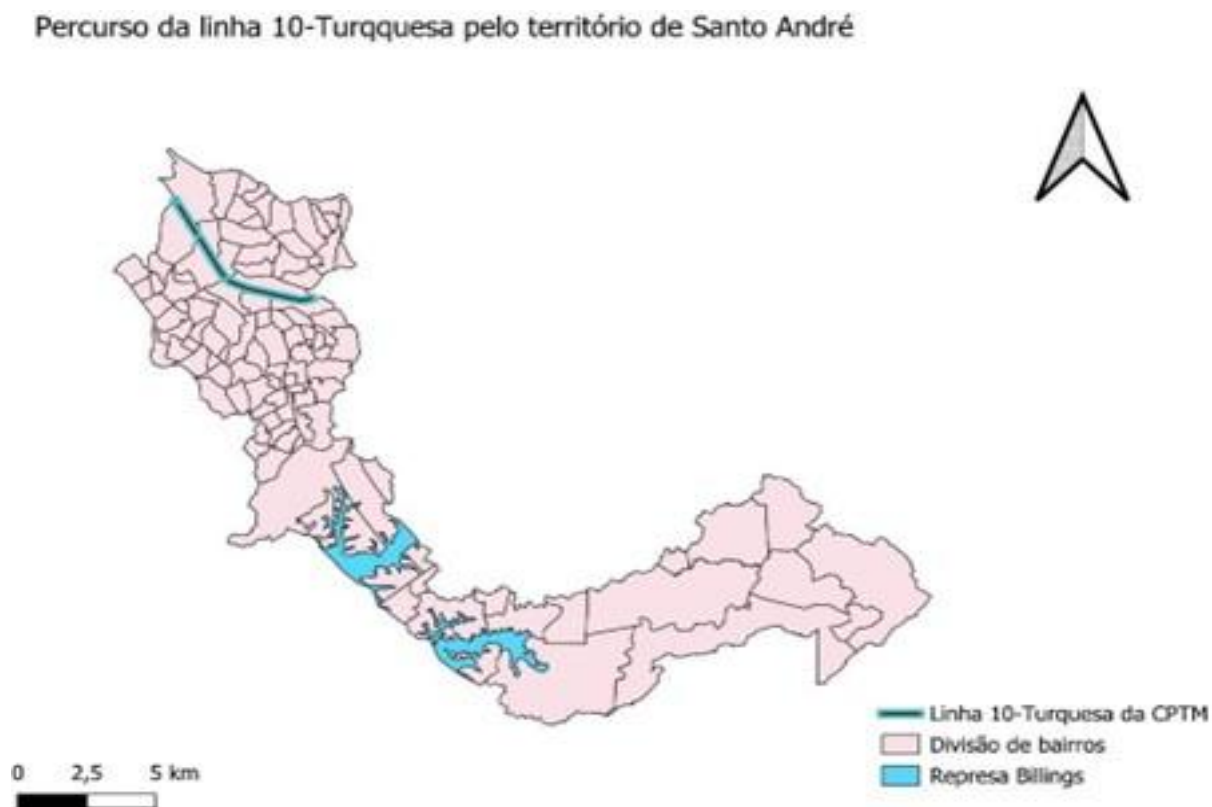


Fonte: “Metrocptm.com.br” (acesso em julho de 2025)

A linha ferroviária cruza o município de Santo André pelos bairros centrais de Utinga, Campestre, Santa Terezinha, Parque das nações e Capuava, possuindo quatro estações de parada neste percurso (Utinga, Prefeito Saladino, Prefeito Celso Daniel e Capuava), no qual o perímetro das estações Utinga à Prefeito Celso Daniel é recorrentemente o lócus das inundações urbanas. Nestas imediações concentram-se principalmente: condomínios, o setor industrial, o trânsito de veículos automobilísticos de grande porte pela Avenida dos Estados e há algumas comunidades de ocupações desordenadas em área de várzea assentadas em afluentes aterradas do rio Tamanduateí. A configuração desses objetos espaciais corrobora para que a drenagem pluvial urbana seja ineficiente, impactando diretamente os trilhos dos trens e as vias da avenida, impedindo a mobilidade tanto pela ferrovia quanto pela rodovia, ambas os principais acessos aos municípios da região. Rotas alternativas pela Avenida Goiás e pela Avenida Dom Pedro I por carros de aplicativos como “Uber” e “99” torna-se uma possibilidade mais cara aos bolsos, resultando na superlotação das plataformas nas estações de São Caetano do Sul, Utinga, Prefeito Saladino, Prefeito Celso Daniel, Capuava e Mauá.

A Figura 4 mostra o traçado da linha férrea cortando a porção norte do município, passando por bairros industriais e residenciais do centro comercial da cidade. Na figura 5, exibindo em imagem de satélite os arredores da linha 10-Turquesa no município, é possível ter a dimensão do impacto urbano da ferrovia.

Figura 4: Mapa de Santo André – SP com o traçado espacial da linha 10-Turquesa da CPTM



Fonte: Elaboração própria (2025)

Figura 5: Imagem de satélite destacando os arredores do traçado espacial da linha férrea



Fonte: Elaboração própria (2025)

Historicamente, a fundação de Santo André remete ao período colonial, época das capitânicas hereditárias e missões jesuítas, ano de 1553. Todavia, a pequena vila que estava no caminho entre o litoral e o planalto paulista deixou de existir quase uma década depois. O território ocupado pelo município no Estado de São Paulo atualmente, é intrínseco ao período de industrialização em meados do século XX, idealizado como componente de um parque industrial, onde posteriormente se consolidou como a região do Grande ABC (GAIARSA, 1997).

Com um processo histórico de desenvolvimento complexo e multifacetado, Santo André é uma cidade média-grande que cresceu juntamente à expansão ferroviária e a industrialização, caracterizando-se hoje como arranjo da mesorregião metropolitana de São Paulo, apresentando 70,3% de sua área territorial urbanizada e uma população estimada em 748 mil habitantes (IBGE, censo 2022). Certamente, o crescimento populacional e as tendências de verticalização, aprimoramento e inovação no oferecimento de serviços, bem como a demanda de locomoção por meios de transportes automobilísticos, elevam os aspectos-chaves do urbano no município a uma malha cada vez maior e mais densa. As propriedades

dos materiais dessa malha urbana contribuem para a absorção das ondas curtas de radiação solar, elevando as temperaturas em relação a seu entorno.

6.2 O relevo e o clima de Santo André

O relevo do município de Santo André possui características físicas advindas da sua posição na transição espacial entre a região do planalto atlântico e a serra do mar, integrando-se ao que foi classificado por Aziz Ab'Saber (1958) como “Planaltos e Serras do Atlântico leste-sudeste”. Tal configuração resulta na existência de diferentes compartimentos geomorfológicos e diversas topografias dentro do território municipal, apresentando uma altitude média de 760 metros acima do nível do mar, podendo ultrapassar os 1000 metros em alguns pontos da porção sul, no setor territorial integrante da Serra do Mar. Mediante a sua posição geográfica, o município pertence ao tipo climático tropical de altitude, numa latitude transicional entre o clima zonal tropical e o subtropical de zona temperada. Ainda segundo os serviços públicos locais, Santo André encontra-se no tipo Cfb (verões quentes e invernos amenos) na classificação de Koppen - Geiger.

Tabela 1: média das taxas de temperatura do ar e precipitação líquida em Santo André 2016 -2024

Mês	Mínima (°C)	Máxima (°C)	Precipitação (mm)
<i>Janeiro</i>	20°	27°	246
<i>Fevereiro</i>	20°	27°	278
<i>Março</i>	19°	26°	276
<i>Abril</i>	17°	24°	123
<i>Mai</i>	15°	22°	101
<i>Junho</i>	13°	21°	72
<i>Julho</i>	13°	21°	87
<i>Agosto</i>	13°	22°	70
<i>Setembro</i>	15°	23°	133
<i>Outubro</i>	16°	24°	165
<i>Novembro</i>	17°	24°	212
<i>Dezembro</i>	19°	26°	255

Fonte: CEMADEN/Defesa Civil e UFABC (2025)

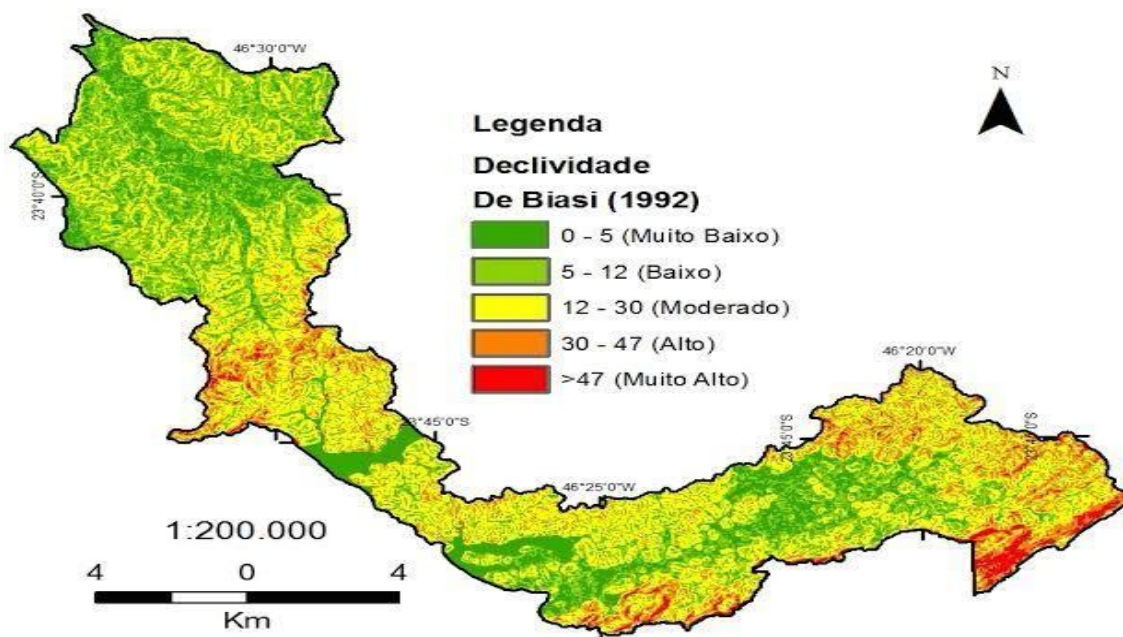
De acordo com estudos do EMPLASA (1980) voltados ao relevo da RMSP, ao que tange os aspectos geomorfológicos do território nas porções norte e central do município, conexas ao planalto paulista, predominam altitudes entre 700 e 900 metros, em terrenos levemente ondulados e densamente urbanizados. Essas superfícies apresentam colinas amplas, interflúvios largos e vales relativamente encaixados, modelados sobre rochas

cristalinas do embasamento pré-cambriano. No sentido sul andreense, o relevo torna-se bem mais acidentado com a presença da Serra do Mar no território, que se impõe como uma barreira orográfica com declividades acentuadas e altitudes superiores a 1.000 metros. A Prefeitura municipal (2010) descreve o setor sul, pertencente à Serra do Mar, como uma potência ecoturística gigante, ocupada por remanescentes significativos de mata atlântica e por unidades de conservação, como a região da represa Billings e a reserva biológica do “Alto da Serra de Paranapiacaba”, que preservam ecossistemas associados a esse relevo montanhoso e escarpado, conforme demonstra a figura 6. Contrastando com as partes mais urbanizadas, a porção sul possui uma atmosfera menos afetada pelo sistema de clima urbano, onde o tempo meteorológico é recorrentemente mais úmido, gélido e nublado.

É este contraste que fornece subsídio hipotético ao arcabouço teórico de Voogt e Oke (2003), onde pode-se afirmar que há de fato o fenômeno do aprisionamento de maiores temperaturas dentro das áreas mais urbanizadas (intitula-se “ilhas de calor”) quando se compara com as áreas de vegetação mais preservadas nos entornos das cidades urbanas. Portanto, o relevo de Santo André é caracterizado por uma dicotomia: ao norte, a topografia suavizada do Planalto Paulistano, adaptada à expansão urbana; ao sul, as formas abruptas da Serra do Mar, com forte influência sobre o clima local, a hidrografia e a conservação ambiental. Essa diversidade geomorfológica desempenha papel fundamental na organização territorial, nos processos de urbanização e nas dinâmicas ambientais do município.

E sob todos estes aspectos, a priori, a classificação climática de Novais e Galvani (2022) sugere que o município se encontra na zona climática moderada, visto a sua latitude em relação ao trópico de capricórnio. As especificidades que darão clareza as outras hierarquias poderão ser norteadas com os resultados da análise dos totais pluviométricos anuais.

Figura 6: Declividade do território municipal de Santo André – SP



Fonte: Prefeitura de Santo André (2010)

6.3 Delimitação do recorte espacial referente a área estudada

A delimitação do recorte espacial teve como objetivo concentrar a análise nos bairros que se encontram no entorno das áreas recorrentes de alagamento que interrompem a circulação dos trens da Linha 10 – Turquesa da CPTM, problema que se tornou emblemático na dinâmica pluvial de Santo André. A escolha desse recorte é fundamentada tanto na pertinência conceitual já citada em sessão anterior deste trabalho quanto na relevância social que a área escolhida possui perante questões socioambientais, uma vez que os episódios de paralisação do transporte ferroviário afetam diretamente a mobilidade cotidiana da população e evidenciam a vulnerabilidade da porção territorial frente aos eventos intensos de chuva.

A minuciosa checagem das planilhas pluviométricas do CEMADEN/Defesa Civil de Santo André revelou que os bairros Santa Terezinha, Parque das Nações, Curuçá, Vila Bastos e Jardim Utinga apresentam, de forma recorrente, os maiores totais diários de precipitação acumulada, ou se mantêm entre os que registram os maiores valores ao longo do ano. Essa constatação reforça a importância de selecionar tais bairros como unidades de análise, uma vez que eles integram a área de influência direta das inundações que afetam o eixo ferroviário da

CPTM, representando zonas críticas na distribuição espacial da pluviosidade. Além disso, a macrozona urbana de Santo André apresenta uma distribuição pluviométrica desigual, sobretudo no que diz respeito à intensidade das chuvas e à energia que diferentes pontos da cidade demonstram na interação do sistema clima urbano com sistemas atmosféricos mais amplos. Essa heterogeneidade espacial sugere que a precipitação, a depender das condições meteorológicas, não afeta de maneira uniforme os diversos setores da cidade — o que reforça a necessidade de um recorte espacial detalhado, capaz de revelar padrões sub-regionais do regime de chuvas e sua relação com a urbanização consolidada.

Para o entendimento da infraestrutura dos adjacentes do traçado espacial que a linha percorre dentro do recorte da área estudada, é importante descrever alguns ordenamentos e assentamentos presentes no espaço geográfico local, em especial no ponto de maior previsibilidade de alagamentos. As figuras 7 e 8 mostram a proximidade da comunidade Núcleo dos Ciganos, assentada em área de várzea entre os trilhos e o córrego do Tamanduateí na Avenida dos Estados, configurando uma barreira artificial ao escoamento superficial e que dificulta a drenagem, sendo também prejudicadas centenas de famílias que aguardam a assistência do poder público em promessas de manejo que nunca se cumprem.

Figura 7: Comunidade “Núcleo dos ciganos” em Santo André (SP)



Fonte: Conexão Haiti – Utinga (2016)

Figura 8: Circulação de trens interrompida na linha 10 por trecho alagado na altura de Utinga



Fonte: CBN (Fevereiro de 2014)

Assim, ao privilegiar os bairros localizados no entorno dos pontos críticos de alagamento e que figuram entre os bairros com os maiores volumes de precipitação (figura 9), o recorte espacial proposto torna-se coerente com os objetivos do estudo, permitindo uma análise mais precisa da problemática e fornecendo subsídios relevantes para esse debate no âmbito do planejamento urbano e da adaptação às demandas do cotidiano metropolitano. Questões socioambientais voltadas aos habitantes locais são colocadas em foco em metodologias como esta, servindo para atrair maior atenção e apressar medidas efetivas.

Figura 9: Composição espacial da área de estudo



Fonte: Elaboração própria/ (2025)

6.4 “Temperatura máxima de superfície” e “Nível de exposição populacional em vulnerabilidade à Ilha de calor urbano” (UrbVerde)

A plataforma UrbVerde, desenvolvida pela Universidade de São Paulo (USP), constitui uma ferramenta gratuita de grande relevância para pesquisas socioambientais, ao disponibilizar dados geoespaciais relacionados aos municípios brasileiros. Por meio do acesso ao portal, foi possível obter os valores médios anuais de temperatura relativa de superfície, as temperaturas máximas e o coeficiente de ilha de calor urbano relacionado a vulnerabilidade de certos grupos da população, para o município de Santo André, o que permitiu a análise dos padrões térmicos espaciais da área de estudo. Esses dados contribuem para a compreensão das dinâmicas ambientais locais e oferecem subsídios importantes para investigações sobre variáveis climáticas urbanas, especialmente em contextos de densa urbanização e a formação de ilhas de calor.

Temperatura de superfície Terrestre (TST)

A Temperatura de Superfície Terrestre (TST) representa uma variável fundamental no estudo das dinâmicas climáticas nas áreas urbanas do século XXI e nas áreas naturais, por representar a estimativa da temperatura radiométrica³ da superfície do solo a partir de sensores remotos. Trata-se de um indicador amplamente empregado no monitoramento ambiental e no planejamento urbano, uma vez que possibilita a identificação de padrões térmicos espaciais associados à morfologia urbana. Nesse sentido, Oke (1987) destaca que os materiais urbanos, como concreto e asfalto, apresentam maior capacidade de absorção e armazenamento de calor quando comparados às superfícies naturais, o que resulta em elevação das temperaturas superficiais e intensificação das ilhas de calor urbanas. Além disso, a TST permite compreender a influência exercida pela vegetação, pela impermeabilização do solo e pelas superfícies construídas na regulação climática local, oferecendo subsídios relevantes para a formulação de políticas públicas voltadas à mitigação dos efeitos da urbanização intensa sobre o clima local.

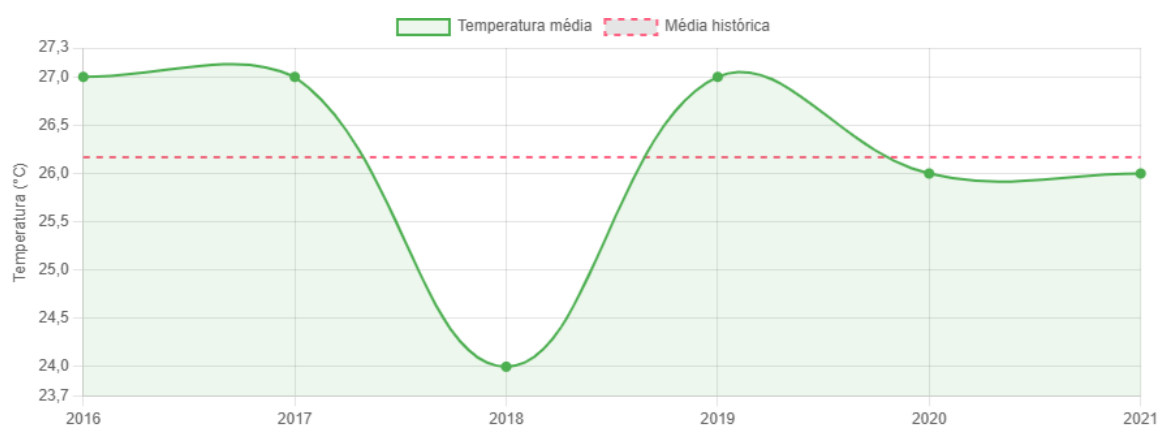
Ainda com a visão de Oke (1987), a TST difere da temperatura do ar e sua medição pode ser desafiadora devido aos efeitos atmosféricos sobre a radiação infravermelha. Seus valores absolutos podem divergir grandemente das medições pontuais de temperatura do ar ou de superfícies específicas.

³ É a temperatura da superfície, como vista por um satélite, em um ponto específico. É uma técnica de geoprocessamento que posiciona os objetos da superfície terrestre por meio da radiação solar e do calor emitido.

Em razão dessas diferenças, a UrbVerde opta pela análise de temperaturas relativas em comparação à média urbana do município, o que permite evidenciar áreas com valores superiores à média (caracterizadas como ilhas de calor) e inferiores — identificadas como ilhas de frescor — além de possibilitar a avaliação da intensidade desses fenômenos.

Abaixo, a figura 10, elaborada pela UrbVerde (2016 – 2021), representa a média anual de TST para a macrozona urbana do município andreense, os valores dialogam diretamente com o mapa de Temperatura Máxima de Superfície relativa apresentado na figura 10.

Figura 10: Média anual da Temperatura de Superfície Terrestre para Santo André – SP (2016 – 2021)



Fonte: Urbverde.iai.usp.br (acesso em novembro de 2025)

A Temperatura da Superfície Terrestre (TST) em torno de 26 °C numa média anual é considerada relativamente elevada quando observada em áreas vegetadas ou pouco urbanizadas; contudo, no contexto das cidades do Sudeste brasileiro, especialmente em municípios densamente construídos como Santo André, tal valor deve ser interpretado de forma diferenciada. Nas áreas urbanas da Região Metropolitana de São Paulo, a intensa impermeabilização do solo, a verticalização e a escassez de cobertura vegetal favorecem o acúmulo de energia nas superfícies artificiais, levando a TSTs que com frequência ultrapassam 40 °C em pavimentos, telhados e superfícies expostas. Assim, uma média anual de TST nos 26 °C representa um nível moderado para superfícies urbanas construídas, mas ainda configura um valor alto quando registrado em parques, manchas verdes, margens de rios e remanescentes de Mata Atlântica presentes no território andreense. Estudos de climatologia urbana apontam que esse contraste térmico é típico das metrópoles do Sudeste, onde a

Temperaturas máximas de superfície registradas em Santo André

A Temperatura Máxima de Superfície corresponde ao maior valor térmico em graus celsius registrados anualmente na superfície do município, no período compreendido entre 2016 e 2021. Tal indicador configura uma variável fundamental para identificar quais setores da cidade estão mais suscetíveis à ocorrência de desvio da média anual, permitindo igualmente, compreender de que forma diferentes porções do espaço urbano respondem às variações térmicas durante os ciclos de estações climáticas (Verão, outono, inverno e primavera) e, ainda, como cada área municipal responde a incidência de radiação solar durante o período da estação.

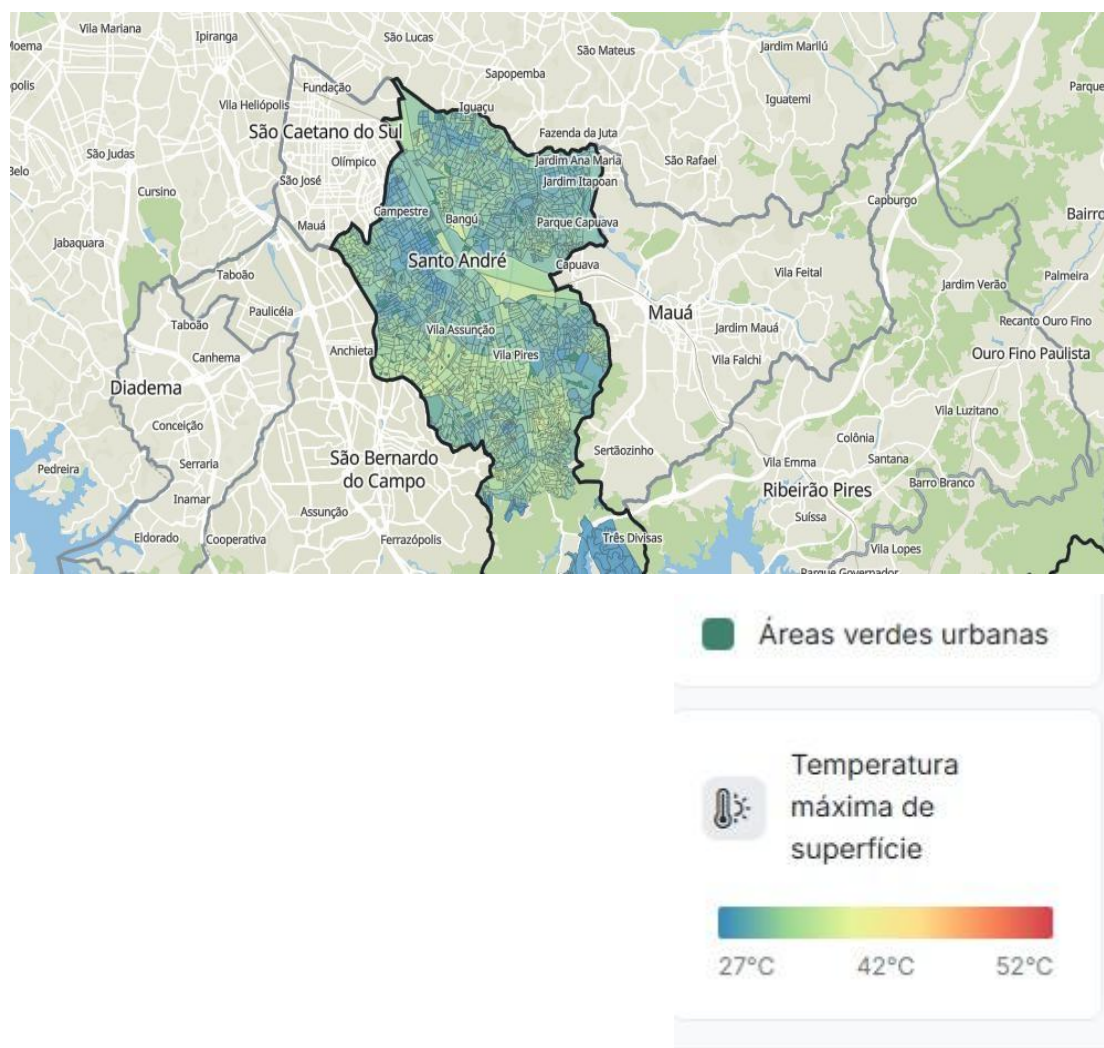
Importa ressaltar que os valores analisados dizem respeito à temperatura da superfície, e não do ar. Por essa razão, a interpretação dos resultados é realizada de forma relativa, considerando as diferenças térmicas internas ao município, o que possibilita evidenciar as áreas mais quentes e aquelas com condições termicamente mais amenas. A metodologia seguida pela plataforma estipula valores a cada 30 metros de superfície, fornecendo a leitura da radiometria para áreas específicas.

Conforme divulgado pela plataforma, a obtenção da temperatura máxima de superfície foi realizada por meio da análise de imagens quinzenais provenientes do satélite Landsat-8 da NASA, as quais foram processadas e organizadas em mosaicos anuais. O procedimento metodológico inclui a conversão dos valores digitais (Digital Numbers – DN) das imagens em valores de temperatura, empregando-se a equação de Planck como base para a estimativa radiométrica. Com o intuito de assegurar a acurácia dos resultados, aplicou-se um modelo de correção atmosférica fundamentado na relação entre a temperatura de brilho e a emissividade da superfície. Esse processo possibilita a redução de interferências atmosféricas e aprimora a confiabilidade dos valores termométricos derivados dos sensores remotos.

A figura 12 mostra a perspectiva de TMS para a macrozona urbana⁴ de Santo André, a consulta interativa para cada setor censitário no site da plataforma permite a observação de que nenhuma superfície ultrapassou valores acima dos 33°C entre 2016 e 2021. É válido ressaltar que a maior temperatura do ar registrada no município é de 35°C.

⁴ Conforme mostra a figura 1 na sessão 6 deste trabalho e detalhando na sessão 7 do Plano diretor urbanístico, o município de Santo André é dividido em duas macrozonas para o planejamento e as políticas de uso do solo.

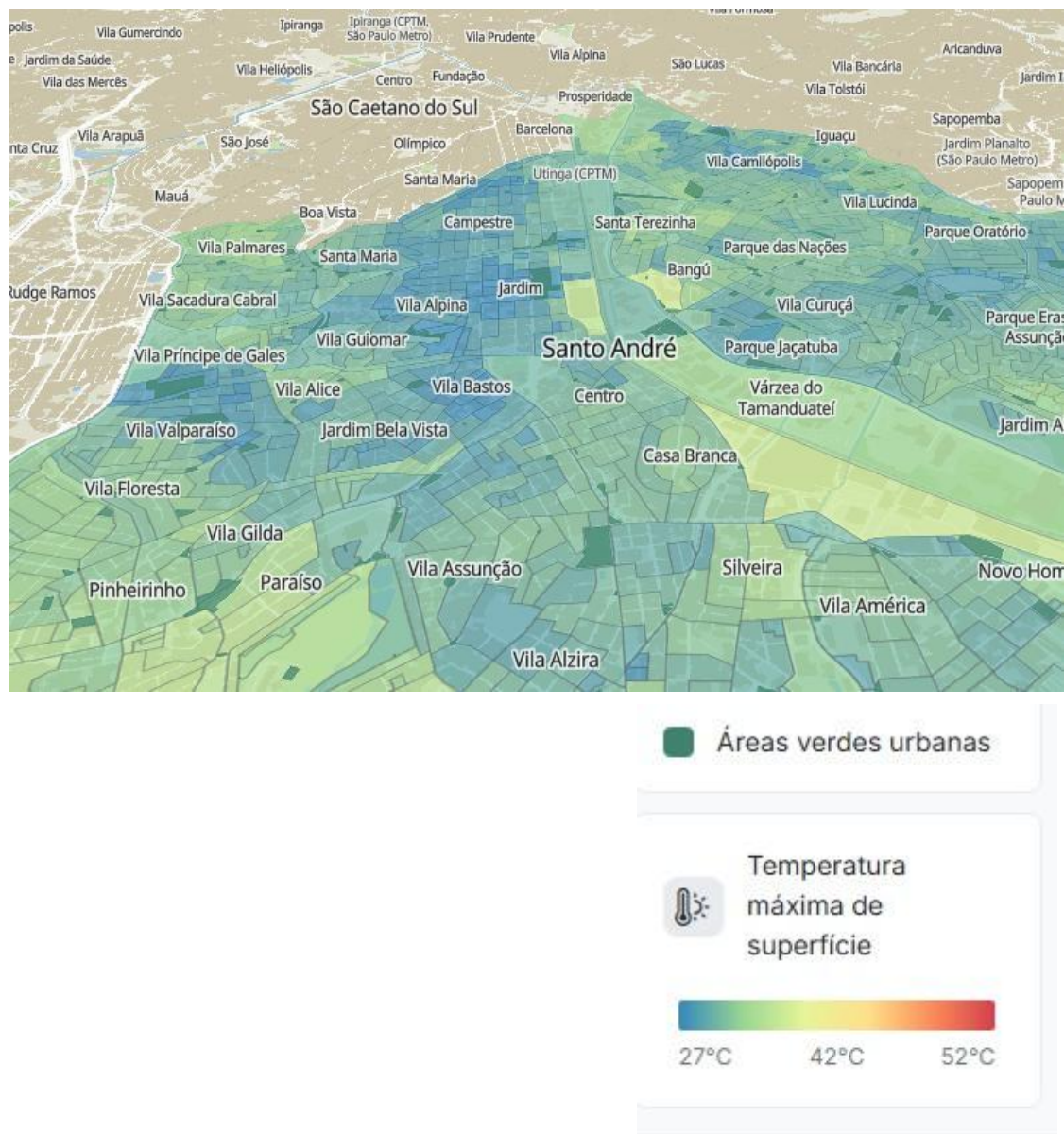
Figura 12: Temperaturas máximas de superfície registradas dentro da macrozona urbana de Santo André no ano de 2021



Fonte: UrbVerde.iau.usp.br (acesso em novembro de 2025)

A Figura 13 apresenta uma perspectiva espacial mais aproximada da área de estudo, permitindo a visualização da variação térmica entre os bairros e seus respectivos arredores.

Figura 13: Temperaturas máximas de superfície registradas dentro da macrozona urbana de Santo André no ano de 2021, perspectiva mais aproximada da área estudada



Fonte: UrbVerde.iau.usp.br (acesso em novembro de 2025)

Coeficiente de Ilha de Calor Urbano

A análise dos níveis de exposição à ilha de calor urbana no município de Santo André foi realizada por meio do Coeficiente de Ilha de Calor Urbano (CIC), desenvolvido pela plataforma UrbVerde (2021). Este coeficiente mede a intensidade da ilha de calor considerando a temperatura de superfície terrestre e a vulnerabilidade populacional, permitindo identificar áreas críticas onde idosos e crianças apresentam maior exposição ao calor intenso. Trata-se de um indicador que integra aspectos ambientais e sociais, sendo útil para subsidiar políticas públicas de adaptação climática e planejamento urbano.

O cálculo do Coeficiente de Ilha de Calor baseou-se na integração de dois conjuntos de dados principais:

Temperatura de Superfície Terrestre (TST), derivada de imagens térmicas do satélite Landsat-8, com resolução espacial de 30 metros, permitindo detalhamento intraurbano da variação térmica.

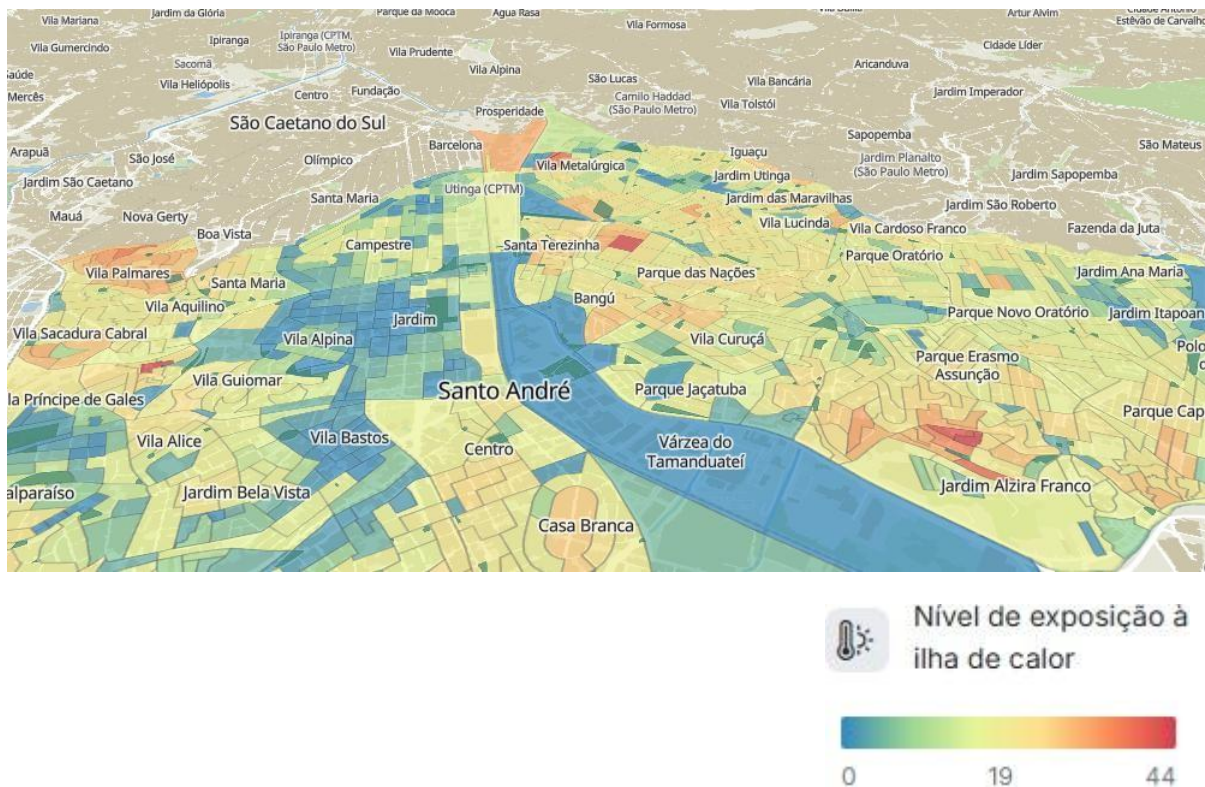
Dados populacionais: obtidos a partir do Censo Demográfico do IBGE (2011), organizados por setores censitários, com ênfase nos grupos etários considerados mais vulneráveis aos picos de temperatura: idosos acima de 60 anos e crianças de até 10 anos de idade.

Embora a metodologia adotada pela plataforma concentre-se em grupos populacionais específicos, os dados obtidos apresentaram excelente aderência aos objetivos desta pesquisa, configurando-se como a base mais completa e refinada disponível para a área de estudo. Dessa forma, sua utilização se justifica plenamente, especialmente diante da escassez de informações detalhadas sobre a dinâmica térmica em escala intraurbana no município.

Na Figura 14, observa-se a distribuição espacial do Coeficiente de Ilha de Calor (CIC) referente ao ano de 2021, último ano com registro disponível, mantendo, contudo, padrões semelhantes aos dos anos anteriores. Os valores foram representados por meio de uma escala cromática, possibilitando a identificação dos níveis de exposição térmica nos bairros que compõem o recorte espacial da pesquisa, bem como em outros setores da região norte de Santo André.

Os resultados indicam que Santa Terezinha e Parque das Nações se destacam como as áreas mais críticas, com valores de 20,34% e 19,72%, respectivamente. Os bairros Curuçá (9,95%) e Utinga (6,61%) apresentam níveis intermediários de vulnerabilidade, enquanto Vila Bastos chama atenção por registrar totais próximos a zero, sugerindo melhores condições térmicas e menor população exposta ao fenômeno da ilha de calor urbana, isso se dá principalmente por ser um bairro com belas ruas arborizadas.

Figura 14: Coeficiente de ilha de calor para os bairros estudados no recorte espacial e arredores em 2021



Fonte: UrbVerde.iau.usp.br (Acesso em novembro de 2025)

6.5 Hidrografia e a impermeabilização do solo na área de estudo

Estudos realizados por Rodrigues (2018) mostram que a hidrografia de Santo André é marcada por uma rede de rios e córregos que fazem parte da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê, uma das mais importantes da Região Metropolitana de São Paulo. O município também contribui para áreas de mananciais, principalmente ligadas à Represa Billings, que possui grande relevância para o abastecimento de água regional. Os principais cursos d'água do município são o Rio Tamanduateí, o Ribeirão dos Meninos e trechos menores de córregos locais, muitos deles canalizados devido ao processo de urbanização (DEFESA CIVIL DE SANTO ANDRÉ, 2016). A ocupação intensa do solo, principalmente nas áreas mais centrais, modificou o escoamento natural da água e aumentou a ocorrência de inundações em alguns bairros.

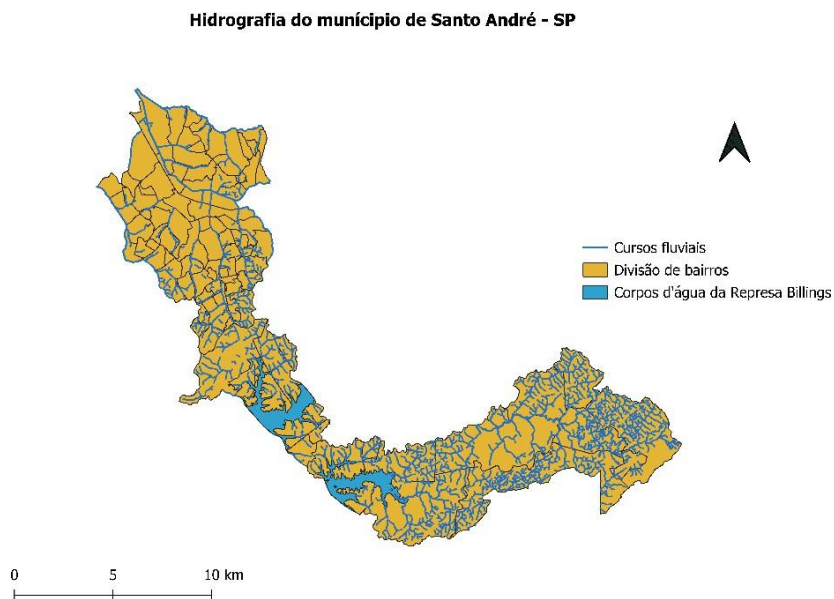
A parte sul de Santo André, referente a macrozona ambiental, apresenta características diferentes: possui relevo mais elevado e presença de áreas de Mata Atlântica, que auxiliam na infiltração da água e contribuem para a proteção dos mananciais. Entretanto, na zona urbana, os impactos da impermeabilização do solo e da canalização de córregos exigem ações de drenagem e planejamento hídrico. Logo, a hidrografia de Santo André reflete dois cenários distintos: um setor urbano, onde a drenagem é um desafio, e um setor de proteção ambiental,

ligado aos mananciais. A gestão dos recursos hídricos no município deve conciliar essas duas realidades, buscando preservar as áreas naturais e melhorar a qualidade da água e da drenagem nas regiões urbanizadas (PREFEITURA DE SANTO ANDRÉ, 2010).

Outrossim, em Santo André a hidrografia está fortemente relacionada aos episódios de alagamentos urbanos. Os rios Tamanduateí e Ribeirão dos Meninos, assim como vários córregos canalizados, recebem grande quantidade de escoamento superficial devido à impermeabilização do solo. Em dias de chuva intensa, essa capacidade de drenagem é rapidamente excedida, o que favorece transbordamentos e interrupções de circulação, especialmente em áreas próximas à Linha 10-Turquesa da CPTM, como os bairros Santa Terezinha, Curuçá, Utinga, Vila Bastos e Parque das Nações, estudados no recorte espacial.

A figura 15 mostra a hidrografia geral do município, revelando um fundo de vale largo no centro da região norte da macrozona urbana. A figura 16, com foco na área de estudo, mostra que o trecho da linha 10 acompanha em grande proximidade as margens do rio Tamanduateí e seus afluentes, comprovando a sua construção em área de várzea. A figura 17, um mapa da litologia do município, mostra a existência de um setor de aluviões por onde passa o traçado da linha 10-Turquesa da CPTM. Estudos sobre a história da ferrovia revelam trabalhos de engenharia para o aterramento para elevar o terreno acima do nível das inundações, por volta de 1860, antes de sua inauguração em 1867 pela São Railway Company. A escolha do trajeto há um século e meio se deu pela lógica de conectar a capital ao porto de Santos, com os processos de industrialização na região do abc e o adensamento da urbanização nas áreas circundantes, a linha foi fundida ao espaço geográfico metropolitano sem grandes alterações do seu esboço original.

Figura 15: Mapa hidrográfico do município de Santo André - SP



Fonte: Elaboração própria

Figura 16: Hidrografia nas proximidades do trecho da linha 10 turquesa da CPTM



Fonte: Elaboração própria

Figura 17: Mapa litológico de Santo André - SP



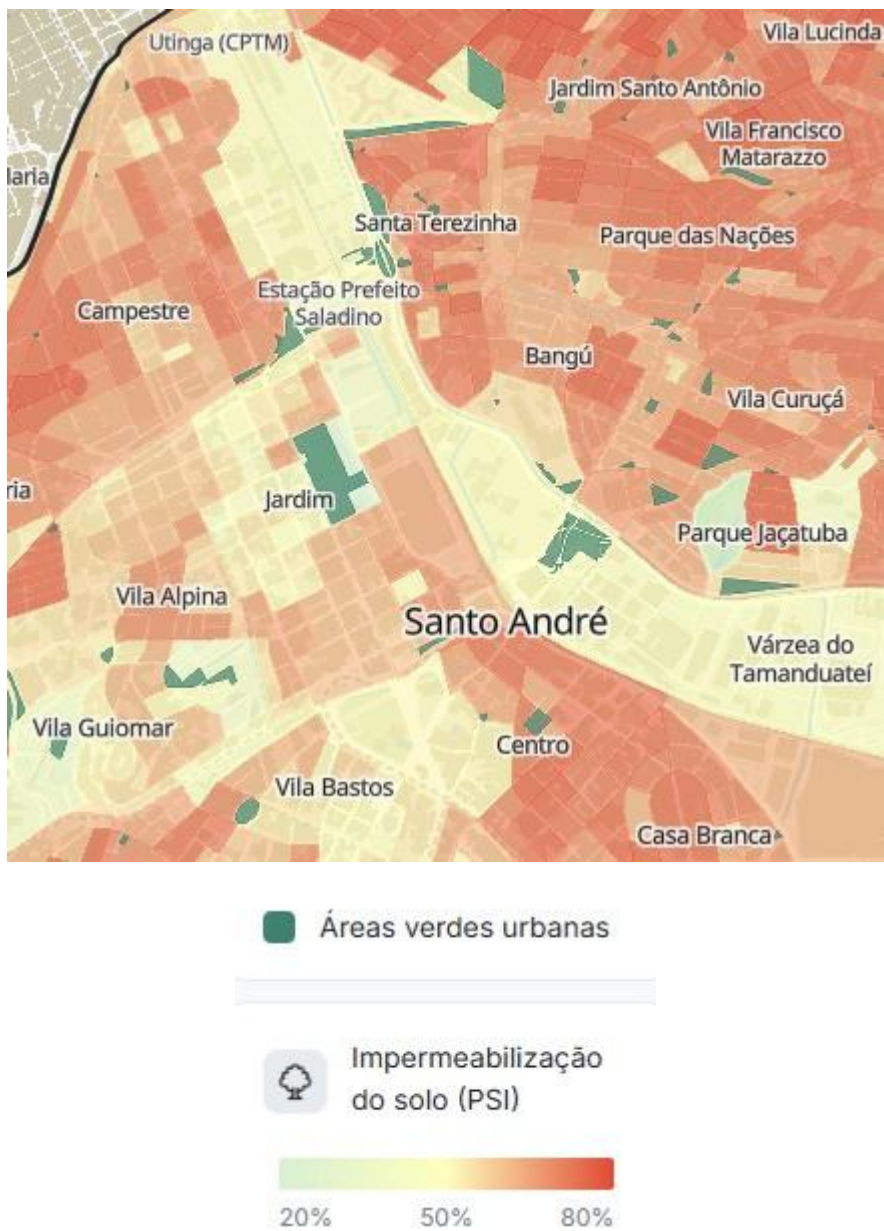
Fonte: Prefeitura de Santo André (2010)

A figura 18 mostra a situação urbana da área estudada com foco na impermeabilização do solo. O gradiente de cores nas superfícies, indo do mais claro (níveis baixos) para o mais escuro (níveis altos) revela a porcentagem da dificuldade de infiltração da água no solo em meio a materiais como asfalto e concreto. É crucial observar a impermeabilização em torno de 40% a 50% no percurso que faz a linha ferroviária entre Utinga até a altura de Capuava, diferenciando-se dos terrenos dos arredores imediatos, cujo valores vão de 60% a 80%, com destaque para Santa Terezinha, Parque das Nações e Curuçá. Ainda nesta observação, nota-se que a taxa intermediária de impermeabilização que acompanha o traçado da ferrovia por ambos os lados é interrompido no momento em que passa pelo bairro Jardim, um dos mais verticalizados e que dispõe de condomínios acoplados aos muros da linha 10 turquesa, para depois da continuidade ao objetos do centro da cidade, como shoppings, terminais rodoviários, prédios destinados ao oferecimento de serviços e as indústrias na direção de Capuava pelo lado oeste dos trilhos, permanecendo com níveis mais baixos.

A controvérsia em torno das inundações urbanas atingirem frequentemente o terreno com níveis melhores de permeação pode ser explicado pela declividade local, onde há a drenagem pluvial das ruas mais altas para as mais baixas. Ressalta-se que a topografia dos bairros próximos é levemente ondulada — conforme mostrado anteriormente na figura 6 — não havendo diferenças altimétricas elevadas, mas ainda assim com inclinações suaves que direcionam a água da chuva para a várzea próxima a linha da CPTM.

Considerando a urbanização e as moradias desordenadas em alguns setores próximos, juntamente com a canalização do rio Tamanduateí na Avenida dos Estados, essa drenagem caracteriza-se ineficiente e em casos de precipitações intensas, acaba por sobrecarregar o escoamento superficial, implicando em enchentes. Além disso, como demonstra a sequência de figuras anteriores (14,15 e 16), o local por onde passa os trilhos da ferrovia é um depósito aluvial natural de sedimentos.

Figura 18: Nível de impermeabilização na área de estudo



Fonte: Urbverde.iau.usp.br (acesso em outubro de 2025)

6.6 Principais sistemas atmosféricos que atingem o município de Santo André

O município de Santo André é afetado por uma combinação de escalas sinóticas e mesoscalas que controlam sua variabilidade meteorológica e pluviométrica. Segundo Moraes, Castro e Tundisi (2010), a dinâmica meteorológica no sudeste brasileiro associa-se à passagem, formação ou intensificação de sistemas de escala sinótica, como os frontais. Portanto, para a compreensão dos padrões de precipitações, temperatura e vento no município é necessário considerar tanto sistemas de grande escala quanto circulações locais (brisa marítima, ilha de calor urbana e sistemas convectivos de mesoescala). Estudos locais e boletins climatológicos municipais indicam que estes sistemas são repetidamente responsáveis por episódios de precipitação intensa, variações térmicas e eventos intensos na área do ABC Paulista e Região metropolitana de São Paulo como um todo. A revisão de diversos documentos disponíveis nos portais da Prefeitura Municipal de Santo André e publicações disponibilizadas pelo INMET indicam com precisão quais são estes sistemas:

Frentes frias

As frentes frias provenientes das latitudes médias do Atlântico Sul (30°S e 60°S) têm papel preponderante na variabilidade climática de Santo André. Essas frentes provocam quedas de temperatura, intensificação dos ventos e episódios de chuva frontal, geralmente durante os meses mais frios, quando massas polares penetram em latitudes mais baixas. Nos boletins anuais climatológicos da UFABC (2020 – 2024), com divulgação pela Defesa Civil, esses sistemas são recorrentemente citados. Ainda de acordo com Moraes, Castro e Tundisi (2010), ao menos 3 frentes frias atingem a RMSP mensalmente, sendo os maiores casos de março a maio e de agosto a outubro, com menores ocorrências no auge do verão.

Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS)

A Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) constitui um dos principais sistemas moduladores do regime pluviométrico do sudeste brasileiro durante a estação chuvosa. Sua configuração típica corresponde a “uma faixa de nebulosidade orientada de noroeste para sudeste, com convecção profunda e persistente sobre o Brasil central e o Atlântico Sul” (CAVALCANTI et al., 2009, p. 153), estabelecendo uma zona contínua de convergência de umidade que favorece a ocorrência de episódios prolongados de precipitação. Cavalcanti (2017) destaca ainda o papel da ZCAS no transporte de umidade amazônica e às interações

com massas de ar oceânicas e sistemas atmosféricos de larga escala, associando a persistência da ZCAS aos eventos de precipitação extrema no sudeste do Brasil.

Associando-a aos sistemas de monções da América do Sul, os estudos de Nielsen *et al* (2019 apud VERDAN 2025), mostram que a ZCAS é responsável por 25% das precipitações pluviais no sudeste do Brasil entre os meses de outubro e março.

No auge do verão, a ZCAS age como um importante gerador de chuvas prolongadas e convectivas sobre a RMSP e regiões adjacentes, como o ABC Paulista. Outros estudos feitos pela defesa civil e igualmente pela UFABC mostram que durante a estação, bandas de convergência de umidade ligadas à ZCAS favorecem precipitação intensa e persistente. Outros boletins recentes sobre o comportamento e as origens de chuvas no ABC Paulista destacam que os totais pluviométricos do final da primavera para o verão estão frequentemente relacionados a esse sistema.

Assim, sua influência se torna fundamental para compreender tanto a variabilidade climática regional quanto a ocorrência de eventos hidrometeorológicos de risco.

Ciclones extratropicais / baixas pressões

Os ciclones extratropicais e os sistemas de baixa pressão desempenham papel fundamental na dinâmica atmosférica da América do Sul, especialmente sobre as regiões Sul e Sudeste do Brasil. De acordo com Cavalcanti (2009), esses ciclones atuam como centros organizadores da circulação de grande escala, desenvolvendo-se preferencialmente ao longo da costa entre Argentina, Uruguai e Sul do Brasil, de onde exercem influência sobre a formação e o deslocamento de frentes frias em direção ao Sudeste. Esses sistemas favorecem alterações significativas no tempo, como quedas acentuadas de temperatura, aumento da nebulosidade, ventos intensos e episódios de precipitação associados ao avanço frontal. A autora também destaca que os sistemas de baixa pressão, tanto de natureza tropical quanto extratropical, funcionam como áreas de convergência que potencializam o desenvolvimento de nebulosidade e chuvas, além de integrarem mecanismos essenciais da circulação sazonal, como a Baixa do Chaco durante o verão. Esses centros de baixa pressão contribuem ainda para a organização de sistemas maiores, como a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), uma vez que ajudam a sustentar o transporte de umidade e a manutenção da convecção na porção central e sudeste do país. Nesse sentido, a literatura de Cavalcanti (2009) evidencia que a interação entre ciclones extratropicais e baixas pressões constitui um dos elementos-chave para compreender

a variabilidade climática e a gênese de eventos de precipitação significativa no Sudeste brasileiro.

Reboita et al. (2010,2012) reforça o deslocamento de ciclones extratropicais formados na costa sul do continente americano em direção ao sudeste do Brasil, onde influenciam o avanço de frentes frias, episódios de ressaca, ventos fortes e chuvas volumosas. A autora e seus colaboradores também enfatizam que a intensidade desses ciclones e sua frequência estão associadas a padrões de conexão, como ENSO (El Niño-Oscilação Sul), e às interações entre massas de ar tropicais e polares. Nos estudos de dinâmica sinótica, Reboita (2012) explica ainda que os sistemas de baixa pressão, ao favorecerem convergência nos baixos níveis, são essenciais na gênese de precipitações persistentes e na organização de sistemas compostos, como as frentes frias e ciclones secundários que afetam o Sudeste.

Ocasionais ciclones extratropicais (incluindo ciclones bomba) ou sistemas de baixa pressão podem influenciar a RMSP, trazendo ventos fortificados e precipitação intensa. No boletim anual de 2021, há menção a eventos de baixa pressão para o município de Santo André, evidenciando a relevância desses sistemas para fenômenos relacionados a eventos de alto impacto.

Circulações de mesoescala e fenômenos locais: brisa marítima e ilha de calor urbana

A brisa marinha constitui um dos sistemas locais mais importantes para a modulação das condições meteorológicas na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), especialmente durante o período da tarde e início da noite. Estudos clássicos de Conti (1975) demonstram que a penetração da brisa marinha proveniente do litoral paulista avança pelo complexo geomorfológico da Serra do Mar, atuando como mecanismo de transporte de umidade para o interior da metrópole. Essa circulação gera redução das temperaturas diurnas, aumento da nebulosidade e intensificação da convecção, podendo contribuir para a formação de pancadas de chuva típicas da estação quente. De acordo com Tarifa e Armani (2001), o contraste térmico entre o oceano e a superfície altamente urbanizada da RMSP intensifica a entrada da brisa, enquanto o relevo serrano age como condicionante para sua canalização. Pesquisas mais recentes, como as de Freitas (2015), reforçam que a brisa marinha interage com ilhas de calor urbanas, favorecendo convergência de ventos em baixos níveis e potencializando a ocorrência de tempestades convectivas. Assim, uma vasta literatura evidencia que a brisa marinha desempenha papel significativo na variabilidade climática diária de Santo André, influenciando tanto o conforto térmico quanto a distribuição espacial e temporal das precipitações.

7 PLANO DIRETOR URBANÍSTICO DO MUNICÍPIO DE SANTO ANDRÉ E O USO DO SOLO

O plano diretor urbanístico municipal é um instrumento de planejamento e gestão territorial que orienta teoricamente o meio físico para fins de desenvolvimentos sociais, econômicos e ambientais dentro de uma cidade, apresentando diretrizes que organizam o espaço urbano. Previsto no Estatuto da Cidade (Lei Federal nº 10.257/2001), constitui-se como a principal ferramenta de política urbana, obrigatória para municípios com mais de 20 mil habitantes ou inseridos em regiões metropolitanas. Seu objetivo é promover o uso racional e sustentável do solo, garantir o direito à moradia, à mobilidade e aos serviços urbanos, além de fomentar a participação social no processo de tomada de decisões. Ele equilibra interesses coletivos e privados, assegurando que a expansão urbana ocorra de forma ordenada, inclusiva e ambientalmente responsável. Esta ferramenta de organização também pode surgir intitulada de “marco regulatório de políticas públicas urbanas”, não deixando de ter a mesma natureza.

A elaboração de um plano deve acompanhar tanto as demandas históricas e as novas tendências de desenvolvimento, necessitando de inúmeros diagnósticos ao longo de alguns anos e apresentados através de reuniões expositivas das demandas levantadas. Como se pode constatar, a observação dos temas abordados segue uma escala temporal de acontecimentos que irão subsidiar a forma como os planejamentos devem ocorrer e elucidar a melhor ordenação do território em suas microrregiões. É previsto em lei que haja uma revisão a cada 10 anos, justamente para que as novas transformações sociais e normalmente, a execução de um plano em suas diversas vertentes espaciais deve abarcar a aprovação popular por meio de consulta pública amplamente divulgada aos habitantes do município.

Em Santo André, o planejamento urbano enfrenta desafios específicos decorrentes do intenso processo de urbanização, da desigual distribuição da infraestrutura e da presença de áreas ambientalmente frágeis, como as zonas de mananciais localizadas ao sul do município. Essas áreas são fundamentais para o abastecimento hídrico regional e influenciam o sistema climático local, o que impõe a necessidade de conciliar o crescimento urbano com a conservação dos recursos naturais do meio físico, impedindo que haja o avanço desenfreado de assentamentos para moradias em direção a essa porção territorial. O Plano Diretor vigente, aprovado pela Lei Municipal nº 9.957/2016, nomeado de LUOPS (Lei de Uso, Ocupação e Parcelamento do Solo), introduziu instrumentos de gestão participativa e ampliou o enfoque na sustentabilidade territorial, promovendo o diálogo com a população local sobre políticas de

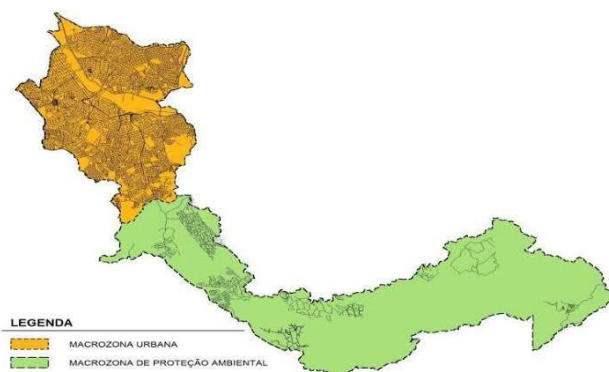
habitação, transporte e meio ambiente. Essa abordagem vai de encontro com a concepção geográfica de território enquanto produto das relações sociais e econômicas que se projetam sobre o espaço, conforme defende Santos (1996, p.83). “O território é o chão mais a identidade, sendo território utilizado aquele que revela as relações sociais, políticas e econômicas que nele se realizam”.

Nesse sentido, o Plano Diretor não deve ser compreendido apenas como um documento normativo, mas como um instrumento político e social de enorme potencial que reflete as disputas e os interesses que moldam o território andreeense. Na prática, essa norma funciona como fábula, ou apenas como ação política pouco efetiva, uma vez que na utilização do solo nas porções norte e central há o avanço da verticalização em prol do mercado imobiliário e o crescimento de moradias desordenadas em áreas periféricas. A espacialização teórica das diretrizes do Plano Diretor visa por uma cidade mais equilibrada, com incentivo à requalificação de áreas centrais, ao adensamento próximo a eixos de transporte coletivo e à preservação dos espaços de valor ambiental. Os arquivos da Lei ordinária 9924/2016, disponíveis no site da SEMASA (Secretária de Meio Ambiente de Santo André) servem para divulgar as diretrizes e chamar atenção para a participação popular. No entanto, a efetividade dessas propostas depende da capacidade de implementação e do controle social das políticas públicas, o que exige a rigorosidade institucional do poder público local em garantir que as medidas sejam de fato cumpridas e saiam do papel.

Relativo à aplicação prática do plano de ação, o município está dividido em duas macrozonas delimitadas e diferenciadas por suas características físicas e ambientais, assistidas então por suas especificidades, conforme mostram as figuras 19 e 20. A grande macrozona urbana posicionada a norte e centro do município, comporta a parte consolidada da cidade e possui uma maior densidade populacional, apresentando uma infraestrutura tipicamente metropolitana. O seu uso diário gira em torno da moradia, do comércio e oferecimento de serviços, das atividades industriais, do cotidiano urbano em geral, com a LUOPS categorizando lotes conforme normas de utilização (zoneamento residencial, misto, não residencial, loteamento livre). Esta porção territorial do município agrega-se a um conglomerado urbano

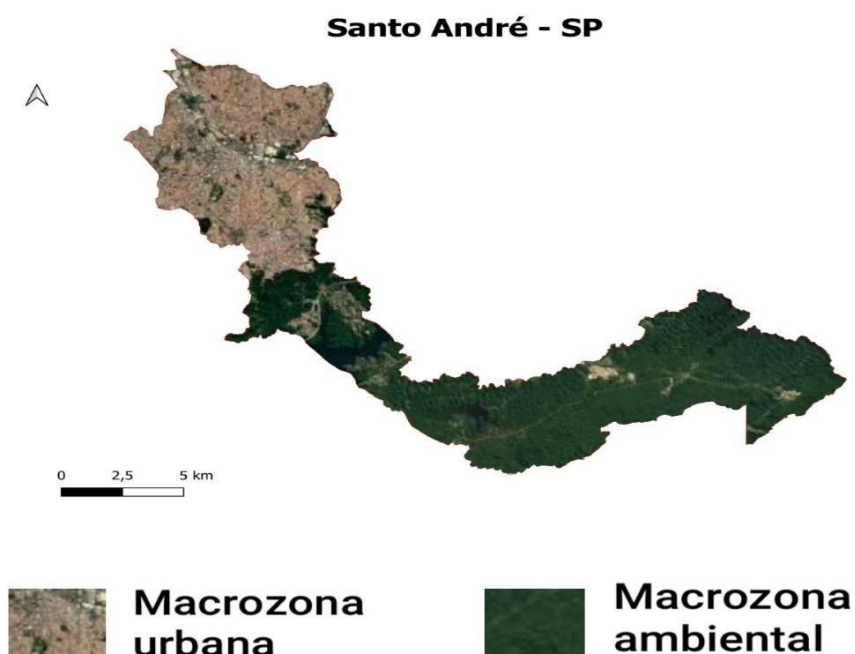
nas divisas com São Paulo, São Caetano do Sul, São Bernardo e Mauá, materializando uma das maiores manchas de urbanização da América do Sul.

Figura 19: As duas macrozonas para o uso legal do solo



Fonte: Prefeitura de Santo André (2010)

Figura 20: Imagem de satélite do território de Santo André – SP, com evidências do uso do solo no município que o subdivide em duas macrozonas, conforme o Plano Diretor.



Fonte: Elaboração própria (2025)

Há ainda dentro da macrozona urbana, a subdivisão em zonas de uso com foco em políticas públicas e marcos legais. Na figura 21 é possível observar a localização de cada uma delas e a extensão espacial dos fenômenos a serem sanados.

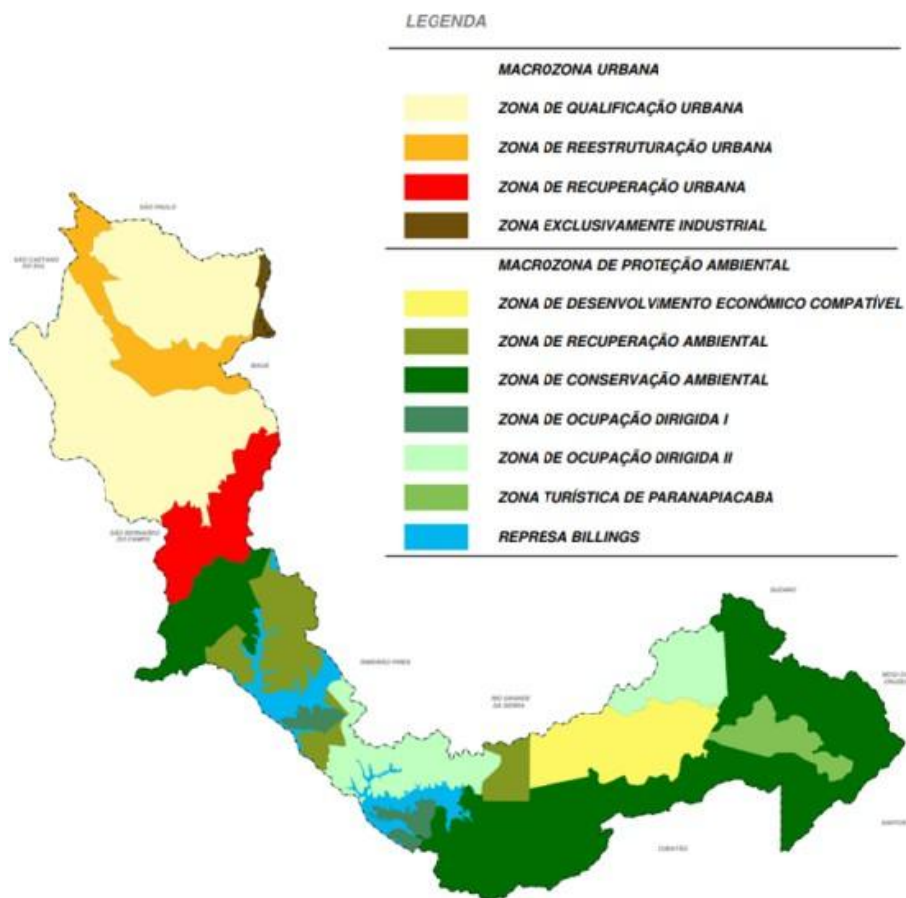
A **zona de qualificação (bege)**, a cobrir maior parte do território da macrozona urbana, representa as áreas previamente estruturadas para a consolidação dos projetos urbanísticos a quais necessitam, nela há o uso predominante residencial e atividades econômicas dispersas, essa zona curiosamente abrange os bairros mais nobres.

A **zona de reestruturação (amarelo)**, a cruzar a macrozona de norte a nordeste, da divisa com São Caetano à divisa com Mauá, refazendo o trajeto da linha 10 turquesa da CPTM, representa as áreas requerentes de intervenções urbanísticas para a atualizações de infraestrutura, com a predominância de uso misto, carência de aparelhos públicos e a recorrência de edificações não ocupadas e terrenos subutilizados ou não utilizados.

A **zona de recuperação urbana (vermelho)**, na porção periférica da microzona urbana, de uso predominantemente residencial, representa as áreas de alta incidência de lotes irregulares, núcleos habitacionais de baixa renda com densidade populacional acentuada, avançando desordenadamente em direção a áreas de preservação ambiental.

A **zona exclusivamente industrial (marrom)**, representa as áreas de concentração de grandes indústrias capazes de impactar o meio ambiente significativamente e sua localização no mapa cobre o perímetro do polo petroquímico de Capuava e de empresas de mesma atividade produtiva, onde haverá fiscalizações constantes e políticas para licenciamento ambiental.

Figura 21: Mapa de macrozoneamento para o uso legal do solo



Fonte: Prefeitura de Santo André e SEMASA (2010)

A Macrozona de Proteção Ambiental, onde está localizada a represa Billings, responsável pelo abastecimento de água de 60% do município e representa uma importante e delicada área de manancial da região metropolitana, estende-se da porção territorial central até o sul do município, fazendo contato com a serra do mar na vila de Paranapiacaba. As subdivisões em zonas de uso, conforme a figura, seguem parâmetros de regulamentação mais restritivos, voltados a preservação de mananciais, nascentes, reservas florestais de vegetação remanescente da mata atlântica, regiões de encostas etc. O poder público amparado por legislação (LUPS) determina ainda uma zona para desenvolvimento econômico de maneira sustentável e equilibrado, e ainda zonas de ocupação dirigida.

8 Caracterização da coleta dos dados, as fontes, as medidas e as escalas espaciais e temporais

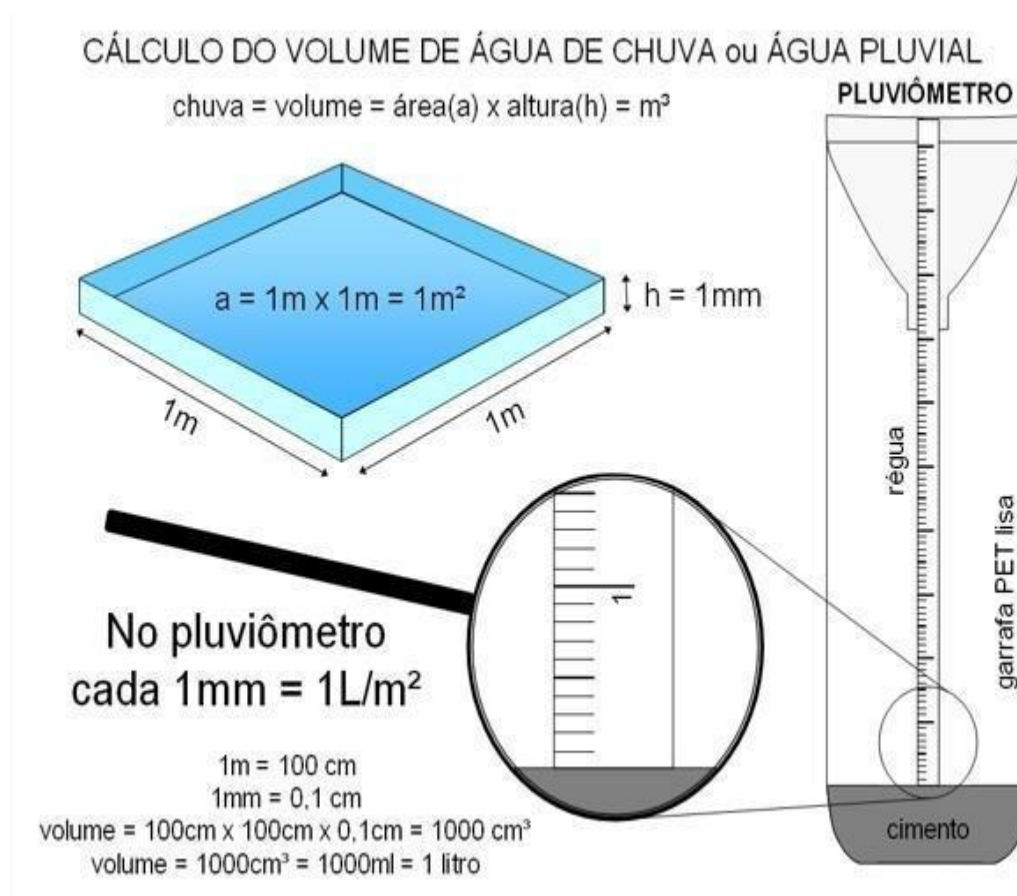
Contextualizada a área de estudo nos aspectos físicos e sociais, a localização e a sua ordenação no espaço geográfico por meios dos objetos e ações, finalmente prossegue-se com o objetivo geral deste trabalho de descrever um padrão de precipitação pluvial, evidenciando os casos intensos que afetam a mobilidade na linha ferroviária de transporte urbano da região. Sendo mais apropriado e conveniente, também de enorme facilidade de acesso público, o conjunto dos totais pluviométricos do município nos últimos anos qualifica-se dentro desta pesquisa como o principal método de observação do regime de chuvas de Santo André.

O índice pluviométrico constitui uma das métricas mais fundamentais para a caracterização de coletas de dados que vão descrever a situação geográfica climática de uma região ou local, pois quantifica a precipitação que incide sobre uma superfície ao longo de um determinado período, proporcionando também dentro de uma análise dinâmica a associação a outros elementos do clima, como a umidade, a pressão atmosférica e a circulação do ar. Ele é essencial em estudos de hidrologia, agricultura, planejamento urbano, mitigação de inundações e recursos hídricos. A partir do registro contínuo e padronizado desse índice, é possível analisar tendências de variabilidade climática, saldos hídricos e o uso da água, eventos de chuvas intensificadas ou de secas, e projetar diretrizes de gestão territorial proporcionando a segurança e o bem-estar de populações. Para que essas análises sejam confiáveis, é necessário adotar métodos de medição e processamento de dados adequados e cientificamente validados.

Nestes indicies, a medição da precipitação é realizada por meio de instrumentos denominados pluviômetros, capazes de expressar numericamente a chuva acumulada em certo momento numa porção espacial. O método consiste na coleta da água de origem pluvial em um recipiente calibrado, geralmente expresso em milímetros (mm), que correspondem ao volume de água precipitada sobre uma superfície de um metro quadrado em uma cronologia temporal, geralmente estipulada em acúmulo por hora(s). Existem diferentes tipos de pluviômetros, como o pluviômetro manual, utilizado em observações convencionais, autônomas ou como material didático no ensino e pesquisa; e o pluviômetro automático, que realiza medições contínuas e transmite dados em tempo real. Esses equipamentos automáticos são constantemente usados por órgãos públicos como a Defesa Civil e o Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE). A Organização Meteorológica Mundial (OMM) estabelece padrões técnicos para a instalação e manutenção desses instrumentos, assegurando a precisão e comparabilidade dos dados.

Segundo Tucci (2012), a medição precisa da precipitação é essencial para compreender o balanço hídrico e os processos de escoamento superficial, sendo um dos principais parâmetros nos estudos de bacias hidrográficas e na previsão de eventos de altos impactos, mas que nos serve como premissa para entender a relação da quantificação de precipitação por esses totais com o escoamento em grandes espaços urbanos.

Figura 22: O cálculo do volume de água pluvial é expresso em milímetros (mm) por metro quadrado (m²), indicando que em uma área cujo seus quatro lados medem individualmente 1 metro, a cada vez que a altura da chuva atinge 1 milímetro, o volume pluvial é quantificado, indicando também que sob tal superfície precipitou-se 1 litro de água pluvial (consultar a imagem abaixo para compreender a equação). Referencial este utilizado na captação em pluviômetros



Fonte: Defesa Civil de Santo André (Acesso ao site em julho de 2025)

Mediante a quantificação da água pluvial por meio destes instrumentos, é possível classificar a intensidade da chuva, permitindo categorizar os eventos pluviométricos em classes como chuva fraca, moderada e forte, de acordo com a medição de milímetros por hora(s). A duração da precipitação é primordial para categorizar a sua veemência, uma vez que o volume de 50 milímetros precipitados em 24 horas obviamente não será tão impactante quanto um volume de 50 milímetros precipitados em apenas 1 hora. Outrossim, a chuva de apenas 1 hora

pode constituir o acumulado diário total em um ponto territorial, da mesma forma como uma chuva longa e menos densa pode se prolongar durante várias horas de um dia, com intervalos ou não. No primeiro caso, entende-se como uma chuva forte ou pancadas de chuva, relacionadas a estações mais quentes como o verão e primavera, embora isso possa variar de acordo com a região do país. Acontece que no verão as altas temperaturas e a inclinação do planeta promovendo maiores taxas de recebimento de radiação solar, propiciam a evapotranspiração e a formação de nuvens carregadas de umidade. No segundo caso, dias chuvosos com um volume mais fraco, ditos como garoa, são mais constantes no outono e no inverno, especialmente no sudeste e sul brasileiros.

Comumente, mas não regra geral, nota-se uma relação inversa entre a intensidade e a duração, onde chuvas mais curtas serão mais intensas e chuvas mais longas apresentarão uma menor intensidade média. Os valores numéricos expressados em milímetros por horas (mm/h) que irão definir as classes de intensidade podem variar entre as diversas fontes de estudos meteorológicos no Brasil, porém orbitam sempre a mesma distribuição, demonstrando pouquíssimas diferenças entre um e outro.

Para esta pesquisa, os dados extraídos provem do site da Prefeitura do município de Santo André no portal governamental do Estado São Paulo da plataforma “Gov.br”, o qual disponibiliza para consulta pública os índices pluviométricos, as estações meteorológicas, boletins mensais do tempo meteorológico, mapas e gráficos, gerenciamento de riscos etc. É possível acessá-los por meio da sessão “monitoramento climático” no cabeçalho do site. No entanto, por contradições no corpo de texto explicativo presente na introdução aos documentos e a métrica utilizada nos PDF’s dos pluviômetros, os valores adotados para este trabalho **não seguem** os valores expressos na classificação da Defesa Civil do município de Santo André, uma vez que os índices pluviométricos obtidos nas planilhas expressam os acumulados diários (24 horas) e não os acumulados por hora.

No quadro 1, a seguir, é possível verificar a classificação com valores de mm/h disponibilizados pela Defesa Civil de Santo André, com uma descrição de cada classe baseada em pesquisas feitas em manuais e artigos meteorológicos.

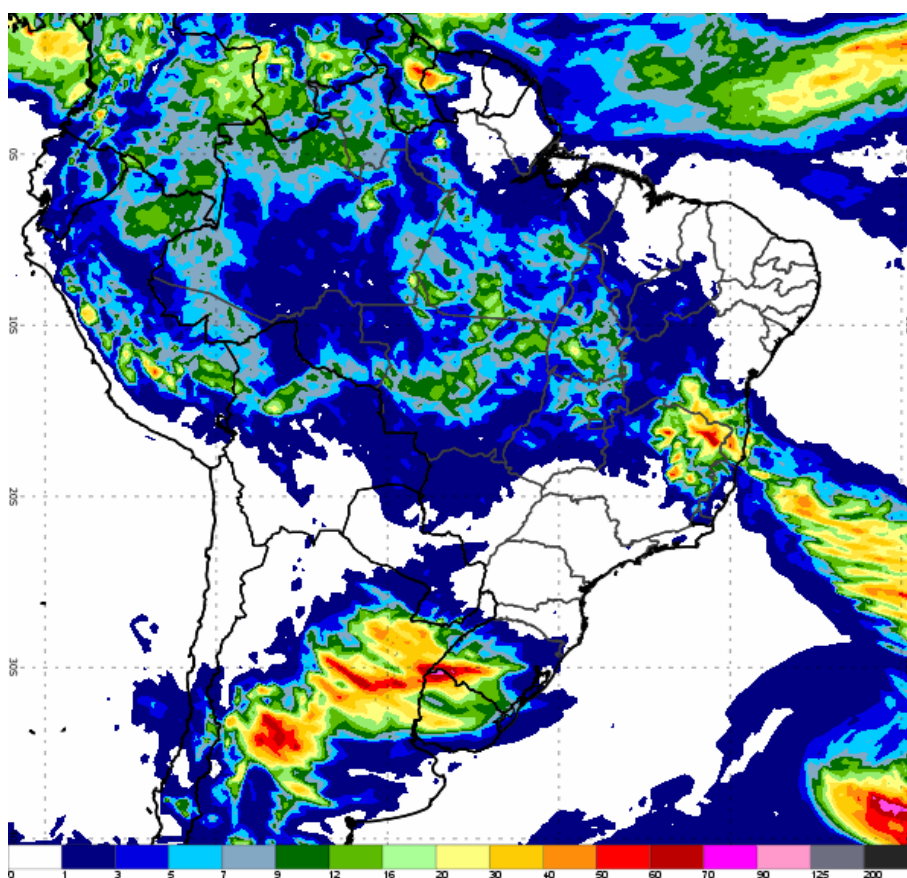
Quadro 1: Classificação de Intensidade das Chuvas mais presentes em literaturas

Classificação da chuva	Precipitação (mm/h)	Descrição
Chuva fraca	< 10 mm/h	Precipitação leve e contínua, geralmente de curta duração ou garoa.
Chuva fraco - moderada	10 – 20 mm/h	Precipitação regular, com gotas bem definidas e intensidade perceptível, podendo causar pequenos acúmulos.
Chuva moderada	20 – 30 mm/h	Precipitação intensa, com potencial de gerar inundações e enxurradas locais.
Chuva moderada - forte	30 – 40 mm/h	Grande volume em curto tempo, capaz de causar inundações e transbordamento de córregos.
Chuva forte	> 40 mm/h	Chuvas excepcionais, geralmente associadas a eventos severos como tempestades.

Revisando literaturas e utilizando mecanismos de buscas, constatou-se a escassez de bibliografia acessível referente a classificações de intensidade que levam em consideração o acumulado total diário, justamente por esse tipo de acumulado dizer muito pouco sobre a distribuição de milímetros ao longo de cada uma das 24 horas e a abrangência dos impactos da precipitação em determinado local. Outrossim, autores que se propuseram a categorizar os volumes diários, o fizeram sob a perspectiva de estudos regionais, o que certificar o caráter geográfico de seus trabalhos, como foi o caso de Souza, Azevedo e Araújo (2012), que utilizaram os dados pluviométricos diários para a situação geográfica de Recife, uma área litorânea com morfologia, fluxo de drenagem e escoamento superficial completamente diferentes de Santo André. Na plataforma virtual do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) utiliza-se em escala cromática de cores, em especial nos mapas interativos do modelo COSMO de previsões numéricas para diversas variáveis climáticas, valores associados que classificam, por exemplo, os acumulados diários de precipitações líquidas. Tal modelo capta dados de centenas de estações meteorológicas pelo país e gera uma previsão numérica do volume a ser recebido pelos próximos dias, a partir das próximas 24 horas. Valores acima de

30mm, 40mm, 50mm e 60mm — representados pelas cores amarelo, laranja, vermelho e marrom, respectivamente — distribuem-se de maneira menos regular ou são de ocorrências mais incomuns se comparados com outros valores acumulados (figura 23). Baseando-se nesses percentuais, os totais pluviométricos analisados neste trabalho serão classificados a partir desta lógica, ainda mais considerando que nas estações do verão a duração das chuvas costumam ser concentradas em poucas horas, as famosas chuvas convectivas ou pancadas. Assim, totais a partir de 30mm até 40mm serão considerados como chuvas fortes moderadas, acima dos 50mm chuvas fortes extremas

Figura 23: Mapa modelo COSMO do INMET (7X7Km)



Fonte: <https://portal.inmet.gov.br/> (acesso em novembro de 2025)

A respeito do montante de materiais e informações disponíveis para diversos tipos de uso presentes do site da PSA, nota-se um recente engajamento das instituições provedoras em criar uma base governamental de dados sólidos e confiáveis cujo objetivo está atrelado principalmente ao acesso à informação, a prevenção de acidentes e ao planejamento urbano da cidade. O grande marco ocorre no primeiro governo de Dilma Rousseff (2011 – 2014), reconhecido pelos investimentos bilionários em inovações tecnológicas e os notáveis

comprometimentos na fomentação de infraestruturas para os ramos científicos em âmbito nacional, muitas das quais foram voltadas a crescente preocupação com desastres naturais advinda principalmente da tragédia que atingiu a região Serrana do Rio de Janeiro em 2011⁵. Em 2013, o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden), numa importante parceria com o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, enviou à Defesa Civil de Santo André 18 pluviômetros automatizados, dando início a uma nova e moderna monitorização climática que perdura por mais de uma década e segue evoluindo. Os pluviômetros instalados em prédios e áreas públicas encontram-se por toda a extensão territorial do município e estão programados para a mediação diária do nível de precipitação em diferentes bairros ordenados em três áreas urbanas tratadas como subdistritos. O acumulado de 24 horas em cada um dos 18 pontos (bairros) encontra-se disposto em planilhas divulgadas mensalmente pelo CEMADEN (figuras 24 e 25), neste documento é possível também consultar a soma do acumulado do mês nos diferentes locais de medição. Além disso, existem vinte e seis estações meteorológicas automáticas em Santo André que medem quatro variáveis de elementos climáticos de suma importância para os trabalhos da Defesa Civil: precipitação, temperatura, umidade relativa do ar e ventos. A quantificação destes elementos pelas estações segue um parâmetro de acesso à informação similar ao do CEMADEN, documentados em planilhas e divulgados mensalmente em arquivos PDF's no site da Prefeitura. No entanto, apesar do número maior de medidores das estações, para compor os totais pluviométricos que guiarão as conclusões à respeito de um padrão de precipitações em Santo André e detalhar os casos intensos que afetam a circulação na linha ferroviária da região, optei pela consulta das medições adquiridas pelos pluviômetros automáticos do CEMADEN, pois as mesmas apresentam um melhor detalhamento dos bairros do entorno das estações Utinga e Prefeito Saladino e que estão inclusos no recorte espacial presentes na metodologia de pesquisa.

⁵ As tragédias ocorridas na Região Serrana do Rio de Janeiro, em janeiro de 2011, configuram-se como um dos maiores desastres socioambientais da história do Brasil, mas também encabeçam a lista de maiores catástrofes climáticas e geotécnicas do país, desencadeadas por uma intensa precipitação — que ultrapassou 300 milímetros em apenas 24 horas — atingiu cidades como Nova Friburgo, Teresópolis, Petrópolis, Bom Jardim e Sumidouro, provocando o colapso de encostas e o transbordamento de rios e córregos. O episódio resultou em mais de 900 mortes e cerca de 35 mil pessoas desabrigadas ou desalojadas (Defesa Civil Nacional, 2012). As causas do desastre estiveram associadas também à combinação de fatores antrópicos, como a ocupação irregular de encostas, a ausência de planejamento urbano e a precariedade das políticas de prevenção e mitigação de riscos. Em resposta à tragédia, o governo federal criou o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN), com o objetivo de aprimorar o monitoramento e a emissão de alertas de eventos extremos, visando reduzir a vulnerabilidade socioambiental por eventos extremos do clima no país. Esse momento trágico evidenciou igualmente a importância da gestão territorial e do planejamento urbano sustentável como instrumentos essenciais para minimizar os impactos de eventos climáticos severos (Valencio et al., 2012; Marcelino et al., 2012)

Figura 24: Modelo de tabela oficial divulgada mensalmente pela Defesa Civil com as quantificações pluviométricas da parceria com o CEMADEN. Dados de janeiro de 2025, onde observa-se a distribuição de datas e os bairros organizados por área urbana (subdistrito) com a média diária na última coluna e o acumulado mensal de cada bairro na última linha.

CENTRO DE RESILIÊNCIA ÀS EMERGÊNCIAS DE DEFESA CIVIL DE SANTO ANDRÉ
 Prefeitura Municipal de Santo André
 Secretaria de Meio Ambiente e Mudanças Climáticas
 Departamento de Proteção e Defesa Civil
CEMADEN - Janeiro - 2025

Área Urbana - 1º Subdistrito											
Equipamentos	Vila Bastos	Vila Príncipe de Gales	Bairro Paraíso	Vila Vitória	Vila Humaitá	Cidade São Jorge	Vila Suíça	Jardim Ipanema	Vila João Ramalho	Parque Gerassi	Média
01/01/2025	4,7 mm	2,6 mm	S.T	ERL	0,8 mm	7,6 mm	2,6 mm	ERL	S.T	ERL	3,7 mm
02/01/2025	0,0 mm	0,0 mm	S.T	ERL	0,0 mm	0,2 mm	0,0 mm	ERL	S.T	ERL	0,0 mm
03/01/2025	28,1 mm	30,6 mm	S.T	ERL	21,3 mm	20,5 mm	12,6 mm	ERL	S.T	ERL	22,4 mm
04/01/2025	0,0 mm	0,0 mm	S.T	ERL	0,8 mm	0,0 mm	0,0 mm	ERL	S.T	ERL	0,2 mm
05/01/2025	0,0 mm	0,0 mm	S.T	ERL	0,8 mm	0,8 mm	1,6 mm	ERL	S.T	ERL	0,6 mm
06/01/2025	0,0 mm	0,0 mm	S.T	0,0 mm	0,0 mm	0,0 mm	0,0 mm	ERL	S.T	ERL	0,0 mm
07/01/2025	19,7 mm	21,7 mm	S.T	4,3 mm	6,5 mm	9,2 mm	2,8 mm	ERL	S.T	ERL	10,7 mm
08/01/2025	5,1 mm	3,8 mm	S.T	8,3 mm	5,1 mm	3,5 mm	4,9 mm	9,9 mm	S.T	ERL	5,6 mm
09/01/2025	4,1 mm	0,0 mm	S.T	0,6 mm	1,2 mm	0,8 mm	0,6 mm	0,4 mm	S.T	ERL	1,1 mm
10/01/2025	2,8 mm	3,0 mm	S.T	4,0 mm	4,3 mm	3,0 mm	4,6 mm	4,5 mm	S.T	ERL	3,7 mm
11/01/2025	0,0 mm	0,0 mm	S.T	0,0 mm	0,0 mm	0,0 mm	0,2 mm	0,0 mm	S.T	ERL	0,0 mm
12/01/2025	0,0 mm	0,0 mm	S.T	0,0 mm	0,0 mm	0,2 mm	0,2 mm	0,0 mm	S.T	ERL	0,1 mm
13/01/2025	0,0 mm	0,0 mm	S.T	0,2 mm	0,2 mm	0,0 mm	0,8 mm	0,6 mm	S.T	ERL	0,3 mm
14/01/2025	0,0 mm	0,0 mm	S.T	0,0 mm	0,0 mm	0,0 mm	0,0 mm	0,0 mm	S.T	ERL	0,0 mm
15/01/2025	0,0 mm	0,0 mm	S.T	0,0 mm	0,0 mm	0,0 mm	0,0 mm	0,0 mm	S.T	ERL	0,0 mm
16/01/2025	7,7 mm	6,0 mm	S.T	6,3 mm	8,5 mm	4,9 mm	4,2 mm	6,2 mm	S.T	ERL	6,3 mm
17/01/2025	21,3 mm	17,6 mm	S.T	19,8 mm	22,2 mm	20,2 mm	19,1 mm	22,8 mm	S.T	ERL	20,4 mm
18/01/2025	0,4 mm	0,0 mm	S.T	0,2 mm	0,6 mm	1,2 mm	0,4 mm	0,4 mm	S.T	ERL	0,5 mm
19/01/2025	0,0 mm	0,0 mm	S.T	2,2 mm	4,2 mm	3,7 mm	8,2 mm	7,6 mm	S.T	ERL	3,7 mm
20/01/2025	0,0 mm	0,0 mm	S.T	0,0 mm	0,0 mm	0,0 mm	0,0 mm	0,0 mm	S.T	ERL	0,0 mm
21/01/2025	0,0 mm	0,0 mm	S.T	0,0 mm	0,0 mm	0,0 mm	0,0 mm	0,0 mm	S.T	0,0 mm	0,0 mm
22/01/2025	1,2 mm	0,0 mm	S.T	0,0 mm	0,6 mm	0,0 mm	0,0 mm	0,2 mm	S.T	0,0 mm	0,3 mm
23/01/2025	0,2 mm	0,6 mm	S.T	0,2 mm	0,2 mm	0,2 mm	0,2 mm	0,2 mm	S.T	ERL	0,3 mm
24/01/2025	2,0 mm	1,8 mm	S.T	S.T	1,0 mm	4,3 mm	1,8 mm	1,0 mm	S.T	ERL	2,0 mm
25/01/2025	4,5 mm	1,4 mm	S.T	S.T	8,7 mm	3,3 mm	12,0 mm	11,6 mm	S.T	ERL	7,3 mm
26/01/2025	16,4 mm	18,3 mm	S.T	S.T	24,2 mm	18,7 mm	23,9 mm	25,8 mm	S.T	ERL	21,2 mm
27/01/2025	0,6 mm	0,6 mm	S.T	S.T	0,0 mm	0,0 mm	0,2 mm	0,2 mm	S.T	ERL	0,3 mm
28/01/2025	6,1 mm	4,3 mm	S.T	3,6 mm	4,1 mm	3,9 mm	7,4 mm	3,6 mm	S.T	ERL	4,0 mm
29/01/2025	23,7 mm	31,6 mm	S.T	1,0 mm	20,5 mm	17,0 mm	26,5 mm	23,7 mm	S.T	ERL	20,0 mm
30/01/2025	17,6 mm	15,0 mm	S.T	5,5 mm	21,9 mm	14,5 mm	34,8 mm	33,9 mm	S.T	ERL	20,4 mm
31/01/2025	15,0 mm	7,8 mm	S.T	0,6 mm	1,1 mm	3,8 mm	16,0 mm	16,2 mm	S.T	ERL	10,0 mm
Acumulado	181,2 mm	144,7 mm	0,0 mm	54,8 mm	146,4 mm	143,9 mm	176,6 mm	149,0 mm	0,0 mm	0,0 mm	165,4 mm

N.D. - Informação não Disponível S.T - Sem Transmissão ERL - Erro de Leitura

Fonte: <https://portais.santoandre.sp.gov.br/defesacivil/indices-pluviometricos/> (Acesso em julho/2025)

Figura 25: Modelo de tabela com a presença de erros na quantificação diária da precipitação, ocasionada por falhas na captação. Sendo as mais comuns “ND = Informações indisponíveis”, “ST = Sem transmissão” e “ERL = Erro de leitura”

CENTRO DE RESILIÊNCIA ÀS EMERGÊNCIAS DE DEFESA CIVIL DE SANTO ANDRÉ
 Prefeitura Municipal de Santo André
 Secretaria de Meio Ambiente e Mudanças Climáticas
 Departamento de Proteção e Defesa Civil
CEMADEN - Janeiro - 2025

Área de Proteção e Restauração dos Mananciais							
Equipamentos	Parque Miami	Recreio da Borda do Campo	Parqueopacoba	Parque Andressense	Jardim Kiviera	João Dias (Parqueopacoba)	Média
01/01/2025	0,4 mm	0,8 mm	S.T	0,0 mm	S.T	ERL	0,4 mm
02/01/2025	0,2 mm	0,2 mm	S.T	0,6 mm	S.T	ERL	0,3 mm
03/01/2025	19,2 mm	29,6 mm	S.T	11,6 mm	S.T	ERL	20,0 mm
04/01/2025	0,0 mm	0,0 mm	S.T	0,2 mm	S.T	ERL	0,1 mm
05/01/2025	0,6 mm	0,6 mm	S.T	0,8 mm	S.T	ERL	0,7 mm
06/01/2025	0,0 mm	0,0 mm	S.T	0,0 mm	S.T	ERL	0,0 mm
07/01/2025	2,9 mm	1,8 mm	S.T	2,4 mm	S.T	ERL	2,1 mm
08/01/2025	3,6 mm	1,2 mm	S.T	0,0 mm	S.T	ERL	1,6 mm
09/01/2025	2,9 mm	2,0 mm	S.T	3,2 mm	S.T	ERL	2,4 mm
10/01/2025	2,2 mm	6,1 mm	S.T	6,3 mm	1,8 mm	ERL	4,1 mm
11/01/2025	0,0 mm	0,0 mm	S.T	0,0 mm	0,0 mm	ERL	0,0 mm
12/01/2025	0,0 mm	0,6 mm	S.T	0,0 mm	0,0 mm	ERL	0,2 mm
13/01/2025	4,0 mm	1,8 mm	S.T	1,8 mm	1,0 mm	ERL	2,1 mm
14/01/2025	0,0 mm	0,0 mm	S.T	0,0 mm	0,0 mm	ERL	0,0 mm
15/01/2025	0,0 mm	0,0 mm	S.T	0,0 mm	0,0 mm	ERL	0,0 mm
16/01/2025	2,2 mm	3,0 mm	S.T	2,0 mm	S.T	ERL	2,4 mm
17/01/2025	25,9 mm	24,9 mm	S.T	18,9 mm	S.T	0,2 mm	17,5 mm
18/01/2025	0,2 mm	0,2 mm	S.T	0,2 mm	S.T	0,0 mm	0,2 mm
19/01/2025	1,4 mm	8,9 mm	S.T	1,2 mm	S.T	4,2 mm	3,9 mm
20/01/2025	0,0 mm	0,0 mm	S.T	0,0 mm	S.T	0,0 mm	0,0 mm
21/01/2025	0,0 mm	0,0 mm	S.T	1,0 mm	S.T	1,0 mm	0,5 mm
22/01/2025	0,0 mm	0,0 mm	S.T	0,6 mm	S.T	0,0 mm	0,1 mm
23/01/2025	0,2 mm	0,0 mm	S.T	0,2 mm	S.T	12,0 mm	3,1 mm
24/01/2025	1,0 mm	1,2 mm	S.T	0,0 mm	S.T	0,0 mm	0,5 mm
25/01/2025	0,0 mm	0,6 mm	S.T	0,0 mm	S.T	0,0 mm	0,2 mm
26/01/2025	38,8 mm	37,0 mm	S.T	41,2 mm	S.T	17,3 mm	32,2 mm
27/01/2025	S.T	0,6 mm	S.T	0,4 mm	S.T	0,4 mm	0,5 mm
28/01/2025	S.T	1,8 mm	S.T	0,0 mm	S.T	0,8 mm	0,9 mm
29/01/2025	S.T	32,0 mm	S.T	45,5 mm	S.T	9,0 mm	28,8 mm
30/01/2025	22,3 mm	54,5 mm	S.T	33,2 mm	S.T	19,2 mm	32,3 mm
31/01/2025	7,1 mm	9,1 mm	S.T	10,0 mm	S.T	7,0 mm	8,3 mm
Acumulado	134,0 mm	217,1 mm	0,0 mm	181,3 mm	2,8 mm	65,6 mm	165,2 mm

N.D. - Informação não Disponível S.T - Sem Transmissão ERL - Erro de Leitura

Fonte: <https://portais.santoandre.sp.gov.br/defesacivil/indices-pluviometricos/> (Acesso em julho/2025)

Quadro 2: A lista dos bairros contemplados pelas medições dos pluviômetros⁶

AU1	AU2	AU3
Vila Bastos	Santa Teresinha	Parque Miami
Príncipe de Gales	Parque das Nações	Recreio da Borda do Campo
Bairro Paraíso	Vila Curuçã	Paranapiacaba
Vila Vitória	Jardim Rina	Parque Andreense
Vila Humaitá	Parque Novo Oratório	Jardim Rivieira
Cidade São Jorge		João Dias
Vila Suíça		
Jardim Ipanema		
Vila João Ramalho		
Parque Gerassi		

AU*: Área Urbana

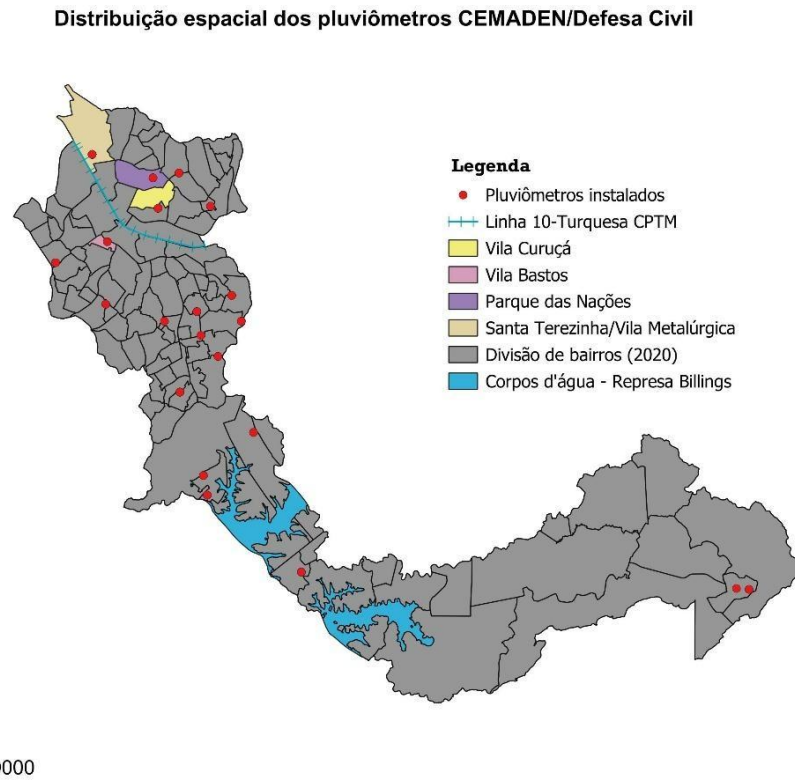
Fonte: Elaboração Própria

Ao que tange à divisão dos bairros por área urbana, como indicada o quadro 2 acima, cada uma das três áreas leva em consideração as localizações dos bairros, isto é, a proximidade em que se encontram um do outro. Não há esta especificação em forma de informação dentro dos arquivos do site consultado na obtenção dos totais, por isso verificou-se por conta própria bairro a bairro nos sistemas de mapas do google e constatou-se a existência de tal critério para a subdivisão. Assim a AU1 reúne os bairros centrais, a AU2 os bairros mais próximos dos setores industriais a nordeste do município e A3 os bairros mais a sul e próximos as áreas verdes. Constata-se outrossim, a existência de 21 bairros nos documentos CEMADEN (figura 16) e a fonte oficial de divulgação destes dados relata o recibo de 18 pluviômetros em 2013, sem esclarecer a possível aquisição de mais equipamentos em anos seguintes. Entretanto, esta informação é relevante somente para fins formais, a rigorosidade metodológica não é afetada pelo número exato de equipamentos adquiridos uma vez que há um recorte espacial integrando a metodologia de pesquisa e apenas alguns bairros entram na coleta de dados.

De tal forma, estipulado o recorte espacial delimitado pelos entornos das estações Utinga e Prefeito Saladino da CPTM como processo prático do método de observação dos totais pluviométricos que afetam a circulação da linha ferroviária, assumindo que ali ocorre o lócus das enchentes, a AU2 adequa-se como amostragem.

⁶ Ao longo dos dez anos de registros do acumulado diário de chuvas, houve alterações na listagem de bairros presentes. Não há uma fonte segura ou qualquer informação sobre as razões que levaram a Defesa Civil a tais alterações, todavia, alguns dos bairros chaves para a delimitação da área de estudo permaneceram presentes nos documentos divulgados no acesso à informação, com exceção de Jardim Utinga que foi excluído a partir de 2019

Figura 26: Dispersão espacial dos pluviômetros com foco nos bairros da área urbana 2



Fonte: Elaboração própria

9 TOTAIS PLUVIOMÉTRICOS DA ÁREA DE ESTUDO (2016 – 2024)

A busca pelos totais pluviométricos do município de Santo André constituiu uma etapa fundamental para a compreensão da variabilidade e os padrões do regime de chuvas na escala local. Para esta pesquisa, foram examinados os registros pluviométricos diários e mensais obtidos desde janeiro de 2016 até 2024, selecionando os bairros que mais registraram chuvas ao longo do ano, de acordo com o proposto na metodologia. Esses bairros formam uma área urbana cujo valores de pluviosidade servem como referência aos bairros próximos que não foram atendidos pela instalação de pluviômetros, como já citado anteriormente. A área urbana 2 demonstrou conformidade com a problemática dos impactos sob a linha 10 turquesa, pois além de configurarem os arredores da via férrea, também figuram comumente entre os maiores volumes de pluviosidade registrados pelos pluviômetros.

Essa abordagem permitiu identificar tendências sazonais, anomalias e possíveis relações entre os eventos de maior intensidade e os impactos urbanos observados no município, especialmente no que se refere à ocorrência de inundações urbanas e à influência sobre a infraestrutura nos arredores da linha ferroviária. A partir dessas análises, buscou-se não apenas caracterizar o comportamento pluviométrico recente de Santo André, mas também reforçar urgências sobre planejamento urbano e estratégias de mitigação de riscos associados a eventos intensos de chuva, em especial àquela área por onde se desloca milhares de pessoas diariamente e é o transporte público mais acessível e barateado à população dos vários municípios do grande ABC.

9.1 Método de análise dos documentos de pluviosidade acumulada

O procedimento envolveu a organização dos registros mensais e anuais, a verificação de consistência dos dados e a identificação de eventuais lacunas ou discontinuidades, etapa essencial para assegurar a confiabilidade das análises posteriores. Uma vez certificado a consistência e a segurança para que fosse possível formular um padrão de precipitação, a análise dos documentos fundamentou-se na sistematização e comparação das séries históricas fornecidas pelos pluviômetros distribuídos nos bairros selecionados, no período já mencionado, ano por ano. No entanto, a partir de 2019 observou-se alterações significativas na rede de monitoramento: um dos bairros teve suas captações pluviométricas permanentemente interrompidas, sem que houvesse qualquer justificativa oficial registrada nos documentos

consultados; além disso, alguns pluviômetros ficaram meses sem captar o volume de chuvas, indicando possíveis falhas e/ou manutenções. Essa descontinuidade implicou uma redução na densidade espacial das medições e, conseqüentemente, exigiu cautela na interpretação dos padrões pluviométricos após essa data.

Inicialmente, o conjunto de dados era composto por medições provenientes de cinco bairros (Santa Terezinha, Parque das Nações, Curuçá, Vila Bastos e Jardim Utinga), o que permitia uma leitura espacial mais abrangente da quantidade de precipitação que os arredores da linha férrea recebe, de maneira que o bairro eliminado das séries (Jardim Utinga) localiza-se na divisa com o município de São Paulo, fornecendo ainda arcabouço para a compreensão da extensão dos fenômenos meteorológicos a qual a área de estudo está sujeita.

Apesar das falhas e das descontinuidades, a comparativa entre os períodos com diferentes coberturas de medição, destacando o impacto da retirada de um dos pontos de coleta na qualidade da representação espacial da precipitação, permitiu compreender não apenas a variação temporal dos totais pluviométricos, mas também as limitações derivadas das mudanças na infraestrutura de monitoramento e os desafios enfrentados pela Defesa Civil do município, aspecto característico de uma iniciativa recém tomada.

Para a descrição da variação espacial e temporal da precipitação na área urbana selecionada, procedeu-se à organização sistemática dos dados mensais de precipitação pluvial acumulada para cada um dos bairros monitorados. Primeiramente, todos os registros referentes ao período de 2016 a 2024 foram compilados e distribuídos em planilhas para que fosse possível transformar as quantificações em gráficos anuais. Com os dados estruturados, foram produzidos gráficos de barras para cada ano da série histórica, apresentando o acumulado mensal de precipitação, de janeiro a dezembro, discriminado por bairro, o que possibilita identificar contrastes sazonais e diferenças locais na distribuição da chuva dentro da área urbana estudada. Esse procedimento permite observar, de forma visualmente direta, como cada bairro responde aos eventos pluviométricos em diferentes períodos do ano. A partir do começo da atual década, a defesa civil passou a publicar no site os boletins climatológicos mensais produzidos pela Universidade Federal do ABC paulista (UFABC), o que permitiu que a produção dos gráficos pudesse ter um caráter mais descritivo das condições gerais e das especificidades de cada mês, mesmo que somente em alguns dos anos da série histórica da normal provisória.

A visualização em gráfico de barras fornece subsídios para compreender as particularidades pluviométricas de cada bairro quanto o volume recebido pelo conjunto da área de estudo em cada época do ano. Essa abordagem gráfica foi essencial para a interpretação

robusta dos padrões de precipitação e para a identificação de variações significativas no regime pluviométrico ao longo dos nove anos avaliados. Porém, a leitura mais aprofundada se dá pela noção de que os gráficos explanam a acumulação total mensal e não indicam a distribuição diária, a qual seria de suma importância para entender como a pluviosidade intensa afeta a circulação dos trens metropolitanos associada ao cotidiano de trabalho da população. Para driblar essa questão, sem deixar o material visual extenso, cada um dos gráficos referentes aos bairros individualmente virá acompanhado não somente de descrição analisando o regime mês a mês, mas também colocando em evidência os dias que tiveram maior acumulado e se foram dias úteis, feriado ou final de semana. Com a ajuda dos boletins a partir de 2020, a leitura dos gráficos virá acompanhada de informações detalhadas que levam a reflexões sobre o clima local e a sua interação com sistemas atmosféricos em maior escala. Esse acompanhamento de descrição diária servirá igualmente para testar as hipóteses propostas.

A leitura dos gráficos das séries anuais deve ser realizada tendo-se plena consciência de que os registros dos pluviômetros, como qualquer dispositivo automatizado, estão sujeitos a falhas. Em alguns anos, essas limitações comprometeram significativamente os dados, como ocorreu em 2019, quando a escassez de registros impossibilitou a elaboração do gráfico correspondente. O ano de 2020 também apresentou inconsistências, especialmente no bairro Parque das Nações, onde houve falhas consecutivas ao longo de vários meses. Ainda assim, a análise do comportamento das chuvas na área estudada permanece viável quando se consideram os dados dos demais bairros. Além disso, discrepâncias de volume entre barras referentes a um mesmo mês sugerem que determinados pluviômetros podem ter permanecido inoperantes ou parcialmente obstruídos por alguns dias. Compreender tais limitações é fundamental para a interpretação adequada dos gráficos; por isso, cada um deles será acompanhado de uma observação anual resumida, na qual serão destacados os períodos e localidades afetados por falhas nos registros.

9.1.1 Observação anual de 2016

O gráfico da figura 27 mostra que o ano de 2016 apresentou um comportamento pluviométrico marcado por irregularidade, ainda que preservando uma característica sazonal. Os maiores volumes de precipitação concentraram-se na estação do verão, especialmente nos meses de janeiro, fevereiro e março, quando todos os bairros analisados registraram acumulados elevados. Na transição para o verão seguinte, os meses de novembro e dezembro também

apresentaram altos totais pluviométricos de forma relativamente homogênea entre os bairros, demonstrando precipitações intensificadas no final da primavera daquele ano. Por outro lado, os volumes observados em maio e junho sugerem a atuação de frentes frias ou outros sistemas atmosféricos de latitudes médias, responsáveis por episódios de chuva significativa mesmo fora do período tipicamente mais úmido.

Em janeiro, todos os bairros registraram chuva em quatorze dos trinta e um dias do mês, porém apenas dois eventos se destacaram como chuvas intensas, caracterizando um mês com frequência de chuvas, mas com poucos episódios intensos. No sábado, 9 de janeiro, os acumulados diários foram espacialmente variados: Santa Terezinha (54 mm), Parque das Nações (63 mm), Curuçá (71 mm), Vila Bastos (72 mm) e Jardim Utinga (23 mm). Já na quarta-feira, 27 de janeiro, observaram-se novamente volumes elevados, com Santa Terezinha (53 mm), Parque das Nações (42 mm), Curuçá (46,3 mm), Vila Bastos (34 mm) e Jardim Utinga (64 mm), evidenciando a variabilidade espacial das chuvas convectivas típicas desse período. Esses episódios reforçam a dinâmica de precipitações intensas e localizadas que caracterizam o início do verão, influenciando diretamente as condições de drenagem urbana e o risco de inundações. Os outros dias daquele mês apresentaram totais de chuva fraca a moderada, num intervalo de 3,8mm – 27,1mm diários.

O mês de fevereiro de 2016 representou o pico anual de precipitação em todos os bairros analisados, caracterizando-se como o período de maior contribuição para o regime pluviométrico daquele ano. Dos vinte e nove dias, dezesseis deles registraram precipitações pluviais, porém com apenas um episódio de chuvas intensas na quarta-feira dia 27, com totais de 63mm – 75mm. O Jardim Utinga registrou o maior acumulado mensal, atingindo 329 mm, seguido pelo Parque das Nações, com 290 mm, e pelo Curuçá que totalizou 288 mm no mês. A Vila Bastos também apresentou valores expressivos, ultrapassando a marca dos 200 mm, o que reforça a ocorrência de episódios significativos de chuvas intensas associados ao auge da estação chuvosa. Entretanto, a partir de fevereiro e estendendo-se até novembro, o pluviômetro do bairro Santa Terezinha apresentou falhas contínuas, impossibilitando o registro e a análise dos acumulados mensais nesse intervalo, empobrecendo o compilado de dados, mas não dificultando a análise da área urbana, uma vez que por suposição e comparação com documentos de outros anos, pode-se concluir que por proximidade o bairro de Santa Terezinha registrou totais que atingem os 200mm mensais.

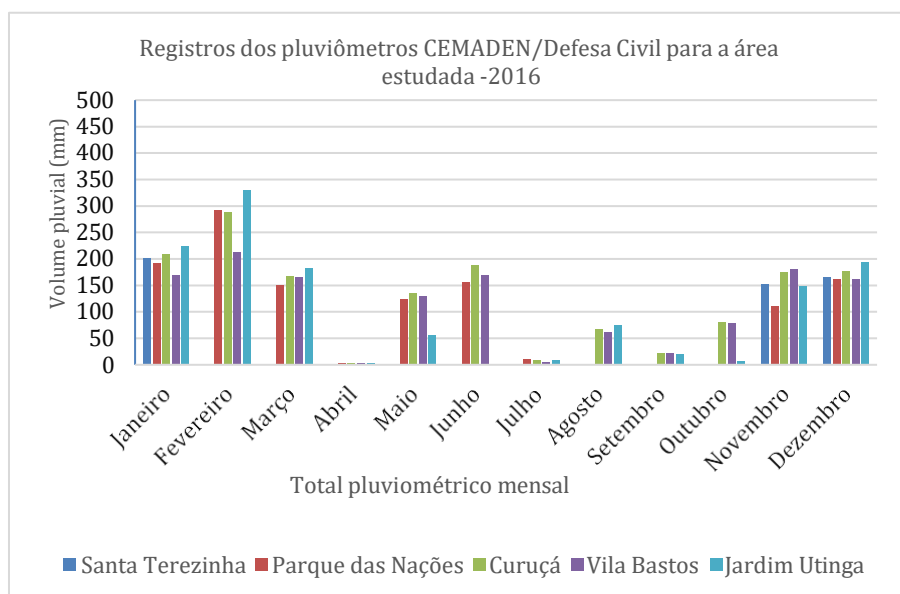
Em março, os valores acumulados não ultrapassaram os 200mm, mas se aproximaram. Dos trinta e um dias, nove deles registraram chuvas, com apenas um episódio de maior

intensidade na sexta-feira dia 11. Nesta data, o Jardim Utinga obteve 77mm acumulados, o Parque das Nações 57mm, Curuçá 56mm e a Vila Bastos 52mm.

Abril foi mês extremamente seco, com acumulados mensais de 2mm para os quatro bairros que registraram chuvas nos pluviômetros.

Em maio e em junho apesar os acumulados mensais similares de março, as chuvas foram mais distribuídas, principalmente em maio, com registros de precipitações fracas ou moderadas em mais da metade do mês e nenhum caso de episódio intenso. Em junho as precipitações ocorreram nos sete primeiros dias, numa classificação de fraca ou moderada.

Figura 27: Distribuição pluviométrica de 2016



Fonte: Elaboração própria

9.1.2 Observação anual de 2017

No gráfico da figura 28, observa-se que o comportamento pluviométrico de 2017 apresenta uma distribuição anual aparentemente mais equilibrada, embora alguns episódios destoem dessa regularidade. O evento de alto impacto mais significativo ocorreu fora da estação chuvosa, em 7 de abril, quando todos os bairros registraram acumulados excepcionais — Santa Terezinha (94 mm), Parque das Nações (106 mm), Curuçá (102 mm), Vila Bastos (80 mm) e Jardim

Utinga (107 mm) — representando uma anomalia importante na série do ano. No início do período analisado, janeiro apresentou acumulados superiores aos de 2016, com destaque para Santa Terezinha, bairro cuja proximidade com a linha férrea (Estação Utinga) reforça o interesse em monitorar impactos hidrológicos locais. Durante esse mês, observou-se predominância de chuvas moderadas a moderadas fortes, sem ocorrência de extremos. Já fevereiro registrou poucos dias com precipitação, concentrando-se em eventos de baixa a média intensidade. Apenas um episódio de alto impacto ocorreu, em 6 de fevereiro de 2017, quando todos os bairros acumularam mais de 50 mm.

O mês de março manteve a tendência de precipitações moderadas e poucos registros diários, com apenas Santa Terezinha apresentando um evento de alto impacto, também no dia 6, totalizando 54 mm.

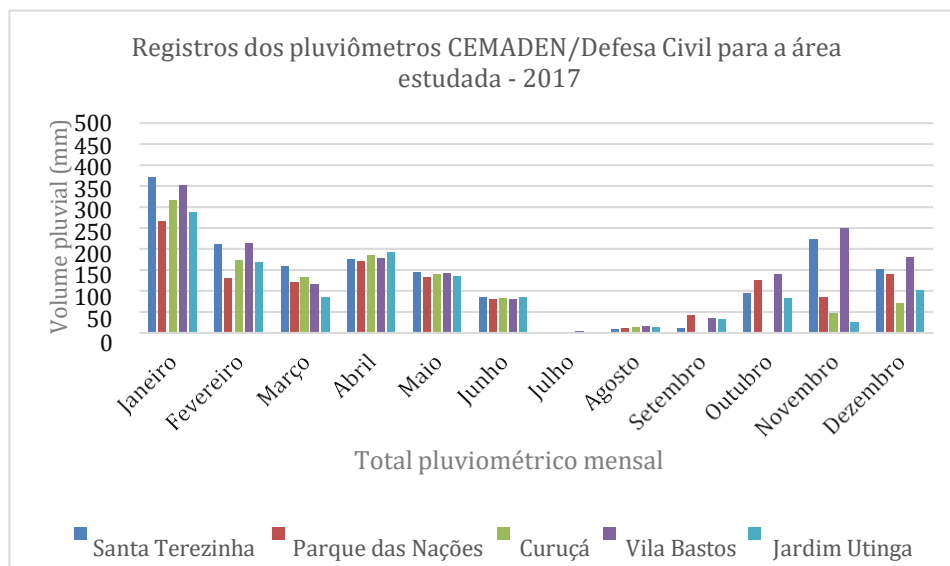
Em abril de 2017, apesar de apenas três dias com chuva, um único evento de alta pluviosidade com acumulado diário próximo ou acima de 100 mm, garantiu elevado volume mensal — Santa Terezinha 94,5 mm, Jardim Utinga 106,5mm, Parque das Nações 104 mm, Curuçá 107,4mm e Vila Bastos 80,6mm. Esse comportamento evidencia como, fora do verão, a concentração de grande parte do acumulado em um único dia pode transmitir uma falsa impressão de mês chuvoso, quando na realidade a frequência de ocorrência é baixa.

Os meses de maio e junho apresentaram acumulados expressivos devido à ocorrência de chuvas moderadas e moderadas fortes, especialmente em 19 de maio, quando os bairros se aproximaram dos 40 mm. Em junho se manteve a dinâmica, embora sem registros de chuvas fortes.

Em seguida, julho, agosto e setembro configuraram o período seco de 2017, com baixos totais típicos do inverno.

No trimestre final do ano, outubro, novembro e dezembro retomaram o padrão de chuvas moderadas a moderadas fortes. Um episódio potencialmente intenso foi registrado em 26 de outubro, quando os acumulados diários dos bairros se aproximaram dos 50 mm. Esse trimestre, entretanto, foi marcado por falhas nos pluviômetros, afetando todos os bairros exceto Vila Bastos, reduzindo a confiabilidade e o total dos acumulados mensais representados no gráfico.

Figura 28: Distribuição pluviométrica de 2017



Fonte: Elaboração própria

9.1.3 Observação anual de 2018

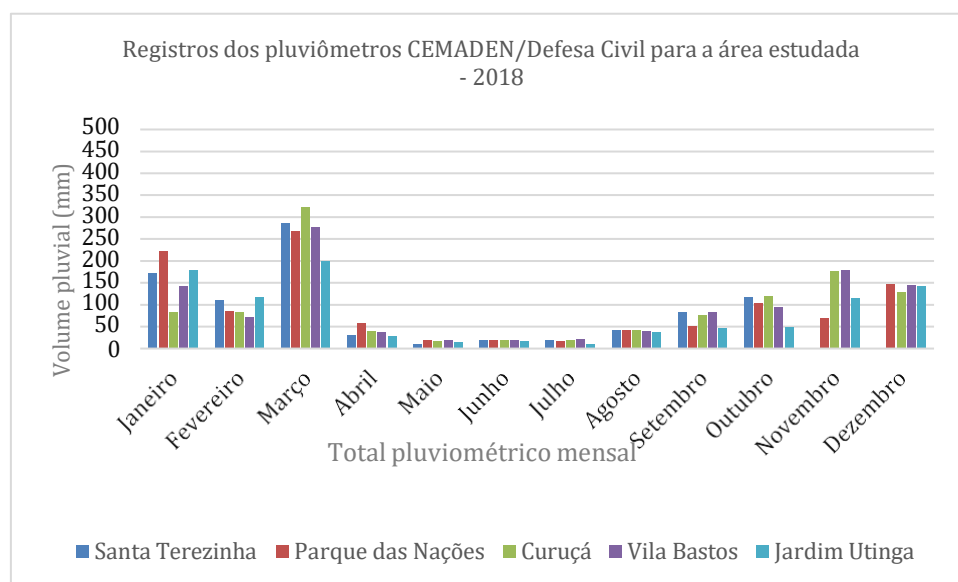
O comportamento pluviométrico registrado ao longo de 2018, conforme aparenta o gráfico 4 da figura 29, evidencia uma redução generalizada dos volumes acumulados em comparação ao ano anterior, indicando um período relativamente mais seco no conjunto da série. A distribuição das chuvas manteve o padrão sazonal característico do clima regional, com maior concentração de precipitação durante os meses de verão. Janeiro, fevereiro e março de 2018, assim como novembro e dezembro de 2018, apresentaram volumes mais expressivos e bem distribuídos ao longo dos dias, reforçando a influência dos sistemas convectivos e das instabilidades típicas dessa estação.

No período compreendido entre abril e setembro de 2018 observa-se uma atividade pluviométrica reduzida, com predomínio de tempo seco e ocorrência esporádica de precipitações fracas. Cada um desses meses registrou apenas um ou dois dias com chuva pluvial, o que evidencia a atuação mais frequente de massas de ar estáveis, como a massa polar atlântica, e condições atmosféricas desfavoráveis ao desenvolvimento de eventos significativos.

O mês de outubro de 2018 marca a transição para a estação úmida, apresentando aumento nos registros de chuvas moderadas a moderadas fortes, o que sinaliza o retorno gradual das instabilidades atmosféricas. Apesar disso, o ano como um todo foi caracterizado

por poucos episódios de precipitação intensa. Os eventos mais relevantes ocorreram em 27 de fevereiro (segunda-feira) e em 23 de novembro (sexta-feira), quando pelo menos três dos cinco bairros analisados registraram acumulados diários iguais ou superiores a 50 mm, configurando episódios de maior severidade dentro de um ano predominantemente seco.

Figura 29: Distribuição pluviométrica de 2018



Fonte: elaboração própria

9.1.4 Observação anual de 2019

O ano de 2019 conta com dados escassos e déficit de registros contínuos, os pluviômetros dos bairros integrantes da área estudada sofrem falhas que começam em janeiro para alguns deles e se prolongam até o final do ano. O ano é marcado pela exclusão definitiva do Jardim Utinga das medições, sem qualquer explicação institucional sobre o ocorrido. A partir de fevereiro, apenas Parque das Nações e Vila Bastos seguem com registros, Santa Terezinha não aparece em nenhum registro durante todo o ano devido às falhas e entupimentos dos aparelhos de medição, como informam as planilhas.

Diante das inúmeras adversidades, optou-se pela exclusão de um gráfico anual, uma vez que diante da falta de dados concretos.

9.1.5 Observação anual de 2020

Seguindo para o gráfico 4 da figura 30, representando 2020, o ano caracteriza-se predominantemente como seco, apresentando uma sazonalidade de chuvas mais acentuada no trimestre de verão. Contudo, a interpretação dos volumes anuais exige cautela, devido às falhas de captação observadas em um mês crucial para o cálculo da pluviosidade acumulada: janeiro. Neste mês, três dos quatro bairros analisados exibiram falhas consecutivas ao longo de praticamente todos os dias, comprometendo a consistência da série. A Vila Curuçá foi a única localidade que manteve registros até aproximadamente metade do mês, embora também tenha apresentado falhas posteriores.

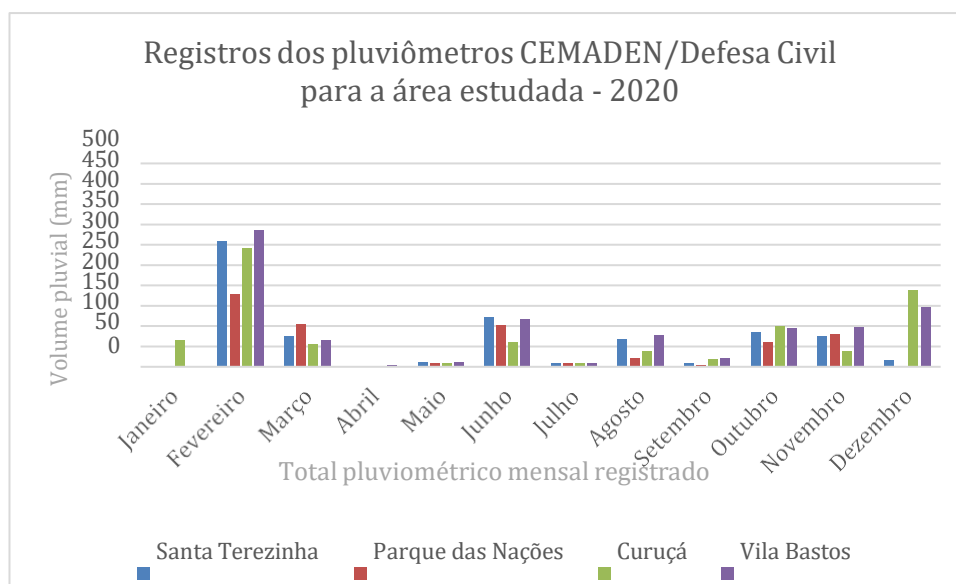
Em contraste, fevereiro registrou acumulados excepcionais, superando, em todos os bairros, os valores observados nas demais séries anuais. Santa Terezinha e Vila Bastos ultrapassaram os 300 mm mensais, enquanto Curuçá atingiu mais de 250 mm e o Parque das Nações superou 150 mm, mesmo com ocorrência de falhas pontuais nos registros diários.

Entre abril e setembro, a série evidencia um número extremamente reduzido de dias com precipitação, todos associados a acumulados diários muito baixos, confirmando o predomínio da condição seca nesses meses.

Nos meses de outubro, novembro e dezembro, observa-se um incremento nos totais pluviométricos, porém com eventos classificados entre chuva moderada e moderada forte, sem volumes expressivos suficientes para gerar alto potencial de alagamentos.

Em síntese, 2020 apresenta uma dinâmica marcada por forte sazonalidade, falhas significativas de monitoramento em janeiro e um pico expressivo de precipitação em fevereiro, seguido por um longo período seco e uma retomada moderada das chuvas no trimestre final.

Figura 30: Distribuição pluviométrica de 2020



Fonte: Elaboração própria

9.1.6 Observação anual de 2021

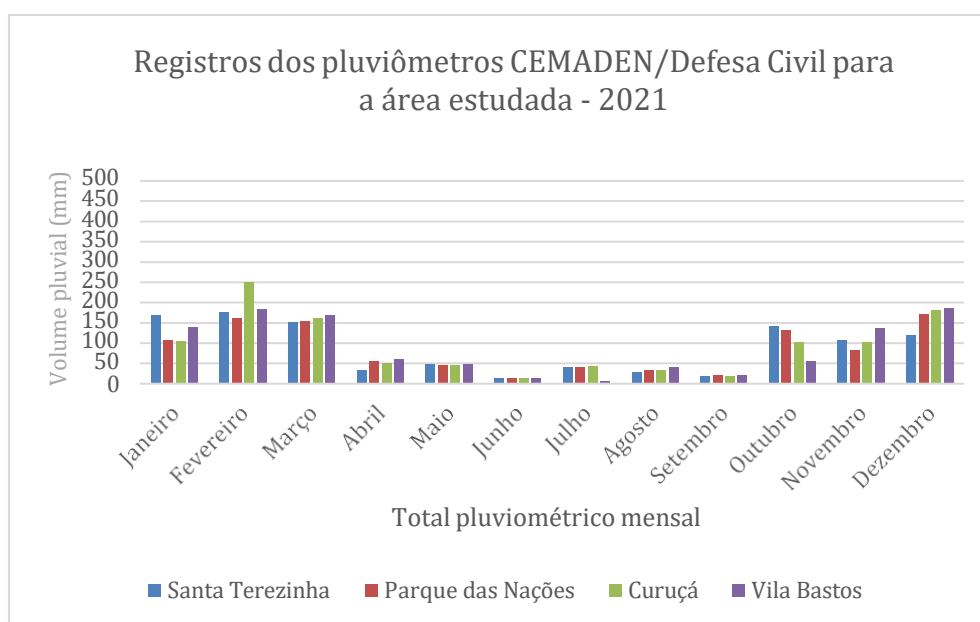
O gráfico da figura 31 mostra que o ano de 2021 foi marcado por picos sazonais de maiores volumares, embora sem registros de episódios intensos, com destaque para os meses de verão e primavera, que concentram os maiores volumes mensais de precipitação.

Nos meses de janeiro, fevereiro e março de 2021, observa-se uma alta distribuição de chuvas ao longo dos dias. Os acumulados diários permaneceram abaixo de 40 mm, indicando um padrão de precipitações bem distribuídas. Essa mesma dinâmica se repete em outubro, novembro e dezembro, quando a continuidade das chuvas moderadas assegura volumes mensais elevados. De acordo com a tabela presente nos documentos CEMADEN/Defesa Civil, os meses mais chuvosos do ano são fevereiro e dezembro, reforçando o padrão de sazonalidade típico da região, Castro e Tundisi (2010). Os boletins mensais da UFABC (2021) apontam que durante o pico sazonal (fevereiro e março) as precipitações se originaram por influência da ZCAS e de frentes frias, principalmente nos primeiros 10 dias de fevereiro e na segunda quinzena de março.

Considerando as características da estação do verão, é possível inferir que parte dessas chuvas pode ter ocorrido em intervalos curtos de tempo, em poucas horas ou minutos, como é típico de eventos convectivos dessa época do ano. Ainda assim, não houve episódios intensos, apenas chuvas fortes e bem distribuídas.

Importante destacar que, apesar desse comportamento sazonal, 2021 não pode ser classificado como um ano seco. Entre abril e setembro, período geralmente associado à estiagem, foram registradas precipitações fracas e moderadas com frequência semanal, conforme evidenciam os documentos da Defesa Civil. Dessa forma, o gráfico reflete um ano hidrológicamente regular, com predominância do regime chuvoso típico, mas sem ausência absoluta de chuva no período do outono e inverno.

Gráfico 31: Distribuição pluviométrica de 2021.



Fonte: Elaboração própria

9.1.7 Observação anual de 2022

O gráfico da figura 32 evidencia que o ano de 2022 foi marcado por picos sazonais de grandes volumes acumulados nos meses de verão, especialmente em janeiro e março. O comportamento pluviométrico reforça a atuação típica dos sistemas atmosféricos regionais no período quente do ano, com precipitações concentradas e episódios convectivos.

Janeiro registra totais mais elevados em comparação ao ano anterior, com evidências de chuvas fortíssimas, nas quais os quatro bairros apresentaram acumulados próximos de 50 mm em 16 de janeiro e 30 de janeiro, ambas as datas sendo um dia de domingo. Anteriormente ao dia 16 de janeiro, os dias 11, 12, 13 e 14 de janeiro registraram totais diários variando entre 15mm e 30mm. Da mesma maneira, os dias 28 e 29 registraram totais acima de 25mm. Essa condição é compatível com a dinâmica atmosférica do verão regional, caracterizada por pancadas de chuva intensas em poucos minutos ou horas. Além disso, janeiro

demonstra distribuição irregular da precipitação, com aproximadamente metade do mês composto por dias secos, intercalados com dias de chuvas moderadas a fortes.

No dia 3 de janeiro (segunda-feira), os acumulados diários evidenciam forte instabilidade atmosférica, com Santa Terezinha registrando 60,1 mm, Parque das Nações 57,8 mm, Curuçá 51,9 mm e Vila Bastos 57,3 mm. Outros episódios significativos ocorreram na sexta-feira, 14 de janeiro, com Santa Terezinha registrando 32 mm, enquanto os demais bairros ultrapassaram os 45 mm. No sábado, 15, há praticamente ausência de chuva (menos de 0,5 mm em todos os bairros), mas no domingo, 16, os totais voltam a subir e ultrapassam os 40 mm, indicando claramente um ciclo convectivo típico do verão: pancadas fortes na sexta, tempo aberto e aquecimento no sábado, e nova instabilidade no domingo. Já no dia 30 de janeiro, há evidência de possíveis temporais, com todos os bairros ultrapassando 40 mm, e destaque para Vila Bastos, que atinge 64 mm.

O mês de fevereiro de 2022 representa uma anomalia climatológica, configurando-se como o mês menos chuvoso de toda a série analisada até então, com apenas quatro dias de precipitação e acumulados mensais próximos de 50 mm para os quatro bairros. A exceção ocorre na segunda-feira, 7 de fevereiro, quando há precipitação superior a 20 mm em todos os pluviômetros.

Em março de 2022, os acumulados mensais voltaram a crescer e a precipitação foi bem distribuída, com ocorrência de chuvas fracas, moderadas e apenas um episódio de chuva forte com potencial de alagamento, registrado no sábado, 12 de março, quando os acumulados ultrapassam 60 mm. Com base nos registros dos 18 pluviômetros da cidade, esse foi um dia de pancadas intensas associadas à atuação de uma frente fria, conforme descrito no boletim climatológico mensal de março de 2022. Os dados apontam inundações urbanas em diversos pontos da cidade, especialmente na linha da CPTM e na Avenida do Estado. Na área estudada, os registros foram: Santa Terezinha 73,7 mm, Parque das Nações 85 mm, Curuçá 84 mm e Vila Bastos 55 mm.

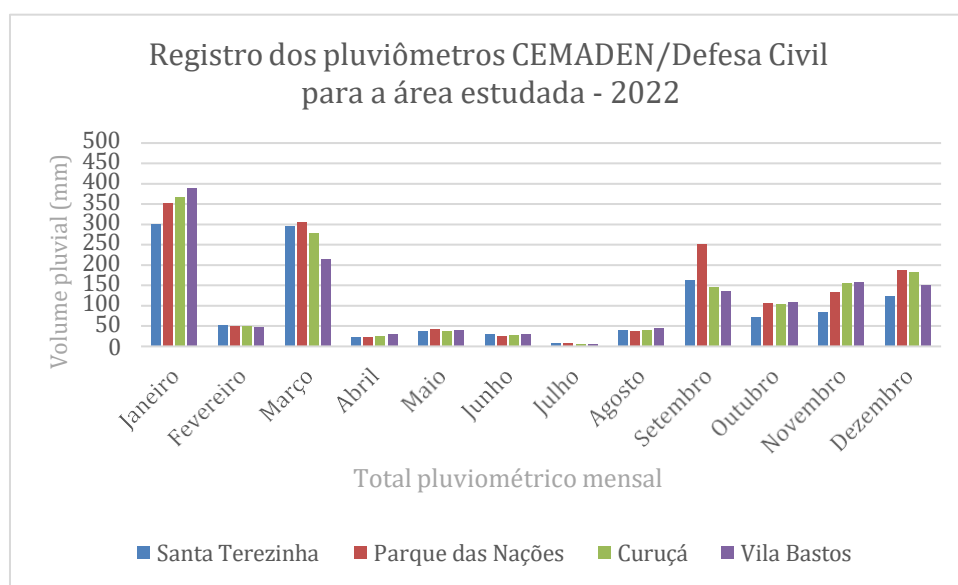
O período de abril a julho de 2022 caracteriza-se por baixíssimos totais de precipitação pluvial, configurando a fase mais seca da série anual. Agosto segue essa tendência, mas os boletins mensais da UFABC indicam a passagem de um ciclone extratropical, que afetou principalmente a macrozona ambiental próxima à Serra do Mar. A macrozona urbana – onde se concentra a área de estudo – foi menos impactada, justificando os valores mais baixos apresentados nos pluviômetros.

Nos meses de setembro e outubro, a precipitação volta a se mostrar bem distribuída, com predominância de chuvas moderadas. Segundo os boletins climatológicos mensais da

UFABC, registraram-se condições atmosféricas estáveis, com temperatura média de 20 °C e umidade relativa do ar de aproximadamente 77%.

Por fim, novembro e dezembro apresentam comportamento chuvoso, com acumulados compatíveis com a climatologia urbana e cerca de 8% acima da média histórica. Embora visualmente as barras do gráfico pareçam menores em relação aos anos anteriores, é importante destacar que os acumulados ultrapassam 150 mm, como de costume. O efeito visual decorre da elevação do intervalo do eixo vertical, necessária para comportar os recordes registrados em janeiro de 2022.

Figura 32: Distribuição pluviométrica de 2022



Fonte: Elaboração própria

9.1.8 Observação anual de 2023

O regime pluviométrico de Santo André ao longo do ano de 2023, visualizado no gráfico da figura 33, manteve o padrão característico de sazonalidade da precipitação observado em séries anteriores, com picos expressivos de chuvas na estação do verão. Entretanto, neste ano, tais volumes atingiram marcas recordes dentro da normal provisória (2016-2024), destacando 2023 como um ano de elevada atividade atmosférica associada à instabilidade convectiva.

O mês de janeiro apresentou acumulados médios de 220 mm nos pluviômetros do CEMADEN, com exceção do bairro Parque das Nações, que apresentou falhas persistentes de

registro desde o início do ano, comprometendo a série. De acordo com o Boletim Climatológico da UFABC (2023), as instabilidades convectivas resultaram em intensas precipitações contínuas associadas a frentes frias e à atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), ocasionando inundações nos trilhos da CPTM. Nos dias 14 e 29 de janeiro, os acumulados diários ultrapassaram 50 mm em todos os bairros estudados. Considerando que o sábado representa um dia de grande mobilidade laboral sob regime 6x1, as inundações impactaram diretamente a circulação de milhares de trabalhadores.

Em fevereiro, a pluviosidade foi categorizada como extremamente chuvosa, atingindo marcas de até 450 mm mensais. Em 22 dos 28 dias do mês houve registro de precipitação pluvial. De acordo com o boletim climatológico da UFABC, o dia 12 de fevereiro de 2023 foi marcado por episódios críticos de alagamento na avenida dos Estados, na altura de Santa Terezinha, além de registros de paralisação nos trilhos da CPTM e trechos da avenida Industrial, próximos ao Shopping Grand Plaza e à estação Santo André. A Defesa Civil comunicou ocorrência de deslizamentos de solo e quedas de árvores, e a EMTU reportou a paralisação temporária da circulação de ônibus por pontos de alagamento na macrozona urbana. Os desdobramentos atmosféricos do mês estiveram associados a frentes estacionárias e instabilidade convectiva persistente.

O mês de março manteve altos volumes acumulados, embora sem a predominância de uma frente estacionária. As chuvas da primeira quinzena estão associadas à atuação de frentes frias e sistemas convectivos. No sábado, 11 de março, os registros pluviométricos foram expressivos: Santa Terezinha (82 mm), Curuçá (57 mm), Vila Bastos (40,2 mm), enquanto Parque das Nações manteve falhas. Pela proximidade dos pluviômetros com a Linha 10–Turquesa, os altos volumes permitiram supor impactos na mobilidade ferroviária, hipótese confirmada pelo boletim climatológico mensal da UFABC, que relata paralisação da circulação de trens entre Utinga e São Caetano do Sul, isolando passageiros e interrompendo o fluxo entre os dois trechos.

Em abril de 2023, a pluviosidade manteve-se próxima da normalidade climatológica, conforme boletins da UFABC e registros do CEMADEN. A atuação de massas de ar frio derrubou as temperaturas em alguns episódios, sem provocar eventos de precipitação intensa. De maio a julho, os totais pluviométricos diminuíram de forma brusca, caracterizando um inverno tipicamente seco, com temperaturas baixas e estabilidade atmosférica predominante.

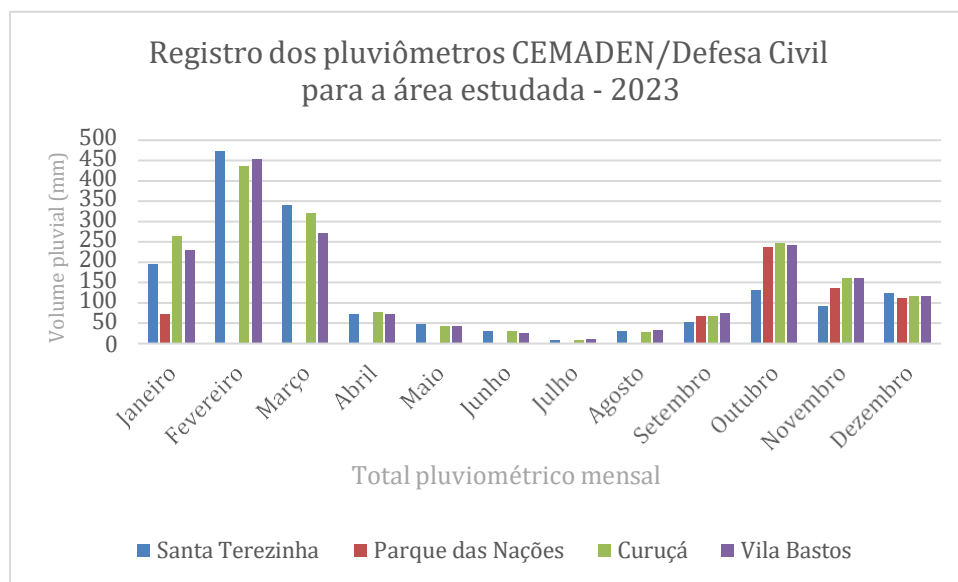
O mês de agosto de 2023 apresentou temperatura média de 30 °C e registrou baixíssima incidência de precipitação pluvial, refletindo o comportamento termodinâmico da massa de ar seco sobre o Sudeste brasileiro. Em setembro, predominou uma onda de calor, com apenas

chuvas esporádicas e acumulados diários inferiores a 25 mm, sem impactos hidrológicos significativos.

Em sentido oposto, outubro de 2023 foi classificado como extremamente chuvoso, com registros frequentes de chuvas moderadas a fortes que resultaram inclusive no transbordamento do rio Tamandateí, ainda que sem alagamentos na área estudada (conforme o boletim da UFABC de outubro de 2023). Os acumulados diários não ultrapassaram 35 mm, sendo o evento associado principalmente à passagem de frentes frias e sistemas de baixa pressão.

Os meses de novembro e dezembro mantiveram acumulados mensais superiores a 100 mm, sustentados por chuvas esporádicas entre fracas e moderadas-fortes e alternância acentuada entre episódios de calor intenso e instabilidade atmosférica. Destaca-se quarta-feira, 29 de novembro de 2023, quando houve chuva forte na área de estudo e alagamento da via férrea entre 15h30 e 17h00, conforme boletim da UFABC. Os pluviômetros registraram: Santa Terezinha (33 mm), Parque das Nações (55 mm), Curuçá (60,5 mm) e Vila Bastos (52 mm), evidenciando a intensidade do evento e seu potencial impacto na dinâmica urbana.

Gráfico 33: Distribuição pluviométrica de 2023



Fonte: Elaboração própria

9.1.9 Observação anual de 2024

Como indica o gráfico da figura 34, o ano de 2024 apresenta um regime pluviométrico caracterizado por picos sazonais expressivos na estação do verão, tanto no início do ano quanto na transição da primavera para o verão no final do ano. Esses comportamentos mantêm a dinâmica típica do clima regional para a latitude do município, evidenciando os efeitos das frentes frias e da instabilidade atmosférica sobre os volumes acumulados mensais.

No mês de janeiro, observam-se totais pluviométricos mensais extremamente elevados, com 300 mm registrados em Santa Terezinha e cerca de 250 mm nos demais bairros, ocasionando episódios de alagamento. O boletim mensal da UFABC indica que, em 12 de janeiro de 2024, uma frente fria atingiu o estado de São Paulo, e no dia seguinte — 13 de janeiro de 2024 — o município registrou os maiores acumulados diários do mês, com chuvas de intensidade moderada a forte. A passagem desses sistemas no auge do verão é coerente com a climatologia local: em vez de reduzir bruscamente as temperaturas, aumentam a instabilidade atmosférica, favorecendo pancadas de chuvas, rajadas de vento e um alívio da sensação térmica, resultando em temperaturas mais amenas.

Em fevereiro, os acumulados mensais diminuem em relação ao ano anterior, mas mantêm a média esperada dentro da normal provisória disponível até o momento. A atuação de frentes frias associadas a dias de altas temperaturas resultou em chuvas distribuídas ao longo do mês, com destaque para o episódio intenso do dia 14 de fevereiro, quando Santa Terezinha e Parque das Nações registraram 58 mm em poucas horas, provocando o transbordamento de um afluente do rio Tamandateí na Avenida dos Estados e interferindo na circulação ferroviária entre Santo André e São Caetano. Considerando a declividade dos bairros, é possível prever o escoamento das áreas mais altas do Parque das Nações para a planície de várzea onde se urbanizou Santa Terezinha — uma dinâmica recorrente em episódios de chuvas fortes ao longo da série histórica. Entre 18 e 21 de fevereiro, a influência de um ciclone subtropical sobre a costa paulista intensificou as chuvas, e o diário da CPTM registrou interrupções na circulação de trens e acionamento do sistema PAESE em 19 e 20 de fevereiro, durante o horário de pico.

Março de 2024 apresenta diminuição dos volumes mensais, mas ainda ligados a episódios de transtornos urbanos. A combinação de temperaturas elevadas com a passagem de sistemas frontais resultou em chuvas convectivas, como o registro de cerca de 27 mm em poucas horas no dia 8 de março, conforme o boletim da UFABC e as planilhas do CEMADEN.

Nessa data, o diário do transporte informou a suspensão temporária da circulação ferroviária entre Santo André e São Caetano, entre 16h17 e 16h40. A precipitação distribuiu-se em três

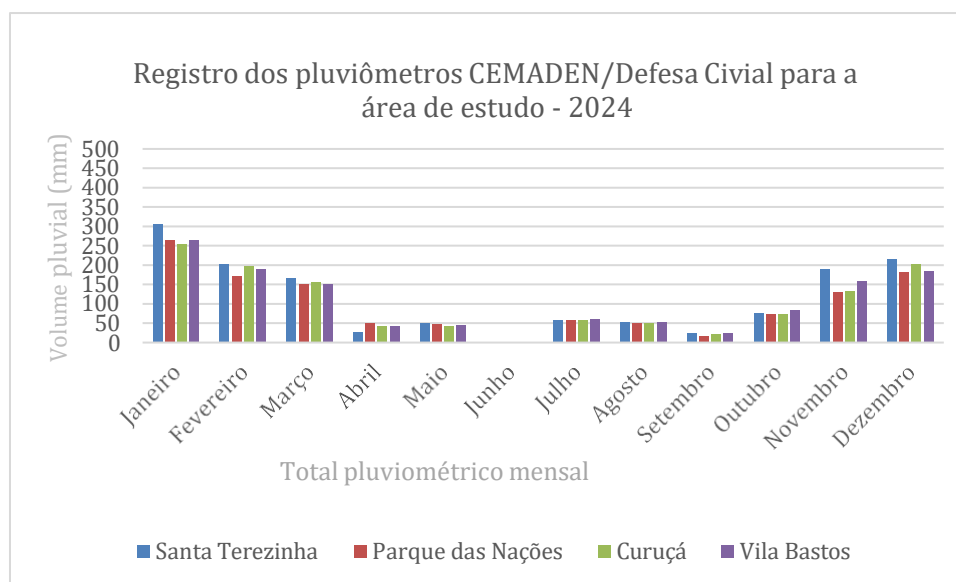
ciclos chuvosos separados por intervalos secos, com ocorrências de inundações também nos dias 5 e 17 de março, afetando a circulação viária e ferroviária.

De abril a junho, constata-se um período seco, com acumulados mensais inferiores a 50 mm e precipitações esparsas. Segundo os documentos do CEMADEN, a maioria dos dias registrou valores inferiores a 10 mm, com raros eventos atípicos, como um volume de 26 mm registrado em abril. A estação caracteriza-se como um intervalo de baixa atividade pluviométrica no município.

O período de julho a outubro evidencia um comportamento instável, marcado por ondas de calor e frio, alternando-se entre dias secos, episódios com rajadas de vento e temporais, além de ocorrências de queimadas, indicando um desequilíbrio sazonal típico de transição climática.

Por fim, os meses de novembro e dezembro apresentam picos de precipitação associados a episódios esporádicos de chuvas muito fortes, entretanto, prevalecem mais dias secos, marcando uma transição gradual para o próximo ciclo sazonal de intensificação das chuvas. Assim, o encerramento de 2024 reforça os padrões climáticos da área de estudo, com a atuação de sistemas atmosféricos que elevam a instabilidade e preparam o município para o próximo regime chuvoso.

Figura 34: Distribuição pluviométrica de 2024



Fonte: Elaboração própria

10 OS IMPACTOS NA LINHA 10 - TURQUESA DA CPTM

A tabela 4, a seguir, organiza uma série de eventos registrados ao longo da última década, elaborada em mecanismos de busca e repositórios de notícias, trazendo à tona os padrões espaciais e os impactos operacionais decorrentes de eventos hidrometeorológicos intensos, bem como as consequências urbanas regionais decorrentes da interrupção da circulação ferroviária. Essa sistematização torna-se fundamental para a compreensão da dimensão operacional e dos esforços requeridos em episódios como esse.

A coleta dos dados foi realizada a partir de boletins operacionais da CPTM, portais especializados em mobilidade urbana, veículos regionais de imprensa e, quando disponível, por meio de informações de precipitação provenientes do CEMADEN, INMET e estações METAR da região do Grande ABC. A sistematização desses registros permitiu identificar trechos críticos recorrentes, além de destacar os períodos do ano nos quais as interrupções são mais frequentes. Cada evento foi caracterizado com base na data, trecho afetado, impacto na operação ferroviária, tempo de interrupção e acionamento do sistema PAESE, o qual representa a substituição temporária do transporte sobre trilhos por ônibus emergenciais.

Quadro 3: Os episódios de alagamento que afetaram a operação da Linha 10-Turquesa (2016–2025)

Data	Horário / início (quando disponível)	Trecho / estações afetadas	Tipo de impacto
19/04/2025	~17:00	Capuava ↔ Prefeito Saladino	Interrupção completa do trecho
31/03/2025	desde ~14:50 (retomada à noite)	Pref. Celso Daniel–Santo André ↔ Mauá / Utinga ↔ Mauá	Interrupção parcial; estações temporariamente fechadas; PAESE acionado
23/03/2025	—	Trecho geral da Linha 10 (vários pontos)	Velocidade reduzida / aumento de intervalos por pontos de alagamento
24/01/2025	Tarde	Trechos no ABC / Mauá / Santo André	Interrupção temporária por alagamentos; retorno progressivo
06/02/2025	Noite	Trecho geral	Alterações operacionais (atrasos / restrições por alagamentos)

Data	Horário / início (quando disponível)	Trecho / estações afetadas	Tipo de impacto
08/03/2024	Tarde	São Caetano do Sul ↔ Santo André	Interrupção temporária; PAESE acionado
05/03/2024	Madrugada/manhã	Trechos diversos (impacto regional)	Impactos operacionais e normalização progressiva
23/12/2023	~18:15	Brás ↔ Juventus-Mooça	Interrupção temporária; retomada após escoamento
18/02/2023	~12:30	Santo André ↔ São Caetano do Sul	Interrupção entre estações por alagamento
12/02/2023	~16:00	Vários pontos entre Brás e Rio Grande da Serra	Lentidão e paralisação por alagamento
02/02/2023	noite	Brás ↔ Rio Grande da Serra / trecho Pref. Saladino–Celso Daniel	Trecho fechado / interrupção por alagamento
11/03/2022	tarde	Santo André ↔ São Caetano do Sul	Interrupção por alagamento
29/11/2022	13:48–14:35	São Caetano ↔ Prefeito Saladino	Interdição por alagamento temporária; PAESE solicitado
23/11/2022	desde 16:15	Mauá ↔ Ribeirão Pires	Velocidade reduzida por alagamento (trens trafegando mais devagar)
28/12/2021	desde 15:30	São Caetano ↔ Rio Grande da Serra / trechos do ABC	Suspensão ampla do serviço em trecho do ABC; PAESE acionado
08/02/2020	Noite	São Caetano ↔ Pref. Celso	Operação parcial / trecho interrompido por alagamento (normalizado ~19:10)
18/02/2020	Tarde	Santo André ↔ Capuava	Trecho interrompido por alagamento

Data	Horário / início (quando disponível)	Trecho / estações afetadas	Tipo de impacto
10/02/2020	Manhã	Vários trechos na região metropolitana	Trechos da CPTM afetados por fortes chuvas e pontos de alagamento
11/03/2019	—	Toda a Linha 10 (impacto extenso)	Linha ficou cerca de 21 horas fechada em episódio mais severo; operação com restrições após
18/01/2019	Tarde	Trechos da Região do ABC	Interrupção operação comprometida por alagamentos
23/11/2018	Noite	Toda a Linha 10	Circulação paralisada / PAESE acionado por fortes chuvas e alagamentos
06/03/2017	tarde	São Caetano ↔ Santo André	Interrupção da circulação por alagamento; PAESE acionado
24/02/2017	Final da tarde / noite	Trechos diversos da Linha 10	Operações interrompidas / restrições por alagamento
01/02/2017	Tarde	Trechos da Linha 10 (vários pontos)	Restrição / paralisação momentânea por alagamentos na RMSP
15/02/2016	14:40–18:13	Utinga ↔ Santo André ↔ Mauá	Circulação interrompida em parte da Linha 10; PAESE acionado
27/01/2016	Tarde (16:50)	Utinga ↔ São Caetano	Paralisação da Linha 10 por alagamento nos trilhos

Os registros compilados na tabela indicam que os episódios de inundações urbanas não ocorrem de forma isolada, mas seguem um padrão recorrente, especialmente nos meses mais chuvosos do ano e em trechos específicos da linha ferroviária. Observa-se que os eventos se concentram principalmente entre as estações Utinga, Prefeito Saladino e Santo André, áreas que apresentam histórico de fragilidade na drenagem urbana e adensamento construtivo nas proximidades da ferrovia. Há também registros de transtornos em trechos que alcançam São Caetano do Sul e Mauá, dois municípios que estão fora da área de estudo, mas que sofrem com

a mesma problemática de alagamentos enfatizada pela relação do padrão de chuvas e a intensa urbanização. A tendência de aumento na frequência dos eventos a partir de 2022, culminando com pico em 2025, sugere a intensificação de processos ligados à impermeabilização do solo, redução da infiltração e aumento do escoamento superficial, potencialmente agravados por picos pluviométricos associados a interferências convectivas na variabilidade climática regional.

Além disso, a ocorrência do acionamento do Plano de Atendimento entre Empresas de Transporte em Situação de Emergência (PAESE) em aproximadamente um terço dos casos registrados indica que parte significativa dos eventos ultrapassa o limiar de tolerância operacional da CPTM, afetando diretamente a mobilidade de usuários e exigindo estratégias emergenciais de deslocamento. Esses resultados reforçam a necessidade de planos urbanísticos mais contundentes, integrando a modernização da infraestrutura da via e seus arredores à demanda gigantesca da operação ferroviária, além de apontarem para a pertinência de futuros estudos que relacionem intensidade da chuva, estrutura da drenagem e tempo de paralisação, levando à planos de ações emergenciais que se iniciarão antes mesmo das intensas precipitações atingirem a superfície. Isto já é possível com a ajuda de previsões numéricas disponibilizadas pelo INMET e pelo conhecimento dos períodos sazonais nos quais se distribuem as fortes chuvas.

Alguns dos eventos listados na tabela representam impacto de níveis alarmantes e que geraram enorme desgaste tanto para os gestores do sistema de transportes quanto aos passageiros, em especial aos mais vulneráveis socialmente. Entre eles, pode-se citar:

A paralisação geral do dia 28 de dezembro de 2021, onde uma chuva de alto impacto precipitou-se por toda a zona central e zona leste da capital e região do ABC, suspendeu o antigo serviço 710 que ligava Rio Grande da Serra ao município de Jundiaí. Nenhuma adversidade foi registrada na linha 7-Rubi, todavia, o trecho São Caetano do Sul – Rio Grande da Serra na linha 10-Turquesa teve a circulação de trens cessadas assim que um grande volume pluvial caiu em poucas horas. Ônibus metropolitanos e trólebus também foram afetados, até mesmo o sistema PAESE de ônibus emergenciais ficou inoperantes por horas devido as avenidas tomadas pela água, deixando os usuários presos em diversas estações, as quais foram igualmente invadidas por inundações nos pisos subterrâneos. Este episódio figura entre os mais caóticos já registrados na contemporaneidade, como informa mídias locais de grande renome, a exemplo do Diário do Grande ABC, o televisivo SPTV segunda edição e o portal G1. Nesta data, as planilhas CEMADEN/Defesa civil indicam a ocorrência de chuvas extremamente intensas, com vários bairros registrando totais pluviométricos diários entre 80mm e 106mm.

Em 10 e 11 de março de 2019, coincidindo com o ano em que os registros dos pluviômetros CEMADEN/Defesa Civil falharam consecutivamente ao longo do ano todo, a linha 10-Turquesa sofre um dos eventos mais catastróficos para o sistema ferroviário na atualidade. De acordo com as mídias jornalísticas (ViaTrolebus e Diário da CPTM), das 22h do domingo (10) às 19h da segunda (11), a linha ferroviária ficou completamente fechada em seu trecho total na época (do Brás a Rio Grande da Serra), transformando a saída do ABC em direção ao centro paulistano extremamente desgastante e cara, principalmente para os usuários de municípios mais distantes e que não fazem divisa com a capital.

Na tarde de sexta-feira de 28 de novembro de 2018, por volta das 17h30, coincidindo com o pico de passageiros, a primeira chuva interrompeu o trecho entre Santo André e São Caetano. No começo da noite, cerca de duas horas depois, novos temporais atingiram a RMSP com mais intensidade e toda extensão da linha ferroviária foi paralisada. Às 20h15 daquela noite, a CPTM aciona o PAESE para transportar usuários entre São Caetano do Sul e Rio Grande da Serra, no entanto, houve registros de ônibus ilhados em diversos pontos, com o mesmo acometendo os corredores de trólebus de Santo André ao centro de São Bernardo do Campo. As informações são do Diário do Grande ABC, Diário da CPTM e ViaTrolebus. As planilhas CEMADEN/Defesa Civil indicam para Santo André altos volumes de chuva, com totais pluviométricos ultrapassando 60mm neste dia.

Os episódios descritos acima representam apenas alguns de vários outros de alto impacto na região, os demais listados na tabela enquadram-se no mesmo decorrer de desdobramentos, uns mais curtos outros mais longos, falando de duração dos eventos e da extensão das paralizações. As figuras exemplificam como a superfície é afetada durante episódios de grande intensidade.

Figura 35: Trilhos da Linha 10-Turquesa submersos na estação Santo André (2018)



Fonte: Viatrolebus.com.br (acesso em outubro de 2025)

Figura 36: Usuários ilhados nas plataformas da estação Santo André (2018)



Fonte: Viatrolebus.com.br (acesso em outubro de 2025)

Figura 37: Níveis subterrâneos da estação Santo André são invadidos por alagamentos (2016)



Fonte: Reprodução TV Globo (março de 2016)

Figura 38: Acesso à estação Santo André bloqueado pelas águas e trilhos submersos (2025)



Fonte: Reprodução Metrópoles.com (acesso em novembro de 2025)

11 REGIME PLUVIOMÉTRICO DE SANTO ANDRÉ CONSIDERANDO O TERRITÓRIO TOTAL

De maneira preliminar, com base nos totais pluviométricos CEMADEN/Defesa Civil e em parte pelas informações contidas nos boletins climatológicos mensais dos últimos dez anos de registro, o regime pluviométrico do município de Santo André à nível de sua localização no hemisfério sul caracteriza-se por uma forte influência do clima sub-regional tropical de altitude, condicionado pela proximidade da Serra do Mar e pela atuação de sistemas atmosféricos típicos da porção sudeste do Brasil. As chuvas apresentam uma distribuição sazonal bem definida, com maior concentração no verão, especialmente entre os meses de dezembro e março, quando predominam as instabilidades associadas à Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e à convecção térmica local influenciada pelo sistema de clima urbano. Nesse período, os totais pluviométricos mensais frequentemente ultrapassam 200 mm, favorecendo eventos de chuvas intensas e, por vezes, de curta duração, que contribuem para processos de alagamento e saturação do solo. Em contrapartida, o inverno (junho a agosto) é marcado por precipitações significativamente reduzidas, geralmente inferiores a 50 mm mensais, sob domínio de massas de ar mais estáveis e frias, que inibem a formação de nuvens de grande desenvolvimento vertical.

Considerando a divisão em duas macrozonas por diferenças físicas e ambientais, os tipos de chuva dentro do regime pluvial (de acordo com a classificação de AYODE, 1996) configuram algumas diferenças de espacialidade no território andreense. A macrozona de preservação ambiental disposta em maior proximidade à vegetação original da serra do mar, bem como dos limites com o litoral, costuma receber volumes maiores de precipitações orográficas, enquanto os maiores volumes de precipitações convectivas atingem as superfícies da macrozona urbana. As precipitações ciclônicas são bem distribuídas no território.

Dentro dos parâmetros de classificação climática de Novais e Galvani (2022), onde através do estudo dos totais pluviométricos e considerando as características do meio físico, bem como pela análise do mapa “Unidades Climáticas do Estado de São Paulo”, presente na obra dos autores, assume-se que Santo André encontra-se em:

Zona climática: moderada

Clima zonal: quente

Domínio climático: tropical ameno

Subdomínio climático: úmido

Tipo climático: meridional do Brasil

Subtipo climático: do planalto paulista

Assim, de maneira geral e resumida, o regime de chuvas de Santo André pode ser classificado como sazonal, com forte irregularidade interanual, apresentando de 0 a 3 meses secos, refletindo tanto a dinâmica atmosférica regional (elementos do clima) quanto as condições urbanísticas e as influências orográficas locais (fatores do clima).

Considerações Finais

O estudo sobre o padrão de precipitação em Santo André e os impactos na Linha 10-Turquesa permitiu compreender a estreita relação entre a dinâmica climática e a organização do espaço urbano numa das cidades mais importantes do grande ABC paulista e que historicamente representa tanto para a formação do Estado de São Paulo e da região sudeste do Brasil. Dados pluviométricos de normal provisória de 2016 a 2024 fornecidos pelos pluviômetros da defesa civil em parceria com o CEMADEN, apesar de inúmeras falhas em múltiplos dias consecutivos, demonstraram que o regime de chuvas dentro do recorte espacial utilizado como amostragem segue o padrão do município e apresenta forte sazonalidade, com concentração dos maiores volumes entre janeiro e março, podendo iniciar em dezembro ou até mesmo em novembro em alguns anos. Essa concentração de precipitação do tipo convectiva, típica do verão em clima tropical de altitude, tem se mostrado determinante para a ocorrência de alagamentos que comprometem a mobilidade e a segurança urbana. Na adição da leitura dos boletins mensais climatológicos da UFABC, possibilitou-se a compreensão de quais sistemas atmosféricos de diferentes escalas influenciam a sazonalidade nos meses quentes e a distribuição irregular, sujeita a passagens de frentes, nos meses mais frios (o que é comum para a zona latitudinal). Assim foi possível o cumprimento do objetivo geral de descrever um comportamento pluvial no município, além de elucidar as conexões físicas e as implicações sociais, em um trabalho que integrou vários conceitos e categorias da ciência geográfica.

Os resultados da análise dos totais pluviais apontam que os impactos observados na Linha 10-Turquesa não decorrem apenas de eventos climáticos intensos, mas da interação entre fatores naturais e antrópicos, como a ocupação irregular de áreas de várzea, o deficiente sistema de drenagem e o uso inadequado do solo em algumas áreas e, condicionalmente, pelo percurso dos trilhos próximo a córregos e rios. O trecho ferroviário que cruza o município e possui uma infraestrutura antiga, situada em uma planície de inundação que fora aterrada no seu projeto inaugural, sofre com o escoamento insuficiente das águas pluviais, o que resulta em paralisações recorrentes do transporte metropolitano e prejuízos sociais significativos. Acoplado ao acesso a estação Utinga, um assentamento habitacional de ocupações desordenadas corrobora e sofre com a ocorrência de alagamentos.

Ao que tange à mobilidade, além da linha 10 turquesa, várias vias públicas de circulação e transporte de passageiros no município de Santo André foram completamente tomadas pelas águas durante o período sazonal de fortes chuvas. Dentre as pavimentações recorrentemente

tomadas por alagamentos durante os temporais de verão estão a Avenida dos Estados (à leste da ferrovia no sentido centro de São Paulo), a avenida indústria (à oeste da rodovia, na altura da estação Santo André), a Avenida Giovanni Battista Pirelli e a Avenida do Oratório. Todas estas próximas a córregos e áreas de várzea.

No confrontamento das hipóteses propostas no início deste trabalho, fica assegurado que:

- A hipótese 1 se confirma, pois sim, os maiores volumes (mm) de precipitação pluvial concentram-se nos meses de verão, o que dá a característica sazonal já supracitada. Em relação aos horários das chuvas intensas coincidirem com a volta para casa dos trabalhadores, isto é, no segundo horário de pico, conclui-se que por causa dos processos convectivos no sistema de clima urbano, é sim uma situação recorrente, mas não exclusiva. Quando por influência de sistemas em escalas sinóticas, as precipitações intensas podem ocorrer também de noite ou na madrugada.

- A hipótese 2 igualmente se confirma a medida em que os adjacentes dos trilhos possuem indicies de temperaturas de superfície elevados, indicando a formação de ilhas de calor, o que influencia diretamente na ascendência de ar nos processos convectivos. Há de se atentar à proximidade da rodovia de potente fluxo de automóveis gerando uma densa camada de poluentes.

- A hipótese 3 também é confirmada na compreensão de que há uma ferrovia com infraestrutura centenária ainda em estágio de modernização, a arquitetura das estações com pisos subterrâneas e os trilhos rebaixados em diversos trechos funcionam como condicionantes do caos em dias de precipitação intensa. A impermeabilização dos arredores e da macrozona como um todo representam fator condicionante não apenas na retenção de radiação, mas igualmente no empobrecimento da drenagem, resultando nas inundações urbanas em fundos de vales e ao longo da várzea do Tamanduateí, apesar da vegetação remanescente e do solo não pavimentado nas laterais dos trilhos. Há nessa situação um grande volume de água pluvial direcionado pelo escoamento superficial das áreas elevadas para as mais rebaixadas. Esse curso fluvial encontra ainda em seu percurso diversos córregos canalizados e edificações nas várzeas, provocando transbordamentos

Ao atingir o objetivo central, considera-se ainda uma grande influência da passagem de sistemas atmosféricos de escala sinótica e uma influência secundária da urbanização nos totais de chuva. Nos diversos boletins climatológicos mensais, percebe-se que o sistema clima urbano relaciona-se mais com a maneira que os fluxos recebidos pelos sistemas em ampla escala e como ele os processa, levando aos eventos convectivos que atraem, intensificam e concentram

as chuvas para determinados pontos. Isso significa que no território andreense as chuvas fortes seriam sazonais com ou sem a presença da cidade, com o SCU agindo mais nas camadas basais e nas inversões térmicas e na disponibilização de núcleos de umidade. É óbvio que não se pode menosprezar ou banalizar as alterações do meio urbano na atmosfera local, é que a proximidade de Santo André à serra do mar diz bastante sobre o seu regime pluvial e as características climáticas, que ano após ano vem sendo impactada pela crescente do tecido de urbanização da RMSP. Além disso, as condições de urbanização na cidade influenciam mais a forma como a superfície vai receber, concentrar e drenar a precipitação advinda de massas de ar úmido, sendo responsáveis diretas pelos transtornos de alagamentos. As alterações na distribuição de chuvas ao longo do ano demonstram evidências das mudanças climáticas globais agindo sobre a circulação geral da atmosfera zonal.

Este padrão dentro da classificação de Köppen-Geiger, onde o clima do município pode ser considerado do tipo Cwa, revela verões quentes e úmidos com precipitações convectivas também na primavera, com outonos amenos e invernos mais secos sob a ocorrência de precipitações ciclônicas nestas estações. Há precipitações orográficas na macrozona ambiental o ano todo e por vezes ela influencia o comportamento das precipitações na macrozona urbana em diversas épocas do ano. Ainda de acordo com os gráficos de totais pluviométricos, o padrão de precipitação do município apresenta poucos meses secos, com ausência total de chuvas (0 a 3 meses), conforme a classificação de Novais e Galvani.

Resumidamente, concluiu-se que apesar da distribuição de diferentes tipos de precipitações ao longo dos meses, nos últimos nove anos o padrão de precipitação pluvial no município de Santo André demonstrou-se sazonal, concentrando os maiores acumulados mensais no verão, com episódios intensos de precipitação convectiva, atuando tanto de maneira concentrada quanto dispersa. Os impactos sentidos na mobilização da linha 10 turquesa da CPTM, podem ser definidos pela interrupção da circulação de trens por causa dos alagamentos sempre nos mesmos trechos e em horários com maior aderência de uso, afetando as classes mais vulneráveis economicamente e que por isso ficam horas ilhadas para evitarem gastos com transportes por rotas alternativas mais caras.

Pensando nas contribuições deste estudo, elas se manifestam tanto no campo teórico quanto prático. Em âmbito conceitual, a pesquisa amplia o debate climatológico possibilitando estender o foco espacial e colocar em pauta outros municípios da região do ABC, permitindo uma compreensão mais refinada das escalas que estruturam o comportamento climático e urbano no território regional. O método de pesquisa empregado também representa um avanço do sistema institucional de medição pluviométrica do município, pois evidencia o rigor

científico e a seriedade adquiridos para a aplicação e reprodução em estudos, podendo divulgar amplamente como se organizam os dados climáticos, quais tecnologias e plataformas online estão disponíveis e como elas podem ser utilizadas de forma acessível e sistematizada. Do ponto de vista aplicado, o trabalho direciona olhares geográficos para áreas específicas que demandam atenção pública e científica, como a urbanização na várzea do rio Tamanduateí — especialmente no trecho de Utinga — em articulação com a comunidade do Núcleo dos Ciganos, que há anos permanece à espera de auxílio e reconhecimento institucional. Dessa forma, a pesquisa reforça a relevância da climatologia na produção de diagnósticos socioambientais capazes de subsidiar ações de planejamento e políticas públicas mais eficazes. Outrossim, ao caracterizar a linha férrea da CPTM, abordando a sua história, a sua infraestrutura e as situações geográficas físicas do seu traçado e entornos, propõe-se reflexões a respeito tanto da sua relevância para o sistema de transportes da região quanto para a necessidade de revitalização da ferrovia que ocorre de maneira mais discreta. Mas, acima de tudo, o entendimento do padrão de chuvas e das adversidades genéticas da área urbana representa um potencial crítico dos sujeitos em relação ao cotidiano que se vive. Como pode o regime de precipitação ser considerado de suma importância para o ordenamento territorial, se os problemas de alagamentos persistem por décadas?

Portanto, sintetizando tais considerações, torna-se indispensável a integração entre o planejamento urbano, ambiental e de transporte, de modo a considerar a natural vulnerabilidade hídrica do meio físico somada aos processos intensificadores do sistema clima urbano nos debates por políticas públicas locais, além da necessidade de fomentar essas pautas no meio popular, em especial ao aumento do grau de conhecimento geográfico dos usuários afetados em relação as razões ocasionam tantos transtornos urbanos e que afetam o âmbito psicossocial da população. O fortalecimento da gestão territorial, aliado a ações de mitigação, como obras para além da mera drenagem, requalificação das margens e maiores investimentos no monitoramento meteorológico contínuo, é fundamental para reduzir os impactos das chuvas extremas sobre a população e sobre a infraestrutura urbana de Santo André.

Referências bibliográficas

AB'SÁBER, A. N. (1958). *Breve História dos Estudos Geomorfológicos no Brasil*. In: Thofern, H. A. (Coord.), *Notas sobre Geomorfologia Estrutural, Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul* (n. 6–7, jan./jun.), pp. 106–110.

ALLEN, R. G. et al. *Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements*. FAO Irrigation and Drainage, 1998. p.56

AZEVEDO, Tarik Rezende de. **O fluxo de calor gerado pelas atividades humanas**. In: TARIFA, José Roberto; AZEVEDO, Tarik Rezende de. **Os climas na cidade de São Paulo: teoria e prática**. São Paulo: USP/FFLCH, 2001 (Coleção Novos Caminhos). p. 71-93

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. 37p. 332p.

BARROS, Hugo Rogério; LOMBARDO, Magda Adelaide. **A ilha de calor urbana e o uso e cobertura do solo em São Paulo - SP**. GEOUSP Espaço e Tempo (Online), São Paulo, Brasil, v. 20, n. 1, p. 160–177, 2016.

BARRY, R. G.; CHORLEY, R. J. **Atmosphere, Weather and Climate**. 9ª ed. London: Routledge, 2010.

BERTALANFFY, Ludwig von. **General System Theory: Foundations, Development, Applications**. 2. ed. New York: George Braziller, 1968. 30-55p. 85-100p.

BRANDÃO, A. M. P. M. **Clima Urbano: Teoria e Método**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

BRITO, Erika., SILVA, Marcos Vinícius Chagas., CRISPIM, Andrea Bezerra. **Climatologia - Fortaleza** : EdUEC E, 2015. 106 p.

CAVALCANTI, I. F. A.; KOUSKY, V. E.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. J. (orgs.). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

CAVALCANTI, I. F. A. **Teleconnections and climate variability over South America.** *Frontiers in Earth Science*, v. 5, p. 1–12, 2017.

CEMADEN. **Boletim Técnico: Eventos Extremos na Região Serrana do Rio de Janeiro – janeiro de 2011.** São José dos Campos: CEMADEN, 2013.

CHRISTOPHERSON, R. W. **Geosystems: An Introduction to Physical Geography.** 8th ed. Boston: Pearson, 2012. 147p.

COMPANHIA PAULISTA DE TRENS METROPOLITANOS (CPTM). **Relatório de Operações e Segurança 2023.** São Paulo: CPTM, 2023.

CONTI, J. B. **A circulação atmosférica local na área metropolitana de São Paulo.** *Boletim Paulista de Geografia*, n. 51, p. 5–30, 1975.

CONTI, J. B.; FURLAN, S. A. **Climatologia Geográfica.** São Paulo: Edusp, 1995. 58p.

FREITAS, E. D. **Circulações locais em áreas urbanas: a brisa marítima na Região Metropolitana de São Paulo.** São Paulo: USP, 2015.

GAIARSA, Octaviano Armando. **Santo André da Borda do Campo.** Santo André: Prefeitura Municipal de Santo André, 1977.

GEIGER, R.; ARON, R.; TODHUNTER, P. *The Climate Near the Ground.* 7th ed. Lanham: Rowman & Littlefield, 2009.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Panorama das cidades. Santo André, SP.** IBGE:2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/santo-andre/panorama> (acesso em março de 2025)

INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. **Manual de Observações Meteorológicas de Superfície.** Brasília: INMET, 2020.

INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. **Normas Climatológicas do Brasil: 1991–2020.** Brasília: INMET, 2024.

LOMBARDO, M. A. **Ilhas de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo**. 2. ed. São Paulo: Hucitec, 1985.

LOMBARDO, M. A. **Ilhas de calor. Arquitetura e Urbanismo**. São Paulo: Edusp, 2021

LOMBARDO, M. A., Fruehauf, A. . L., & Pellegrino, P. R. M. (2022). **Clima urbano nas metrópoles e seus impactos ambientais / Urban climate in metropolises and its environmental impacts**. *Brazilian Journal of Development*, 8(1), 434–448

MARCELINO, E. V. et al. “**Análise dos deslizamentos e inundações na Região Serrana do Rio de Janeiro em 2011**”. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 5, n. 1, 2012.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

MONTEIRO, Carlos Augusto de Figueiredo. **A cidade como processo derivador ambiental e estrutura geradora de um “clima urbano”**. Geosul, Florianópolis, v. 9, n. 5, p. 80-114, 1990a.

MONTEIRO, Carlos Augusto de Figueiredo. **O clima e a organização do espaço no Estado de São Paulo: problemas e perspectivas**. São Paulo: IGEOG/USP, 1976a. 54p. (Série Teses e Monografias, n. 28)

MONTEIRO, C.A.F. **Teoria e Clima Urbano**. Série Teses e Monografias, n. 25. São Paulo: Universidade de São Paulo 1976. 181 p

MORAIS, M. A., CASTRO, W. A. C., & TUNDISI, J. G. (2010). **Climatologia de frentes frias sobre a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) e sua influência na limnologia dos reservatórios de abastecimento de água**. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 25(2), 205-217

NOVAIS, Giuliano Tostes; GALVANI, Emerson. **Uma tipologia de classificação climática aplicada ao estado de São Paulo**. *Revista do Departamento de Geografia, São Paulo, Brasil*, v. 42, p. e184630, 2022

OKE, T. R. **Boundary Layer Climates**. 2nd ed. London: Routledge, 1987.

PSA, Prefeitura de Santo André (2025). **Totais pluviométricos**. Disponível em: <https://portais.santoandre.sp.gov.br/defesacivil/indices-pluviometricos/> (Acesso em 2025)

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: Fundamentos e Aplicações Práticas**. Guaíba: Agropecuária, 2013.

REBOITA, M. S.; GAN, M. A.; ROCHA, R. P.; AMBRIZZI, T. **Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica**. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 25, n. 2, p. 185–204, 2010.

REBOITA, M. S.; ROCHA, R. P.; AMBRIZZI, T.; FÉLIX, C. **Climatologia de ciclones extratropicais na América do Sul**. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 27, n. 2, p. 151–173, 2012.

RODRIGUES, J. G. F. **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. 2018.

SANTOS, Milton. **A natureza do espaço: técnica e tempo, razão e emoção**. São Paulo: Hucitec, 1996. 83 – 96p.

SOUZA, W. M., Azevedo, P. V. de, & Araújo, L. E. de. (2012). **Classificação da Precipitação Diária e Impactos Decorrentes dos Desastres Associados às Chuvas na Cidade do Recife- PE**. *Revista Brasileira De Geografia Física*, 5(2), 250–268.

STRAHLER, A. H.; STRAHLER, A. N. **Physical Geography: Science and Systems of the Human Environment**. New York: Wiley, 1999. 120p.

TARIFA, J. R.; ARMANI, G. **Atlas Ambiental da Cidade de São Paulo**. São Paulo: PMSP/Secretaria do Verde e do Meio Ambiente, 2001.

TUBELIS, A.; NASCIMENTO, N. M. **Meteorologia Descritiva**. São Paulo: Nobel, 1992.

TUCCI, Carlos E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2012.

UFJF, Universidade de Juiz de Fora (2025). **Normais climatológicas**. Disponível em: <https://www2.ufjf.br/labcaa/normais-climatologicas/> (Acesso em junho de 2025)

URBVERDE: **Plataforma de Monitoramento de Áreas Verdes Urbanas e Promoção de Justiça Climática**. Disponível em: <https://urbverde.iau.usp.br/> (Acesso em 2025)

VALENCIO, N. et al. **Desastres e Vulnerabilidade: lições das chuvas de 2011 na Região Serrana do Rio de Janeiro**. São Paulo: Annablume, 2012.

VOOGT, J. A.; Oke, T. R (2003) **Thermal remote sensing of urban climates**. Remote sensing of environment. 86.3: 370-384.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO). **Guide to Instruments and Methods of Observation**. WMO-No. 8, 2018.