

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS NATURAIS E EXATAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

Aline Nunes da Silva

INTERAÇÕES TOPOCLIMÁTICAS ENTRE O URBANO E  
O PARQUE NATURAL MUNICIPAL DOS MORROS,  
EM SANTA MARIA/RS

Santa Maria, RS  
2022



**Aline Nunes da Silva**

**INTERAÇÕES TOPOCLIMÁTICAS ENTRE O URBANO E  
O PARQUE NATURAL MUNICIPAL DOS MORROS, EM SANTA MARIA/RS.**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Geografia.

Orientador Prof. Dr. Cássio Arthur Wollmann

Santa Maria, RS  
2022

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

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001.

SILVA, ALINE NUNES DA  
INTERAÇÕES TOPOCLIMÁTICAS ENTRE O URBANO E O  
PARQUE NATURAL MUNICIPAL DOS MORROS, EM SANTA  
MARIA/RS. / ALINE NUNES DA SILVA.- 2022.  
167 p.; 30 cm

Orientador: CÁSSIO ARTHUR WOLLMANN  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de  
Santa Maria, Centro de Ciências Naturais e Exatas,  
Programa de Pós-Graduação em Geografia, RS, 2022  
1. Altitude 2. variabilidade climática 3. áreas  
naturais protegidas 4. urbano I. WOLLMANN, CÁSSIO  
ARTHUR II. Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados  
fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de  
Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável  
Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

Declaro, ALINE NUNES DA SILVA, para os devidos fins e sob as penas da lei, que a pesquisa constante neste trabalho de conclusão de curso (Dissertação) foi por mim elaborada e que as informações necessárias objeto de consulta em literatura e outras fontes estão devidamente referenciadas. Declaro, ainda, que este trabalho ou parte dele não foi apresentado anteriormente para obtenção de qualquer outro grau acadêmico, estando ciente de que a inveracidade da presente declaração poderá resultar na anulação da titulação pela Universidade, entre outras consequências legais.

**Aline Nunes da Silva**

**INTERAÇÕES TOPOCLIMÁTICAS ENTRE O URBANO E  
O PARQUE NATURAL MUNICIPAL DOS MORROS, EM SANTA MARIA/RS.**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Geografia.

**Aprovada em 14 de fevereiro de 2022.**

---

Cássio Arthur Wollmann, Dr. (UFSM)  
(Presidente/Orientador)

---

Emerson Galvani, Dr. (USP)  
(por videoconferência)

---

Fábio de Oliveira Sanches, Dr. (UFJF)  
(por videoconferência)

Santa Maria, RS  
2022



“...Ao justo a sábia sorte que não leva a alma à morte  
Quando fraco que és forte, tudo aponta o Norte  
Quando se pode enxergar além do que se vê, amplitude  
Virtude vital já que o mal dessa paisagem ilude

Distante como um vizinho, te lembro do ninho  
Onde o amor expresso é chaga viva,  
Gesto é mais que o pergaminho  
Voe, e que todo vento a bem te soe ao descobrir  
A natureza da Centelha Divina que existe em si

Desato o nó da trama, enterra a discórdia no abraço  
Arrebata os *peito* de bronze por trás das *barra* de aço  
Se renda e entenda o que ataca, a cegueira amola a faca  
Da má lida com a existência, faz a luz da essência opaca

E nas crianças o brilho *tá*, olho lá que é pra enxergar  
Agregar ao meu viver o que devemos preservar  
Rumo ao amor! Não importa qual caminho trilhe  
Não se ilhe, sonho que se sonha junto é o maior louvor.”

- Kleber Cavalcanti Gomes - (Criolo)



## AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que de alguma forma contribuíram com a construção desta pesquisa:

À UFSM e ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFSM, pela oportunidade de qualificação em uma universidade pública e de qualidade;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo subsídio financeiro durante esta pesquisa;

Ao meu orientador, Cássio Arthur Wollmann, por sua sabedoria, competência, simplicidade e amizade, que serve de inspiração a todos os seus alunos e orientandos;

À Secretaria Municipal do Meio Ambiente de Santa Maria, a Guarda Municipal e a equipe Gestora do Parque Natural Municipal dos Morros, por todo o auxílio prestado durante os trabalhos de campo e o período de coleta de dados;

Aqui, pessoalmente ao Guilherme Lul Rocha e a Marina Ferrarese, por toda a colaboração durante o período da minha dissertação, sem o auxílio de vocês nada disso teria sido realizado;

Ao Seu Adriane, pelas caronas durante os trabalhos de campo no PNMM;

Aos Professores João Paulo Gobo, Mauro Kumpfer Werlang, Emerson Galvani e Fábio de Oliveira Sanches pela disponibilidade de participarem de minhas bancas e aceitarem o convite de contribuir com a pesquisa;

À minha família pelos ensinamentos;

Ao Rafael por todo o amor e suporte;

À Larah pelo companheirismo e por ser presença constante em minha vida;

À Gizelia Maria e Caio, por nunca duvidarem de mim, nem por um instante;

Aos amigos de laboratório, de Geografia e de vida, em especial Iago, Ismael e Amanda, sempre dispostos a ajudar;

E aos demais envolvidos nessa jornada acadêmica,  
meu muito obrigada.

Seguimos!



## RESUMO

### INTERAÇÕES TOPOCLIMÁTICAS ENTRE O URBANO E O PARQUE NATURAL MUNICIPAL DOS MORROS, EM SANTA MARIA/RS.

AUTORA: Aline Nunes da Silva  
ORIENTADOR: Cássio Arthur Wollmann

Esta pesquisa teve como objetivo investigar a dinâmica atmosférica entre o meio urbano e natural do município de Santa Maria, dentro de uma escala topoclimática. Para isto, foi definida como área de estudo o bairro Nossa Senhora do Perpétuo Socorro, localizado na zona norte da área urbana de Santa Maria. Inserido no bairro encontra-se a primeira Unidade de Conservação de Proteção Integral de Santa Maria, o Parque Natural Municipal dos Morros. A área de estudo tem relevância no que diz respeito a preservação e conservação da biodiversidade local, visto que está localizada em uma zona de transição entre os dois biomas que ocorrem no território sul-rio-grandense, o bioma de Floresta Mata Atlântica (remanescentes) e bioma Pampa. Além disso, a área de estudo também está inserida em uma área de transição de unidades morfoesculturais (Serra Geral, marcada pelo Rebordo do Planalto Meridional, e a Depressão Periférica) o que confere uma grande amplitude altimétrica para o bairro. Dentro deste contexto topoclimático, a pesquisa tem como objetivo investigar as interações topoclimáticas entre a área urbanizada do bairro Nossa Senhora do Perpétuo Socorro e a Unidade de Conservação Parque Natural Municipal dos Morros (PNMM), em Santa Maria/RS. Foram identificadas 5 Zonas Climáticas Locais (LCZs) na área de estudo. Ainda, as temperaturas médias, máximas e mínimas absoluta registradas na área de estudos se apresentaram mais elevadas no meio urbano, bem como a evapotranspiração. O PNMM apresentou temperatura média do ar maior do que o ponto PSO (referente a malha urbana do bairro) durante o mês de julho. O gradiente térmico vertical da área de estudo apresentou variação mensal de  $-0,99^{\circ}\text{C}/100\text{m}$  até  $0,15^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ . O volume acumulado de precipitação pluviométrica durante o período da pesquisa foi maior no PNMM em relação ao PSO. Ainda, foram observados os registros de inversão térmica e efeito orográfico na área de estudo. Os sistemas atmosféricos mais atuantes em cada fenômeno foram o Anticiclone Migratório Polar, em fase de descaracterização, e a passagem da frente polar pelo território sul-rio-grandense, respectivamente. Por fim, considera-se que a variabilidade topoclimática no bairro Nossa Senhora do Perpétuo Socorro é influenciada pela topografia presente no bairro, bem como pelos processos atmosféricos que ocorrem no meio urbano e que acentuam o aquecimento e resfriamento da camada de ar próximo a superfície.

**Palavras-chave:** altitude; variabilidade climática; áreas naturais protegidas; urbano.



## ABSTRACT

### TOPOCLIMATE INTERACTIONS BETWEEN THE URBAN AND THE PARQUE NATURAL MUNICIPAL DOS MORROS, EM SANTA MARIA/RS.

AUTHOR: Aline Nunes da Silva  
ADVISOR: Cássio Arthur Wollmann

This research aimed to investigate the atmospheric dynamics between the urban and natural environment of the municipality of Santa Maria, within a topoclimatic scale. For this, the Nossa Senhora do Perpétuo Socorro neighborhood, located in the northern part of the urban area of Santa Maria, was defined as the study area. Inserted in the neighborhood is the first Integral Protection Conservation unit of Santa Maria, the Parque Natural Municipal dos Morros. The study area is relevant with regard to the preservation and conservation of local biodiversity, since it is located in a transition zone between the two biomes that occur in the territory of Rio Grande do Sul, the Atlantic Forest biome (remaining) and Pampa biome. In addition, the study area is also inserted in a transition area of morphosculptural units (Serra Geral, marked by the Edge of the Meridional Plateau, and the Peripheral Depression) which gives a great altimetric amplitude to the neighborhood. Within this topoclimatic context, the research aims to investigate the topoclimatic interactions between the urbanized area of the Nossa Senhora do Perpétuo Socorro neighborhood and the Parque Natural Municipal dos Morros (PNMM) Conservation Unit, in Santa Maria/RS. Five Local Climate Zones (LCZs) were identified in the study area. Also, the average, absolute maximum and minimum temperatures recorded in the study area were higher in the urban environment, as well as evapotranspiration. The PNMM presented an average air temperature higher than the PSO point during the month of July. The vertical thermal gradient of study area has a monthly variation from  $-0.99^{\circ}\text{C}/100\text{m}$  to  $0.15^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ . The accumulated volume of rainfall during the survey period was higher in the PNMM in relation to the PSO. Also, the records of thermal inversion and orographic effect in the study area were observed. The most active atmospheric systems in each phenomenon were the Polar Migratory Anticyclone, in the phase of decharacterization, and the passage of the polar front through the territory of Rio Grande do Sul, respectively. Finally, it is considered that the topoclimatic variability in the Nossa Senhora do Perpétuo Socorro neighborhood, as well as by the atmospheric processes that occur in the urban environment and that accentuate the heating and cooling of the atmospheric layer near the surface.

**Keywords:** altitude, climate variability; natural protected areas; urban.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da área de estudo na porção norte da área urbana de Santa Maria. ....	31
Figura 2 - Mapa hipsométrico da área de estudo.....	33
Figura 3 - Adaptação do perfil geológico-geomorfológico (simplificado) da área urbana de Santa Maria conforme Sartori (2009). ....	34
Figura 4 - Vista de Santa Maria observada do Distrito de Boca do Monte, a oeste da área urbana.....	34
Figura 5 - Mapa da precipitação total anual no Rio Grande do Sul. ....	36
Figura 6 - Esquema mostra o domínio da massa polar sobre o Rio Grande do Sul, onde altera a direção do vento predominante de leste para sudoeste. ....	37
Figura 7 - Comportamento do fluxo do Vento Norte regional ao sofrer influência local (relevo) em Santa Maria.....	38
Figura 8 - Sub-bacias Hidrográficas da porção norte da área urbana de Santa Maria. ....	39
Figura 9 - Vista do Mirante do Vale do Vacacaí-Mirim, a nordeste do PNMM. Nos morros ao fundo, o município de Itaara. ....	41
Figura 10 – Diferentes tipos vegetacionais que ocorrem na encosta do Rebordo do Planalto (A) e no topo do morro, na área do PNMM (B). ....	42
Figura 11 - Vista da Rua Sete de Setembro no Século XX (A) e no ano de 2021 (B).....	45
Figura 12 - Esquema das escalas climáticas propostas por Serafini Júnior (2012).....	47
Figura 13 – Nevoeiro de radiação em Santa Maria, visto do Morro das Antenas, zona norte de Santa Maria. ....	56
Figura 14 - Centros de Ação atuantes na América do Sul.....	68
Figura 15 - Categorias de Unidades de Conservação estabelecidos pelo SNUC (BRASIL, 2000). ....	76
Figura 16 - Vista da Avenida Rio Branco, área central de Santa Maria, em direção aos morros, nos anos de 1958 e 2019. ....	82
Figura 17 - Pôr do sol visto do Mirante da Fêmea, no Parque Natural Municipal dos Morros	83
Figura 18 - Imagens de uma trilha realizada pelo Grupo Bandeirantes da Serra no ano de 2006.....	84
Figura 19 - Zonas da Reserva da Biosfera Mata Atlântica no bairro Nossa Senhora do Perpétuo Socorro.....	85
Figura 20 - Mapa dos corredores florestais pertencentes ao Corredor Ecológico da Quarta Colônia, na região central do RS .....	87

Figura 21 - Sede do Parque Natural Municipal dos Morros em fase de construção. ....	88
Figura 22 - Localização dos pontos de coleta na área de estudo. ....	91
Figura 23 - Local de instalação dos instrumentos no Parque Natural Municipal dos Morros, atualmente conhecido como Everestinho. ....	92
Figura 24 - Instrumentos instalados nos pontos PSO e PNMM. ....	93
Figura 25 - Porcentagem de títulos e resumos aceitos e não aceitos durante a revisão sistemática. ....	101
Figura 26 - Classificação das LCZs conforme arquivo gerado pelo aplicativo LCZ Generator. .....	107
Figura 27 - Zonas climáticas locais (LCZs) conforme os tipos de construção na área de estudo.....	109
Figura 28 - Zonas climáticas locais (LCZs) conforme os tipos de uso de solo na área de estudo.....	110
Figura 29 - Perfil topoclimático da área de estudo considerando os gradientes térmicos verticais de dezembro de 2018 e julho de 2019. ....	119
Figura 30- Chegada de uma nuvem do tipo prateleira (Shelf Cloud), trazendo chuva na área urbana de Santa Maria, visto do Mirante da Fêmea. ....	126
Figura 31 - Gráficos apresentando o Balanço Hídrico Mensal do ponto PSO. ....	130
Figura 32 - Gráficos apresentando o Balanço Hídrico Mensal do ponto PNMM.....	131
Figura 33 - Esquema da inversão térmica na área de estudo. ....	134
Figura 34 - Cartas sinóticas dos dias 03 e 04 de dezembro de 2018.....	139
Figura 35 - Cartas sinóticas dos dias 22 e 23 de janeiro de 2019. ....	140
Figura 36 - Cartas sinóticas dos dias 19 e 20 de fevereiro de 2019.....	141
Figura 37 - Cartas sinóticas dos dias 01 e 02 de março de 2019. ....	142
Figura 38 - Cartas sinóticas dos dias 18 e 19 de abril de 2019.....	143
Figura 39 - Cartas sinóticas dos dias 25 e 26 de maio de 2019. ....	144
Figura 40 - Cartas sinóticas dos dias 20 e 21 de junho de 2019. ....	145
Figura 41 - Cartas sinóticas dos dias 08, 09 e 10 de julho de 2019. ....	146
Figura 42 - Cartas sinóticas dos dias 27 e 28 de agosto de 2019.....	
Figura 43 - Cartas sinóticas dos dias 15 e 16 de setembro de 2019.....	
Figura 44 - Cartas sinóticas dos dias 10 e 11 de outubro de 2019.....	149
Figura 45 – Cartas sinóticas dos dias 01 e 02 de novembro de 2019. ....	150

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Número total de resultados obtidos em cada base de pesquisa durante a etapa de realização da busca bibliográfica.....	100
Gráfico 2 - Ordens de grandeza escalar do clima observadas nos estudos.....	102
Gráfico 3 - Período de escala temporal utilizados nas pesquisas selecionadas.....	103
Gráfico 4 - Variáveis utilizadas nas pesquisas selecionadas para análise. ....	104
Gráfico 5 - Métodos de obtenção dos dados utilizados nas pesquisas. ....	104
Gráfico 6 - Gráfico de dispersão dos dados registrados no período de calibração.....	112
Gráfico 7 - Comparação entre os valores de temperatura média mensal de PSO e PNMM. .	113
Gráfico 8 - Variabilidade da temperatura média diária nos pontos PSO e PNMM entre os meses de dezembro de 2018 a novembro de 2019. ....	115
Gráfico 9 - Variação mensal das temperaturas diurnas nos pontos PSO e PNMM. ....	116
Gráfico 10 - Variação mensal das temperaturas noturnas nos pontos PSO e PNMM. ....	117
Gráfico 11 - Gradientes térmicos médios mensais encontrados para a área de pesquisa.....	118
Gráfico 16 - Valores acumulado sazonal de precipitação pluviométrica nos pontos PSO e PNMM.....	122
Gráfico 17 - Comparação dos valores mensais totais de precipitação pluviométrica nos três pontos de coleta de dados. ....	123
Gráfico 18- Eventos pluviométricos registrados na área de estudo durante o período veranil. ....	125
Gráfico 19 - Eventos pluviométricos registrados na área de estudo durante o período outonal. ....	127
Gráfico 20 - Eventos pluviométricos registrados na área de estudo durante o período invernal. ....	128
Gráfico 21 - Eventos pluviométricos registrados na área de estudo durante o período primaveril.....	129
Gráfico 22 - Comparação entre as os valores mensais de evapotranspiração potencial (mm) e o total mensal de horas de inversão térmica para os pontos PSO e PNMM.....	133
Gráfico 12 - Valor mensal de horas de inversão térmica no bairro Nossa Senhora do Perpétuo Socorro entre dezembro de 2018 a novembro 2019. ....	135
Gráfico 13 - Relação entre o total de horas de inversão térmica mensais e o gradiente térmico vertical mensal da área de estudo. ....	136

Gráfico 14 - Relação entre as horas de inversão térmica e a temperatura mínima absoluta para cada mês analisado. ....	137
Gráfico 15 - Variação sazonal no número de horas de ocorrência de inversão térmica. ....	138

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados de localização dos pontos definidos para a instalação dos instrumentos. ....	93
Tabela 2 - Parâmetros apresentados na calibração dos dados. ....	111
Tabela 3 - Parâmetros referentes a variabilidade da temperatura do ar (°C) no período de dezembro de 2018 a novembro de 2019. ....	113
Tabela 4 - Parâmetros analisados na distribuição mensal da precipitação pluviométrica na área de estudo no período entre os meses de dezembro de 2018 e novembro de 2019. ....	123
Tabela 5 - Dados dos episódios de inversão térmica e os sistemas atmosféricos observados. ....	151
Tabela 6 - Eventos pluviométricos e sistemas atmosféricos atuantes. ....	152



## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Tipologias de cobertura do solo propostas por Stewart e Oke (2012). .....	62
Quadro 2 - Classificação dos serviços ecossistêmicos de acordo com a Avaliação Ecossistêmica do Milênio (2005). .....	74
Quadro 3 - Divisão das diferentes formas de análise e métodos utilizados nos estudos selecionados. ....	105
Quadro 4 - Aspectos utilizados em maior número nos estudos científicos apontados pela revisão sistemática. ....	106
Quadro 5 - Características das LCZs identificadas dentro da área de estudos. ....	108



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AO	Overall Accuracy
AMP	Anticiclone Migratório Polar
APP	Área de preservação permanente
ARI	Área de Reconhecimento Internacional
ATA	Anticiclone Tropical Atlântico
BHC	Balço Hídrico Climático
CAD	Capacidade de Água Disponível
CDB	Convenção sobre Diversidade Biológica
CORSAN	Companhia Riograndense de Saneamento
DNOS	Departamento Nacional de Obras e Saneamento
ETA	Estação de Tratamento de Água
ETEP	Espaços Territoriais Especialmente Protegidos
FEE	Fundação de economia e Estatística do Rio Grande do Sul
FP	Frente Polar
FPA	Frente Polar Atlântica
FPP	Frente Polar Pacífica
GBS	Grupo Bandeirantes da Serra
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMBio	Instituto Chico Mendes da Biodiversidade
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPLAN	Instituto de Planejamento de Santa Maria
IT	Instabilidades Tropicais
LACAS	Laboratório de Climatologia em Ambientes Subtropicais
LCZ	Local Climate Zones
LUOS	Lei de Uso e Ocupação do Solo
MPA	Massa Polar Atlântica
MPP	Massa Polar Pacífica
MPV	Massa Polar Velha
MTA	Massa Tropical Atlântica

MTC	Massa Tropical Continental
MTP	Massa Tropical Pacífica
N.C.	Normal Climatológica
Oabu	Overall Builtup
OAU	Overall Urb
OMM	Organização Meteorológica Mundial
PDDT	Plano Diretor de Desenvolvimento Territorial
PIB	Produto Interno Bruto
PNMM	Parque Natural Municipal dos Morros
PPGCEO	Programa de Pós-Graduação em Geografia
R. A.	Regiões Administrativas
RBMA	Reserva da Biosfera Mata Atlântica
RL	Reserva Legal
RPPN	Reserva Particular de Patrimônio Natural
SEMA	Secretaria Estadual do Meio Ambiente
SEUC	Sistema Estadual de Unidades de Conservação
SNUC	Sistema Nacional de Unidades de Conservação
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
TI	Terras Indígena
UC	Unidade de Conservação
UFSM	Universidade Federal de Santa Maria
UICN	União Internacional de Conservação da Natureza
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura
USP	Universidade de São Paulo
URA	Umidade Relativa do Ar
WA	Weighted Accuracy

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>27</b>
1.1 PROBLEMÁTICA.....	28
1.2 JUSTIFICATIVA.....	28
2.3 OBJETIVOS .....	29
<b>2.3.1 Objetivo Geral</b> .....	29
<b>2.3.2 Objetivos Específicos</b> .....	29
2.4 CARACTERIZAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE PESQUISA .....	30
<b>2.4.1 Aspectos históricos e socioeconômicos</b> .....	43
<b>3 REVISÃO TEÓRICA</b> .....	<b>46</b>
3.1 ABORDAGEM DO CLIMA .....	46
<b>3.1.1 Escalas do Clima</b> .....	46
<b>3.1.2 Variabilidade dos atributos climáticos no topoclima</b> .....	51
<b>3.1.3 As Zonas Climáticas Locais (Local Climate Zones – LCZs)</b> .....	61
<b>3.1.4 Circulação atmosférica secundária no Rio Grande do Sul</b> .....	66
3.2 SOBRE AS ÁREAS PROTEGIDAS NO BRASIL.....	71
<b>3.2.1 Unidades de Conservação</b> .....	74
<b>3.2.2 Unidades de conservação no Rio Grande do Sul</b> .....	78
<b>3.2.3 Áreas protegidas – contexto de Santa Maria</b> .....	79
<b>3.2.4 O Parque Natural Municipal dos Morros</b> .....	81
<b>4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS</b> .....	<b>89</b>
4.1 REVISÃO SISTEMÁTICA .....	89
4.2 A ESCOLHA DOS PONTOS E INSTALAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS – ANÁLISE TOPOCLIMA .....	90
4.3 CLASSIFICAÇÃO DAS ZONAS CLIMÁTICAS LOCAIS (LCZS).....	94
4.4 PROCEDIMENTOS PARA ANÁLISE DA VARIBILIDADE CLIMÁTICA.....	95
<b>4.4.1 Procedimentos para análise térmica</b> .....	97
<b>4.4.2 Procedimentos para análise pluviométrica</b> .....	97
<b>4.4.3 Procedimentos para análise evapotranspirativa</b> .....	97
<b>5 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS</b> .....	<b>100</b>

5.1	REVISÃO SISTEMÁTICA .....	100
5.2	ZONAS CLIMÁTICAS LOCAIS .....	106
5.3	VARIBILIDADE TOPOCLIMÁTICA NO BAIRRO NOSSA SENHORA DO PERPÉTUO SOCORRO .....	111
5.3.1	Calibração dos dados.....	111
5.3.2	Temperatura do ar .....	112
5.3.3	Precipitação Pluviométrica .....	121
5.3.4	Evapotranspiração.....	130
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	154
	REFERÊNCIAS.....	157
	ANEXO I.....	169

## 1. INTRODUÇÃO

As características climáticas de um local são determinadas pelos fatores estáticos e dinâmicos que nele se apresentam. A latitude, a altitude, a forma e disposição do relevo, a cobertura vegetal e a proximidade de corpos hídricos são alguns dos fatores estáticos presentes em um determinado local. Os fatores dinâmicos, contam com as massas de ar predominantes sobre a região e a dinâmica da atmosfera. O resultado da interação destes fatores pode ser percebido a partir da variação da temperatura, precipitação pluviométrica, umidade relativa do ar, pressão atmosférica, entre outros, definidos como elementos do clima. É a partir destes elementos, compreendidos enquanto atributos climáticos variáveis, que se realiza a identificação da caracterização climática de um lugar (BALDO; SILVEIRA, 2009).

A topoclimatologia está associada aos processos climáticos, as características terrestres e as ações humanas. Estando inserida dentro do conceito de lugar e em uma escala climática local, a topoclimatologia não se refere somente a variabilidade espaço-temporal causada pela distribuição de elementos climáticos como as chuvas, temperaturas, ventos, umidade e pressão atmosférica (ROMERO, et al. 2017). De acordo com o autor

Topologia é um termo associativo para identificar as maneiras pelas quais os objetos estão inter-relacionados ou distribuídos no espaço. A topologia é uma maneira útil de pensar objetos sócio-naturais porque não os localiza em termos de um determinado conjunto de coordenadas. Isso implica que um objeto sócio-natural, como o topoclíma, junto com seu conhecimento, pode ser formulado simultaneamente em diferentes topologias ou diferentes conjuntos de relações socioespaciais (ROMERO, et al. 2017, p. 105, tradução da autora).

Neste contexto, por se tratar de um objeto de estudo sócio-natural, a topoclimatologia deve considerar o meio urbano como o espaço onde ocorrem as maiores alterações provenientes de atividades humanas. Também, o processo de urbanização acarreta em uma reorganização do espaço, ocasionando uma artificialização do meio, alterando os sistemas hídricos superficiais e subterrâneos através da impermeabilização da superfície, interferindo no ciclo hidrológico e na atmosfera local.

Diante destas modificações realizadas por atividades humanas no espaço natural, ocorre a perda da biodiversidade e a supressão de serviços ecossistêmicos importantes para o bem-estar da sociedade e manutenção do meio ambiente. Dentre as alterações que o homem pode provocar no meio ambiente a alteração no microclima se destaca como uma das mais significativas, visto que ele influencia diretamente nos mais diversos processos ecológicos (FOLLMANN, 2016).

As Áreas Protegidas são de fundamental importância para a conservação a longo prazo das áreas naturais, seus serviços ecossistêmicos e significado cultural, pois estas se apresentam como refúgio para espécies ameaçadas pela degradação humana. Essas áreas não funcionam apenas como ferramentas de gestão sustentável, protegendo os recursos naturais que se encontram em franca ameaça. Elas também atuam como agentes mitigadores dos impactos causados pelas alterações no clima (GASTON; et al., 2008; ARAÚJO; et al., 2011).

Algumas áreas verdes urbanas são identificadas como espaços de proteção ambiental, como é o caso de Parques urbanos classificados como Unidades de Conservação. As Unidades de Conservação são definidas pelo Sistema Nacional de Unidades de Conservação - SNUC (Lei Federal Nº 9.985, de julho de 2000) enquanto um espaço territorial e seus recursos ambientais, com áreas jurisdicionais legalmente definidas pelo Poder Público. Essas áreas protegidas tem objetivo de conservação e proteção da biota natural presentes nos limites administrativos de uma Unidade de Conservação Ambiental (BRASIL, 2000).

Neste sentido, o município de Santa Maria conta com uma Unidade de Conservação de Proteção Integral, que em sua maior parte está inserida dentro do perímetro urbano da cidade. Assim, destaca-se a sua importância na manutenção dos recursos naturais e dos serviços ecossistêmicos para a população em seu entorno. Também, possui função de regulação climática, possibilitando a observação de possíveis alterações climáticas em escala local.

## 1.1 PROBLEMÁTICA

Seria a topografia o principal controle da variabilidade climática em uma área de transição entre o urbano e o natural?

## 1.2 JUSTIFICATIVA

Embora as características regionais sejam importantes para o entendimento da dinâmica atmosférica, elas não são suficientes para identificar a variabilidade dos atributos de uma área de estudo que se enquadre dentro de uma escala climática local. O conhecimento da dinâmica e das características climáticas locais é importante para a compreensão dos processos climáticos locais, bem como as relações e trocas entre os elementos climáticos existentes em diferentes tipos de ambiente. Ainda, o clima local e o topoclima possuem definições que se equivalem, estando ambos relacionados com as características de elementos inerentes a uma área. Assim,

o clima local pode corresponder ao clima de um tipo de ocupação do solo diferenciado ou aos aspectos topoclimáticos locais (ANDRADE, 2005; SERAFINI JÚNIOR et al., 2012).

Para Romero (2019) os topoclimas recebem influência direta da cobertura e uso do solo e, por conta disso, está diretamente associado às atividades econômicas, sociais e culturais da comunidade. Dessa forma, o referido autor coloca a topoclimatologia não somente como uma ciência pertencente a geografia física, mas também, como participante do sistema de vida da população, sustentando relações complexas que se estabelecem no lugar entre os atores sociais e o meio natural.

Neste sentido, Hulme (2017, apud. ROMERO, 2019) explica que o topoclima também corresponde às interpretações culturais, onde incluem-se o conhecimento (epistemologias), os significados (ontologias) e as formas de construção e desconstrução (metodologias). Assim, parte-se da premissa de que tanto os fatores climáticos estáticos quanto os fatores geográficos que se apresentam para a Unidade de Conservação urbana e a cidade de Santa Maria não se manifestam da mesma forma.

Além disso, a localização do Parque Natural Municipal dos Morros, dentro do limite urbano da cidade de Santa Maria, destaca a sua posição de relevante importância na preservação ambiental, tanto para a biodiversidade ali presente, quanto para a proteção de seus recursos naturais. Investigar a variabilidade topoclimática e a troca de energias que possa haver entre os dois ambientes é fundamental para o desenvolvimento de planos de ação que visem auxiliar a restauração e conservação da biodiversidade na Unidade de Conservação e nas áreas adjacentes bem como na qualidade de vida da população que vive ao seu entorno.

## 2.3 OBJETIVOS

### 2.3.1 Objetivo Geral

Investigar as interações topoclimáticas entre a área urbanizada do bairro Nossa Senhora do Perpétuo Socorro e a Unidade de Conservação Parque Natural Municipal dos Morros (PNMM), em Santa Maria/RS.

### 2.3.2 Objetivos Específicos

a) Classificar as zonas climáticas locais (LCZs) existentes na área de estudo;

- b) Analisar a variabilidade térmica, pluviométrica e evapotranspirativa entre o PNMM e a área urbanizada do bairro Nossa Senhora do Perpétuo Socorro;
- c) Verificar a ocorrência de inversão térmica e efeito orográfico, identificando os Sistemas Atmosféricos com maior atuação nestes episódios;

## 2.4 CARACTERIZAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE PESQUISA

O município de Santa Maria, pertencente à mesorregião geográfica centro ocidental rio-grandense e microrregião de Santa Maria, abrange uma área total de 1.780,796 km<sup>2</sup>. A população total do município de Santa Maria é de 280.078,2 habitantes, com densidade demográfica de 157,7 hab/km<sup>2</sup>. Do total de habitantes do município, cerca de 94% residem no Distrito Sede. (IPLAN, 2014; FEE, 2019).

A área municipal tem como limite territorial ao norte os municípios de Itaara, Júlio de Castilhos, São Martinho da Serra e Silveira Martins; ao leste o município de Restinga Seca; ao sul os municípios de São Sepé, Formigueiro e parte do município de São Gabriel; e a oeste com parte do município de São Gabriel, e os municípios de São Pedro do Sul e Dilermando de Aguiar estando entre as coordenadas 29° 23' a 30°00' de latitude sul e 53°15' a 54°00' de longitude oeste (SANTA MARIA, 2018). Por estar em uma localização central no estado, dentro de seu perímetro municipal cruzam três rodovias federais e cinco rodovias estaduais. Assim, o município está interligado com municípios como Passo Fundo, Santana do Livramento, Rio Grande, Uruguaiana e Porto Alegre.

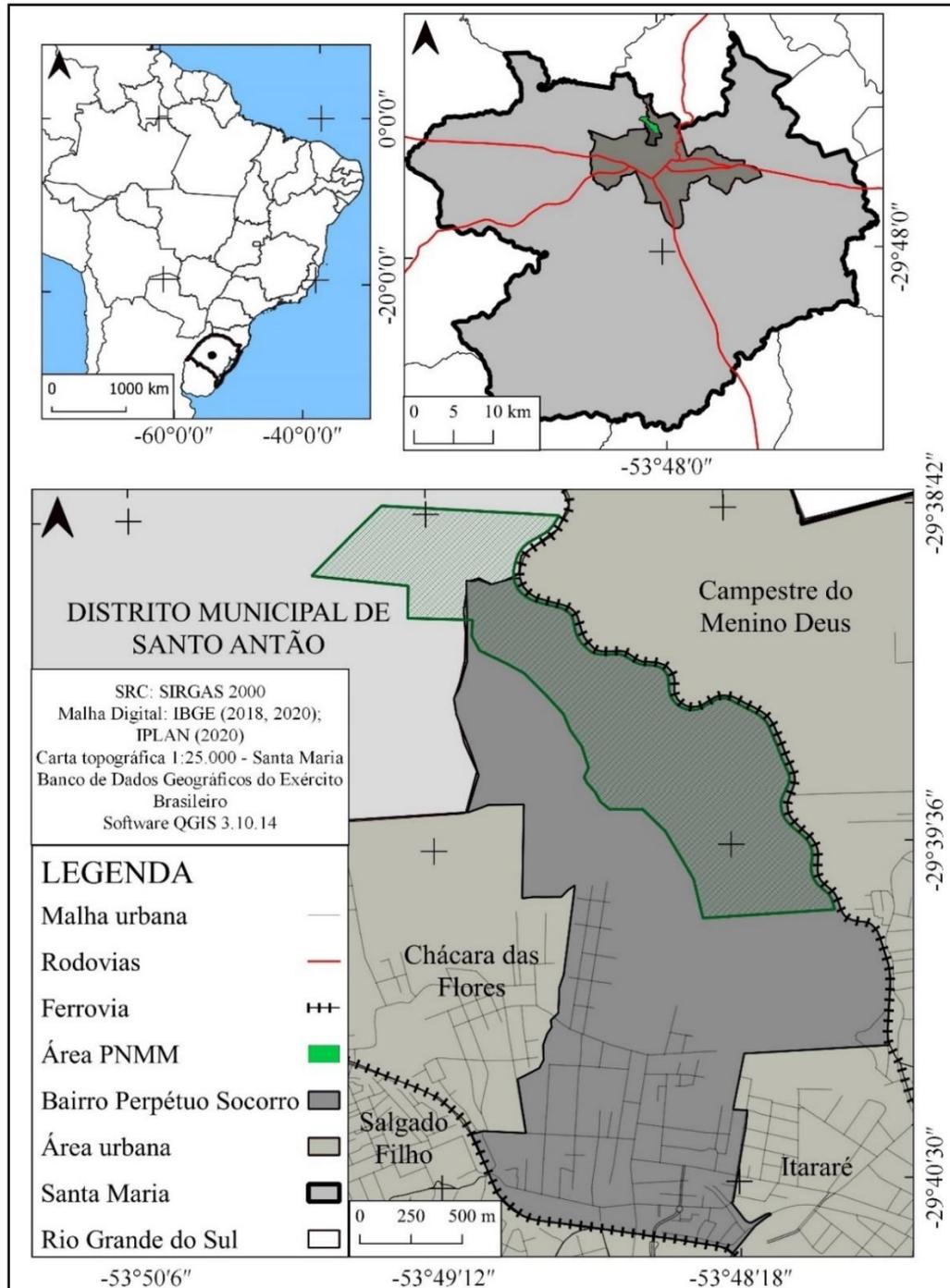
A área correspondente ao município de Santa Maria é dividida em dez distritos. O 1º Distrito é Sede Municipal, representada pelo perímetro urbano do município. Os demais distritos são: 2º Distrito de São Valentim; 3º Distrito de Pains; 4º Distrito de Arroio Grande; 5º Distrito de Arroio do Só; 6º Distrito Passo do Verde; 7º Distrito de Boca do Monte; 8º Distrito de Palma; 9º Distrito de Santa Flora; e 10º Distrito de Santo Antônio (SANTA MARIA, 2018).

De acordo com a Lei Complementar Municipal nº 042 de 29 de dezembro de 2006, a área urbana de Santa Maria é dividida em oito Regiões Administrativas, sendo elas o Centro-Urbano, Centro-Oeste, Oeste, Norte, Nordeste, Centro-Leste, Leste e Sul. Os 41 bairros existentes na área urbana de Santa Maria são classificados dentro das Regiões Administrativas conforme a sua localização na área urbana.

Parte da área de pesquisa determinada para este estudo, o Parque Natural Municipal dos Morros (PNMM), encontra-se inserida quase em sua totalidade no bairro Nossa Senhora do Perpétuo Socorro, e pertence a Região Administrativa Norte, sendo compreendido como uma

Unidade de Conservação inserida na área urbana. Somente uma porção da parte norte do PNMM está inserida na área rural, no 10º Distrito de Santo Antônio. A Figura 1 mostra a localização da área de pesquisa dentro da área urbana de Santa Maria.

Figura 1 - Localização da área de estudo na porção norte da área urbana de Santa Maria.



Fonte: Elaborado pela autora.

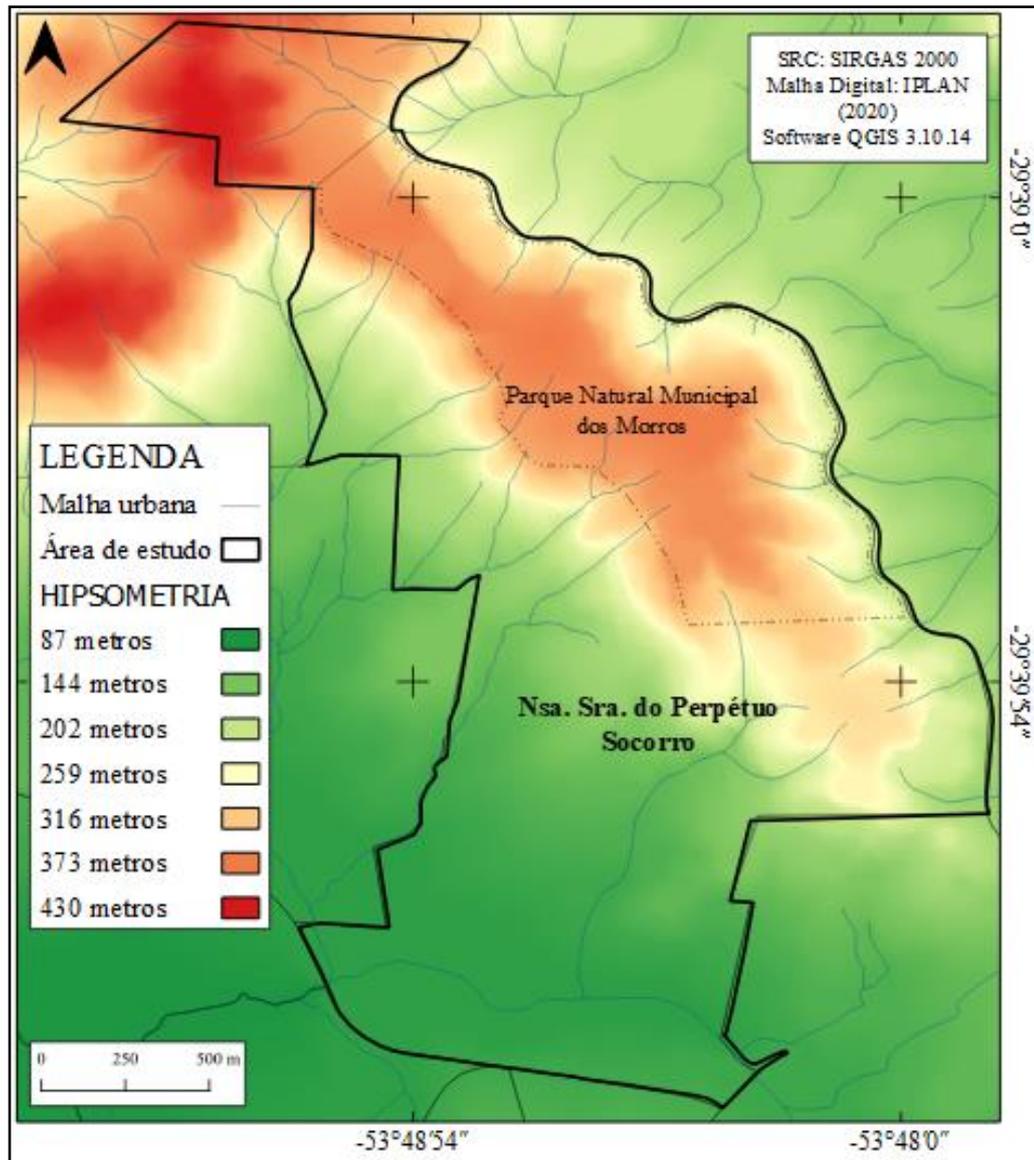
Em um contexto físico, as transformações geológicas ocorridas na região fizeram com que o município de Santa Maria esteja estabelecido em uma área onde o substrato da área urbana é formado por rochas sedimentares, com presença de rochas vulcânicas oriundas da Bacia Sedimentar do Paraná, e de depósitos associados aos canais fluviais. Já a configuração do relevo e a formação da paisagem natural foi construída a partir do período Terciário, derivada dos processos erosivos associados a alteração de climas úmidos, áridos e semi-áridos. (SARTORI, 2009; DAL'ASTA, 2009).

Na área do município são encontradas as formações geológicas de Sanga do Cabral, Santa Maria, Botucatu, Caturrita, e Serra Geral, além de Depósitos de Aluvião e Depósitos Coluvionares de Encostas. Na área do PNMM são encontradas litologias correspondentes à Formação Botucatu e a Sequência Básica Inferior da Formação Serra Geral. A Formação Botucatu constitui-se por arenito médios a finos e com estratificação cruzada de tangencial, depositado em ambiente desértico, vinculados a migração de dunas eólicas. Os depósitos eólicos da Formação Botucatu são recobertos e alternam-se com os derrames vulcânicos características da Formação Serra Geral. (SARTORI, 2009; SCHERER et al., 2000).

Ao diminuir-se a altitude em direção sul, nos limites do bairro Nossa Senhora do Perpétuo Socorro encontram-se áreas de Depósito Coluvionares onde também há ocorrência da Formação Santa Maria Membro Alemão. Os depósitos coluvionares são resultantes da fragmentação das rochas vulcânicas da Formação Serra Geral e dos arenitos da Formação Botucatu (SARTORI, 2009).

A maior cota altimétrica da cidade situa-se no topo do Morro das Antenas, na porção norte da área urbana, com 432 metros acima do nível do mar. Já a menor cota altimétrica da área urbana encontra-se na porção sul, próximo ao Arroio Passo das Tropas, com apenas 60 metros de altitude acima do nível do mar. A altimetria da área urbana possui amplitude de 372 metros. A área de estudo definida para esta pesquisa possui menor cota altimétrica de 100 metros acima do nível do mar, localizada próximo ao leito do Arroio Cadena. Já a maior cota altimétrica está localizada na porção noroeste do Parque Natural Municipal dos Morros, em uma altitude de 437 metros acima do nível do mar, em área rural no Distrito de Santo Antônio (Figura 2).

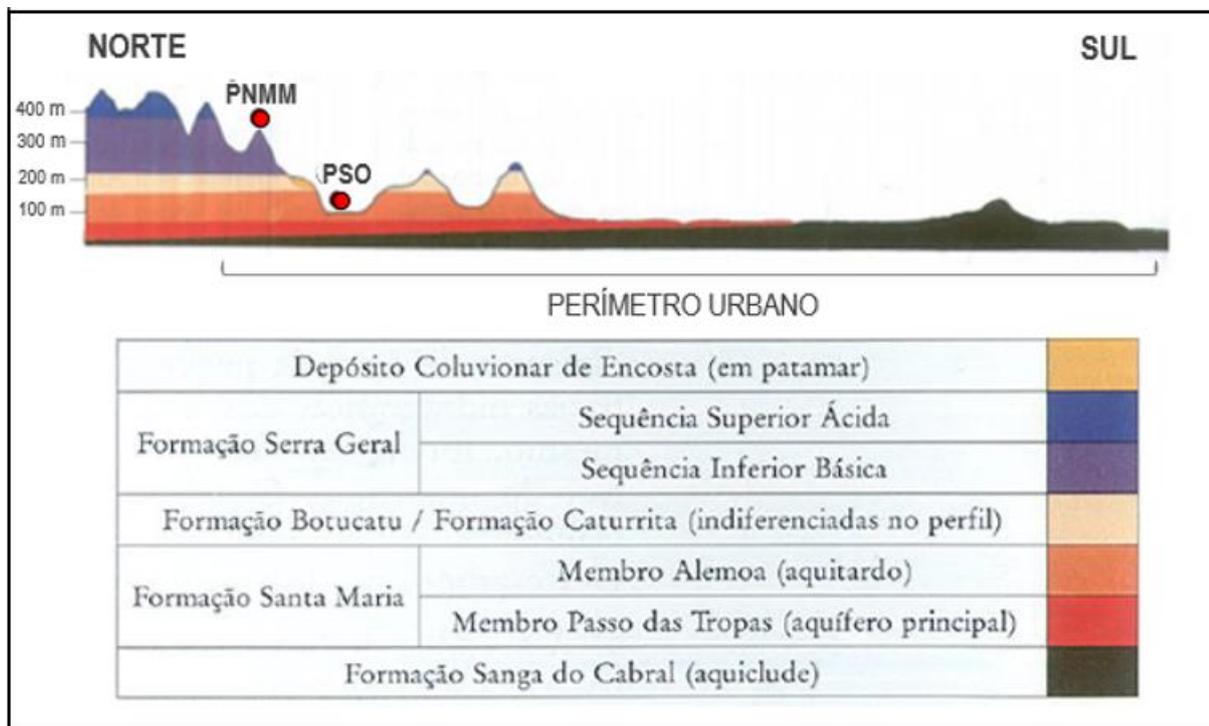
Figura 2- Mapa hipsométrico da área de estudo.



Fonte: Elaborado pela autora.

O município de Santa Maria encontra-se em uma área de transição de duas unidades morfoesculturais: Depressão Periférica e a Serra Geral, marcado pelo Rebordo do Planalto Meridional (DAL'ASTA, 2009; SARTORI, 2009). A Figura 3 apresenta o perfil geológico-geomorfológico da área urbana de Santa Maria.

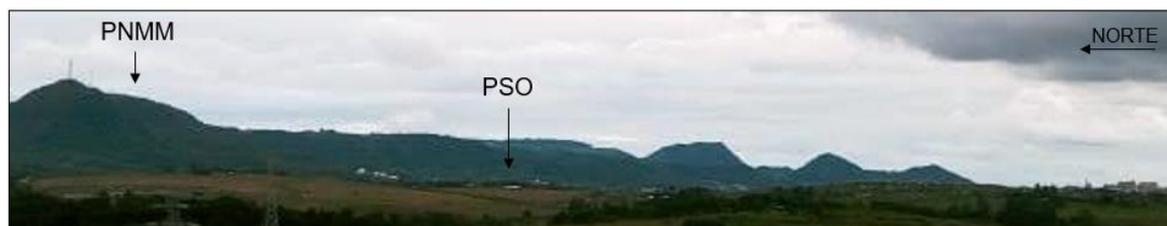
Figura 3 - Adaptação do perfil geológico-geomorfológico (simplificado) da área urbana de Santa Maria conforme Sartori (2009).



Fonte: SARTORI (2009).  
Adaptado pela autora.

O relevo predominante nas áreas de Depressão Periférica é do tipo coxilhas e planícies aluviais. Já na unidade morfoescultural da Serra Geral, resultando dos processos erosivos regressivos que ocorrem na borda do Planalto sul-rio-grandense, os tipos de relevo dominantes são os morros e os morros testemunhos. A Figura 4 mostra a visão de Santa Maria vista de oeste para leste, em um esquema próximo ao apresentado na figura acima.

Figura 4 - Vista de Santa Maria observada do Distrito de Boca do Monte, a oeste da área urbana.



Fonte: Trabalho de campo (2020).

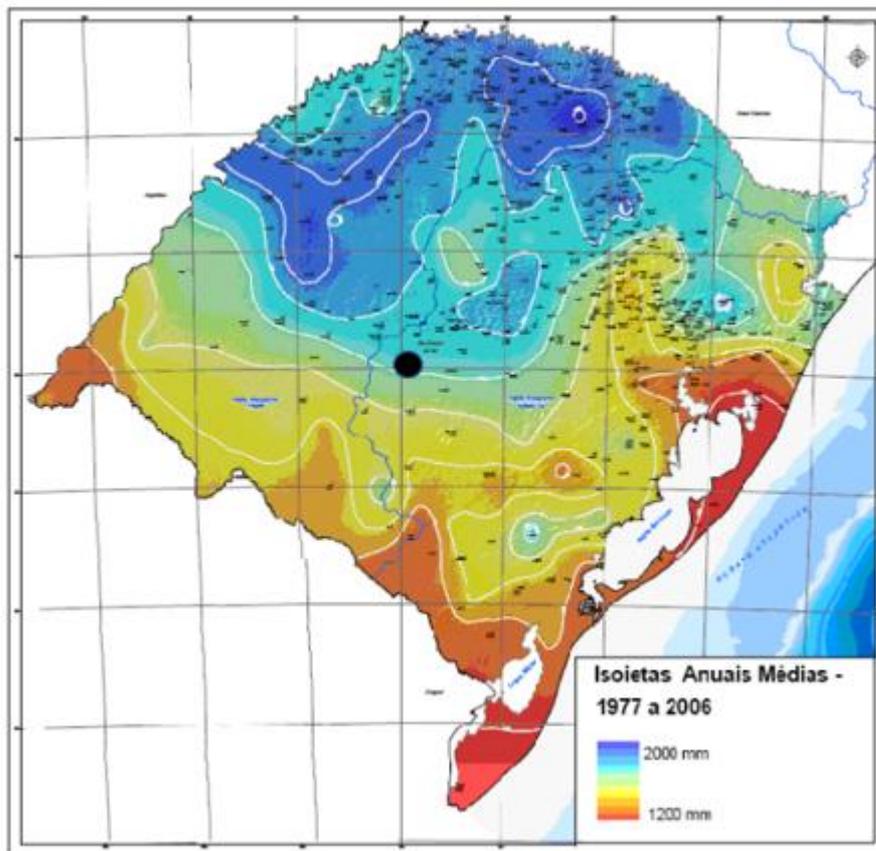
De acordo com Pedron (2005), os tipos de solos predominantes no perímetro urbano de Santa Maria são os Alissolos (44%), Argissolos (25%), Planossolos (23%) e Neossolos (8%), com ocorrência de Cambissolos e Gleissolos em pequenas áreas. As classes dos Alissolos e Argissolos representam 69% da área urbana do município e, juntamente com os Neossolos, são altamente suscetíveis à degradação ambiental, principalmente em relação a erosão hídrica das camadas superficiais. Os Planossolos são solos hidromórficos e ocorrem em áreas de banhado e em várzeas, correspondentes a área de recarga dos aquíferos locais.

Recentemente, ao analisarem os tipos de climas anuais para o Brasil, levando em consideração os tipos de clima definidos por Köppen (1936), Dubreuil et al. (2018) apontam a ocorrência de dois tipos climáticos para a região central do Rio Grande do Sul. O primeiro, com uma frequência de 50 a 80% do período anual, apresenta-se o Cfa, definido por Köppen (op.cit.) como clima temperado, sem estação seca e verão quente. Em segundo, observa-se o clima Csa, um tipo de clima temperado, com verão quente e seco, ocorrendo com uma menor frequência (20 a 50%) (DUBREUIL et al. 2018).

Neste mesmo sentido, Heldwein et al. (2009) destaca que Santa Maria apresenta verão quente, onde o mês de janeiro é considerado o mais quente, com temperatura média de 24,7°C. O inverno é caracterizado como ameno, com os meses de junho a agosto registrando as temperaturas mais baixas do ano, com o mês de julho sendo o mês o mais frio, com temperatura média de 13,8°C. A amplitude térmica média anual para o município é de aproximadamente 10,7°C. A umidade relativa do ar varia entre 70% e 85%, sendo menor durante o verão e maior durante o inverno, apresentando variação nos valores médios de 60% durante o mês de janeiro até 85% no mês de junho (HELDWEIN et al., 2009).

Em relação aos valores médios de precipitação, Santa Maria está inserida em uma faixa onde a precipitação média anual é de 1700 mm (Figura 5). Ainda, conforme Sartori (2016), as precipitações são principalmente de origem frontal e distribuem-se ao longo do ano, tendo como os meses mais chuvosos setembro e outubro e o mês de novembro como o mês menos chuvoso.

Figura 5 - Mapa da precipitação total anual no Rio Grande do Sul.



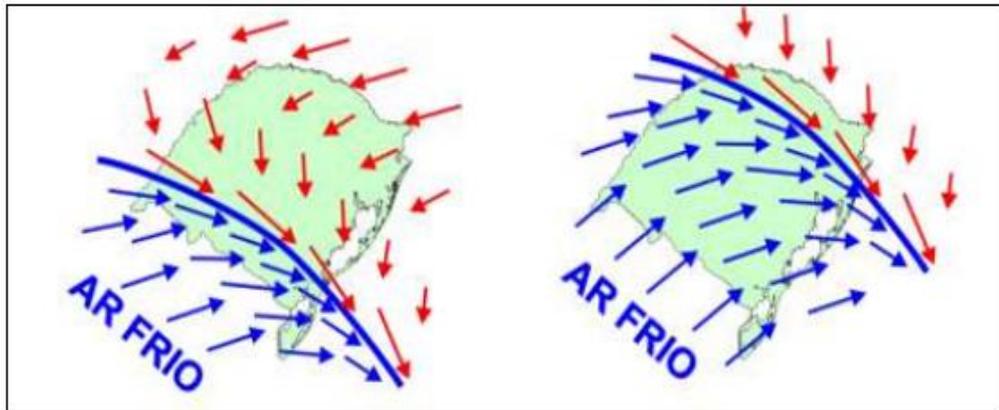
Fonte: CPRM (2010)  
Adaptado pela autora.

Conforme Rossato (2014) os sistemas atmosféricos que mais influenciam nessa área são os sistemas polares, seguidos pelos sistemas tropicais continentais com interferência dos sistemas tropicais marítimos. O relevo (Depressão Central) também influenciam o clima desta área, bem como os efeitos de continentalidade. Ainda, os sistemas frontais são os responsáveis por grande parte das precipitações as quais distribuem-se em aproximadamente 90 a 110 dias por ano.

De acordo com o SEMC (2002), o escoamento atmosférico sobre o Rio Grande do Sul é definido pela dinâmica existente entre o Anticiclone Subtropical Atlântico, os deslocamentos de massas de ar polar e a baixa pressão atmosférica do Chaco, localizada ao norte da Argentina. Essa dinâmica faz com que os ventos de leste-nordeste sejam predominantes no sul do Brasil. Os ventos sentido leste-sudeste são predominantes na Depressão Periférica, com velocidade média e 1,5 a 2,0 m/s. A ocorrência de passagens das frentes frias acompanhadas pelo deslocamento de massas de ar polar, mais frequentes durante o inverno e a primavera, leva a

uma breve alteração na direção dos ventos predominantes do território rio-grandense, conforme mostra a Figura 6.

Figura 6 - Esquema mostra o domínio da massa polar sobre o Rio Grande do Sul, onde altera a direção do vento predominante de leste para sudoeste.

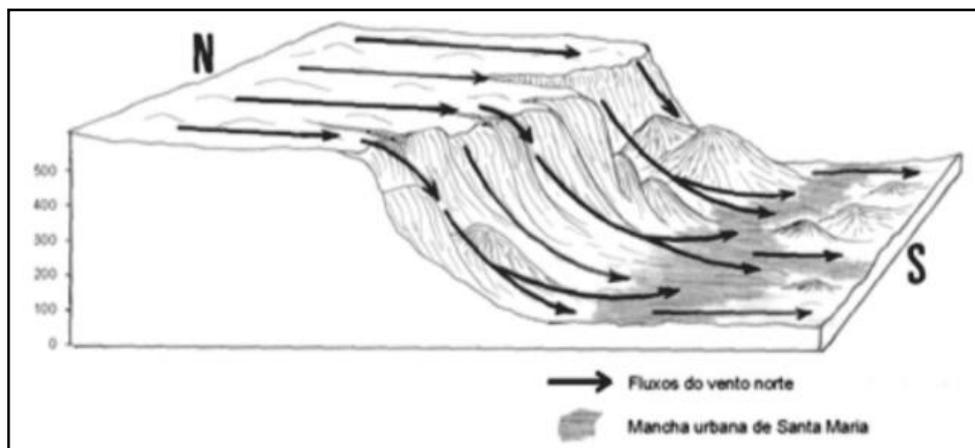


Fonte: SEMC (2002).

O vento Minuano, caracterizado como um sopro de ar polar vindo da direção sudoeste com velocidade que podem exceder 10m/s, é característico do inverno gaúcho. Esta alteração na direção dos ventos ocorre por aproximadamente três dias, quando o padrão de ventos vindos do quadrante leste se reestabelece até a passagem de uma nova frente fria (SEMC, 2002).

Sartori (2016) também ressalta a influência do Vento Norte no município, vento que precede a passagem de uma frente fria pelo estado e que apresenta características locais em Santa Maria. A autora esclarece que a gênese deste evento atmosférico dentro de uma escala zonal depende das condições da circulação regional, pois é necessário que os sistemas e subsistemas atmosféricos atuante na América do Sul estejam possibilitando o desenvolvimento frontogenético e de baixos gradientes de pressão atmosférica. A nível regional a ocorrência do vento norte está associado aos domínios da massa de ar polar velha e massa tropical atlântica continentalizada. Em escala local, o relevo é o grande condicionante geoambiental que produz o vento norte com características típicas em Santa Maria. A Figura 7 apresenta as alterações no fluxo do vento norte que ocorrem por influência do relevo.

Figura 7 - Comportamento do fluxo do Vento Norte regional ao sofrer influência local (relevo) em Santa Maria.



Fonte: SARTORI (2016).

A localização da área urbana ao “sopé da encosta” pode favorecer a formação de pequenas células de baixa pressão locais, devido ao forte aquecimento da fase pré-frontal. Assim, o ar que desce a vertente a sotavento sofre compressão adiabática, aquecendo-se, sofrendo ressecamento e aumentando sua velocidade. Para Sartori (op.cit.), são essas condições geoambientais que tornam o Vento Norte tão específico e típico na cidade de Santa Maria.

Em termos de hidrografia, o município de Santa Maria compreende duas das Regiões Hidrográficas do Estado do Rio Grande do Sul, sendo elas a Região Hidrográfica do Uruguai e a Região Hidrográfica do Guaíba (SEMA, 2020). Dessa forma, o município de Santa Maria funciona como divisor de águas destas duas Regiões Hidrográficas

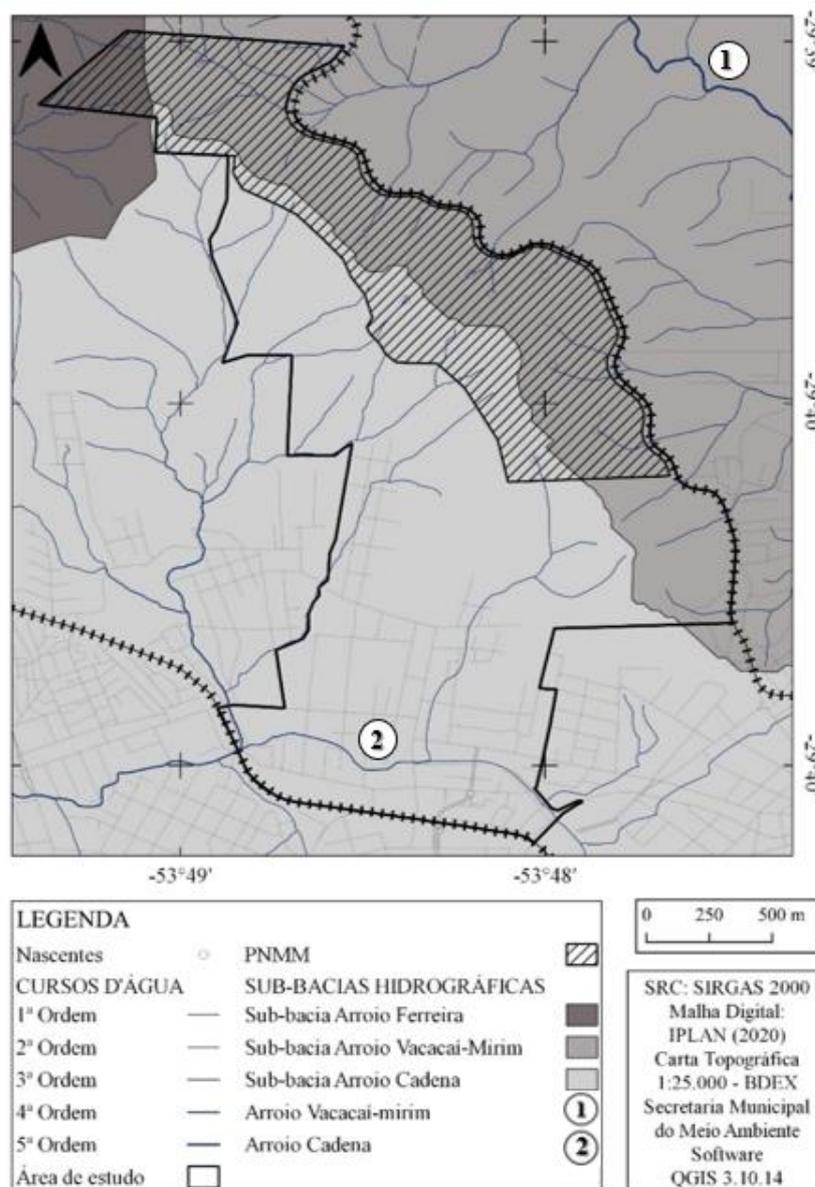
Os canais fluviais existentes na porção norte do Distrito de Santo Antônio e a noroeste do Distrito de Boca do Monte, ao norte de Santa Maria, drenam suas águas para oeste, sendo afluentes da Bacia Hidrográfica do Rio Ibicuí, componente da Região Hidrográfica do Rio Uruguai. Ainda, conforme Sutili et al. (2009), cerca 70% da água potável que abastece o município são pertencentes ao leito do Rio Ibicuí-Mirim, contribuinte direto da Bacia Hidrográfica do Rio Ibicuí (SEMA, 2020).

O restante da área do município, cerca de 90% de seu território, encontra-se inserido na Bacia Hidrográfica do Vacacaí – Vacacaí-Mirim, contribuinte da Região Hidrográfica do Guaíba. O Rio Vacacaí, o maior existente na região, delimita o município de Santa Maria em sua fronteira sul, não atravessando o território municipal. Os demais canais de drenagem do

município não possuem características de rios de grande porte, porém são significativos em seu tamanho (SUTILI et al., 2009; SEMA, 2020).

As sub-bacias hidrográficas do Arroio Cadena e do Rio Vacacaí-Mirim ocupam mais de 73% da área urbana e drenam as porções centro, sul, leste e norte. Os Arroios Ferreira e Passo das Tropas drenam as porções oeste e sudeste do município, servindo como delimitação da área urbana nessas porções (DAL'ASTA, 2009). A Figura 8 mostra a área de estudo desta pesquisa, localizada na porção norte da área urbana de Santa Maria, e como se comportam as redes hídras na área.

Figura 8 - Sub-bacias Hidrográficas da porção norte da área urbana de Santa Maria.



Fonte: Elaborado pela autora.

Com o mapa apresentado na Figura 8 observa-se que a área pertencente ao Parque Natural Municipal dos Morros possui a função de divisor de águas entre a Sub-bacia hidrográfica do Arroio Ferreira, a Sub-bacia do Arroio Cadena e a Sub-bacia do Rio Vacacaí-mirim. Observa-se que os cursos d'água afluentes do Arroio Cadena encontram-se a sul-sudoeste do PNMM, abrangendo a maior parte da área de estudo. O Arroio Cadena corta o Bairro Nossa Senhora do Perpétuo Socorro sentido leste-oeste. O ponto de coleta de dados PSO encontra-se inserido na microbacia do Arroio Cadena, estando a distância estimada de 40 metros do leito do arroio.

A Sub-bacia hidrográfica do Arroio Cadena abrange a maior parte da área urbana do município, com grande extensão do seu curso já canalizado devido ao processo de urbanização. Em diversos pontos das margens do Arroio Cadena há ocupações irregulares, geralmente construídas por populações em situação de vulnerabilidade e com menor poder aquisitivo. Essas ocupações causam a descaracterização das margens do arroio com o despejo de esgotos sanitários e deposição de resíduos sólidos, fatores que contribuem para a obstrução do arroio e o assoreamento de sua calha, aumentando as chances de inundação em episódios extremos de precipitação pluvial.

Os cursos d'água pertencentes sub-bacia hidrográfica do Rio Vacacaí-mirim encontram-se nas porções norte e leste no PNMM. O leito do Vacacaí-Mirim funciona como limite municipal entre Santa Maria e Itaara. O Reservatório do Vacacaí-Mirim, denominada Barragem do DNOS, está situado no limite sudeste do bairro Campestre, de onde as águas são conduzidas para a Estação de Tratamento de Água (ETA), administrada pela Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN). Dessa forma, a Barragem do DNOS contribui em 30% do abastecimento da cidade, além de ter usos para agropecuária e como meio de recreação a partir de seus esportes náuticos (SUTILI et al., 2009). O ponto de coleta de dados PNMM, localizado dentro o Parque Natural Municipal dos Morros, está inserido dentro da microbacia hidrográfica do Vacacaí-mirim (Figura 09).

Figura 9 - Vista do Mirante do Vale do Vacacaí-Mirim, a nordeste do PNMM. Nos morros ao fundo, o município de Itaara.

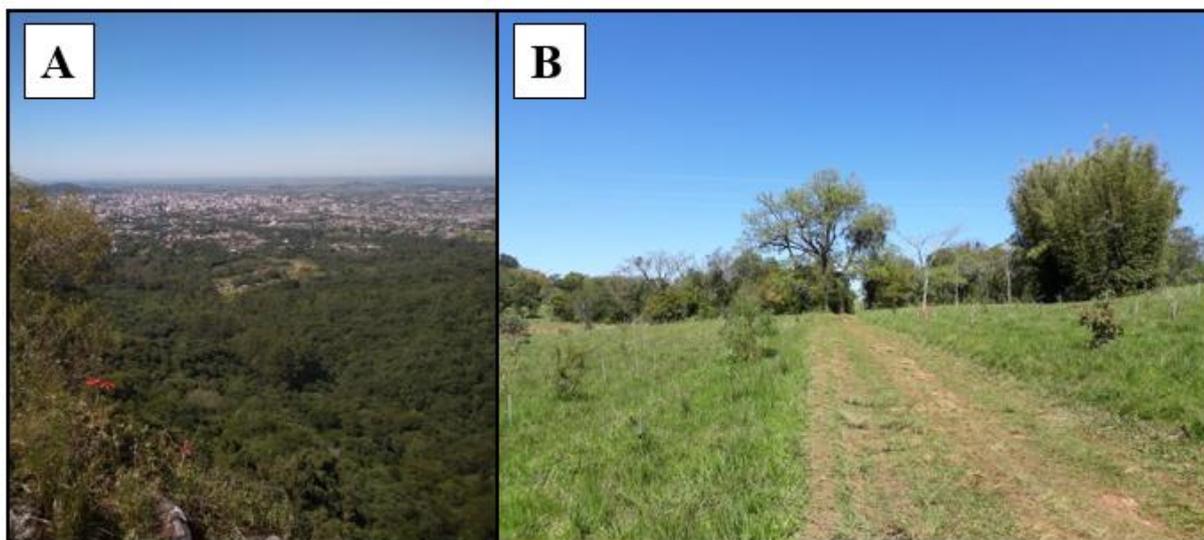


Fonte: Trabalho de Campo (2019).

Em relação a vegetação característica, o município Santa Maria situa-se em uma zona de transição fitogeográfica entre o bioma Mata Atlântica e o bioma Pampa. Marchiori (2009, p.93) caracteriza a paisagem do município como “densas florestas na encosta da Serra Geral, e campos naturais entremeados de matas ciliares e capões, nas planícies e coxilhas da Depressão Central”.

A Figura 10 exemplifica de forma clara os dois aspectos vegetacionais predominantes no município, onde na imagem A apresenta a vista do topo do PNMM em direção sul, no Mirante do Gamo. É possível observar a transição da vegetação de florestas densas na encosta da Serra Geral para a vegetação de campos naturais, ao fundo da imagem, típica do pampa gaúcho. Ainda na imagem B, observa-se a vegetação campestre que ocorre no topo do morro.

Figura 10 – Diferentes tipos vegetacionais que ocorrem na encosta do Rebordo do Planalto (A) e no topo do morro, na área do PNMM (B).



Fonte: Trabalhos de Campo (2018; 2019).

A formação vegetal de Estepe Gramíneo Lenhosas, campos ou pampa gaúcho, tem como característica marcante os campos limpos, tipo de vegetação campestre, predominantemente herbácea, raras formações arbustivas. Também identificados como campos finos, como forma de diferencia-lo dos “campos grossos” presentes no Planalto Médio, os campos nativos sofreram modificações com o passar do tempo devido a sua utilização voltada a criação de gado, cultivo agrícola e também a introdução de espécies nativas. Sua cobertura vegetal é formada por espécies como capim-forquilha (*Paspalum notatum*), grama-tapete (*Axonopus affinis*), capim-caninha (*Andropogon lateralis*), alecrim-do-campo (*Vernonia nudiflora*), a maria-mole (*Senecio brasiliensis*) e o capim barba-de-bode (*Aristida sp.*), entre outros (LONGHI et al., 2000; MARCHIORI, 2009).

As densas florestas remanescentes do bioma Mata Atlântica caracterizam-se pela vegetação do tipo Floresta Estacional Decidual, e estão restritas a escarpa da Serra Geral e morros testemunhos existentes na Depressão Central. A Floresta Estacional Decidual possui como característica seu dossel predominantemente caducifólio, podendo ser composta por espécies como grápia (*Apuleia leiocarpa*), angico (*Parapitadenia rígida*), cabriúva (*Myrcarpus frondosus*), cedro (*Cedrela fissilis*), açoita-cavalo (*Luehea divaricata*), ipê roxo (*Tabebuia heptaphyla*), entre outros (MARCHIORI, 2009). Por estar localizada em uma zona de contato destas duas formações vegetais, as áreas mais baixas do município de Santa Maria

são classificadas como vegetação de Tensão Ecológica, a qual apresenta gradual mudança fitofisionômica entre a vegetação de Estepe Gramíneo Lenhosas e a Floresta Estacional Decidual (LEITE; KLEIN, 1990).

A área do PNMM possui apresenta cobertura vegetal formada por Florestas Estacional Decidual, em estágio avançado de regeneração, sendo estas importantes remanescentes das formações originais da região. Também apresentam formações campestres, formadas por pastagens naturalizadas, vassorais, comunidades rupículas e aquáticas nas partes menos inclinadas das encostas e topo do morro (SANTA MARIA, 2013).

#### **2.4.1 Aspectos históricos e socioeconômicos**

Apesar de área ter sido originariamente ocupada pelos indígenas tupi-guarani, estabelecidos as margens dos rios e arroios da região, a cidade de Santa Maria surgiu dentro de um contexto de disputas territoriais entre portugueses e espanhóis, dentro da história da formação territorial do Rio Grande do Sul. Em meados de 1777 com o estabelecimento do Tratado de Santo Idelfonso foi instalado um acampamento militar provisório com objetivo executar os trabalhos demarcatórios. Este é um dos primeiros registros históricos-geográficos da origem de Santa Maria (BELÉM, 1989; MACEDO, 2012).

A formação social e econômica de Santa Maria teve início com as atividades agro-pastoris (pecuária de gado e cultivo do trigo) realizadas por portugueses e açorianos, comércio criado pelos militares (herdeiros de sesmarias na localidade) e imigrantes alemães e, posteriormente, ao cultivo de terra e atividades industriais iniciadas com a chegada dos imigrantes italianos. A cobertura vegetal do território foi fundamental na influência dos tipos de atividades produtivas que se desenvolveram na região, bem como para o processo de apropriação de terras (MACEDO, 2012).

De acordo com Rocha (2011, p. 275) o crescimento da cidade de Santa Maria ocorre a partir do ano de 1884 com a instalação da primeira linha férrea do município de Santa Maria. A chegada da ferrovia impulsionou a economia e o crescimento da malha urbana da cidade, o que foi fortificado com a expansão da malha ferroviária a partir de 1898, quando a cidade virou o centro ferroviário estadual. Inúmeras benfeitorias na estrutura urbana foram construídas, incentivadas pelo desenvolvimento trazido pelas ferrovias. De acordo com a autora “a história da ferrovia (...)se confunde com a própria história da cidade de Santa Maria, influenciando e modificando a organização espacial e social presente na cidade”.

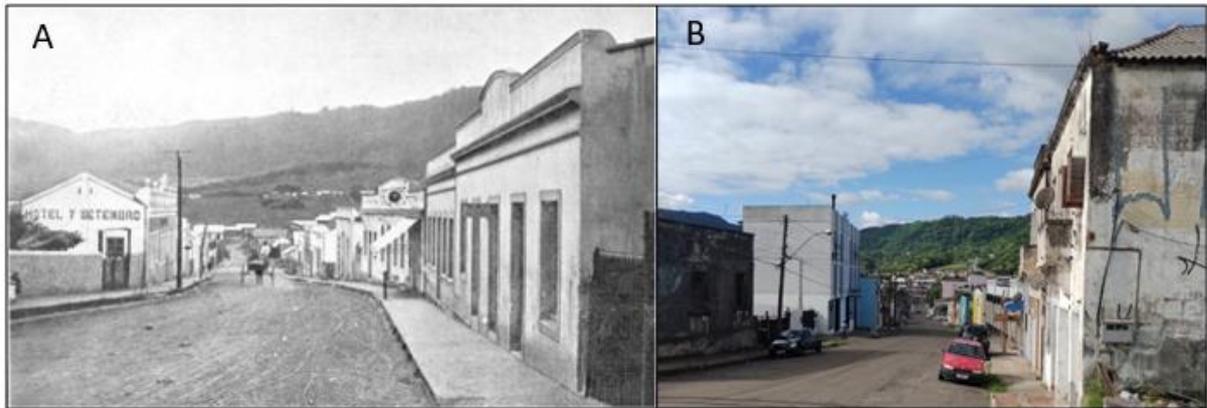
A inclusão de atividades educacionais e militares, a partir da década de 1930, foram fundamentais para o desenvolvimento da cidade, destacando o município em escala regional. A contribuição destes dois setores é bastante significativa para a cidade. O crescimento do setor de comércio e serviços foi impulsionado a partir da necessidade de atender o contingente militar. Atualmente, Santa Maria é polo estadual e nacional de ensino e conta com oito unidades de ensino superior que colaboram ativamente na economia da região. Além disso, o contingente militar da cidade representa o segundo maior contingente operacional do país, com a presença de duas forças armadas, o Exército e a Aeronáutica (SILVEIRA, et al. 2021; IBGE, 2020).

Santa Maria é uma cidade média e, por abrigar instituições públicas federais e empresas locais e regionais de grande porte. Neste contexto, possui poder de comando e decisão sobre a rede urbana regional, influenciando diretamente no desenvolvimento territorial da região Central do rio Grande do Sul, devido a sua localização junto as principais rodovias que interligam norte-sul, leste-oeste no Estado (SILVEIRA, et al. 2021).

Conforme dados disponibilizados pelo IBGE (2020) em sua publicação mais recente, o Produto Interno Bruto (PIB) de Santa Maria referente ao ano de 2018 representou 1,54% do PIB total do Rio Grande do Sul. O setor econômico de Santa Maria que maior participação no PIB municipal é o de serviços, com 66,7%, seguido dos valores da participação da administração pública (18,2%). O setor industrial é o segundo com maior participação no valor municipal do PIB, com 11,8%. Já o setor primário, a agropecuária, se apresenta em último com 3,11% de contribuição.

O bairro Nossa Senhora do Perpétuo Socorro, área de estudo desta pesquisa, é resultado da implantação de loteamentos que ocorreram na zona norte de Santa Maria entre os anos de 1939 e 1956, período o qual Salamoni (2008, apud ROCHA, 2011, p. 263) refere-se como a 3ª fase de crescimento e de estruturação do espaço urbano de Santa Maria. A zona norte da cidade passou a ser um espaço de crescimento da malha urbana a partir da implantação da linha ferroviária. O seu desenvolvimento deu-se da instalação de comércios e hotéis na rua Sete de Setembro, aos arredores da Estação da Viação Férrea de Santa Maria (Figura XX). Ainda, naquele tempo a localidade se chamava Vila Nossa Senhora do Perpétuo Socorro, tendo sido oficializado como bairro somente em 1982 (ROCHA, 2011; IPLAN, 2014).

Figura 11 - Vista da Rua Sete de Setembro no Século XX (A) e no ano de 2021 (B).



Fonte: Imagem A, autor desconhecido; Imagem B, arquivo pessoal da autora.

Atualmente o bairro possui uma área total de 4.694,3 km<sup>2</sup>, destacando-se como o bairro com maior perímetro da R. A. Norte, com 11,709 km. O Bairro Nossa Senhora do Perpétuo Socorro é o segundo bairro com maior número de habitantes da R. A. Norte, com 6.151 habitantes, perdendo somente para o bairro vizinho, Salgado Filho, que possui 7.018 habitantes ao todo. A Região Administrativa Norte, possui no total uma área de 12,5766 km<sup>2</sup>, com de 27.805 habitantes, valor que representa 11,3% da população urbana de Santa Maria. (IPLAN, 2014).

### 3 REVISÃO TEÓRICA

#### 3.1 ABORDAGEM DO CLIMA

##### 3.1.1 Escalas do Clima

A escala, conforme Ribeiro (1993), tem a função de orientar compreensão da extensão de um fenômeno em um determinado tempo. O autor explica que um fenômeno climático é formado por elementos de naturezas diversas, que ocupam o mesmo tempo e espaço, em um regime de trocas energéticas recíprocas e interdependentes.

O referencial escalar de um fenômeno é parte integrante da metodologia de uma pesquisa. Ribeiro (1993) ressalta que deve haver uma coerência entre a extensão e a duração do fenômeno climático e as técnicas utilizadas para a obtenção de dados, análise estatística e apresentação gráfica e cartográfica dos fenômenos climatológicos. Assim, cada nível escalar apresenta uma abordagem específica. O autor estabelece cinco ordens de grandeza têmporo-espacial para os fenômenos climáticos, sendo elas, o Clima Zonal, o Clima Regional, o Clima Local (ou Mesoclima), o Topoclima e o Microclima.

A escala de Clima Zonal é definida a partir da circulação primária ou geral da atmosfera. Os fenômenos climáticos dentro desta escala se apresentam em uma vasta extensão horizontal, englobando verticalmente toda a atmosfera. O clima zonal ocorre por conta de atuação de fatores como a latitude, altitude, continentalidade e o movimento de rotação da Terra. A ocorrência pode durar de uma semana a seis meses (RIBEIRO, 1993). Para Oscar Júnior (2012), a formação do clima zonal ocorre a partir do equilíbrio entre o recebimento desigual de calor entre as faixas latitudinais no globo terrestre, o deslocamento dos ventos no sentido oeste provocados pelo movimento de rotação da Terra, e a distribuição dos oceanos e continentes.

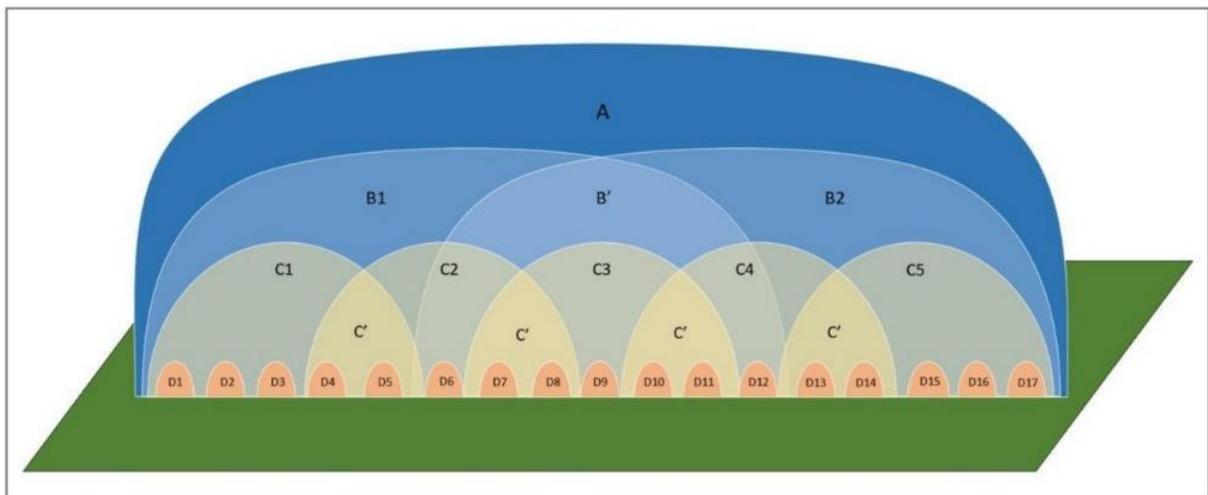
Ainda, Oscar Júnior (2012) destaca que o clima zonal pode ser desdobrado em unidades menores, onde novos fatores adquirem importância pois interagem com fatores que atuam na escala zonal do clima. Ribeiro (1993) coloca esta nova unidade como Clima Regional, formado pela modificação da circulação geral da atmosfera, ocasionada por um conjunto de fatores inerentes a superfície. Neste sentido, passam a ser consideradas a rugosidade dos continentes, como a exposição, forma, e orientação do relevo, bem como a distribuição e forma das massas continentais e oceânicas, as correntes marítimas, a continentalidade e maritimidade. Estes fatores geram perturbações sinóticas na circulação atmosférica primária, criando centros de

ação intermediários entre a circulação primária e secundária gerando as massas de ar e frentes conectadas aos sistemas de circulação atmosféricas (RIBEIRO, 1993).

A extensão, permanência e frequência da atuação dos sistemas de circulação atmosférica secundária são responsáveis pelas condições estáveis para o desenvolvimento de um ambiente bio-morfo-pedogenético característico das regiões naturais, como os domínios morfoclimáticos determinados por Ab'Saber (1970). De acordo com Ribeiro (op.cit.), a abordagem para a compreensão dos climas regionais baseia-se no ritmo de variação anual, sazonal e mensal dos elementos climáticos representativos da atuação dos sistemas atmosféricos que caracterizam a circulação atmosférica intermediária.

Serafini Júnior et al. (2012), realizaram uma adequação de escalas climatológicas para planos de manejo, utilizando o Parque Estadual de Intervalos como objeto de estudo. Os autores observam que as características regionais são fundamentais para o entendimento da dinâmica atmosférica de uma determinada região e, ainda assim, não são suficientes para se ter um detalhamento climático dos atributos existentes em uma área de estudo inserida na escala do clima local. Dessa forma, foram estabelecidas escalas intermediárias, conforme apresentado na Figura 12.

Figura 12 - Esquema das escalas climáticas propostas por Serafini Júnior (2012).



Na Figura o A representa escala global, B1 e B2 a escala regional, B' o clima de transição, C1 a C5 as escalas climáticas locais, C' clima de transição e D1 a D17 a escala microclimática.

Org.: Serafini Júnior.

Fonte: LinkedIn (2021).

Para alcançar um nível maior de detalhamento, além das escalas já definidas como regional e local, foram incluídas as escalas sub-regional, topoclimática e microclimática. Neste

sentido, para o estudo em escala do clima regional foram consideradas as características da circulação atmosférica sobre a região. Para a escala climatológica intermediária sub-regional os autores tiveram como referência espacial geográfica o limite do Parque Estadual Intervales, utilizando dados pluviométricos para a análise.

O Clima Local ou mesoclima é resultante das modificações provocadas pela interferência de feições fisiográficas ou antrópicas no fluxo energético ou transporte de massa da circulação regional, gerando subsistemas de circulação secundária. Ribeiro (1993) destaca o relevo como influenciador no fluxo da circulação de superfície, gerando condições para a ocorrência de chuvas orográficas ou sombreamento orográfico, tendo também importante função na distribuição da radiação líquida, retenção de vapor d'água e armazenamento de calor sensível. Ribeiro (op. cit.) aponta que a atuação concomitante desses parâmetros é suficiente para criar variações no clima regional, gerando climas locais.

Oscar Júnior (2012), ao tratar sobre o clima local expõe que o estudo do clima local não deve ser realizado sem se ter suporte em outras áreas do conhecimento geográfico, como a geomorfologia, a geografia urbana, pedologia, biogeografia, fatores que são influenciados e influenciam o clima, promovendo sua especialização.

Ainda Ribeiro (1993) coloca que a ação antrópica pode servir como produtora de climas locais, principalmente sobre as cidades, onde a alteração da cobertura do solo (impermeabilização e aumento da rugosidade) associada à emissão de poluentes, pode ocasionar o fenômeno chamado clima urbano. De acordo com o autor

A ação antrópica na “criação” de climas locais pode ser vista sob dois aspectos que atuam, geralmente, em conjunto. De um lado, deve-se considerar a capacidade que tem a sociedade em alterar a cobertura do solo, substituindo a vegetação natural por agricultura e por edificações. Por outro lado, são cada vez mais significativas as alterações provocadas pelas atividades humanas na composição da atmosfera, introduzindo gases e materiais particulados que irão intervir no balanço de radiação e na retenção de umidade e calor sensível na atmosfera, particularmente na Camada Limite Planetária, com altura máxima variável entre 1200 e 2000 metros. (RIBEIRO, 1993, p. 4)

É nesta camada onde ocorrem os processos convectivos gerados pelo aquecimento diferencial da superfície e pela rugosidade do terreno. Os estados atmosféricos em escala de clima local podem durar entre 12 horas e uma semana pois responde a sucessão habitual dos tipos de sistemas e subsistemas atmosféricos, caracterizados pela variação diária dos elementos climáticos que definem os tipos de tempo (RIBEIRO, 1993).

Para a análise do clima local são necessários registros de dados pela rede de observação meteorológica básica, a identificação de subsistemas produtores de tempo instável (imagens de radar meteorológico) e, também, a análise sinótica em mesoescala, realizada a partir de cartas do tempo fornecidas pelos Distritos Regionais ou Departamento Nacional de Meteorologia. Conforme Ribeiro (1993), o método da análise rítmica proposta por Monteiro (1971) auxilia no entendimento da variação diária dos tipos de tempo e elementos climáticos, associando a gênese do tempo e do clima ao impacto causado na natureza e na sociedade.

Andrade (2005) coloca o clima local como uma combinação de elementos característicos, os quais podem corresponder a um tipo de uso de solo diferenciado (bairro, parque urbano), ou a topografia local (vale, morro, etc). Para Ribeiro (1993) e Monteiro (2003), a escala topoclimática é uma sub-divisão da escala de clima local, e leva em conta a rugosidade do terreno e a diferença da energia solar recebida pelas diversas faces de exposição do mesmo. Assim, a análise topoclimática auxilia no detalhamento do clima local, seja ele urbano ou natural.

O Topoclima é a escala climática a qual Ribeiro (1993) reconhece como sendo uma derivação do clima local, o qual diferencia-se do mesmo por conta da rugosidade do terreno e diferença na energização do mesmo durante o período diurno para as diversas faces de exposição a radiação solar. No período noturno, a rugosidade do terreno provoca a drenagem do ar frio em direção aos fundos de vale, provocando um padrão de circulação terciária. A extensão horizontal desta escala a forma do relevo ou ao tamanho da vertente que lhe dá origem, variando entre 0,5 a 5,0 quilômetros, interferindo na estrutura vertical da atmosfera em até 50 a 100 metros de altura, coincidindo com a camada Limite Superficial.

Para o estudo dos topoclimas os dados devem ser gerados em estações automáticas não convencionais, sejam fixas ou móveis, com registros realizados em escala horária. As observações devem ser episódicas, e os registros relacionados ao balanço de energia, transferência de umidade através do sistemas solo-planta-atmosfera e às transferências de massa e momentum devem ser valorizadas levando em consideração a variação diurna e noturna. Ainda, o mapeamento das declividades, exposição de vertentes e uso do solo forneceram indicadores para a identificação dos topoclimas, de forma a detalhar o clima local, seja urbano ou rural. (RIBEIRO, 1993).

Ribeiro (1993) e Oscar Júnior (2012) definem como microclima a escala climática obtida através do estudo da magnitude das trocas gasosas e energéticas entre as feições ou estruturas particularizadas (objetos, plantas e animais) dispostas na superfície da Terra e o ar que as envolve. Ainda, de acordo com Ribeiro (1993)

A microrugosidade, a cor e textura das superfícies, aliadas aos abrigos dispostos junto aos solos, como as edificações e a vegetação constituem-se nos elementos que promovem a diferenciação na magnitude das trocas energéticas e gasosas que irão, por sua vez, modificar o comportamento do ar circundante. (RIBEIRO, 1993, p. 6)

O autor ressalta que a extensão do microclima é variável e depende do ambiente do qual é originário, e sua existência pode ser pesquisada a partir do balanço de energia da superfície de determinado espaço. Quanto aos registros necessários para o estudo do microclima, Ribeiro (1993) salienta que eles devem ser obtidos com aparelhos de alta sensibilidade e precisão, capazes de registrar a variação que ocorre nos elementos climáticos em um curtíssimo período de tempo (minutos ou segundos). Já o tratamento dos dados deve levar a definição de mosaicos de microclimas, seus agentes controladores e seu efeito no ar em seu entorno.

Monteiro (2003) em seus estudos voltados ao clima urbano relacionou as unidades climáticas com as ordens de grandeza taxonômicas das formas e os graus de urbanização. O autor também destaca as unidades de superfície, as formas urbanas e as estratégias de abordagem para cada espaços climáticos. Oscar Júnior (2012) ao dissertar sobre a hierarquia da organização funcional destaca a existência de três níveis climáticos prioritários: o 1º Nível Zonal; o 2º Nível Regional e o 3º Nível Local. De acordo com o autor, cada nível possui uma função pré-estabelecida. O Nível Zonal tem como função a diversificação climática do globo em faixas ou grandes zonas, tendo como fatores de organização climática a latitude, a altitude, a continentalidade e o próprio movimento de rotação da Terra. A função do Nível Zonal seria o de organizar o clima em unidades menores de acordo com o ritmo anual, sazonal e mensal dos principais elementos climáticos e a circulação secundária.

De acordo com o autor, os estudos realizados a Nível Local são particularizados, e por isso, abrangem diversas outras áreas do conhecimento geográfico ao investigar fatores que influenciam ou são influenciados pelo clima. Por isso, possui a função de especialização. Ainda, devem ser consideradas as grandezas intermediárias, as quais o autor se refere como “climas intrarregionais”, existentes entre o nível regional e o nível local. Oscar Júnior (op.cit.) avalia os demais níveis estabelecidos por Monteiro (2003) e Ribeiro (1993) (Mesoclima, Topoclima e Microclima) como desdobramentos do clima local, com igual função de especialização.

Oscar Júnior (2012) e Ribeiro (1993) defendem a definição da escala climática a ser abordada em uma pesquisa como de fundamental importância para se estabelecer a área de extensão e o período temporal da análise, além de auxiliar a definir os métodos e técnicas adotados para se atingir os objetivos propostos. Neste sentido, a escala climática utilizada para

esta pesquisa é a topoclimática, ao analisar a variabilidade do clima local relacionando-as com as rugosidades do terreno.

### **3.1.2 Variabilidade dos atributos climáticos no topoclima**

Dentro do contexto de escala local, as características climáticas são definidas a partir da interação entre os fatores estáticos e os fatores dinâmicos. Para a escala topoclimática, conforme discutido anteriormente, o principal fator estático que se apresenta é a disposição do relevo. Para Fritzsons et al. (2017), em regiões tropicais e subtropicais, a diferença altitudinal de centenas de metros já provoca mudanças sensíveis no ambiente. Desta forma, a compreensão da variabilidade dos atributos climáticos, diante de uma diferença topográfica local, é fundamental para compreender o topoclima.

Dentre os atributos climáticos, a radiação solar é a mais importante. Ela é a fonte primária de energia do planeta Terra e responsável por todos os processos atmosféricos. A quantidade de energia solar recebida no topo da atmosfera é influenciada por fatores como a intensidade da emissão solar, a distância entre o Sol e a Terra (a recepção de energia é maior durante o período), a altura do sol e a duração do dia. Além desses fatores, ao atravessar a atmosfera a radiação é atenuada por três processos: espalhamento ou difusão, absorção e reflexão (TUBELLIS; NASCIMENTO; 1984, BARRY; CHORLEY, 2013).

A radiação solar que entra na atmosfera é absorvida, em certos comprimentos de onda, por gases atmosféricos, mas, em maior parte, a radiação de ondas curtas é transmitida sem absorção. Uma parcela da radiação solar que chega à superfície terrestre em ondas curtas é absorvida pela superfície, chamada radiação solar direta. Outra parcela atinge a superfície e após sofrer o processo de difusão, denominada radiação solar difusa. A parcela de radiação que é absorvida pela superfície constitui-se na radiação solar absorvida. O restante da radiação é refletido em ondas curtas, sendo essa denominada de radiação solar refletida. (TUBELLIS; NASCIMENTO, 1984).

A superfície terrestre, após absorver a radiação solar direta, transforma-as em radiação terrestre e emite-as de volta para a atmosfera em forma de ondas eletromagnéticas não visíveis (ondas longas). Cerca de 90% desta energia é absorvida na atmosfera pelo dióxido de carbono, ozônio, vapor d'água e nuvens, ocasionando o aquecimento atmosférico. A diferença entre a radiação solar em ondas curtas recebida pela superfície e a irradiação terrestre emitida em ondas

longas de volta para atmosfera constitui o balanço de energia. (TUBELLIS; NASCIMENTO, 1984).

Conforme Barry e Chorley (2013, p.68), o balanço de energia relaciona-se diretamente com a variabilidade diurna e anual de temperatura. Nas latitudes médias e baixas, em condição de céu claro, o regime diurno de balanço radiativo geralmente apresenta um máximo de absorção de radiação solar próximo ao meio dia. Da mesma forma, um máximo de radiação terrestre é emitida pela superfície aquecida próximo ao meio dia, quando está mais quente. A diferença entre a radiação absorvida pela superfície e a irradiada por ela é o saldo de radiação, e em geral, é positiva entre uma hora após o nascer do sol e uma hora antes do pôr do sol, com máximo ao meio dia.

Durante o balanço positivo de radiação terrestre, o ar em contato com a superfície começa a ser aquecido por condução. Em uma situação atmosférica estável, a parcela de ar aquecido em superfície ao se expandir, se eleva verticalmente, sendo substituído por uma parcela de ar mais densa. Neste processo de convecção livre ocorre o aquecimento do ar (TUBELLIS; NASCIMENTO, 1984).

Ainda, ocorre um atraso em relação a temperatura máxima de superfície do solo e a do ar. Neste caso, a temperatura máxima do ar em contato com a superfície ocorre de forma simultânea a temperatura máxima da superfície. Porém, em uma camada superior, distante cerca de 2 metros de altura em relação ao solo, este instante de temperatura máxima ocorrerá cerca de duas horas depois. Em contraposição, durante o período noturno, por conta dos processos radiantes, ocorre o resfriamento do solo, ocasionando uma inversão nos fluxos onde a atmosfera, anteriormente aquecida, passa a transferir calor para o solo (VIANELLO; ALVES, 1991).

Enquanto o ar se eleva, sofre o processo de resfriamento adiabático, onde a pressão exercida pela atmosfera nesta parcela de ar diminui, bem como a sua densidade, ocorrendo a expansão da parcela de ar e conseqüentemente à diminuição da temperatura (TUBELLIS; NASCIMENTO, 1984). A redução vertical da temperatura na troposfera é em média de  $6,5^{\circ}\text{C}/\text{km}$ , ou  $0,65^{\circ}\text{C}$  a cada 100 metros, não sendo este um valor constante, podendo variar conforme mudanças em altitude, estação do ano e localização no globo terrestre (BARRY; CHORLEY, 2013).

De acordo com Fritzsos, et al. (2015) a variabilidade da temperatura do ar recebe influência da altitude, latitude e longitude. Isso faz com que cada local apresente um gradiente térmico vertical médio específico. Galvani et al. (2010), apontam que, na escala local, além

destes fatores, a cobertura vegetal também se apresenta como um fator fundamental na variação da temperatura do ar.

Estudos realizados na escala topoclimática investigaram a influência da altitude na variabilidade da temperatura do ar. Galvani et al. (2005) estudaram o perfil topoclimático do Pico das Agulhas Negra, no Parque Nacional de Itatiaia, entre as cotas de 1800m e 2800m, encontraram um gradiente vertical de temperatura de  $-0,58^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ . Galvani et al. (2008) ao investigarem a temperatura do ar em um perfil topoclimático entre as cotas de 150 m a 950 m de altitude no Parque Estadual Intervales identificaram um gradiente atmosférico de  $0,51^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ .

Lima et al. (2010) estudaram a variabilidade da temperatura no perfil topoclimático no Parque Nacional do Caparaó (MG/ES), encontrando gradiente térmico de  $-0,40^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ . Moraes e Galvani (2015) avaliaram a variabilidade da temperatura do ar entre as cotas de 80 a 732 metros de altitude na Serra do Mar, litoral paulista, e identificaram o gradiente térmico de  $0,57^{\circ}\text{C}/100\text{m}$  para a temperatura média. Já o gradiente térmico encontrado para a temperatura mínima e máxima fora de  $-0,69^{\circ}\text{C}$  e  $-0,77^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ , relativamente maiores do que o valor médio encontrado.

Estudos similares foram realizados por Hoppe et al. (2012) e Silva et al. (2017), em dois pontos isolados na região central do Rio Grande do Sul. Os dois autores realizaram análises termo-higrométricas em um perfil topoclimático. Hoppe et al. (2012) realizaram estudo topoclimática utilizando dados coletados em 20 de abril de 2012 (outono) em 12 pontos com diferença altimétrica de 468 metros. A partir dos valores registrados, os autores observaram maior influência da altitude na temperatura do ar do que na umidade relativa do ar.

Já Silva et al. (2017) realizou análise do perfil topoclimático do Cerro do Botucaraí, no município de Candelária, utilizando dados referentes aos meses de abril e maio de 2016, coletados em dois pontos com diferença altimétrica de 469 metros. Os autores reconheceram a variação de altitude como principal fator causador da variabilidade da temperatura e umidade relativa do ar na localidade.

O gradiente térmico na encosta sul do Himalaia central foi investigado por Kattel et al. (2012) utilizando dados de 56 estações meteorológicas situadas entre as altitudes de 72 a 3900 metros, registrados em um período de 20 anos. Os autores encontraram o gradiente térmico anual de  $0,52^{\circ}\text{C}/100\text{m}$  para a temperatura média. Já para as temperaturas máxima e mínima, o gradiente encontrado é de  $0,49^{\circ}\text{C}/100\text{m}$  e  $0,54^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ , respectivamente. Os autores concluíram que o gradiente térmico sofre influência direta das condições atmosféricas, sendo

que no inverno e verão os gradientes são menores e nos períodos de pré-monções e pós-monções os gradientes são maiores.

Wang et al. (2017) analisaram a variação diurna e sazonal do gradiente térmico no período de agosto de 2016 a agosto de 2017 a partir da temperatura do ar registrada no flanco norte da porção ocidental da Cordilheira de Qinling, na China. Os autores encontraram um gradiente térmico anual de  $0,45^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ ,  $0,44^{\circ}\text{C}/100\text{m}$  e  $0,40^{\circ}\text{C}/100\text{m}$  para a temperatura média, temperatura mínima e temperatura máxima, respectivamente. Sazonalmente o gradiente térmico encontrado para as temperaturas médias e mínimas não apresentaram variações em comparação ao gradiente térmico anual. Já as temperaturas máximas apresentaram um gradiente térmico maior durante o inverno ( $0,51^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ ) e menor durante da primavera ( $0,29^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ ). Ainda, os gradientes térmicos diurnos encontrados durante o estudo apresentaram variação mais significativa em relação aos gradientes térmicos noturnos.

Recentemente Baratto et al. (2018) realizaram a avaliação do gradiente térmico na bacia hidrográfica do Rio do Boi em situação invernal, no Parque Nacional dos Aparados da Serra (RS/SC). Para isto foram utilizados seis abrigos meteorológicos de baixo custo, instalados entre as cotas altimétrica de 55 a 1006 metros de altitude. O gradiente térmico encontrado foi de  $-0,5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ , calculado entre o ponto com a menor temperatura média e o ponto com maior temperatura média, que não representam necessariamente a cota mais alta e mais baixa do perfil topográfico.

Em um estudo sobre as variações de temperatura do ar e do solo em diferentes elevações na montanha de Luya, no território da China, Xue et al. (2019) encontraram um gradiente térmico de  $0,67^{\circ}\text{C}/100\text{m}$  para a temperatura do ar, o qual apresentou variação entre  $0,57^{\circ}\text{C}/100\text{m}$  e  $0,79^{\circ}\text{C}/100\text{m}$  conforme análise mensal. Já a temperatura do solo apresentou um gradiente de  $0,48^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ . Os autores apontam que a variabilidade altitudinal e sazonal ocasionada por fatores locais é fundamental ao se considerar os diferentes microclimas encontrados dentro da topografia.

A ocorrência de inversão térmica foi identificada nos estudos realizados por Galvani et al. (2005; 2008), Lima et al. (2010), Kattel et al. (2012), Silva et al. (2017) e Baratto et al. (2018). A inversão térmica é caracterizada como processo inverso no comportamento térmico padrão da atmosfera, onde a temperatura do ar passa a aumentar com a distância do solo (WU et al., 2014).

Kassomenos e Koletsis (2005) investigaram a variação sazonal das inversões térmicas em Atenas, Grécia, no período de 1974 a 2001. Os autores observaram que a inversão térmica está relacionada a condições de estabilidade da baixa atmosfera e, por isso, sua ocorrência está

condicionada a diferentes causas, bem como sua frequência varia conforme as estações do ano. Fritzons et al. (2015) ao estudarem o gradiente térmico no Rio Grande do Sul identificaram uma menor temperatura do ar nos vales durante o período de outono-inverno, devido a uma maior permanência das inversões térmicas neste período.

Ao estudar a ocorrência de inversão térmica no Pico da Bandeira, no Parque do Alto Caparaó, Lima et al. (2010) observaram que fatores topográficos como a altitude, a forma e a orientação de vertentes o relevo influencia na variação vertical da temperatura do ar. Já em condições de inversão térmica estes fatores potencializam o acúmulo de ar frio nas áreas de menor altitude, invertendo o perfil térmico da camada mais baixa da atmosfera.

Em locais de acentuada topografia, noites claras e de ventos fracos favorecem o desenvolvimento de circulações atmosféricas locais, incluindo fluxos ar ascendentes e descendentes, bem como a formação de piscinas frias (Cold Pools) nas áreas mais baixas (Jimenez et al., 2015). O ar mais resfriado em contato com solo desloca-se pelas encostas até os vales, onde se acumula. Conforme Varejão-Silva (2006) a este acúmulo de ar resfriado denomina-se nevoeiro de radiação e segundo o autor

Sua gênese é devida ao arrefecimento noturno do solo por emissão de energia radiante. O ar, em contato com o solo arrefecido, perde calor por condução, tornando-se, mais frio que a camada atmosférica imediatamente acima. Próximo à superfície, portanto, a temperatura do ar aumenta com a distância ao solo, estabelecendo-se uma inversão térmica a uma certa altura (VAREJÃO-SILVA, 2006, p. 350).

Este ar frio acumulado nos vales, em caso de intenso resfriamento noturno, pode atingir a saturação dando início ao processo de condensação. Visto de lugares mais altos, esses nevoeiros tapam os vales completamente, como um “mar de nuvens” (VAREJÃO-SILVA, 2006).

Ijima e Shinoda (2000) ao investigarem as mudanças sazonais na formação de piscinas de ar frio em uma área subalpina da cordilheira de Yatsugatake em período de verão e outono. Os autores identificaram uma menor frequência de nevoeiro na temporada de frentes estacionárias, e uma tendência de aumento gradual na frequência de nevoeiros em situações sinóticas com influência de anticiclones. Paula et al. (2015) observaram que, em Santa Maria, os nevoeiros são mais persistentes durante os meses mais frios, quando sua ocorrência é mais frequente, com visibilidade bem menor em relação aos meses mais quentes. A Figura 13 apresenta um exemplo desta ocorrência em Santa Maria.

Figura 13 – Nevoeiro de radiação em Santa Maria, visto do Morro das Antenas, zona norte de Santa Maria.



Fonte: Acervo pessoal de Marina Ferrarese (2020).

O vapor d'água presente na atmosfera é o maior responsável pela perda de energia para o espaço em forma de radiação infravermelha. De acordo com Barry e Chorley (2013, p. 79), pelo menos 75% da energia da superfície liberada para a atmosfera são provenientes do processo de condensação do calor latente resultado do processo de evaporação que ocorre durante a formação de nuvens e produção de chuva. O teor de umidade da atmosfera pode ser quantificado da massa total de água contida em um determinado volume de ar, ou seja, pela densidade do vapor d'água. Essa medida é determinada como umidade absoluta, e é expressa em gramas por metro cúbico ( $\text{g}/\text{m}^3$ ) (BARRY; CHORLEY, 2013).

Ao processo de transferência de água da superfície para a atmosfera denomina-se de evaporação. Este processo pode ser observado em solo úmido, sem a presença de vegetação, em superfícies hídricas naturais e também no processo de sublimação verificado nas superfícies formadas por gelo. A transpiração é definida enquanto um processo biofísico, onde a umidade resultante da passagem da água pelo metabolismo da planta é transferida para a atmosfera. Assim, o termo evapotranspiração é definido como sendo o processo de transferência de água

para atmosfera que ocorre e forma simultânea, seja pela evaporação da água do solo e pela transpiração da vegetação (PEREIRA et al., 2009).

Para Varejão-Silva (2006), processo de evapotranspiração pode ser explicado a partir da teoria cinética dos gases, onde a passagem da água para o estado gasoso é resultante da perda de calor latente, o qual está condicionada ao saldo de energia disponível a superfície. Em caso de saturação da camada atmosférica próxima a superfície, a quantidade de vapor d'água que deixa a superfície em estado gasoso é a mesma que a ela retorna em estado líquido, no mesmo período. O vento é o maior responsável pela remoção do vapor d'água da atmosfera, evitando a saturação. Dessa forma, o fluxo vertical do vapor d'água para a atmosfera é controlado pelo saldo de energia disponível, pela velocidade do vento e pelo teor de umidade na camada de ar adjacente à superfície. O autor ainda destaca a importância do estudo da evapotranspiração da perspectiva meteorológica ao afirmar que

O vapor d'água age como um eficiente meio de transporte meridional de energia (calor latente) interferindo no balanço energético em escala planetária. As áreas que atuam como fontes importantes do vapor d'água atmosférico, tais como a zona tropical dos oceanos e as florestas tropicais, representam sumidouros de energia. Reciprocamente, as porções da atmosfera que atuam como sumidouros de vapor d'água são, concomitantemente, fontes de energia, face ao calor latente liberado quando do retorno do vapor d'água à fase líquida ou sólida (VAREJÃO-SILVA, 2006, p. 394).

Neste sentido, a evapotranspiração apresenta-se como um processo atmosférico oposto ao da precipitação pluviométrica dentro do ciclo hidrológico, ou seja, enquanto a chuva ocorre no sistema atmosfera-superfície a evapotranspiração é o processo que transfere a umidade no sistema superfície-atmosfera. (CAMARGO; CAMARGO, 2000).

Buriol et al. (2014) realizaram um estudo de espacialização da evapotranspiração potencial mensal e anual na bacia hidrográfica do Rio Vacacaí, no estado do Rio Grande do Sul, utilizando de imagens SRTM e equações de regressão para o cálculo das médias mensais e anuais da evapotranspiração potencial e a altitude, latitude e longitude. Os autores observaram que a variação espacial da evapotranspiração potencial média mensal entre os meses de outubro e março é influenciada pela altitude, e entre o período de maio a setembro a variabilidade está condicionada pela latitude e continentalidade.

Werlang e Werlang (2021) analisaram o balanço hídrico no bairro Camobi, em Santa Maria, Rio Grande do Sul, a partir da metodologia proposta por Thornthwaite e Matter (1955). Para isto foram utilizados dados de precipitação pluviométrica (mm) e temperatura do ar (°C) médias mensais registradas no período de 2010 a 2017. Os autores observaram, para a área de

estudo, a ocorrência de excesso de água no solo em praticamente todos os meses do ano, não sendo caracterizado déficit hídrico. Ainda, apontam maior evapotranspiração durante o verão, com registro de armazenamento de água no solo.

Caminho inverso ao da evapotranspiração, a precipitação refere-se a toda e qualquer forma de água que se deposite na superfície terrestre, seja líquida ou congelada, derivada da atmosfera. As formas líquidas de precipitação mais comuns são a chuva e o orvalho e as congeladas são a neve, o granizo, geada e graupel. Dentre os tipos de precipitação citados, apenas a chuva e a neve colaboram de forma expressiva para os acumulados totais de precipitação (BARRY; CHORLEY, 2013).

A quantidade de precipitação é expressa na forma da espessura da camada d'água que se formaria em uma superfície horizontal, plana e impermeável, com área total de 1m<sup>2</sup>, onde adota-se o milímetro como unidade de medida. A medição da precipitação pluvial pode ser realizada através de dois instrumentos de leitura direta, denominados pluviômetro e pluviógrafo. O pluviógrafo apresenta vantagem sobre o pluviômetro, pois além possui a capacidade de realizar os registros pluviométricos, também determina dados a intensidade e a duração da precipitação (VAREJÃO-SILVA, 2006).

A precipitação pluviométrica e sua variabilidade espaço-temporal agem como uma forma de controle no ciclo hidrológico, influenciando diretamente na paisagem e no meio ambiente de uma região. De acordo com Tucci e Clarke (1997)

A vegetação tem um papel fundamental no balanço de energia e no fluxo de volumes de água. A parcela inicial da precipitação é retida pela vegetação; quanto maior for a superfície de folhagem, maior a área de retenção da água durante a precipitação; esse volume retido é evaporado assim que houver capacidade potencial de evaporação. Quando esse volume, retido pelas plantas, é totalmente evaporado, as plantas passam a perder umidade para o ambiente através da transpiração (TUCCI; CLARKE, 1997, p. 136).

Ainda, a parcela de chuva que chega ao solo pode infiltrar ou escoar superficialmente. A água que infiltra pode percolar para o aquífero ou formar um escoamento sub-superficial até a superfície ou um curso d'água. O escoamento superficial tem seu fluxo sentido aos cursos d'água que formam a drenagem principal das bacias hidrográficas. Neste sentido, destaca-se a precipitação e a evapotranspiração como os dois processos mais importantes do ciclo hidrológico, onde assumem papel fundamental no balanço hídrico climático.

As chuvas orográficas (ou chuvas de relevo), ocorrem devido ao efeito orográfico gerado pela influência do relevo. O ar que atinge a vertente barlavento de uma montanha é

forçado a se elevar, condensando-se por conta da redução adiabática da temperatura, o que causa chuvas de maior intensidade e volume nas áreas com maior altitude (SELUCHI et al., 2011). De acordo com Barry e Chorley (2013, p. 133) pesquisas realizadas na Suécia mostram que até mesmo relevos baixos, como colinas, apresentam a ocorrência de efeito orográfico. Segundo os autores “colinas florestadas, elevadas apenas 30-50 metros acima das terras baixas circundantes, aumentam a quantidade de precipitação localmente em 50-80% em períodos ciclônicos”.

Inúmeros estudos foram realizados utilizando-se de modelos numéricos e simulações meteorológicas com a finalidade de estudar a espacialização da precipitação pluviométrica e a ocorrência do efeito orográfico pelo mundo. Dentre eles encontram-se os estudos de Minder et al. (2008) que investigaram a chuva orográfica no Parque Nacional Olympic Mountains; Davolio et al. (2006) os quais pesquisaram a influência orográfica em convecções profundas no sul da França; Couto et al. (2016) onde os autores utilizaram simulações numéricas ao investigar a chuva orográfica na Ilha Madeira; Sindosi et al. (2015) estudaram a influência da orografia na distribuição e na volume de precipitação no noroeste da Grécia; Sarmadi et al. (2019) realizaram uma simulação de precipitação orográfica nas montanhas nevadas no sudeste da Austrália; ainda, Chen et al. (2011) estudaram o efeito orográfico em situações de chuvas volumosas no nordeste de Taiwan durante o período de monção . Estes estudos apontam que, além dos fatores climáticos inerentes a ocorrência de precipitação pluviométrica, a topografia um fator que acentua a diferença na espacialização da precipitação pluviométrica.

Estudos sobre a ocorrência de efeito orográfico também já foram realizados no Brasil. Dentre eles alguns se destacam, como o de Milanesi e Galvani (2011), que avaliaram a relação entre a chuva e o relevo na Ilha de São Sebastião, em São Paulo, durante o ano hidrológico de 2004-2005. Ao analisar os dados pluviométricos coletados mensalmente com o auxílio de seis pluviômetros artesanais, dispostos uma extensão de 22 km e altitude máxima de 690 metros, os autores observaram o maior acumulado de precipitação a ilha ocorreu em sua vertente a barlavento, com redução da chuva na vertente a sotavento. Também, o ponto com maior acumulado de precipitação estava localizado a 600 metros de altitude, enquanto o ponto situado em área de planície (3 metros de altitude) registrou os menores valores pluviométricos. Dessa forma, os autores afirmam que há influência do relevo na quantidade de precipitação pluvial na Ilha de São Sebastião.

Correa et al. (2016) realizaram um estudo comparativo entre a precipitação pluviométrica e a altitude em duas bacias hidrográficas no estado do Paraná. Os autores utilizaram dados pluviométricos de uma série histórica de 35 anos para a bacia do rio Piquiri e

uma série histórica de 33 anos para a bacia do rio Pirapó. Após calculados o valor médio anual, sazonal e mensal, as variáveis foram analisadas através da correlação linear de Pearson. Com isso os autores identificaram o efeito orográfico em ambas bacias hidrográficas, sendo o mesmo mais significativo na bacia do rio Piquiri. Ainda, a correlação entre a precipitação e a altitude mostrou-se maior durante o inverno, período em que ocorre passagens de sistemas frontais com maior frequência.

Em transecto realizado entre os municípios de Fundão e Santa Teresa, no estado do Espírito Santo, Nascimento e Vale (2019) avaliaram a distribuição espacial das chuvas e puderam observar que as características morfológicas locais são responsáveis por uma distribuição não homogênea da precipitação na área de estudo. Os autores destacam que não somente a diferença de altitude, mas a rugosidade superficial do relevo também é um fator que contribui para a distribuição e intensificação das chuvas, ocasionando o efeito orográfico na precipitação. Ainda, os autores observaram maior influência do relevo na precipitação durante o inverno (período mais seco) e relação ao verão (período mais chuvoso).

Cândido e Nunes (2008) estudaram a relação entre a precipitação e a altimetria em uma área entre o Vale do Rio Tietê e a Serra da Mantiqueira, em São Paulo, a partir de uma interpolação dos dados de altitude e da pluviosidade, realizada com o software Surfer. A partir dos mapas e dados resultantes da análise, os autores identificaram o relevo como fator condicionante na ocorrência do efeito orográfico na precipitação da área de estudo. Também observaram uma anomalia caracterizada como sombra de chuva em um vale encaixado Cristalino, com ocorrência durante o outono e o inverno.

A influência do relevo na distribuição pluviométrica no estado do Rio Grande do Sul foi estudada por Baratto e Wollmann (2015). Através dos dados pluviométricos de 34 Estações oficiais localizadas no Rio Grande do Sul, os autores identificaram dois perfis, um sentido Sul-Norte e outro sentido Oeste-Nordeste. A partir destes perfis os autores observaram que a distribuição da precipitação pluviométrica no estado sofre influência orográfica, de forma mais expressiva no perfil Sul-Norte entre os municípios de Santa Maria e Júlio de Castilhos. Já no sentido Oeste-Nordeste, o efeito orográfico foi melhor percebido entre os municípios de Teutônia e Caxias do Sul.

A ocorrência do efeito orográfico na precipitação no centro do estado do Rio Grande do Sul foi estudada por Forgiarini et al. (2014) no município de Silveira Martins, no limite da Depressão Central e o Planalto Meridional Riograndense. Para isto os autores realizaram o monitoramento pluviométrico na localidade, com o auxílio de dez postos pluviométricos, totalizando 30 eventos de chuva. Ainda, os eventos foram caracterizados a partir de imagens de

satélite obtidas no banco de dados digital do INPE. De acordo as análises estatísticas realizadas pelos autores, há a ocorrência do efeito orográfico na região e o mesmo é intensificado com as chuvas frontais, decorrentes do avanço das massas de ar polares na região.

Silva et al. (2016) analisaram a variação intra-urbana da precipitação pluviométrica no município de Santa Maria, Rio Grande do Sul, utilizando dados coletados no período de 2005 a 2015, em dois pontos localizados na zona norte e na zona leste da área urbana da cidade. Com a análise dos dados os autores puderam observar que os maiores valores de precipitação pluviométrica ocorrem na zona norte da área urbana, próximo ao Rebordo do Planalto Meridional, e os menores valores na zona leste da cidade. Dessa forma, percebe-se o a orografia como um fator condicionante a variação pluviométrica na região.

### **3.1.3 As Zonas Climáticas Locais (Local Climate Zones – LCZs)**

O sistema de classificação das zonas climáticas locais foi proposto por Stewart e Oke (2012), na intenção de simplificar as diversas tipologias de clima para áreas urbanas e naturais. Esta classificação fundamenta-se em um dos critérios de Grigg (1965, apud STEWART; OKE, 2012), que considerava uma forma de classificação genérica ao assumir que um sistema de classificação deveria simplificar as áreas de estudo, promovendo afirmações teóricas baseadas nas interações que transcorrem nestes espaços. Neste sentido, as zonas climáticas locais são definidas como regiões que apresentam uniformidade na cobertura de superfícies, estruturas, materiais e atividade humana que, em uma escala horizontal, tem abrangência de centenas de metros a vários quilômetros.

A classificação das zonas climáticas locais foge da dicotomia rural/urbano, comumente utilizada na descrição e análise das paisagens locais. Ela tem como base uma classificação em escala local, de natureza climática e representação zonal, que pode ser aplicada em qualquer clima local, não apresentando limitações entre estudos de calor em áreas intra e interurbanas. Assim, as LCZs podem ser utilizadas como uma classificação compreendida universalmente, abrangendo clima locais, sejam urbanos ou rurais/naturais. (STEWART; OKE, 2012).

Dessa forma, os autores criaram 17 zonas climáticas locais passíveis de serem utilizadas como parâmetros na identificação de áreas urbanas, das quais 10 associam os tipos de cobertura do solo e as edificações e 7 são referentes aos tipos de cobertura do solo. Ainda, consta na classificação 4 variações sazonais do tipo de cobertura do solo. As LCZ propostas por Stewart e Oke (2012) são apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1 - Tipologias de cobertura do solo propostas por Stewart e Oke (2012).

Tipologia de construção	Definição
<p>1. Arranha-céus compactos</p> 	<p>Edifícios altos e adensados com mais de 10 andares. Pouca ou nenhuma árvore. Cobertura do solo, em maior parte, pavimentada. Concreto, aço, pedra e matérias de construção e vidro.</p>
<p>2. Edifícios médios compactos</p> 	<p>Edifícios médios (3 a 9 andares) e adensados. Pouca ou nenhuma árvore. Cobertura do solo maior parte pavimentada. Materiais de construção em pedra, tijolo, telha e concreto.</p>
<p>3. Edifícios baixos compactos</p> 	<p>Edifícios baixos (1 a 3 andares) adensados. Pouca ou nenhuma árvore. Cobertura do solo, em sua maior parte, pavimentada. Materiais de construção em pedra, tijolo, telha e concreto.</p>
<p>4. Edifícios altos espaçados</p> 	<p>Arranjo aberto de edifícios altos com mais de 10 andares. Abundância de cobertura de terra permeável (plantas baixas, árvores dispersas). Concreto, aço, pedra e materiais de construção de vidro.</p>
<p>5. Edifícios altos espaçados</p> 	<p>Arranjo aberto de edifícios altos com mais de 10 andares. Abundância de cobertura de terra permeável (plantas baixas, árvores dispersas). Concreto, aço, pedra e materiais de construção de vidro.</p>
<p>6. Edifícios médios espaçados</p> 	<p>Arranjo aberto de edifícios médios (3 a 9 andares). Abundância de cobertura de terra permeável (plantas baixas, árvores dispersas). Concreto, aço, pedra e materiais de construção de vidro.</p>
<p>7. Edifícios baixos espaçados</p> 	<p>Arranjo aberto de edifícios baixos (1 a 3 andares). Abundância de cobertura de terra permeável (plantas baixas, árvores dispersas). Materiais de construção em madeira, tijolo, pedra, telha e concreto.</p>
<p>8. Edifícios baixos ínfimos</p> 	<p>Edifícios de um único anda adensados. Pouca ou nenhuma árvore. Cobertura do solo principalmente compactada. Materiais de construções leves como madeira, palha, metal corrugado.</p>

Quadro 1 - Tipologias de cobertura do solo propostas por Stewart e Oke (2012).

(continuação)

Tipologia de construção	Definição
9. Edifícios baixos extensos 	Arranjo aberto de edifícios baixos e extensos (1 a 3 andares). Pouca ou nenhuma árvore. Cobertura do solo na maior parte pavimentada. Materiais de construção em aço, concreto, metal e pedra.
10. Edifícios dispersos 	Arranjo disperso de edifícios pequenos ou médios em um ambiente natural. Abundância de cobertura de terra permeável (plantas baixas, árvores dispersas).
11. Indústria 	Estruturas industriais baixas e médias (torres, tanques, pilhas). Pouca ou nenhuma árvore. Cobertura do solo na maior parte pavimentada ou compactada. Materiais de construção em metal, aço e concreto.
Tipologias de cobertura de solo	Definição
A. Árvores densas 	Paisagem fortemente arborizada de árvores caducas e/ou perenes. Cobertura do solo principalmente permeável (plantas baixas). A função da zona é floresta natural, cultivo de árvores ou parque urbano.
B. Árvores dispersas 	Paisagem levemente arborizada de árvores caducas e/ou perenes. Cobertura do solo principalmente permeável (plantas baixas). A função da zona é floresta natural, cultivo de árvores ou parque urbano.
C. Arbustos 	Arranjo aberto de arbustos e árvores curtas. Cobertura do solo principalmente permeável (solo nu ou areia). A função da zona é um cerrado natural ou agricultura.
D. Gramíneas/forrações 	Paisagem com grama ou plantas herbáceas. Pouca ou nenhuma árvore. A função da zona é pastagem natural, agricultura ou parque urbano.
E. Rocha ou pavimentação 	Paisagem rochosa ou com cobertura pavimentada. Pouca ou nenhuma árvore ou plantas. A função da zona é o deserto natural (rocha) ou o transporte urbano.
F. Solo exposto ou areia 	Paisagem com características de solo nu ou cobertura de areia. Pouca ou nenhuma árvore ou planta. Função de zona é deserto natural ou agricultura.

Quadro 1 - Tipologias de cobertura do solo propostas por Stewart e Oke (2012).

(continuação)

<p>G. Água</p> 	<p>Grandes corpos d'água abertos, como mares e lagos, ou pequenos corpos, como rios, reservatórios e lagoas.</p>
<p>Propriedades variáveis de cobertura do solo: Características que mudam significativamente com padrões climáticos sinóticos, práticas agrícolas e/ou ciclos sazonais.</p>	<p>Definição</p>
<p>b. árvores sem folhas</p>	<p>Árvores decíduas sem folhas (por exemplo, inverno). Maior fator de visão do céu. Albedo reduzido.</p>
<p>s. neve</p>	<p>Cobertura de neve &gt; 10 cm de profundidade. Baixa admissão. Albedo alto.</p>
<p>d. solo seco</p>	<p>Solo seco. Baixa admissão. Albedo alto.</p>
<p>w. solo úmido</p>	<p>Solo alagado. Alta admissão. Albedo reduzido.</p>

Fonte: Stewart e Oke (2012).

Tradução da autora.

As classes propostas para as LCZs são definidas empregando a análise de características físicas e do uso da área, como quantificação da permeabilidade ou impermeabilidade da superfície, altura e espaçamento das estruturas construídas, e a presença de vegetação, sua altura e espaçamento. Estas características interferem diretamente no albedo, na umidade do ar, nos processos de aquecimento e resfriamento do solo, além de modificar o fluxo de ar e o transporte de calor atmosférico. Ainda, cada LCZ tem características térmicas específicas no que diz respeito ao estrato atmosférico urbano (STEWART; OKE, 2012).

Estudos realizados por Bechtel e Daneke (2012), Bechtel et al. (2015), Bechtel et al. (2017), Ching et al. (2018), Demuzere et al. (2019), Demuzere et al. (2020) apontam a eficácia da classificação de Stewart e Oke (2012) no entendimento do clima nas áreas urbanas e arredores. Ainda, as LCZ tem sido um método de classificação bastante utilizado em estudos recentes as quais investigam ilhas de calor urbano no Brasil, tais como Cardoso e Amorim (2018), Monteiro (2018), Ferreira e Ugeda Júnior (2020), Anjos et al. (2020), Werneck (2020), Zambonato et al. (2021) e Wollmann et al. (2021).

Demuzere et al. (2021) adaptaram a metodologia de Stewart e Oke (2012), ao criarem um aplicativo que facilita a produção dos mapas das zonas climáticas locais. O LCZ Generator

é uma plataforma online que integra o protocolo do World Urban Database and Access Portal Tools (WUDAPT). Esta plataforma possibilita o mapeamento das zonas climáticas locais de uma cidade apenas com a inserção de alguns metadados previamente definidos pelo usuário (DEMUZERE, et al., 2021).

Conforme a metodologia indicada por Demuzere et al. (2021), primeiramente deve-se realizar a identificação das tipologias. Estas são definidas em forma de áreas testes, estabelecidas em escala local e determinadas com o auxílio de imagens de satélite. Após a definição das áreas testes, as mesmas são submetidas a análise pelo aplicativo LCZ Generator (DEMUZERE, et al. 2021), em arquivo com extensão .kml (Keyhole Markup Language). O aplicativo faz parte de um protocolo do World Urban Database and Access Portal Tools (WUDAPT), e realiza o mapeamento de cidades a partir das zonas climáticas locais. O resultado da análise do LCZ Generator que é devolvido ao usuário baseia-se nas áreas testes e nos recursos incluídos na entrada (informações como continente, país, nome da cidade, data referente a imagem de satélite utilizada para a delimitação das áreas testes).

As métricas que apontam a acurácia do mapa final são definidas por Bechtel et al. (2019). A precisão geral (overall accuracy – AO) é referente a porcentagem de pixels corretamente classificados; o OAu (overall urb – precisão urbana) trata somente dos polígonos urbanos, pois a acurácia da precisão geral pode estar distorcida por conta das áreas testes identificadas para classes naturais (para água em particular); o Oabu (overall builtup) refere-se a acurácia das classes correspondentes a área urbana e rural, onde a LCZ E é omitida, pois pode ser classificada como ambos; a precisão ponderada (WA – weighted accuracy) mede a semelhança e a dissimilaridade entre as classes; e por fim, a métrica de classes F1, o qual apresenta uma média harmônica entre a precisão do usuário ao definir as áreas testes e do aplicativo ao produzir o mapa.

O LCZ Generator, ao concluir seus processos de controle de qualidade das áreas testes, envia em e-mail para o usuário um arquivo compactado (.zip) em anexo contendo os itens de saída dispostos por (Demuzere et al. 2021). Neste sentido, mapa produto final do processo de classificação das zonas climáticas locais, foi recortado espacialmente para a área de estudo desta pesquisa, objeto de interesse deste estudo. Por se tratar de um estudo climático em área urbana, a metodologia das LCZ foi utilizada para classificar o uso do solo dentro da área determinada para a pesquisa.

Para Demuzere et al. (op.cit.), o sistema de classificação das zonas climáticas locais pode ser utilizado para entender o efeito da urbanização sobre o meio ambiente, o qual é resultado da sua forma e funções, que sustentam as atividades humanas. Considerando que

variação das formas e funções no contexto espaço-temporal afetam o clima local, a biodiversidade e a qualidade do ar, caracterizar essas propriedades urbanas é fundamental ao avaliar seu impacto sobre o homem e o meio ambiente.

### **3.1.4 Circulação atmosférica secundária no Rio Grande do Sul**

A circulação geral da atmosfera é definida por Barry e Chorley (2013, p. 178) como sendo os padrões de grande escala de vento e pressão que perduram durante o decorrer do ano ou que retornam sazonalmente. A circulação geral da atmosfera é gerada pelo desequilíbrio da radiação entre as maiores e menores latitudes causados pelo aquecimento desigual da Terra e da atmosfera pela radiação solar, e pelo momento angular da Terra e da atmosfera (BARRY E CHORLEY, 2013).

A interação da radiação solar com a superfície terrestre (continentes e oceanos), juntamente com a atmosfera, formam os sistemas circulatórios secundários. Estes sistemas, ou centros de ação, são responsáveis pela circulação atmosférica regional e são os mecanismos responsáveis por definir o tempo e o clima. Estes centros de ação podem ser diferenciados de acordo com a sua pressão atmosférica central e a circulação de ar no seu entorno. Os ciclones ou depressões apresentam baixa pressão central em relação a sua área de entorno e, no Hemisfério Sul, a circulação de ar ocorre no sentido horário. Já os anticiclones possuem altas pressões centrais em relação as áreas adjacentes e, no Hemisfério Sul, a circulação no seu entorno ocorre no sentido anti-horário (TUBELIS; NASCIMENTO, 1984).

Os sistemas de circulação terciária são sistemas localizados, como os ventos locais, as brisas terrestres e marítimas, ondas de sotavento, ventos catabáticos e anabáticos. Estes sistemas são controlados por fatores locais e possuem um período de tempo relativamente mais curto em relação aos sistemas secundários. Ainda, os ventos locais são mais evidentes em dias que os ventos regionais de grande escala estão enfraquecidos (BORSATO, 2016).

O tempo e clima nas médias e altas latitudes são determinados por uma série de ciclones e anticiclones móveis. Os anticiclones estacionários são centro de ação estáveis com seu centro aquecido, onde a temperatura de toda a troposfera é bastante elevada. O aquecimento destas áreas tem origem dinâmica, resultado da subsidência do ar na atmosfera. Ainda, os anticiclones estacionários ocorrem nas zonas subtropicais, na faixa dos 30° de latitude, principalmente sobre os oceanos e movimentam-se de forma lenta. Já os anticiclones móveis são centros de ação formados em zonas de alta latitude, no ar polar continental ou ártico, caracterizando-se por

apresentar ar bastante frio na troposfera inferior. Estes centros de ação tendem a se mover de forma rápida, possuindo curto período de duração, e são considerados como constituintes dos sistemas meteorológicos (BARRY; CHORLEY, 2013).

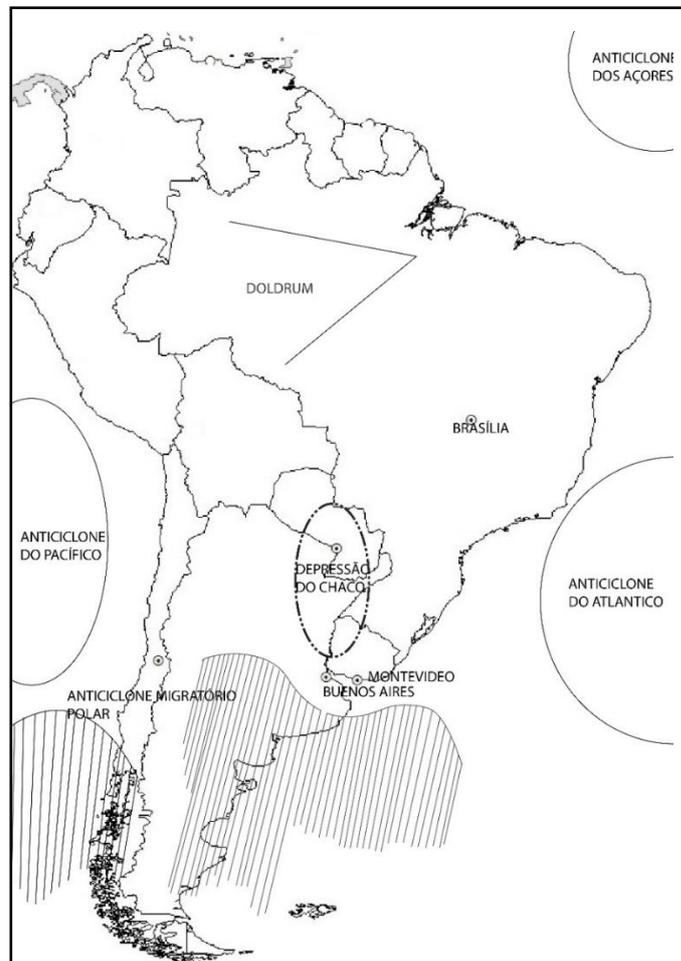
De acordo com Monteiro (1963), o Brasil Meridional é afetado de forma direta e indireta pelos centros de alta pressão estacionários que ocorrem nos oceanos, o Anticiclone do Pacífico e o Anticiclone do Atlântico. Ainda, o outro anticiclone que com atuação direta no sul do Brasil é o Anticiclone Migratório Polar.

Nimer (1989), ao tratar sobre os Anticiclones do Pacífico e do Atlântico destaca a oscilação sazonal que ambos apresentam onde, a pressão atmosférica no núcleo central destes centros oscila de 1.018 mb durante o mês de janeiro (solstício de verão) e 1.024 mb no mês de julho (solstício de inverno). A posição latitudinal média do Anticiclone do Atlântico, que é de 23° a 28° de latitude Sul, é ligeiramente inferior à do Anticiclone do Pacífico, de 26° a 32° de latitude sul. Segundo o autor,

estes dois centros de divergência atmosférica constituem as fontes das principais massas de ar tropicais marítimas. Ambas possuem estrutura e propriedades semelhantes e intervêm de modo importante no quadro da circulação atmosférica do Sul do Brasil. Entretanto, enquanto o anticiclone do Pacífico é impedido de avançar para o interior do continente, barrado pela cordilheira dos Andes, o anticiclone do Atlântico penetra frequentemente sobre o interior do Brasil, no que é pouco dificultado pela borda do Planalto Brasileiro (NIMER, 1989, p. 10).

O Anticiclone Migratório Polar é uma célula oceânica de alta pressão, formada pelo acúmulo de ar polar sobre o oceano subtropical. Este é atraído pelo gradiente térmico e, deslocando-se em direção ao equador, aproxima-se do continente durante seu processo de resfriamento. Ao encontra a Cordilheira dos Andes, no sul do continente, o anticiclone é dividido em dois grandes ramos, tendo uma vertente Atlântica e outra Pacífica, formando duas diferentes massa de ar (MONTEIRO, 1963).

Figura 14 - Centros de Ação atuantes na América do Sul.



Fonte: MONTEIRO (1963, p. 56).  
Adaptado por IENSSE (2018).

Outro centro de ação de importante atuação no sul do Brasil é a Depressão do Chaco. Identificado como um centro negativo localizado no interior da América do Sul, é um centro de ação de origem termodinâmica. Sua gênese está ligada térmica ao forte aquecimento no interior do continente, e a dinâmica é inerente a acentuação as condições de desenvolvimento e dissipação do setor norte da frente polar. Por este motivo é peça fundamental na atração dos sistemas intertropicais para o sul. Este centro de ação móvel, localizando-se na região do Chaco, nos limites entre Brasil e Bolívia, deslocando-se sazonalmente entre as regiões do Peru-Acre e Rondônia e a região do Chaco argentino (MONTEIRO, 1963; NIMER, 1989).

A Depressão do Mar de Weddel é uma célula austral das baixas dinâmicas da faixa subpolar. Quando recebe reforço atmosférico através da ligação com o eixo da Frente Polar, contribui na atração dos sistemas intertropicais em direção ao polo (MONTEIRO, 1963). Nimer

(1989, p. 12) coloca que, nestas situações, na região sul do Brasil sopram ventos de Nordeste, advindos do Anticiclones do Atlântico Sul, ocasionando tempo bom com expressivo aquecimento, caracterizando o fenômeno do aquecimento pré-frontal.

Em relação as massas de ar, Monteiro (1963) afirma que as três que mais influenciam no continente tem sua origem marítima. Devido a sua vertente atlântica, seu deslocamento e a orientação do relevo, sua atuação no Rio Grande do Sul é significativa.

A Massa Tropical Atlântica (MTA) tem sua origem no Anticiclone do Atlântico Sul. Caracteriza-se por ser uma massa de ar quente, devido a intensa radiação solar das latitudes tropicais, e úmida, por conta da intensa evaporação marítima. Por ser originária de uma área de alta pressão, há constante subsidência de ar, que ocasionam a inversão de temperatura e mantem a umidade limitada a camada superficial. Neste sentido, é uma massa de ar que provoca estabilidade (MONTEIRO, 1963; NIMER, 1989).

A Massa Polar Atlântica (MPA) nasce sobre o Atlântico, na latitude da Patagônia, resultado de um acúmulo de ar polar na zona depressionária do Mar de Weddel. Ao avançar em direção ao continente encontra a Cordilheira do Andes, dividindo-se em duas massas de ar. A Massa Polar Pacífica (MPP) e a Massa Polar Atlântica (MPA) possuem a mesma gênese e as mesmas características frias e úmidas. A Massa Polar Pacífica, em seu deslocamento na vertente ocidental dos Andes, encontra a Massa Tropical Pacífica, gerando a frontogênese<sup>1</sup> na Frente Polar Pacífica. Assim, a MPP estabelece um fluxo de Sudoeste para Nordeste, transpondo a cordilheira em latitudes mais baixas, reforçando a Massa Polar Atlântica no continente. (MONTEIRO, 1963; NIMER, 1989).

A Massa Tropical Continental (MTC) é proveniente da Depressão do Chaco e possui maior atuação durante o verão, sendo responsável pelo tempo quente e seco. Neste período a Depressão do Chaco se encontra individualizada devido a subsidência do ar quente e seco da planície central do continente sul-americano, resultado do processo de frontólise<sup>2</sup> da Frente Polar Pacífica. Ainda, durante as outras estações é confundida com a atuação da massa polar velha, resultado da descaracterização da Massa Polar Atlântica no interior do continente (MONTEIRO, 1963; NIMER, 1989).

De acordo com Sartori (2003), o território do Estado do Rio Grande do Sul encontra-se em uma zona de transição climática, e estas características se originam da participação dos

---

<sup>1</sup> Frontogênese é o contraste entre as massas de ar, que acarreta no avanço da Frente Polar (NIMER, 1989).

<sup>2</sup> Frontólise é o processo de dissipação de uma Frente Polar (NIMER, 1989).

Sistemas Atmosféricos Extratropicais e Intertropicais. Por estar em posição subtropical, é área de encontro dos Sistemas Atmosféricos de origem polar e sistemas de origem tropical.

Nimer (1989, p. 12) destaca que entre duas massas de ar ou dois ou mais centros de alta pressão forma-se uma zona depressionária. Esta, funciona como uma descontinuidade entre os sistemas atmosféricos positivos, para onde convergem os ventos destes sistemas. Nestas áreas os ventos convergentes formam instabilidade, geralmente ocasionando chuvas, em uma estrutura organizada e com deslocamento rápido, denominadas de correntes de circulação perturbada. Das diversas correntes perturbadas que ocorrem sobre o território brasileiro, Nimer (op.cit.) destaca que a Região Sul do Brasil é afetada pelas correntes chegadas pelos quadrantes sul e oeste.

As correntes perturbadas de sul são referentes ao Anticiclone Polar e sua descontinuidade frontal, que constituem as Frentes Polares (FP). Monteiro (1963, p. 125) destaca que pelas mesmas razões que ocorre a bifurcação das massas polares, a Frente Polar também se divide em duas, Atlântica e Pacífica.

A Frente Polar Pacífica é constituída pelo encontro do ar frio da MPP com os ventos quentes da MTP. Durante o verão é bastante comum a trajetória a oeste dos Andes, pois devido ao enfraquecimento do Anticiclone do Pacífico e o afastamento da Frente Polar Pacífica do continente, o ar polar avança para o norte com maior facilidade. No inverno o Anticiclone do Pacífico se desloca para próximo a costa, e sendo a Frente Polar Pacífica muito mais frequente, as massas de ar polares tem menor resistência ao percorrer a vertente leste da cordilheira (MONTEIRO, 1963).

A Frente Polar Atlântica é um sistema móvel devido às condições geográficas existentes na vertente atlântica da América do Sul, e seu eixo principal pode ser regularmente localizado na altura do Rio da Prata, divisa da Argentina com Uruguai. Seu potencial de avanço em latitudes mais baixas está relacionado ao seu processo de frontogênese, pois quando intensificada pelo reforço da MPP, atinge estados como Acre, Rondônia, no norte do Brasil, e até mesmo o litoral do Nordeste. (MONTEIRO, 1963).

As correntes perturbadas de oeste, conforme Nimer (1989), ocorrem de meados da primavera até meados de outono, mas com maior regularidade durante o verão. Durante este período ocorrem sucessivas ondas de ventos de oeste e noroeste, trazidos por linhas de instabilidade tropicais (IT), que formam depressões barométricas alongadas, induzidas em pequenas dorsais. Nestas áreas, há convergência dinâmica, ocasionando chuvas, trovoadas e também granizos, com ventos registrando rajadas de 60 a 90 km/h.

Ainda, Britto et al. (2006) tratam sobre a atuação dos Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM) durante a primavera e o verão no sul do Brasil, ocasionando grandes volumes pluviométricos, além de tempos severo, com fortes ventos e granizo. Na América do Sul este sistema atmosférico tem origem em regiões subtropicais, em uma área que abrange o norte da Argentina, sul do Paraguai e o noroeste do Rio Grande do Sul, avançando sob o restante do território sul-rio-grandense e o oeste catarinense. Sua formação consiste na combinação de fatores geográficos que propiciam o deslocamento de ar sentido norte-sul, formando fluxos meridionais de ar úmido da região Amazônica (Jatos de Baixo Nível) para as áreas subtropicais, intensificando o desenvolvimento dos sistemas convectivos. (VIANA et al., 2009).

Portanto, entende-se que cada massa de ar possui características próprias e apresentam variações em sua dimensão e intensidade, esta manifestada por meio dos atributos do tempo (temperatura, pressão, ventos e umidade). Ainda, essas características podem ser amenizadas ou intensificadas conforme se apresentam as estações do ano e as condições de umidade, temperatura ou pressão atmosférica que encontram em seu avanço. Estas condições que ditam que ditam dinâmica, se será anômala ou dentro da habitualidade (BORSATO, 2016).

Sartori (2016) aponta que, no Rio Grande do Sul, o domínio dos sistemas de origem polar ocorre em cerca de 90% dos dias do ano, sendo 39% sob controle da Massa Polar Atlântica (MPA), 31% sob efeitos da Massa Polar Velha e 20% submetidos a passagem da Frente Polar Atlântica (FPA). A Massa Polar Velha atua com maior frequência durante o verão e a primavera, e durante o outono e inverno a maior atuação é a Massa Polar Atlântica. A Frente Polar Atlântica atua em 1/5 dos dias do ano, ocorrendo de quatro a seis passagem de frontais por mês, em média. Os Sistemas Intertropicais participam nos 10% de dias restantes, com a Massa Tropical Continental e a Massa Tropical Atlântica com participação em 6% e 4% dos dias, respectivamente. As Instabilidades Tropicais e Calhas Induzidas provenientes da Massa Polar Velha ocorrem com maior frequência no verão e primavera, participando em 6% dos dias do ano.

### 3.2 SOBRE AS ÁREAS PROTEGIDAS NO BRASIL

O conceito e delimitação de áreas protegidas, tendo como finalidade a conservação da biodiversidade e da paisagem natural, são práticas realizadas nos Estados Unidos e Europa desde o fim do século XIX. A priori, o objetivo dessas áreas era o de proteger a vida selvagem, a qual estava ameaçada por uma civilização urbano-industrial e seus costumes que, focados na modernização e comodidade da vida urbana, suprimiam a natureza. Com a criação dessas áreas

acreditava-se que por mais que houvesse intervenção do homem na biosfera ainda haveriam recortes naturais intocados pela civilização, um “mundo natural selvagem” (DIEGUES, 2008).

A Convenção sobre Diversidade Biológica (CDB), é um importante acordo internacional estabelecido durante a ECO-92 a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CNUMAD). A CDB visa a conservação *in situ* de espécies, populações e ecossistemas. Ela estabelece aos países signatários a missão de criar e manter de forma adequada uma rede de Unidades de Conservação capaz de atender aos seus três objetivos fundamentais: a conservação da diversidade biológica, a utilização sustentável de seus componentes e a repartição justa e equitativa dos benefícios da utilização de seus recursos.

Assim, a instituição de áreas protegidas tornou-se uma importante ferramenta de auxílio a proteção e conservação da biodiversidade em biomas degradados pela ação antrópica. Atualmente, de acordo com dados da União Internacional de Conservação da Natureza (UICN) existem 246,904 áreas protegidas no mundo o que corresponde a 15,67% da área terrestre do planeta. As UCs são uma estratégia comprovadamente funcional no âmbito da proteção da biodiversidade, reduzindo a degradação do ecossistema e a perda de habitat (UICN, 2021; BROOKS et al. 2009).

No Brasil, o interesse sobre o tema da proteção ambiental surgiu na década de 1930, quando a industrialização e a troca de vida do meio rural para o meio urbano trouxeram à tona a questão da exploração dos recursos naturais. Apesar de haver políticas que consideravam de forma superficial a questão ambiental, preocupava-se com a questão do “controle” sobre os recursos naturais com a intenção de se manter um certo equilíbrio econômico de uso destes recursos. A partir de então novas estratégias e políticas ambientais foram surgindo, tendo a finalidade de regular o uso dos recursos naturais e manter a biodiversidade do território brasileiro (MOURA, 2016).

A preocupação com a manutenção da biodiversidade e do ecossistema deu início ao estabelecimento de áreas ambientais protegidas a partir da criação de unidades de conservação. Para Ghimire apud Diegues (2008, p. 20) os principais fatores que justificavam a preocupação com a biodiversidade no Brasil eram a rápida devastação das florestas e a perda da biodiversidade, atreladas a oferta de fundos internacionais para a conservação e a possibilidade de gerar renda a partir do turismo em parques. Entre as décadas de 1930 e 1970 foram instituídos diversos Parque Nacionais pelo território brasileiro, tendo como pioneiro o Parque Nacional de Itatiaia, criado em 1937, localizado no estado do Rio de Janeiro (MOURA, 2016).

A Política Nacional do Meio Ambiente (Lei Federal nº 6.938/1981) prevê a criação de espaços territoriais especialmente protegidos pelo Poder Público federal, estadual e municipal,

tais como áreas de proteção ambiental, de relevante interesse ecológico e reservas extrativistas. Conforme Foletto (2016) a sociedade por si só não possui o ímpeto de agir afim de evitar as consequências causadas ao meio ambiente decorrentes da intensa e desorganizada ocupação territorial. Dessa forma, o poder público deve agir afim de minimizar estes resultados negativos através da elaboração de políticas públicas que visem a organização do território, através do controle de uso e ocupação, atendendo ao previsto na Constituição Federal de 1988 em seu Art. 225 que afirma que

Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações (BRASIL, 1988, s/p).

Neste sentido, a criação de áreas protegidas é considerada uma estratégia válida para manter o controle do território. Cabral e Souza (2005, apud. Follmann, 2016) afirmam que as áreas protegidas servem como medidas preventivas ao interromper a ação antrópica, possibilitando a manutenção e recuperação de atributos naturais que sofreram danos. Também podem permitir o uso dos recursos naturais concomitante com a manutenção das funções ambientais, diminuindo as respostas negativas causadas pela ação humana. Um dos objetivos na criação de uma área protegida é proteger ou conservar os recursos naturais, a biodiversidade e os serviços provenientes do ecossistema, os quais são essenciais para a população local (FOLLMANN, 2016).

Ainda que parte da sociedade em geral não tenha total entendimento da função dos ecossistemas no bem-estar humano, a manutenção dos serviços ecossistêmicos é considerada ferramenta importante no processo de elaboração das políticas públicas no Brasil a partir do foco de conservação do meio ambiente e ordenamento territorial. A Avaliação Ecossistêmica do Milênio (2005) identificou o declínio de 15 dos 24 serviços ecossistêmicos a nível global, o que pode causar impactos negativos futuros visto que a interação entre os serviços ecossistêmicos influencia no funcionamento dos ecossistemas (PARRON; GARCIA, 2015).

Daily (1997, apud. DANLEY; WIDMARK, 2016) define serviços ecossistêmicos como sendo as condições e processos através dos quais os ecossistemas naturais e as espécies que os constituem, garantem seu sustento e preenchem a vida humana. Neste sentido, as funções regulatórias dos ecossistemas, bem como os benefícios imateriais provenientes dos processos da natureza incluem-se entre os serviços ecossistêmicos, incorporando aspectos autossustentáveis dos ecossistemas, bem como os benefícios que eles ofertam a humanidade

(DANLEY; WIDMARK, 2016). A Avaliação Ecosistêmica do Milênio (2005) classifica os serviços ecossistêmicos em quatro categorias as quais estão explicadas no Quadro 2.

Quadro 2 - Classificação dos serviços ecossistêmicos de acordo com a Avaliação Ecosistêmica do Milênio (2005).

CATEGORIAS	DEFINIÇÃO	EXEMPLOS DE SERVIÇOS
Serviços de suporte	Proporcionam as condições para que os demais serviços sejam disponibilizados a sociedade, ou seja, os benefícios são indiretos e se manifestam a longo prazo.	Manutenção da biodiversidade e do ciclo de vida; formação do solo.
Serviços de provisão	Produtos obtidos dos ecossistemas e oferecidos diretamente à sociedade.	Alimentos; fibras; madeira; recursos genéticos; recursos medicinais; recursos ornamentais; água potável.
Serviços de regulação	São benefícios obtidos pela sociedade através da regulação natural dos processos ecossistêmicos.	Regulação da: qualidade do ar; clima (inclui-se aqui o sequestro de carbono); e fluxos de água. Purificação da água; fertilidade do solo; prevenção da erosão; controle biológico; polinização; prevenção de desastres; controle de resíduos.
Serviços culturais	Benefícios imateriais obtidos dos ecossistemas e que contribuem para o bem-estar da sociedade.	Valores estéticos (paisagem); recreação e turismo; valores espirituais e religiosos; valores educacionais/culturais.

Fonte: Parron e Garcia (2015).  
Adaptado pela autora.

Neste sentido, todo o investimento realizado em Unidades de Conservação, seja com sua criação ou manutenção, retorna para a sociedade na forma de serviços ecossistêmicos. Balmford et al. (2002) estima que, em uma escala global, cada dólar investido em áreas protegidas produz cerca de US\$ 100 dólares em serviços ecossistêmicos. Mesmo com valores estimados aproximados, é perceptível a importância econômica de uma UC (TEEB, 2010).

### 3.2.1 Unidades de Conservação

A conservação e manejo dos ecossistemas possibilitam a manutenção de serviços ambientais essenciais ao bem-estar e à qualidade ambiental, gerando bens essenciais ao homem.

Porém, os intensos processos de urbanização, desmatamento, exploração de recursos naturais e fragmentação florestal causam desequilíbrios ecológicos que comprometem esses serviços ecossistêmicos. Neste sentido, as Unidades de Conservação se mostram como importantes instrumentos de conservação da biodiversidade e manutenção dos serviços ecossistêmicos (THOMAS, 2016).

É importante observar que a criação de áreas protegidas e unidades de conservação ambiental no Brasil antecede em algumas décadas o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), que foi criada somente no ano de 2000 a partir da Lei Federal nº 9.985/2000, vindo a contribuir com a organização do conjunto de unidades de conservação dentro das três esferas de poder. Anteriormente a Constituição de 1988 já descentralizava as responsabilidades da política ambiental, dividindo-as entre as esferas federal, estadual e municipal, porém pouco mais de uma década depois é o SNUC que define os critérios de criação, implantação e gestão das Unidades de Conservação.

As Unidades de Conservação necessitam ser criadas por Lei ou Decreto específico. O SNUC estabelece critérios e normas organização das Unidades de Conservação (UCs) a partir de uma gestão integrada onde cada esfera possui um órgão específico responsável pelas atividades relacionadas as UCs. No âmbito federal este órgão é o Instituto Chico Mendes da Biodiversidade, o ICMBio, criado a partir da Lei Federal nº 11.516/2007 com o objetivo de gerir, monitorar e fiscalizar as UCs instituídas pela União. Para as áreas de conservação e preservação ambiental estaduais, o estado define o órgão responsável pela implementação e gerenciamento e, geralmente as UCs municipais são administradas pelas Secretarias de Meio Ambiente dos municípios.

Os principais objetivos da SNUC são promover o desenvolvimento sustentável, a preservação da diversidade biológica e os ecossistemas naturais a longo prazo e a proteção das comunidades tradicionais, as quais sua subsistência depende dos recursos naturais. O Art. 2º da Lei do SNUC define as UCs como

Espaço territorial e seus recursos ambientais, incluindo as águas jurisdicionais, com características naturais relevantes, legalmente instituído pelo Poder Público, com objetivos de conservação e limites definidos, sob regime especial de administração, ao qual se aplicam garantias adequadas de proteção (BRASIL, 2000, s/p).

Neste sentido, o SNUC é uma política ambiental com o objetivo de unificar, organizar, planejar e manejar determinadas categorias de áreas protegidas no território brasileiro. O SNUC

prevê doze categorias de unidades de conservação divididas em dois grupos com características específicas, sendo eles as Unidades de Proteção Integral e as Unidades de Uso Sustentável.

As Unidades de Proteção Integral possuem o objetivo de preservar a natureza, sendo possível realizar somente o uso indireto de seus recursos naturais, ou seja, não é permitido o consumo, coleta, dano ou destruição dos recursos naturais. Já as Unidades de Uso Sustentável permitem a compatibilização da conservação da natureza com o uso sustentável de parte de seus recursos naturais. Assim, poderá ocorrer a exploração do meio ambiente desde que seja garantido a conservação dos recursos naturais e da biodiversidade local. O esquema apresentado na Figura 15 mostra os diferentes tipos de áreas protegidas classificadas conforme as duas categorias estabelecidas pelo SNUC.

Figura 15 - Categorias de Unidades de Conservação estabelecidos pelo SNUC (BRASIL, 2000).



Fonte: SNUC (BRASIL, 2000).  
Organização da autora.

De acordo com o SNUC, as Unidades de Proteção Integral são de posse e domínio públicos, com exceção dos Monumentos Naturais e Refúgios de Vida Silvestre. Desta forma, áreas particulares existentes dentro dos limites das áreas de proteção integral estão sujeitas a desapropriação e inclusão ao patrimônio público. Chaves (2014) destaca que o processo de desapropriação pode ser um agente gerador de conflitos com relação ao domínio de terras e a regularização fundiárias das Unidades de Conservação acaba sendo a maior dificuldade e a primeira prioridade no manejo das UCs (CHAVES, 2014).

A divisão realizada pela SNUC nas categorias de UCs é entendida por Peccatiello (2011) como reflexo dos diferentes pontos de vista relacionados a proteção ambiental no Brasil. Para o autor, o SNUC foi resultado das discussões entre preservacionistas e conservacionistas, onde o preservacionismo clássico obteve maior espaço (PECCATIELLO, 2011, p. 79). Além disso, o projeto do SNUC vai além da manutenção da biodiversidade, pois abre caminho para diversos usos do solo e dos recursos naturais, tornando-se uma ferramenta passível de potencializar atividades, contribuindo para geração de desenvolvimento local, sem sobrepor-se ao foco principal, que é a conservação do meio ambiente.

Follmann (2018) aponta para o fato de que alguns tipos de áreas protegidas que existiam em legislações federais anteriores a SNUC não foram contempladas na recente lei. As Áreas de Preservação Permanente (APPs), as Reservas Legais (RLs), as Terras Indígenas (TIs) e as Áreas de Reconhecimento Internacional (ARIs) não foram inseridas na SNUC ou sofreram substituição em suas definições. Neste contexto, a autora entende que as Unidades de Conservação estão inseridas no conceito de Áreas Protegidas, mas as Áreas Protegidas não se inserem dentro do conceito de Unidade de Conservação, enquanto que ambas fazem parte da definição de Espaços Territoriais Especialmente Protegidos<sup>3</sup> (ETEP) (FOLLMANN, 2018).

A Reserva da Biosfera também foi incluída na SNUC, sendo definida como um modelo de gestão integrada e participativa dos recursos naturais, reconhecida pelo Programa Intergovernamental “O Homem e a Biosfera – MAB” da Unesco. São áreas onde tem-se uma ou mais áreas-núcleo de proteção integral e suas zonas de amortecimento ou zonas de transição. Tem como objetivos básicos a preservação da diversidade biológica, o desenvolvimento de pesquisas científicas e atividades ligadas a educação ambiental, monitoramento ambiental, desenvolvimento sustentável e uma melhor qualidade de vida das populações (BRASIL, 2000).

O bioma Mata Atlântica é considerado patrimônio federal (BRASIL, 1988) e reconhecido pela Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (Unesco) como Reserva da Biosfera desde o ano de 1994. As Reservas da Biosfera são tidas enquanto áreas de proteção ambiental que fazem parte de uma rede internacional de cooperação tendo como objetivos a conservação da biodiversidade, o desenvolvimento sustentável, a gestão dos recursos naturais a partir da participação da comunidade e desenvolvimento de pesquisas científicas e educação ambiental (SEMA, 2009).

---

<sup>3</sup> Os Espaços Territoriais Especialmente Protegidos estão descritos no Art. 225 da Constituição Federal de 1988 onde impõem-se ao Poder Público a definição de espaços territoriais e seus componentes a serem especialmente protegidos (BRASIL, 1988).

### 3.2.2 Unidades de conservação no Rio Grande do Sul

No estado do Rio Grande do Sul, o órgão responsável pela implementação das UCs é a Secretaria Estadual de Meio Ambiente, em conformidade com o Sistema Estadual de Unidades de Conservação (SEUC). Sua criação é anterior ao SNUC (Decreto Estadual nº 34.256/1992), mas seus objetivos são bastante semelhantes. Foletto (2016, p.57) destaca dois pontos em que o SEUC e SNUC entram em desacordo como na existência de unidades de manejo provisório, tendo objetivo básico o de assegurar a preservação integral do ambiente até que estudos técnico-científicos indiquem o uso adequado, e a de reservas de recursos naturais indicadas como áreas de domínio público, desabitadas ou poucos habitadas, preservadas integralmente até que pesquisas e critérios sociais, econômicos e ecológicos indiquem seu uso adequado. Ainda, o SEUC classifica as áreas indicadas como Reserva Particular de Patrimônio Natural (RPPN) como sendo de proteção integral, enquanto para o SNUC, as RPPNs são unidades de uso sustentável.

De acordo com Chaves (2014), as primeiras Unidades de Conservação implementadas no Rio Grande do Sul datam da década de 1940, pelo antigo Instituto Nacional do Pinho. Atualmente o SEUC é constituído pelo conjunto de UCs presentes no território Estado do Rio Grande do Sul, contando com 108 Unidades de Conservação. Destas, 24 UCs são áreas protegidas estaduais e 35 UCs municipais. Ainda, existem e 39 RPPNs cadastradas e 10 UCs Federais dentro do território sul-rio-grandense (ATLAS SÓCIOECONÔMICO DO RIO GRANDE DO SUL, 2020).

Dentro da seara de estudos climáticos, no Rio Grande do Sul encontram-se alguns que foram realizados levando em consideração o clima em áreas protegidas. Baratto et al. (2013) analisaram a variabilidade termo-higrométrica no Parque Estadual do Espinilho a partir de um transecto móvel. Os autores identificaram a cobertura do solo como maior influenciador na variação de temperatura e umidade relativa do ar.

Wollmann (2014) observou a variabilidade climática e os controles do clima em um estudo de caso no Parque Estadual de Itapuã, atribuindo as variações de temperatura e umidade relativa do ar aos controles climáticos locais, como a vegetação, altitude e corpos hídricos. A Estação Ecológica do Taim foi área de estudo de uma grande pesquisa realizada por Wollmann et al. (2015), onde as análises climáticas realizadas resultaram em um Atlas Climático da área de estudo que configura como uma das mais importantes contribuições para estudos climáticos realizados em Unidades de Conservação do país.

Baratto et al. (2018) realizaram a análise da temperatura do ar em escala regional, local e topoclimática para o Parque Nacional de Aparados da Serra, na divisa entre os estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Os autores puderam observar que a variação da temperatura do ar é resultado das interações entre a superfície terrestre e a energia solar, e também, na escala topoclimática, a altitude tem maior influência na variação da temperatura do ar. Almeida et al. (2020) ao estudar o clima do Parque Estadual de Itapuã, região metropolitana de Porto Alegre, realizaram sua caracterização segundo as classificações climáticas regionais.

Recentemente, Almeida e Wollmann (2020) realizaram uma análise qualitativa quanto a caracterização do clima nos Planos de Manejo de Unidades de Conservação de Proteção Integral do Rio Grande do Sul. Ao estudarem os planos de manejo de 12 Parque Estaduais no RS, constataram que destes, 4 não possuíam plano de manejo. Nos 8 planos de manejos analisados, 5 utilizaram uma caracterização climática local para caracterizar o clima da UC. Neste sentido, os autores ressaltam a carência de dados climáticos que caracterizem as UCs de forma própria, considerando que a análise do clima local deve ser realizada mediante obtenção de dados climáticos inerentes a UC, sobretudo, em escala local, topo ou microclimática.

### **3.2.3 Áreas protegidas – contexto de Santa Maria**

A Lei Orgânica do Município de Santa Maria, datada em 03 de abril de 1990, estabelece o meio ambiente como um bem comum, onde seu ecossistema e biodiversidade devem ser preservados e restaurados, incluindo a vegetação em área urbana. Também colocam como responsabilidade do município a fiscalização de instalação de obras ou atividades públicas ou privadas, a fim de evitar a degradação ambiental. Ainda, conforme Foletto (2016) os municípios devem se utilizar de instrumentos como a Lei de Uso e Ocupação do Solo e o Plano Diretor Municipal, em consonância com o previsto pela legislação federal e estadual, para garantir o zelo de áreas que possuam remanescentes naturais.

Neste sentido, a Lei de Uso e Ocupação do Solo (LUOS) e o Plano Diretor de Desenvolvimento Territorial (PDDT) (Leis Complementares nº 117 e 118, de 26 de julho de 2018) do município de Santa Maria trazem entre seus objetivos, o interesse em manter o desenvolvimento territorial do município sem causar degradação ao meio ambiente. Ainda, entre as diretrizes e objetivos do PDDT está ordenar o desenvolvimento das funções sociais do território visando garantir a melhor qualidade de vida de seus habitantes.

A LUOS e o PDDT, enquanto instrumentos de organização territorial e atendendo a função do poder público de zelar pela preservação do patrimônio ambiental instituem Áreas Especiais Naturais de conservação e preservação ambiental para o município. Conforme o Art. 15º da LUOS são classificadas em Áreas Conservação Natural e Áreas de Preservação Permanente. De acordo com Follmann (2016) a definição das Áreas Especiais Naturais no município de Santa Maria tem amparo nas políticas nacionais de meio ambiente e recursos hídricos que visam a proteção ambiental.

As Áreas Especiais de Preservação Permanente são definidas como as áreas que dever ser protegidas, conservando a qualidade ambiental e os ecossistemas existentes, sendo equivalentes às áreas já previstas pelo Código Florestal Federal e Estadual. Já as Áreas Especiais de Conservação Natural podem ser particulares ou públicas, e são definidas como as áreas onde a convivência do homem com a natural não gera grandes impactos ambientais, e podem ser destinadas ao turismo ecológico e atividades desde que os recursos naturais sejam respeitados (SANTA MARIA, 2018). A área da RBMA é contemplada enquanto Área de Conservação Natural do município de Santa Maria.

O PDDT trata sobre a Política Municipal de Manejo Sustentável da Área de Influência da Reserva da Biosfera Mata Atlântica (RBMA), com a finalidade de integrar o Plano de Manejo Sustentável da RBMA ao planejamento municipal. Essa integração ocorreria através de ações de preservação da diversidade biológica, desenvolvimento de atividades de pesquisa, monitoramento ambiental e educação ambiental, impondo regras para a utilização de áreas de conservação e preservação ambiental conforme a sua definição e ainda, promover o município de Santa Maria enquanto portal sul da RBMA.

Estão inseridos no território da Reserva da Biosfera Mata Atlântica os principais remanescentes da Mata Atlântica, que servem de habitat para espécies endêmicas ou ameaçadas de extinção, bem como áreas prioritárias para a criação de Áreas Protegidas, de restauração florestal e formação de mosaicos e corredores ecológicos. A R.A. Norte do município de Santa Maria apresenta algumas áreas remanescentes da Mata Atlântica indicadas como Zona Núcleo da RBMA, como a área de topo e encostas de morro e as margens do Arroio Cadena. As demais áreas enquadram-se como Zonas de Amortecimento da RBMA, a qual tem como objetivo minimizar os impactos negativos na zona núcleo e promover a qualidade de vida da população (LUOS, 2018).

### 3.2.4 O Parque Natural Municipal dos Morros

Os morros ao norte de Santa Maria fazem parte da paisagem diária dos santa-marienses e da história da cidade. Marchiori e Filho (2009) defendem que esta paisagem marcada pelo contraste entre suaves coxilhas e o recortado talude da Serra Geral é um bem imaterial da cidade, devendo ser reconhecido e valorizado pela população local para que as próximas gerações possam também usufruir da bela paisagem natural que cerca a cidade.

Os autores (op. cit.) descrevem a paisagem que cerca a área urbana da cidade como uma “belíssima moldura” onde se encaixam os morros dispostos em sequência e cobertos com mata densa de florestas naturais, e comparam com um “anfiteatro” com sua abertura voltada para as direções oeste e sudoeste. Também os autores destacam relatos encontrados em documentos históricos como o Diário Resumido e Histórico da 1ª Divisão da Demarcação d’Ámerica Meridional<sup>4</sup> onde descrevem a chegada em Santa Maria

Para quem vem do sul do Estado ou dos países do Prata, a chegada a Santa Maria é sempre uma grata surpresa, pois seus alegres morros, recobertos de verdes florestas, estabelecem um contraste marcante com as monótonas paisagens campestres até então percorridas (MARCHIORI; FILHO, 2009, p. 9).

Ainda, Marchiori e Filho (op.cit.) resgatam um registro de José de Lima Figueiredo, engenheiro, jornalista, político e militar que descreveu a paisagem da cidade como

Bela e boa como a santa que lhe deu o nome, a cidade de Santa Maria se senta no dorso de ondulantes elevações, balizando, aos viajantes que vêm da planície, o caminho da serra com seu casario branco, donde se destaca a pomposa catedral com seus coruchéus apumados dominando as circunvizinhanças. No céu se esbatem os contornos caprichosos da serra, quando não estão cobertos pela cerração que são os véus- uns espessos, outros vaporosos. (MARCHIORI, FILHO; 2009, p. 18)

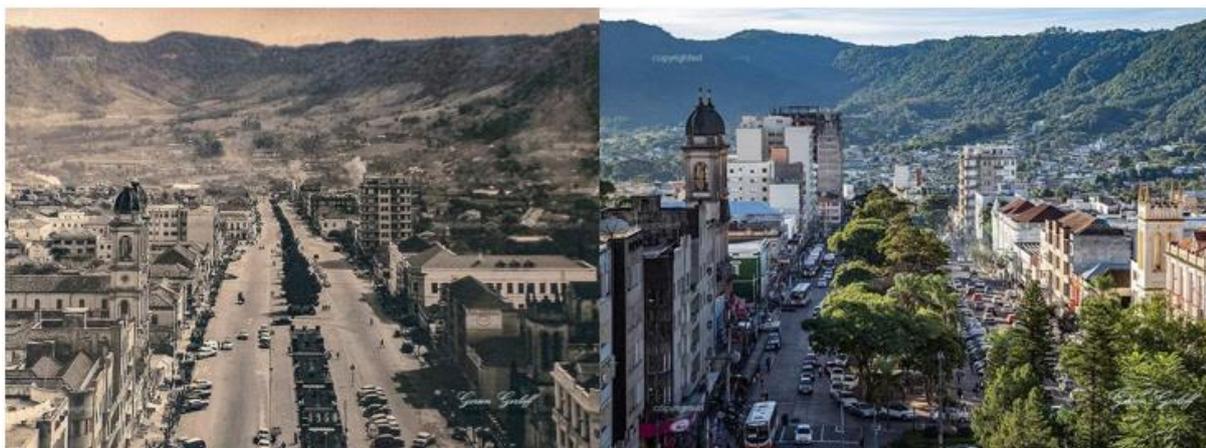
A exploração da Floresta Estacional encontrada no Rebordo do planalto Meridional data do início do estabelecimento dos primeiros moradores do que hoje constitui a área urbana de Santa Maria. A chegada da ferrovia, em 1885, aumentou a exploração dos recursos naturais da região. As madeiras extraídas das florestas nativas eram utilizadas para os dormentes e as lenhas

---

<sup>4</sup> Este documento cobre o período de 04 de novembro de 1786 a 10 de novembro de 1787 e é constituído de informações de cunho histórico, geográfico e etnográfico sobre a região central, descritos por Sebastião Xavier da Veiga Cabral da Câmara e José de Saldanha no então acampamento geral de Morro Grande (MARCHIORI, FILHO, 2009).

que alimentavam as caldeiras das locomotivas. Estas funções demandavam grande quantidade de material, exigindo uma crescente derrubada de árvores. Neste sentido, clareiras se formaram nos morros que cercam a cidade (MARCHIORI, 2009), fato que pode ser visualizado em fotos antigas, como a apresentada na Figura 16, datada de 1958.

Figura 16 - Vista da Avenida Rio Branco, área central de Santa Maria, em direção aos morros, nos anos de 1958 e 2019.



Fonte: Acervo pessoal de Gerson Gerloff.

Com o surgimento de preocupações com as questões ambientais e legislações voltadas a proteção ambiental, a floresta nativa nos morros da área urbana de Santa Maria deixou de ser explorada, o que possibilitou perceptível processo de recomposição da vegetação, conforme observado na Figura 16.

O Parque Natural Municipal dos Morros (PNMM) foi criado através do Decreto Executivo nº74, de 06 de setembro de 2016. O PNMM, de acordo com os critérios do SNUC se encaixa na categoria Parque Natural Municipal, sendo definida como uma Unidade de Conservação de Proteção Integral. Ainda, por possuir grande parte de sua área inserida dentro da área urbana de Santa Maria, pode ser entendido como uma Unidade de Conservação urbana.

Anterior a criação do PNMM, a área que atualmente constitui a referida UC era de posse de um proprietário que, inicialmente, utilizava o imóvel para fins pecuários. Posteriormente o imóvel passou a ser utilizado por sucessivos arrendatários, os quais não se mantinham no local por muito tempo por razões de dificuldade de acesso, falta de energia elétrica e água potável, abigeatos e trânsito de andarilhos pelo local. Ainda, entre os anos de 2006 e 2007 houve uma proposta de criação de uma Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) no local, não tendo sido aceita pelo proprietário do imóvel (ROCHA, 2021).

Figura 17 - Pôr do sol visto do Mirante da Fêmea, no Parque Natural Municipal dos Morros.



Fonte: Acervo pessoal de Cássio Arthur Wollmann (2019).

Também, a área é utilizada pelo Grupo Bandeirantes da Serra (GBS) desde a década de 1980, desde quando o grupo realiza atividades esportivas como a prática do montanhismo, caminhadas, campismo, escalada, rapel, projetos socioambientais, instrução, entre outras atividades correlatas. O GBS atua diretamente com a gestão do PNMM e em conjunto com as Secretarias de Município de Turismo e Meio Ambiente, desenvolvendo projetos de ecoturismo e turismo de aventura no município.

A aquisição da área pelo Município foi efetivada através da avaliação, abatimento de tributos e indenização do saldo remanescente que ocorreu dentro de um processo de desapropriação amigável envolvendo a totalidade da área, com início de 2008, tendo sido concluído em 2011. Conforme Rocha (2021) a ideia inicial do então prefeito em exercício, César Schirmer era a implantação de um parque urbano de uso público, com diversos atrativos como playgrounds e espaço para eventos. Porém, a partir da realização de um Plano de Manejo, concluído em 2014, foi recomendada a criação de parque natural municipal no local. Neste sentido, somente no ano de 2016 foi instituída legalmente a área protegida na categoria parque, em conformidade com o Plano de Manejo. As imagens da Figura 18 mostram um pouco de como era a paisagem no Morro do Carmo antes da definição da área enquanto Parque.

Figura 18 - Imagens de uma trilha realizada pelo Grupo Bandeirantes da Serra no ano de 2006.



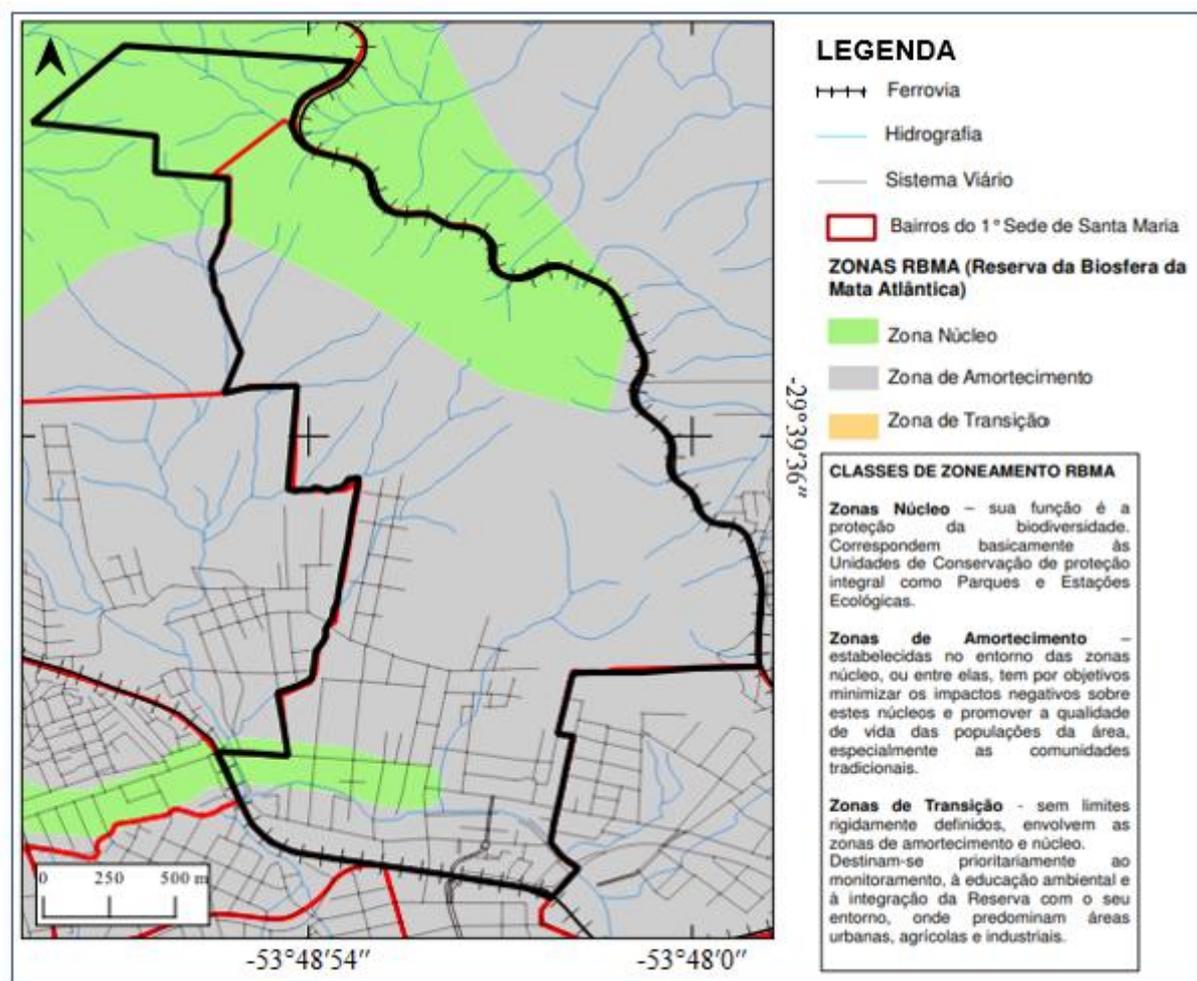
Fonte: Arquivo pessoal de Cássio Arthur Wollmann (2006).

Dentre as discussões que nortearam o poder executivo na criação de um parque na área e que reforçou a importância da existência de uma Unidade de Conservação tem-se o fato de que a área referente ao PNMM e seu entorno estão inseridos na Zona Núcleo da Reserva da Biosfera Mata Atlântica, compreendida como importante área de conservação da biodiversidade do bioma Mata Atlântica no Rio Grande do Sul.

A área do PNMM abriga remanescentes florestais da Floresta Estacional Decidual, consideradas em maior parte, em estágio avançado de regeneração, bem como formações campestres presentes na área mais plana no seu topo. De acordo com Baldo e Silveira (2009) a conservação das áreas de florestas remanescentes é inquestionável no que diz respeito a manutenção da biodiversidade, tanto na composição dos ecossistemas como nas inúmeras interações com a fauna. Ainda, além da proteção investida aos animais, plantas e recursos hídricos, a vegetação protege o solo dos processos erosivos causados pela ação direta dos agentes climáticos.

Neste contexto, a área do PNMM se apresenta como de fundamental importância para a conservação dos recursos naturais, estando inserida em áreas prioritárias para a conservação da biodiversidade em nível estadual, nacional e internacional (SANTA MARIA, 2013). Na Figura 19 observa-se no recorte da área de estudo, a zona núcleo da RBMA na porção norte do bairro Nossa Senhora do Perpétuo Socorro, área equivalente ao PNMM. O restante do bairro encaixa-se na zona de amortecimento da RBMA.

Figura 19 - Zonas da Reserva da Biosfera Mata Atlântica no bairro Nossa Senhora do Perpétuo Socorro.



Fonte: Anexo 12.1 da Lei de Uso e Ocupação do Solo de Santa Maria.  
Adaptado pela autora.

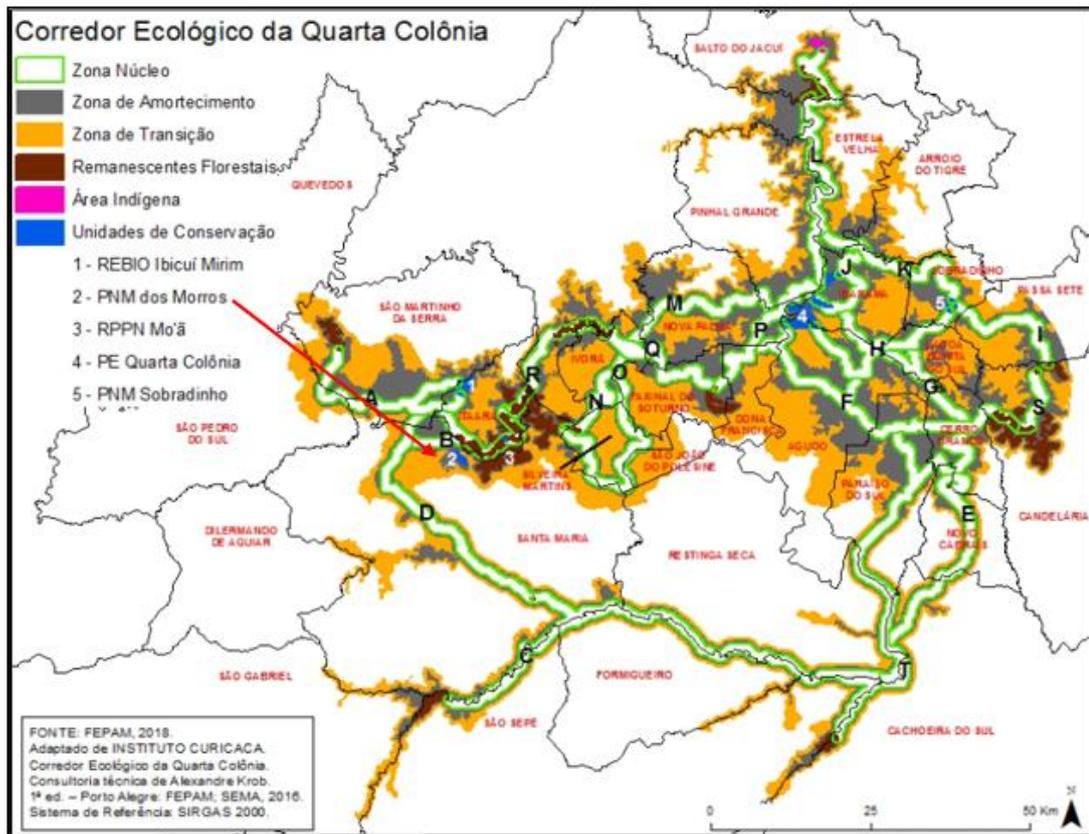
Conforme consta em seu Plano de Manejo (SANTA MARIA, 2013), além de se mostrar como área prioritária para a conservação do bioma Mata Atlântica, a área do PNMM e seu entorno servem como área de vivência de diversas espécies de mamíferos, possuindo também

presença de uma ampla avifauna e diversas espécies de répteis. Entende-se que a área do PNMM e o seu entorno funcionam como local de refúgio, alimentação e reprodução de populações de espécies nativas da fauna da região. A área de estudo desta pesquisa está inserida tanto na Zona Núcleo da RBMA quanto em sua zona de amortecimento, conforme apresentado na Figura 18.

Ainda, a área do Parque Natural Municipal dos Morros também está inserida no Corredor Ecológico da Quarta Colônia, um instrumento de gestão ambiental instituído por intermédio do Projeto RS Biodiversidade, em 2014. Os Corredores Ecológicos são parcelas de ecossistemas naturais que interligam UCs através de fragmentos florestais remanescentes com objetivo de facilitar a interpenetração de espécies nestes ambientes a fim de manter as populações de fauna e flora locais (ZIANE; FOLETO, 2019).

Na região central do Rio Grande do Sul, o Corredor Ecológico da Quarta Colônia promove uma área de contato entre o Parque Estadual da Quarta Colônia e áreas da Reserva Biológica do Ibicuí Mirim e o Parque Municipal de Sobradinho. O Parque Natural Municipal dos Morros é um dos remanescentes florestais entre o a Reserva do Ibicuí Mirim e o Parque Estadual da Quarta Colônia, conforme demarcado na Figura 20.

Figura 20 - Mapa dos corredores florestais pertencentes ao Corredor Ecológico da Quarta Colônia, na região central do RS. A área do PNMM está demarcada em vermelho.



Fonte: SEMA (2021).

Algumas atividades em prol da preservação natural do PNMM são desenvolvidas pelo GBS, que auxilia na fiscalização de irregularidades ambientais e de acesso a área e, ainda, interligando o turismo de aventura e o ecoturismo com a educação ambiental (Figura 17). O grupo também realiza trilhas abertas a população em geral, na intenção de apresentar o Parque e explicar a importância da instituição do PNMM enquanto uma Unidade de Conservação, de forma a incentivar na população a consciência sobre a necessidade da preservação do meio ambiente (FERRARESE, 2019).

Atualmente está em fase de construção a sede do Parque Natural Municipal dos Morros (Figura 21) a qual, além das salas de direção, secretaria, sala de reuniões, espaços para eventos científicos, contará com alojamento para pesquisadores, sala de controle e monitoramento, núcleos de educação ambiental e de práticas esportivas. O projeto arquitetônico foi elaborado pelo Instituto de Planejamento de Santa Maria (IPLAN), visando a sustentabilidade e impacto ambiental mínimo, gerando resíduos em quantidades mínimas, incentivando o uso de

iluminação natural e coleta de água da chuva. Ainda, será instalada na sede do PNMM uma Estação Meteorológica Automática (EMA) gentilmente cedida pelo Departamento de Geografia da Universidade de São Paulo (USP). A EMA servirá de ponto de coleta de dados meteorológicos na área do PNMM dos quais, futuramente, serão realizadas novas investigações quanto ao clima local.

Figura 21 - Sede do Parque Natural Municipal dos Morros em fase de construção.



Fonte: IPLAN, setembro de 2021.

Neste sentido, destaca-se como principal objetivo da criação do PNMM o de preservar os remanescentes florestais do bioma Mata Atlântica presentes na área urbana de Santa Maria, bem como os recursos hídricos e de beleza cênica. Ao mesmo tempo que tem foco a preservação ambiental, também torna possível a execução de atividades recreativas em contato com a natureza e a contemplação cênica da cidade de Santa Maria. Ainda, também possibilita o desenvolvimento de atividades voltadas a educação ambiental, a realização de pesquisas científicas e interpretação ambiental (SANTA MARIA, 2013).

## 4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

### 4.1 REVISÃO SISTEMÁTICA

Para a construção de uma revisão sistemática fez-se necessário seguir passos pré-determinados, sendo eles: (1) delimitação da pergunta de pesquisa, (2) eleição das palavras-chave para a busca, (3) escolha das bases e busca bibliográfica, (4) seleção e exclusão de dados, (5) leitura e avaliação dos artigos selecionados, (6) apresentação dos resultados e (7) definição da metodologia (adaptado de AKOBENG, 2005). Assim, a revisão sistemática respeitou a ordem de etapas descrita acima:

- 1) Delimitação da pergunta de pesquisa – “A topografia controla a variabilidade climática em uma área de transição entre o urbano e o natural?”
- 2) Eleição das palavras-chaves para busca – Palavras-chaves: altitude; variabilidade climática; áreas naturais protegidas; urbano.
- 3) Escolha das bases e realização da busca bibliográfica – Foram escolhidas duas bases de pesquisa para a realização desta revisão sistemática, a Science Direct e a Scopus. Ambas são grandes bases de pesquisa de estudos científicos e abrangem um considerável número de áreas temáticas, principalmente as das ciências naturais, tendo sido aplicado o filtro de acesso aberto<sup>5</sup>.
- 4) Seleção e exclusão dos dados – Para esta etapa foi levado em consideração o tema da pesquisa, se eram pertinentes e complementares ao proposto para esta revisão. Títulos que tratavam sobre quantificação de serviços ecossistêmicos (não relacionados a variáveis climáticas), monitoramento de espécies, doenças e fatores ambientais e paleoclima foram recusados. Também estudos relacionados a qualidade do ar, concentração dos gases do efeito estufa na atmosfera e mudanças climáticas também não foram aceitos.
- 5) Leitura e avaliação dos artigos selecionados – Durante esta etapa foi realizada a leitura completa dos 9 artigos selecionados, com a intenção de avaliar as metodologias utilizadas para a obtenção dos resultados dos mesmos.

---

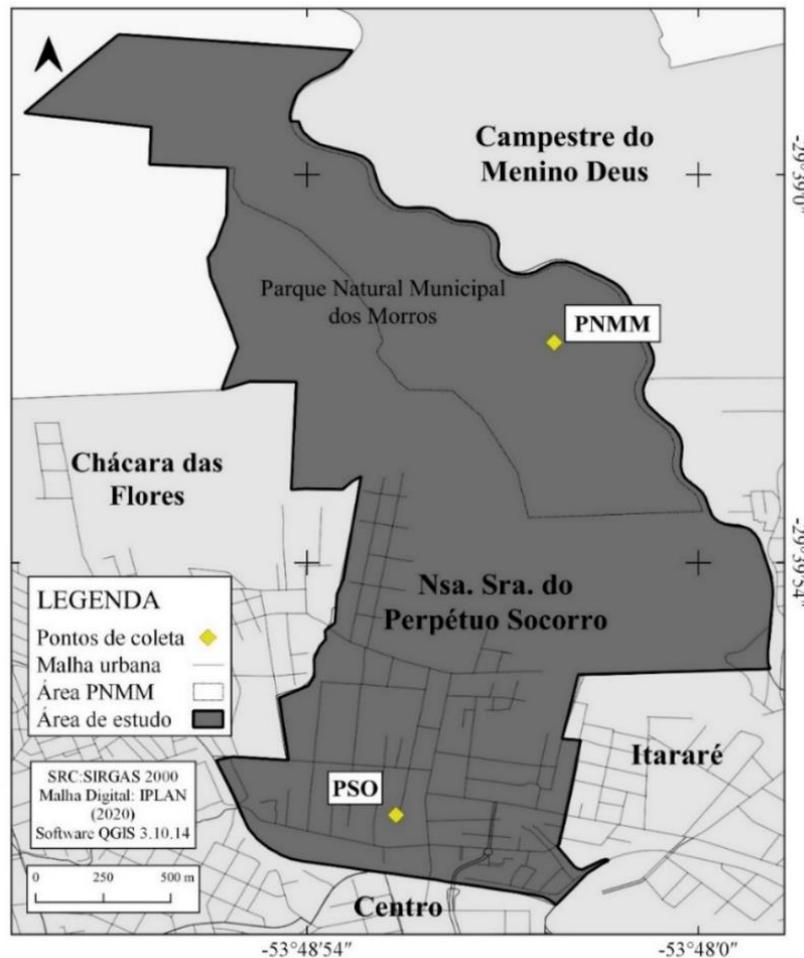
<sup>5</sup> Filtro “Open Access”, indica os artigos científicos que possuem total acesso a publicação de forma completa, sem a necessidade de efetuar o pagamento.

- 6) Apresentação dos dados – Nesta etapa estão apresentados alguns aspectos dos artigos selecionados para leitura completa, que sejam adequados para a construção da revisão sistemática proposta.
- 7) Definição da metodologia – Aqui apresentam-se os métodos científicos mais utilizados nos estudos selecionados.

#### 4.2 A ESCOLHA DOS PONTOS E INSTALAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS – ANÁLISE TOPOCLIMA

Os locais escolhidos para a coleta de dados foram definidos tendo como base três critérios: diferença de altitude; segurança dos instrumentos; regras de instalação da Organização Mundial de Meteorologia (OMM). A definição dos pontos contou com a análise da Carta Topográfica de Santa Maria, folha SH22VCIV1, com escala de 1/50.000, bem como das imagens de satélite no Software Google Earth. Dessa forma, foram definidos os dois pontos para realização da coleta de dados, sendo o primeiro localizado na malha urbana (PSO) e o segundo ponto dentro dos limites do Parque Natural Municipal dos Morros (ponto PNMM), ambos inseridos no bairro Nossa Senhora do Perpétuo Socorro, zona norte da área urbana de Santa Maria (Figura 22).

Figura 22 - Localização dos pontos de coleta na área de estudo.



Fonte: Elaborado pela autora.

O ponto de coleta PNMM, localizado no interior do Parque Natural Municipal dos Morros, foi definido e instalado com o auxílio dos gestores do parque. Estabeleceu-se então o ponto de coleta PNMM na cota altimétrica de 376 metros acima do nível do mar (Figura 23). Este ponto é a maior altitude do Parque Natural Municipal dos Morros em sua porção inserida dentro dos limites do bairro Nossa Senhora do Perpétuo Socorro. Os outros dois critérios de definição dos pontos de coleta também foram atendidos, sendo um local de fácil acesso para a aferição dos dados diários e seguro, estando longe do campo de visão de qualquer indivíduo desavisado que estivesse próximo ao local.

Figura 23 - Local de instalação dos instrumentos no Parque Natural Municipal dos Morros, atualmente conhecido como Everestinho.



Fonte: Trabalho de Campo (2021).

A menor cota altimétrica registrada no Bairro Nossa Senhora do Perpétuo Socorro, que é de 100 metros de altitude acima do nível do mar, de acordo com a carta topográfica de Santa Maria e de 96 metros acima do nível do mar, conforme aferição realizada com aparelho altímetro. Esta cota altimétrica está localizada entre a linha da viação férrea e o Arroio Cadena, em área próxima à divisa dos bairros Nossa Senhora do Perpétuo Socorro, Carolina e Salgado Filho. Dessa forma, outro local foi definido, próximo ao Arroio Cadena, dentro de uma propriedade privada de fácil acesso para a coleta dos dados, em uma altitude de 103 metros acima do nível do mar. A localização dos dois pontos definidos para a coleta está apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 - Dados de localização dos pontos definidos para a instalação dos instrumentos.

Pontos	Latitude (S)	Longitude (O)	Altitude (m)
PNMM	29° 39' 23,34"	53° 48' 19,88"	376 m
PSO	29° 40' 29,10"	53° 48' 41,72"	103 m

Após a definição dos pontos de coleta dos dados foi realizada a instalação dos instrumentos. A instrumentação utilizada para a coleta de dados desta pesquisa contou com dois mini-abrigos meteorológicos de baixo custo, dois aparelhos termo-higrógrafos modelo HT500 Instrutherm, e dois pluviômetros de material plástico com capacidade total de 150 mm (Figura 24).

Figura 24 - Instrumentos instalados nos pontos PSO e PNMM.



Fonte: Trabalho de campo (2018).

Os mini-abrigos utilizados para esta pesquisa foram confeccionados conforme o modelo de abrigo meteorológico de baixo custo proposto com Armani e Galvani (2006). Este modelo de abrigo foi construído utilizando-se chapas de ferro galvanizado, com dimensões de 11,5 cm de altura e 18 cm de diâmetro, pintado com tinta da cor branca (BARATTO, et al., 2020).

Armani e Galvani (2006) destacam que este modelo de abrigo meteorológico permite a ventilação natural no interior do abrigo, porém não possibilita a entrada de chuva ou radiação solar direta em nenhum momento do dia devido a superposição dos “anéis” bloqueando a entrada dos raios solares. A base do abrigo meteorológico é aberta, portanto, permeável permite a entrada da radiação solar difusa, refletida pelo solo, bem como a radiação de onda longa emitida pela superfície.

Para a construção desta pesquisa foram utilizados dados horários de temperatura do ar e umidade relativa do ar, e dados diários de precipitação pluviométrica. Os aparelhos termohigrógrafos responsáveis pelo registro dos dados de temperatura e umidade relativa do ar foram configurados para realizar o registro dos dados a cada hora. Após a configuração, foram instalados individualmente no interior de cada um dos mini-abrigos meteorológicos.

Os instrumentos foram fixados a suportes, o mini-abrigo a um suporte de ferro e o pluviômetro a um suporte de madeira. Estes suportes foram unidos com o auxílio de fitas abraçadeiras e serviram como base para firmar os instrumentos ao chão e, cumprindo um dos critérios para escolha dos locais de coleta de dados desta pesquisa, mantê-los na altura correta em relação ao nível do solo. Segundo as normativas da Organização Meteorológica Mundial – OMM, utilizada pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, os aparelhos sensores de temperatura do ar e umidade relativa do ar devem ser instalados a uma altura entre 1,25 a 2 metros acima do terreno. Já os instrumentos pluviômetros devem estar posicionados a uma altura de 1,5 metros. Assim, os instrumentos foram posicionados na altura de 1,5 metros do nível do solo (INMET, 1999).

Os instrumentos ficaram instalados nos pontos de coleta no período de 24 de setembro de 2018 a 07 de dezembro de 2019. Para a análise desta pesquisa o período definido foi de 01 de outubro de 2018 a 30 de setembro de 2019 para que fossem analisados 12 meses de dados. Após a retirada dos instrumentos dos pontos de coleta, foi realizada a calibração dos aparelhos termo-higrográfos.

#### 4.3 CLASSIFICAÇÃO DAS ZONAS CLIMÁTICAS LOCAIS (LCZS)

Para a identificação das zonas climáticas locais foi utilizado o aplicativo LCZ Generator conforme metodologia indicada por Demuzere et al. (2021). Dessa forma, em um primeiro momento foi realizada a identificação das tipologias (STEWART; OKE, 2012) em forma de áreas testes estabelecendo a área urbana de Santa Maria enquanto o recorte espacial. As áreas

testes foram definidas com o auxílio de imagens de satélite LANDSAT datada do mês de novembro de 2019, disponibilizada no Software Google Earth. As áreas testes foram estabelecidas em forma de polígonos quadrados, em escala variando entre 200 e 300 metros, tendo como base as 17 LCZ's propostas por Stewart e Oke (op cit.).

As áreas testes, em formato .kml, definidas para a área urbana de Santa Maria foram submetidas ao aplicativo LCZ Generator para que fosse gerado o mapa final das LCZs locais. Por fim, o raster produto final do processo de classificação das zonas climáticas locais, foi tratado com o auxílio do Software QGIS 3.10. Foi realizado o recorte espacial levando em consideração a área objeto de interesse deste estudo. Por se tratar de um estudo climático em área urbana, a metodologia das LCZ foi utilizada para classificar o uso do solo no bairro Nossa Senhora do Perpétuo Socorro e área adjacentes.

#### 4.4 PROCEDIMENTOS PARA ANÁLISE DA VARIBILIDADE CLIMÁTICA

##### 4.4.1 Procedimentos para análise térmica

Após a coleta dos dados, eles foram organizados e tabulados em planilhas com o auxílio do Software Microsoft Excel, onde foram realizados os cálculos para obter os valores médios horários (diurnos e noturnos), diários, mensais, sazonais e anual. Afim de analisar a amplitude térmica em cada ponto de coleta, foram identificados os valores máximos e mínimos absolutos mensais de temperatura do ar. Também foram calculados os valores médios horários mensais, e os valores médios diurnos e noturnos mensais.

A fim de verificar a correlação entre a altitude e a temperatura média mensal encontrada para cada ponto na área de estudo, foi realizado o teste de Coeficiente de Pearson ( $r$ ). Esta análise tem como finalidade encontrar o valor do coeficiente de correlação ( $r$ ), o qual aponta o grau de associação linear entre duas variáveis. O valor de  $r$  varia de -1,0 a 1,0. Quanto mais próximo o valor de  $R$  está para 1,0 ou -1,0, maior é a correlação existente entre as variáveis. O valor do coeficiente de correlação igual ou muito próximo ao zero significa correlação nula ou muito baixa. O Coeficiente de Pearson foi verificado nesta pesquisa com a intenção de determinar o tipo de correlação entre as variáveis analisadas, se é forte ou fraco, direta ou inversa.

Com os valores médios calculados, foram realizadas as análises de correlação (Coeficiente de Pearson) e regressão linear para os valores médios mensais de temperatura do

ar. Os gradientes verticais mensais foram calculados utilizando-se a técnica da regressão linear simples, adaptado de Galvani et al. (2008), a qual estima o valor de uma variável independente em função de uma variável dependente. Na equação da Regressão Linear

$$y = a + bx \quad (1)$$

onde  $y$  é a variável a ser estimada;  $a$  é o coeficiente linear;  $b$  é o coeficiente angular; e  $x$  é a variável independente, utilizada para estimar o valor da variável dependente. Assim, para maior entendimento da aplicação desta técnica para o fim desejado, entende-se o  $y$  como a temperatura do ar estimada para aquela altitude, o  $a$  como sendo a temperatura do ar observada, o  $b$  como a variação da temperatura do ar (gradiente vertical) e o  $x$  como sendo a variável independente, ou seja, a altitude acima do nível do mar. Estas análises foram realizadas com o auxílio do Software Microsoft Excel 2016.

Para a calibração dos aparelhos termo-higrógrafos, eles foram mantidos juntos, dispostos ao lado a lado, dentro de um ambiente fechado, sem interferência externa. Dessa forma, os aparelhos mantiveram-se registrando os valores de temperatura do ar e umidade relativa do ar deste ambiente por 72 horas. Os valores registrados pelos aparelhos durante este período foram utilizados para verificar se os aparelhos apresentavam correlação entre si. Este processo serve para atestar a confiabilidade dos dados registrados durante o período em que os aparelhos estiveram instalados nos pontos de coleta.

A calibração dos dados foi realizada a partir da análise de parâmetros estatísticos como a média aritmética simples, valores mínimos, máximos, amplitude, desvio médio e desvio padrão de todos os valores registrados durante o período de 72 horas. Também foram analisados os parâmetros de regressão linear e os coeficientes de correlação ( $r$ ) e coeficientes de determinação ( $R^2$ ), conforme metodologia de Armani e Galvani (2006) apresentada por Hoppe et al. (2015) e Baratto et al. (2020).

#### **4.4.2 Procedimentos para análise pluviométrica**

Para a análise dos dados de precipitação pluviométrica foram utilizados os dados registrados para o ponto PSO e PNMM. Foram analisados os valores acumulados em cada evento pluviométrico, acumulado total mensal, acumulado total sazonal e acumulado total do

ano hidrológico da pesquisa (dezembro de 2018 a novembro de 2019), conforme metodologia aplicada por Silva e Wollmann (2019).

Em virtude de uma falha na coleta dos dados pluviométricos referentes ao Parque Natural Municipal dos Morros, não foi possível identificar os valores acumulados diários. Os dados de precipitação do ponto PNMM foram coletados pela própria gestão da UC ou por oficiais da Guarda Municipal durante suas rondas. Ocorre que, em alguns episódios o valor pluviométrico coletado era referente ao acumulado das últimas 24 ou 48 horas, devido à falta de alguém disponível para realizar a coleta ou outras dificuldades (dificuldade ao acesso, condição meteorológica). Neste sentido, a análise diária da precipitação pluviométrica foi prejudicada, bem como a identificação de eventos extremos.

Foram utilizados parâmetros estatísticos básicos durante a análise da precipitação pluviométrica. As relações entre a precipitação e a altitude foram verificadas a partir do teste de correlação de Pearson. Ainda, os valores de precipitação encontrados nos pontos de coleta foram discutidos a partir da estatística descritiva. Os valores encontrados para os pontos PSO e PNMM foram comparados com a Normal Climatológica (1961-1990).

#### **4.4.3 Procedimentos para análise evapotranspirativa**

Os valores de evapotranspiração foram encontrados através da elaboração Balanço Hídrico Climático (BHC), utilizando o método de Thornthwaite e Mather (1957). O cálculo foi realizado através do programa BHnorm, elaborado em planilha no Software Microsoft Excel por Rolim et al. (1998). No cabeçalho da planilha devem ser informados o nome da localidade, suas coordenadas geográficas, período dos dados informados, altitude e fonte dos dados. Também deve-se inserir o valor da capacidade de água disponível (CAD). O CAD é um valor ajustável e pode ser modificado de acordo com a necessidade do usuário. Para esta pesquisa foi atribuído o valor de 100 mm para CAD conforme Thornthwaite e Mather (1955). Foram utilizados os valores médios mensais de temperatura do ar (°C) e os valores totais mensais de precipitação pluviométrica (mm) coletados nos pontos PSO e PNMM.

Os valores de evapotranspiração foram analisados com base nos gráficos de extrato do balanço hídrico mensal resultantes dos cálculos do programa BHnorm, os quais apontam a ocorrência de déficit, excedente, retirada e reposição hídrica pelo solo. Destaca-se que este valor de evapotranspiração é uma estimativa, onde no momento do cálculo não se leva em

consideração a mudança de ambiente do urbano para o natural, mas sim a mudança no nível altimétrico do ponto de coleta de dados.

#### 4.5 PROCEDIMENTOS PARA ANÁLISE DA INVERSÃO TÉRMICA

A análise da inversão térmica foi realizada de forma horária. Foram compreendidas como ocorrências de inversão térmica os registros de temperatura do ar onde o valor registrado de temperatura do ar no ponto PNMM foi pelo menos  $1,0^{\circ}\text{C}$  mais alta do que no ponto PSO no mesmo horário. Este valor foi definido devido ao erro do aparelho, que é de  $1,0^{\circ}\text{C}$  segundo o fabricante. Frente ao grande número de dados, foi utilizado o Software Microsoft Excel 2016 para tabular o número de horas em que houveram inversão térmica. Para identificar as ocorrências de inversão térmica foram utilizados os dados horários e os valores médios mensais.

Foram identificados os maiores valores de inversão térmica para cada mês de registro de dados na área de estudo. Dessa forma, 12 episódios de inversão térmica foram definidos para a análise sinótica a qual apontou as condições meteorológicas e os sistemas atmosféricos mais atuantes durante os episódios de inversão térmica. Para esta investigação foram utilizadas as cartas sinóticas de superfície diárias dos 12 episódios de inversão térmica, bem como as imagens de satélite horárias dos mesmos dias. Estes instrumentos de análise são disponibilizados pelo Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE).

#### 4.6 PROCEDIMENTOS PARA ANÁLISE DO EFEITO OROGRÁFICO

Para realizar a análise do efeito orográfico foram identificados os eventos pluviométricos mais significativos, como os que um ponto registrou volume pluviométrico com diferença expressiva em relação ao outro ( $> 5,0$  mm). Com estes eventos identificados, posteriormente foi realizada a investigação sinótica a fim de identificar os sistemas atmosféricos atuantes nos eventos pluviométricos com registro de efeito orográfico. Para esta investigação foram utilizadas as cartas sinóticas de superfície disponibilizadas pelo CPTEC/INPE para cada um dos eventos pluviométricos, conforme metodologia adaptada de Forgiarini et al. (2014).

Também foram utilizadas as imagens de satélite disponibilizadas pelo CPTEC/INPE a fim de compreender melhor a circulação atmosférica na região e identificar a origem das precipitações registradas.

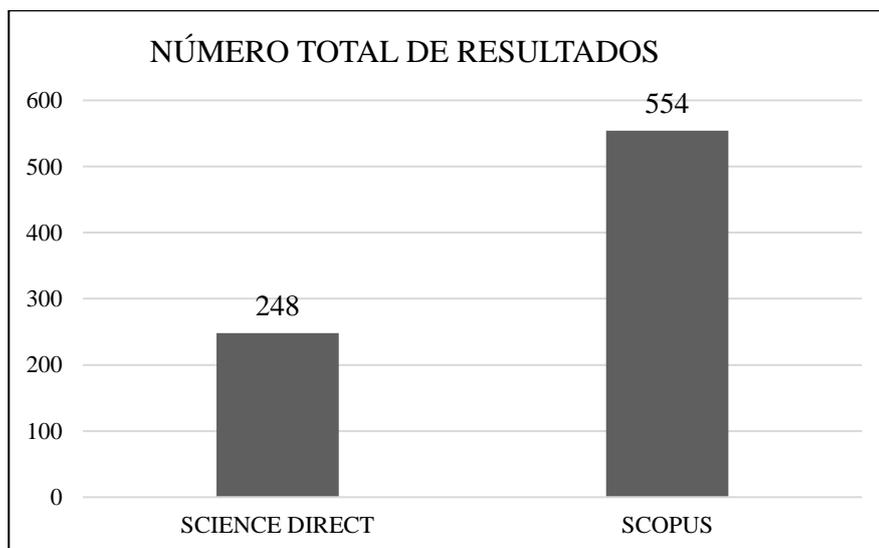
## 5 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### 5.1 REVISÃO SISTEMÁTICA

Durante a construção de uma pesquisa científica a realização da revisão literária é fundamental para que o pesquisador tenha acesso a novas ideias e perspectivas acerca do tema abordado em seu trabalho. A revisão sistemática é uma metodologia de pesquisa que tem como finalidade ampliar a busca oferecendo um maior número de resultados possíveis, organizando o material de acordo com a necessidade do pesquisador e tornando-a mais objetiva. Ainda, oferece aos pesquisadores orientações para sua pesquisa baseado em novas ideias, teorias, medidas métodos incentivando-os a encontrar novas questões de pesquisa diferentes das já utilizadas (COSTA; ZOLTOWSKI, 2014).

Dentro das etapas estabelecidas no procedimento da realização desta revisão sistemática pergunta definida para a pesquisa sistemática foi “A topografia controla a variabilidade climática em uma área de transição entre o urbano e o natural?”. As palavras-chaves escolhidas foram: altitude; variabilidade climática; áreas naturais protegidas; urbano, as quais foram lançadas nas bases de pesquisas científicas Science Direct e Scopus, com a aplicação do filtro de acesso aberto. O Gráfico 1 apresenta a porcentagem de resultados encontrados.

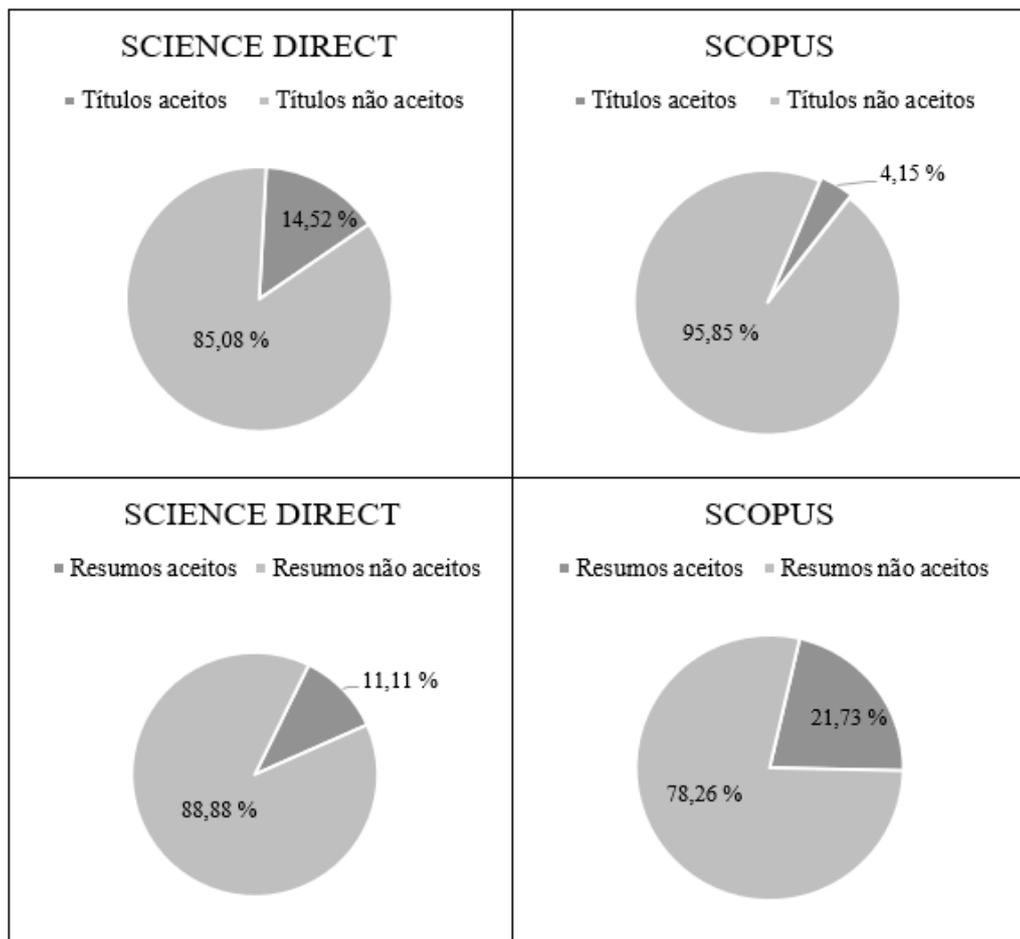
Gráfico 1 - Número total de resultados obtidos em cada base de pesquisa durante a etapa de realização da busca bibliográfica.



Do total de artigos científicos com acesso aberto (802 artigos), 59 títulos foram aceitos para a leitura do resumo (7,36%) e 743 foram recusados (92,64%). Destes, 61,01 % foram encontrados na Science Direct, e 38,99% na plataforma Scopus.

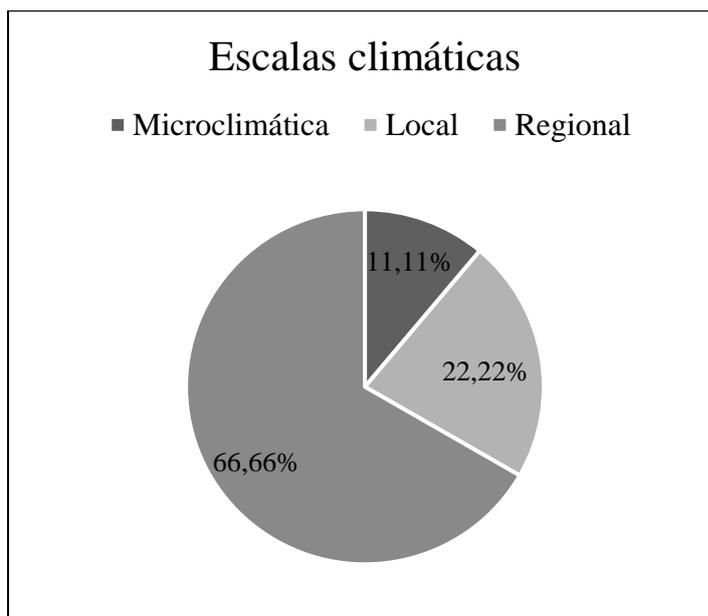
Com a leitura dos resumos foram selecionados os artigos para leitura completa. Do total de resumos aceitos, somente 9 foram selecionados para leitura completa do artigo (15,25%) e 50 artigos foram rejeitados a partir da leitura do resumo (84,74%). Na base de busca Science Direct foram selecionados 4 artigos para a leitura completa (11,11%) e 32 foram recusados (88,88%). Na plataforma Scopus, 5 artigos foram aceitos para a leitura (21,73%) enquanto 18 foram deixados de fora (78,26%). O resultado da etapa de seleção e exclusão dos títulos está apresentado na Figura 25.

Figura 25 - Porcentagem de títulos e resumos aceitos e não aceitos durante a revisão sistemática.



Os estudos selecionados foram realizados na China (2), Singapura (1), Taiwan (1), Eslováquia (1), Romênia (1), Rússia (1), Estados Unidos (1). Três tipos de escalas climáticas foram observados nos estudos selecionados, e estão apresentados no Gráfico 2.

Gráfico 2 - Ordens de grandeza escalar do clima observadas nos estudos.



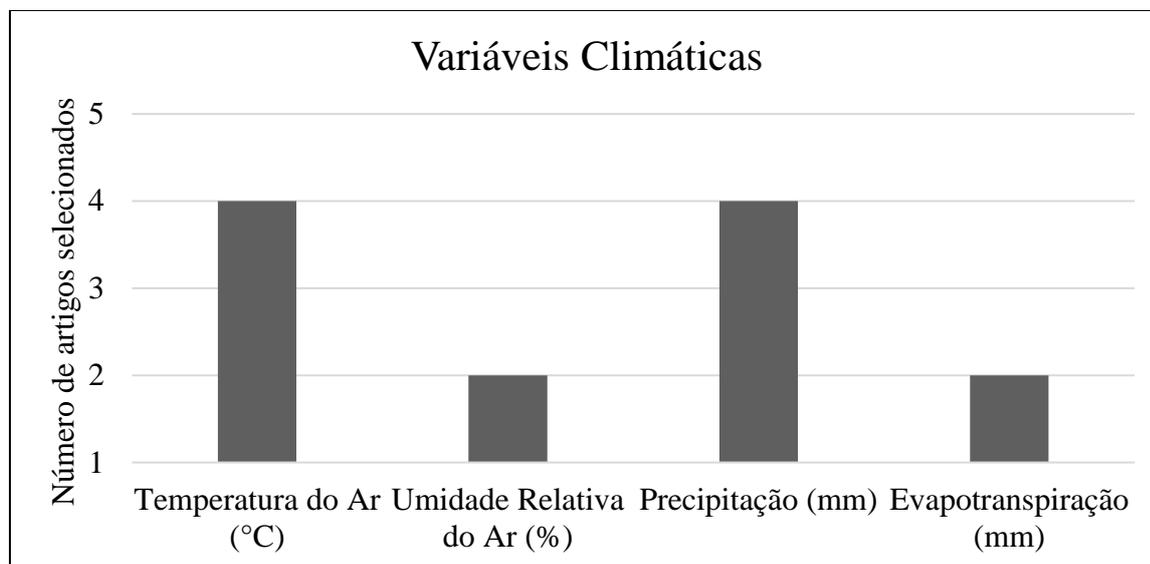
Dos 9 estudos selecionados, 6 (66,66%) realizaram suas análises dentro da escala regional, 2 (22,22%) utilizaram a escala climática local e 1 (11,11%) estudo abordou análise microclimática. Ainda, os tipos climáticos, identificados pelos autores nos trabalhos, variam entre clima temperado, semi-árido, subtropical, tropical, continental, savana equatorial, semi-úmido. O Gráfico 3 apresenta os períodos de escala temporais utilizados nos estudos.

Gráfico 3 - Período de escala temporal utilizados nas pesquisas selecionadas.



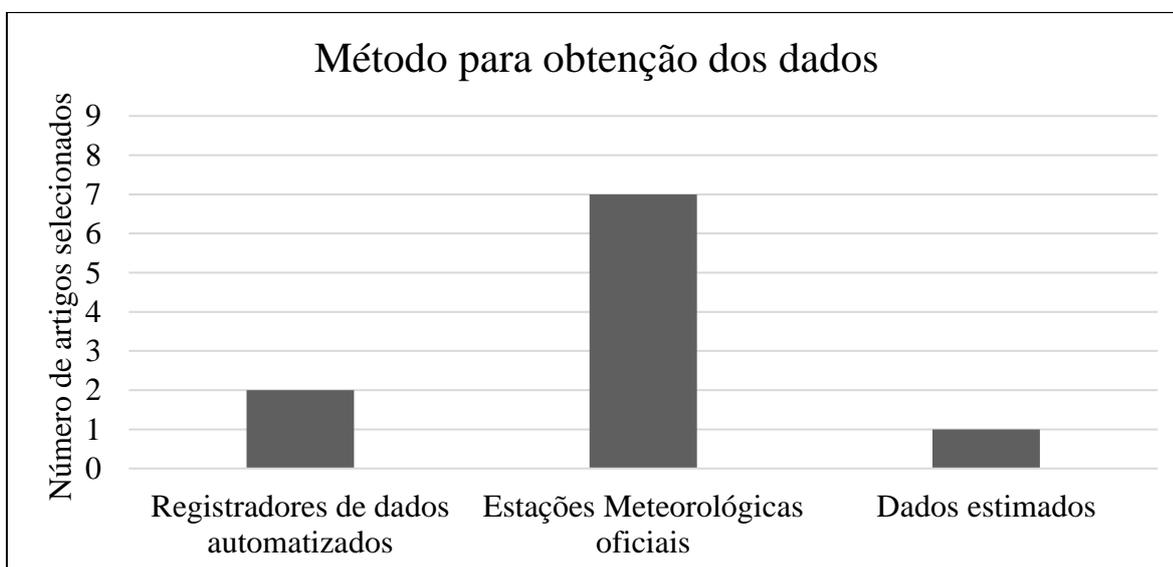
O menor período de registro de dados utilizado para a realização das pesquisas foi de 15 dias (1 estudo, 11,11% dos estudos). O período de 1 ano foi utilizado em 2 pesquisas (22,22%). Três estudos (33,33%) foram realizados com períodos de 20, 24 e 30 anos, e em outros 3 (33,33%) foram analisados períodos temporais de 40, 52 e 61 anos. Ainda, 1 pesquisa utilizou em suas análises dados de 20 anos e de 59 anos, de diferentes fontes coletadas em diferentes fontes. As variáveis climáticas mais utilizadas nos estudos estão apresentadas no Gráfico 4.

Gráfico 4 - Variáveis utilizadas nas pesquisas selecionadas para análise.



A temperatura do ar foi a variável mais utilizada, tendo sido analisada em 4 dos 9 artigos selecionados. A umidade relativa do ar e a precipitação foram analisados em 2 e 4 artigos, respectivamente. A análise da evapotranspiração foi realizada em 2 trabalhos. Dos 9 trabalhos, 2 analisaram a temperatura e a umidade relativa do ar em conjunto, e 1 realizou o estudo utilizando-se da temperatura do ar e da precipitação. A forma de coleta dos dados está apresentada no Gráfico 5.

Gráfico 5 - Métodos de obtenção dos dados utilizados nas pesquisas.



Observou-se que, do total de artigos analisados, somente 2 (22,22%) utilizaram dados primários. Os outros 7 (77,77%) artigos realizaram suas análises a partir de dados secundários. Somente 1 artigo foi realizado a partir da análise de dados primários e secundários. Os dados primários foram registrados a partir de instrumentos automatizados em 3 estudos. Em 7 estudos foram utilizados dados obtidos de Estações Meteorológicas oficiais. Ainda, em 1 trabalho foram analisados os valores estimados de temperatura do ar obtidos a partir de imagens de satélite (sensoriamento remoto térmico).

Diversas formas de análise de dados foram utilizadas nas pesquisas selecionadas. A partir análise dos métodos aplicados nos nove estudos, realizou-se uma investigação sobre cada técnica encontrada, a fim de compreender a possibilidade de aplicação nesta presente pesquisa. As análises estatísticas e metodologias aplicadas nos estudos selecionados puderam ser diferenciadas através da série temporal de dados. Assim, os estudos foram divididos em dois grupos: o primeiro, a série de dados com um período menor ou igual a 1 ano; o segundo, os estudos apresentaram séries de dados superiores a 1 ano, variando de 20 a 62 anos de dados analisados. As análises estatísticas e os métodos aplicados nestes dois grupos estão apresentados no Quadro 3.

Quadro 3 - Divisão das diferentes formas de análise e métodos utilizados nos estudos selecionados.

<b>PERÍODO</b>	<b>ANÁLISES ESTATÍSTICAS E MÉTODOS APLICADOS</b>
< 1 ano	Comparação valores médios; coeficiente de correlação; estimativa de valores com sensoriamento remoto térmico; intensidade Park Cooling Island; métodos de interpolação (splines, análise de superfície de tendência, ponderação de distância inversa, vizinho natural, diferentes métodos de krigagem).
> 1 ano	Comparações de valores médios; coeficiente de correlação; regressão linear (múltipla); desvio padrão; correlação espacial; teste Mann-Kendall; teste de Wavelet; análise de sensibilidade; método derivada parcial; método de separação; teste de significância; teste de homogeneidade; teste de alcance; equação de Penman-Monteith; índice de concentração (precipitação).

Os estudos com série temporal menor ou igual a 1 ano são 3 pesquisas. Destas, duas realizaram a coleta de dados de forma primária, com auxílio de sensores automatizados (dataloggers) em períodos de 15 dias e 1 ano cada. Somente uma utilizou dados do período de

30 dias, provenientes de estações meteorológicas oficiais. Estas pesquisas foram realizadas dentro de escalas microclimáticas (1) e local (2). Outros 6 estudos foram realizados dentro da escala regional, todas com dados obtidos diretamente de estações oficiais de registro de dados atmosféricos. As séries temporais apresentadas por estes estudos são de 20, 24, 30, 40, 52, 59 e 61 anos. Um mesmo estudos analisou duas séries temporais diferentes, de 20 e 59 anos cada.

Esta divisão pode ser observada durante a leitura e delimitação dos métodos de análise em cada estudo. Em estudos com séries temporais mais curtas as análises estatísticas aplicadas eram mais simples, enquanto os demais apresentam diferentes tipos de análises e testes de tendência e significância, característicos de longas séries temporais. Estes tipos de análises foram comuns em quase todos os trabalhos do segundo grupo. Um apanhado geral dos aspectos mais utilizados nos estudos científicos definidos na etapa final da revisão sistemática está apresentado no Quadro 4.

Quadro 4 - Aspectos utilizados em maior número nos estudos científicos apontados pela revisão sistemática.

<b>ASPECTO</b>	<b>MAIS UTILIZADO</b>
Escala Temporal	Períodos maiores que 10 anos.
Escala Climática	Regional
Coleta de dados	Secundária, dados de Estações Meteorológicas Oficiais
Variável Climática	Temperatura do ar e Precipitação Pluviométrica
Análise Estatística	Coefficiente de correlação; regressão linear; teste Mann-Kendall.

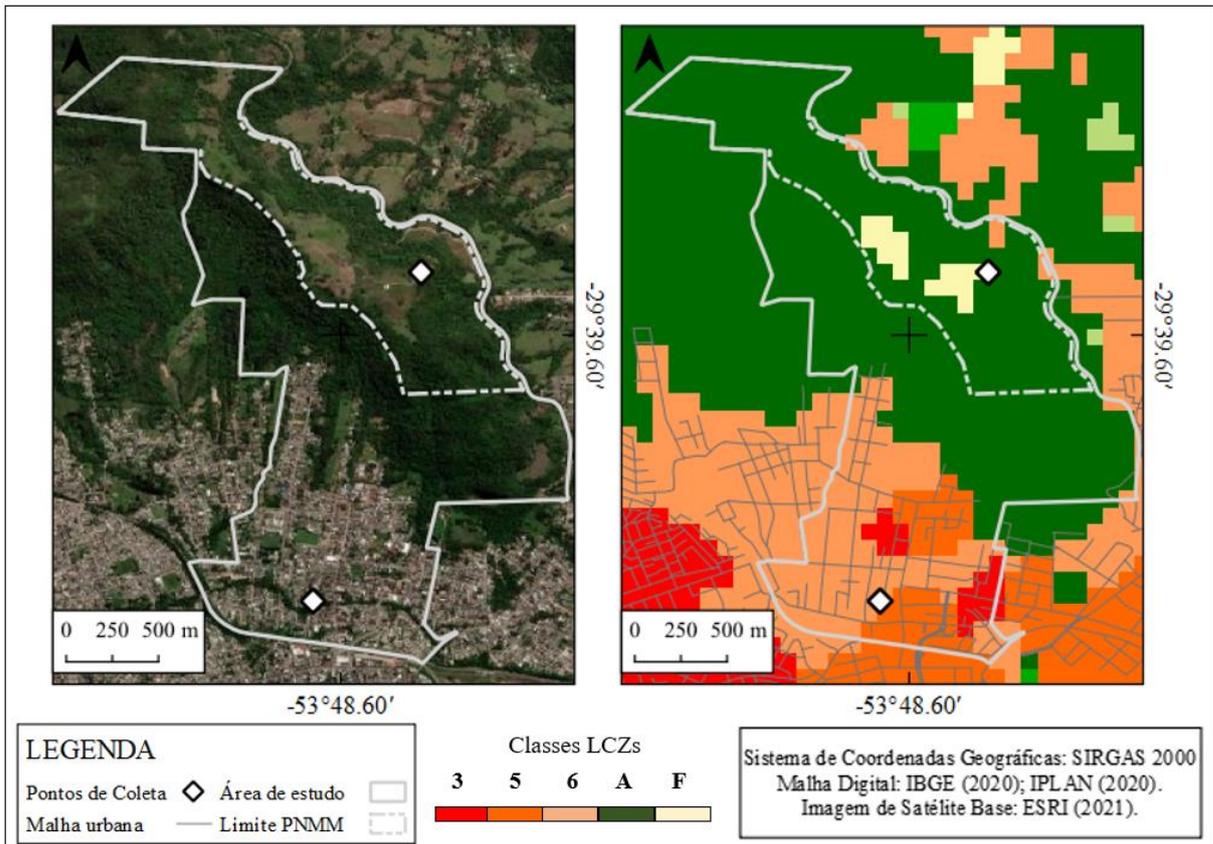
As análises de coeficiente de correlação e regressão linear foram aplicadas na maior parte dos estudos encontrados na revisão sistemática. Neste sentido, os métodos de análise estatística utilizados nesta pesquisa foram definidos com base nos resultados apontados pela revisão sistemática e demais métodos observados em leituras externas.

## 5.2 ZONAS CLIMÁTICAS LOCAIS

Os elementos de superfície inerentes a área de estudo foram mapeados conforme as Zonas Climáticas Locais (Demuzere et al. 2021) onde, das 17 classes estabelecidas para as LCZs, 5 foram identificadas dentro da área de estudo. A Figura 26 mostra a comparação entre

a imagem de satélite e o produto final do processo de classificação realizada pelo aplicativo LCZ Generator.

Figura 26 - Classificação das LCZs conforme arquivo gerado pelo aplicativo LCZ Generator.



Conforme apresentado na Figura 26, foram identificadas três classes urbanas (LCZs 3,5 e 6), classificadas de acordo com o tipo de construção, e duas classes relacionadas a vegetação e ao tipo de cobertura do solo (LCZs A e F). Considerando a localização dos pontos de coleta de dados estabelecidos para esta pesquisa, é possível afirmar que o ponto PSO está situado em uma LCZ 6, enquanto o ponto PNMM está em uma LCZ F.

Ainda, no entorno da área de estudos podem ser observadas LCZs B e D, a nordeste do PNMM. A sul da área de estudo, em direção a área central da cidade de Santa Maria, percebe-se aumento no adensamento das construções, o que também reflete nas LCZs. O Quadro 5 conta com a descrição das LCZs encontradas na área de estudo.

Quadro 5 - Características das LCZs identificadas dentro da área de estudos.

LCZ	DESCRIÇÃO	TOTAL DA ÁREA	IMAGEM AÉREA
LCZ 3 – Compacta de baixa elevação 	Forma: área densamente construída, com edificações baixas e pouca ou nenhuma área permeável. Materiais de construção pesados (concreto, tijolo, cimento, e aço). Fluxo de tráfego alto. Função: Residencial e comercial.	Cobre 2,2% da área de estudo.	
LCZ 5 – Arranjo médio e espaçados 	Área com edificações mais altas (3 a 5 pavimentos). Terrenos possuem maior área permeável. Materiais pesados (concreto, tijolo, cimento). Fluxo de tráfego alto. Função: Comercial e residencial.	Cobre 6,8 % da área de estudo.	
LCZ 6 – Arranjo baixos e espaçados 	Forma: área com construções espaçadas, máximo 2 pavimentos. A área do terreno permeável aumenta significativamente nesta LCZ visto que há terrenos não ocupados e grandes jardins nas propriedades. Materiais de construção leves e pesados (cimento, tijolos, madeira, telhados de fibrocimento ou cerâmica). Função: residencial.	Cobre 20,4% da área de estudo.	
LCZ A – Densa Vegetação 	Forma: área densamente vegetada. Terreno permeável, com declividade, correspondente as áreas do Rebordo do Planalto Meridional e alguns trechos das margens do Arroio Cadena. Função: Área de preservação permanente (APP) e parte da UC de Proteção Integral.	Cobre 65,9 % da área total.	
LCZ F – Solo exposto ou areia. 	Forma: Área de topo de morro, vegetação campestre. Inclui-se nesta LCZ alguns trechos da trilha existente no PNMM, área de fluxo de carros dentro do Parque. Função: UC de Proteção Integral.	Cobre 4,5 % da área de estudo.	

Dessa forma, define-se a área de estudo como de função residencial (LCZ 6), em sua maior parte. Ainda, de forma localizada, apresenta uma área onde as funções residenciais e comercial se misturam, onde situam-se o mercado de maior porte do bairro, bem como o Hospital Casa de Saúde e o posto de combustível. Nessa área, além de a superfície permeável ser muito menor em relação ao restante do bairro, o fluxo de pessoas, carro, ônibus, caminhões e ambulâncias é contínuo. A Figura 27 apresenta as áreas cujo as zonas climáticas locais foram classificadas conforme as tipologias de construção.

Figura 27 - Zonas climáticas locais (LCZs) conforme os tipos de construção na área de estudo.

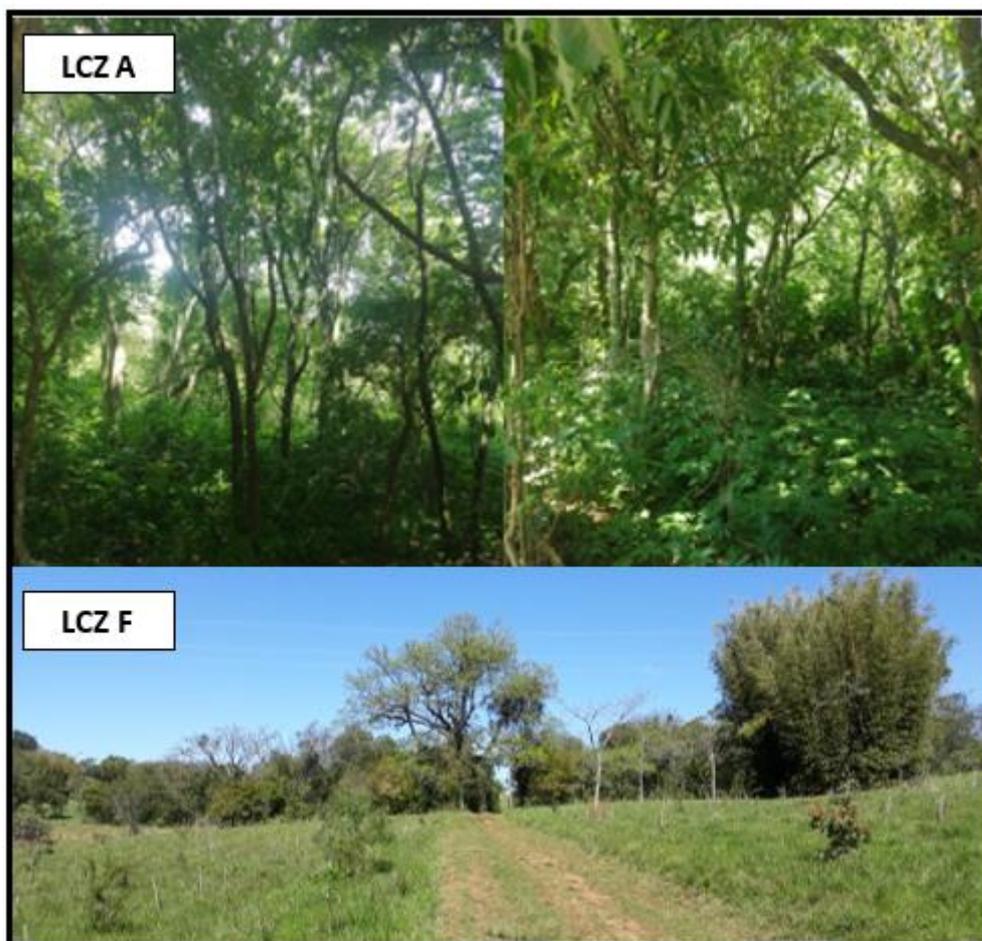


Fonte: Trabalhos de campo (2021; 2022).

Ao considerar as tipologias de uso do solo referentes as áreas naturais, observa-se que a centro-norte do bairro apresenta área fortemente arborizada (LCZ A), com abundância de solo permeável em um terreno íngreme, referente a escarpa do Rebordo do Planalto Meridional, a qual possui função de floresta natural. No topo do morro, na área pertencente ao Parque Natural Municipal dos Morros também registra área arborizada (LCZ A), porém possui determinadas áreas com vegetação baixa (LCZ F), a qual dependendo do período, se úmido ou mais seco, se apresenta como área vegetada ou solo exposto. Atualmente, parte dessas áreas estão em processo de recuperação arbórea a partir de ações de reflorestamento realizados pela gestão do

PNMM. A Figura 28 apresenta as áreas onde foram classificadas as zonas climáticas locais conforme as tipologias de uso do solo.

Figura 28 - Zonas climáticas locais (LCZs) conforme os tipos de uso de solo na área de estudo.



Fonte: Trabalhos de campo (2021; 2022).

Observa-se no bairro Nossa Senhora do Perpétuo Socorro um momento de transição urbana, entre a condição de bairro majoritariamente residencial, com construções em arranjos abertos (LCZ 6) para uma área com maior densidade de área construída, com consequente aumento na área impermeável e no fluxo no bairro. Stewart e Oke (2012) ressaltam o fato de que as características urbanas, como as rugosidades criadas pelas construções e a impermeabilidade do solo, alteram o balanço natural de energia e radiação, o que gera um maior aquecimento nessas áreas.

Cardoso e Amorim (2017) complementam Stewart e Oke (op.cit.) ao apontar que a forma urbana afeta o clima local, modificando os fluxos de ar e o transporte de calor, bem como a cobertura da superfície modifica o albedo, a disponibilidade de umidade e o potencial de

aquecimento e arrefecimento do solo. Esse tipo de modificação pode produzir condições climáticas locais que as diferem das áreas ao redor, contribuindo para a formação das ilhas de calor. Neste contexto, questiona-se quanto a formação de uma ilha de calor e se ela poderia afetar o clima do Parque Natural Municipal dos Morros levando em consideração uma possível mudança nos fluxos atmosféricos locais.

### 5.3 VARIBILIDADE TOPOCLIMÁTICA NO BAIRRO NOSSA SENHORA DO PERPÉTUO SOCORRO

#### 5.3.1 Calibração dos dados

Com a calibração dos dados, foi possível observar que os dados registrados pelos aparelhos TH-1 e TH-2 estão expressivamente próximos. A Tabela 2 apresenta os valores encontrados para os parâmetros calculados.

Tabela 2 - Parâmetros apresentados na calibração dos dados.

Parâmetros	TH 1 (°C)	TH 2 (°C)	TH 1 - TH 2 (°C)
Média	26,3	26,6	-0,3
Mínimo	25,5	25,8	-0,3
Máximo	27,4	27,7	-0,3
Amplitude	1,9	1,9	0,0
Desvio Médio	0,5	0,5	0,0
Desvio Padrão	0,6	0,6	0,0

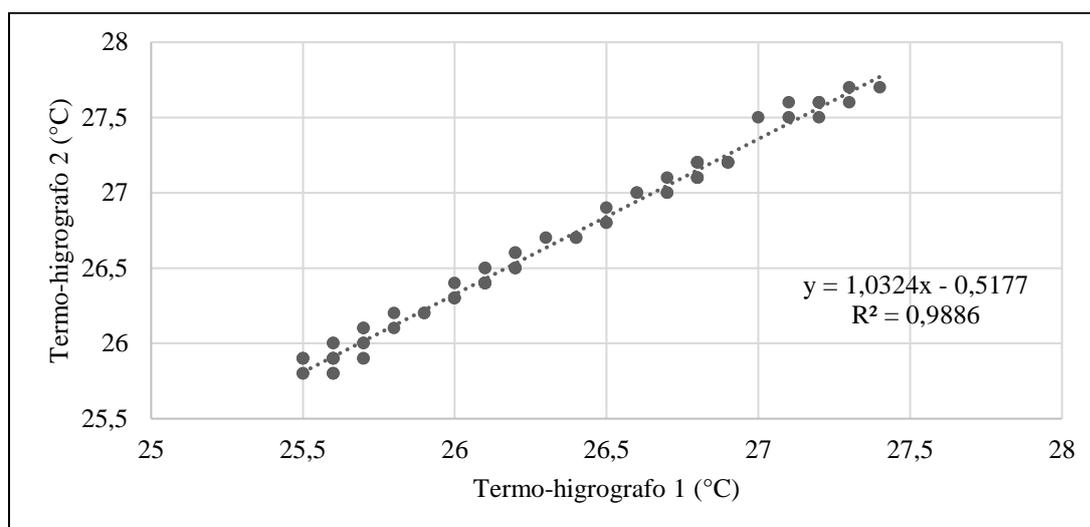
As médias dos dados de temperatura do ar registradas nos dois termo-higrógrafos diferenciam-se em  $-0,3^{\circ}\text{C}$ . A mesma diferença de  $-0,3^{\circ}\text{C}$  foi encontrada para os valores mínimo e máximos de temperatura do ar registrados durante o período estipulado. A amplitude dos valores de temperatura registrados em TH-1 e TH-2 é de  $1,9^{\circ}\text{C}$  para os dois aparelhos.

O desvio médio e o desvio padrão encontrados para ambos os termo-higrógrafos são de 0,5 e 0,6, respectivamente, não havendo diferença para os valores encontrados entre os dois aparelhos dentro deste parâmetro. Diante disso, entende-se que não há desvio entre os registros de temperatura do ar entre os dois aparelhos.

A análise de correlação tem como finalidade encontrar o coeficiente de correlação (R), que aponta o grau de associação linear entre duas variáveis. O valor de R varia de -1,0 a 1,0.

Quanto mais próximo o valor de R está para 1,0 ou -1,0, maior é a correlação existente entre as variáveis. O valor do coeficiente de correlação igual ou muito próximo ao zero significa correlação nula ou muito baixa. O Gráfico 6 apresenta a dispersão dos valores de temperatura do ar registrados pelos instrumentos durante o período de calibração.

Gráfico 6 - Gráfico de dispersão dos dados registrados no período de calibração.



A avaliação realizada a partir do coeficiente de correlação ( $r$ ), coeficiente de determinação ( $R^2$ ) apontam que os dados coletados pelos instrumentos termohigrografos são confiáveis, e estão dentro o erro previsto no manual de instrução dos aparelhos.

### 5.3.2 Temperatura do ar

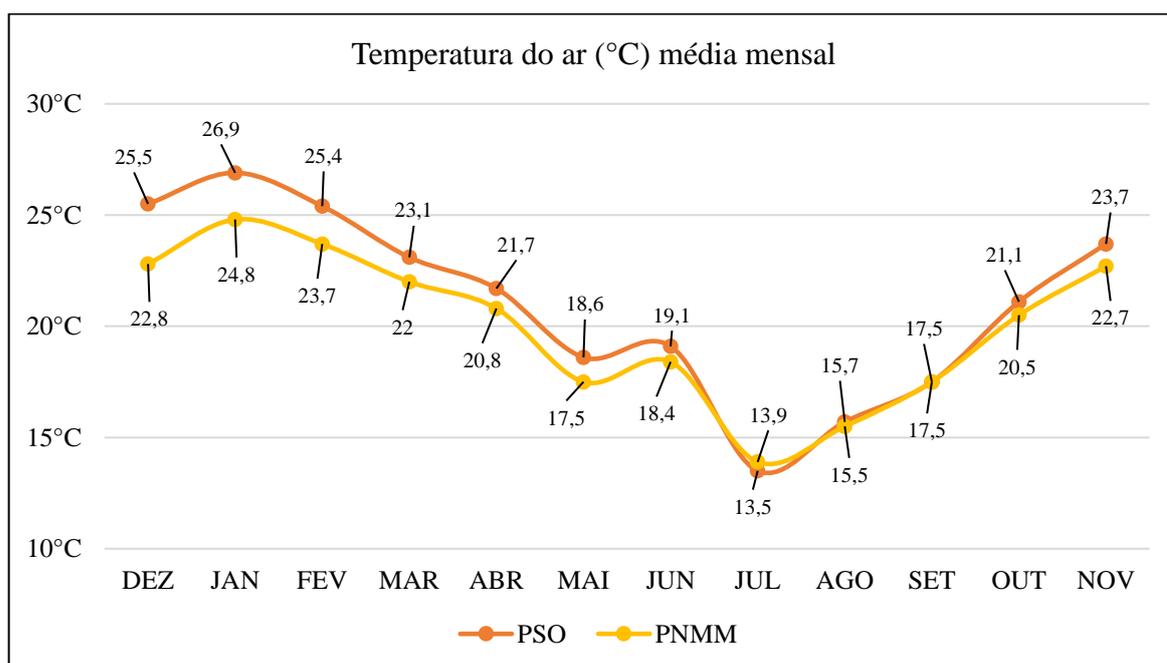
Para Sartori (2016) o comportamento térmico de um local é reflexo do domínio dos sistemas atmosféricos, e sofre variação devido a fatores como a altitude e a continentalidade. A autora destaca que, no município de Santa Maria, os menores valores de temperatura são registrados no topo do Planalto Meridional, ao norte, e as temperaturas mais elevadas são registradas na Depressão Periférica. A Tabela 3 apresenta os parâmetros referentes a variabilidade da temperatura do ar na área de estudo durante o período temporal analisado.

Tabela 3 - Parâmetros referentes a variabilidade da temperatura do ar (°C) no período de dezembro de 2018 a novembro de 2019.

Parâmetros	PSO	PNMM
Altitude (m)	103	376
Temperatura Média (°C)	20,9	20
Máxima Absoluta (°C)	42,9	41,1
Mínima Absoluta (°C)	-0,8	-0,2
Amplitude térmica (°C)	43,7	41,3
Desvio Padrão	4,1	3,4

Os valores de temperatura média, máxima absoluta e mínima absoluta encontrados nesta pesquisa estão dentro dos valores apontados por Rossato (2014) e Sartori (2016) para o clima da área de estudo. A amplitude térmica registrada em PSO é de 43,7 °C, diferença maior do que a encontrada para a área do PNMM que foi de 41,3°. Estes valores são corroborados pelo desvio padrão, que é de 4,18 para o PSO e 3,42 para PNMM. O Gráfico 7 apresenta os valores de temperatura média mensal encontrados para os pontos PSO e PNMM.

Gráfico 7 - Comparação entre os valores de temperatura média mensal de PSO e PNMM.



Observa-se que a diferença entre os valores médios calculados para a temperatura do ar em cada ponto é maior durante os meses de dezembro, janeiro e fevereiro (verão), diminuindo nos meses de março, abril e maio (outono). Nos meses de junho, julho e agosto (inverno), a diferença da temperatura média mensal entre PSO e PNMM são as menores observadas durante o período, com exceção do mês de setembro, quando as temperaturas médias mensais dos dois pontos tiveram mesmo valor. Nos meses de outubro e novembro a diferença da temperatura média mensal entre os dois pontos volta a aumentar gradativamente.

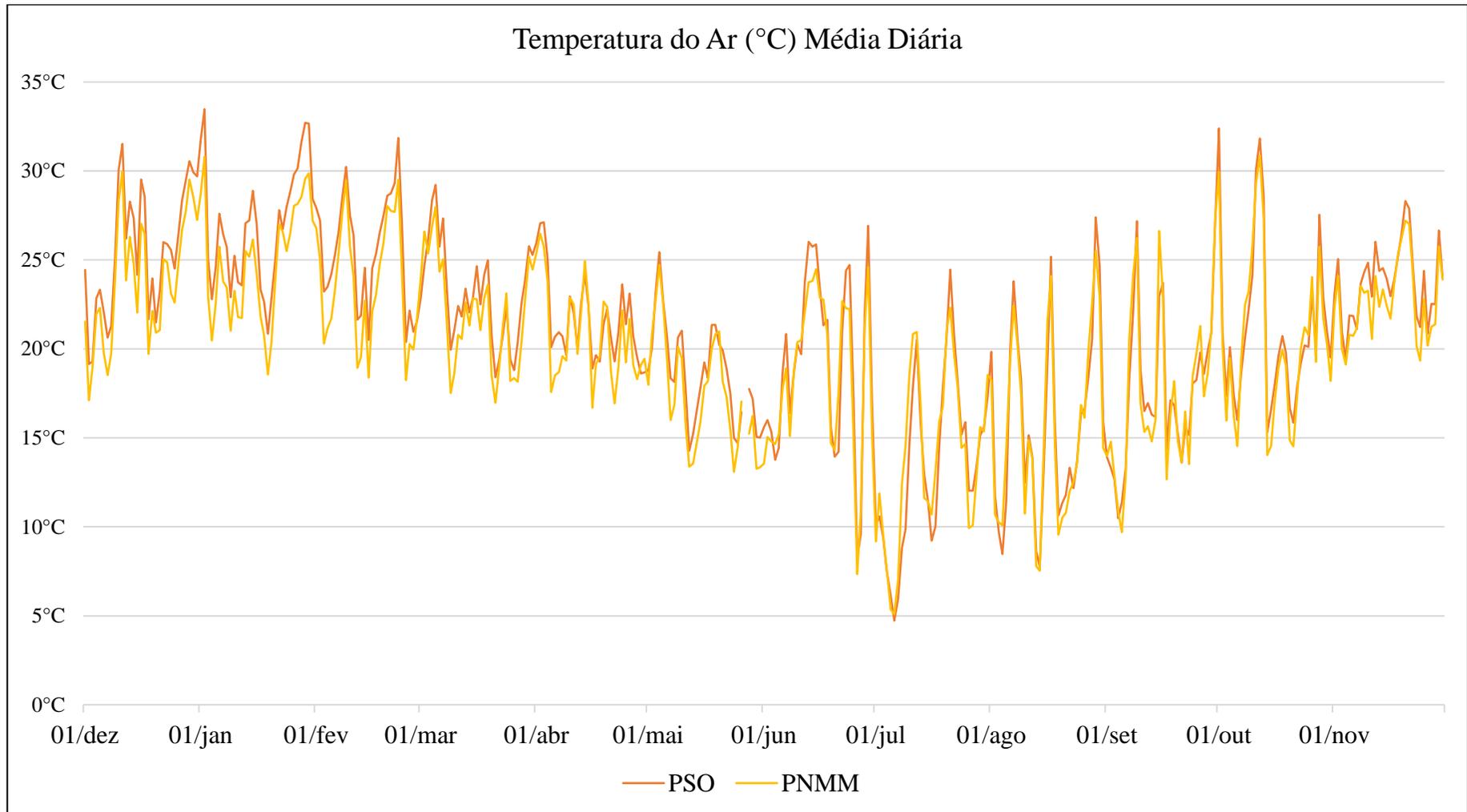
A análise de correlação mostra que em 11 dos 12 meses analisados a temperatura média mensal do ar possui forte correlação com a altitude. Os coeficientes de correlação negativos (quando  $r$  é igual a  $-1$ ), correspondem a uma forte correlação inversa das variáveis, ou seja, enquanto o valor de uma variável aumenta, a outra diminui. Isto ocorre nos meses os quais a temperatura média do ar diminui à medida que se elevou em altitude. Foi encontrado o coeficiente  $-1$  para os meses de dezembro de 2018 a junho de 2019, e os meses de agosto, outubro e novembro de 2019.

Quando o coeficiente de correlação é positivo ( $r$  é igual a  $1$ ) significa que há uma forte correlação direta entre as variáveis. Este coeficiente foi encontrado para o mês de julho, mês que se observa o aumento da temperatura do ar à medida que se eleva em altitude. Já o coeficiente de correlação nulo ( $r$  igual a  $0$ ) indica que não há correlação entre as variáveis temperatura média do ar e altitude. Neste caso o coeficiente nulo foi encontrado para o mês de setembro, o qual apresentou valores médios de temperatura do ar iguais para os dois pontos de coleta.

De forma geral, as temperaturas do ar registradas nos pontos PSO e PNMM decrescem durante o período noturno até o início da manhã, momento em que ambos os pontos registraram suas temperaturas mínimas diárias, entre 04 e 06 horas. Após o nascer do sol, com a entrada da radiação solar, a temperatura do ar se eleva até atingir seu máximo, o que ocorre entre 12 e 14 horas.

Ao analisar a variabilidade da temperatura média diária dos dois pontos de coleta, observou-se que os meses de dezembro, janeiro, fevereiro, março e outubro apresentaram temperaturas médias diárias mais altas. Ainda, o mês de julho destaca-se como o mês com as menores temperaturas médias diárias. Os valores médios diários da temperatura do ar estão apresentados no Gráfico 8.

Gráfico 8 - Variabilidade da temperatura média diária nos pontos PSO e PNMM entre os meses de dezembro de 2018 a novembro de 2019.



Durante o período da pesquisa, a maior temperatura média diária registrada para o PSO foi de 33,4 °C em de janeiro de 2019. No ponto PNMM a maior temperatura média diária registrada no período de coleta de dados ocorreu no mês de outubro de 2019, com 30,8°C. O menor valor médio diário de temperatura do ar na área de estudo foi registrado em julho de 2019, onde PSO e PNMM registraram 4,7°C e 5°C respectivamente. Ainda, observa-se que, de maneira geral, o ponto PSO registrou temperatura média diária superior à registrada para PNMM.

Considerando a análise das temperaturas médias diurnas e noturnas, percebe-se que a variação térmica durante o período diurno e noturno é bastante similar a variação apresentada para as temperaturas médias mensais. Os gráficos 9 e 10 apresentam as temperaturas médias dos períodos diurnos e noturno para o período de análise.

Gráfico 9 - Variação mensal das temperaturas diurnas nos pontos PSO e PNMM.

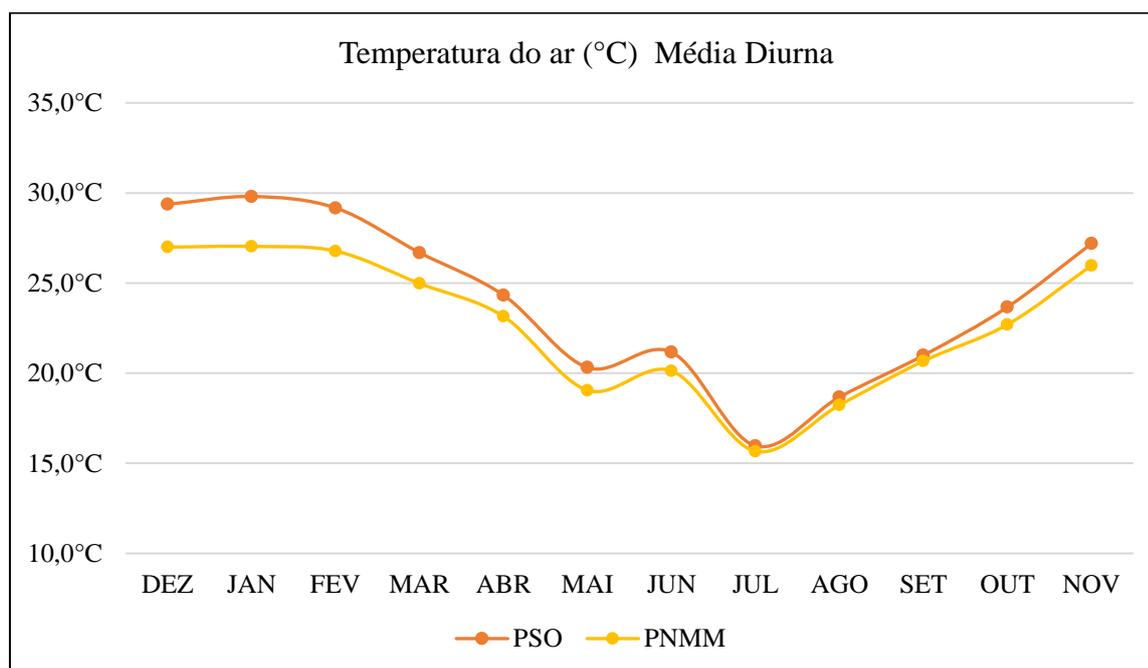
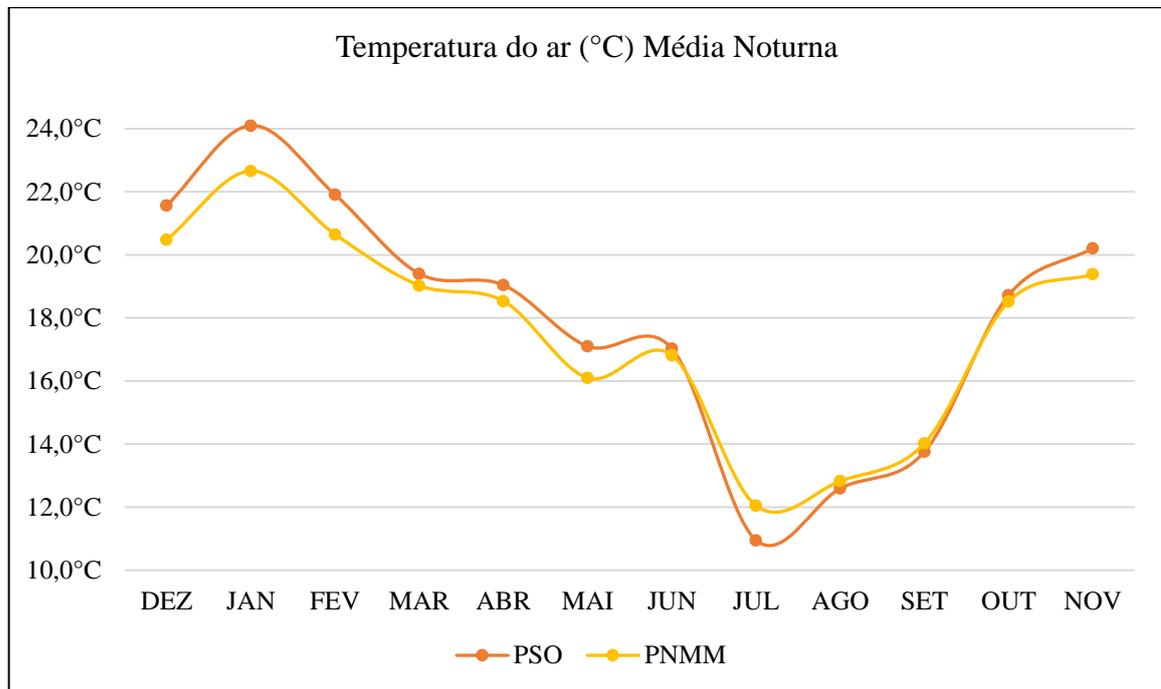


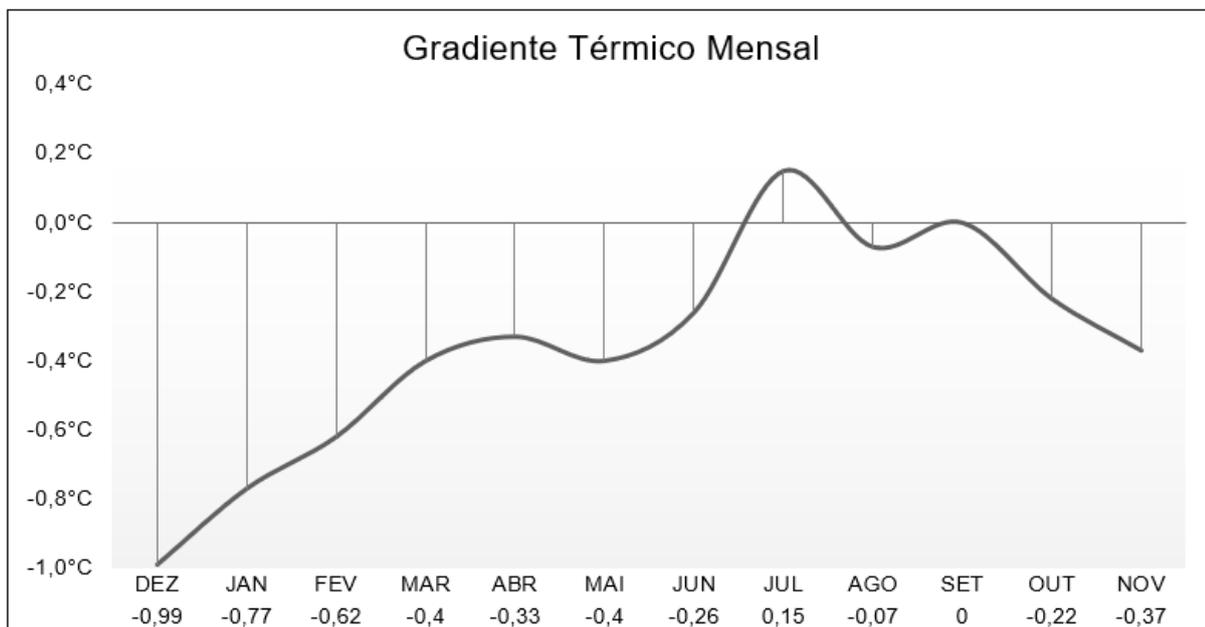
Gráfico 10 - Variação mensal das temperaturas noturnas nos pontos PSO e PNMM.



Observa-se que a diferença da temperatura média diurna entre os dois pontos é maior durante o verão e menor durante o inverno. Já durante o período noturno, as maiores temperaturas foram registradas durante o mês de janeiro e as menores durante o mês de julho. Observa-se também a inversão no padrão da temperatura média noturna que ocorre durante o mês de julho, onde o ponto PNMM registrou temperatura mais elevada em relação ao ponto PSO. Esta diferença na média da temperatura noturna reflete na temperatura média mensal, como demonstrado no Gráfico 7.

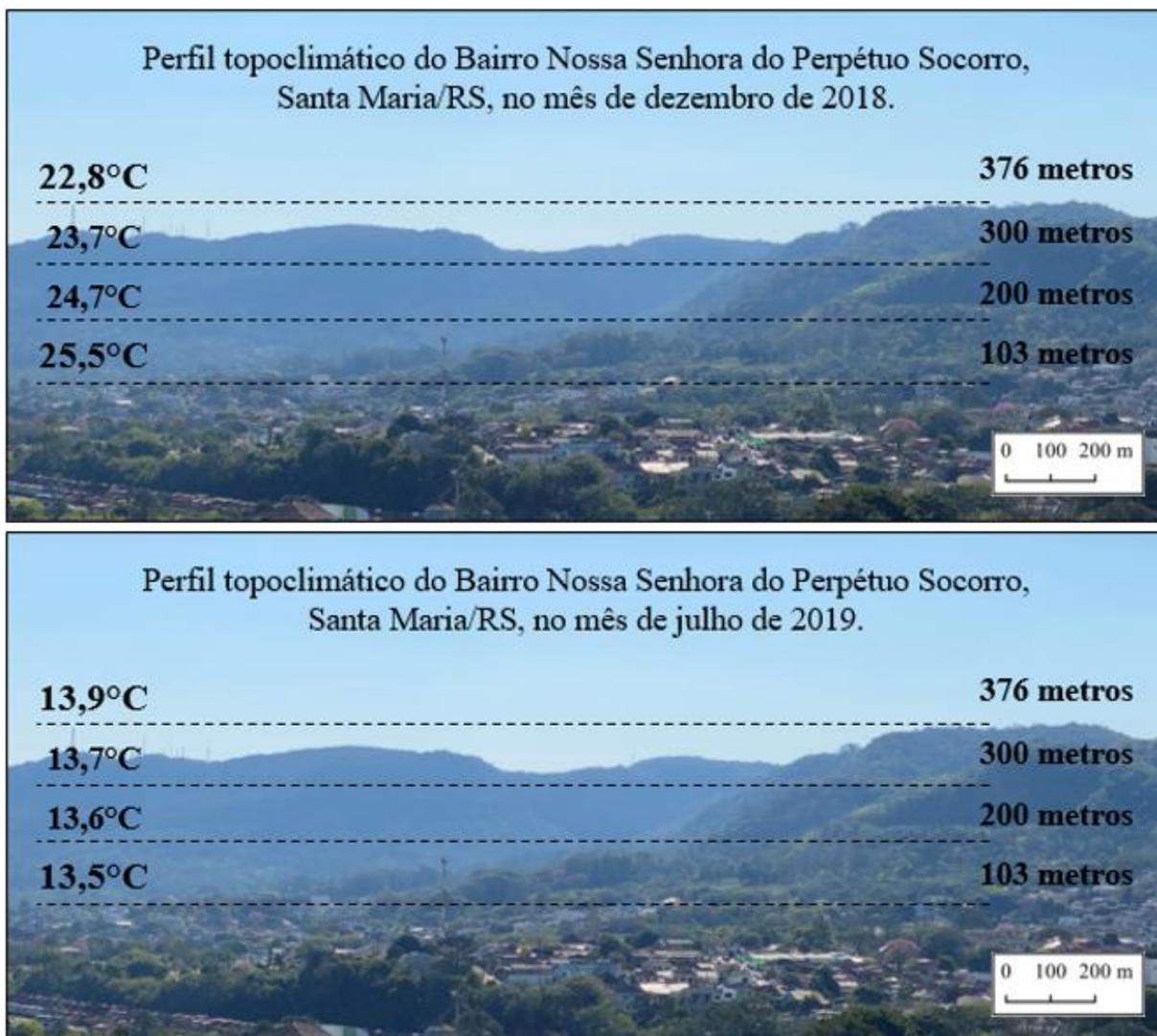
De acordo com Barry e Chorley (p. 62, 2013), é dado o nome de gradiente térmico à redução vertical da temperatura que ocorre na troposfera. Essa redução se dá em aproximadamente  $6,5^{\circ}\text{C}$  por quilômetro ganho em altitude (ou  $0,65^{\circ}\text{C}$  a cada 100 metros). O Gráfico 11 apresenta os valores do gradiente térmico adiabático calculadas a partir da diferença das temperaturas médias mensais para o período da pesquisa.

Gráfico 11 - Gradientes térmicos médios mensais encontrados para a área de pesquisa.



A partir dos valores apresentados no Gráfico 11, nota-se que o mês de dezembro possui maior gradiente térmico com  $-0,99^{\circ}\text{C}$  a cada 100 metros de altitude. Julho é o único mês onde ocorre gradiente térmico positivo, apontando um aumento de temperatura de cerca de  $0,15^{\circ}\text{C}$  a cada 100 metros de altitude. A Figura 29 apresenta o esquema do perfil topoclimático na área de estudo levando em consideração os gradientes verticais de temperatura do ar encontrados para estes dois meses.

Figura 29 - Perfil topoclimático da área de estudo considerando os gradientes térmicos verticais de dezembro de 2018 e julho de 2019.



Já os meses de março, abril e maio se destacam por apresentar valores de gradiente térmico mais similares, com variação de menos de  $0,1^{\circ}\text{C}$  entre eles. Para o mês de setembro o gradiente vertical atmosférico encontrado é nulo, visto que os valores de temperatura do ar média mensal registrados nos dois pontos de coleta de dados foi a mesma ( $17,5^{\circ}\text{C}$ ). Os meses de outubro e novembro apresentam um aumento negativo no valor do gradiente térmico em relação ao mês de setembro.

Em uma análise sazonal, observa-se que os valores de gradiente térmico encontrados para período veranil (dezembro-janeiro-fevereiro) são os mais significativos de todo o período.

Durante o outono (março-abril-maio), os valores de gradiente térmico apresentam uma certa estabilidade, diminuindo seu valor ao se aproximar do início do inverno. O período invernal (junho-julho-agosto) se destaca por apresentar maior heterogeneidade nos valores de gradiente térmico, onde o mês de julho apresenta valor positivo, se distinguindo dos demais meses. No período da primavera (setembro-outubro-novembro) os valores de gradiente térmico apresentam crescimento negativo em relação ao período invernal, mas ainda são menores do que os registrados no verão anterior.

O valor mais próximo ao valor médio de gradiente térmico da atmosfera de  $-0,65^{\circ}\text{C}$  a cada 100 metros, referido por Barry e Chorley (2013), foi registrado para o mês de fevereiro,  $-0,62^{\circ}\text{C}$ . Os demais valores variam de quase  $-1,0^{\circ}\text{C}$  a  $0,15$  graus positivos, o que coincidem com os gradientes verticais encontrados por Galvani et al. (2005; 2008), Lima et al. (2010), Moraes e Galvani (2015), Silva et al. (2017) e Baratto et al. (2018).

O gradiente térmico da atmosfera é maior durante o verão devido ao maior aquecimento causado pelo maior período de insolação. Ainda a atmosfera é transparente para parte da radiação solar de onda curta e mais absorvente para radiação de onda longa terrestre. Dessa forma, a atmosfera se aquece de baixo para cima, sem considerar particularidades da rugosidade próxima a superfície. A cobertura vegetal, a coloração, declividade e orientação das vertentes podem influenciar o perfil vertical de temperatura do ar (GALVANI, et al. 2010; WANG, et al. 2017).

Barry e Chorley (op.cit.) afirmam que os gradientes verticais podem ser determinados pelo movimento vertical do ar, este dependendo do tipo de sistema de pressão atmosférica. As altas pressões estão ligadas a subsidência de ar, e ao aquecimento das camadas superiores e resfriamento da camada mais próxima a superfície. Os sistemas de baixa pressão estão relacionados a elevação e expansão do ar quente superficial que se resfria em camadas mais altas, aumentando o gradiente vertical da temperatura.

Neste sentido, entende-se a dinâmica dos Sistemas Atmosféricos e os tipos de tempo gerados por suas respectivas massas de ar como prováveis agentes causadores desta variabilidade nos valores de gradiente vertical da atmosfera. Sartori (2003) estabelece que o controle climático no Rio Grande do Sul, de forma geral, é realizado predominantemente pelos Sistemas Extratropicais, como a Massa Polar Atlântica, a Massa Polar Velha e a Frente Polar (Frente Fria), com a Massa Polar Velha dominando durante a primavera e o verão e a Massa Polar Atlântica sendo mais frequente durante o outono/inverno. Já os Sistemas Intertropicais, como a Massa Tropical Atlântica, Massa Tropical Continental e as Instabilidades Tropicais ocorrem com maior frequência durante a primavera e o verão.

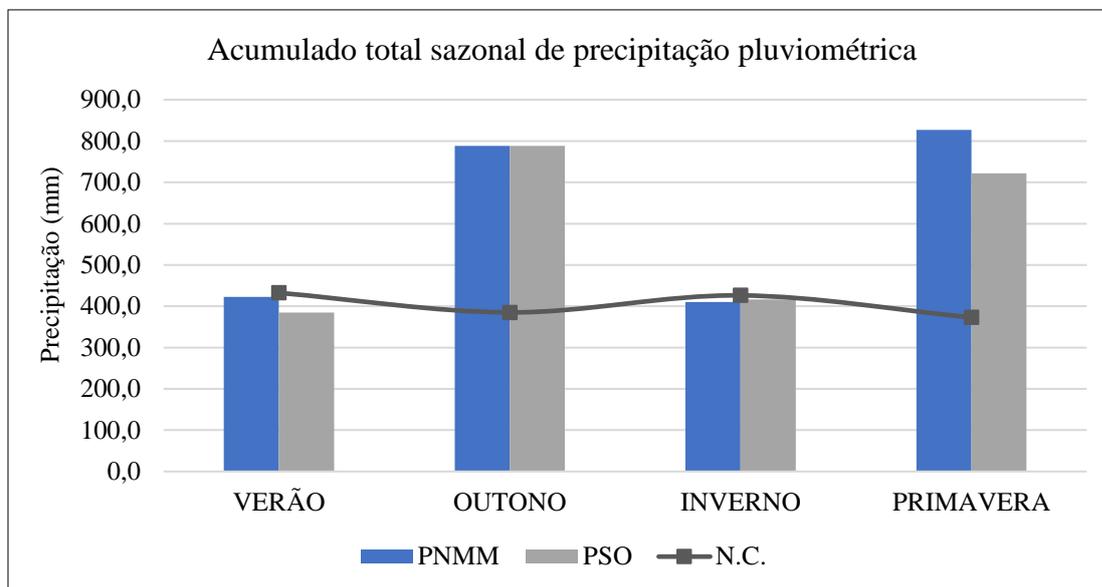
Wang et al. (2017) afirmam que o gradiente térmico da atmosfera é menor durante o inverno devido ao resultado do resfriamento radiativo excessivo noturno da camada basal da atmosfera, fazendo com que a temperatura aumente com a altitude na camada superficial da atmosfera (inversão térmica). O gradiente térmico é menor em condições de estabilidade atmosférica, como as apresentadas sob domínio de altas pressões que influenciam na ocorrência de inversão térmica da atmosfera, onde ocorre o aumento da temperatura com a elevação em relação ao nível do solo.

### **5.3.3 Precipitação Pluviométrica**

A precipitação pluviométrica total para o período analisado foi de 2447,5 mm para o PNMM, 2360,5 para o baixo Perpétuo Socorro. De acordo com Heldwein et al. (2009), Alvares et al. (2013) e Rossato (2014), a precipitação anual para a região de estudo (Depressão Central) varia entre 1500-1700mm.

O valor médio apontado pela Normal Climatológica (1961-1990) para precipitação pluviométrica anual para Santa Maria está dentro da faixa pluviométrica indicada pelos referidos autores, com 1616,8 mm totais anuais. Neste sentido, pode-se afirmar que os valores de precipitação pluviométrica registrados para a área de estudo são significativamente superiores aos valores estimados pela bibliografia. O Gráfico 12 apresenta o gráfico de acumulado sazonal de precipitação para os três pontos analisados.

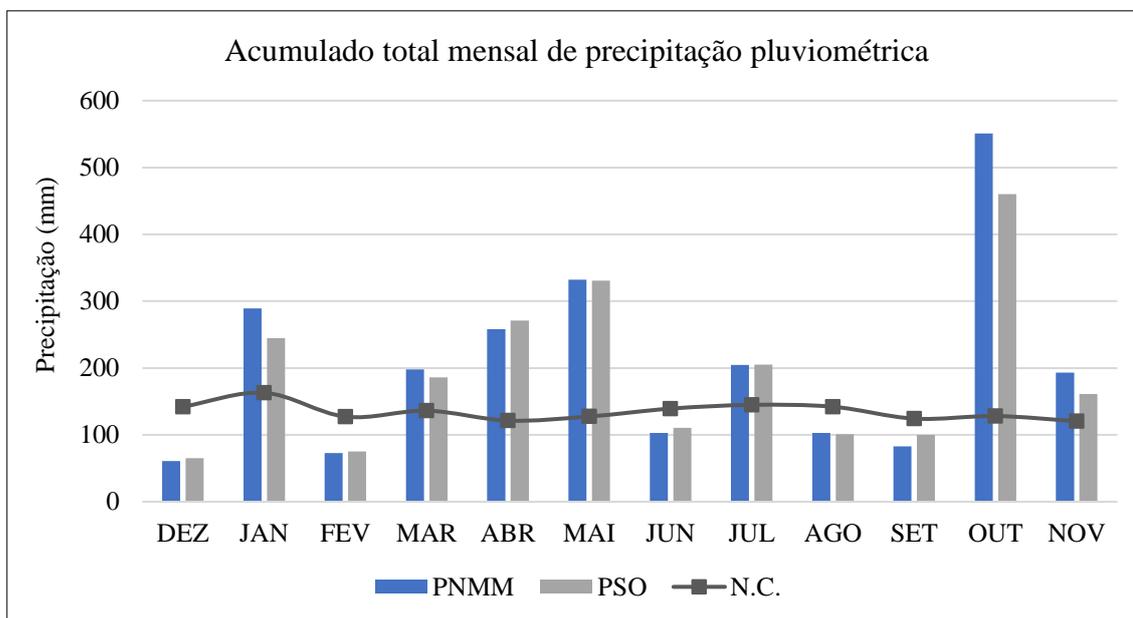
Gráfico 12 - Valores acumulado sazonal de precipitação pluviométrica nos pontos PSO e PNMM.



Observa-se que, num contexto sazonal, os maiores valores acumulados de precipitação foram registrados nos períodos referentes ao outono e primavera, onde o maior volume de precipitação no ponto PNMM, 33,7% do valor total acumulado durante o período de pesquisa, ocorreu durante o período primaveril. O ponto PSO registrou maior volume pluviométrico durante o período outonal, quando registrou 34,1% do volume total precipitado no ano.

Os períodos de inverno e verão obtiveram registros de precipitação mais baixas em ambos os pontos. Durante o inverno os pontos PNMM e PSO registraram 16,8% e 18% do acumulado total do ano, respectivamente. No verão o ponto PNMM obteve precipitação correspondente a 17,3% do total anual acumulado, enquanto PSO apresentou seu menor registro de precipitação da análise sazonal, com 16,6% do total de precipitação registrada. Neste sentido, destacam-se os períodos de primavera e outono com os maiores acumulados pluviométricos na área de estudo. O Gráfico 13 demonstra os valores de precipitação pluviométrica acumulados mensalmente para os pontos analisados.

Gráfico 13 - Comparação dos valores mensais totais de precipitação pluviométrica nos dois pontos de coleta de dados.



Conforme pode ser observado no Gráfico 13, em 6 dos 12 meses de coleta de dados pluviométricos, o ponto PNMM apresentou acumulado mensal de precipitação superior aos pontos PSO. O ponto PNMM teve seu mínimo de chuva registrado no mês de dezembro, bem como o ponto PSO, com 61 e 65 mm respectivamente. Ambos os pontos registraram valores abaixo da N.C. para o mês de dezembro. De forma destacada, e em conformidade com o que aponta Sartori (2016), outubro foi o mês que registrou maior acumulado mensal de precipitação. A Tabela 4 apresenta parâmetros referentes distribuição mensal da precipitação pluviométrica nos dois pontos analisados.

Tabela 4 - Parâmetros analisados na distribuição mensal da precipitação pluviométrica na área de estudo no período entre os meses de dezembro de 2018 e novembro de 2019.

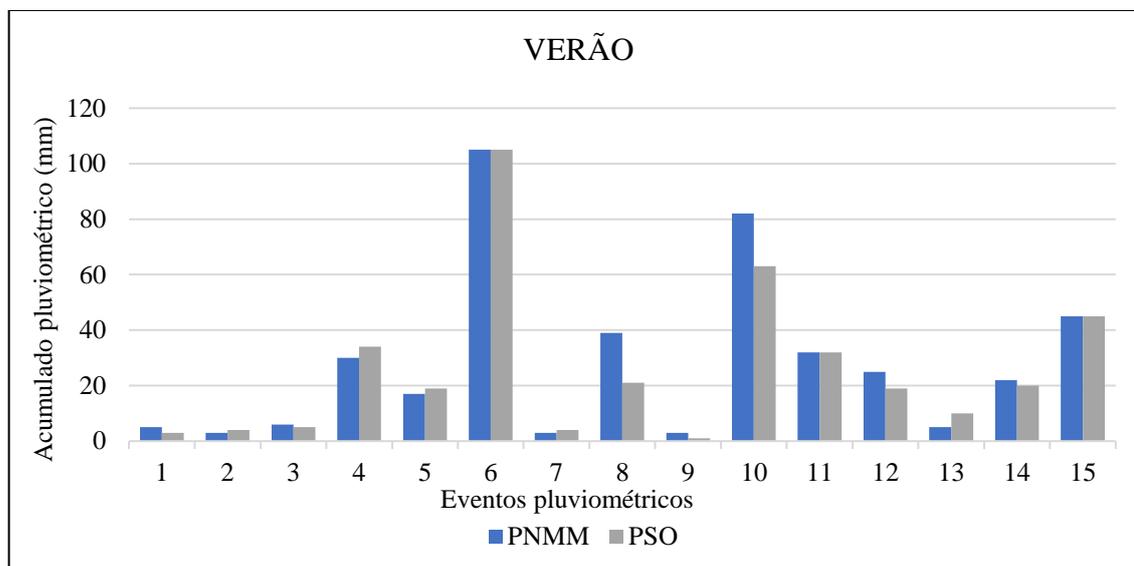
Parâmetros	PNMM	PSO
Correlação Linear (r) média		0,98
Mínimo Mensal (mm)	61,0	65,0
Máximo Mensal (mm)	551,0	460,3
Média Mensal (mm)	204,0	192,6
Amplitude pluviométrica	490,0	395,3
Desvio Padrão	141,3	118,5

A distribuição mensal da precipitação pluviométrica entre os pontos PNMM e PSO obteve um coeficiente de correlação ( $r$ ) de 0,98, o que demonstra uma forte correlação na distribuição mensal da precipitação pluviométrica entre os dois pontos. Conforme Rossato (2014) e Sartori (2016) a distribuição da precipitação pluviométrica na região da área de estudo é determinada pelas passagens semanais dos sistemas frontais.

Forgiarini et al. (2014) corrobora as autoras afirmando que, associado ao avanço os sistemas frontais, o relevo também influencia na distribuição pluviométrica mensal na região central do Rio Grande do Sul. Esta relação pode ser observada a partir dos valores médios mensais encontrados para os pontos PSO e PNMM. O valor de precipitação média mensal encontrado para o PNMM é de 204 mm, sendo este valor maior do que o encontrado para PSO, de 192,6 mm. Ressalta-se a diferença altimétrica de 276 metros que se apresenta entre o ponto PNMM em relação ao ponto PSO.

A influência do relevo na distribuição pluviométrica na área de estudo pode ser melhor analisada a partir da comparação dos valores registrados nos eventos pluviométricos individuais. No total, foram registrados 64 eventos pluviométricos, 15 durante o verão, 13 no outono, 17 durante o inverno e 19 no período primaveril. O Gráfico 14 apresenta os eventos pluviométricos registrados durante o período veranil.

Gráfico 14- Eventos pluviométricos registrados na área de estudo durante o período veranil.



Durante o verão, período compreendido nesta pesquisa enquanto os meses de dezembro de 2018, janeiro de 2019 e fevereiro de 2019, foram registrados 15 eventos pluviométricos na área de estudo. Deste total de eventos, o volume de precipitação pluviométrica no Parque Natural Municipal dos Morros (ponto PNMM) foi superior a registrada no ponto PSO em 46,6% dos eventos (eventos 1, 3, 8, 9, 10, 12 e 14), enquanto a chuva registrada em PSO foi maior em 33,3% do total de eventos (2, 4, 5, 7 e 13). Ainda em 20% dos eventos pluviométricos veranil (eventos 6, 11 e 15) ocorridos na área de estudo, foi registrado o mesmo volume pluviométrico para ambos os pontos.

As precipitações no Rio Grande do Sul durante o verão estão condicionadas a passagem da Frente Polar Atlântica, entre situações de deslocamento normal, processo de ciclogênese ou como frente estacionária, embora nem sempre se tenha registro pluviométricos em suas passagens. Ainda, as Frentes Polares atuam indiretamente na distribuição da precipitação durante o verão ao reforçar as condições para o desenvolvimento de linhas de instabilidade pré-frontais (Figura 30) (BRITTO, 2006; SARTORI, 2016).

Figura 30- Chegada de uma nuvem do tipo prateleira (Shelf Cloud), trazendo chuva na área urbana de Santa Maria, visto do Mirante da Fêmea.

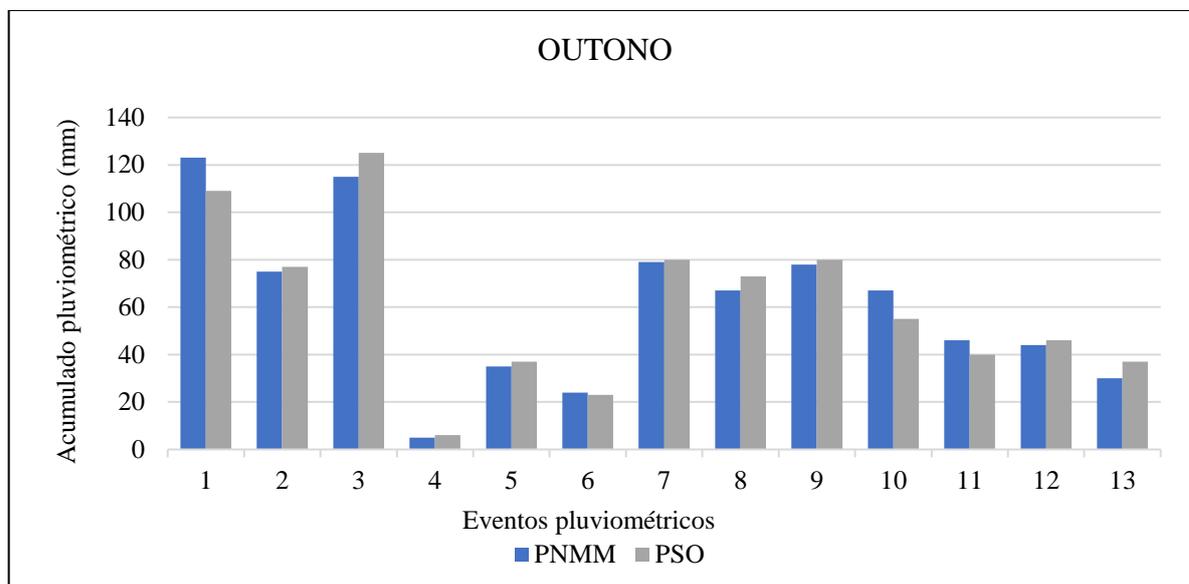


Fonte: Acervo pessoal de Guilherme Lul da Rocha (2019).

Também, durante o verão há uma maior atuação dos Sistemas Intertropicais, como as Instabilidades Tropicais. Estes sistemas de circulação secundária, provocam chuvas fortes e rápidas, tempestades e precipitações de granizo de forma localizada em decorrência das nuvens cúmulo-nimbus de grande desenvolvimento vertical originadas pela convecção térmica resultante do intenso aquecimento do interior do continente. São frequentes entre a primavera e o outono e mais regulares durante o verão (SARTORI, 2016).

O período outonal (nesta pesquisa os meses de março, abril e maio de 2019) foi a estação climática que registrou menor número de eventos pluviométricos na área de estudo e o que registrou maior acumulado total de precipitação pluviométrica. O Gráfico 15 apresenta estes eventos juntamente com a variabilidade da precipitação entre os pontos PSO e PNMM.

Gráfico 15 - Eventos pluviométricos registrados na área de estudo durante o período outonal.

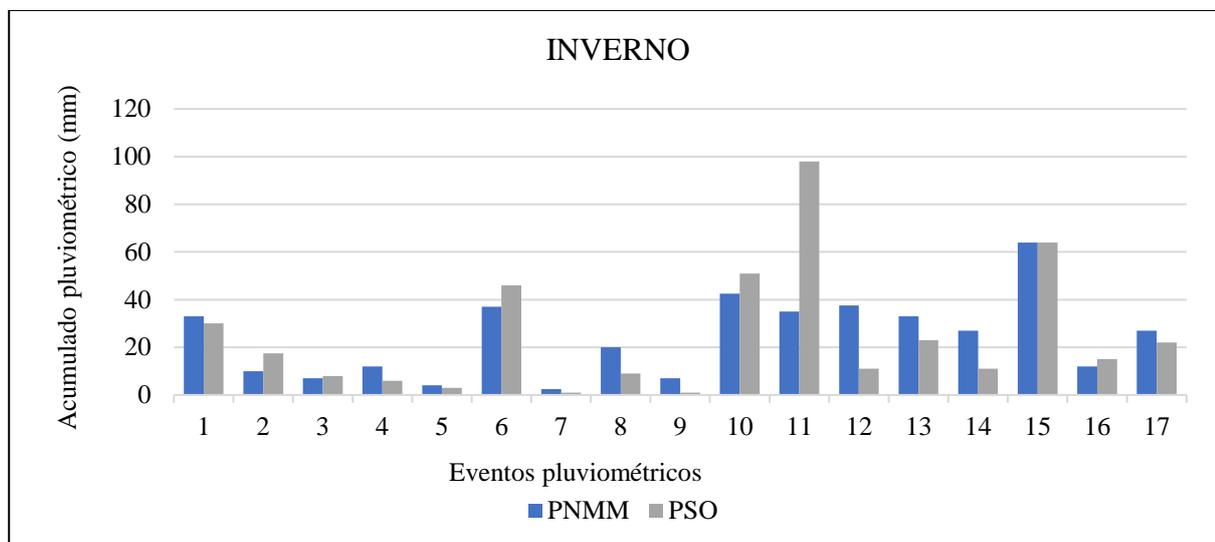


Durante o outono foram registrados 4 (30,7%) eventos pluviométricos onde o acumulado de precipitação em PNMM foi maior do que o registrados em PSO. O restante dos eventos pluviométricos (69,2%, total de 9 eventos) o ponto PSO registrou volume pluviométrico maior do que o ocorrido em PNMM. Ainda, observa-se que os valores de precipitação pluviométrica registrados nos dois pontos de coleta de dados foram superiores a 50 mm em 7 dos 13 eventos pluviométricos, o que caracteriza eventos de chuva volumosa durante o período.

Monteiro (1963, p. 154) destaca o aumento dos totais pluviométricos no Rio Grande do Sul no período do outono em razão das oscilações que ocorrem nas Frentes Polares entre o Rio da Prata e o Rio Grande do Sul, tornando o período mais chuvoso nesta área. Os valores totais de precipitação pluviométrica em PSO e PNMM foram o mesmo para o período, 788 mm de chuva.

O inverno é o segundo período com maior número de eventos pluviométricos na área de estudo, registrando 17 registros de precipitação pluviométrica. O Gráfico 16 apresenta os valores referentes aos eventos pluviométricos ocorridos durante os meses de junho, julho e agosto de 2019, compreendido como período invernal para esta pesquisa.

Gráfico 16 - Eventos pluviométricos registrados na área de estudo durante o período invernal.



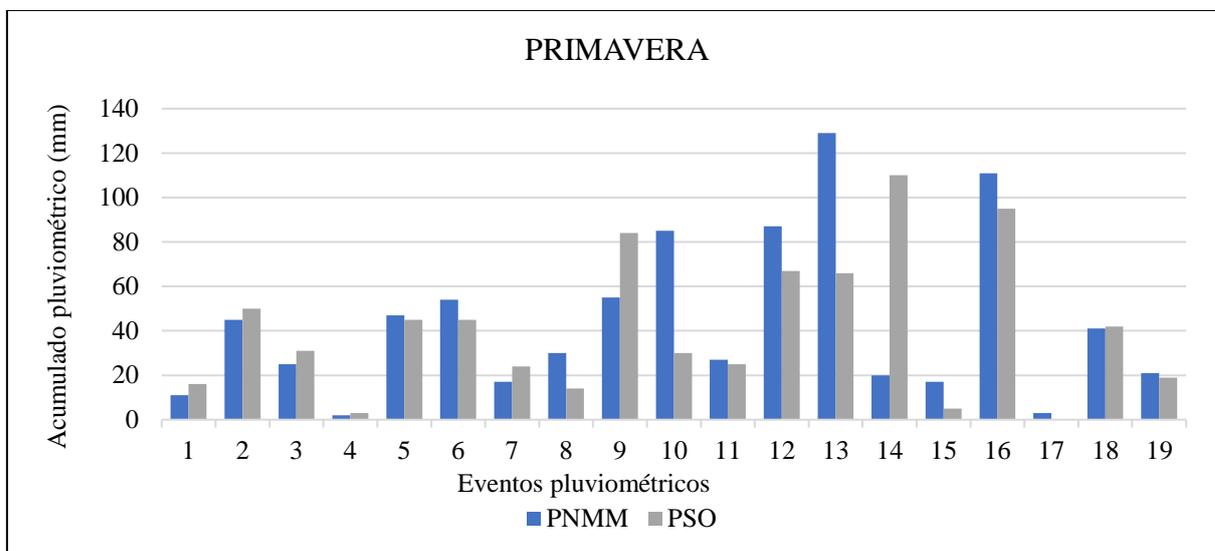
Dos 17 registros de eventos pluviométricos na área de estudo, a precipitação pluvial registrada para PSO foi maior em relação PNMM em 35,29% dos eventos (2, 3, 6, 10, 11 e 16), com destaque para o evento numerado 11, onde PSO registrou 63 mm a mais de precipitação pluvial do que PNMM. Ainda, 5,88% dos eventos (evento número 15) o valor de chuva registrada foi o mesmo para ambos os pontos. Em 58,82% dos eventos registrados para o período invernal o ponto PNMM registrou precipitação superior ao ponto PSO.

Sartori (2016) aponta que a participação da Frente Polar durante o inverno é maior, com aumento dos casos de frentes estacionárias e formação de ciclones frontais. Nimer (1989, p. 22) coloca que a concentração pluviométrica independe da frequência das passagens das frentes, sendo mais importante a intensidade das chuvas ocasionadas durante a passagem. Conforme o autor, a intensidade das chuvas está relacionada com a estrutura da Frente Polar, a umidade contida na massa de ar de origem tropical na situação pré-frontal.

Ainda, a velocidade da passagem da Frente Polar também é fundamental na quantidade de precipitação acumulada, visto que passagens rápidas e mais frequentes da Frente Polar ocasionam acumulados pluviométricos muito menores em relação as mais prolongadas geradas pela situação de semi-estacionamento da FP (NIMER, 1989).

A primavera, período sazonal referente aos meses de setembro, outubro e novembro de 2019, obteve maior registro de eventos pluviométricos nesta pesquisa, e o segundo maior em acumulado pluviométrico. O Gráfico 17 apresenta os dados dos eventos pluviométricos primaveris.

Gráfico 17 - Eventos pluviométricos registrados na área de estudo durante o período primaveril.



O total de 19 eventos pluviométricos foram registrados na área de pesquisa durante a primavera. Destes, 57,89% (eventos 5, 6, 8, 10, 11, 12, 13, 15, 16, 17 e 19) o ponto PNMM registrou maior volume de precipitação pluvial em relação ao PSO. Nos eventos restantes, 42,10%, os valores registrados no ponto PSO foram mais altos do que os registrados no PNMM.

Durante a primavera, os sistemas de origem intertropicais passam a atuar com maior frequência na região, devido ao maior aquecimento no Hemisfério Sul, o que acaba enfraquecendo a inserção dos fluxos polares (SARTORI, 2016). Para Nimer, (1989) é durante este período que começam a ocorrer sucessivas ondas de ventos de oeste e noroeste (episódios de vento norte pré-frontais são mais frequentes neste período também). Estes ventos são trazidos por linhas de instabilidade tropicais (IT), que formam depressões barométricas alongadas onde há convergência dinâmica, ocasionando chuvas, trovoadas, granizos e fortes rajadas de vento.

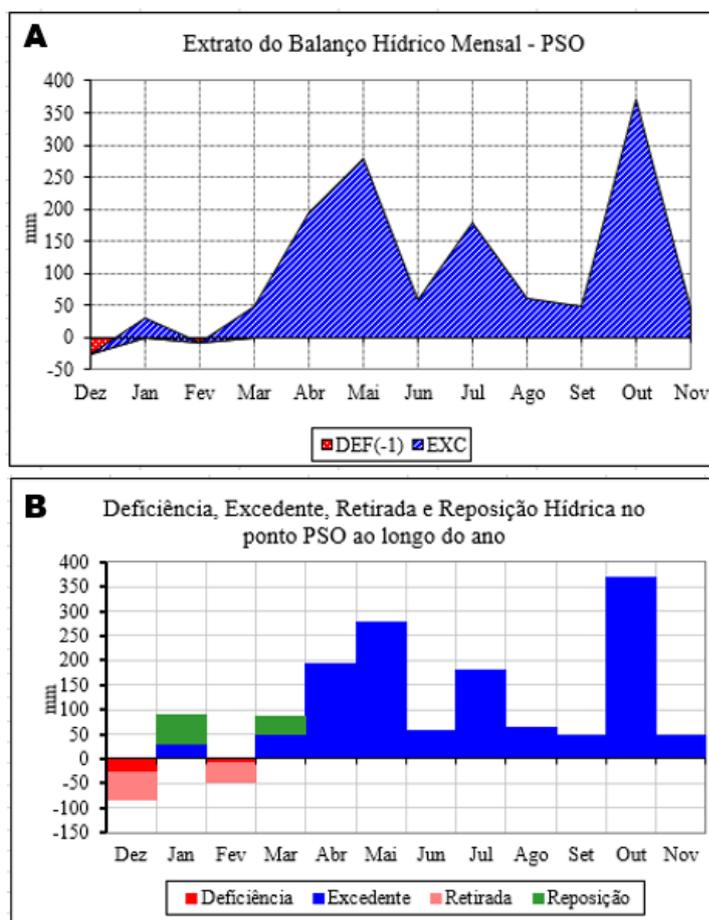
A partir dos valores acumulados anuais para os dois pontos localizados da área de estudo, é possível apontar para a ocorrência do efeito orográfico na zona norte da área urbana de Santa Maria, visto que o valor registrado para PNMM durante o período da pesquisa é maior do que o registrado para PSO. Também, a diferença orográfica na precipitação pluvial no bairro Nossa Senhora do Perpétuo Socorro foi mais expressiva nos acumulados mensais registrados em janeiro e outubro e sazonalmente durante o período primaveril. Destaca-se assim a topografia da área de estudo como um fator capaz de intensificar as diferenças na espacialização da precipitação pluviométrica de acordo com o que foi apontado pela literatura.

### 5.3.4 Evapotranspiração

O extrato do balanço hídrico de uma área fornece informações sobre a disponibilidade hídrica do solo estabelecida através da variação de armazenamento e perda de água no solo. Neste sentido, a evapotranspiração é, como a precipitação atmosférica, um elemento meteorológico padrão, que representa a chuva necessária pra atender às carências hídricas da vegetação.

A partir do cálculo de estimativa da evapotranspiração potencial, e inferindo que a capacidade de água disponível no solo é de 100 mm, foram construídos os gráficos referentes ao balanço hídrico mensal dos dois pontos analisados para a área de estudo. A Figura 31 apresenta os gráficos de extrato de Balanço Hídrico Mensal (A) e o gráfico que aponta a deficiência, excedente, retirada e reposição hídrica durante o período de análise, referentes ao ponto PSO.

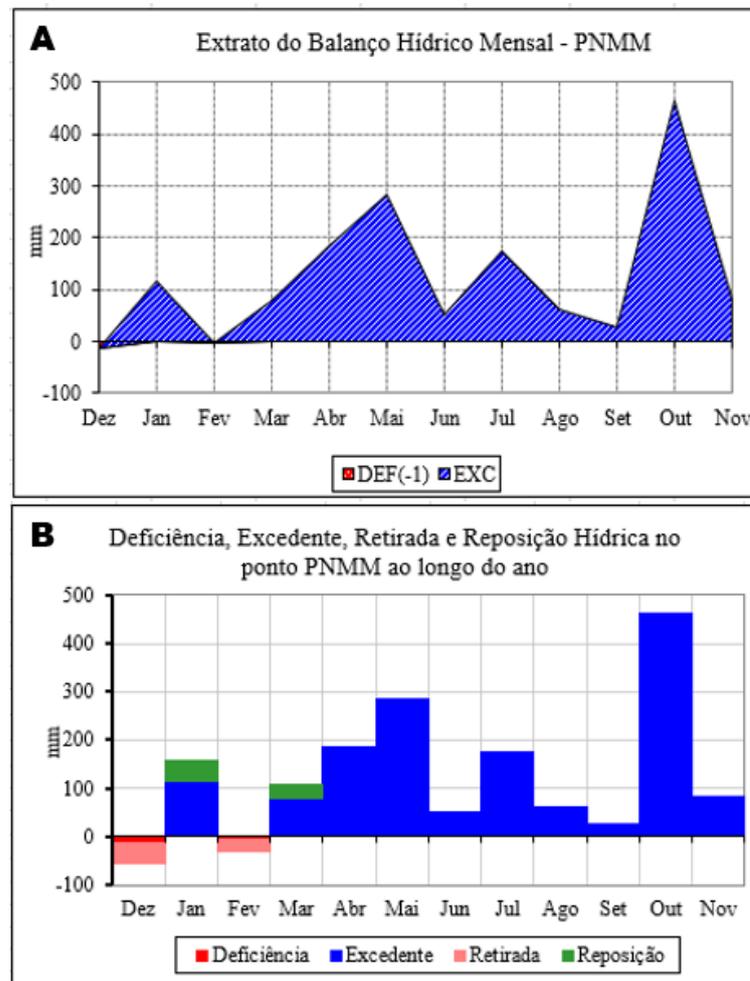
Figura 31 - Gráficos apresentando o Balanço Hídrico Mensal do ponto PSO.



No gráfico A da Figura 31 observa-se claramente, durante os meses de dezembro a fevereiro, o registro de um período de carência hídrica para o ponto PSO. Conforme apresentado anteriormente no Gráfico 17, o acumulado total de precipitação durante o mês de dezembro foi bem abaixo da média da N.C. O mês de fevereiro também se mostrou um mês com déficit hídrico para o ponto PSO, mas não tão expressivo quanto o mês de dezembro. Dessa forma, conforme o gráfico B, ainda que a deficiência hídrica fosse suprida pela precipitação no próximo mês, inclusive com registro de saldo hídrico positivo nos meses de janeiro e março, o período de carência hídrica se mantém até o mês de março.

Durante os demais meses, é registrado saldo significativo de excedente hídrico, com os maiores valores observados nos meses de maio e outubro. O ponto PNMM por sua vez apresenta uma menor carência hídrica em relação ao ponto PSO, ainda com ocorrência de déficit hídrico durante o mesmo período observado para o mesmo ponto, conforme demonstrado da Figura 32.

Figura 32 - Gráficos apresentando o Balanço Hídrico Mensal do ponto PNMM.



No extrato do Balanço Hídrico Mensal do ponto PNMM (Figura 32 - Gráfico A) não é registrado nenhum período de déficit hídrico, sendo observado o período de carência hídrica entre os meses de dezembro e março somente no Gráfico B. De forma similar ao ocorrido no ponto PSO, para o restante do período de análise observa-se a condição de excedente hídrico para o Parque Natural Municipal dos Morros. Ainda, destaca-se o mês de setembro, o qual apresenta excedente hídrico para PNMM relativamente menor do que para PSO. Isto ocorre devido a diferença no volume pluviométrico precipitado entre os dois pontos, onde PNMM registrou menor volume de chuva em relação ao PSO.

Dessa forma, além do pequeno volume de chuva registrado para o período de carência hídrica em ambos os pontos, o mês de dezembro caracteriza-se pela ocorrência do solstício de verão no hemisfério sul. Camargo e Camargo (2000) ressaltam o registro dos maiores volumes de evapotranspiração durante o verão. É no verão (dezembro, janeiro e fevereiro) que ocorre maior entrada de radiação solar, maior duração dos dias e, conseqüentemente, aumento da temperatura do ar e da evapotranspiração.

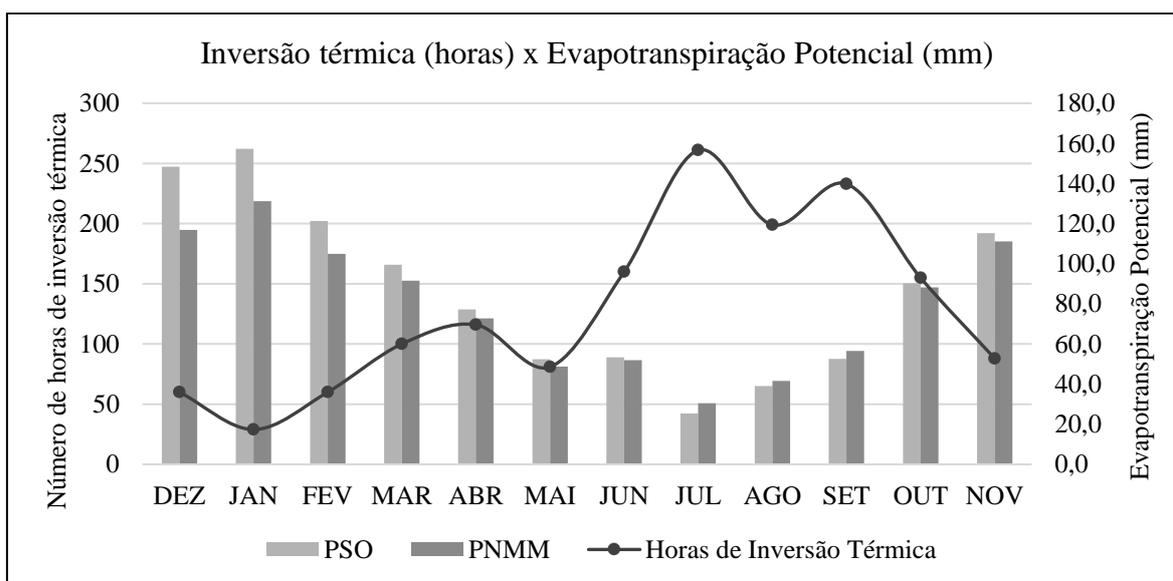
A diferença no valor de déficit hídrico entre os dois pontos também pode ser explicada a partir da localização de ambos os pontos, em áreas que apresentam diferentes tipos de uso de solo, conseqüentemente, porcentagens diferentes de área permeável. O ponto PSO por esta inserido na malha urbana de Santa Maria possui menor quantidade de superfície permeável, o que dificulta o armazenamento hídrico por parte do solo, e aumenta a evaporação da umidade da superfície impermeabilizada. Além de registrar temperaturas mais altas, o que reflete em uma maior evaporação da umidade do solo e maior transpiração por parte das plantas.

O ponto PNMM por sua vez está localizado em área natural, com solo totalmente permeável que caracteriza maior capacidade de armazenamento hídrico. Ainda, a vegetação abundante em PNMM funciona como proteção para o solo em relação radiação solar direta, mantendo a umidade retida por mais tempo. Ainda, registro de temperatura do ar menor em relação ao ponto PSO.

O processo de transferência da água do solo para atmosfera possui como fonte principal a radiação solar. A mesma, dentro do processo de balanço de energia, também é responsável pelo aquecimento do ar. Neste sentido, a diferença encontrada para os valores de evapotranspiração entre os pontos PNMM e PSO podem ser correlacionadas com as diferenças de temperatura do ar mensais calculadas para cada ponto. O coeficiente de correlação encontrado para ambos os pontos é de 0,96, o que demonstra uma forte correlação entre os valores de evapotranspiração potencial e temperatura do ar mensais para PSO e PNMM.

Observa-se também a correlação entre os valores de evapotranspiração potencial (mm) e o total mensal de horas de inversão térmica registradas para a área de estudo (Gráfico 18).

Gráfico 18 - Comparação entre os valores mensais de evapotranspiração potencial (mm) e o total mensal de horas de inversão térmica para os pontos PSO e PNMM.

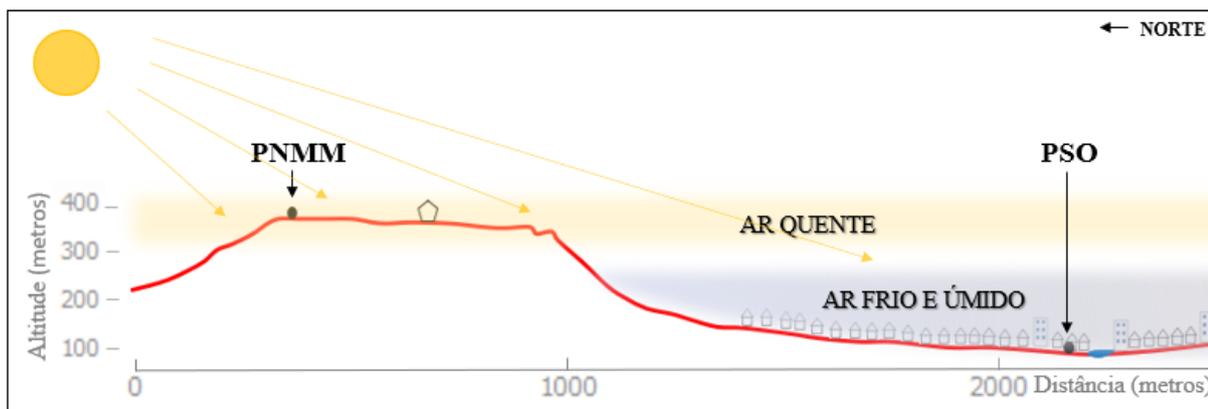


No Gráfico 18 nota-se que os valores mensais de evapotranspiração potencial dos pontos PSO e PNMM são inversamente proporcionais ao número de horas mensais de inversão térmica. O coeficiente de correlação encontrado para a evapotranspiração potencial de PSO e o número de horas de inversão térmica é de  $-0,84$ , e para a evapotranspiração potencial de PNMM e o número de horas de inversão térmica é de  $-0,81$ . Estes valores corroboram a correlação inversa demonstrada no Gráfico 18.

Ainda, Wang et al. (2017) apontam que quanto maior for a taxa de evapotranspiração, menor é a relação entre altitude e temperatura pois a camada do ar em altitude sofre aquecimento pelo processo de liberação do calor latente, associada com a condensação do vapor d'água. No Gráfico 18 é possível observar que a evapotranspiração potencial é maior no ponto PSO durante os meses de dezembro, janeiro, fevereiro, março, abril, maio, junho e novembro. Nos meses de julho, agosto e setembro o ponto PNMM apresentou maiores valores de evapotranspiração potencial em relação ao ponto PSO. Também, os meses de julho, agosto e setembro foram os que registraram maior número de horas de inversão térmica na área de estudo.

Para compreender esta mudança deve-se que a altura do Sol e o seu ângulo de elevação acima da linha do horizonte para o hemisfério sul é menor durante o inverno (solstício de inverno), aumentando gradativamente com a chegada da primavera (equinócio de primavera). A Figura 33 apresenta um esquema que demonstra a inversão térmica durante este período, a partir de um perfil topográfico da área de estudo.

Figura 33 - Esquema da inversão térmica na área de estudo.



Fonte: Elaboração da autora.

Durante os episódios de inversão térmica, o ar frio e úmido se estabelece na camada mais baixa da atmosfera, represado por uma camada superior com ar mais aquecido e menos úmido. Ainda, a ocorrência de episódios de inversão térmica está interligada a situações de estabilidade atmosférica, dessa forma o ar frio e úmido se mantém concentrado na camada inferior gerando saturação de vapor d'água naquela parcela de ar e nevoeiro. Assim, a ocorrência do processo de evapotranspiração cessa durante um determinado período de tempo, fazendo com que o solo imerso nesta parcela de ar retenha maior umidade. Na camada atmosférica superior está o ar mais aquecido e menos úmido e sem presença de nebulosidade, fazendo com que o processo de evapotranspiração ocorra com maior intensidade.

Neste processo de nevoeiro prolongado, que ocorre na área mais baixa da topografia (no caso da área de estudo, a malha urbana), não permite a chegada da radiação solar na superfície. Assim, a parcela de ar na camada mais baixa se aquece a partir da radiação difusa da atmosfera, não gerando elevações significativas na temperatura. Entende-se também que a malha urbana, com suas características de construções e impermeabilidade do solo alteram o balanço de

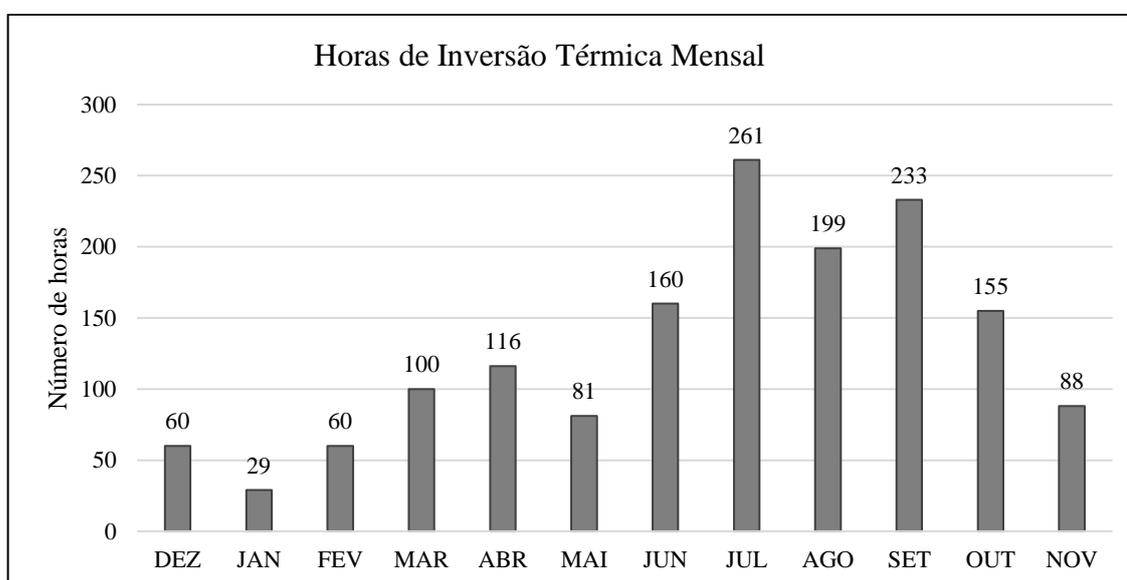
radiação onde, ao mesmo tempo que geram um maior aquecimento durante o período de insolação, resfria-se com a mesma intensidade durante o período de balanço negativo.

A evapotranspiração potencial, enquanto um elemento meteorológico estimado através de outros atributos meteorológicos (neste caso, a temperatura média do ar e o acumulado total mensal de precipitação) sofre com a influência dos mesmos fatores que estes. Neste sentido, observa-se nesta pesquisa a influência da vegetação, latitude, bem como da topografia local para a variabilidade da evapotranspiração na área de estudo, bem como anteriormente apontado por Buriol et al. (2014).

#### 5.4 INVERSÃO TÉRMICA

Foram contabilizadas o número de horas com registro de inversão térmica na área estudo durante o período da pesquisa. Os valores mensais de horas de inversão térmica encontrados estão apresentados no Gráfico 19.

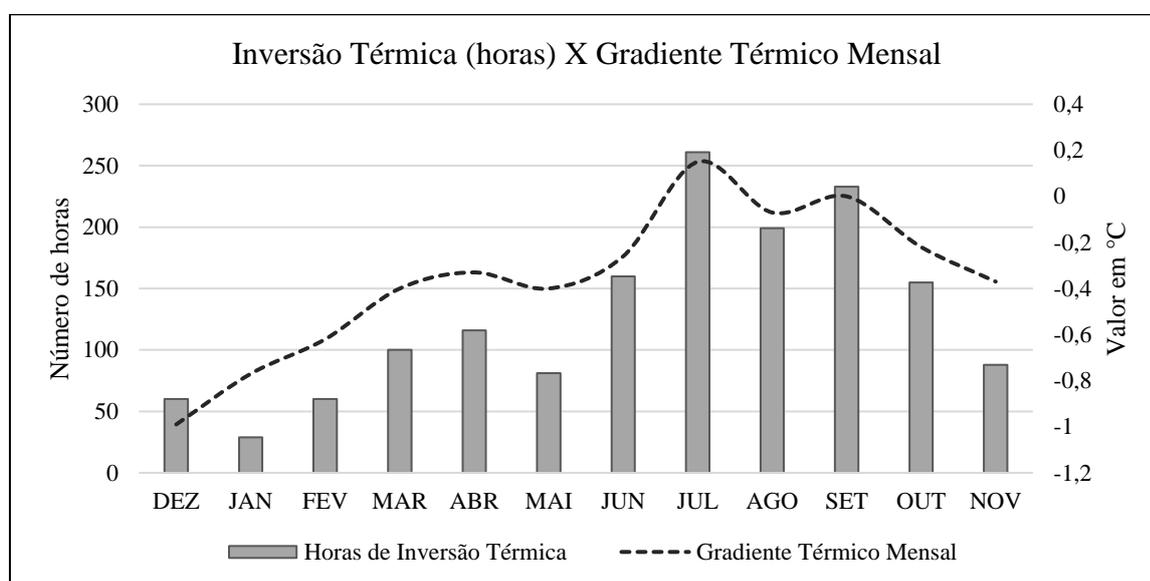
Gráfico 19 - Valor mensal de horas de inversão térmica no bairro Nossa Senhora do Perpétuo Socorro entre dezembro de 2018 a novembro 2019.



Foram contabilizados o total de 1.542 horas de inversão térmica na área de estudo, entre os meses de dezembro de 2018 a novembro de 2019. O mês de janeiro apresentou o menor número de registro de horas com ocorrência de inversão térmica, com 29 registros durante o mês, valor correspondente a 3,8% do total de horas mensais. Janeiro também é mês que

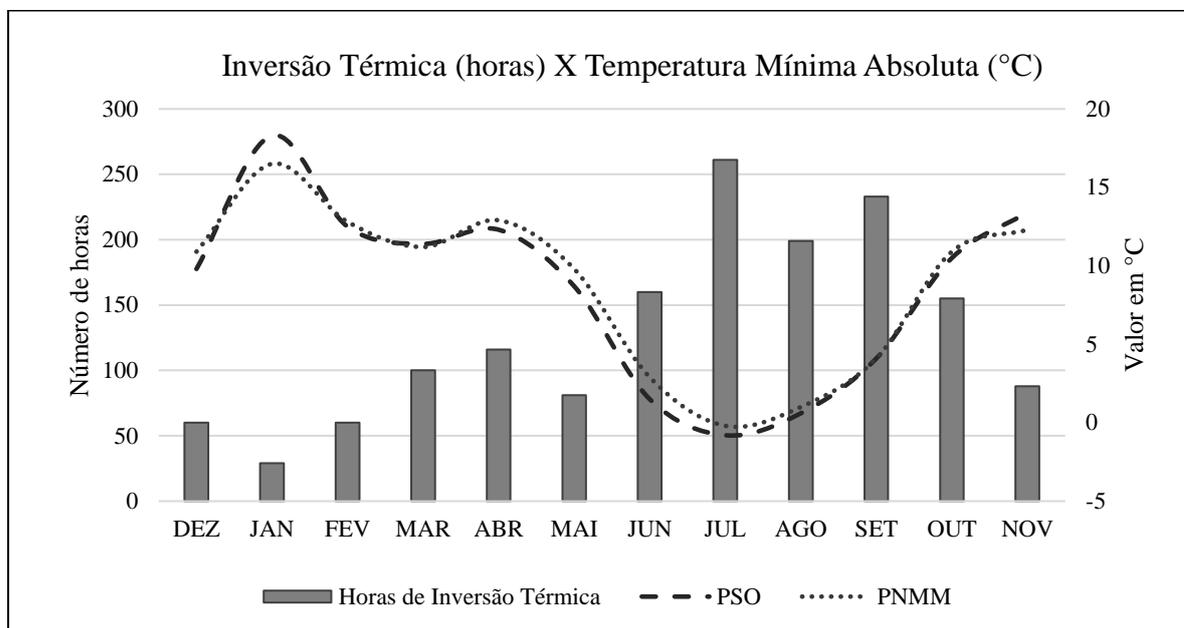
registrou o maior valor de temperatura do ar média durante a pesquisa nos dois pontos de coleta de dados. A mesma relação pode ser feita com o mês de julho, no qual foram registradas 261 horas com ocorrência de inversão térmica, correspondendo a 35% do total de horas do mês. O Gráfico 20 apresenta a relação entre o total mensal de horas de inversão térmica e o gradiente térmico mensal.

Gráfico 20 - Relação entre o total de horas de inversão térmica mensais e o gradiente térmico vertical mensal da área de estudo.



Ao realizar análise de correlação entre o total de horas mensal de ocorrência de inversão térmica e os valores de gradiente térmico mensais observa-se há forte correlação entre estas duas variáveis ( $R= 0,928747$ ). O Gráfico 20 representa esta correlação mostrando a compatibilidade das variáveis, onde para os meses com registro de maior número de horas de inversão térmica também se mostra o aumento no valor do gradiente térmico. Dessa forma, pode-se afirmar que há uma relação direta entre as horas de inversão térmica e o gradiente térmico mensal na área de estudo. O Gráfico 21 mostra a relação entre a quantidade de horas de inversão térmica e a temperatura mínima absoluta mensal registrada para os pontos PSO e PNMM.

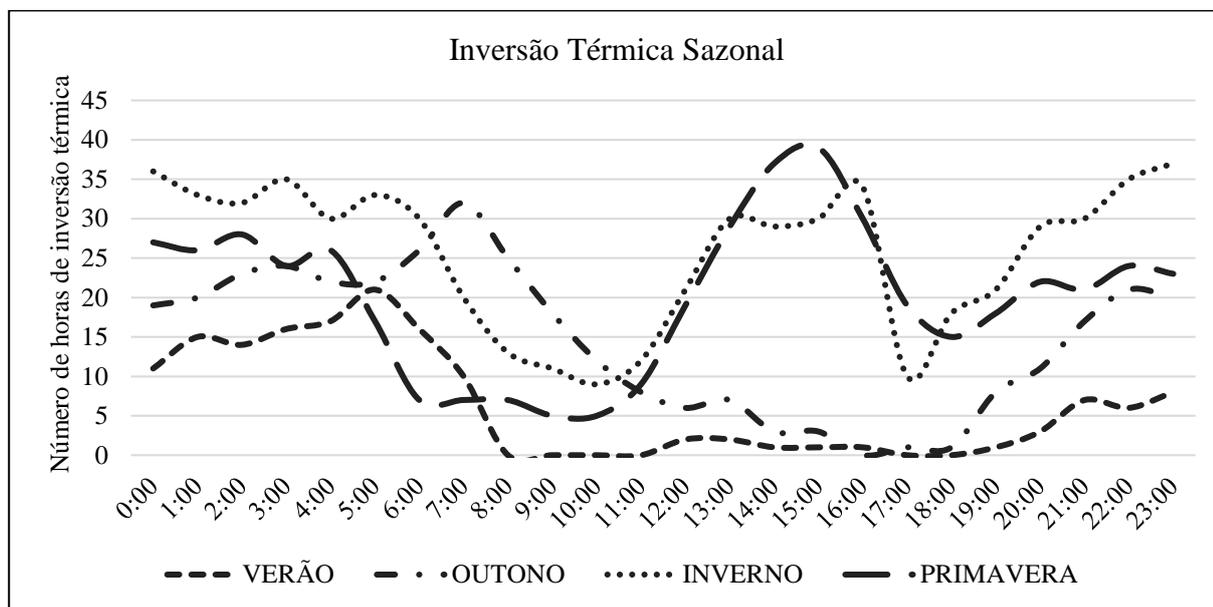
Gráfico 21 - Relação entre as horas de inversão térmica e a temperatura mínima absoluta para cada mês analisado.



Para a análise de correlação considerando o total de horas mensal de ocorrência de inversão térmica e a temperatura mínima absoluta do ar mensal também mostra que há correlação entre as variáveis, onde  $R = -0,75$  para temperatura mínima absoluta do ar de PSO;  $R = -0,88$  para temperatura mínima absoluta do ar de PNMM. O valor negativo do coeficiente de correlação indica uma correlação inversa, o que pode ser visualizado no gráfico anterior (Gráfico 10) onde é possível observar que os valores de horas de inversão térmica e a temperatura mínima absoluta do ar são inversamente proporcionais.

Observa-se que nos meses representativos para o verão, o número de horas de inversão térmica registradas é inferior em relação ao período mais frio do inverno. Ainda, é possível observar a variação horária nas ocorrências de inversão térmica e caracteriza-las de acordo com as estações do ano. O Gráfico 22 apresenta esta variação.

Gráfico 22 - Variação sazonal no número de horas de ocorrência de inversão térmica.

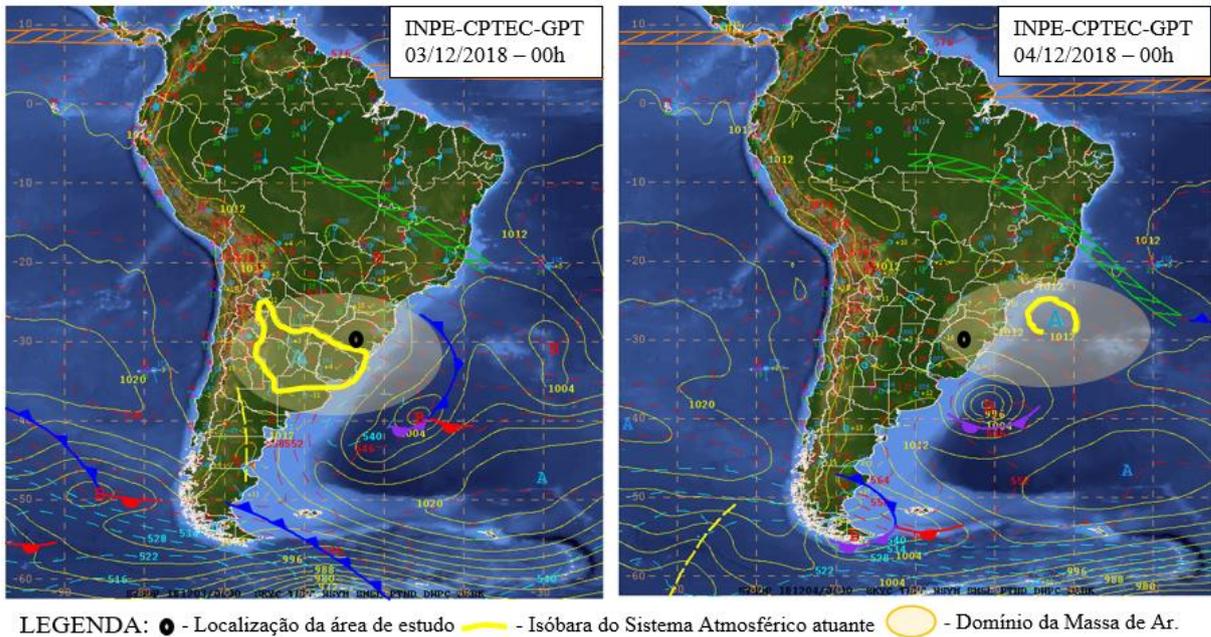


Observa-se que a inversão térmica é um fenômeno comum na área de estudo, ocorrendo sobretudo, no período noturno, em todas as estações do ano. Durante o verão quase todos os registros de inversão térmica foram noturnos. O período outonal já registra um maior número de horas de ocorrência de inversão térmica em relação ao verão, tendo maior parcela no período noturno, com pico de ocorrência de inversão térmica entre as 7 e 8 horas da manhã.

Durante o período invernal, observa-se registros de ocorrência de inversão térmica nas 24 horas do dia com maior número de ocorrências durante a tarde, entre as 15 e 16 horas. O menor número de ocorrência foi registrado entre as 8 e 11 horas da manhã. O mesmo ocorre durante o período primaveril, porém este durante este período a ocorrência de inversão térmica é predominantemente diurna, ao contrário das demais estações do ano.

Quanto as investigações sinóticas realizadas com os episódios mensais de inversão térmica mais significativos, aponta-se um predomínio de centros de ação de alta pressão e suas respectivas massas de ar durante as ocorrências de inversão térmica. No episódio de dezembro de 2018, entre os dias 03 e 04, na carta sinótica de superfície é possível observar a atuação do Anticiclone Migratório Polar sobre o estado do Rio Grande do Sul. As cartas sinóticas referentes ao episódio de inversão térmica do mês de dezembro estão apresentadas na Figura 34.

Figura 34 - Cartas sinóticas dos dias 03 e 04 de dezembro de 2018.

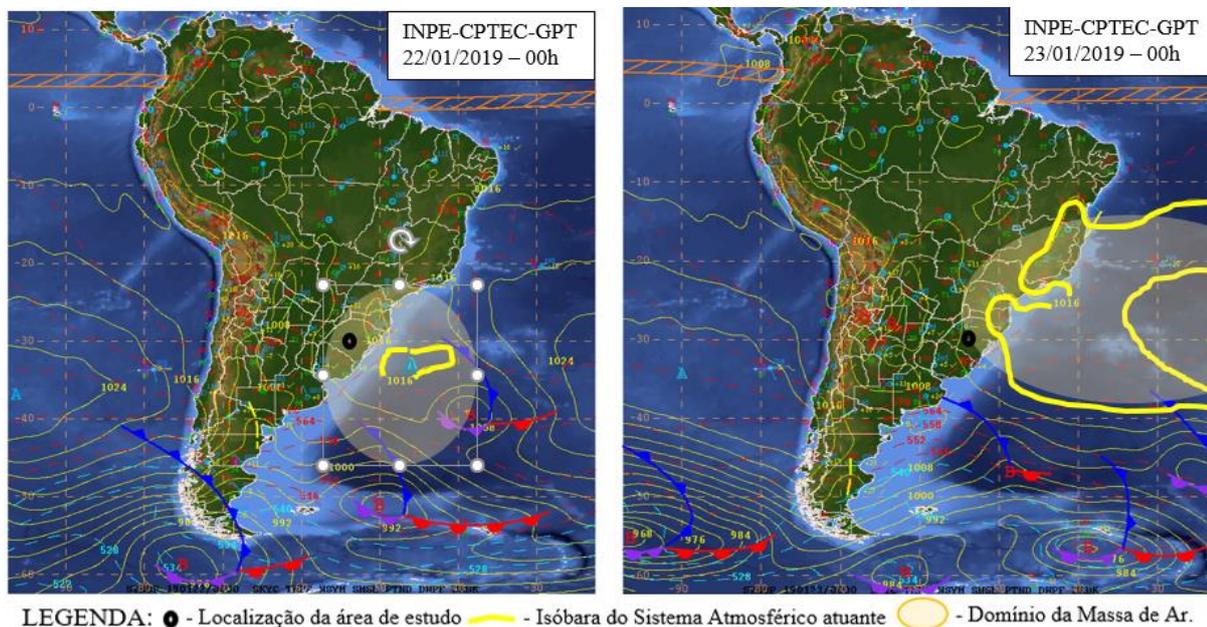


Fonte: CPTEC/INPE (2018).

Adaptação da autora.

As cartas sinóticas mostram a atuação do AMP nos dias 03 e 04, sendo que, durante o dia 03 a Massa Polar Atlântica atuava sobre o Rio Grande do Sul, com registro de temperatura mínima de  $9,8^{\circ}\text{C}$  e máxima de  $29,4^{\circ}\text{C}$ . Com uma amplitude térmica de  $19,6^{\circ}\text{C}$  nota-se um processo de tropicalização da MPA. A inversão térmica máxima registrada neste episódio foi de  $4,5^{\circ}\text{C}$  de diferença entre os pontos PSO e PNMM, ocorrida na madrugada de 04 de dezembro. Na carta sinótica de 04 de dezembro observa-se o deslocamento do centro do AMP do continente para o Oceano Atlântico ao mesmo tempo em que diminui sua área de atuação. A amplitude térmica registrada no dia foi de  $20,5^{\circ}\text{C}$ , configurando a atuação da MPV tropicalizada. O episódio de inversão térmica do mês de janeiro ocorreu na madrugada entre 22 e 23 de janeiro, conforme as cartas sinóticas apresentadas na Figura 35.

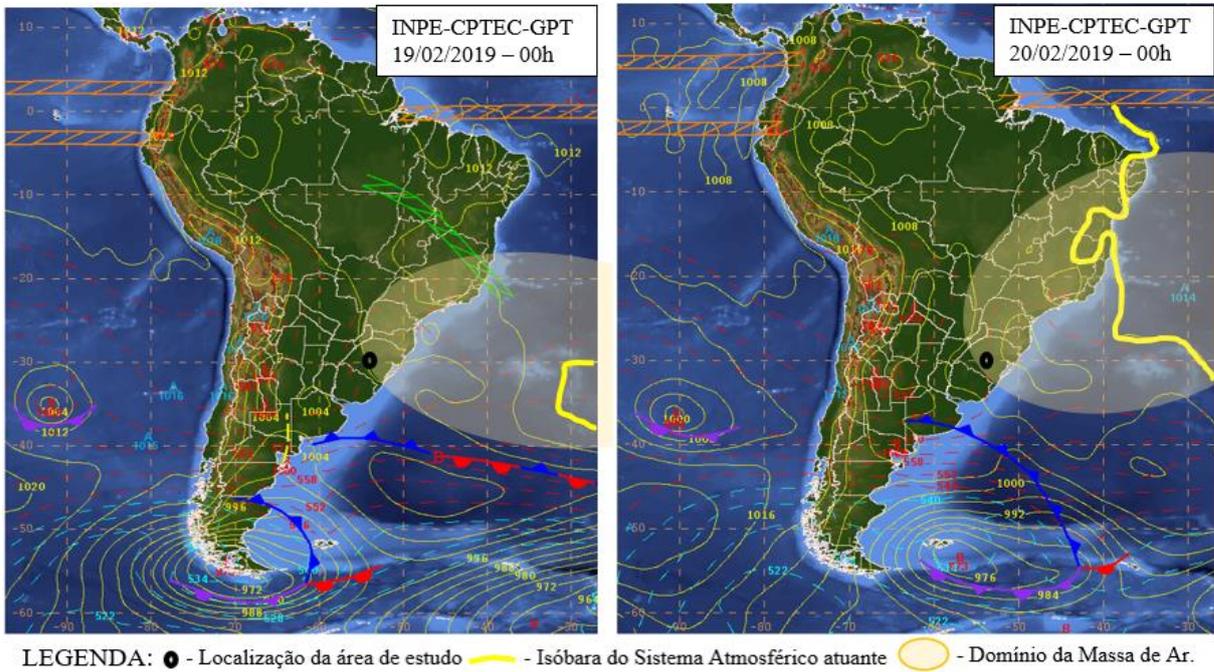
Figura 35 - Cartas sinóticas dos dias 22 e 23 de janeiro de 2019.



Fonte: CPTEC/INPE (2019).  
Adaptação da autora.

Na carta sinótica do dia 22 de janeiro é possível observar a atuação do AMP, com seu centro de alta pressão estabelecido no Oceano Atlântico, próximo ao litoral do Rio Grande do Sul. Com temperaturas mínimas elevadas e temperaturas máximas acima de  $35^{\circ}\text{C}$ , nesta data foi registrada amplitude térmica de  $18,8^{\circ}\text{C}$ . Dessa forma, constata-se a domínio da MPV sob o Rio Grande do Sul. A inversão térmica máxima registrada neste episódio foi de  $3,8^{\circ}\text{C}$  de diferença entre os pontos PSO e PNMM, ocorrida na madrugada de 23 de janeiro. Na carta sinótica desta data nota-se que houve a fusão entre o AMP e o ATA, conferindo a MPV características tropicais, elevando as temperaturas mínimas e máximas em relação ao dia anterior e ocasionando chuva convectiva durante o dia. Durante o episódio de inversão térmica referente ao mês de fevereiro, o sistema atmosférico atuante foi o ATA conforme apresentado nas cartas sinóticas da Figura 36.

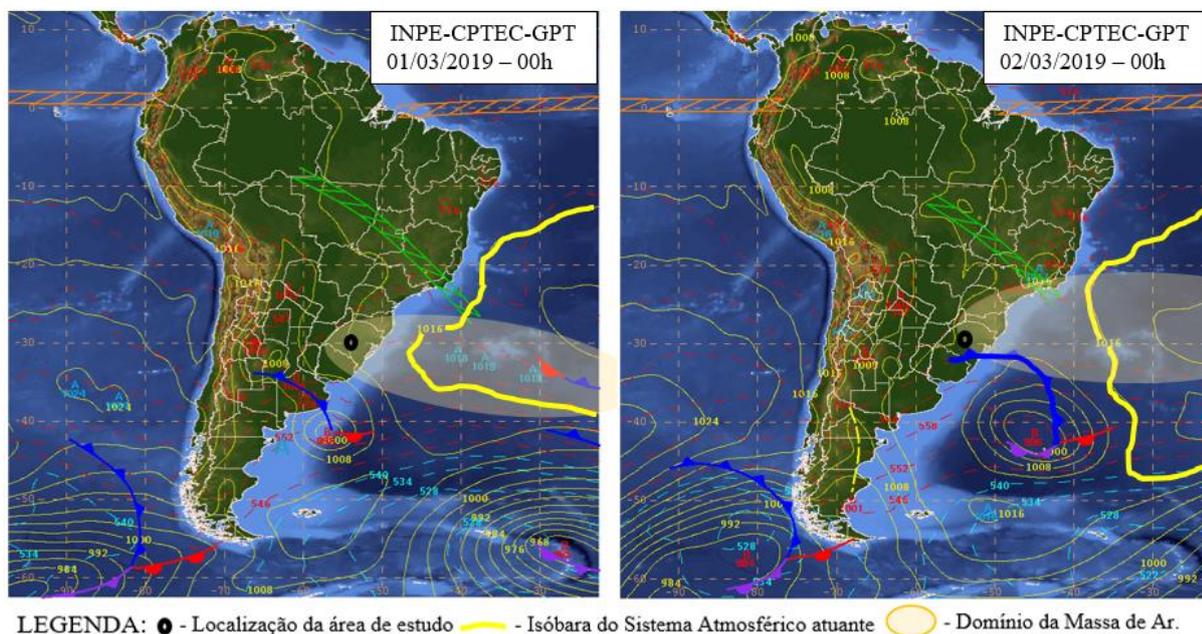
Figura 36 - Cartas sinóticas dos dias 19 e 20 de fevereiro de 2019.



Fonte: CPTEC/INPE (2019).  
Adaptação da autora.

Observa-se na Figura 36 que, na carta sinótica da data de 19 de fevereiro há o predomínio do ATA na maior parte do país, condição que se estabelece no dia 20 de fevereiro, com a aproximação do centro de alta pressão do ATA. Neste sentido, há a atuação do ATA continentalizado, onde foram registradas temperaturas mínimas acima de 20°C e máximas acima de 37°C, caracterizando o predomínio a MTA na região. Ainda, destaca-se a situação pré-frontal indicada pela chegada de uma Frente Fria na altura do Rio da Prata, havendo registro de precipitação (45mm) na mesma data. A Figura 37 apresenta as cartas sinóticas do episódio de inversão térmica do mês de março.

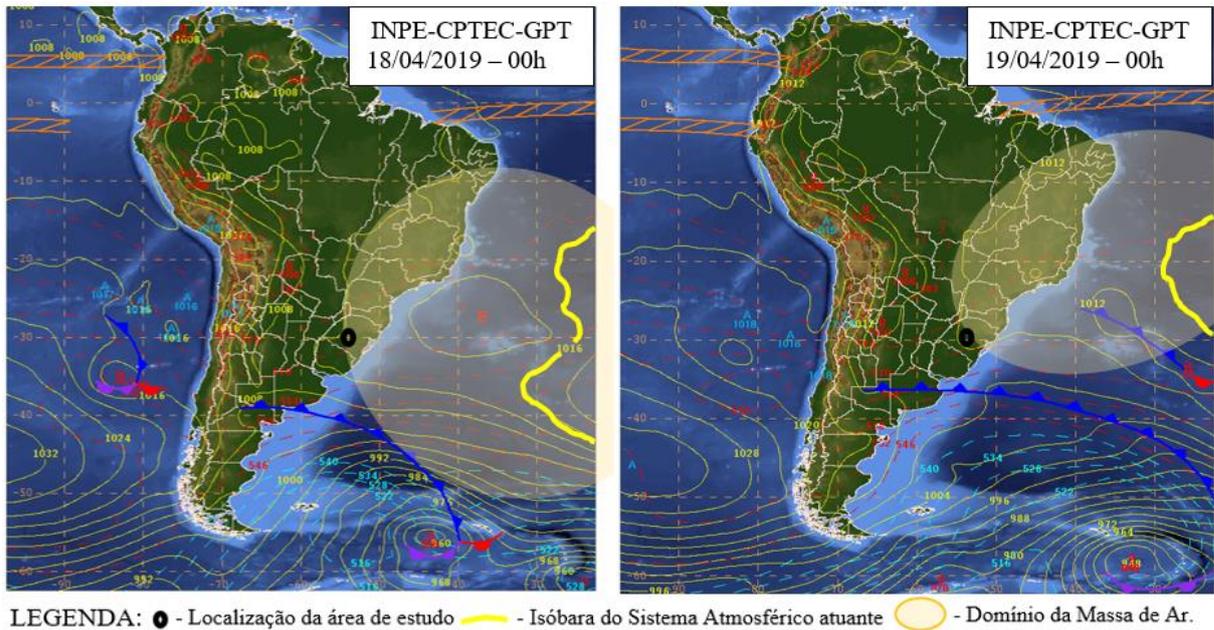
Figura 37 - Cartas sinóticas dos dias 01 e 02 de março de 2019.



Fonte: CPTEC/INPE (2019).  
Adaptação da autora.

Na carta sinótica do dia 01 de março observa-se a atuação do AMP na Região Sul. Também é possível notar o enfraquecimento do centro de alta de pressão do AMP, que se fragmenta em pequenos centros ao se deslocar para o Oceano Atlântico num processo de fusão com o ATA. Ainda assim, há o predomínio da MPV, caracterizada pelas temperaturas mínimas abaixo dos 15°C e máximas acima de 30°C, conferindo assim uma amplitude térmica significativa. Dentro de uma situação frontal, apontada na carta sinótica do dia 02 de março, a MPV é empurrada para o Oceano Atlântico com a passagem da Frente Fria sobre o Rio Grande do Sul, ocasionando uma ligeira queda nas temperaturas. A inversão térmica máxima registrada neste episódio foi de 7,8°C de diferença entre os pontos PSO e PNMM, ocorrida na madrugada de 02 de março. No mês de abril o episódio de inversão térmica mais significativa ocorreu na madrugada entre os dias 18 e 19, conforme apresentam as cartas sinóticas na Figura 38.

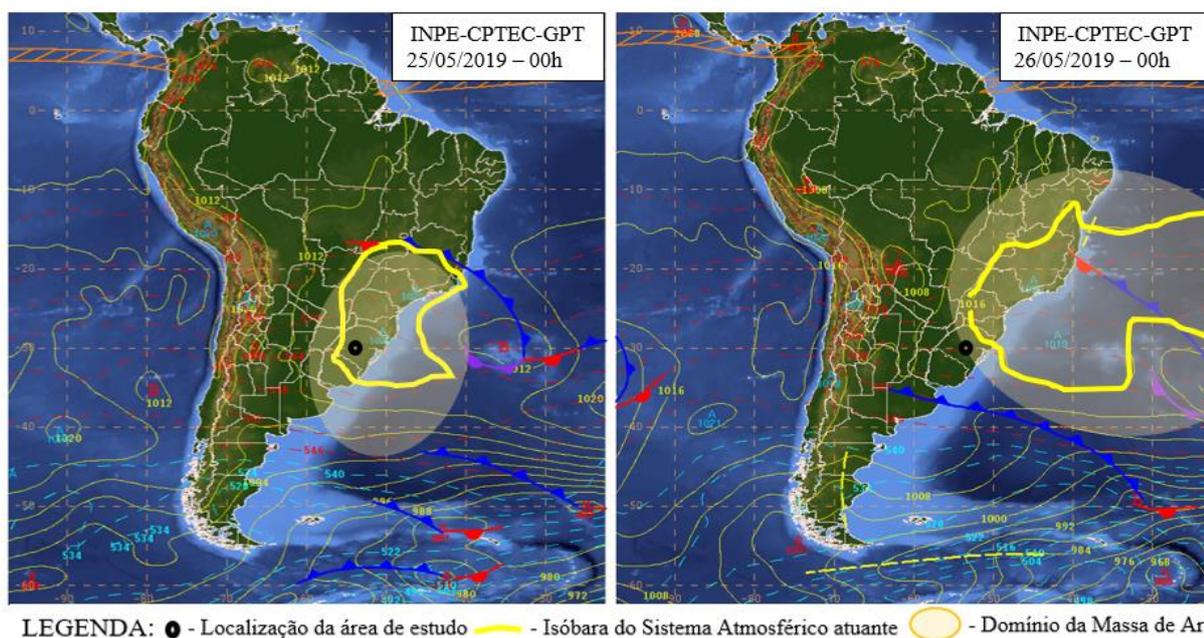
Figura 38 - Cartas sinóticas dos dias 18 e 19 de abril de 2019.



Fonte: CPTEC/INPE (2019).  
Adaptação da autora.

Na Figura 38, a carta sinótica de 18 de abril mostra a dissipação do AMP ao se unir com o ATA, e a atuação da MPV sob o Rio Grande do Sul. As temperaturas mínimas registradas nesta data foram maiores de 10°C e as máximas acima dos 25°C. Em situação pré-frontal, a MTA passa a predominar sobre o RS, conforme mostra a carta sinótica do dia 19, levando ar quente (continentalizado) para o sul do Brasil, elevando as temperaturas máximas, aumentando a amplitude térmica diária. A inversão térmica máxima registrada neste episódio do mês de abril foi de 5,1°C de diferença entre os pontos PSO e PNMM, tendo sido registrada no fim da noite, ainda da data de 19 de abril. Durante o mês de maio o episódio de inversão térmica analisado ocorreu entre os dias 25 e 26 de maio, conforme apresentado na Figura 39.

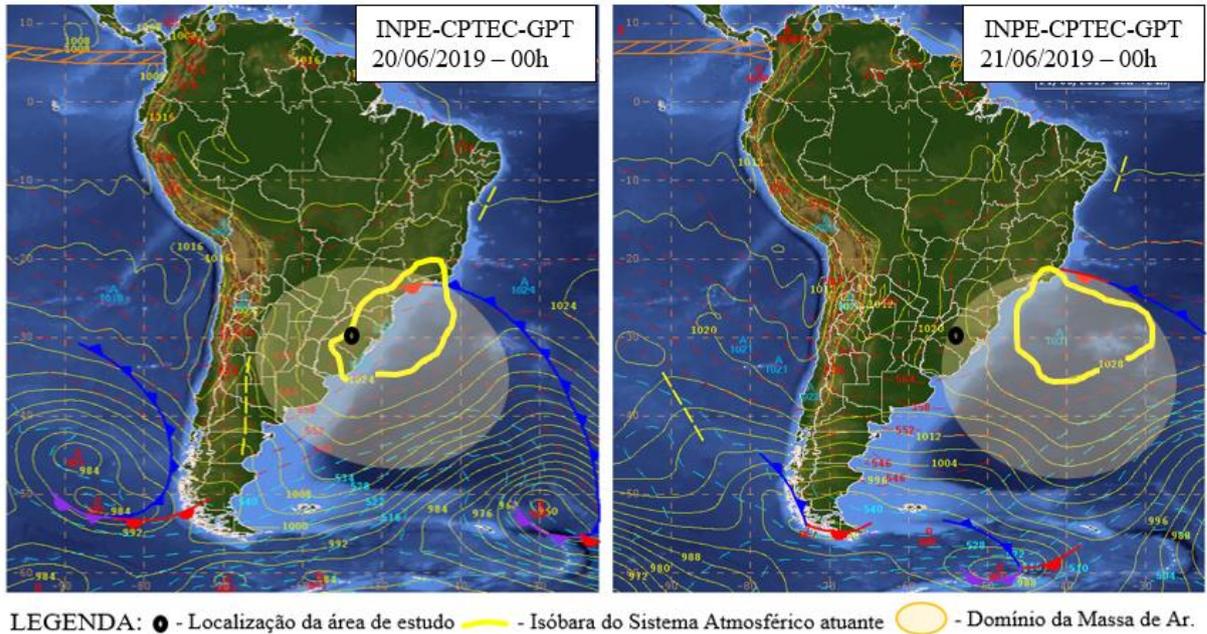
Figura 39 - Cartas sinóticas dos dias 25 e 26 de maio de 2019.



Fonte: CPTEC/INPE (2019).  
Adaptação da autora.

Nas cartas sinóticas apresentadas na Figura 39, observa-se a atuação do AMP, já enfraquecido e em processo de descaracterização e aquecimento ao tomar trajetória marítima. Dessa forma, a MPV predomina sobre o Sul do Brasil, com registro de temperaturas mínimas de 10°C e máximas acima de 20°C na área de estudo. Na carta sinótica do dia 26 de maio nota-se a aproximação do eixo de uma FF, já na altura do Rio da Prata, caracterizando uma situação pré-frontal no Rio Grande do Sul. Na Figura 40 estão apresentadas as cartas sinóticas do episódio de inversão térmica mais significativo do mês de junho.

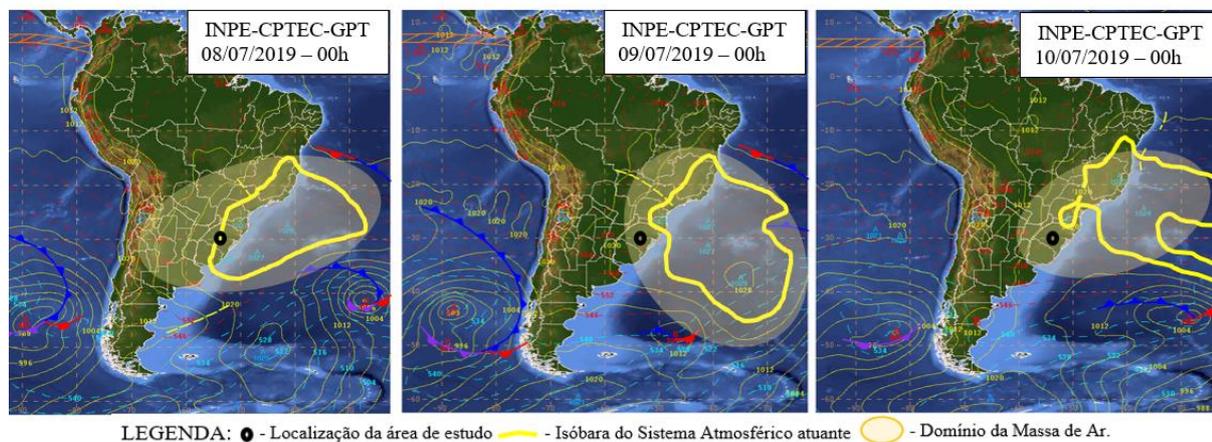
Figura 40 - Cartas sinóticas dos dias 20 e 21 de junho de 2019.



Fonte: CPTEC/INPE (2019).  
Adaptação da autora

O episódio de inversão térmica mais forte do mês de junho ocorreu durante os dias 20 e 21 de junho, onde foram registradas 33 horas de inversão térmica neste período, atingindo o valor máximo de  $7,2^{\circ}\text{C}$  de diferença entre os pontos PNMM e PSO. Na carta sinótica observa-se a atuação do AMP nos dois dias de análise. A massa de ar predominante é a MPV visto que as temperaturas mínimas registradas foram acima de  $10^{\circ}\text{C}$  e as máximas maiores de  $20^{\circ}\text{C}$ , o que indica o início do processo de descaracterização da situação polar do AMP e da MPA ao se deslocar para latitudes mais baixas. De forma semelhante observa-se a situação sinótica durante a ocorrência de inversão térmica no mês de julho, conforme é apresentado na Figura 41.

Figura 41 - Cartas sinóticas dos dias 08, 09 e 10 de julho de 2019.



Fonte: CPTEC/INPE (2019).

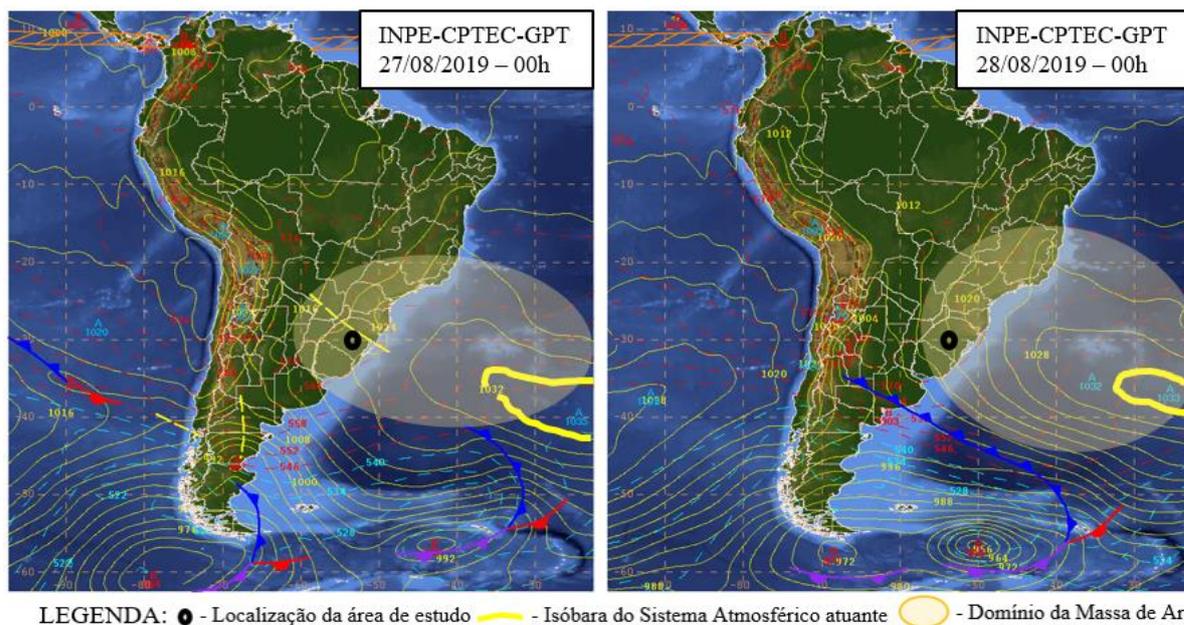
Adaptação da autora.

Neste episódio, compreendido entre os dias 7 e 11 de julho de 2019, a ocorrência de inversão térmica na área de estudo foi quase ininterrupta, com exceção de algumas horas durante o período da tarde. Durante o dia 07 de julho houve ocorrência de inversão térmica, com diferença máxima de 2,9°C entre os pontos PSO e PNMM. Na mesma data foi registrada a menor temperatura para o período de análise desta pesquisa, sendo -0,2°C no ponto PNMM e -0,8°C no ponto PSO, com máximas de 14,1°C e 13,6°C, respectivamente. Na ocasião, o centro do AMP encontra-se estabelecido sobre o Rio Grande do Sul, com predomínio da MPA típica, ocasionando temperaturas mínimas negativas e temperaturas máximas baixas, com baixa amplitude térmica.

No dia 08 de julho a MPA já inicia o seu processo de descaracterização, com o aquecimento da MPA, gerando o processo de inversão térmica que perdura durante todo o dia. Nos dias 09 e 10 de julho a MPV, resultado da descaracterização da MPA, predomina sobre o Rio Grande do Sul, ocasionando elevação das temperaturas mínimas e máximas. A constante inversão térmica observada nos dias 08, 09 e 10 de julho pode ter sido ocasionada pela não dispersão diurna do nevoeiro de radiação criado na área urbana a partir do balanço de radiação negativo durante o período noturno. Isto ocorre devido a estagnação sinótica onde, com predomínio do centro da alta pressão no estado, leva a subsidência do ar aquecido para as camadas mais altas, mantendo a formação do nevoeiro nas camadas mais baixas conforme ocorre o balanço negativo de radiação.

Para o mês de agosto foi definido como o episódio de inversão térmica mais significativo ocorreu no dia 28, com diferença de  $8,3^{\circ}\text{C}$  entre os pontos PNMM e PSO. As cartas sinóticas referentes a este episódio encontram-se na Figura 42.

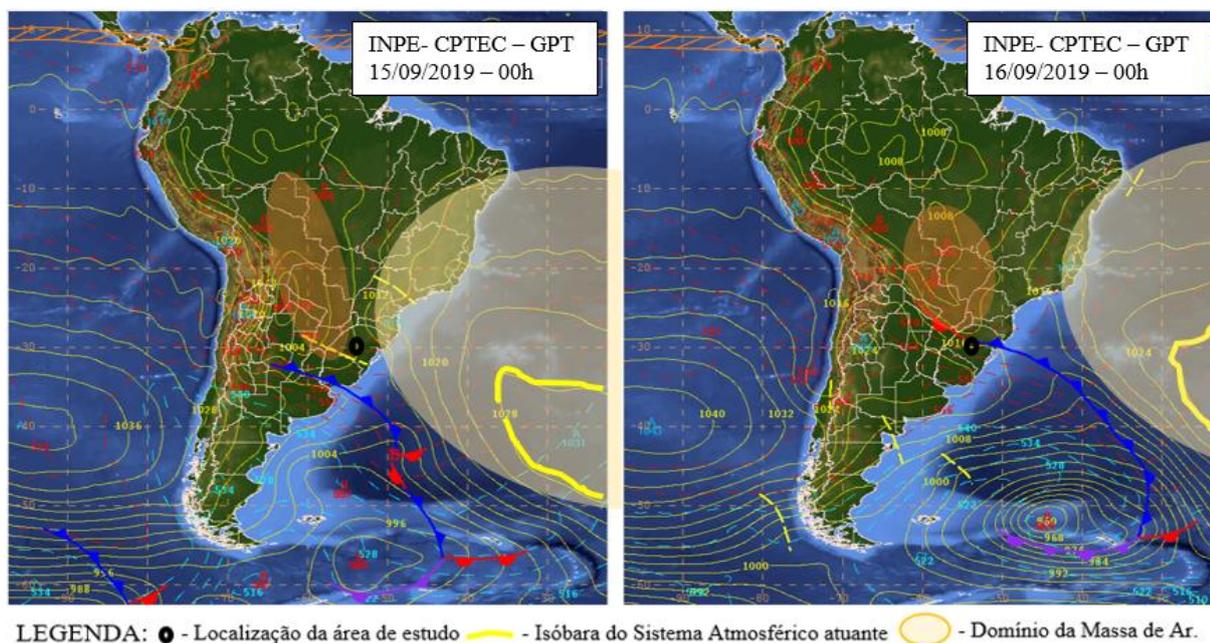
Figura 42 - Cartas sinóticas dos dias 27 e 28 de agosto de 2019.



Fonte: CPTEC/INPE (2019).  
Adaptação da autora.

Observa-se na carta sinótica do dia 27 de agosto que o AMP segue trajetória marítima, afastado do continente. As temperaturas mínimas registradas neste período foram superiores a  $10^{\circ}\text{C}$  enquanto as temperaturas máximas ultrapassaram os  $25^{\circ}\text{C}$ , o que denota descaracterização da MPA e consequente predomínio da MPV. O dia 28 registrou temperatura máxima de  $31,6^{\circ}\text{C}$ , valor bastante elevado para essa época do ano, o que aponta para o processo de tropicalização da MPV. A amplitude térmica diária do dia 28 é de  $18,6^{\circ}\text{C}$ . Situação sinótica similar ocorre no episódio de inversão térmica do mês de setembro, onde o AMP tem trajetória marítima, conforme apresenta a Figura 43.

Figura 43 - Cartas sinóticas dos dias 15 e 16 de setembro de 2019.

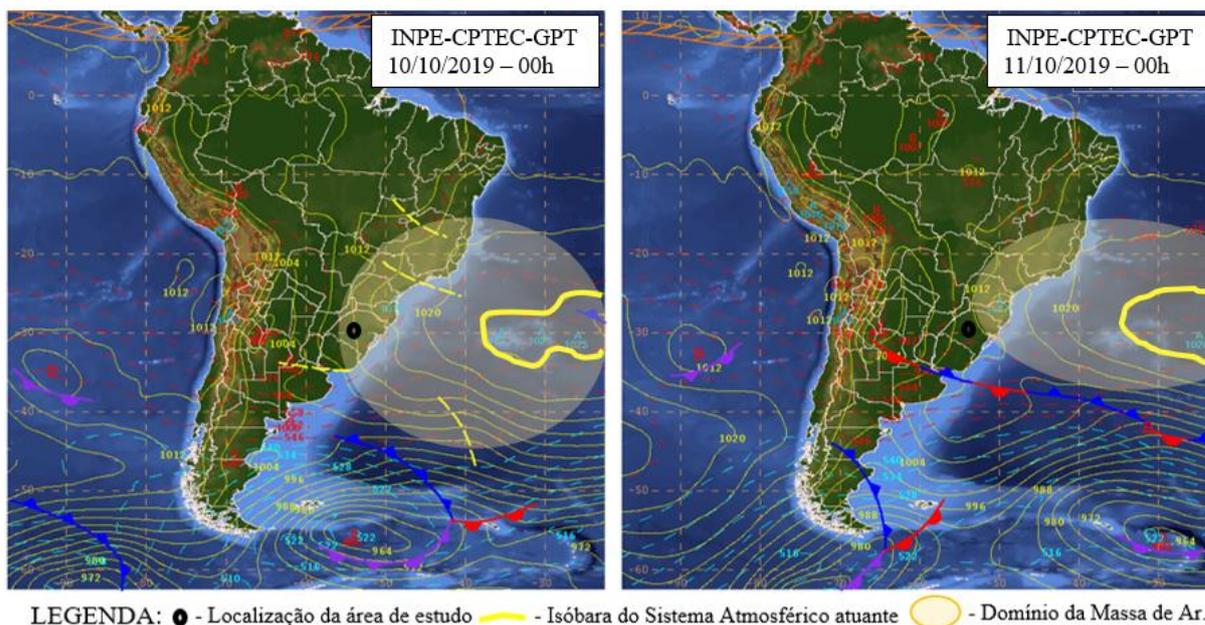


Fonte: CPTEC/INPE (2019).  
Adaptação da autora.

Conforme observa-se na carta sinótica do dia 15, o território do Rio Grande do Sul recebia a influência de duas massas de ar aquecidas. A oeste, a MTC, com temperaturas mais elevadas de acordo com sua origem (Baixa do Chaco) e a MPV tropicalizada, com o AMP em processo de fusão com o ATA. Ainda, observa-se a situação sinótica pré-frontal, com a chegada do eixo da FP ao sul do estado do Rio Grande do Sul. A inversão térmica máxima registrada neste episódio do mês de setembro foi de 7,3°C de diferença entre os pontos PSO e PNMM, tendo sido registrada no fim da noite de 15 de setembro. A carta sinótica de 16 de setembro mostra o início de um processo de oclusão de frente sobre o RS, ocasionado pelo estabelecimento de uma forte massa de ar quente sobre o norte da Argentina.

No mês de outubro o episódio de inversão térmica analisado ocorreu entre os dias 10 e 11. A Figura 44 apresenta as cartas sinóticas referentes a este episódio.

Figura 44 - Cartas sinóticas dos dias 10 e 11 de outubro de 2019.

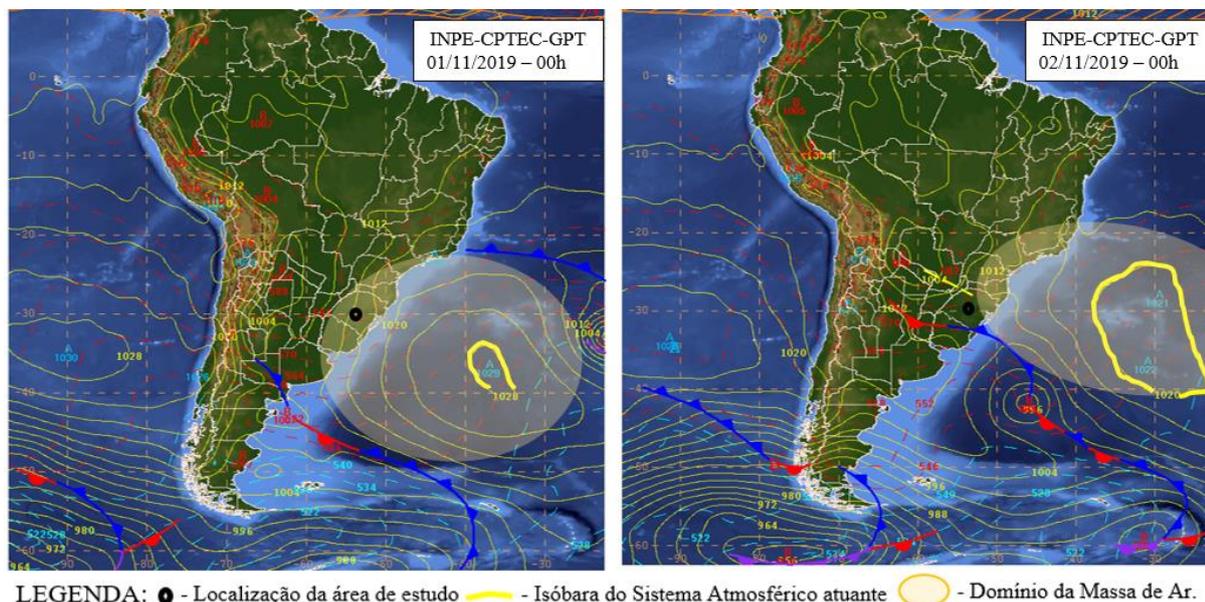


Fonte: CPTEC/INPE (2019).  
Adaptação da autora.

O valor máximo de inversão térmica observado no mês de outubro foi de 6,6°C de diferença na temperatura registrada entre o ponto PSO e PNMM, e ocorreu logo nas primeiras horas da madrugada do dia 11 de outubro. Nas cartas sinóticas de superfície nota-se a trajetória marítima do AMP e o início de sua fusão com o ATA. Sobre o RS o predomínio é da MPV aquecida, em processo de tropicalização devido a fusão entre os dois centros de alta pressão. As temperaturas mínimas registradas durante este episódio foram superiores a 15°C e as temperaturas máximas acima dos 35°C, apresentando uma amplitude térmica de 23,7°C na área de estudo.

Novembro, último mês de análise no período temporal da pesquisa, registrou um valor máximo de inversão térmica de 3,7°C de diferença na temperatura do ar entre PSO e PNMM. As cartas sinóticas referentes ao episódio de novembro estão apresentadas na Figura 45.

Figura 45 – Cartas sinóticas dos dias 01 e 02 de novembro de 2019.



Fonte: CPTEC/INPE (2019).  
Adaptação da autora.

Na carta sinótica de 01 de novembro nota-se a atuação do AMP em sua trajetória marítima, e com predomínio de sua massa de ar já em processo de aquecimento (temperatura mínima acima de 18°C e máxima próxima aos 30°C). O valor máximo de inversão térmica deste episódio ocorre nas primeiras horas da madrugada do dia 02 de novembro, sob predomínio da MPV diante de uma situação pré-frontal.

Dessa forma, a partir da investigação dos sistemas atmosféricos, pode-se observar que, em sua totalidade, os episódios de inversão térmica ocorreram sob atuação de centros de alta pressão atmosférica. Na Tabela 5 encontram-se as datas de ocorrência de inversão térmica definidos para análise sinótica, bem como o valor máximo absoluto de inversão térmica registrado durante o episódio, os sistemas atmosféricos atuantes e a massa de ar dominante durante o evento.

Tabela 5 - Dados dos episódios de inversão térmica e os sistemas atmosféricos observados.

Data	Inversão Térmica Máxima na data	Sistema Atmosférico	Massa de Ar
04 dez. 2018	- 4,9°C	Anticiclone Migratório Polar	Polar Velha
23 jan. 2019	-3,8°C	Anticiclone Migratório Polar	Polar Velha
20 fev. 2019	-3,8°C	Anticiclone Tropical Atlântico	Tropical Atlântica
02 mar. 2019	-7,8°C	Anticiclone Migratório Polar	Polar Velha
19 abr. 2019	-5,1°C	Anticiclone Tropical Atlântico	Tropical Atlântica
26 mai. 2019	-5,7°C	Anticiclone Migratório Polar	Polar Velha
21 jun. 2019	-7,2°C	Anticiclone Migratório Polar	Polar Velha
09 jul. 2019	-8,8°C	Anticiclone Migratório Polar	Polar Velha
28 ago. 2019	-8,4°C	Anticiclone Migratório Polar	Polar Velha
15 set. 2019	-7,3°C	Anticiclone Migratório Polar	Polar Velha
11 out. 2019	-6,6°C	Anticiclone Migratório Polar	Polar Velha
02 nov. 2019	-3,7°C	Anticiclone Migratório Polar	Polar Velha

Do total de episódios de inversão térmica definidos, 83,3% ocorreram sob a atuação do Anticiclone Migratório Polar, todos sob o domínio da massa polar velha. Os demais 16,6% ocorreram durante a atuação do Anticiclone Tropical Atlântico, sob o domínio da Massa Tropical Atlântica. Neste sentido observa-se que os maiores valores de inversão térmica na área de estudo são encontrados em situações de descaracterização da massa de ar polar (massa polar velha, aquecida ou tropicalizada) ou durante o predomínio da massa polar atlântica, ou seja, durante o processo de aquecimento da atmosfera.

Quanto aos horários de ocorrência de inversão térmica, é possível apontar a predominância noturna dos episódios de inversão térmica na área de estudo, mesmo que haja a ocorrência diurna deste fenômeno, principalmente durante a primavera. Baratto et. al. (2020) ao identificarem a ocorrência de inversão térmica na bacia hidrográfica do Rio do Boi observaram que à medida que aumenta a magnitude das inversões térmicas na área de estudo, a frequência na ocorrência de inversão térmica diminuí.

Nesta pesquisa foi possível observar o contrário, visto que os meses que apresentaram inversão térmica de maior magnitude foram os meses de junho, julho e agosto. Neste contexto, conforme demonstra o Gráfico 12, os meses com maior ocorrência de horas de inversão térmica na área de estudo são julho, agosto e setembro. Estes três meses são referentes ao meio/final do período invernal e início da primavera, conforme o esperado e apontado pela bibliografia. Ainda assim, destaca-se a ocorrência de inversão térmica em ocasião de predomínio da Massa de Ar

Polar, conforme ocorre durante o episódio de inversão térmica definido como característico para o mês de julho.

## 5.5 EFEITO OROGRÁFICO

Dos 64 eventos pluviométricos registrados na área de estudo, foi identificado a ocorrência de efeito orográfico em 32 destes. Sendo que 34,3% do total eventos pluviométricos com registro de efeito orográfico ocorreram durante a primavera, 31,2% durante o inverno, 21,8% durante o verão e 12,5% durante o outono. Estes resultados iniciais estão em desacordo com os estudos realizados por Correa et al. (2016) e Forgiarini et al. (2014) os quais afirmam que o efeito orográfico é mais expressivo durante o período invernal, devido ao maior número de invasões polares na região sul do Brasil.

Na análise sinótica dos 32 eventos pluviométricos, nos quais foram identificadas as diferenças pluviométricas mais expressivas entre a precipitação registrada em PNMM e PSO, pode observar que Frente Polar é a maior responsável pela chuva que ocorre na área de estudo. A Tabela 6 destaca estes eventos, apontando se o efeito orográfico ocorreu ou não, e os sistemas atmosféricos atuantes.

Tabela 6 - Eventos pluviométricos e sistemas atmosféricos atuantes.

Evento	Data	Efeito Orográfico	Sistema Atmosférico
1	14 jan. 2019	Sim	Convecção
2	17 jan. 2019	Sim	Convecção pré-frontal
3	23 jan. 2019	Sim	Convecção
4	01 fev. 2019	Não	Frente Fria
5	06 mar. 2019	Sim	Convecção pré-frontal
6	05 abr. 2019	Não	Frente Fria
7	05 mai. 2019	Não	Frente Fria
8	13 mai. 2019	Sim	Oclusão da Frente Fria
9	21 mai. 2019	Sim	Frente Fria
10	28 mai. 2019	Não	Frente Fria
11	17 jun. 2019	Não	Oclusão da Frente Fria
12	25 jun. 2019	Sim	Frente Fria
13	30 jun. 2019	Não	Oclusão da Frente Fria
14	13 jul. 2019	Sim	Frente Fria
15	14 jul. 2019	Sim	Frente Estacionária
16	23 jul. 2019	Não	Frente Fria
17	24 jul. 2019	Não	Oclusão da Frente Fria
18	25 jul. 2019	Sim	Oclusão da Frente Fria
19	29 jul. 2019	Sim	Frente Fria

Tabela 6 - Eventos pluviométricos e sistemas atmosféricos atuantes.

		(continuação)	
Evento		Efeito Orográfico	Sistema Atmosférico
20	30 jul. 2019	Sim	Frente Estacionária
21	31 ago.2019	Sim	Frente Fria
22	07 set. 2019	Não	Frente Fria
23	11 set. 2019	Não	Frente Fria
24	12 set. 2019	Não	Frente Estacionária
25	04 out. 2019	Sim	Frente Fria
26	16 out. 2019	Não	Frente Fria
27	19 out. 2019	Sim	Frente Fria
28	29 out. 2019	Sim	Frente Fria
29	30 out. 2019	Sim	Oclusão da Frente Fria
30	31 out. 2019	Não	Oclusão da Frente Fria
31	04 nov. 2019	Sim	Frente Fria
32	08 nov. 2019	Sim	Frente Fria

Do total de eventos pluviométricos analisados, 56,2% foram provenientes da passagem da Frente Fria pelo estado do Rio Grande do Sul e 21,8% pela oclusão da Frente, 12 % são referentes a chuvas convectivas e somente 9,3% foram ocasionados pelo estacionamento da Frente Fria no estado. As precipitações convectivas foram observadas durante o verão e o outono. Já as Frentes Estacionárias ocorreram durante o inverno e a primavera. A análise sinótica mostrou que as Frentes Oclusas ocorreram durante o outono, inverno e primavera. As passagens das Frentes Frias ocorreram em todas as estações, tendo sido observadas em menor frequência durante o verão e maior frequência durante a primavera. As cartas sinóticas relativas podem ser visualizadas no ANEXO I.

Em relação ao efeito orográfico foi possível observar que em todas as precipitações de origem convectivas o ponto PNMM registrou volume maior em relação ao ponto PSO. Nos registros de passagem de frente fria, o efeito orográfico pode ser observado em 55,5% destas. Nas observações de frentes estacionárias o efeito orográfico foi registrado em 66,6% dos eventos. Nas chuvas provenientes da oclusão da frente polar somente 42,8% registraram ocorrência do efeito orográfico, sendo essa a situação sinótica apresentou menor influência na diferença no volume de precipitação entre os pontos PSO e PNMM. Esta afirmação vai ao encontro do já apontado por Forgiarini et. al. (2014) que apontam a ocorrência do efeito orográfico na região central do Rio Grande do Sul e sua intensificação com a passagem de sistemas frontais, decorrentes do avanço das massas de ar de origem polar pela região.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A classificação das zonas climáticas locais (LCZs) na área de estudo apontou o bairro Nossa Senhora do Perpétuo Socorro como um bairro arborizado, com presença de um significativo remanescente de Mata Atlântica, sendo assim justificado a necessidade de uma Unidade de Conservação nesta área. Ainda assim, possui área urbana consolidada, apresentando fluxo intenso de pessoas e automóveis e maior número de edificações, mostrando que há um processo de adensamento no bairro que ocorre no sentido centro-bairro.

De acordo com os resultados da análise térmica realizada nesta pesquisa, a área urbanizada do bairro apresentou temperaturas máximas e mínimas absolutas superiores as temperaturas registradas no Parque. O mês mais quente foi janeiro, onde as temperaturas médias noturnas foram as mais elevadas de todo o período de análise. O mês de julho foi identificado como o mais frio da área de estudo, com ocorrência de temperaturas negativas em ambos os pontos.

O gradiente térmico vertical anual encontrado para a área de estudo foi de  $-0,3^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ , apresentando variação mensal entre  $-0,99^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ , encontrado para o mês de dezembro, e  $0,15^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ , definido como o gradiente térmico vertical para o mês de julho. No monitoramento da ocorrência de inversão térmica na área de estudo o mês de julho registrou maior número de horas de ocorrência de inversão térmica, com 35% das horas mensais com registro de temperatura do ar mais elevada no Parque Natural Municipal dos Morros em relação a área urbanizada, o que justifica o valor encontrado como gradiente térmico vertical para o mesmo mês.

Na análise sinótica dos episódios de inversão térmica apontam a predominância de Anticiclones, seja ele o Migratório Polar ou o Tropical Atlântico, em 100% das ocorrências de inversão térmica analisadas. Ainda, observou-se que os maiores valores de inversão térmica registrados na área de estudo ocorreram em situações de aquecimento atmosférico, sob domínio da massa polar velha ou massa polar atlântica. Quanto a frequência, as inversões térmicas ocorreram em maior número durante o período noturno. Os meses de maior número de ocorrência de horas de inversão térmica na área de estudo foram julho, agosto e setembro, período referente ao meio/fim período invernal e início da primavera.

O volume de precipitação pluviométrica registrado na área de estudo durante o período da pesquisa foi bastante expressivo, com valores acima da média anual da Normal Climatológica (1961-1990). O volume acumulado anual foi maior no Parque Natural Municipal dos Morros do que na área urbanizada, apontando para a ocorrência de efeito orográfico. O mês

com menor acumulado pluviométrico foi dezembro, com menos de 70 mm de precipitação na área de estudo. O mês com maior acumulado pluviométrico foi outubro, onde registrou-se maior volume de chuva no ponto PNMM em relação ponto PSO.

Os períodos sazonais do outono e primavera foram mais chuvosos, e os menos chuvosos foram o verão e o inverno. O efeito orográfico foi melhor observado durante o verão e a primavera. Na análise sinótica dos eventos pluviométricos foi observado o efeito orográfico em todas as precipitações de origem convectiva; em 55,5% das passagens de frente fria; 66,6% das ocorrências de frentes estacionárias e em 42,8% dos casos de oclusão da frente polar.

Para a evapotranspiração observou-se um balanço hídrico similar entre os dois pontos de coleta, com registro de período de carência na área de estudo durante os meses mais quentes. O meio urbano registrou uma maior taxa de evapotranspiração no durante a maior parte do período de análise, com exceção dos meses de julho, agosto e setembro. Durante este mesmo período foi registrado o maior número de ocorrência de inversão térmica na área de estudo.

Em relação ao problema apresentado para esta pesquisa “Seria a topografia o principal controle da variabilidade climática em uma área de transição entre o urbano e o natural?” pode-se afirmar que a topografia não atua como principal agente controlador da variabilidade dos atributos climáticos na área de estudo. As características do meio urbano, como a tipologia do uso do solo e dos materiais utilizados nas construções amplificam as diferenças entre o natural e o urbano, acentuando o aquecimento e resfriamento da camada de ar próxima a superfície, refletindo dentro da escala topoclimática. Neste sentido, considera-se que a variabilidade climática observada na área de estudo é sim influenciada pela topografia expressiva que se apresenta na área, mas também é determinada pelos resultados dos processos atmosféricos inerentes ao meio urbano.

Esta pesquisa apresenta limitações quanto ao número de instrumentos disponíveis, contando com somente dois pontos de coleta de dados, fato que, claramente, não abrange a totalidade das diferenças climáticas que se apresentam no bairro. Ainda assim, foi possível atingir os objetivos propostos para esta dissertação.

Por fim, a realização desta pesquisa abre caminho para futuros estudos ao apontar a necessidade de uma investigação mais aprofundada no clima urbano e no topoclima, levando em consideração o perfil vertical da atmosfera, afim de identificar possíveis ilhas de calor urbano e a variabilidade dos elementos climáticos na camada limite urbana. Por entende-se que a compreensão sobre a interação do clima entre o espaço urbano e o natural é de suma importância, principalmente ao se tratar de zonas urbanizadas próximas a áreas classificadas como Área de Preservação Permanente (APP) e Unidades de Conservação. Também torna-se

necessário avaliar o impacto do calor urbano no ecossistema do Parque Natural Municipal dos Morros, visto que as Unidades de Conservação tem objetivos claros de preservação e proteção da biodiversidade local e seus serviços ecossistêmicos, os quais podem ser prejudicados a partir de alterações no clima local.

## REFERÊNCIAS

- AKOBENG, A. K. Understanding systematic reviews and meta-analysis. **Archives of Disease in Childhood**, v. 90, 2005. p. 845-848. Disponível em <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1720526/pdf/v090p00845.pdf>>. Acesso em out. 2021.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300 p. (FAO – Irrigation and Drainage Paper, 56).
- ALMEIDA, A. P.; WOLLMANN, C. A.; HOPPE, I. L. **A caracterização do clima em unidades de conservação: uma análise nos planos de manejo dos parques estaduais do Rio Grande do Sul, Brasil**. In: Luís Ricardo Fernandes da Costa. (Org.). Geografia Física: Estudos Teóricos e Aplicados. 1ed. Ponta Grossa - PR: Atena Editora, 2020, v. 1, p. 34-46. Disponível em <<https://www.finersistemas.com/atenaeditora/index.php/admin/api/ebookPDF/3300>>. Acesso em out. 2021.
- ANDRADE, H. O Clima Urbano - Natureza, escalas de análise e aplicabilidade. **Finisterra**, [S. l.], v. 40, n. 80, 2005. DOI: 10.18055/Finis1479. Disponível em: <<https://revistas.rcaap.pt/finisterra/article/view/1479>>. Acesso em: 7 dez. 2021.
- ARAÚJO, Maurício. Mudança no Plano Diretor de Santa Maria pode alterar cenário na Região Norte. **Diário de Santa Maria**, Santa Maria, 13 Ago. 2021. Disponível em <<https://diariosm.com.br/not%C3%ADcias/pol%C3%ADtica/mudan%C3%A7a-no-plano-diretor-de-santa-maria-pode-alterar-cen%C3%A1rio-na-regi%C3%A3o-norte-1.2356131>>. Acesso em 29 out. 2021.
- ARAÚJO, M. B.; ALAGADOR, D.; CABEZA, M.; NOGUÉS-BRAVO, D.; THUILLER, W., Climate change threatens European conservation areas. **Ecology Letters**, v. 14, 2011. p. 484-492.
- ARMANI, G.; GALVANI, E. Avaliação do desempenho de um abrigo meteorológico de baixo custo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Piracicaba-SP, v. 14, n.1, p. 116-122, 2006.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, n. 6, 2013. p. 711-728. Disponível em: <[https://www.schweizerbart.de/papers/metz/detail/22/82078/Koppen\\_s\\_climate\\_classification\\_map\\_for\\_Brazil](https://www.schweizerbart.de/papers/metz/detail/22/82078/Koppen_s_climate_classification_map_for_Brazil)>. Acesso em out. 2020.
- BALDO, M. C.; SILVEIRA H. A contribuição dos estudos climáticos para o plano de manejo do Parque Municipal Cinturão Verde, Cianorte – PR. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada**, Viçosa, Minas Gerais. 2009. Disponível em <[http://www.geomorfologia.ufv.br/simposio/simposio/trabalhos/trabalhos\\_completos/eixo8/044.pdf](http://www.geomorfologia.ufv.br/simposio/simposio/trabalhos/trabalhos_completos/eixo8/044.pdf)>. Acesso em dez. 2020.
- BARATTO, J.; WOLLMANN, C. A.; HOPPE, I. L. Variabilidade termo-higrométrica no

Parque Estadual do Espinilho, em Barra do Quaraí (RS), sob Domínio Tropical Continental. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 06, p. 1734-1743, 2013.

BARATTO, J.; WOLLMANN, C. A.; GALVANI, E.; HOPPE, I. L. Variabilidade da temperatura do ar no Parque Nacional dos Aparados da Serra em Diferentes Escalas Climáticas. Anais. In: **Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica**. Juiz de Fora, 2018.

BARATTO, J.; GALVANI, E.; WOLLMANN, C. A. Calibração e desempenho do abrigo meteorológico de baixo custo em condições de campo. *Revista Brasileira de Climatologia*, [S.I], v. 26, abril, 2020. Disponível em <<https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/69834/40542>>. Acesso em out de 2021.

BARRY, R. G.; CHORLEY, R. J. **Atmosfera, Tempo e Clima**. 9 ed. Porto Alegre: Bookman; 2013.

BECHTEL, B.; DANEKE, C. Classification of local climate zones based on multiple earth observation data. *IEEE Journal of Selected Topics in applied Earth observations and Remote Sensing*, nº 5, v. 4, p. 1191-1202, 2012.

BECHTEL, B.; ALEXANDER, P.; BOHNERT, J.; CHING, J.; CONRAD, O.; FEDDEMA, J.; STEWART, I. Mapping local climate zones for a worldwide database of the form and function of cities. *ISPRS International Journal of Geo-information*, 4(1), 199-219, 2015. Disponível em <<https://doi.org/10.1109/JSTARS.2012.2189873>>. Acesso em 29 out. 2021.

BELÉM, J. **História do Município de Santa Maria**. Santa Maria: Editora UFSM, 1989.

BERNDTSSON, R.; NIEMCZYNOWICZ, J. Spatial and temporal scales in Rainfall Analysis – some aspects and future perspectives. **Journal of Hydrology**, v. 100, 1988. p. 293-313. Disponível em <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0022169488901898>>. Acesso em out. 2021.

BORSATO, V. **A dinâmica climática do Brasil e massas de ares**. 1 ed. Curitiba: Editora CRV, 2016. 184 p.

BRASIL. **Lei n. 5.197, de 03 de janeiro de 1967**. Dispõe sobre a proteção à fauna e dá outras providências. Brasília, 1967. Disponível em <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l5197.htm#:~:text=LEI%20N%C2%B0%205.197%2C%20DE%203%20DE%20JANEIRO%20DE%201967&text=Disp%C3%B5e%20sobre%20a%20prote%C3%A7%C3%A3o%20%20C3%A0,Art.](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l5197.htm#:~:text=LEI%20N%C2%B0%205.197%2C%20DE%203%20DE%20JANEIRO%20DE%201967&text=Disp%C3%B5e%20sobre%20a%20prote%C3%A7%C3%A3o%20%20C3%A0,Art.)>. Acesso em 29 de out. 2021.

\_\_\_\_\_. **Lei n. 6.938, de 31 de agosto de 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação e dá outras providências. Brasília, 1981. Disponível em <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l6938.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm)>. Acesso em 15 mar. 2021.

\_\_\_\_\_. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, 1988. Disponível em <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/constituicao.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm)>. Acesso em 29 de out 2021.

\_\_\_\_\_. **Lei n. 9.985, de 18 de julho de 2000.** Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Brasília, 2000. Disponível em: <L6938 (planalto.gov.br)>. Acesso em 29 de out 2021.

\_\_\_\_\_. **Lei n. 11.428 de 22 de dezembro de 2006.** Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do bioma Mata Atlântica, e dá outras providências. Brasília, 2006. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2004-2006/2006/lei/111428.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2006/lei/111428.htm)>. Acesso em 29 de out 2021.

BRITTO, F. P.; BARLETTA, R.; MENDONÇA, M. Regionalização sazonal e mensal e precipitação pluvial máxima no Estado do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 2, 2006, p. 35-51. Disponível em <<https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/25385/17011>>. Acesso em 29 de out 2021.

BROOKS, T. M.; WRIGHT, S. J.; SHEIL, D. Evaluating the success of conservation actions in safeguarding tropical forest biodiversity. *Conservation Biology*, 2009, v. 23, n6, p. 1448-1457.

BURIOL, G. A., ESTEFANEL, V., SWAROWSKY, A., TODESCHINI, R. Espacialização da evapotranspiração potencial mensal e anual na bacia hidrográfica do Rio Vacacaí – RS, Brasil. *Revista Brasileira de Climatologia*, [S.I.], v. 14, out. 2014. ISSN 2237-8642. Disponível em <<https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/36708/23315>>. Acesso em 29 de out. 2021.

CAMARGO, A. P.; CAMARGO, M. B. P. Uma revisão analítica da evapotranspiração potencial. *Bragantia*, Campinas, v. 59, n. 2, p. 125-137, 2000.

CANDIDO, D. H.; NUNES, L. H. Influência da orografia na precipitação da área entre o Vale do Rio Tietê e a Serra da Mantiqueira. *Geosp (USP)*, v. 24, p. 08-27, 2008.  
CORREA et al. (2016)

CARDOSO, R. S.; AMORIM, M. C. T. Urban heat island analysis the ‘local climate zones’ scheme in Presidente Prudente, Brazil. *Investigaciones Geográficas*, nº69, p. 107-118, 2018. Disponível em <<https://www.redalyc.org/journal/176/17656164007/html/>>. Acesso em 29 out 2021.

CHAVES, S. T. **Regularização Fundiária em Unidades de Conservação no Rio Grande do Sul.** 2014. 30 f. Monografia (Bacharel em Ciências Biológicas) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

CHING, J.; MILLS, G.; BECHTEL, B.; SEE, L.; FEDDEMA, J.; WANG, X. THEEUWES, N. (2018). WUDAPT: An Urban Weather, Climate, and Environmental Modeling Infrastructure for the Anthropocene. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 99(9), 1907–1924. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-16-0236.1>

CHEN, CS.; LIN, YL.; ZENG, HT.; CHEN, CY.; LIU, CL. Orographic effects on heavy rainfall events over northeastern Taiwan during the northeasterly monsoon season. *Atmospheric Research*, v. 122, p. 310-335, 2013.

COSTA A. C.; ZOLTOWSKI, A. N. C. Como escrever um artigo de revisão sistemática. In: KOLLER, S. H., COUTO, M. C. P. de P. HOHENDORFF, J. V. (Orgs.) **Manual de produção científica**. (p. 55-70). Penso Editora. 2014.

COUTO, F. T.; DUCROQ, V.; SALGADO, R.; COSTA, M. J. Numerical simulation of significant orographic precipitation in Madeira Island. **Atmospheric Research**, v. 169, Part A, p. 102-112, 2016.

DAL'ASTA, A. P. **Elaboração de Zoneamento Geoambiental para o Perímetro Urbano de Santa Maria – Rs**. 2009. 176 f. Dissertação (Mestre em Geografia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

DANLEY, B., WIDMARK, C. Evaluating conceptual definitions of ecosystem services and their implications. **Ecological Economics**, v. 126, p. 132-138, 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921800915300549>>. Acesso em 29 out de 2021.

DEMUZERE, M., BECHTEL, B., MILLS, G. (2019). Global transferability of local climate zone models. **Urban Climate**, 27, 46–63. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2018.11.001>

DEMUZERE, M.; HANKEY, S. MILLS, G. ZHANG, W.; LU, T.; BECHTEL, B. Combining expert and crowd-sourced training data to map urban form and functions for the continental US. **Nature Scientific Data**. 2020. <https://doi.org/10.1038/s41597-020-00605-z>.

DEMUZERE, M.; KITNET, J.; BECHTEL, B. LCZ Generator: A Web Application to create local climate zone maps. **Frontiers in Environmental Science** 9:637455. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.637455>, 2021.

DIEGUES, A. C. O surgimento do movimento para a criação de áreas naturais protegidas os estados unidos e suas bases ideológicas. In: **O mito moderado da natureza intocada**. São Paulo, 6º ed. Hucitec: NUPAUB, USP, 2008. 198 p.

DUBREUIL, V.; FANTE, K. P.; PLANCHON, O.; SANTA'ANNA NETO, J. L. The types of annual climates in Brazil: an application of the classification of Köppen from 1961 to 2015. **Revue Confins**, n. 37, out. 2018. Disponível em: <<https://journals.openedition.org/confins/15738>>. Acesso em 13 dez. 2021.

FERRARESE, M. D.; CORREA, L. R.; ROCHA, G. L.; RIBEIRO, R.C. Trilha interpretativa como instrumento de comunicação ambiental: uma experiência no Parque Natural Municipal dos Morros, Santa Maria (RS). **Revista Brasileira de Ecoturismo**, São Paulo, v.12, n.2, mai/jul 2019, pp.295-311.

FERNANDES, N. S. **Mapeamento de áreas suscetíveis à inundação na bacia hidrográfica do Arroio Cadena, Santa Maria/RS**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS. UFSM, 2016.

FERREIRA, H. V. L.; UGEDA JÚNIOR, J. C. Variação da temperatura da superfície através de imagens aster em zonas climáticas locais da cidade de Cuiabá, Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, ano 16, v. 26, jan-jun 2020. p. 393-410, 2020. Disponível em <<https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/67546/40480>>. Acesso em 29 de out. 2021.

FEYIASA, G. L.; DONS, K; MEILBY, H. Efficiency os parks in mitigating urban heat island effect; An exemple from Addis Ababa. **Landscape and Urban Planning**. nº 123, p. 87-95, 2014. Disponível em < <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169204613002399>>. Acesso em 29 out. 2021.

FOLETO, E. M. O contexto das unidades de conservação na região central do Rio Grande do Sul. In: FOLETO, E. M.; NASCIMENTO, D. B. (Org.) **Áreas Protegidas: discussões e desafios a partir da região central do Rio Grande do Sul**. Santa Maria: Editora UFSM, 2016.

FOLLMANN, F. M.A importância da efetivação das políticas de conservação ambiental nas áreas especiais naturais de Santa Maria. In: FOLETO, E. M.; NASCIMENTO, D. B. (Org.) **Áreas Protegidas: discussões e desafios a partir da região central do Rio Grande do Sul**. Santa Maria: Editora UFSM, 2016.

FONTANA, D.C.; BERLATO, M.A. Influência do El Niño Oscilação Sul sobre a precipitação pluvial no Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.5, n.1, p.127-132, 1997.

FORGIARINI, F. R.; VENDRUSCULO, D. S.; RIZZI, E. S. Análise de Chuvas Orográficas no centro do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Climatologia**. Ano 9 – Vol. 13 – jul-dez, 2013.

GALVANI, E.; LIMA, N. G. B. ; SERAFINI JUNIOR, S. ; ALVES, R R. . Avaliação da temperatura do ar no perfil topoclimático do Parque Estadual de Intervales - SP, entre as altitudes de 150 a 950 metros. In: **V Seminário Latino-Americano de Geografia Física e I Seminário Ibero Americano de Geografia Física**, 2008, Santa Maria, RS. Santa Maria, RS: Departamento de Geografia, UFSM, 2008. v. 1. p. 4243-4252.

GASTON, K. J.; JACKSON, S. E.; CANTU-SALAZAR, L.; CRUZ-PINON, G. The ecological performance of protected areas. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v. 39, 2008. p. 93-113.

HELDWEIN, A. B.; BURIOL, G. A.; STRECK, N. A. O clima de Santa Maria. **Ciência e Ambiente**. v. 38, jan-jul 2009. p. 43-58.

HOPPE, I. L.; BARATTO, J.; WOLMANN, C. A. Perfil topoclimático do Cerro Comprido no município de Faxinal do Soturno/RS – uma análise termo-higrométrica. **Revista Geonorte**, Ed. Especial 2, v. I, n. 5., p. 706-718, 2012.

HSU, S.; MAVROGIANNI, A.; HAMILTON, I. Comparing spatial interpolation techniques of local urban temperature for heat-related health risk estimation on a subtropical city. **Procedia Engineering**. nº 198, p. 354-365, 2017. Disponível em < <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705817329351>>. Acesso em 29 out. 2021.

IJIMA, Y.; SHINODA, M. Seasonal changes in the cold-air pool formation in a subalpine hollow, Central Japan. *International Journal of Climatology*, n.20, p. 1471 – 1483, 2000.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Regiões de influência das cidades**: 2018. 5ª ed. IBGE, Coordenação de Geografia – Rio de Janeiro: IBGE, 2020. 192 p. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101728.pdf>>. Acesso em 29 de out 2021.

INSTITUTO DE PLANEJAMENTO DE SANTA MARIA – IPLAN. **Mapas e Dados Estatísticos de Santa Maria**. 2020. Disponíveis em <<http://iplan.santamaria.rs.gov.br//estatistica/estatistica.php>>. Acesso em 29 de out. 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. **Manual de observações meteorológicas**. 3. ed. Brasília: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1999.

KATTEL, D. B.; YAO, T.; YANG, K.; TIAN, L.; YANG, G.; JOSWIAK, D.. Temperature lapse rate in complex mountain terrain on the southern slope of the central Himalayas. **Theoretical And Applied Climatology**, [s.l.], v. 113, n. 3-4, p.671-682, 12 dez. 2012. DOI 10.1007/s00704-012-0816-6.

KASSOMENOS, P. A.; KOLETIS, I. G. Seasonal variation of the temperature inversions over Athens, Greece. **International Journal of Climatology**, n. 25, p. 1651-1663, 2005.

LEITE, P. F.; KLEIN, R. M. Vegetação. In: **Geografia do Brasil: Região Sul**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro, 1990, v. 2, p.113-150

LIMA, N. G. B.; GALVANI, E. FALCÃO, R. M. Análise da temperatura do ar no perfil topoclimático do Pico da Bandeira, Parque Nacional Alto Caparaó, Brasil, entre as altitudes de 1106 m a 2892 m. IN: VI Seminário Latino-Americano de Geografia Física. **Anais...** Coimbra: Universidade de Coimbra, 2010.

LONGHI, S. J.; ARAUJO, M. M.; KELLING, M. B.; HOPPE, J. M.; MULLER, I.; BORSOI, G. A. Aspectos Fitossociológicos e Fragmento de Floresta Estacional Decidual, Santa Maria, RS. **Ciência Florestal**, v. 10, n. 2. 2000. p .59-74

LOPES, L.C.S.; JARDIM, C.H. variações de temperatura e umidade relativa do ar em área urbana e rural durante o segmento temporal de inverno de 2011 em Contagem e Betim (MG). **ACTA Geográfica**, Boa Vista, Ed. Esp. Climatologia Geográfica, 2012. pp.205-221.

MACEDO, J. H. S. A Guarda de Santa Maria: Um foco para o surgimento da cidade de Santa Maria. In: RIBEIRO, J. I.; WEBER, B. T. (Orgs.). **Nova história de Santa Maria**: outras contribuições recentes. Santa Maria: Câmara Municipal de Vereadores, 2012. p. 19-30.

MARCHIORI, J. N. C. A vegetação nativa em Santa Maria. **Balduínia**, n. 15. Vol I, 2009. p. 5-23.

MARCHIORI, J. N. C.; FILHO, V. A. N. A paisagem de Santa Maria na perspectiva de antigos viajantes. **Ciência e Ambiente**. v. 38, jan-jul 2009. p. 07-18.

MILANESI, M. A.; GALVANI, E. Efeito orográfico na Ilha de São Sebastião (Ilhabela – SP), **Revista Brasileira de Climatologia**, São Paulo, n 9, jul/dez, p. 68-79, 2011.

- MINDER, R.; DURRAN, D. R.; ROE, G. H.; ANDERS, A. M. The climatology of small-scale orographic precipitation over the Olympic Mountains: Patterns and processes. **Q. J. R. Meteorol. Soc.** n. 134, p.817-839, 2008.
- MONTEIRO, C. A. F. O clima da região Sul. In: CATALDO, D. M. (Org.). **Geografia do Brasil**, Grande Região Sul. Rio de Janeiro: IBGE, 1963. p. 117-169.
- MOURA, A. M. M. Trajetória da Política Ambiental Federal no Brasil. In: **Governança Ambiental no Brasil: instituições, atores e políticas públicas**. MOURA, A. M. M. (Org.). 2016. p. 13-43 Disponível em <[https://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com\\_content&view=article&id=28192](https://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=28192)>. Acesso em 29 out 2021.
- NASCIMENTO, F. H.; VALE, C. C. Efeito orográfico Em Um Transecto Entre Fundão E Santa Teresa No Estado Do Espírito Santo No Ano hidrológico 2015/2016. **Geografares**, 2019, 71-90.
- NERY, J. T. Dinâmica climática da região Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 1, n. 1, p. 61-75, 2005.
- NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. 2º ed. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1989. 426p.
- OSCAR JÚNIOR, A. C. S. Noções teóricas complementares à questão climática atual: discutindo hierarquia, escala e variabilidade. **Geografias Artigos Científicos**. Belo Horizonte, n.08, v. 2. p. 108-121, jun./dez., 2012.
- PARRON, L. M., GARCIA J. R. Serviços ambientais: conceitos, classificação, indicadores e aspectos correlatos. In: **Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do bioma Mata Atlântica**. Brasília, DF: EMBRAPA, 2015. p. 29-35.
- PECCATIELLO, A. F. O. Políticas públicas ambientais no Brasil: da administração dos recursos naturais (1930) à criação do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (2000). **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, n. 24, p. 71-82, jul/dez 2011. Editora UFPR. Disponível em <<https://revistas.ufpr.br/made/article/view/21542/17081>>. Acesso em 29 out. 2021.
- PEDRON, F. A. **Classificação do potencial de uso das terras no perímetro urbano de Santa Maria – RS**. 2005. 65 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2005.
- PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Porto Alegre: Guaíba Agropecuária, 2002, 478p.
- POPKE, J. Researching the Hybrid Geographies of Climate Change: reflections from the field. **Area**, v. 48 n. 1, p. 2-6, 2016. Disponível em: <<https://rgs-ibg.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/area.12220>>. Acesso em 29 out. 2021.
- RIBEIRO, A. G. As Escalas do Clima. **Boletim de Geografia Teorética**, .23, n.45-46, p. 288-294, 1993.

RIO GRANDE DO SUL. Decreto nº 34.256, de 02 de abril de 1992. Cria o Sistema Estadual de unidades de Conservação e dá outras providências. **Governo do Estado do Rio Grande do Sul**, Porto Alegre, RS, 2 abr. 1992. Disponível em <[http://www.sema.rs.gov.br/upload/Dec%20Est%2034256-92\\_Cria%20SEUC.doc](http://www.sema.rs.gov.br/upload/Dec%20Est%2034256-92_Cria%20SEUC.doc)>. Acesso em 29 out. 2021.

ROCHA, L. H. M. **Padrão Locacional da Estrutura Social: segregação residencial em Santa Maria – RS**. 2011. 505 p. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2011.

ROCHA, Guilherme Lul. Histórico da área do Parque Natural Municipal dos Morros [mensagem pessoal], mensagem recebida por <alinendeca@hotmail.com> em 24 nov. 2021.

RODELA, L. G.; TARIFA, J. R. O clima da Serra do Ibitipoca, sudeste de Minas Gerais. **GEOUSP Espaço e Tempo (Online)**, [S. l.], v. 6, n. 1, p. 101-113, 2002. DOI: 10.11606/issn.2179-0892.geosp.2002.123649. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/geosp/article/view/123649>. Acesso em: 28 ago. 2021.

ROMERO, H. A.; ESPINOZA, G.; OPAZO, D.; SEPÚLVEDA, D. **Topoclimatología cultural y cambios de clima em la zona andina del Norte de Chile**. In: SANCHEZ, R.; HIDALGO, R. ARENAS, F. Re-conociendo las geografías de América Latina y el Caribe. Santiago, Pontificia Universidad Católica de Chile, 2017. p. 93-131.

ROSSATO, M. S. Os climas do Rio Grande do Sul: tendências e tipologia. In: MENDONÇA, F. (Org.) **Os Climas do Sul em tempos de mudanças globais**. Jundá, Paco Editorial, 2014. 276 p.

SANTA MARIA. Lei orgânica do município, de 03 de abril de 1990. Câmara Municipal de Vereadores, **Prefeitura Municipal de Santa Maria**, Santa Maria, 03 de abr. 1990.

\_\_\_\_\_. Secretaria Municipal do Meio Ambiente. Santa Maria, Plano de Manejo do Parque dos Morros. Volumes I, II, III, IV, V e VI. 2013.

\_\_\_\_\_. Lei complementar municipal nº 117, de 26 de julho de 2018. Institui a Lei de Uso e Ocupação do Solo, parcelamento, perímetro urbano e sistema viário do município de Santa Maria. **Prefeitura Municipal de Santa Maria**, 26 jul. 2018. Disponível em <[https://iplan.santamaria.rs.gov.br/lista\\_luos.php](https://iplan.santamaria.rs.gov.br/lista_luos.php)>. Acesso em 29 out. 2021.

\_\_\_\_\_. Lei complementar municipal nº 118, de 26 de julho de 2018. Dispõe sobre a política de desenvolvimento urbano e sobre o plano diretor de desenvolvimento territorial do município de Santa Maria. **Prefeitura Municipal de Santa Maria**, 26 jul. 2018. Disponível em <[https://iplan.santamaria.rs.gov.br/lista\\_pddt.php](https://iplan.santamaria.rs.gov.br/lista_pddt.php)>. Acesso em 29 out. 2021.

\_\_\_\_\_. Decreto Executivo nº 074, de 06 de setembro de 2016. Cria o Parque Natural Municipal dos Morros – PNMM, dispõe sobre seus limites, zona de amortecimento e dá outras providências. **Prefeitura Municipal de Santa Maria**, Santa Maria, RS. Disponível em: <<https://www.santamaria.rs.gov.br/ambiental/729-parque-natural-municipal-dos-morros>>. Acesso em 29 out. 2021.

- SARMADI, F.; HUANG, Y.; THOMPSON, G.; SIEMS, S. T.; MANTON, M. J. Simulations of orographic precipitation in the Snowy Mountains of Southeastern Australia. **Atmospheric Research**, v. 219, p. 183-199, 2019.
- SARTORI, M. G. B. A dinâmica do clima no Rio Grande do Sul: indução empírica e conhecimentos científicos. **Terra Livre**, São Paulo, Ano 19, v I, n. 20, p. 27-49, jan./jul. 2003.
- \_\_\_\_\_. O Vento Norte. Editora Palotti, Santa Maria, 2016. 256 p.
- SARTORI, P. L. P. Geologia e geomorfologia de Santa Maria. **Ciência e Ambiente**. v. 38, jan-jul 2009. p. 19-42.
- SCHERER, C. M. S.; FACCINI, U. F.; LAVINA, E. L. Arcabouço estratigráfico do Mesozóico da Bacia do Paraná. In: HOLZ, M.; DE ROS, L. F. Geologia do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, CIGO/UFRGS, 2000. p. 335-354.
- SILVA, A. N.; WOLLMANN, C. A. Eventos de precipitação extrema na Bacia Hidrográfica do Alto Jacuí. In: Rubia Gomes Moratto; Fernando Shinji Kawakubo; Emerson Galvani; Jurandy Luciano Sanches Ross (Org.) **Análise integrada em bacias hidrográficas – estudos comparativos com distintos usos e ocupação do solo**. 1ed: São Paulo: Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, 2019, v. 1, p. 122-150.
- SILVA, A. N.; WOLLMANN, C. A.; HOPPE, I. L. Perfil topoclimático do Cerro do Botucaraí, em Candelária/RS, de abril e maio de 2016. **Ciência e Natura**, v. 39, Ed. Esp. PROCAD/CAPEL, 2017, p. 09-26.
- SILVEIRA, R. L. L.; FACCIN, C. R.; KRUG, D. F. A cidade média de Santa Maria e a gestão do território na Região Central-RS- Brasil. Geosul, Florianópolis, v. 36, n. 80, p. 170-169, set/dez, 2021. Disponível em <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/geosul/article/view/79528/47714>>. Acesso em 29 out. 2021.
- SINDOSI, O. A.; BARTZOKAS, A.; KOTRONI, V.; LAGOUVARDOS, K. Influence of orography on precipitation amount and distribution in NW Greece; a case study. **Atmospheric Research**, n 125, p. 105-122, 2015.
- SELUCHI, M. E.; CHAN CHOU, S.; GRAMANI, M. A case study of a winter heavy rainfall event over the Serra do Mar in Brazil. **Geofísica Internacional**, México, v. 50, n 1, mar 2011.
- SOARES BARROS, A.; FARIAS, L. M.; MARINHOS, J. L. A. Aplicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) na caracterização da cobertura vegetativa de Juazeiro do Norte – CE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 06 (2020). p. 2885-2895. Disponível em <<https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/246669/38048>>. Acesso em out. 2021.
- SUTILI, F. J., DURLO, M. A., BRESSAN, D. A. Hidrografia de Santa Maria. **Ciência e Ambiente**. v. 38, jan-jul 2009. p. 80-92.
- SECRETARIA DE ENERGIA, MINAS E COMUNICAÇÕES - SMEC. **Atlas Eólico do Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, 2002.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE E INFRAESTRUTURA – SEMA. Bacias Hidrográficas do Rio Grande do Sul. 2018. Disponível em <<https://www.sema.rs.gov.br/bacias-hidrograficas>>. Acesso em dez. 2020.

---

\_\_\_\_\_. Mata Atlântica Sul: Projeto de Conservação da Mata Atlântica no Rio Grande do Sul, PCMARS/2004-2009. On Mídia Comunicação Integrada. Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2009. Disponível em <<https://sema.rs.gov.br/upload/arquivos/201804/11120354-20165010-revista-projeto-conservacao-mata-atlantica-rs-2004-2009.pdf>>. Acesso em mar. 2021.

SERAFINI, S. J.; GALVANI, E; LIMA, N.G.B de; ALVES, R.R. Adequação da escala climatológica para planos de manejos: o Parque Estadual Intervales como estudo de caso. In: GALVANI, E; LIMA, N. G. B. de (ORG.). **Climatologia Aplicada: Resgate aos estudos de casos**. 1. Ed., vol.1.Curitiba: Editora CRV, 2012.

STEWART, I. D.; OKE, T. R. Local climate zones for urban temperature studies. **Bulletin of the American meteorological society**, n. 93, p. -1879-1900, 2012. Disponível em <<https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00019.1>>. Acesso em 29 de out 2021.

TEEB - The Economics of Ecosystems and Biodiversity for Local and Regional Policy. 2012. Disponível em <<http://teebweb.org/publications/teeb-for-local-and-regional-policymakers/>>. Acesso em mar. 2021.

TAPPER, N. **Some thoughts on future directions for urban climate and the IAUC** – Increased relevance and opportunities. Palestra on-line realizada na IAUC, 2021.

TIŢĂ, G. C.; MARCU, M. V.; IGNEA; G.; BORZ, S. A. Near the forest road: small changes in air temperature and relative humidity in mixed temperate mountainous forest. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v.74, 2019. p. 82- 92. Disponível em <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1361920918311660>>. Acesso em 29 out. 2021.

TUBELIS, A.; NASCIMENTO, F. J. L. Meteorologia descritiva: fundamentos e aplicações brasileiras. São Paulo: Nobel, 1984. p. 374.

THOMAS, B. L. Unidades de Conservação da natureza: conceituando e entendendo seus grupos e categorias de manejo. In: FOLETO, E. M.; NASCIMENTO, D. B. (Org.) **Áreas Protegidas: discussões e desafios a partir da região central do Rio Grande do Sul**. Santa Maria: Editora UFSM, 2016.

TUCCI, C. E. M.; CLARKE, R. T. Impacto das mudanças da cobertura vegetal no escoamento: Revisão. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.2, p.135-152, 1997

VALERIANO, M. M.; PICINI, A. G. Uso de Sistema de Informações Geográfica para a geração de mapas de médias mensais de temperatura do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 8, n. 2, p. 255-262, 2000.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia**. Recife, 2006. Disponível em: <[http://www.icat.ufal.br/laboratorio/clima/data/uploads/pdf/METEOROLOGIA\\_E\\_CLIMATOLOGIA\\_VD2\\_Mar\\_2006.pdf](http://www.icat.ufal.br/laboratorio/clima/data/uploads/pdf/METEOROLOGIA_E_CLIMATOLOGIA_VD2_Mar_2006.pdf)>. Acesso em: 23 mar 2020.

VIANA, D. R.; AQUINO, F. E.; BRAGA, R. B.; FERREIRA, N. J. Mesoscale convective complexes in Rio Grande do Sul between october and december of 2003 and associated precipitation. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, n. 3, p. 276-291, 2009. DOI: <10.1590/S0102-77862009000300003>.

VIANA, D. R.; AQUINO, F. E., MUÑOZ, V. A. Avaliação de desastres no Rio Grande do Sul associados a Complexos Convectivos de Mesoescala. **Sociedade e Natureza**, Uberlândia, 21 (2), p. 91-105, mar. 2009. Disponível em <<https://www.scielo.br/j/sn/a/WK9wKFvf4V6GY4bnwdGpgWn/?lang=pt&format=pdf>>. Acesso em 29 de out. 2021.

WANG, G.Y.; ZHAO, M.F.; KANG, M. Y.; XING, K. X.; WANG Y. H.; XUE, F.; CHENG, C. Diurnal and seasonal variation of the elevation gradient of air temperature in the northern flank of the western Qinling Mountain range, China. **Journal of Mountain Science** 14(1), 2017. DOI: 10.1007/s11629-016-4107-z

WERLANG, M. K.; WERLANG, E. P. Balanço hídrico e classificação climática de Thornthwaite do bairro Camobi, Santa Maria, RS. *Geografia Ensino e Pesquisa*, 25, e07. Disponível em: < <https://periodicos.ufsm.br/geografia/article/view/40437> >. Acesso em 15 de fev. 2022.

WOLLMANN, C. A. Variabilidade Climática e controles do clima em Unidades de Conservação: Estudo de Caso no Parque Estadual de Itapuã, Viamão/RS, sob domínios atmosféricos tropicais. **Ciência e Natura**, v. 36, p. 194-209, 2014.

WOLLMANN, C.A., SIMIONI, J.P.D., IENSSE, A.C. Atlas Climático do Taim: contribuição ao estudo do clima em unidades de conservação. **Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul**, Porto Alegre, n. 27, p. 30-50, mar. 2016.

WU, W.; ZHA, Y.; ZHANG, J.; GAO, J.; HE, J. A temperature inversion-induced air pollution process as analyzed from Mie LiDAR data. **Science of the Total Environment**, 479-480, p.102-108, 2014. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720320957>>. Acesso em 29 de out 2021.

XUE, F.; JIANG, Y.; WANG, M.; DONG, M.; DING, X.; YANG, X.; KANG, M. Temperature and thermal growing season variations along elevational gradients on a sub-alpine, temperate China. **Theoretical and Applied Climatology**, 2019. DOI:10.1007/2Fs00704-019-03067-5

ZANGALLI JUNIOR, P. C., SANT'ANNA NETO, J. L. Mudanças Climáticas Globais: uma questão de escala. **Revista Geonorte**, Edição Especial 2, v. 1, n. 5, p. 619-627, 2012.

ZIANI, P., FOLETO, E. M. Proposta de ampliação do corredor ecológico da quarta colônia na bacia hidrográfica do alto jacuí/RS. **Ateliê Geográfico**, Goiânia, GO. V.13, n. 1, abr/2019, p.

107-123. Disponível em <<https://www.revistas.ufg.br/atelie/article/view/53228/33048>>. Acesso em 29 de out 2021.

**ANEXO I**

