

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ  
MESTRADO EM MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS**

**CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA DAS ADJACÊNCIAS DO RIO TIETÊ -SP**

**MURILO DA COSTA RUV LEMES**

**Itajubá (MG)  
2019**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ**  
**MESTRADO EM MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS**

**MURILO DA COSTA RUV LEMES**

**CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA DAS ADJACÊNCIAS DO RIO TIETÊ -SP**

Dissertação submetida ao Programa de Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências em Meio ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Itajubá.

Área de Concentração: Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Orientador: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Michelle Simões Reboita

Coorientador: Prof. Dr. Roger Rodrigues Torres

**Itajubá (MG)**

**2019**

**Dedico este trabalho a meu avô,  
José Benedicto Lemes, falecido no  
dia 9 de julho de 2019 e minha  
avó, Esther Ruv Lemes, obrigado  
por todo suporte.**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que me deu força, sabedoria e me iluminou nas horas mais difíceis ao longo dessa pesquisa. Nossa Senhora da Agonia, que me abençoou e intercedeu à Deus por mim em todos os momentos. Assim como minha família, cujo incentivo e palavras de sabedoria vieram nas melhores horas, especialmente meus pais, Maurício e Vilma, meu irmão João Paulo, meu primo Raphael Migotto Ruv Lemes e meus avós José e Esther, que sempre contribuíram na jornada, a quem dedico esse trabalho.

A minha professora e orientadora Dr<sup>a</sup>. Michelle Simões Reboita, pelos ensinamentos dentro e fora da sala de aula, sempre se demonstrou solícita e paciente, desde o processo de seleção do mestrado até o último dia, é quem tenho a honra e o privilégio de dividir a autoria deste trabalho. Assim como meu coorientador, Dr. Roger Rodrigues Torres, por todos os ensinamentos, orientações e conselhos no desenvolvimento dessa pesquisa.

A CAPES, pela bolsa de estudos fornecida desde o início, pois sem ela, não seria capaz de me dedicar exclusivamente para o desenvolvimento, que mesmo em tempos sombrios tem buscado apoiar o desenvolvimento técnico e científico no país.

Todos meus colegas de mestrado, entre eles, Rafael Reis, Rafael Arcanjo, André, Matias, com quem convivi esses anos em Itajubá, além de amigos da UNIFEI: José Neto, Luis Guilherme e Alírio.

Ao corpo docente do programa de mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos, aos funcionários da Universidade Federal de Itajubá, que direta ou indiretamente me ajudaram nesse processo.

Por fim, a Universidade de Taubaté e o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, onde, respectivamente concluí minha graduação e iniciação científica, dando toda a base dos conhecimentos necessários para que isso fosse possível. De modo especial ao Prof. Dr. Gilvan Sampaio de Oliveira e Prof. Dr. Gilberto Fisch que me orientaram ao longo de toda a graduação, Dra. Renata Gonçalves Tedeschi e Msc. Carlos Renato Souza, pessoas essas que contribuíram, de perto, e de maneira muito especial, com toda minha formação científica, profissional e pessoal.

A todos, muito obrigado!

Para Michelle

Apenas inseri-la em um parágrafo dos agradecimentos gerais da dissertação é extremamente pobre e irrisório perto de toda contribuição, conselhos, críticas construtivas e elogios que tive ao longo de pouco mais de 2 anos. Desde o primeiro dia que fui recebido por ti e pelo Roger, me lembro que foi na semana do SRN em 2017, já fiquei extremamente animado em fazer parte do seu time.

Me considero um privilegiado por ter sido orientado e aluno da, tão famosa, Dra. Michelle Reboita, a quem tenho um orgulho enorme de falar: “sou/fui orientado da Michelle”. Nesses dois anos que passamos trabalhando eu agradeço, imensamente, por cada momento, seja desenvolvendo o trabalho duro de cada dia, artigos, atividades extra curriculares, momentos de descontração, enfim, tudo foi um grande aprendizado. Acredito que cresci com cada orientação, crítica, conselho e com cada figura refeita haha.

Esse foi um dos anos mais difíceis da minha vida, como você sabe não foi fácil ter perdido meu avô. Porém, novamente minha mãe favorita da ciência me deu total apoio e foi um ombro que tive para me reerguer e seguir em frente sem deixar-me abalar. E desde então submetemos, se não estou enganado, 7 trabalhos entre: artigos, resumos ou apresentações (eu acho que esqueci de algum nessa contagem). Além do mais, tenho certeza absoluta que ano que vêm iremos produzir ainda mais, fazendo um intercambio, dependendo do lugar que estarei.

Enfim, poderia me alongar bastante, porém, gostaria de deixar esse agradecimento, simples, mas sincero. Foi e vai ser uma honra poder trabalhar contigo. Eu só tenho que agradecer por todo conhecimento que tive, por cada palavra amiga em todas as horas, e por uma amizade além da ciência, conte comigo sempre Mi. Fica aqui meu extremo orgulho e admiração tanto pela Pesquisadora/Professora Michelle, quanto pela pessoa como ser humano.

O meu muito obrigado

De seu fã,

Murilo Ruv

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** - Transporte de umidade sazonal integrado até 500hPa na América do Sul dado por A: verão englobando os meses de dezembro, janeiro e fevereiro. B: outono com os meses de março, abril e maio. C: inverno com os meses de junho, julho e agosto e, por fim, D: primavera com os meses setembro, outubro e novembro. Fonte: RUV et al (2017). ..... 19
- Figura 2** - Imagem do Satélite GOES do canal infravermelho indicando a formação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) do dia 08 de janeiro de 2018. Fonte: <http://tempo.cptec.inpe.br/tempo/in>. ..... 20
- Figura 3** - (A) Plantação ao longo do rio Tietê na sub-bacia do Baixo Tietê (município de Itapura). Fonte: <http://revistagloborural.globo.com>. (B) Rio Tietê cortando a cidade de São Paulo. Fonte: <http://www.metropoles.com>. ..... 22
- Figura 4** - *Transector* da diferença da temperatura da superfície continental ( $T_s$ ) na primavera nas regiões da capital Rio de Janeiro e municípios da RMRJ. A diferença chega em até 25° C. Fonte: Sena et al. (2014). ..... 24
- Figura 5** - Mapa do Estado de São Paulo com referência para a bacia do rio Tietê. Fonte: Autor. .... 27
- Figura 6** - Exemplo do teste de homogeneidade aplicado numa série de precipitação construída para mostrar a eficiência do teste de Rodionoy. Fonte: Autor. .... 29
- Figura 7** - Postos pluviométricos do Departamento de Águas e Energia Elétrica de precipitação para o estado de São Paulo (331 estações utilizadas). Fonte: Autor. .... 30
- Figura 8** - Relevo do Estado de São Paulo e bacia do Rio Tietê. Informações extraídas do Modelo Digital de Elevação (MDE) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Fonte: Autor. .. 36
- Figura 9** - Mapa de uso e cobertura do solo para o Estado de São Paulo e bacia do Rio Tietê no ano de 2017 com dados do produto MCD12Q1 do sensor MODIS. Fonte: Autor ..... 38
- Figura 10** - Média da precipitação anual para o período de 1990 a 2017 no estado de São Paulo e bacia do rio Tietê. Fonte: Autor. .... 40
- Figura 11** - Média sazonal da precipitação para todo o Estado de São Paulo. Fonte: Autor. .... 41
- Figura 12** - Média sazonal de precipitação acumulada para toda a região da bacia do longo do rio Tietê, no período de 1990 a 2016. Fonte: Autor ..... 42

<b>Figura 13</b> - Média anual da temperatura da superfície obtida pelo sensor MODIS para o período de 2000 a 2018.....	44
<b>Figura 14</b> - Média sazonal da temperatura da superfície (Ts). Fonte: Autor.....	46
<b>Figura 15</b> - Uso e ocupação do solo ao longo da bacia do rio Tietê. Dados do satélite MODIS Terra. Fonte: Autor.....	47
<b>Figura 16</b> - Comparativo da evolução no uso e cobertura do solo de 2000 a 2017. Fonte: Autor.....	49
<b>Figura 17</b> - Evolução da área de vegetação ao longo do período de 2001 á 2016. Fonte: Autor. ....	50
<b>Figura 18</b> - Esquerda: média anual dos períodos escolhidos para análise da Ts.a) 2000-2004,b) 2005-09 C) 2010-2014,d) 2015-2017. Direita: cálculo da anomalia da Ts para os períodos subsequentes em comparação com o ano final da série de dados (2018). Fonte: Autor. ....	52
<b>Figura 19</b> - Gráfico de linha representando a variação da Ts e da área de floresta em cada sub bacia. Os dados são oriundos dos produtos de Ts e uso e cobertura do solo do sensor MODIS.....	55
<b>Figura 20</b> - Validação do modelo ETA - 5 km com os dados observados do sensor MODIS. A primeira coluna representa os dados do MODIS para cada estação do ano, a segunda é o modelo ETA e a última seria a anomalia do modelo, ou seja, modelo subtraído do observado. Fonte: Autor.....	57
<b>Figura 21</b> - Porcentagem do erro para o modelo ETA em todo o Estado de São Paulo. Fonte: Autor.....	58
<b>Figura 22</b> - Projeções da temperatura da superfície do continente (Ts) para o cenário 4.5 do IPCC nos períodos de 2006 – 2040, 2040 – 2070 e 2070 – 2100. Fonte: Autor.....	60
<b>Figura 23</b> - Diferença das projeções do modelo ETA com o histórico, segundo o cenário RCP 4.5 do IPCC para os três períodos de análise: 2006 - 2040 (futuro próximo), 2040 - 2070 (futuro) e 2070 - 2100 (futuro distante). Fonte: autor.....	61
<b>Figura 24</b> - Projeções da temperatura da superfície do continente (TS) para o cenário 8.5 do IPCC de 2006 até 2100 nos períodos de: 2006 – 2040, 2040 – 2070 e 2070 – 2100. Fonte: Autor.....	62
<b>Figura 25</b> - Diferença das projeções do modelo ETA com o histórico (1960 – 2005) segundo o cenário RCP 8.5 do IPCC para os três períodos de análise: 2006 - 2040 (futuro próximo), 2040 - 2070 (futuro) e 2070 - 2100 (futuro distante). Fonte: Autor.....	63
<b>Figura 26</b> - Quadro das estações utilizadas para as médias pluviométricas. ....	83

<b>Figura 27</b> - Interface do QGIS. ....	85
<b>Figura 28</b> - Barra de opções do QGIS .....	86
<b>Figura 29</b> - Interface do ArcGIS. ....	86
<b>Figura 30</b> - Paleta de configurações do ArcGIS.....	87
<b>Figura 31</b> - Pastas com os shapes.....	88
<b>Figura 32</b> - Inserindo os vetores na área de trabalho do qgis. ....	88
<b>Figura 33</b> - Acessando as propriedades da camada.....	89
<b>Figura 34</b> - Escolhendo valores de opacidade e contornos.....	90
<b>Figura 35</b> - Preenchimento Simples, opções de contorno. ....	90
<b>Figura 36</b> - Espessura da borda.....	91
<b>Figura 37</b> - Visualização geral. ....	91
<b>Figura 38</b> - Novo compositor de impressão, este item será usado para colocar os itens básicos que compõem um mapa (título, escala, grade.....)	92
<b>Figura 39</b> - Layout para edição do mapa.....	93
<b>Figura 40</b> - Área na qual o mapa irá se ajustar.....	93
<b>Figura 41</b> - Configurando o layout final do mapa.....	94
<b>Figura 42</b> - Mapa Finalizado.....	94
<b>Figura 43</b> - Script para formatação de intervalos para escala de cores.....	95
<b>Figura 44</b> - Plataforma MODIS.....	96
<b>Figura 45</b> - Barra de opções da plataforma MODIS.....	96



<b>Figura 46</b> - Produtos Land Surface Temperature (MODIS).....	97
<b>Figura 47</b> - Descrição do Produto MOD11A1. ....	98
<b>Figura 48</b> - Plataforma AppEEARS.....	98
<b>Figura 49</b> - Opção de baixar dados por área ou ponto de latitude e longitude. ....	99
<b>Figura 50</b> - Plataforma final para Download.....	99
<b>Figura 51</b> - Escolha do .shp para seleção da área dos dados. ....	100

## LISTA DE TABELAS

**Tabela 1** - Dados de algumas variáveis segundo os diferentes cenários do IPCC para o Estado de São Paulo. Fonte: Autor.....25

**Tabela 2** - Dados sobre mudanças do uso e cobertura do solo atrelados a TS por sub bacias.....54

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	15
2	OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA .....	17
2.1	Objetivo Geral .....	17
2.2	Objetivos específicos .....	17
2.3	Justificativa .....	17
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	18
3.1	Dinâmica do clima no Estado de São Paulo .....	18
3.2	Uso e Cobertura do Solo versusClima.....	20
3.3	Clima Futuro .....	24
4	METODOLOGIA.....	26
4.1	Caracterização da área de estudo .....	26
4.2	Dados .....	27
4.3	Tratamento dos Dados de Precipitação.....	28
4.3.1	Erros Grosseiros e Preenchimentos de Falhas.....	28
4.3.2	Teste de Homogeneidade .....	28
4.3.3	Cálculo das Médias .....	29
4.4	Dados de Satélite .....	30
4.4.1	<i>Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)</i> .....	30
4.5	Análises.....	32
4.6	Projeções Climáticas.....	32
4.6.1	Modelo ETA .....	32
4.6.2	Métricas de avaliação do modelo .....	33
4.6.3	Análises das Projeções .....	34

5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	35
5.1	Aspectos Físicos da região.....	35
5.1.1	Relevo e Vegetação.....	35
5.2	Médias Anual e Sazonal da Precipitação.....	38
5.3	Temperatura na Superfície.....	42
5.4	Mudança no Uso e Cobertura do Solo.....	46
5.5	Mudanças nos padrões de uso e cobertura do solo e de Ts .....	50
5.6	Balanco das alterações da Ts e uso e cobertura do solo .....	52
5.7	Validação do modelo ETA .....	55
5.8	Projeções do Modelo ETA.....	58
6	CONCLUSÃO.....	64
7	REFERÊNCIAS BIBLOGRÁFICAS.....	66
8	ANEXOS .....	72
8.1	Tabela das estações utilizadas .....	72
8.2	Tutoriais.....	84
8.2.1	Introdução ao Argis / Qgis e sua utilização para Meteorologia.....	84
8.2.2	Aquisição de dados MODIS .....	95

## RESUMO

O Estado de São Paulo, bem como toda bacia do rio Tietê, possuem grande importância econômica para o país, uma vez que suas atividades incluem os setores primário, secundário e terciário. O avanço da fronteira agrícola e o aumento da urbanização/desmatamento são fatores que podem afetar o clima da região. Diante desse contexto, o estudo tem como objetivo analisar o impacto da mudança do uso e cobertura do solo na temperatura da superfície (Ts) na bacia do rio Tietê, bem como analisar as projeções climáticas dessa variável até o final do século XXI. Para isso, foram utilizados dados de diferentes fontes (medidas *in situ* e de satélite), como, por exemplo, temperatura da superfície medida pelo sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) e projeções climáticas de 5 km do modelo regional ETA até o final do século XXI. Os resultados indicam que a Ts possui grande sensibilidade à mudança no uso e cobertura do solo. Por exemplo, na sub-bacia do Baixo Tietê, o avanço da área destinada para agricultura pode já ter causado um aumento de 1,3°C registrado na média anual da região. Quando a Ts é projetada para o final do século, a mudança deverá ser ainda maior, podendo chegar, na porção baixa do Tietê, até 6°C a mais do que o clima presente. As atividades agrícolas intensificaram nos últimos 10 anos no Estado, e concomitante colaboraram para um aumento no desmatamento. Caso nenhuma política pública seja adotada no sentido de adaptação e mitigação, os efeitos poderão ser negativos, tanto para a população, quanto para a própria agricultura.

**Palavras-chave:** Clima; MODIS; Bacia do Tietê.

## ABSTRACT

The state of São Paulo, as well as the entire Tietê river basin, has great economic importance for the country, since its activities include the primary, secondary and tertiary sectors. Advancing the agricultural frontier and increasing urbanization / deforestation are factors that may affect the climate of the region. Given this context, the study aims to analyze the impact of changing land use and cover on surface temperature (Ts) in the Tietê river basin, as well as analyzing the climate projections of this variable until the end of the 21st century. For this, data from different sources (in situ and satellite measurements) were used, such as surface temperature measured by the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) sensor and 5 km climate projections from the ETA regional model until the end of the year. XXI century. The results indicate that Tsp has great sensitivity to change in land use and cover. For example, in the Lower Tietê sub-basin, the advance in the area intended for agriculture may already have caused a 1.3 ° C increase in the region's annual average. When the Ts is projected towards the end of the century, the change is expected to be even greater and may reach, in the lower portion of Tietê, up to 6°C more than the present climate. Agricultural activities have intensified in the last 10 years in the state, and concomitantly contributed to an increase in deforestation. If no public policy is adopted in the sense of adaptation and mitigation, the effects can be negative for both the population and agriculture itself.

**Keywords:** Climate; MODIS; Tietê River Basin.

# 1 INTRODUÇÃO

O Estado de São Paulo caracteriza-se por possuir a maior densidade populacional do Brasil. E nele está localizada uma das mais importantes bacias hidrográficas do país, a do Rio Tietê. Com extensão de 1.136 km, o rio Tietê banha 62 municípios e possui sua jusante no interior do continente. Sua nascente encontra-se no município de Salesópolis, na Serra do Mar paulista, já a foz, em Itapura, desaguando no rio Paraná, na divisa com o Estado do Mato Grosso do Sul. A bacia é organizada em 6 diferentes subbacias (Alto Tietê, Sorocaba Médio Tietê, Piracicaba Jundiá, Tietê Jacaré, Tietê Batalha e Baixo Tietê) de acordo com suas características fisiográficas (PLANO DE BACIA DO RIO TIETÊ, 2018). Na última década, a alta densidade populacional colaborou para que as atividades humanas fossem responsáveis por diversas modificações na paisagem e no clima da região (BARROS; LOMBARDO, 2016). A organização do uso e cobertura do solo foi drasticamente modificada desde o início do século, através do intenso desmatamento, com a finalidade de abastecer a construção civil, áreas para atividades agrícolas, pastoreio, instalação de fábricas, entre outras.

O fator antrópico é fundamental para a paisagem e como ela se organiza, interferindo diretamente no clima (mudanças nas normais climatológicas) e, conseqüentemente, na qualidade de vida da população (SANTOS et al., 2010). A troca da cobertura natural (floresta e campos abertos) por asfalto e concreto é uma das causas dessa problemática. Isso causa séria deficiência na infiltração da água da chuva no solo (COLTRI et al., 2007), o que contribui para diversos pontos de alagamento em grandes cidades (em São Paulo, por exemplo), erosão e deslizamento de terra (SANTOS; GREIBELER; OLIVEIRA, 2010). Além disso, a redução de área vegetada exerce influência diretamente na temperatura. Áreas menos vegetadas possuem uma temperatura em média 2°C maior quando comparadas àquelas mais vegetadas, podendo a diferença chegar, em alguns casos, até 6,2°C (AMORIM, 2005; BARROS; LOMBARDO, 2016). Barboza, Machado e Franchini (2013) mostram que o balanço de energia dos centros urbanos de médio porte já possui diferença em função de mudanças nas variáveis dos fluxos de calor sensível e latente. Essa análise está interligada com alterações significativas nos valores do albedo (TANG et al., 2018; MENDONÇA, 2000).

A precipitação é outra variável que pode ser alterada em consequência do aumento da temperatura. Marengo et al. (2013), por meio de projeções climáticas, mostraram um

aumento nos eventos de chuva intensa na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) e uma redução dos eventos de chuva leve (a famosa garoa paulistana). Chuvas mais intensas podem resultar em enchentes e inundações, deslizamentos de terra e outros transtornos para a população.

A respeito da qualidade de vida da população, o cenário é extremamente preocupante, caso as projeções tornem-se realidade, pois algumas doenças transmitidas por vetores (dengue, malária, febre amarela), água (contaminações decorrentes de poluentes) e respiração (bronquite, tuberculose) poderão estar cada vez mais presentes, caso haja um aumento de 2° C na temperatura média juntamente com eventos de precipitação extrema (BARCELLOS et al., 2009). O 5º relatório do Painel Intergovernamental para Mudanças Climáticas (IPCC) da Organização das Nações Unidas (ONU) divulgado no ano de 2014 destaca uma séria de causas e efeitos das mudanças climáticas em todos os continentes. Nesse relatório é possível identificar drásticas consequências para a saúde humana com o aumento das emissões de gases do efeito estufa, bem como o desmatamento. Doenças como: dengue, malária, respiratórias, entre outras estão e irão se tornar cada vez mais frequentes em razão desse aumento da temperatura da superfície (Ts) (IPCC, 2014).

A obtenção de indicativos de como a Ts será no futuro é de suma importância para o planejamento urbano. Para isso, tem-se utilizado projeções de modelos climáticos regionais (AMBRIZZI et al., 2018). No início da modelagem climática regional, os modelos eram integrados com 50 km de resolução horizontal, porém hoje as projeções já contam com 5 km de resolução. Um exemplo disso são as projeções para o Estado de São Paulo realizadas com o modelo ETA (CALADO, et al., 2018). Esses autores projetaram, assim como Marengo et al. (2013), uma possível mudança na intensidade da precipitação, tanto no RCP4.5, quanto no RCP8.5, cenários de emissão de gases do efeito estufa do IPCC, que, respectivamente, representam uma forçante radiativa de 4,5 Wm<sup>-2</sup> e 8,5 Wm<sup>-2</sup>. Ainda, segundo Marengo et al. (2013), as chuvas leves, ou garoas, diminuirão consideravelmente, em contrapartida, as chuvas intensas, além dos eventos extremos, ocorrerão com maior frequência nos grandes centros urbanos. Grande parte desses eventos estão associados ao fenômeno de ilha de calor (IC), como é o caso da cidade do Rio de Janeiro (PERES et al., 2018). O fenômeno aumenta a evapotranspiração diurna resultando em fortes precipitações localizadas de chuva no final do dia (BARROS; LOMBARDO, 2016).



## **2 OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA**

### **2.1 Objetivo Geral**

Identificar o impacto da mudança do uso e cobertura do solo na temperatura da superfície ao longo da bacia hidrográfica do rio Tietê.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Identificar os aspectos fisiográficos (relevo e vegetação) do Estado de São Paulo e de uma área limitada às adjacências do rio Tietê;
- Avaliar as mudanças no uso e cobertura do solo (utilizando dados do sensor MODIS - *Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer* - do satélite Terra) e os respectivos impactos na temperatura da superfície, no período 2000 a 2017;
- Validar a simulação do ETA (período histórico: 2000 – 2005) de Ts no Estado de São Paulo com dados do MODIS
- Analisar as projeções de Ts do ETA em três períodos futuros: (2006 – 2040, 2041 a 2070 e 2071 a 2100).

### **2.3 Justificativa**

O presente estudo é essencial para servir como alerta para a sociedade de que as mudanças no uso e cobertura do solo modificam o clima local, e isso, pode causar consequências negativas. Por exemplo, numa situação de altas temperaturas, mais energia é consumida para manter os aparelhos de refrigeração ligados, o que pode gerar mais gases do efeito estufa e, logo, uma retroalimentação no efeito de aquecimento global, bem como causar doenças respiratórias na população.

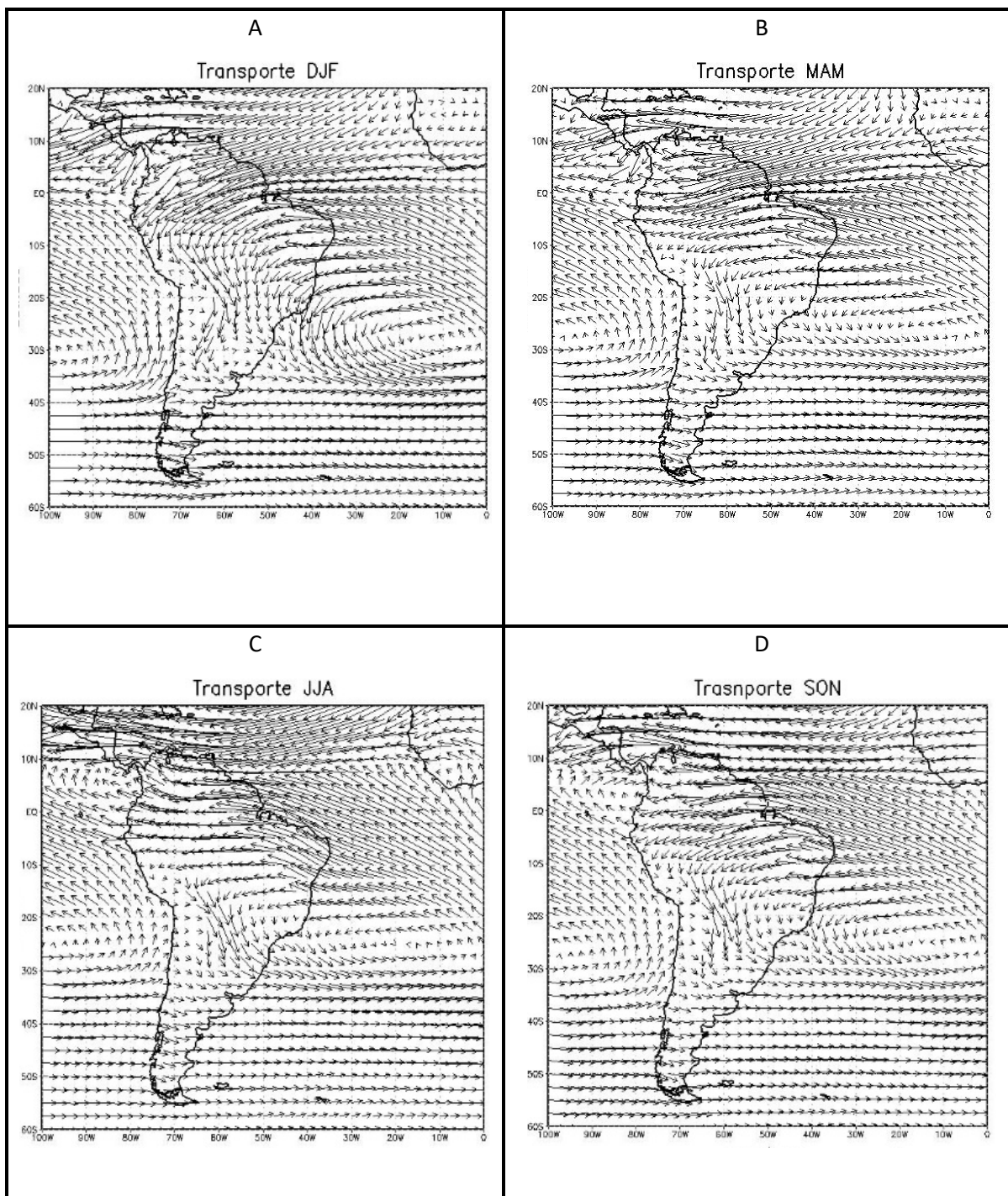
## 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 3.1 Dinâmica do clima no Estado de São Paulo

No verão, os raios solares incidem perpendicularmente ao trópico de Capricórnio, contribuindo para a ocorrência de temperaturas mais elevadas no sudeste do Brasil. Em termos de precipitação, a floresta amazônica é uma importante fonte de umidade para o Estado de São Paulo (RUV LEMES et al, 2017 ; NOBRE; SAMPAIO; SALAZAR, 2007). Através do Jato de Baixos Níveis (JBN) essa umidade chega no sudeste brasileiro e serve de fonte para o desenvolvimento dos sistemas atmosféricos que serão apresentados nesse capítulo.

A Figura 1 mostra o transporte de umidade (fluxo de umidade integrado na vertical até 500 hPa) na América do Sul (RUV LEMES et al., 2017). Durante o verão, o transporte de umidade para o sudeste é mais intenso e se acopla com o transporte proveniente do oceano Atlântico Sul pelo Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS). A soma dessas fontes com a convecção típica da estação contribui para tornar o verão mais chuvoso na região sudeste e o inverno mais seco, pois no inverno a convecção enfraquece e o ASAS se estende sobre a região Sudeste (SILVA; REBOITA, 2009).

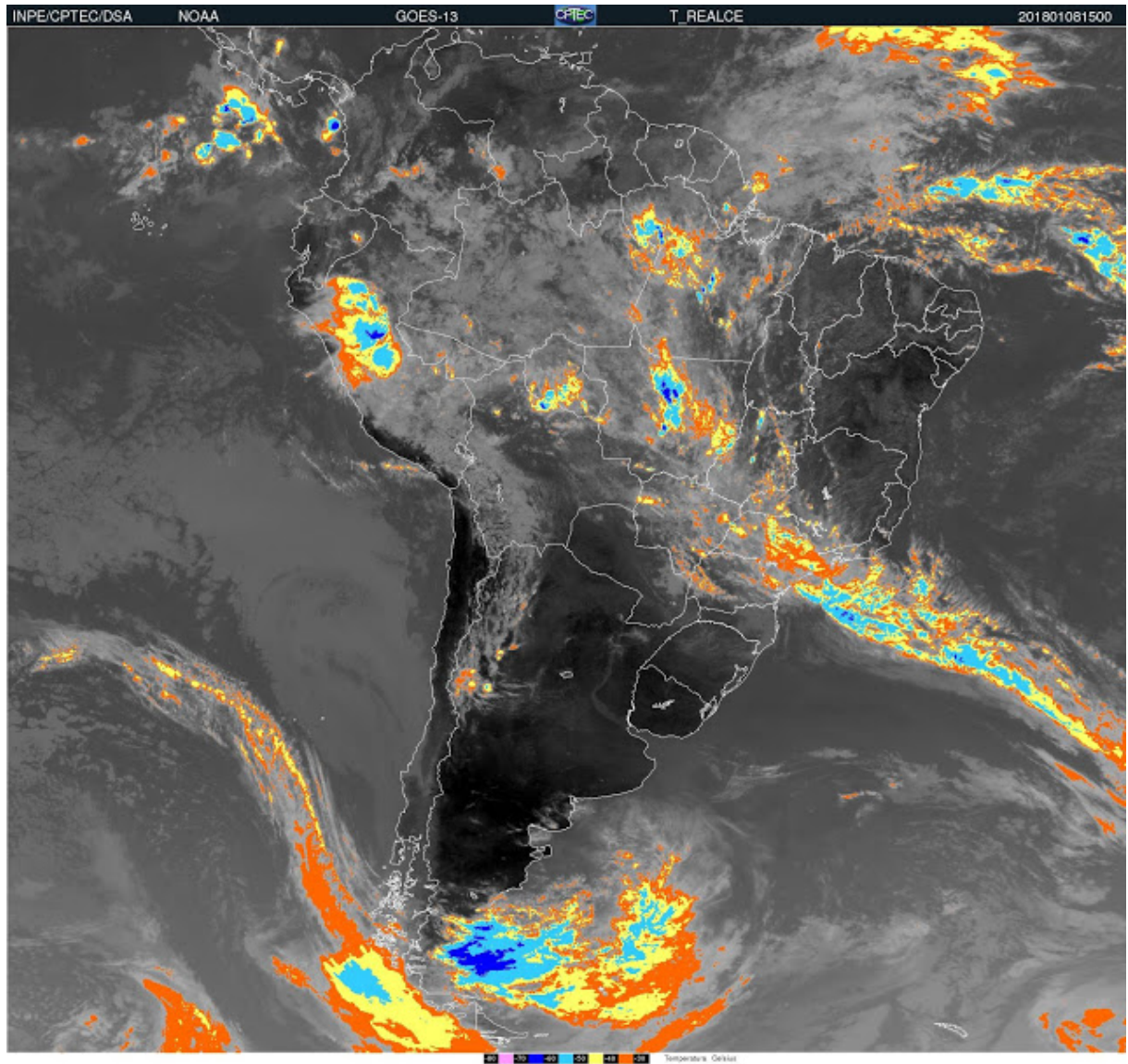
O ASAS possui influência tanto na estação chuvosa quanto na estação seca no sudeste do Brasil (XIAOMING; KERRY; EDWARD, 2017; REBOITA et al., 2019). Com relação à estação seca, no inverno, o centro do ASAS se encontra mais expandido para oeste atuando sobre o continente, inibindo a atividade convectiva (através da subsidência do ar) e dificultando a passagem de sistemas frontais (REBOITA et al., 2019). No inverno, os sistemas frontais são um dos principais responsáveis pela ocorrência de precipitação em São Paulo (RODRIGUES; WOLLINGS, 2017; ESCOBAR, 2007). Os sistemas atmosféricos supracitados, assim como outros descritos em Reboita et al. (2010) compõem o Sistema de Monção da América do Sul (SMAS) (VERA et al., 2006 ; GAN et al., 2016). Um clima de monção implica na existência de um período do ano chuvoso (verão) e outro seco (inverno). No caso do sistema de monção da América do Sul (SMAS), há uma inversão no sentido do vento, ou seja, durante o verão a direção do vento é de leste para oeste (oceano/continente) e no inverno de oeste para leste (continente/oceano) (REBOITA et al., 2010).



**Figura 1** - Transporte de umidade sazonal integrado até 500hPa na América do Sul dado por A: verão englobando os meses de dezembro, janeiro e fevereiro. B: outono com os meses de março, abril e maio. C: inverno com os meses de junho, julho e agosto e, por fim, D: primavera com os meses setembro, outubro e novembro. Fonte: RUV et al (2017).

O transporte de umidade para o sudeste do Brasil juntamente com a convecção típica do período de verão contribuem para a formação da Zona de Convergência do Atlântico Sul – ZCAS (Figura 2). Essa banda de nebulosidade possui orientação noroeste/sudeste sobre o Brasil e estende-se até o oceano Atlântico adjacente (CARVALHO; JONES; LIEBMANN,

2002). A ZCAS propicia elevados totais de precipitação ao longo do verão, sendo caracterizada pela permanência de pelo menos 3 dias na região (VILELA, 2017).



**Figura 2** - Imagem do Satélite GOES do canal infravermelho indicando a formação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) do dia 08 de janeiro de 2018. Fonte: <http://tempo.cptec.inpe.br/tempo/in>.

### 3.2 Uso e Cobertura do Solo versusClima

A bacia do rio Tietê cobre uma área extensa, abrangendo 1.136 km de extensão em 62 municípios (IBGE, 2017). Esse fato contribui para heterogeneidade do terreno, com relação às

características fisiográficas. Essas diferenças, seja de relevo ou de vegetação, auxiliaram na organização e formação do território no ponto de vista antrópico (socialmente e economicamente), além das especificidades climáticas. A Figura 3ressalta essa heterogeneidade na ocupação do solo paulista. A primeira, apresenta extensas áreas agrícolas as margens do rio (Figura 3a),a segunda um trecho da marginal do Tietê na capital, São Paulo,onde está localizada a região mais urbanizada e com maior concentração populacional do Brasil (IBGE, 2017), a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) (Figura 3b).

A diferença na cobertura do solo interfere no balanço de energia afetando o albedo, que é a capacidade de um corpo de refletir radiação solar (THACKERAY et al., 2018). Estudos realizados na província de Jing-Jin-Ji, na China, comprovaram uma mudança significativa nessa variável, em áreas que antes possuíam vegetação e hojea urbanização tomou conta do território (TANG et al., 2018). A taxa de contribuição do aumento da urbanização que era de 15% passou para 48,4%. Isso aponta um decréscimo no albedo de aproximadamente 5%, diminuindo a energia que seria devolvida para o espaço.

Ferreira e Dantas (2018) investigaram a configuração do uso e cobertura do solo e sua interferência no albedo na região do rio Pacoti no Estado do Ceará. A agricultura apresentou uma contribuição para maior absorção de radiação de onda curta (ROC).O aumento das terras agricultáveis e adiminuição da cobertura de vegetação local na bacia hidrográfica do Rio Pacoti, no Ceará, causoumudançasno albedode 20% para 10%, influenciando na Ts da região. Lopes e Grigio (2019) também apresentaram a modificação nessa variável no município de Tibau, Rio Grande do Norte, ao longo dos anos de 1990, 2006 e 2016. A porção representada por vegetação densa diminuiu praticamente quatro vezes no município, passando de 11.000 ha para 2.000 ha. Enquanto isso, a vegetação rasteira aumentou paralelamente a utilização da área para agricultura.



**Figura 3** - (A) Plantação ao longo do rio Tietê na sub-bacia do Baixo Tietê (município de Itapura). Fonte: <http://revistagloborural.globo.com>. (B) Rio Tietê cortando a cidade de São Paulo. Fonte: <http://www.metrolopes.com>

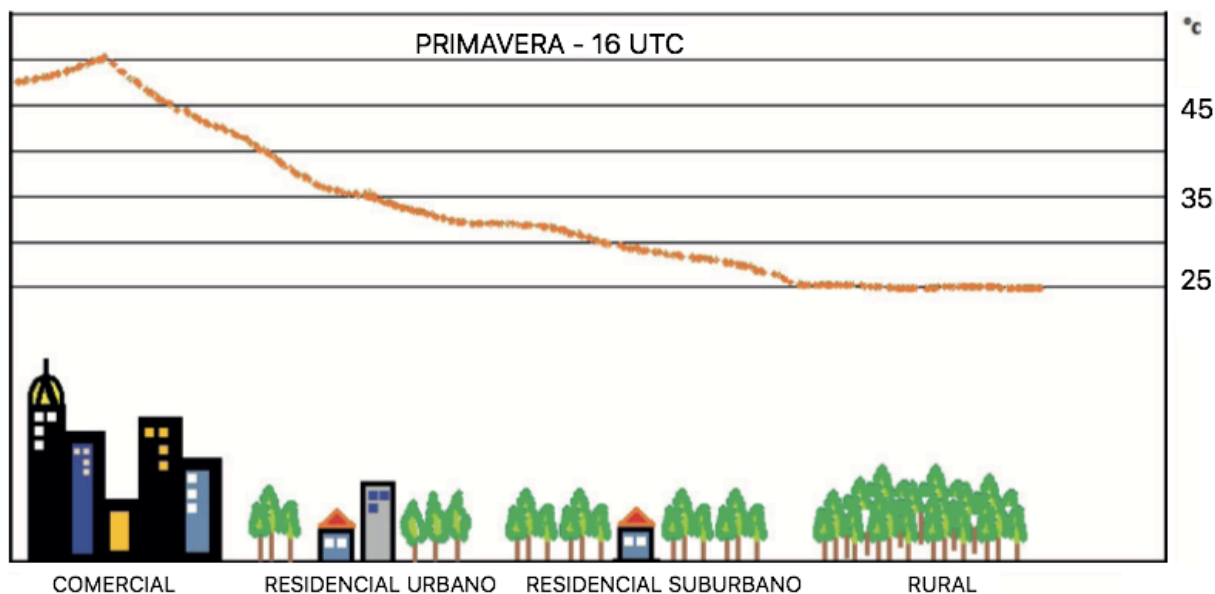
Outro grave problema que se tornou comum nas cidades é a ilha de calor (IC), já mencionado anteriormente. Fenômeno que não se restringe apenas as grandes cidades (PERES et al., 2018) mas também municípios de pequeno porte (TEIXEIRA; AMORIM, 2018). Teixeira e Amorim (2018) estudaram uma pequena cidade no interior de São Paulo chamada Rancharia, localizada no oeste paulista. O estudo detectou ilhas de calor de média e

alta intensidade no centro da cidade. Alguns pontos no município registraram temperaturas de 2,5° C maiores do que nas áreas mais vegetadas e afastadas do ambiente urbano.

Sena et al. (2014) estudaram o comportamento desse fenômeno sazonalmente e sua representatividade na média anual na Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ). Utilizando dados do sensor MODIS (acoplado nos satélites Terra e Aqua) observaram que, ao longo da primavera a temperatura da superfície, nas zonas com maior concentração populacional do Rio de Janeiro, registrou 50° C(Figura 4). Porém, em cidades da RMRJ como: Seropédica, Itaguaí, Tanguá e Maricá, áreas mais afastadas dos grandes centros urbanos e parte rural, a temperatura decaiu exponencialmente, registrando em alguns pontos até25° C.

A substituição de áreas vegetadas por áreas construídas, ou destinadas à agricultura, interferem diretamente nas variáveis de temperatura do ar, temperatura da superfície, albedo, entre outras (PERES et al., 2018; BARROS; LOMBARDO, 2018). Não sendo restrito apenas a grandes metrópoles e centros urbanos, mas também em pequenas cidades que tiveram seu uso do solo modificado nos últimos anos e apresentaram essas variações nas suas variáveis atmosféricas (TEIXEIRA; AMORIM, 2018; AMORIM et al., 2015).

Além disso, mudanças na circulação local da atmosfera foram identificadas nos últimos anos (MARENGO; ROGERS, 2000; SILVA; GUETTER, 2015). Uma menor quantidade de sistemas frontais avançado pelo sul do Brasil, ao longo do inverno, nos últimos anos. Isso se deve a variação na posição média do anticiclone do Atlântico Sul, afetando também a circulação zonal com variações interdecadais (IPCC, 2014).



**Figura 4** - *Transector* da diferença da temperatura da superfície continental (Ts) na primavera nas regiões da capital Rio de Janeiro e municípios da RMRJ. A diferença chega em até 25° C. Fonte: Sena et al. (2014).

### 3.3 Clima Futuro

Marengo et al. (2013) avaliaram projeções climáticas de precipitação na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) em três diferentes períodos: 2011 - 2040, 2041 - 2070 e 2071 - 2100. Utilizando os modelos ETA-CPTEC e HadCM3, identificaram uma diminuição nos eventos de chuva leve (R5mm) e aumento dos eventos de chuva intensa (R95p), assim como o número de dias secos consecutivos (CDD). Ou seja, segundo aquele estudo a tendência até o final do século XXI é de uma quantidade menor de dias com chuva, modificando a forma de como é precipitada, tornando-a mais intensa. Isso implica em adaptações da sociedade perante essas mudanças. A agricultura irá necessitar de uma readequação em função dos longos períodos de seca intensa contrapondo-se com dias de chuva intensa, o que é prejudicial para plantio e colheita (SANTOS et al., 2018). Além desse cenário catastrófico para a agricultura, o ambiente urbano também sofrerá com esse tipo de mudança. Aliás, a cidade de São Paulo já apresenta problemas de enchentes, inundações e deslizamentos de terras, e terá cada vez mais problemas desse gênero (LYRA, et al., 2018).

Há alguns estudos para o sudeste do Brasil que apresentam as projeções do clima até o final do século (REBOITA et al., 2014; MARENGO et al., 2013; MALAVELLE et al., 2019). Para isso, as projeções são baseadas em cenários de crescimento (econômico, populacional, ambiental) que interfere diretamente na emissão dos gases de efeito estufa (GEE). No 5º Relatório de Avaliação o IPCC trabalhou com quatro diferentes cenários: os RCPs (*Representative Concentrations Pathways*) 2.6, 4.5, 6.0 e 8.5. O RCP 2.6 é o mais otimista de todos, nele, a radiação atingiria seu pico no meio do século e depois recuaria. Os cenários RCP 4.5 e 6.0 são considerados cenários de maior estabilidade e, em ambos, o pico de radiação alcançaria sua estabilidade, porém no 4.5 seria antes de 2100, já no 6.0, a estabilidade só aconteceria em 2100. O último e mais pessimista de todos os cenários é o RCP 8.5 que indica que a radiação irá quadruplicar sua intensidade, em razão do aumento de gases do efeito estufa na atmosfera.

Reboita et al (2014) mostraram, utilizando o modelo RegCM3 alinhado ao HadCM3 e ECHAM5, projeções de temperatura e precipitação para América do Sul (AS) para o final do



século XXI (2100). A temperatura aumentará em São Paulo em mais de 2°C na média anual, já a precipitação sofrerá uma redução na região norte da AS e aumento no sudeste do continente. Chou et al (2018) realizaram projeções climáticas com o modelo ETA-20km e ETA-5km, para a região de Santos até o final do século. Os autores realizaram as análises para os cenários RCP 4.5 e RCP 8.5. Em ambos os cenários, as médias anuais de precipitação diminuirão, assim como Marengo et al (2013) já havia mostrado para a RMSP. Por outro lado, da mesma maneira que outros estudos já mostraram, a precipitação demonstrou uma tendência de aumento na intensidade em Santos. Seguindo essas informações, a Tabela 1 apresenta alguns resultados das projeções para cada cenário do IPCC no Estado de São Paulo.

Projeções para outras regiões do planeta, como de Deilami et al. (2016), também mostram que o avanço da urbanização está afetando a intensidade da precipitação. Essas mesmas projeções climáticas indicam que esse cenário intensificará à medida que o tempo passe. Nessa mesma temática, Dixon e Mote (2003) estudaram como a IC têm influenciado e irá influenciar a precipitação (DIAS et al., 2013) em Atlanta, na Georgia (EUA). Nessa análise 37 eventos de precipitação causados pelo fenômeno da IC foram analisados. É notória a necessidade de atitudes pelos tomadores de decisão e partes interessadas, pois até o cenário mais otimista do IPCC, já contribuiu para mudanças significativas do clima regional e global, afetando tanto a sociedade quanto a economia dos países.

<b>Variáveis</b>	<b>2.6</b>	<b>4.5</b>	<b>6.0</b>	<b>8.5</b>	<b>Referências</b>
Precipitação	Pouca mudança	+ chuvas intensas / períodos de seca	+ chuvas intensas / períodos de seca	+ chuvas intensas / períodos de seca	Marengo; Obregon; Ramirez (2014)
Temperatura	0,2 a 0.8° C	0,8 a 2° C	2 a 4° C	4 a 6° C	Marengo et al., 2007

**Tabela 1** - Dados de algumas variáveis segundo os diferentes cenários do IPCC para o Estado de São Paulo. Fonte: Autor.

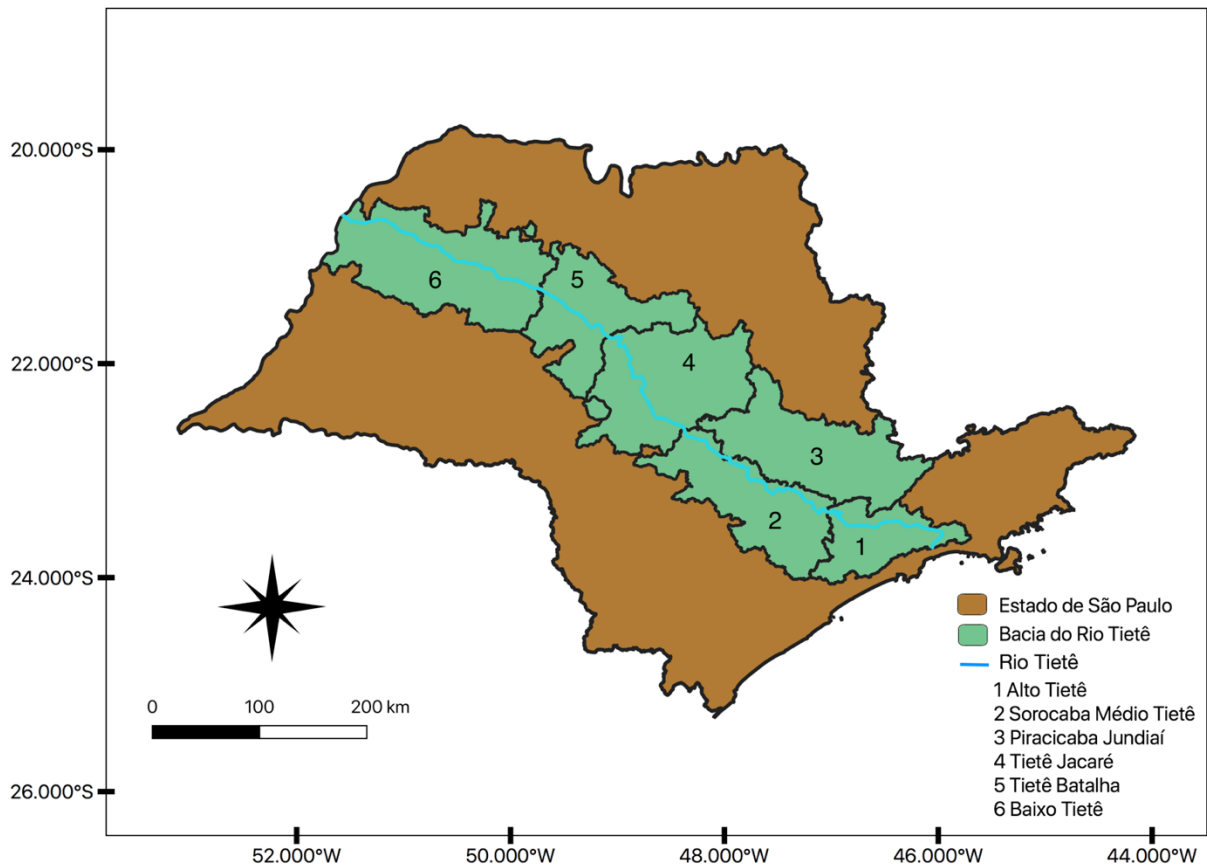
## 4 METODOLOGIA

### 4.1 Caracterização da área de estudo

O Estado de São Paulo (Figura 5) é o mais populoso e ativo economicamente do Brasil (IBGE, 2017). Cerca de 33% do Produto Interno Bruto (PIB) nacional está atrelado à produção paulista (IBGE, 2017). Localiza-se entre as latitudes 20°S e 25°S e entre os meridianos 55° O e 45°O, e possui uma população de 41.262.199 pessoas (IBGE, 2010), estimando-se 45.094.866 até o final de 2020 (IBGE, 2017). O Estado apresenta heterogeneidade em suas características físicas (relevo, hidrografia e vegetação). Considerando a parte hidrográfica, um de seus principais rios, tanto do ponto de vista econômico quanto social, é o Tietê, que nasce no município de Salesópolis (23° 31' 56" S e 45° 50' 17" E) e desagua no município de Itapura (20° 38' 46" S e 51° 30' 32"E). Sua bacia está inserida na região hidrográfica da bacia do rio Paraná, de acordo com a divisão hidrográfica nacional, abrangendo uma área de 73.400 km<sup>2</sup>(PLANO DE BACIA DO RIO TIETÊ, 2018). O rio percorre 62 municípios do Estado, incluindo a capital paulista. A região ao longo do rio é dividida em 6 subbacias: Alto Tietê, Sorocaba Médio Tietê, Piracicaba Jundiaí, Tietê Jacaré, Tietê Batalha e, por fim, Baixo Tietê(item 6 na Figura 5).

Cada subbacia apresenta características diferenciadas de relevo, vegetação e clima. Primeiramente, a nascente está localizada na subbacia Alto Tietê (Figura 5). Essa região apresenta terras mais altas (Serra do Mar), vegetação de origem de Mata Atlântica, além de caracterizar a região mais populosa de toda a bacia (englobando a RMSP). Além disso, o Alto Tietê possui os mais importantes reservatórios que abastecem a RMSP, entre eles, Billings, Cantareira e Pinheiros. A sub bacia denominada Sorocaba Médio Tietê estende-se da cidade de Bom Jesus de Pirapora a Laras, com 260 km de extensão e pouco mais de 280 m de desnível. Essa região é a segunda mais populosa ao longo do rio (IBGE, 2017), em função do avanço na urbanização na última década (COMITRE, 2017). A região Piracicaba Jundiaí (Figura 5) é uma das mais importantes dessa bacia, pois contém o maior afluente do rio Tietê, o rio Piracicaba. Em seu território, o maior afluente do Tietê em volume é responsável por abastecer a Região Metropolitana de Campinas e parte da Grande São Paulo. As regiões Tietê Jacaré e Tietê Batalha (Figura 5) são as menos populosas, mas com maior concentração de

atividades agrícolas (CRESPO et al, 2017). Assim como a região do Baixo Tietê (Figura 5), o maior trecho do rio é navegável, além de possuir como principal atividade a agropecuária, com os famosos latifúndios ao entorno do rio, aproveitando a água para as plantações, fonte de hidratação para o gado e para a pesca (MARUYAMA et al., 2010).



**Figura 5** - Mapa do Estado de São Paulo com referência para a bacia do rio Tietê. Fonte: Autor.

## 4.2 Dados

Para a realização do estudo foram utilizados dados de diversas fontes. Os dados de precipitação diária de postos pluviométricos distribuídos pelo Estado de São Paulo foram obtidos da Agência Nacional de Águas (ANA) e do Departamento de Água e Esgoto do Estado de São Paulo (DAEE) para o período de 1990 a 2017. O dado de relevo foi adquirido do banco de dados do DataGeo (<http://datageo.ambiente.sp.gov.br/>) da Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo. Esse banco de dados possui resolução espacial de 5 km e atualização até o ano de 2017. Os dados de uso e ocupação do solo e temperatura da

superfície foram extraídos do sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*(MODIS), com período de 2000 – 2017 para uso e cobertura do solo e de 2000 – 2018 para Ts. O estudo das projeções climáticas contou com a utilização das projeções do modelo ETA – 5 km aninhado ao modelo HadGEM2 – ES, considerando os cenários RCP 4.5 e RCP 8.5 do IPCC. Nas próximas seções todos eles serão tratados em maior detalhe.

## **4.3 Tratamento dos Dados de Precipitação**

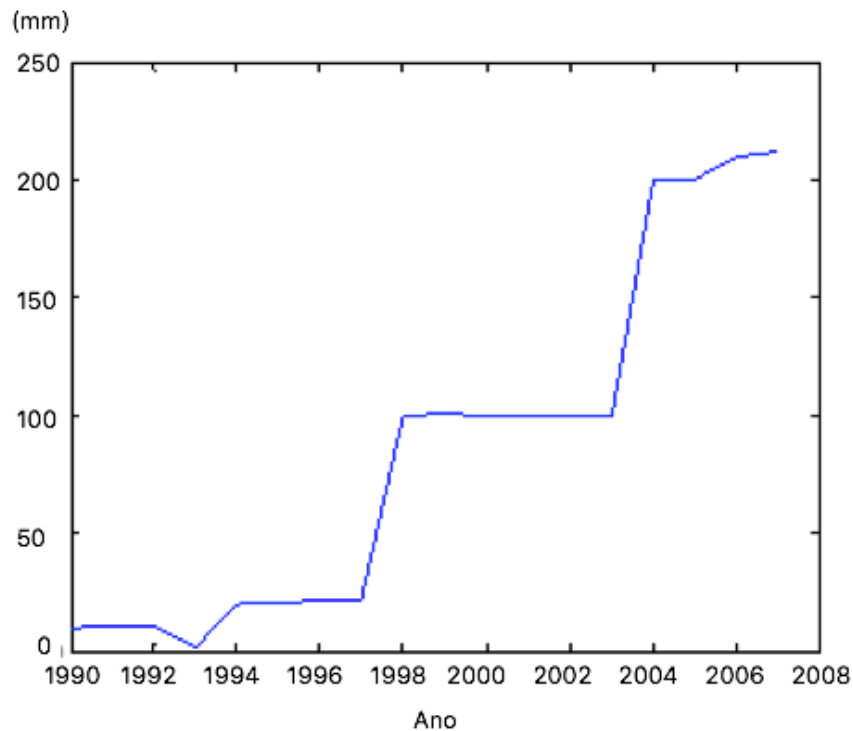
### **4.3.1 Erros Grosseiros e Preenchimentos de Falhas**

O primeiro passo que deve ser levado em consideração no controle de qualidade é a identificação de dados considerados grosseiros, ou seja, valores que uma dada variável não pode assumir. Volumes de precipitação acima de 400 mm em 24 horas na região em estudo são exemplos de dados errôneos. Esses erros podem ser decorrentes da má calibração de instrumentos ou defeito.

Na presença de erros grosseiros, os dados foram substituídos por Postos Pluviométricos(PP) vizinhos, seguindo a metodologia descrita por Silva e Reboita (2013). Nessa etapa, também foram utilizados PP disponíveis pela ANA para a substituição de PP que apresentavam erros grosseiros ou para a função de preenchimento de falhas.

### **4.3.2 Teste de Homogeneidade**

Após a verificação de erros grosseiros e de preenchimento de falhas foi utilizado o teste de Rodionov (REBOITA et al., 2018) para analisar a homogeneidade das séries temporais, isto é, para identificar possíveis descontinuidades nas séries temporais. A Figura 6, elaborada com uma série fictícia de dados, exemplifica o teste.



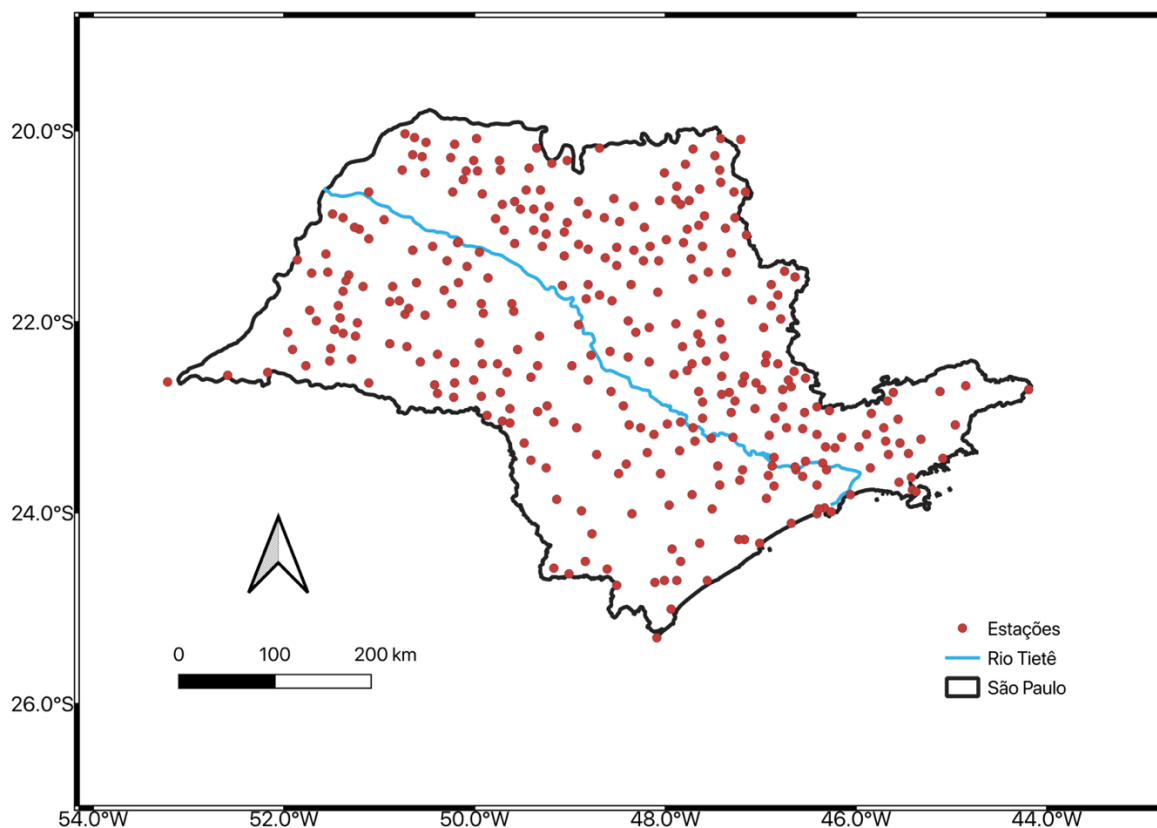
**Figura 6** - Exemplo do teste de homogeneidade aplicado numa série de precipitação construída para mostrar a eficiência do teste de Rodionoy. Fonte: Autor.

Há dois grandes saltos na série temporal da Figura 7, um no ano de 1997 e outro no ano 2005. Esse salto vai de 22 mm para 100 mm, significando que a série não é homogênea. PP sem homogeneidade ou com pelo menos 30% de seus dados diários faltantes foram excluídos. No teste de homogeneidade foram excluídos 6 PP.

Após a aplicação do controle de qualidade, dos 400 PP obtidos, 69 foram descartados devido ao grande número de erros grosseiros ou por falta de homogeneidade. Assim, o estudo foi realizado com 331 PP.

### 4.3.3 Cálculo das Médias

Após o controle de qualidade dos dados, foram calculados totais mensais e anuais de precipitação para os 331 PP distribuídos pelo Estado (Figura 7). Na sequência, calcularam-se as médias mensais e anuais. Para a elaboração dos mapas sazonais e anual de precipitação, os dados foram interpolados espacialmente com a interpolação de ‘Krigging’. Quanto mais próximo o ponto de grade estiver do PP, o método de Krigging fornece maior peso para a geração da informação que será atribuída no ponto (ZIERMANN et al., 2012).



**Figura 7** - Postos pluviométricos do Departamento de Águas e Energia Elétrica de precipitação para o estado de São Paulo (331 estações utilizadas). Fonte: Autor.

## 4.4 Dados de Satélite

### 4.4.1 Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)

Em busca da melhor resolução horizontal dos dados para o estudo do avanço da urbanização e atividades agrícolas foi utilizado o produto MCD12Q1 (*Land Cover Type*) e para temperatura, o produto MOD11A1 (*Surface Temperature*), do sensor MODIS dos satélites Terra (pertencente a NASA).

O MODIS fornece o produto de temperatura da superfície que é medida na primeira camada rente ao solo, a mais superficial de todas. Diferenciando-se da temperatura do ar, por sua vez, medida a 2 m de altura.

O sensor MODIS encontra-se acoplado em dois satélites da NASA, Terra e Aqua. O satélite Terra cruza a linha do Equador às 10:30 da manhã, já o satélite Aqua, às 13:30 da tarde. No Brasil o sensor MODIS possui 2 horários de passagem matutinos e 2 noturnos (9h, 11h, 22h, 23h pelo horário de Brasília). O sensor acoplado tem por objetivo a obtenção de informações, tais como: temperatura da superfície, cor do oceano, vegetação global e mudanças nas mesmas, características das nuvens, concentração de aerossóis, uso e cobertura do solo etc.

O produto MCD12Q1 possui resolução horizontal de 500 m com grânulos diários, mensais ou anuais. Possui extensão territorial global, sistemas de coordenadas geográficas sinusoidal (representação clássica do globo terrestre), com formato disponível em netcdf, tiff ou hdf. O produto possui 13 tipos diferentes de classificações de uso e cobertura do solo, o que torna mais fácil para o usuário escolher qual a sua prioridade quando for plotar os dados. Caso o usuário queira somente dados naturais, ou modificações antrópicas, é possível ter essas informações separadas dentro do grânulo. Esse produto está disponível a partir do dia 21 de fevereiro de 2000. Ambos os produtos estão disponíveis (MCD12Q1 e MOD11A1) na sua 6ª versão e podem ser obtidos no website da *National Aeronautica and Space Administration-NASA* (<https://modis.gsfc.nasa.gov/>).

O produto MOD11A1 (*Surface Temperature*), com resolução de 1.000 m, está acoplado ao satélite Terra. O satélite Terra cruza o fuso UTC-3 às 9h, 11h, 22h e 23h (horário de Brasília), possuindo as mesmas características e informações espaciais do MCD12Q1 (*User Land Cover*), porém os dados estão disponíveis desde 2000 até o presente. Os dados estão disponíveis para *download* no site <https://lpdaacsvc.cr.usgs.gov/appears/task/area>.

O produto diário MOD11A1 *Land Surface Temperature* (LST) é construído com os valores diários de pixel LST em cada grânulo recuperado pelo algoritmo generalizado de janela dividida sob céu claro condições definidas no MOD35 (com confiança  $\geq 95\%$  sobre a terra  $\leq 2000\text{m}$  ou  $\geq 66\%$  em terra  $> 2000\text{m}$ , e com confiança  $\geq 66\%$  em lagos) através mapear todos os valores válidos de LST em céu claro em grades na projeção sinusoidal e a média dos valores LST de pixels sobrepostos em cada grade com áreas sobrepostas como peso.

À medida que a latitude aumenta além de 30 graus, pode haver várias observações MODIS em condições de céu limpo. No produto MOD11A1, os valores LST em todas as grades são de observações MODIS de céu claro, selecionando LSTs de céu claro em

visualizações menores ângulos de zênite ou LSTs em ângulos de zênite maiores, mas seus valores sendo maiores em pelo menos 2K.

## **4.5 Análises**

Inicialmente serão apresentados mapas do Estado de São Paulo e bacia do rio Tietê de: relevo e uso e ocupação do solo no ano de 2017 (último da série disponibilizada), precipitação e temperatura da superfície (sazonais e anual).

Com o objetivo de enfatizar os impactos na temperatura da superfície causados pela mudança no uso e cobertura do solo, serão mostrados mapas comparativos dessas duas variáveis. Essas variáveis serão mostradas em 3 intervalos temporais (2000 – 2004, 2005 – 2009, 2010 – 2017) obtendo um intervalo de pelo menos 5 anos com o objetivo de visualizarmos maiores mudanças.

## **4.6 Projeções Climáticas**

### **4.6.1 Modelo ETA**

Nesse estudo foram utilizadas projeções climáticas do modelo ETA com 5 km de resolução horizontal descritas em Lyra et al. (2018). As projeções foram cedidas pelo CPTEC/INPE (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos / Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). O modelo ETA-5 km foi alinhado às projeções do modelo global HadGEM2-ES (COLLINGS et al., 2011; MARTIN et al., 2011) para os cenários RCP8.5 e RCP4.5. O período das simulações compreende 1960 a 2100, sendo considerado como histórico o período de 1960 a 2005 e o futuro de 2006 a 2100. O modelo possui 38 camadas verticais com o topo em 25 hPa, considera 13 tipos de uso e cobertura do solo, além da vegetação da área urbana, seguindo Mourão (2010) e Vieira et al. (2010), 4 camadas de solo e 9 tipos de solo (ZOBLER; 1986). A parametrização física seguiu o modelo de Betts-Miller-Janjic e a de *Cumulus*, o modelo de Ferrier. Para esse estudo foram utilizados dados mensais.



Para os parâmetros físicos, o modelo conta com o mapa de uso e ocupação do solo do RADAM (Projeto Radar Amazônia) e IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), com atualização do INPE para as regiões metropolitanas do Rio de Janeiro e São Paulo. Essa atualização contou com as seguintes classificações: florestas tropicais, árvores/arbustos, cultivo e áreas urbanas, contemplando as necessidades do presente estudo. A escolha do modelo ETA – 5km deve-se a melhor resolução horizontal disponível para as projeções de temperatura da superfície no Brasil.

#### 4.6.2 Métricas de avaliação do modelo

Uma etapa importante é a validação dos dados do modelo ETA – 5 km com o conjunto de dados observados do sensor MODIS. O primeiro passo é a padronização de ambas as grades (modelo + observado), ou seja, os dados do sensor (1 km) foram interpolados para a grade do ETA (5 km).

Para quantificar diferença do modelo em relação ao observado foi calculado o VIES (Eq. 1) e a porcentagem de erro do modelo - PE (Eq. 2) conforme equações abaixo:

$$VIES = ETA - MODIS \quad (1)$$

$$PE = \frac{|ETA - MODIS|}{MODIS} \times 100 \quad (2)$$

Esses cálculos, respectivamente, indicam a diferença, para mais ou para menos, que o modelo possui do observado e a porcentagem da quantidade de erro que o modelo apresenta sazonalmente e anualmente em comparação ao MODIS.

### **4.6.3 Análises das Projeções**

Dados de temperatura na superfície para o período presente e futuro do modelo ETA foram obtidos. As temperaturas no presente serão comparadas com as do MODIS (2000-2018). Também serão apresentadas as diferenças projetadas da temperatura no período de 2006 – 2040, 2040 – 2070 e 2070 - 2100.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Aspectos Físicos da região

#### 5.1.1 Relevo e Vegetação

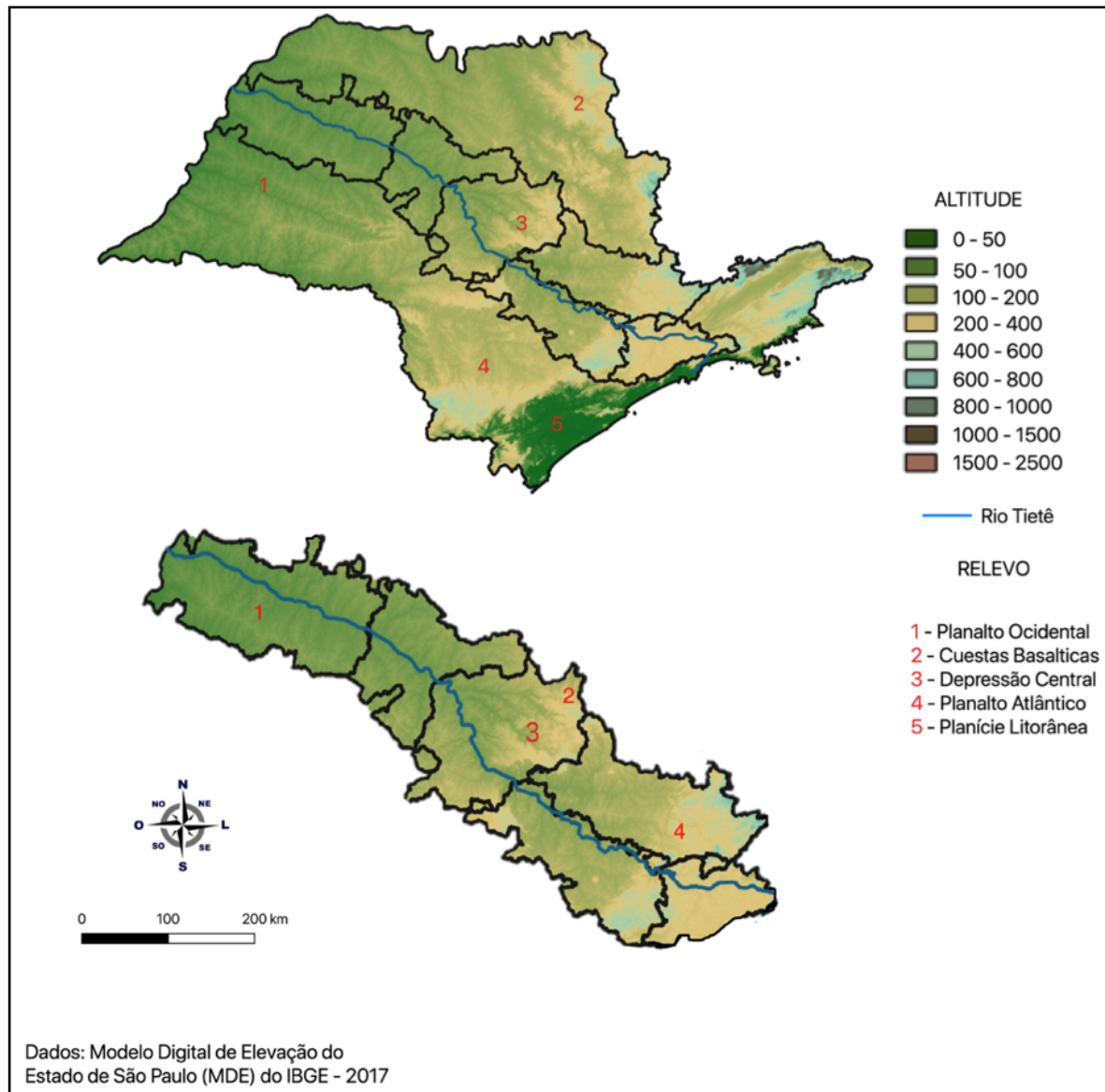
A Figura 9 apresenta o relevo do Estado de São Paulo e suas características que podem influenciar no clima da bacia hidrográfica do rio Tietê. De maneira geral, o relevo é composto por quatro diferentes unidades: planícies litorâneas a leste (número 5 na Figura 8), planaltos no leste e centro do Estado (número 4 na Figura 8), serras e depressões que se encontram distribuídas espacialmente (1, 2 e 3 na Figura 8) (ROSS, MOROZ; 2011).

Na porção leste do Estado encontra-se a planície litorânea circundada a oeste pela Serra do Mar (terras mais altas do Estado com a Serra da Mantiqueira, com trechos que chegam a mais de 2.000 m de altitude), marcando o início da bacia do Tietê (Alto Tietê). Por sua vez, a Serra da Mantiqueira é o maior conjunto de aglomerados rochosos recentes, com altitudes que superam os 2.000 m (AB`SABER, 1956). Diversos municípios importantes do Estado de São Paulo estão na Serra da Mantiqueira, com economia voltada para o turismo, entre eles: Campos do Jordão, Santo Antônio do Pinhal, São Bento do Sapucaí, Aguas de Lindoia, Serra Negra, entre outros.

Os planaltos (superfícies elevadas e planas em sua maioria) são encontrados na porção leste do Estado e parte média da bacia (Sorocaba Médio Tietê e Piracicaba Jundiá). Nessas regiões mais altas predomina o domínio morfoclimático conhecido como mares de morros (AB`SABER, 1956). Esse se caracteriza por inúmeros trechos sinuosos de rios, em razão do relevo irregular e incontáveis meandros (SEABRA, 2018). As depressões (relevo com irregularidade e altitudes baixas) abrangem a porção central do Estado, sendo cercadas a oeste pelas Cuestas Basálticas (região da sub bacia Tietê Jacaré) (serras com máximo de 1.100 m de altitude) e a leste pelo planalto Atlântico. A oeste do estado estão localizados o vale do Médio Tietê, Paranapanema e Mogi-Guaçu.

Por fim, a porção oeste do Estado, juntamente com as subbacias Tietê Batalha e Baixo Tietê, completam o Planalto Meridional. Essas são regiões inferiores a 100 m de altitude, extensas planícies agricultáveis. Seu relevo é classificado como suave (MEDEIROS; MIGUEL; BRUGNOLLI, 2014), sendo uma vantagem para a agricultura, já que não há

inclinação significativa, possibilitando grandes e extensas áreas de agricultura. A foz do rio Tietê encontra-se no município de Itapura, na região do Baixo Tietê, que de toda a bacia é o ponto mais baixo. Nessa área, o rio possui muitos pontos navegáveis (REZENDE; KAISER; PEIXOTO, 2018), devido ao relevo plano que cria uma maior área de escape do rio, desaguando no rio Paraná e integrando assim, sua bacia.



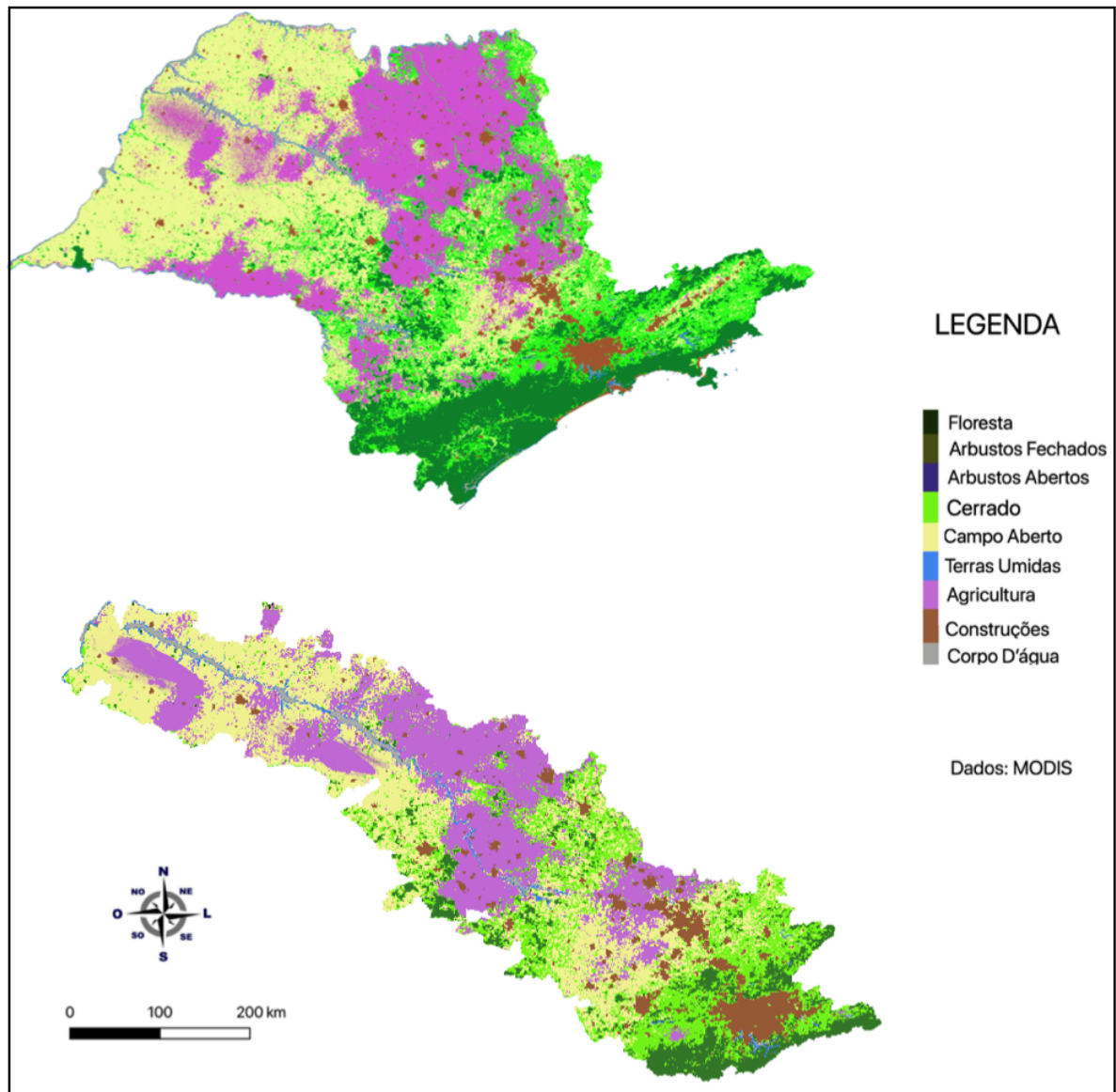
**Figura 8** - Relevo do Estado de São Paulo e bacia do Rio Tietê. Informações extraídas do Modelo Digital de Elevação (MDE) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Fonte: Autor.

A vegetação no Estado de São Paulo é heterogênea. Acobertura vegetal densa encontra-se no setor sudeste do Estado (englobando a subbacia Alto Tietê). Com resquícios de mata Atlântica (Figura 9), ou floresta Atlântica (verde escuro na Figura 9), essa área possui alta densidade, contribuindo com o balanço de umidade local, tanto pela evapotranspiração da

floresta quanto por manter a umidade transportada do oceano (BORELLI, 2006). Similar a Mata Atlântica, em densidade, o território possui a Mata dos Pinheiros (MEIRELES et al., 2008), em menor quantidade, limitando-se as regiões da Serra da Mantiqueira e Serra da Cantareira (Alto Tietê, e porções oeste de Sorocaba Médio Tietê e Piracicaba Jundiá) como mostra a Figura 9 pela cor verde escuro.

Na porção central e norte do Estado, englobando as subbacias Tietê Jacaré e Tietê Batalha, a atividade agrícola (em rosa na Figura 9) ocupou o espaço que antes pertencia ao cerrado paulista (KLEIN, 2000) (verde claro na Figura 9). O cerrado paulista caracterizado pela presença de árvores de pequeno porte e vegetação rasteira (SIQUEIRA et al., 2007), acompanha as regiões dos vales das Serras dos Agudos e Mirantes ao Sul, além das Serras do Tabuleiro, Jaboticabal e Batatas ao norte (cor bege e violeta na Figura 9). Ainda é possível observar a presença da Mata Caducifólia, ou Floresta Decídua (sul, próxima a divisa com o Paraná), distinguida por ser uma mata densa, encontrada em transições de biomas que, por sua vez, perdem suas folhas no inverno, habituando-se a baixas temperaturas com maior facilidade.

A jusante do rio Tietê (orientação nascente/foz), a organização das características de cobertura e uso do solo são determinadas em sua maioria pela formação do relevo (Figura 9). A sub bacia Alto Tietê possui a maior altitude de toda bacia, logo, maior densidade da vegetação, visto que as principais características da região são relevos elevados com vegetações densas. Serras de menor porte, ao longo do Médio Tietê (Sorocaba Médio Tietê e Piracicaba Jundiá) possuem vegetação arbórea (Mata dos Pinheiros), porém menos densa, em razão da menor altitude. Terras mais baixas, como vales, depressões (Baixo Tietê e Tietê Batalha), possuem menor declividade, tornando-as de fácil manejo para agricultura (em rosa na Figura 9).



**Figura 9** - Mapa de uso e cobertura do solo para o Estado de São Paulo e bacia do Rio Tietê no ano de 2017 com dados do produto MCD12Q1 do sensor MODIS. Fonte: Autor

## 5.2 Médias Anual e Sazonal da Precipitação

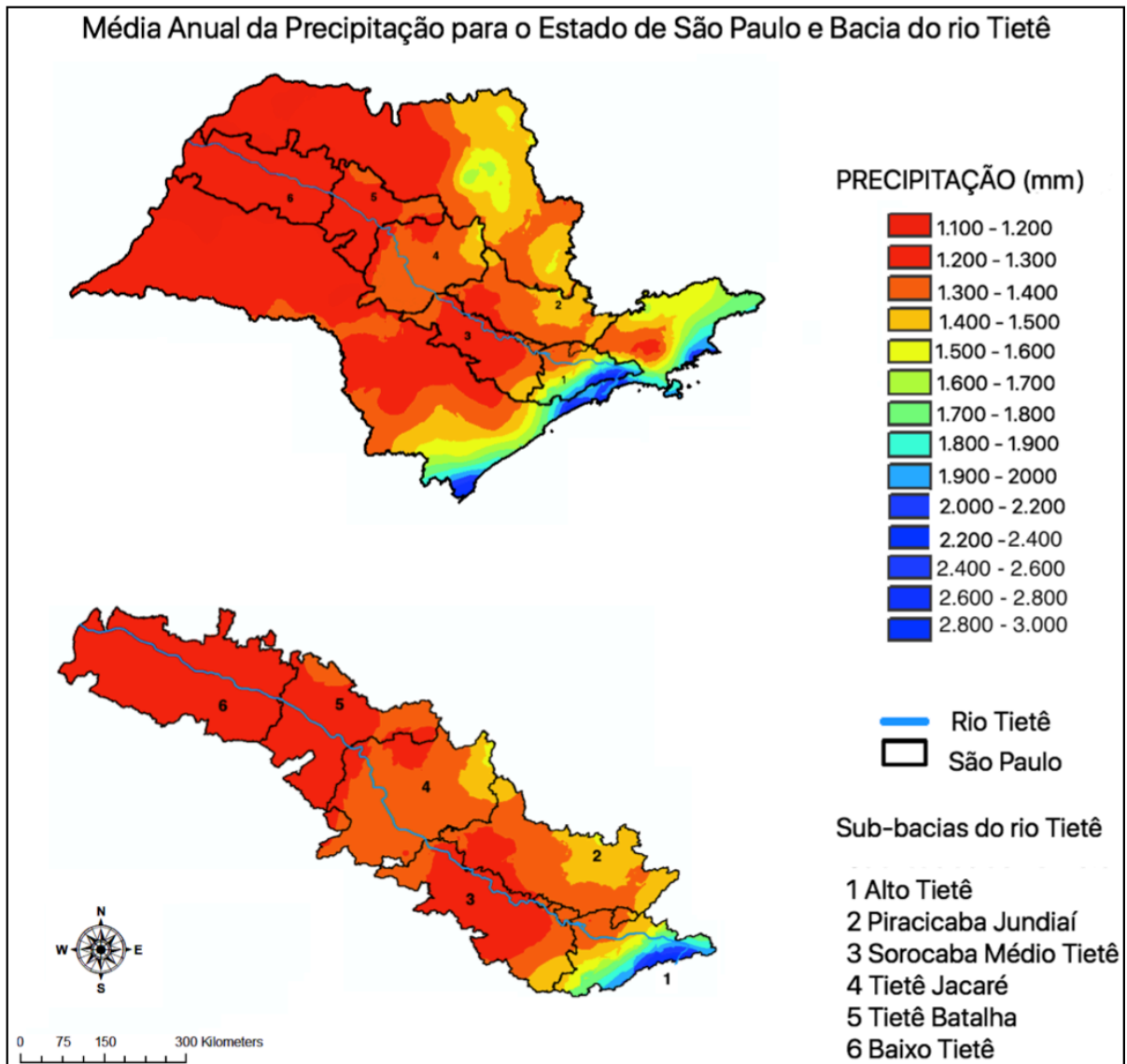
O litoral paulista (porção sudeste do Estado na Figura 10) possui os maiores acumulados de precipitação de todo o Estado, chegando em alguns municípios a 3.000 mm médio anual. Em sua maioria, estão associados com a umidade proveniente do oceano Atlântico adjacente (FREITAS; SILVA DIAS, 2004) e circulação de brisa marítima (OLIVEIRA; SILVA DIAS, 1982), além da proximidade com a serra do Mar, o que contribui para as chuvas orográficas na região. A próxima região de destaque é o Vale do Paraíba (nordeste do estado). Está localizado a 500 m acima do nível do mar, e situa-se entre as serra a

do Mar e da Mantiqueira. A precipitação média anual varia de 1.400 a 1.500 mm, sendo favorecida pela umidade transportada pelo JBN (SANTOS; REBOITA, 2018; MONTINI et al., 2019) e ventos do setor oeste do ASAS (REBOITA et al., 2019), principalmente durante o verão, além dos sistemas frontais (ESCOBAR, 2007). A Serra da Mantiqueira possui o segundo maior acumulado de todo Estado, com contribuição da vegetação e orografia. Os acumulados anuais podem chegar a 1.600 mm ao ano, em função do transporte de umidade da Amazônia e oceano Atlântico que contribuem como fonte de umidade para essa região, embora a convecção diurna seja um fator chave que favorece esses acumulados.

A RMSP (número 1 na Figura 10) e Sorocaba (número 3) registram acumulados entre 1.100 a 1.300 mm ao ano. Na capital São Paulo, além dos sistemas atmosféricos previamente mencionados, as precipitações são favorecidas pela brisa marítima (OLIVEIRA; SILVA DIAS, 1982). Oliveira et al (2003) e Carrilo et al (2007) mostraram que a brisa pode adentrar ao continente chegando na RMSP. Quando há a interação da brisa com outros sistemas, ocorre grande contribuição para a formação de chuvas severas (PEREIRA FILHO et al., 2002).

A região de Sorocaba (Figura 10, número 3) está localizada no Planalto Atlântico (Figura 8), e por essa razão, não sofre influência da brisa oceânica e nem da orografia. Nela as chuvas são influenciadas pela convecção local alimentada pelo transporte de umidade da Amazônia, além das passagens de sistemas frontais. A norte do Estado, as serras de Franca e Batatais (a norte do número 4) concentram totais anuais de precipitação em torno de 1.400 a 1.700 mm. Nessa região a precipitação é influenciada pela orografia, contudo, há suporte do transporte de umidade pelo JBN. Já os sistemas frontais têm menor influência nessa região, uma vez que, estes se deslocam próximos à costa (SOUZA; ESCOBAR, 2016).

Por fim, a porção central do Estado (incluindo Tietê Jacaré) e o oeste Paulista (englobando as subbacias Baixo Tietê e Tietê Batalha) apresentam os menores totais anuais de precipitação do Estado, com máximos acumulados anuais entre 1.100 a 1.400 mm. Isso está associado à distância em relação ao oceano e menor influência de sistemas frontais ao longo do ano, restringindo-se a sistemas convectivos.



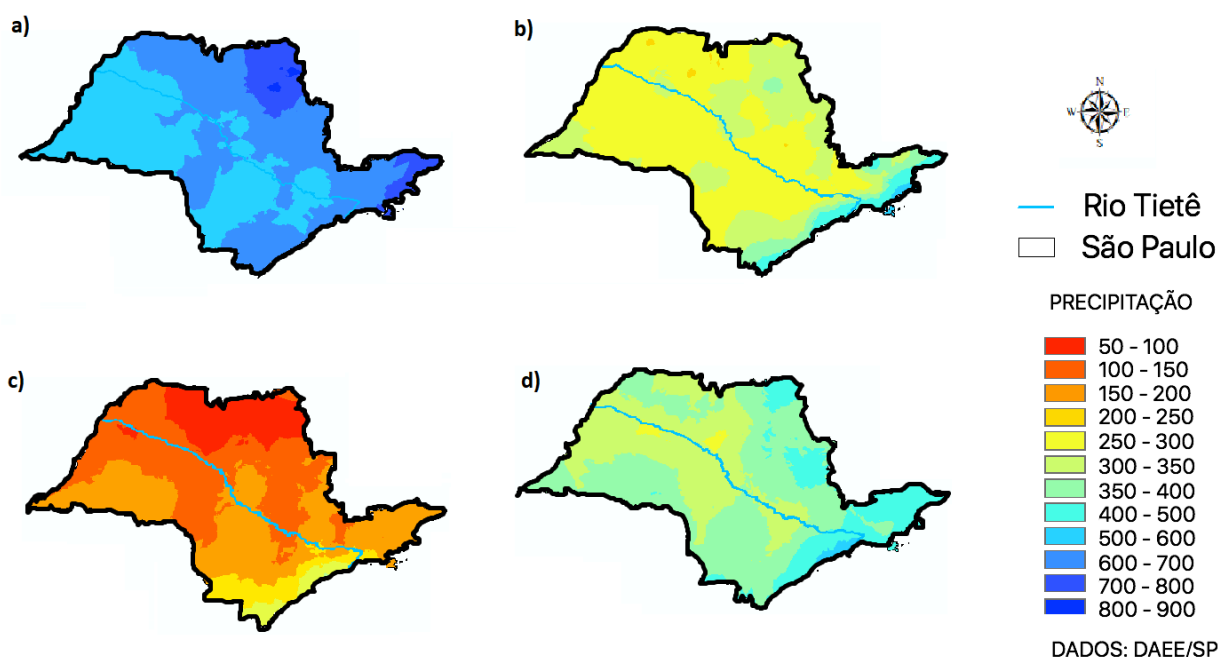
**Figura 10** - Média da precipitação anual para o período de 1990 a 2017 no estado de São Paulo e bacia do rio Tietê. Fonte: Autor.

Com relação à sazonalidade, os maiores totais de precipitação ocorrem no verão e os menores no inverno. A redução da precipitação no inverno deve-se ao enfraquecimento do aquecimento radiativo (queda na convecção diurna), do suprimento de umidade (REBOITA et al., 2010), bem como o posicionamento climatológico do ASAS, que possui seu setor oeste atuando sobre o continente, o que inibe os movimentos ascendentes e também dificulta a passagem de sistemas frontais (gera um sistema de bloqueio atmosférico). As estações de transição possuem valores similares e com totais intermediários de precipitação em relação ao verão e inverno (Figura 11).



No verão (Figura 11a), há duas áreas com maior precipitação no estado. A primeira ocorre na Serra da Mantiqueira estendendo-se com a Serra do Mar e na região norte do Estado na serra de Franca, ambos registrando acumulados de 900 mm no trimestre. Ao longo do inverno (Figura 11c), na porção sul e leste do Estado estão os maiores acumulados de precipitação, fato associado com a influência da maritimidade, em que as brisas oceânicas contribuem para o transporte de umidade, bem como pela influência da Mata Atlântica (que também atua como provedora de umidade). Além disso, há a passagem de sistemas frontais que ajudam a organizar a precipitação (SOUZA, ESCOBAR; 2016). Em contrapartida, as regiões norte, centro e nordeste, de São Paulo apresentam os menores valores de precipitação do ano.

### Média da Precipitação Sazonal no estado de São Paulo

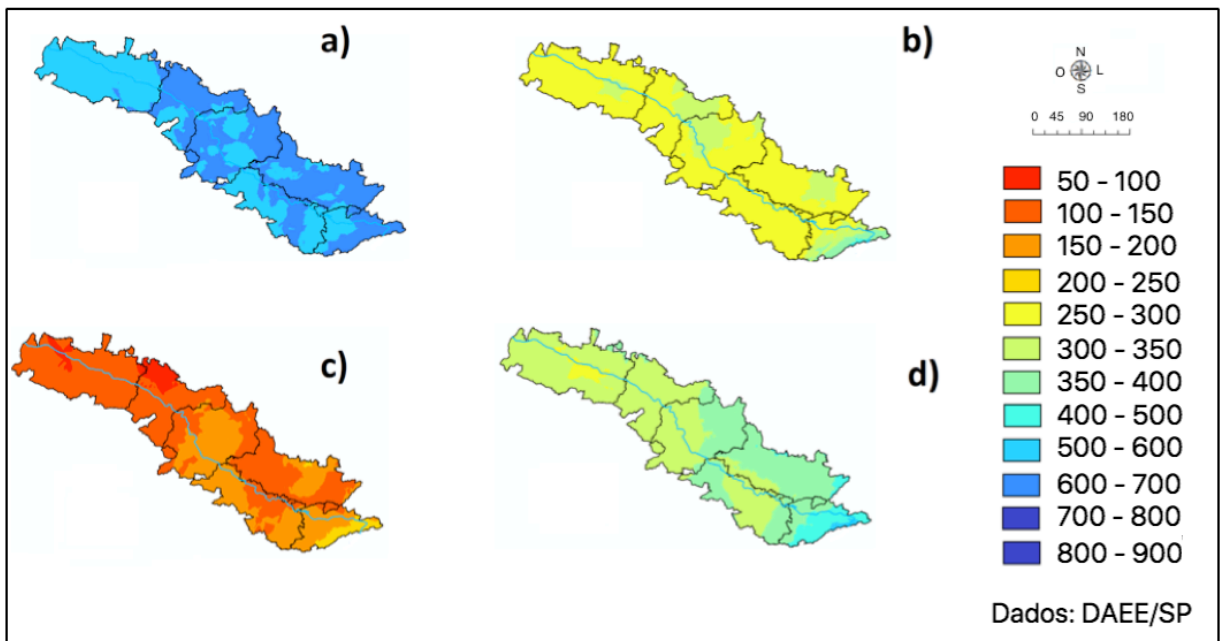


**Figura 11** - Média sazonal da precipitação para todo o Estado de São Paulo. Fonte: Autor.

Analisando especificamente a bacia do rio Tietê, nota-se que, ao longo do verão as áreas com maiores volumes de chuva, de maneira geral, encontram-se na sub bacia Alto Tietê (700 mm), além de todos os fatores atmosféricos já citados anteriormente, apresenta grande contribuição de extensas áreas de Mata Atlântica ainda preservadas. Os menores valores de precipitação ocorrem na sub bacia Baixo Tietê (Figura 12a). Essa região possui extensas áreas de produção agrícola ao longo do rio, além de apresentar vegetação do tipo caducifólia, ou seja, durante o inverno (Figura 12c) as árvores perdem todas as folhas, ficando apenas o

tronco seco ao longo do trimestre (junho, julho e agosto). Outro aspecto que pode ser observado, principalmente no verão, são algumas ilhas de menores acumulados. Essas ilhas estão em áreas ou centros urbanos, ou ainda, em extensas áreas de produção agrícola.

No inverno, o maior acumulado de precipitação está na porção do Alto Tietê. Isso ocorre em razão de suas características fisiográficas de maior quantidade de vegetação (CÂNDIDO; NUNES, 2008), mesmo assim, a região fica limitada a, no máximo, 300 mm no trimestre. Em todo o restante da bacia, os acumulados não superam os 200 mm.



**Figura 12** - Média sazonal de precipitação acumulada para toda a região da bacia do longo do rio Tietê, no período de 1990 a 2016. Fonte: Autor.

### 5.3 Temperatura na Superfície

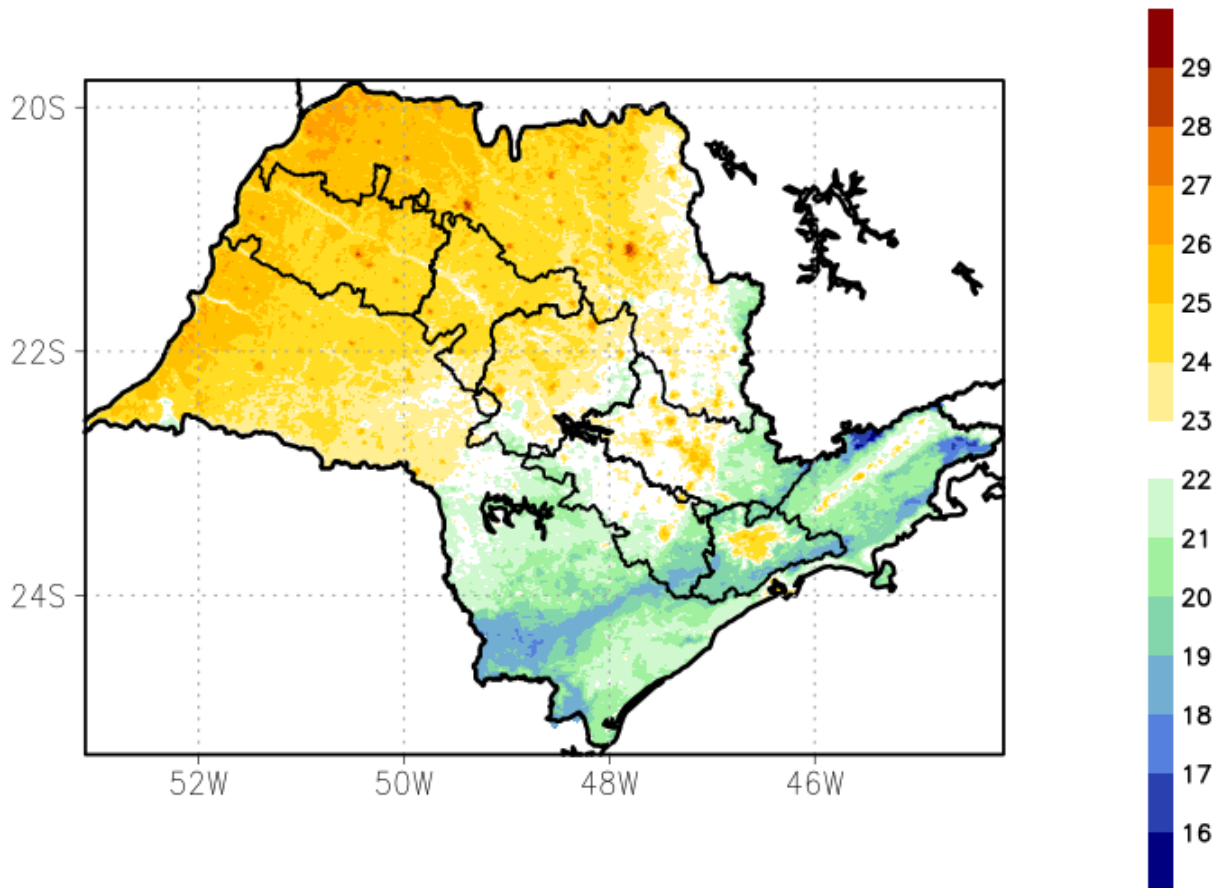
A Figura 13 mostra a média anual da  $T_{s\text{continental}}$  para o período de 2000 a 2018, tanto para o Estado de São Paulo, quanto para a bacia do rio Tietê. Assim como a precipitação, tem-se um gradiente que varia positivamente na orientação leste/oeste, devido ao fator climático continentalidade ou maritimidade.

A porção litorânea possui uma média anual em torno dos 23° C; porém, a medida que se aproxima da região de serra, essa média decresce gradativamente (Serra do Mar) devido a maior altitude (entre 800 a 1.000 m na Figura 8) e vegetação densa. Juntamente com a Serra da Mantiqueira (entre 1.000 a 2.000 m de altitude), essas regiões (Serra do Mar e Mantiqueira)

possuem as menores médias de todo o Estado, registrando valores entre 16° C a 20° C durante o ano. Em sua grande maioria, a porção leste do Estado registra temperatura média entre 16° C a 23° C, porém, na sub bacia do Alto Tietê, na RMSP, apresenta valores mais elevados. Assim como a RMSP, a região do Vale do Paraíba também possui valores diferenciados, não tão acentuados quanto na RMSP, onde os valores, em alguns pontos de maior aglomeração urbana estão em 26° C, porém a média local é de 23° C, contrapondo-se às regiões vizinhas, com média de 22° C.

A parte do Médio Tietê (englobando as regiões Sorocaba Médio Tietê e Piracicaba Jundiaí) possui dois padrões diferentes de Ts. A leste são registradas as menores médias, em torno de 19° C a 20° C, isso em razão da Serra da Cantareira a 800 m acima do nível do mar e alguns pontos com 1.000 m. Já a porção oeste da região conta com valores maiores de Ts em torno de 23° C a 26° C em algumas regiões; nelas há presença de terras destinadas para agricultura e centros urbanos, como as cidades de Sorocaba, Campinas, Jundiaí, Piracicaba e outras. Na divisa a oeste das regiões médias do Tietê com a sub bacia Tietê Jacaré, tem-se dois trechos com menores médias anuais em comparação com regiões vizinhas (em torno de 23° C e 22° C), devido à maior topografia das serras de Botucatu (ao sul) e do Tabuleiro (ao norte).

Por fim, as regiões a oeste do Estado de São Paulo, bem como as subbacias Tietê Batalha e Baixo Tietê, apresentam as maiores médias anuais de temperatura (entre 25° C a 27° C), com alguns pontos isolados registrando 28° C. Essa região, diferente de todas as demais do Estado, é caracterizada por um relevo totalmente plano, pouco acidentado e com baixa cobertura vegetal (Figura 8 e 9).



**Figura 13** - Média anual da temperatura da superfície obtida pelo sensor MODIS para o período de 2000 a 2018.

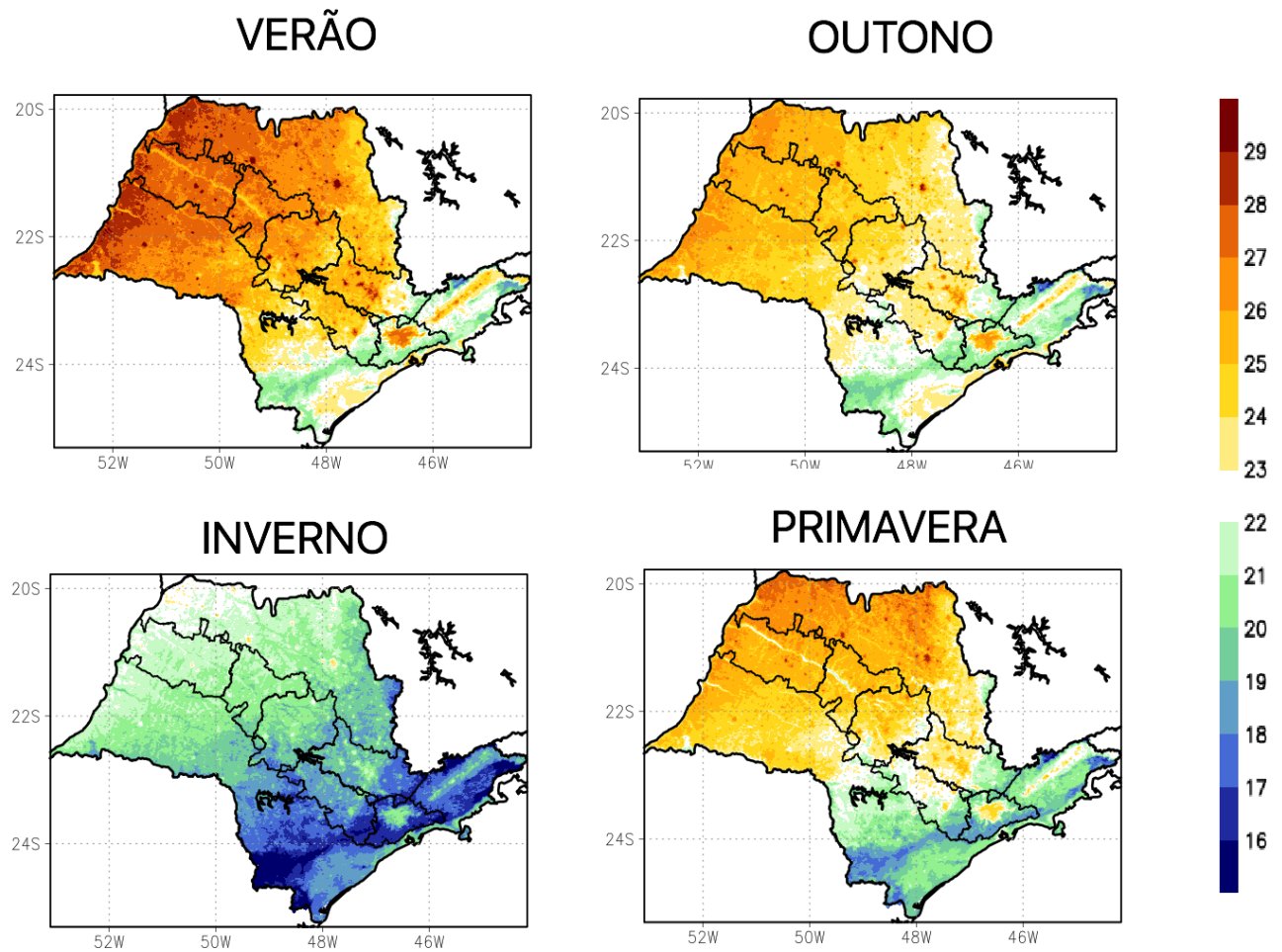
O Estado de São Paulo, bem como a bacia do Rio Tietê apresenta sazonalidade com grande variação na Ts. A Figura 14 apresenta, respectivamente, a média da temperatura (período de 2000 a 2018) para as estações do ano: verão, inverno, outono e primavera.

Em todo o Estado, o verão é caracterizado por altas temperaturas (Figura 14a), em que as médias são acima de 23° C em praticamente todo o Estado. As exceções desse padrão são: Serra da Mantiqueira, Serra do Mar (região do município de Cunha) com médias em 19° C e, por fim, a região sul do Estado, uma das porções com maior padrão espacial da Mata Atlântica, registrando uma média em torno de 20° C no verão. As subbacias do rio Tietê que registram maior temperatura são: Baixo Tietê, Tietê Batalha e Tietê Jacaré. A partir da região média do Tietê (Sorocaba Médio Tietê e Piracicaba Jundiá) as maiores diferenças estão nos grandes centros urbanos (Sorocaba, região de Campinas, mas principalmente, RMSP).

A Figura 14b indica as médias da Ts para o inverno. As menores temperaturas são registradas na Serra da Mantiqueira (englobando os municípios de Campos do Jordão, São

Bento do Sapucaí e Santo Antônio do Pinhal e Serra do Mar no trecho de Cunha), ambos registrando média de 14° C no trimestre. Nos primeiros trechos da subbacia do Rio Tietê à sua jusante (Alto Tietê, Sorocaba Médio Tietê e Piracicaba Jundiaí) alguns pontos se destacam (Figura 14a). Esses pontos possuem maior temperatura em razão da concentração dos centros urbanos (ilha de calor). Na subbacia Alto Tietê a influência da RMSP na média é constante, bem como, a leste, a região do Vale do Paraíba, diferindo-se em até 4° C de regiões mais próximas, com menor concentração urbana e maior densidade de vegetação. Isso também pode ser identificado na região de Campinas (localizada na subbacia Piracicaba Jundiaí), em que uma temperatura 5° C maior na região central é observada em comparação com as regiões circunvizinhas.

O outono (Figura 14c) é mais quente quando comparado à primavera no Estado de São Paulo. As regiões mais vegetadas continuam indicando menores valores de Ts, como Serra da Mantiqueira, Serra do Mar e sul do Estado. Na primavera (Figura 14d), o continente volta a esquentar gradativamente, iniciando pela porção oeste do território, onde o uso e cobertura do solo favorece esse aquecimento (maior quantidade de solo exposto, terras destinadas à agricultura contrastando com a falta de florestas e áreas vegetadas). Na porção leste do Estado as Ts ainda estão baixas, devido à orografia, porém, o fato mais importante para esse registro é a maior presença de vegetação (Mata Atlântica).



**Figura 14** - Média sazonal da temperatura da superfície (Ts). Fonte: Autor.

## 5.4 Mudança no Uso e Cobertura do Solo

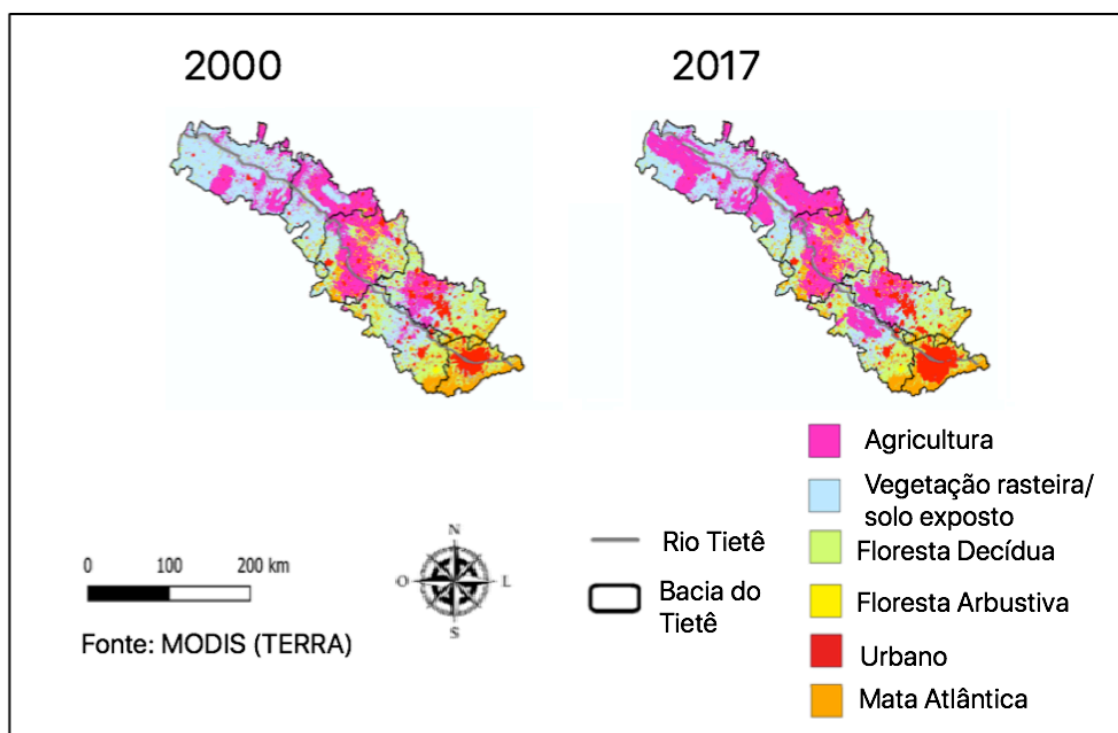
Com a crescente urbanização ao longo do tempo e a intensa expansão agropecuária, muitas áreas vegetadas deram lugar à construção civil, plantações e pastagens. Essas mudanças, impactaram o clima regional, o que consequentemente influencia o clima global.

A Figura 15 indica a mudança no uso e ocupação do solo entre os anos 2000 e 2017 na bacia do rio Tietê. O primeiro aspecto observado na análise é o aumento da atividade agrícola, principalmente na região do Baixo Tietê, Tietê Batalha e Tietê Jacaré. A presença dessa atividade às margens do rio Tietê aumentou muito desde o início da série histórica. Segundo dados do IBGE (2017), a maior parte da produção agrícola ao longo da bacia é de cana-de-açúcar e laranja. A produção do ano de 2017 do Estado de São Paulo, dos dois principais produtos, foi de 447,5 milhões de toneladas, demonstrando o investimento nessas áreas. Em

ambos houve a diminuição da vegetação rasteira e solo exposto, bem como, a diminuição, na porção leste do Tietê Batalha (nas regiões da Serra de Botucatu e Serra do Tabuleiro).

As sub bacias Sorocaba Médio Tietê e Piracicaba Jundiá mostraram um maior crescimento urbano, assim como Alto Tietê, marcado pela RMSP. Apesar desse crescimento, essas áreas, bem como o oeste da bacia do Tietê, possuíram o avanço na produção de laranja no Estado de São Paulo. Segundo a Secretária de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo (SAAESP), a colheita aumentou 22,1%, sendo que mais da metade disso, foi destinado para a indústria de suco. Isso demonstra o aumento em praticamente toda a bacia das áreas destinadas à agricultura.

Por fim, o ponto mais notório está no Alto Tietê(Figura 15), uma vez que a área urbana praticamente dobrou de tamanho. Para essa área expandir, a região de Mata Atlântica sofreu redução. Além da área urbana, as plantações de eucalipto (ARGUELLO et al., 2010) contribuíram para a extração de uma pequena porção da mata originária da região. Esses aspectos podem ser vistos na Figura 16, tanto na região sul do Alto Tietê quanto ao norte dela.



**Figura 15** - Uso e ocupação do solo ao longo da bacia do rio Tietê. Dados do satélite MODIS Terra. Fonte: Autor.

O avanço das áreas agrícolas e urbanas em toda a bacia do rio Tietê é mostrada na Figura 16 em intervalos de 5 anos, para melhor compreensão da dinâmica do uso e ocupação do solo. O ponto mais interessante da evolução da agricultura é que ela se desenvolveu na

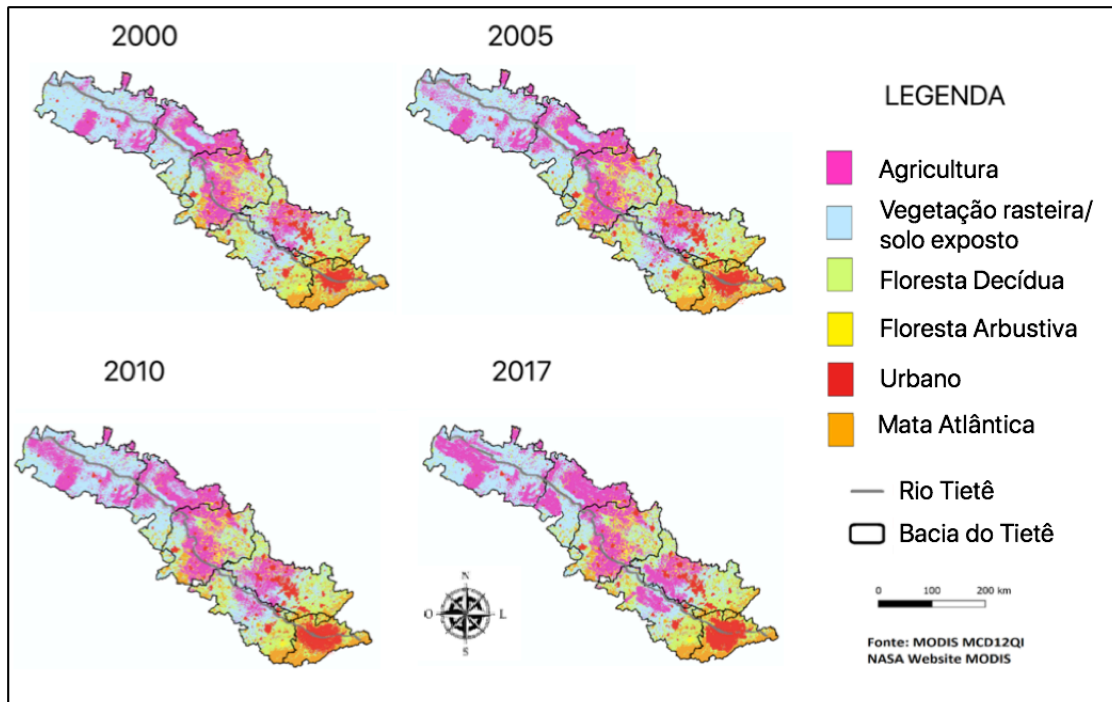
porção do continente mais distante do oceano, onde, existe menores acumulados de precipitação, tanto anual quanto sazonal.

Na agricultura (Figura 16), os intervalos que mostram uma evolução mais rápida são nos anos de 2005 para 2010 e 2010 para 2017 (final da série). Estudos indicam que o solo nessas regiões é composto por argissolo, com características arenosas e argilosas (TUNDISI et al., 2008), sendo favorável ao cultivo em latifúndios, como a cana-de-açúcar, laranja, florestas de eucaliptos e pastagens. Portanto, isso pode explicar a causada expansão agrícola.

Em toda a região a leste da bacia do rio Tietê houve avanço da agricultura, porém, a urbanização chama mais atenção. A área em vermelho na Figura 16, na região do Alto Tietê, mostra a RMSP; esta dobrou seu tamanho desde o início do período em estudo (2000). Isso significa maior necessidade de recursos hídricos para abastecer a região, mudanças no albedo, desmatamento, entre outros fatores físicos e antrópicos.

As três sub bacias Sorocaba Médio Tietê, Jundiaí Piracicaba e Alto Tietê são interligadas por reservatórios. Um dos principais afluentes do Tietê, o rio Piracicaba, integra a bacia, em que, grandes municípios paulistas a ocupam, como Campinas, Limeira, Jundiaí, Piracicaba, entre outros. O rio foi o principal responsável pela instalação de grandes indústrias na região (NEGRI, 2006), em razão da alta disponibilidade de água e rápido escoamento para o capital. Essas características somadas ao aumento da população implicaram em novos desafios para o abastecimento, tanto da população quanto da indústria e da agricultura nas regiões médias da bacia, que mostraram um pequeno aumento nas terras destinadas à agropecuária (Figura 16).





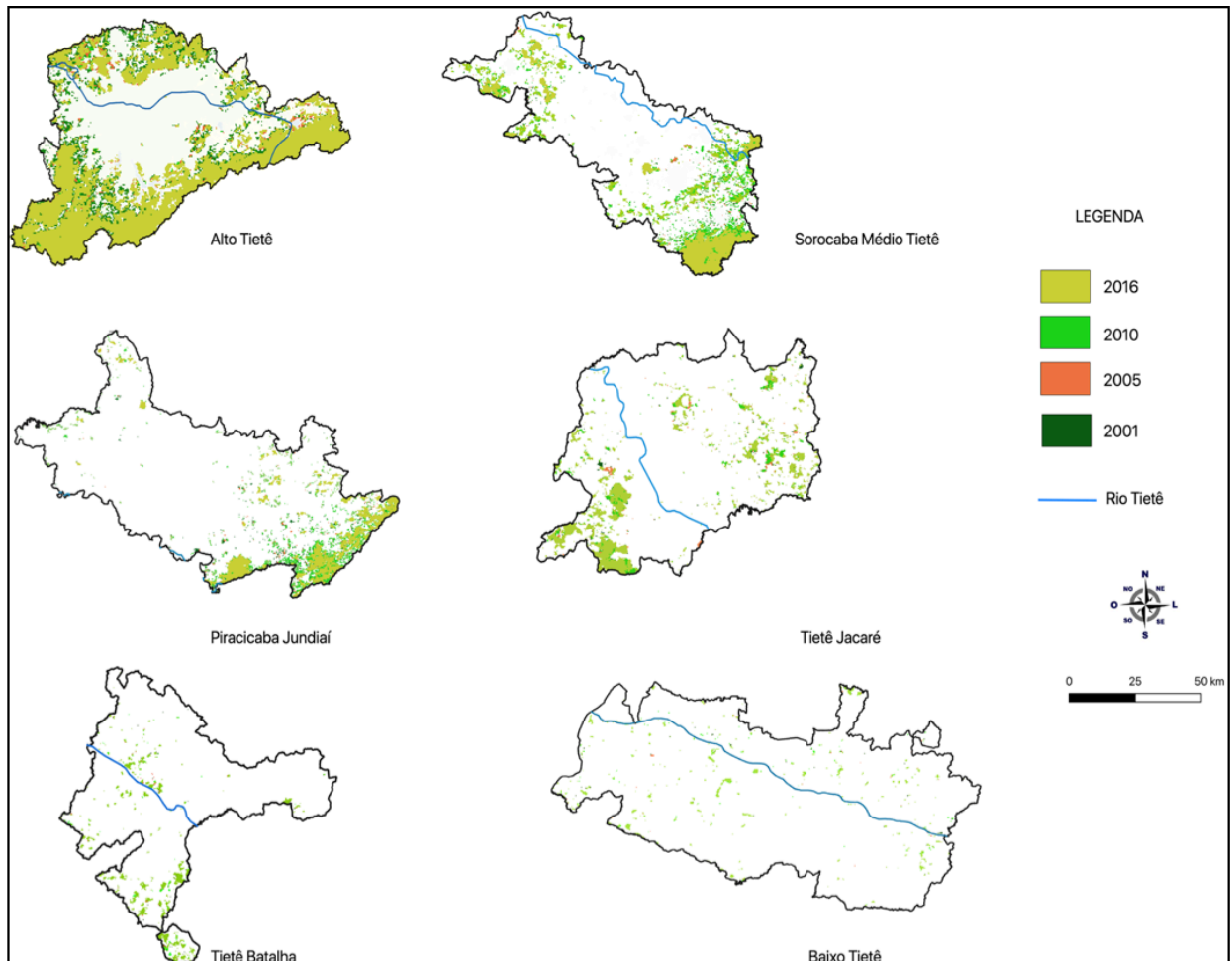
**Figura 16** - Comparativo da evolução no uso e cobertura do solo de 2000 a 2017. Fonte: Autor.

A Figura 17 representa a evolução da área vegetada em cada subbacia do rio Tietê ao longo dos 16 anos analisados.

Inicialmente o Alto Tietê apresentou uma redução da área vegetada em 10% em razão do primeiro ano analisado (2001) em relação ao primeiro período seguinte (2001 a 2005). Isso foi resultante do avanço da RMSP e de municípios que circundam, reduzindo essa cobertura nos trechos da Serra do Mar e Serra da Cantareira. Entretanto, as regiões do médio Tietê (Sorocaba Médio Tietê e Piracicaba Jundiaí) registraram pouca mudança na cobertura vegetal. A redução ocorreu nas áreas mais centrais das subbacias, a maior concentração foi registrada na porção oeste das duas regiões, sendo demarcadas pela Serra da Cantareira.

As sub bacias Tietê Jacaré, Tietê Batalha e Baixo Tietê, naturalmente apresentam menor cobertura vegetal por pertencer a transição com o cerrado, favorecendo uma cobertura mais rasteira; no entanto, apresentaram redução na área vegetada, principalmente nas porções centrais do Tietê Jacaré (a oeste da jusante do rio) e Tietê Batalha. A última região da bacia, o Baixo Tietê, praticamente não mostrou redução na cobertura vegetal. Alguns pontos onde havia resquícios de vegetação arbórea foram substituídos ou remanejados para outras áreas. Nessa sub bacia a principal situação, além de ser a mais crítica, foi a transformação de

campos abertos/ grama rasteira, por área agricultável, o que modifica o albedo em até 10%, item que já foi explanado anteriormente.



**Figura 17** - Evolução da área de vegetação ao longo do período de 2001 á 2016. Fonte: Autor.

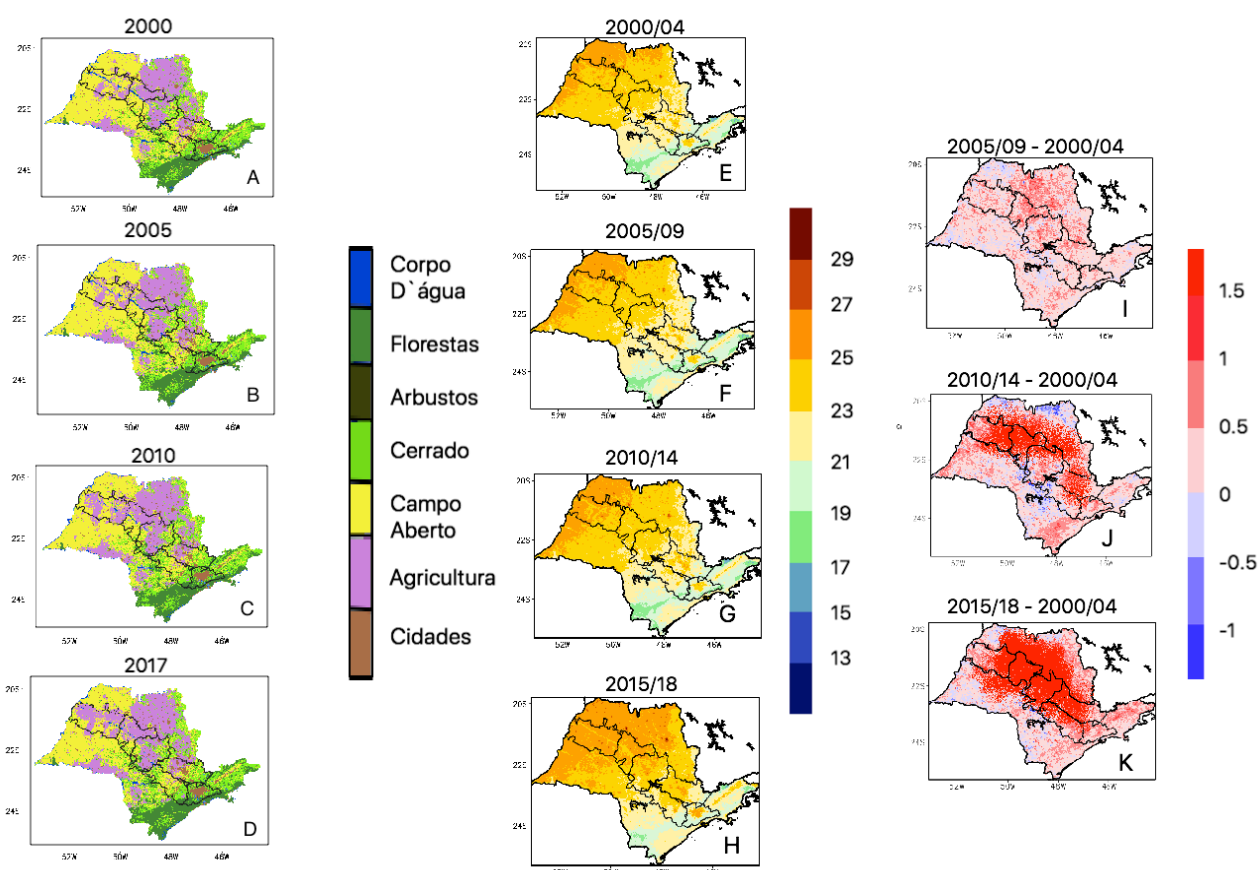
## 5.5 Mudanças nos padrões de uso e cobertura do solo e de Ts

A Figura 18 apresenta informações úteis para a compreensão da influência antrópica no meio físico. Na coluna da esquerda tem-se o uso e cobertura do solo para os períodos 2000, 2005, 2010 e 2017. Na coluna central as médias da Ts considerando intervalos de 5 anos (2000-2004, 2005-2009, 2010-2014 e 2015-2018) e, por fim, na coluna a direita as anomalias (diferenças) de cada período em relação à média do período inicial (2000-2004) da série temporal de Ts.

Numa análise global da Figura 18 há mudanças do uso e cobertura do solo na porção leste e oeste do Estado, onde ocorre, respectivamente, a expansão das áreas urbanas e aumento das áreas de agricultura. Uma diminuição nas florestas locais também é observada na porção central do Estado. Essas modificações no uso e cobertura do solo, principalmente o avanço das áreas de agricultura e urbanização, causam impactos diretos na Ts (Figura 18).

As sub bacias Alto Tietê, Sorocaba Médio Tietê e Piracicaba Jundiáí mostraram um maior crescimento urbano nos últimos anos (Figura 19), destacando-se pelas regiões: RMSP, Campinas e Sorocaba, além de outras cidades vizinhas. Concomitantemente à expansão urbana, as plantações de eucalipto (ARGUELLO et al., 2010) contribuíram para ocupação local. O que antes era solo exposto ou vegetação rasteira teve sua característica de uso alterado. A Ts nessas bacias mudou de 23° C para 24.5° C (Alto Tietê) e de 23° C para 24° C (Sorocaba Médio Tietê e Piracicaba Jundiáí) entre o primeiro e o último período analisado (Figura 18).

Quando comparadas as figuras 18i e 18j é possível identificar um aumento significativo da ordem de 1,5° C em praticamente toda porção central do Estado. Com relação a bacia do rio Tietê, teve-se como resultado o aumento da Ts anual de pelo menos 1° C em todas as 6 sub bacias analisadas (considerando o período 2005/09 – 2000-/4 e 2010/14 – 2000/04).



**Figura 18** - Esquerda: média anual dos períodos escolhidos para análise da Ts.a) 2000-2004,b) 2005-09 C) 2010-2014,d) 2015-2017. Direita: cálculo da anomalia da Ts para os períodos subsequentes em comparação com o ano final da série de dados (2018). Fonte: Autor.

## 5.6 Balanço das alterações da Ts e uso e cobertura do solo

A Tabela 2 tem por objetivo resumir as principais mudanças observadas na bacia hidrográfica do rio Tietê no período de 2000 a 2017 para o uso e cobertura do solo e 2000 a 2018 para Ts. Esse diferença no período dos dados ocorre pela disponibilidade de dados.

Conforme mostrado na Figura 18, o uso do solo apresentou mudanças consideráveis que trouxeram impactos na Ts para a região. As sub bacias mais impactadas pelo avanço das áreas destinadas à agricultura foram: Baixo Tietê, Tietê Batalha e Tietê Jacaré. Respectivamente cerca de 25%, 18,6% e 10,3% do território dessas sub bacias mudaram suas características originais, de vegetação de pequeno porte ou gramíneas, para solo exposto ou agricultável. Concomitante a essas alterações, a Ts apresentou mudanças em seu padrão. A média do período de 2015 a 2018 foi 1° C maior em todas essas sub bacias.

Observando as sub bacias Piracicaba Jundiá e Sorocaba Médio Tietê, é possível identificar um padrão restrito no sistema de alteração do uso e cobertura do solo. As figuras 17 e 18 indicam uma redução na vegetação local contrapondo ao aumento da área urbana em grandes centros urbanos (Campinas, Sorocaba, Jundiá, entre outros) além de, terras voltadas para a agricultura, o que é especificado na Tabela 2. Para a sub bacia Sorocaba Médio Tietê a mudança registrou 9,6% de toda área demarcada, já para a sub bacia Piracicaba Jundiá essa mudança ficou em torno de 11,2%.

Por fim, a sub bacia Alto Tietê merece um destaque maior pelo fato de ter apresentado a maior variação na Ts e pelo crescimento da mancha urbana. A mancha urbana (RMSP) dobrou de extensão ao longo dos últimos 17 anos (como visto na Figura 18), representando uma alteração de 2.654,7 km<sup>2</sup>, modificando 18,4% da sub bacia. Isso refletiu diretamente na temperatura da superfície. Como consequência dessa alteração, a Ts aumentou cerca de 1,5° C para o período inicial apresentado, a maior variação de temperatura em toda área da bacia hidrográfica. Campo aberto ou vegetação de pequeno porte foi substituída pela construção urbana, o que traz o maior impacto para valores de albedo no local, reduzindo sua porcentagem na capacidade de refletir a radiação de onda curta, contribuindo dessa forma para o rápido e forte aquecimento.

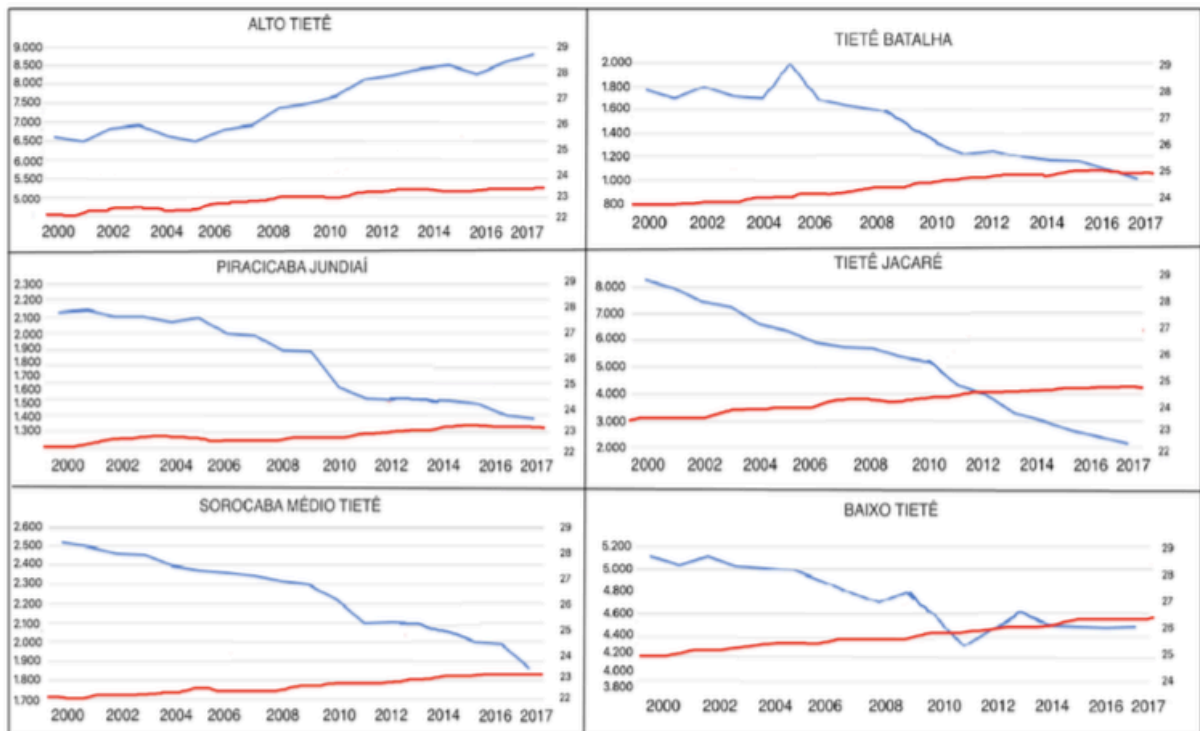
Sub bacia	Área Total	Redução da cobertura natural: 2017 em relação à 2000 (valores % entre parênteses)	Mudança na temperatura da superfície: média de 2015 a 2018 menos a média de 2000 a 2014	Principal causa da redução da cobertura vegetal (expansão da agricultura ou da urbanização)
Alto Tietê	14.424 km <sup>2</sup>	2.654,7 (18,4%)	+ 1,5° C	Urbanização
Sorocaba Médio Tietê	30.782 km <sup>2</sup>	2.955,5 (9,6%)	+ 1° C	Agricultura e urbanização
Piracicaba – Jundiaí	30.896 km <sup>2</sup>	3.046,3 (11,2%)	+ 1° C	Agricultura e urbanização
Tietê Jacaré	25.324 km <sup>2</sup>	2.608,2 (10,3%)	+1,2° C	Agricultura
Tietê Batalha	27.225 km <sup>2</sup>	5.063,8 (18,6%)	+1,3° C	Agricultura
Baixo Tietê	26.944 km <sup>2</sup>	6.736 (25%)	+ 1,3° C	Agricultura
Bacia total	155 595	23.064,5 (14,82%)	+ 1,2° C	Agricultura e Urbanização

**Tabela 2** - Dados sobre mudanças do uso e cobertura do solo atrelados a TS por sub bacias.

A Figura 19 mostra, por sub bacia, a média anual da TS e a da área (km<sup>2</sup>) coberta por floresta. É possível notar que em todas as sub bacias a temperatura aumentou com o passar do tempo enquanto que a área coberta por floresta diminuiu em 5 das 6 sub bacias analisadas. Apenas no Alto Tietê, onde foi encontrado a maior urbanização de toda a bacia, é que essa vegetação cresceu de 6.500 para 9.000 km<sup>2</sup> com o passar dos anos. A urbanização aumentou para oeste e não para leste, o que poupou a floresta (Mata Atlântica) nas últimas décadas, avançando para regiões que possuíam a característica de campo aberto, ou pequenos arbustos.

O destaque está para o aumento da temperatura na região em decorrência dos fatores de uso e mudança da cobertura do solo. As regiões do médio Tietê (Sorocaba Médio Tietê e Piracicaba Jundiaí) mostram uma redução drástica na

vegetação e um aumento praticamente constante na TS. A sub bacia Tietê Jacaré apresentou a maior redução da vegetação (8000 km<sup>2</sup>) e em consequência disso uma das sub bacias que mais sofreram com o aumento da TS, juntamente com: Baixo Tietê e Alto Tietê.



**Figura 19** - Gráfico de linha representando a variação da Ts e da área de floresta em cada sub bacia. Os dados são oriundos dos produtos de Ts e uso e cobertura do solo do sensor MODIS.

## 5.7 Validação do modelo ETA

Antes da apresentação das projeções da Ts é importante mostrar a validação do modelo ETA no período histórico. Utilizou-se o período de 2000 (início da série do MODIS) até o ano de 2005 (último ano representante do período presente do modelo ETA). A Figura 20 mostra os dados do MODIS, ETA e o viés, ou seja, modelo menos observado. A validação foi feita para os períodos sazonais e anual (Figura 20).

No verão, inverno e na média anual, o modelo mostrou melhor destreza do que nas estações de transição (outono/primavera). Nelas, praticamente em toda a bacia, o modelo superestima em 3° C a 4° C a Ts. No verão, o modelo superestima até 2° C nas sub bacias do Baixo Tietê, Tietê Batalha e Tietê Jacaré e de -2° C ao longo do inverno, principalmente no Alto Tietê, variando entre -2° C e 2° C (Figura 20), ou seja, o verão é mostrado com ligeiramente mais quente e o inverno mais frio do que realmente é.

Para melhor entender a compreensão do modelo na bacia devida-se, neste momento em três regiões, com o intuito de obter uma melhor visualização e compreensão dos resultados

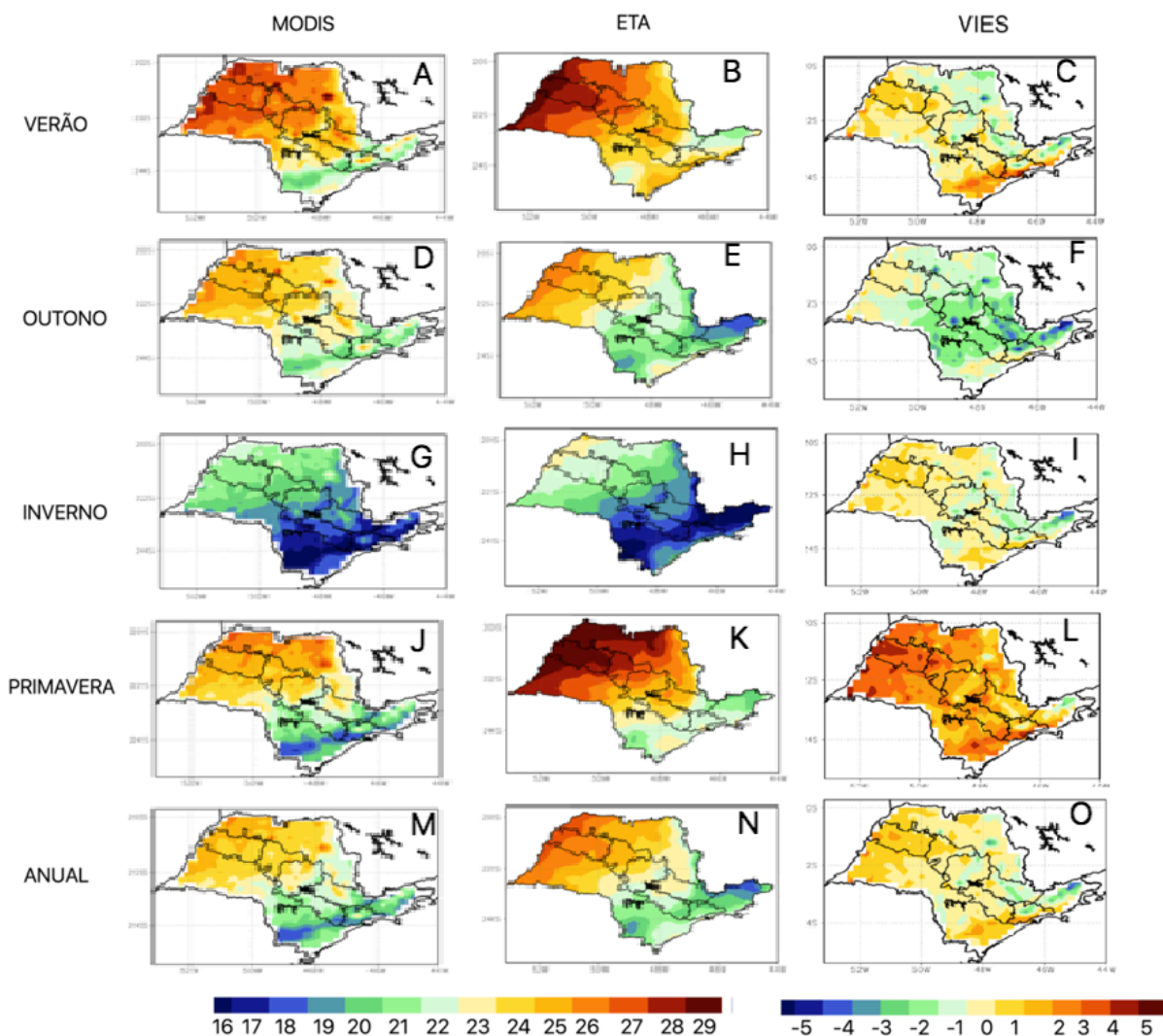
do modelo ETA – 5 km. As regiões são formadas por: Alto (Alto Tietê), Médio (Sorocaba Médio Tietê, Piracicaba Jundiá e Tietê Jacaré) e Baixo (Tietê Batalha e Baixo Tietê) Tietê.

Para a primeira região, Alto Tietê, o modelo possui boa destreza, exceto para a RMSP, subestima temperaturas acima de 24° C no verão e superestima valores abaixo dos 20° C no inverno, porém, no contexto de toda subbacia apresentou boa destreza, com viés entre -1° C e 1° C, exceto pelo outono (superestima em até - 3° C, deixando a RMSP mais fria) e primavera (superestima em 3° C a porção sul da região).

Para a região do Médio Tietê o modelo demonstrou melhores resultados comparado com as outras sub bacias. Para o verão, inverno e anual, o viés ficou em torno de 0° em praticamente toda a área, exceto pela região de Campinas. Nela, os valores abaixo de 20° C são superestimados, já acima de 22° C são subestimados. Nas estações de transição é possível identificar uma piora na representação dos dados, em que, no outono a diferença é de até 1.5° C negativo e na primavera apenas 1° C positivo.

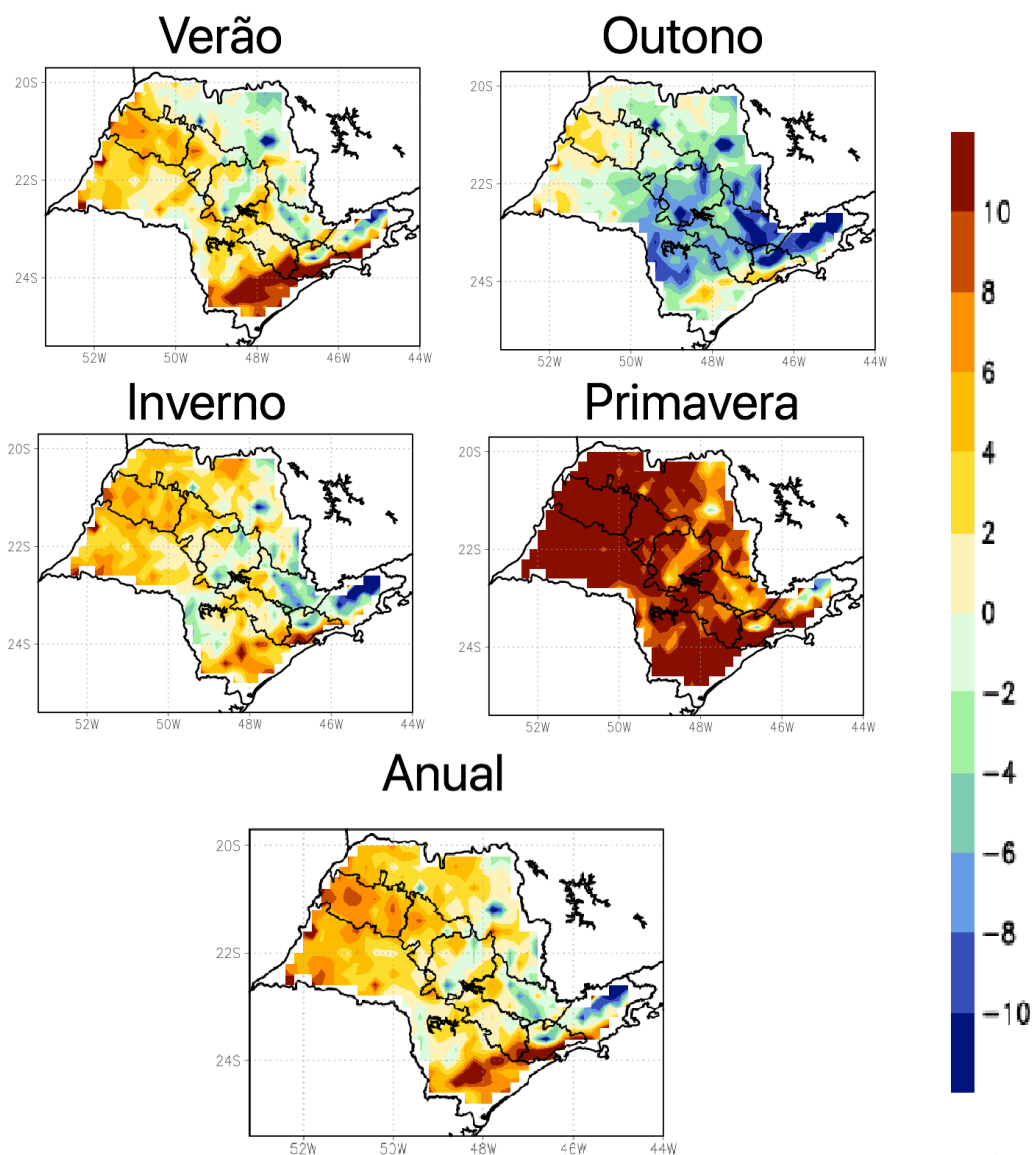
Por fim, as áreas: Tietê Jacaré, Tietê Batalha e Baixo Tietê da bacia do rio Tietê, aqui consideradas como Baixo Tietê, são bem representadas ao longo do verão, outono, inverno e análise anual, porém não registrou bons resultados para a primavera. O modelo superestimou altos valores de Ts, enquanto que, o viés permaneceu entre -1° C e 1° C ao longo de quase todo o período. A primavera destacou-se por registrar até 5° C de diferença, concluindo um cenário mais quente no modelo do que o observado.





**Figura 20** - Validação do modelo ETA - 5 km com os dados observados do sensor MODIS. A primeira coluna representa os dados do MODIS para cada estação do ano, a segunda é o modelo ETA e a última seria a anomalia do modelo, ou seja, modelo subtraído do observado. Fonte: Autor.

A segunda análise de verificação do modelo foi o cálculo da porcentagem do erro do modelo (PEM) (Figura 21). Essa análise indicou menores porcentagens de erro, na região da bacia do Tietê, para o verão, com máximo de 4% e mínimo de -4%, inverno 5% e -2% e anual com média de 4% de PEM. A sub bacia melhor representada é a Sorocaba Médio Tietê, seguida do Tietê Jacaré e Tietê Batalha. Para a RMSP o modelo apresentou alta porcentagem de erro, assimcomo observado anteriormente. As representações do MODIS conseguem registrar o padrão espacial da IC urbana com múltiplos detalhes, porém o modelo não representa com exatidão essa diferença.



**Figura 21** - Porcentagem do erro para o modelo ETA em todo o Estado de São Paulo. Fonte: Autor.

## 5.8 Projeções do Modelo ETA

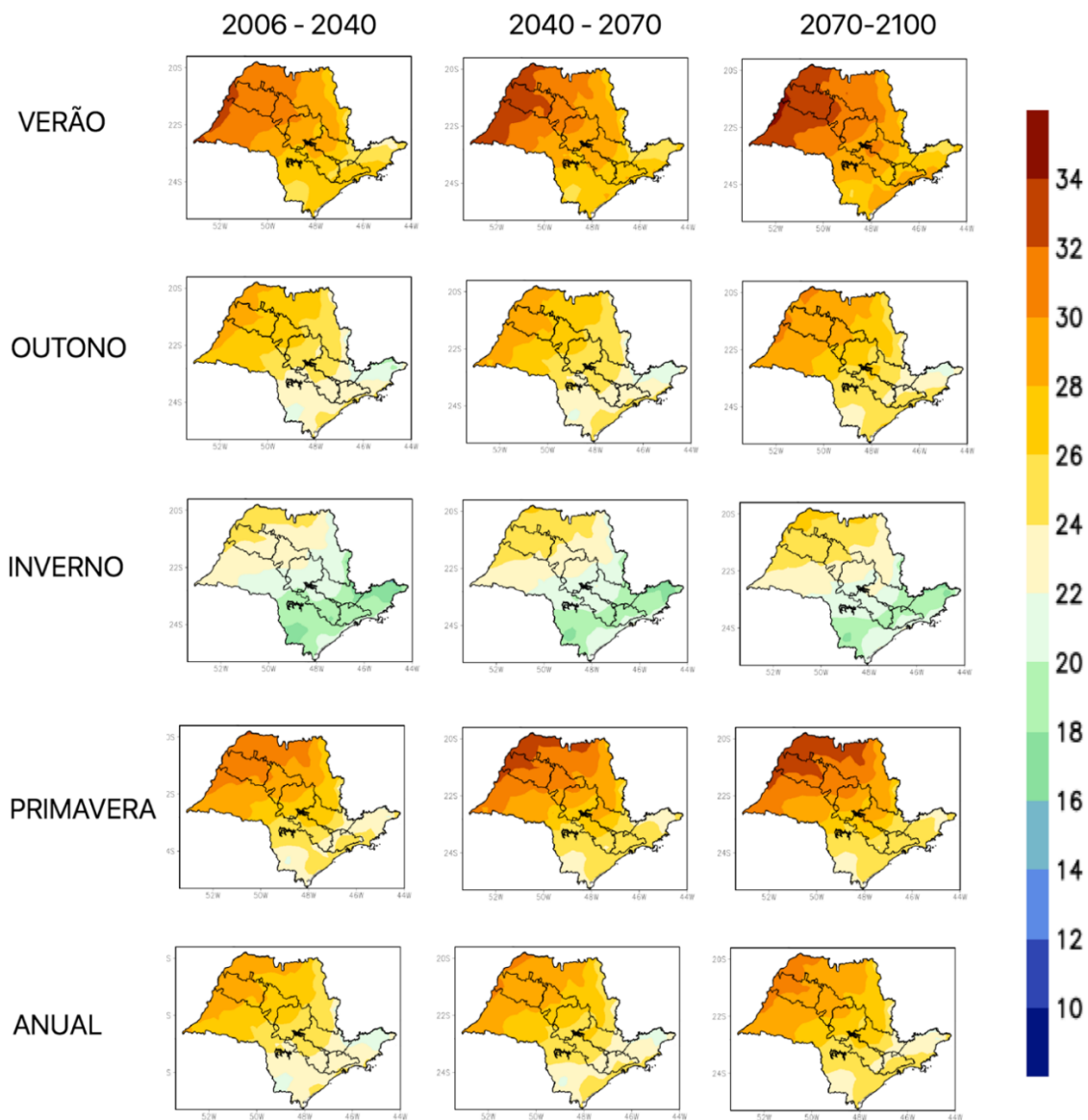
Nessa seção são apresentadas as projeções da  $T_s$  para dois cenários de emissão de gases do efeito estufa do IPCC: o cenário RCP 4.5 (considerado um cenário intermediário) e o RCP 8.5 (o mais pessimista de todos os cenários).

As Figuras 22 e 23 mostram, respectivamente, as projeções para o cenário RCP 4.5 e a diferença da projeção para o período inicial desse estudo (2000 – 2005). Utilizando três

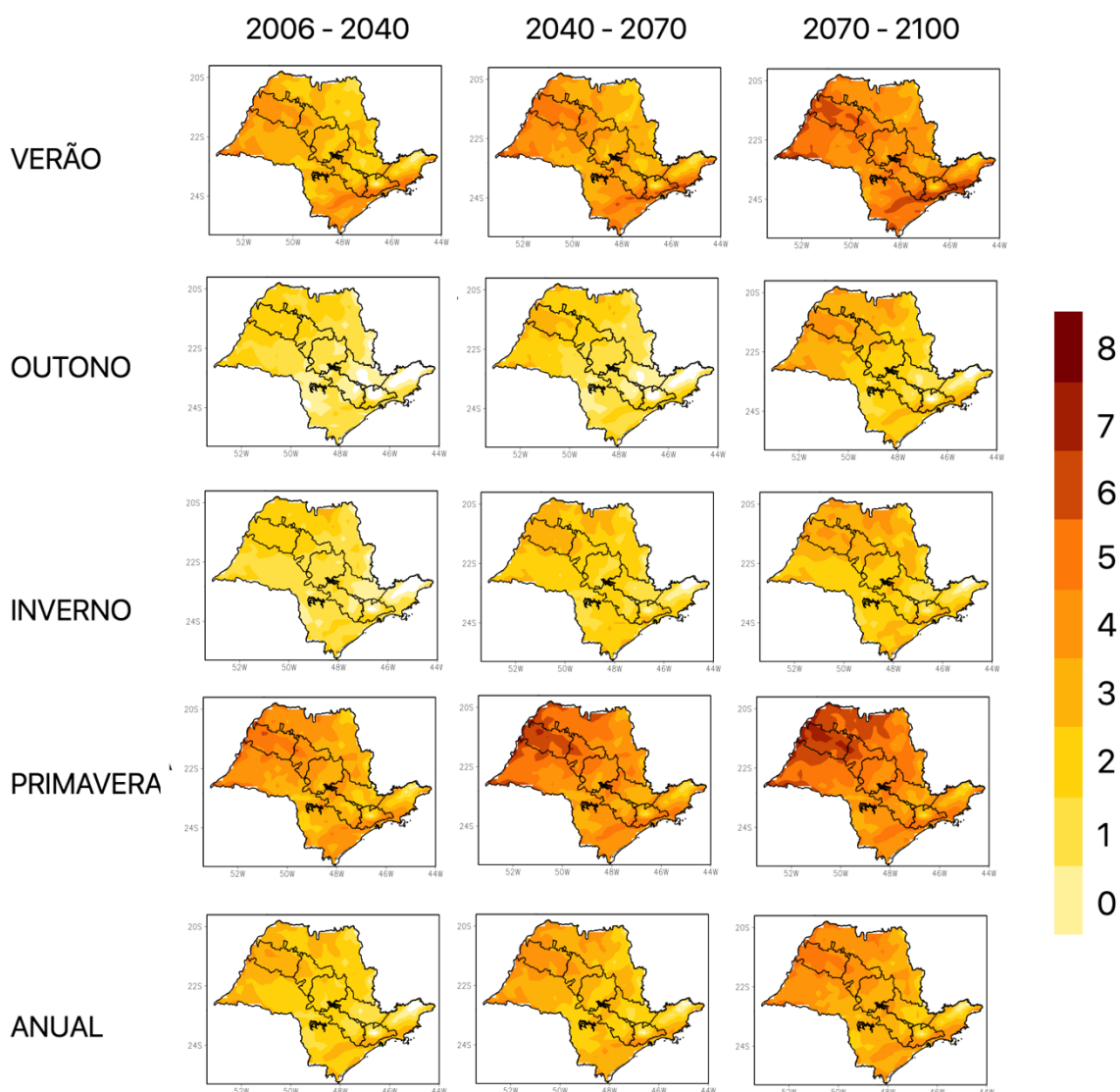
períodos para identificação de mudanças na Ts: futuro próximo 2006 – 2040, futuro 2040 – 2070 e futuro distante 2070 – 2100 foi possível identificar um padrão

É possível identificar que a porção oeste do Estado, durante o verão será a mais afetada com as mudanças no padrão da Ts ao longo do tempo. No RCP 4.5, é projetado para a região do Baixo Tietê no verão um aumento de até 8° C no futuro mais distante (2070 – 2100), bem como ao longo da primavera, onde o mesmo não é índice, cuidado de aumento para essa sub bacia é observado. O segundo maior aumento da Ts é projetado para a sub bacia Alto Tietê, principalmente para as estações de verão e primavera.

As estações de transição, outono e inverno não é transição, obtiveram pouca mudança ao longo dos três intervalos de tempo. O destaque ficou para a região do Baixo Tietê, onde é possível notar maior aquecimento, em torno de 2° C, tanto no outono quanto no inverno. Contudo, a projeção para a média anual indicou um ligeiro aumento na parte baixa da bacia do Tietê. Nela, o aumento permaneceu na ordem de 2° C a 4° C, já partir da sub bacia Alto Tietê até Tietê Jacaré, a jusante do rio, o aumento é de até 2° C.



**Figura 22** - Projeções da temperatura da superfície do continente ( $T_s$ ) para o cenário 4.5 do IPCC nos períodos de 2006 – 2040, 2040 – 2070 e 2070 – 2100. Fonte: Autor.



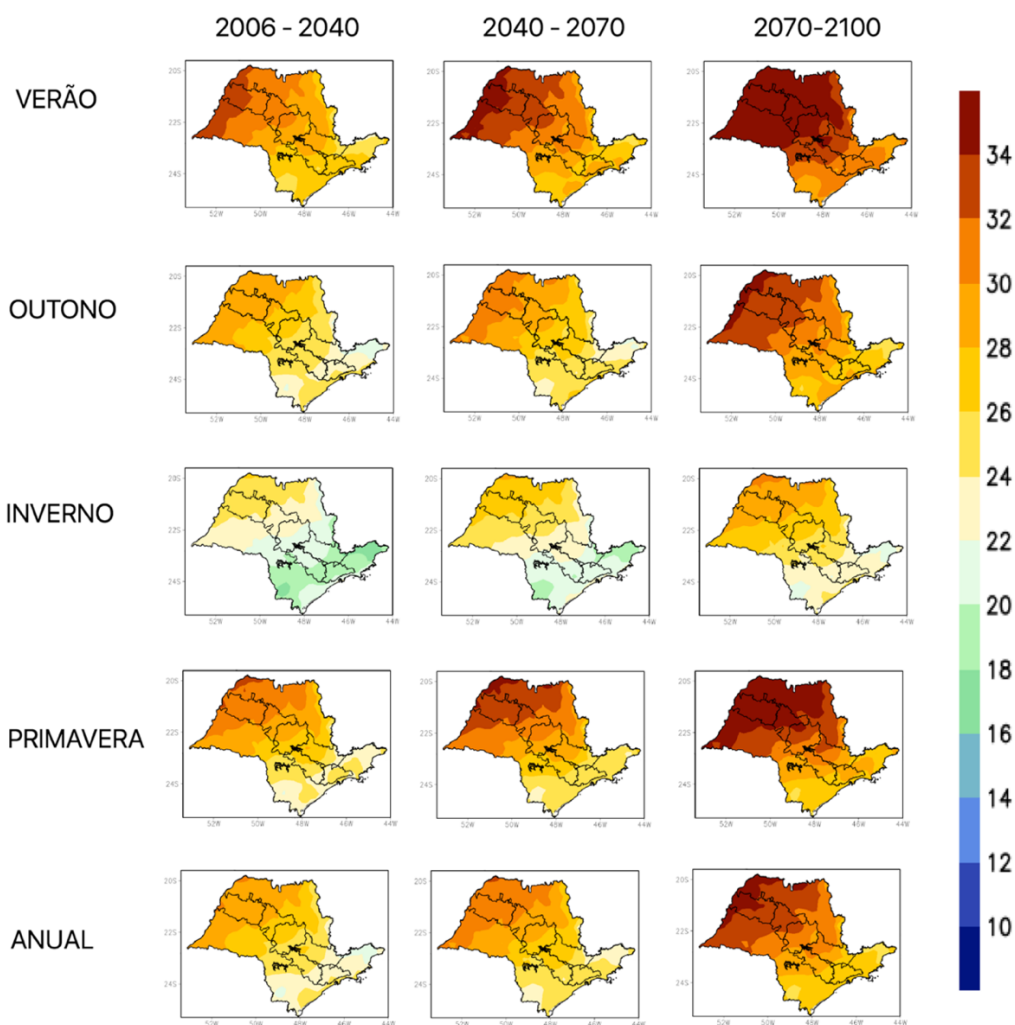
**Figura 23** - Diferença das projeções do modelo ETA com o histórico, segundo o cenário RCP 4.5 do IPCC para os três períodos de análise: 2006 - 2040 (futuro próximo), 2040 - 2070 (futuro) e 2070 - 2100 (futuro distante). Fonte: autor.

As Figuras 24 e 25 mostram o padrão espacial das projeções para o cenário mais pessimista, o RCP 8.5 do IPCC, sendo respectivamente a mudança da média e a diferença para o período inicial (2000 – 2005). Para o Estado e toda região da bacia do Rio Tietê, as mudanças na Ts até 2100 são preocupantes tanto quando observados sazonalmente quanto anualmente.

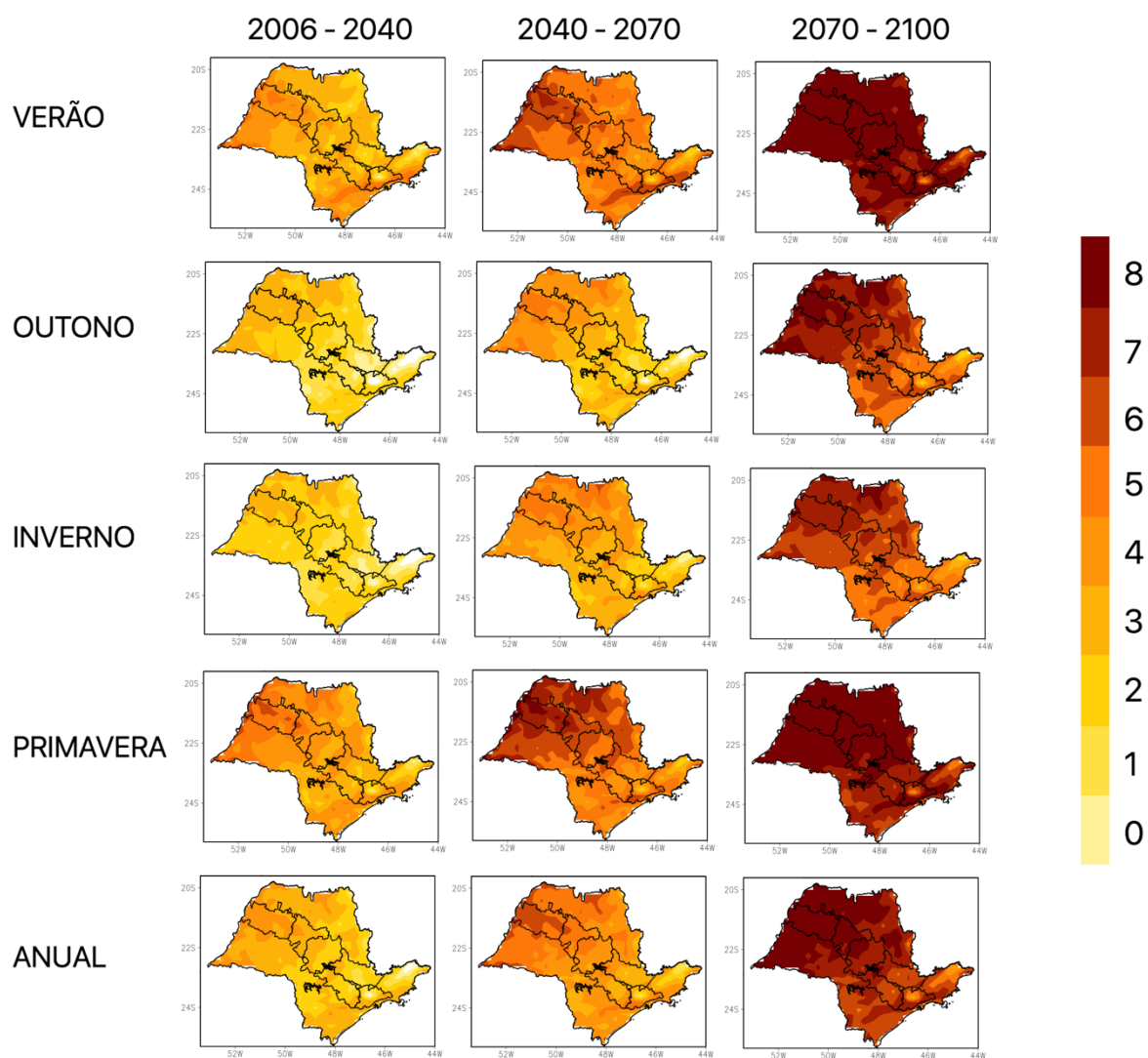
Durante o verão na Figura 22 (RCP 4.5) tinha-se um aquecimento maior restrito a sub bacia Baixo Tietê, porém, na Figura 24 (RCP 8.5) esse aquecimento estende-se até a porção média do rio (Tietê Jacaré); além disso, engloba o início, a montante, da sub bacia Sorocaba Médio Tietê e Piracicaba Jundiáí. A primavera, segunda estação mais quente do

ano, o aumento se dá de forma gradual em toda a faixa em vermelho na Figura 24, que registra 34° C de média, atingindo o médio Tietê e afeta outras áreas do Estado de São Paulo, bem como: serra de Franca a norte (aumento de 8° C), serra de Botucatu e Tabuleiro no centro da região do Tietê Jacaré (aumento de 6° C) e sudoeste do Estado (aumento de 6° C), porém, para essa estação a confiabilidade do modelo mostrou-se baixa, segundo a análise do viés.

No outono e inverno é notado um acentuado aquecimento, principalmente na região do Alto Tietê (a mais vegetada da bacia), onde ocorreu um maior avanço da urbanização. No inverno, o primeiro período (2006 – 2040) registra temperaturas médias em torno de 18° C, já para o último período (2070 – 2100) as projeções indicam esse aquecimento passaria entre 22° C a 24° C, representando um aumento de 4° C a 8° C na média para a estação. Isso tudo coloca em risco inúmeros mecanismos, tanto atmosféricos quanto biológicos na região, além de sinalizar um desequilíbrio desses mecanismos em outras regiões.



**Figura 24** - Projeções da temperatura da superfície do continente (TS) para o cenário 8.5 do IPCC de 2006 até 2100 nos períodos de: 2006 – 2040, 2040 – 2070 e 2070 – 2100. Fonte: Autor.



**Figura 25** - Diferença das projeções do modelo ETA com o histórico (1960 – 2005) segundo o cenário RCP 8.5 do IPCC para os três períodos de análise: 2006 - 2040 (futuro próximo), 2040 - 2070 (futuro) e 2070 - 2100 (futuro distante). Fonte: Autor.

## 6 CONCLUSÃO

O objetivo principal desse estudo foi mostrar mudanças na Ts e possíveis associações com a alteração no uso e ocupação do solo na bacia do rio Tietê. O conjunto de dados do relevo, vegetação e uso e cobertura do solo com a altíssima resolução do sensor MODIS (500 m) foram utilizados para caracterizar a região de estudo.

Com relação à precipitação, é mais abundante no litoral e nos trechos de serra (Serra da Mantiqueira, Serra do Cantareira, Serra do Tabuleiro, Serra de Botucatu e Serra de Franca). O detalhe mais interessante encontrado refere-se às áreas agrícolas alocarem-se na porção da bacia onde os menores valores pluviométricos são registrados. Isso justifica a importância do rio Tietê, que por sua vez, possui áreas navegáveis nas sub bacias Baixo Tietê e Tietê Batalha, localidades essas em que o rio possui diversas atividades econômicas importantes para o PIB do Estado de São Paulo.

Em termos de mudança do uso e ocupação do solo, a área destinada à agropecuária mais que dobrou em tamanho na série analisada (2000 – 2017), principalmente nas sub bacias Baixo Tietê, Tietê Batalha e Tietê Jacaré, ordem a montante do rio. Essa área aumentou cerca de 25%, 18,6% e 10,3% respectivamente, em comparação com sua área inicial, modificando cerca de 11.359 km<sup>2</sup> em toda a bacia hidrográfica. A agricultura registrou o maior aumento de território em toda bacia, seguido pela construção civil, que ficou restrita a regiões mais a montante do rio, como as sub bacias Alto Tietê, Sorocaba Médio Tietê e Piracicaba Jundiáí.

Nas regiões com aumento da área urbana, como a sub bacia do Alto Tietê, houve uma variação positiva na temperatura média do período de 2005/12 para 2013/19 de 1,3° C, com maior retirada de Mata Atlântica para construção civil, esse aumento foi o maior de toda a bacia. As sub bacias Sorocaba Médio Tietê e Piracicaba Jundiáí obtiveram alterações que parecem ser decorrentes da expansão do setor agrícola e da construção civil; nelas o aumento da temperatura média da superfície ficou entre 0,7° C e 0,6° C respectivamente. Já nas sub bacias Tietê Jacaré, Tietê Batalha e Baixo Tietê, as alterações na Ts ficaram entre 0,9° C e 1° C por essa ordem. Essas regiões apresentaram elevadas alterações no uso e cobertura do solo e mesmo, naturalmente, sendo uma localidade com altas temperaturas, acentuou essa característica.



Quanto às projeções do modelo ETA-5 km, os maiores vieses foram registrados nas estações de transição (primavera e outono), apresentando diferenças entre  $-2^{\circ}\text{C}$  e  $2^{\circ}\text{C}$ . No verão e inverno a destreza do modelo foi mais consistente com viés entre  $-1^{\circ}\text{C}$  e  $1^{\circ}\text{C}$ , bem como para as análises anuais. As projeções indicaram aumento em todo Estado de São Paulo, bem como em toda a bacia do rio Tietê, embora algumas regiões esse aquecimento seja mais brando, os valores ficaram todos perto da casa de  $1^{\circ}\text{C}$ . Para o futuro próximo (2006 – 2040) as simulações para o cenário RCP4.5 do IPCC mostraram maior aquecimento de oeste para leste em todas as estações do ano, bem como a média anual. Os maiores aumentos ficaram registrados no verão, em algumas sub bacias (Baixo Tietê e Tietê Batalha) o aumento foi de  $2^{\circ}\text{C}$ , já na região do Alto Tietê (RMSP) as temperaturas subiram  $1,5^{\circ}\text{C}$ . Já para o cenário RCP8.5, o mais pessimista, esse aquecimento ficou entre  $1,5^{\circ}\text{C}$  a  $3^{\circ}\text{C}$ . Em ambos os cenários há grande tendência de aumento da Ts até o final do século. Nas bacias Baixo Tietê, Tietê Batalha e Tietê Jacaré esse aumento pode passar dos  $5^{\circ}\text{C}$  para o verão e ano, bem como o inverno tenderá a ser entre  $2^{\circ}$  a  $3^{\circ}\text{C}$  mais quente até 2100.

A questão das mudanças no uso e cobertura do solo indicam perturbações no balanço de energia do sistema terrestre (albedo). Essa perturbação auxilia no processo de mudanças no clima regional e global e tem que ser pensada e analisada. Práticas de adaptação e mitigação devem ser tomadas urgentemente por políticos e tomadores de decisão. O estudo dessas interferências da ação antrópica é de extrema importância para a sociedade. O presente trabalho abre uma gama de possibilidades para futuras análises tais como: influência de mudanças naturais do clima nas mudanças de Ts, análise de mudança e uso do solo para outras regiões do Brasil, influência dessa mudança nos extremos de precipitação ao longo do rio Tietê e de outros também. Sendo assim, o preenchimento de determinadas lacunas de conhecimento de mudanças físicas devido a ações antrópicas se faz necessário para que mais práticas adaptativas e mitigatórias aconteçam.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB`SABER, A. N. A terra Paulista. *Boletim Paulista de Geografia*, 23, 1 - 33, 1956.
- AMORIM, M. C. ILHAS DE CALOR EM BIRIGUI/SP. *Revista Brasileira de Climatologia*, 121 - 131, 2005.
- AMORIM, M., DUBREUIL, V., CARDOSO, R. Modelagem espacial da ilha de calor urbana em Presidente Prudente (SP) –BRASIL. *Revista Brasileira de Climatologia*, 16(11), pp. 29 - 45, 2015.
- ANDRADE, K. M., CAVALCANTI, I. F. *CLIMATOLOGIA E COMPORTAMENTO DOS SISTEMAS*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2005.
- ARGUELLO, F., DIAS, N., BATISTA, G., PONZONI, F. Spatial distribution of Eucalyptus plantations in the São Paulo State portion of Paraíba do Sul river basin, Brazil. *Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 5(3), 2010.
- ARRAUT, J. M., NOBRE, C., BARBOSA, H., & ÓBREGON, G. Aerial Rivers and Lakes: Looking at Large-Scale Moisture Transport and Its Relation to Amazonia and to Subtropical Rainfall in South America. *Journal of Climate*, 25(2), pp. 543 - 556, 2010.
- BARBOZA, E. C., MACHADO, A. J., & FRANCHINI, A. A. Estimativa do balanço de energia na superfície em cidades do oeste paulista, Brasil. *Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído*, (pp. 1 - 7). Brasília, 2013.
- BARCELLOS, C., MONTEIRO, A., CORV, CORVALAN, C., GURGEL, H., CARVALHO, M., . . . RAGONI, V. Climatic and Environmental Changes and their Effect on Infectious Diseases: Scenarios and Uncertainties for Brazil. *Epidemiol. Serv. Saúde*, 18(3), pp. 285 - 304, 2009.
- BARROS, H. R., LOMBARDO, M. A. A ilha de calor urbana e o uso e cobertura do solo em São Paulo-SP. *GEOUSP: espaço e tempo*, 160 - 177, 2016.
- BARROS, H., LOMBARDO, M. A ilha de calor urbana e o uso e cobertura do solo em São Paulo-SP. *Geo USP: Espaço e Tempo*, 20(1), pp. 160 - 177, 2016.
- BORELLI, E. Cidade e natureza: análise da gestão ambiental da zona costeira do litoral norte paulista. São Paulo, SP, Brasil: PUC/SP, 2006.
- BORMA, L., NOBRE, C. *Secas na Amazônia causas e consequências*. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.
- CÂNDIDO, D. H., NUNES, L. H. Influência da Orografia na precipitação da área entre o Vale do Tietê e a Serra da Mantiqueira. *Espaço e Tempo*, 24, 8 - 27, 2008.
- CALADO, R. N., DEREZYNSKI, C. P., CHOU, S. C., SUEIRO, G., OLIVEIRA, J. D., SILVA, V. R. Avaliação do Desempenho das Simulações por Conjunto do Modelo Eta-5km para o Caso de Chuva Intensa na Bacia do Rio Paraíba do Sul em Janeiro de 2000. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 83 - 96, 2018.

CARRILO, A., MORAIS, M., LANDULFO, E., CAMARGO, R., UEHARA, S., MARIANO, G., JUNIOR, S. Identificação da intrusão da brisa marítima sobre a região metropolitana de São Paulo através da técnica LIDAR aliada à análise meteorológica. V *Workshop Brasileiro de Micrometeorologia* (pp. 411 - 414). São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2007.

CARVALHO, L., JONES, C., & LIEBMANN, B. Extreme Precipitation Events in Southeastern South America and Large-Scale Convective Patterns in the South Atlantic Convergence Zone. *J Climate*, 2377 - 2394(15), 2002.

CAVALCANTI, I. F., KOUSKY, V. E. *Parte I - Sistemas meteorológicos que afetam o tempo na América do Sul: Frentes frias sobre o Brasil*. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

CHOU, S. C., MARENGO, J. A., SILVA, A. J., LYRA, A., TAVARES, P., SOUZA, R. G., . . . MUNIZ, L. A. Projections of Climate Change in the Coastal Area of Santos. *Impacts and Adaptation Options*, pp. 59 - 77, 2018.

COELHO, C., CARDOSO, D., & FIRPO, M. Precipitation diagnostics of an exceptionally dry event. *Theoretical Applied Climatology*, 16, 2015.

COLTRI, P. P., VELASCO, G. D., POLIZEL, J. L., DEMETRIO, V. A., FERREIRA, N. J. Ilhas de Calor da estação de inverno da área urbana do município de Piracicaba, SP. *Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto* (pp. 5151 - 5157). Florianópolis - SC: INPE, 2007.

COMITRE, F. A evolução do uso e ocupação do solo na periferia urbana de Sorocaba-SP: do esquecimento ao despertar dos interesses públicos e privados. *GEO UERJ*, 31(1), 1 - 30, 2017.

CRESPO, J. C., RODRIGUES, W. W., TOMAZELA, M., ALLEONI, B. C., NETO, R. L., POLGA, R., CESAR, R. A. *Relatório de Situação Comitê da Bacia do rio Tietê*. São Paulo: Governo do Estado de São Paulo, 2017.

DA SILVA, E., & REBOITA, M. Estudo da precipitação no estado de Minas Gerais-MG. *Revista Brasileira de Climatologia*, 13(9), pp. 120 - 136, 2013.

DEILAMI, K., KAMRUZZARMAN, M. D., HAYES, J. F. Correlation or Causality between Land Cover Patterns and the Urban Heat Island Effect? Evidence from Brisbane, Australia. *Remote Sensing*, p. 716, 2016.

DIAS, C. G., REBOITA, M. S., DA ROCHA, R. P. Validação da Temperatura do Ar Simulada sobre a América do Sul pelo Regional Climate Model (RegCM3) entre 1960-1990. *Congresso Brasileiro de Meteorologia*. Gramado: RBMET, 2012.

DIAS, M., CARVALHO, L., DIAS, J., FREITAS, E. Changes in extreme daily rainfall for São Paulo, Brazil. *Climate Change*, pp. 1 - 21, 2013.

DIXON, P. G., MOTE, T. L. Patterns and Causes of Atlanta's Urban Heat Island-Initiated Precipitation. *Advancing Science*, pp. 1273 - 1284, 2003.

- EK, M., MITCHEL, M. K., LIU, Y., ROGERS, E., GRUNMAN, P., KOREN, V., . . . TARPLEY, J. D. Implementation of Noah Land Model advances in the NCEP operational Eta Model. *Journal of Geophysical Research*, 8851-8867, 2003.
- ESCOBAR, G. J. Padroões sinóticos associados a ondas de frio na cidade de São Paulo. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 22(2), 241-254, 2007.
- FERREIRA, J., DANTAS, M. Análise do albedo da superfície e de índices de vegetação por sensoriamento remoto na bacia hidrográfica do Rio Pacoti - CE. *Revista Tecnologia*, pp. 1 - 18, 2018.
- FREITAS, E., SILVA DIAS, P. Desenvolvimento da brisa marítima sob diferentes situações de grande escala: um estudo de caso. *Research Gate*, 1 - 12, 2004.
- GAN, M., DOS SANTOS, L., LIMA, J., AFONSO, M. Monção na América do Sul. *Climanálise*, 1 - 6, 2006.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística*. Acesso em 05 de Junho de 2018, disponível em <https://www.ibge.gov.br/>, 2018.
- KLEIN, A. *Eugen Warming e o cerrado brasileiro* (Vol. 1). (UNESP, Ed.) São Paulo, São Paulo, Brasil : UNESP, 2000.
- LOPES, D., GRIGIO, A. Análise Multitemporal do Uso e Ocupação dos Solos do Município de Tibau - RN ao Longo dos Anos de 1999, 2006 e 2016. *Anuário de Geociências*, 42, pp. 599 - 608, 2019.
- LYRA, A., TAVARES, P., CHOU, S. C., SUEIRO, G., DEREZYNSKI, C., SONDERMANN, M., . . . GIAROLLA, A. Climate change projections over three metropolitan regions in Southeast Brazil using the non-hydrostatic Eta regional climate model at 5-km resolution. *Theoretical and Applied Climatology*, 132(1), 663-682, 2018.
- MALAVELLE, F., HAYWOOD, J., MERCADO, L., FOLBERTH, G., BELLOUIN, N., SITCH, S., ARTAXO, P. Studying the impact of biomass burning aerosol radiative and climate effects on the Amazon rainforest productivity with an Earth system model. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 19, pp. 1301 - 1326, 2019.
- MARENGO, J., MAGRIN, G. *Intergovernmental Panel on Climate Change Chapter 27*. United Nations, 2014.
- MARENGO, J., LIEBMANN, B., GRIMM, A., MISRA, V., SILVA DIAS, P., CAVALCANTI, I., . . . ALVES, L. Review recent developments on the South American monsoon system. *International Journal of Climatology*, 32(1), pp. 1 - 21, 2012.
- MARENGO, J., OBREGON, G., RAMIREZ, V. Observed and projected changes in rainfall. *Climate Research*, 57, 61 - 72, 2013.
- MARENGO, J. ROGERS, J. Cold front and polar air outbreaks in the Americas during modern climate assessments and impacts, and some past climate evidences. In: MARGRAF, V. (ed.). *Present and Past Inter-Hemispheric Climate Linkages in the Americas and Their Societal Effects*. Berlin: Springer-Verlag, 2000.

- MARUYAMA, L. S., CASTRO, P. G., PAIVA, P., SILVA, M. A., SILVA, K. M. Produção Pesqueira do Baixo Tietê, nos anos de 2003 - 2004. São Paulo, São Paulo, Brasil: Governo do Estado de São Paulo, 2010.
- MEDEIROS, R. B., MIGUEL, A. S., BRUGNOLLI, C. C. Caracterização Fisiográfica da Bacia Hidrográfica do Córrego das Marrecas Dracena-SP. *Fórum Ambiental do Alto Paulista*, 10(2), 41 - 56, 2014.
- MEIRELES, L., SHEPHERD, G., KINOSHITA, L. Variações na composição florística e na estrutura fitossociológica de uma floresta ombrófila densa alto-montana na Serra da Mantiqueira, Monte Verde, MG. *Revista Brasileira de Botânica*, 31(4), 559 - 574, 2008.
- MENDONÇA, F. O. O clima urbano de cidades de porte médio e pequeno: aspectos teórico-metodológico e estudos de caso. *Vulnerabilidade e Mudanças Climáticas*, 167 - 192 , 2000.
- MONTINI, T., JONES, C., CARVALHO, L. The South American Low-Level Jet: A new climatology, variability and changes. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, pp. 1200 - 1219, 2019.
- NEGRI, B. Urbanização e demanda de recursos hídricos na bacia do rio Piracicaba no Estado de São Paulo. *VIII Encontro Nacional de Estudos Populacionais* (pp. 65 - 77). Associação Brasileira de Estudos Populacionais, 2006.
- NOBRE, C. A., SAMPAIO, G. O., SALAZAR, L. Mudanças climáticas e amazônia . *Ciência e Cultura*, 1 - 13, 2007.
- OLIVEIRA, A., SILVA DIAS, P. Aspectos Observacionais da Brisa Marítima em São Paulo. *Congresso Brasileiro de Meteorologia.2*, pp. 129 - 161. Pelotas: RBMET, 1982.
- OLIVEIRA, A., BORNSTEIN, R., SOARES, J. Annual and Diurnal Wind Patterns in the City of São Paulo. *Water, Air and Soil Pollution: Focus*, 3(1), pp. 3 - 15, 2003.
- PEREIRA FILHO, A. J., HAAS, R., AMBRIZZI, T. Caracterização de eventos de enchentes na bacia do Alto Tietê por meio do radar meteorológico e da modelagem numérica de mesoescala. *Congresso Brasileiro de Meteorologia* (p. 12). Foz do Iguaçu: CBM, 2002.
- PERES, L. F., LUCENA, A. J., ROTUNNO FILHO, O. T., FRANÇA, J. A. The urban heat island in Rio de Janeiro, Brazil, in the last 30 years using remote sensing data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 64, 104-116, 2018.
- REBOITA, M. S., AMBRIZZI, T., SILVA, B., PINHEIRO, R., DA ROCHA, R. P. The South Atlantic Subtropical Anticyclone: Present and Future Climate . *Frontiers in Earth Science, section Atmospheric Science*, 2019.
- REBOITA, M. S., DA ROCHA, R. P., DIAS, C. G., YNOUE, R. Y. Climate Projections for South America: RegCM3 Driven by HadCM3 and ECHAM5. *Advances in Meteorology*, p. 17, 2014.
- REBOITA, M. S., GAN, M. A., AMBRIZZI, T. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 25, 185-204, 2010.
- REBOITA, M., DIAS PINTO, J. *Área de Proteção Ambiental, Plano de Manejo (Clima)*. Universidade de São Paulo. São Paulo: USP, 2013.

- REBOITA, M., KRUSCHE, N., SARAIVA, J. Normais Climatológicas Provisórias de 1991 à 2000 para Rio Grande - RS. *Imprensa Universitária*, 84, 2002.
- REZENDE, L., KAISER, I. M., PEIXOTO, A. S. Vulnerabilidade Ambiental das Margens do rio Tietê. *Gestão e Sustentabilidade Ambiental*, 7(1), 136 - 166, 2018.
- RODRIGUES, R. R., WOLLINGS, T. Impact of Atmospheric Blocking on South America in Austral Summer. *America Meteorology Society*, 30(1), 1821 - 1837, 2017.
- ROSS, J. L., MOROZ, I. C. *Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo*. São Paulo: Universidade de São Paulo - USP, 2011.
- RUV LEMES, M. C., SAMPAIO, G. O., FISCH, G., TEDESCHI, R. G. Analysis of moisture transport from Amazonia to the. *Chycle SCI Forum*, 1, 1 - 8, 2017.
- SAMPAIO, G. O. *El Niño e você - o fenômeno climático* 1 ed., Vol. 1, São José dos Campos: Transtec Editorial, 2001.
- SANTOS, D. F., MARTINS, F. B., TORRES, R. R. Impacto das mudanças climáticas no zoneamento de aptidão climática das principais frutíferas de clima temperado nas Regiões Sul e Sudeste do Brasil. *Repositório UNIFEI*. Itajubá, Minas Gerais, Brasil: Unifei, 2018.
- SANTOS, D., REBOITA, M. Jatos de Baixos Níveis a leste dos Andes: Comparação entre duas reanálises. *Revista Brasileira de Climatologia*, 22(14), pp. 423 - 445, 2018.
- SANTOS, G. G., GREIBELER, N. P., OLIVEIRA, L. F. Chuvas intensas relacionadas à erosão hídrica. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 115 - 123, 2010.
- SEABRA, O. L. Bacia do Alto Tietê: a montagem do sistema hidrelétrico de São Paulo e sua problemática. *Boletim Paulista de Geografia*, 100, 56 - 84, 2018.
- SENA, C. A., FRANÇA, J. R., PERES, L. F. Estudo da Ilha de Calor na Região Metropolitana do Rio de Janeiro Usando Dados do MODIS. *Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ*, 37(2), pp. 111 - 122, 2014.
- SILVA DIAS, P., CARVALHO, L., SILVA DIAS, M. Changes in extreme daily rainfall for São Paulo, Brasil. *Climate Change*, 1(116), 706 - 722, 2012.
- SILVA, A. E. Variabilidade da circulação e transporte de umidade no regime de Monção da América do Sul. p. 137, 2009.
- SILVA, M. S., GUETTER, A. K. Mudanças climáticas regionais observadas no estado do Paraná. *Revista Terra Livre*, n-20, p 1 - 13. 2015.
- SIQUEIRA, M., DURIGAN, G. Modelagem da distribuição geográfica de espécies lenhosas de cerrado no Estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Botânica*, 30(2), 233 - 243, 2007.
- SOUZA, A., ESCOBAR, G. Caracterização de Sistemas Frontais em Latitude Tropicais e Subtropicais da América do Sul. *Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais*, 2016.
- SUGAHARA, R., YNOUE, R., SILVEIRA, R. Homogeneity assessment of a station climate series (1933–2005) in the Metropolitan Area of São Paulo: instruments change and urbanization effects. *Theoretical and Applied Climatology*, 107(3), 361 - 374, 2012.

- TANG, R., ZHAO, X., ZHOU, T., JIANG, B., WU, D., TANG, B. Assessing the impacts of urbanization on albedo in Jing-Jin-Ji region of China. *Remote Sensing*, 10(1096), pp. 1 - 21, 2018.
- TEDESCHI, R. G., GRIMM, A. M., CAVALCANTI, I. F. Influence of Central and East ENOS on extreme events of precipitation in South America during austral spring and summer. *International Journal of Climatology*(35), 2045 - 2064, 2015.
- TEIXEIRA, D., AMORIM, M. O estudo da ilha de calor em cidades de pequeno porte: algumas contribuições. *Sociedade Natureza*, 30(2), pp. 186 - 209, 2018.
- THACKERAY, C., Qu, X., HALL, A. Reducing Uncertainty in Projected Arctic Sea Ice Albedo Feedback. *American Geophysical Union*, 2018.
- TUNDISI, J. M., TUNDISI-MATSUMURA, T., PARESCHI, D., LUZIA, A., VON HAELING, P., FROLLINI, E. a bacia hidrográfica do Tietê/Jacaré: estudo de caso em pesquisa e gerenciamento. *Estudos Avançados*, 22(63), 159 - 172, 2018.
- VERA, C., HIGGINS, W., AMBRIZZI, T., AMADOR, J., GARREAUD, R., GOCHIS, D., . . . ZHANG, C. Toward a unified view of the American monsoon systems. *Journal of Climate*, 12(138), 6-8, 2006.
- VILELA, R. J. The South Atlantic Convergence Zone: A Critical View and Overview. *Revista do Instituto Geológico de São Paulo*, 38(2), 1 -19, 2017.
- WHANG, C., DESER, C., JIN, Y. P., DINEZIO, P., CLEMENT, A. El Niño and Southern Oscillation (ENSO): A Review. *Coral Reefs of the Eastern Tropical Pacific*, 8(1), 85-106, 2016.
- XIAOMING, S., KERRY, C. C., EDWARD, K. V. The South Atlantic Subtropical High: Climatology and Interannual Variability. *American Meteorology Society*, 30(1), 3279 - 3284, 2017.
- ZIERMANN, R. H., MORAES, O. M., TEICHRIEB, C. A., PIVA, E. D., ANABOR, V. Redução de escala de dados de vento de modelos regionais para modelos de dispersão atmosférica. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 27(1), 23 - 30, 2012.

## 8 ANEXOS

### 8.1 Tabela das estações utilizadas

A Figura 26, em formato de quadro, representa todas os 331 PP espalhados pelo estado de São Paulo.

ID	Município	Latitude	Longitude
2	Aguas de Santa Barbara	-22,88	-49,24
3	Alfredo Marcondes	-21,96	-51,41
4	Alto Alegre	-21,59	-50,17
6	Alvinlândia	-22,44	-49,76
7	Américo de Campos	-20,31	-49,74
8	Amparo	-22,71	-46,77
9	Analândia	-22,13	-47,66
10	Andradina	-20,91	-51,38
11	Angatuba	-23,49	-48,41
12	Apiaí	-24,51	-48,84
13	Araçatuba	-21,21	-50,44
14	Araras	-22,36	-47,38
15	Artur Nogueira	-22,57	-47,17
16	Avaí	-22,15	-49,32
17	Avaré	-23,11	-48,93
18	Balsamo	-20,74	-49,58
19	Bananal	-22,71	-44,19
20	Barbosa	-21,27	-49,95
21	Barra do Turvo	-24,76	-48,51
22	Barrinha	-21,21	-48,16



23	Barueri	-23,51	-46,88
24	Bastos	-21,92	-50,73
25	Batatais	-20,89	-47,59
26	Bebedouro	-20,95	-48,48
27	Bertioga	-23,81	-46,06
28	Bofete	-23,11	-48,26
29	Botucatu	-22,88	-48,44
30	Braúna	-21,51	-51,32
31	Brejo Alegre	-21,17	-50,18
32	Brodosqui	-20,99	-47,65
33	Buritizal	-20,19	-47,71
34	Cabrália Paulista	-22,46	-49,34
35	Caçapava	-23,11	-45,71
36	Caconde	-21,53	-46,64
37	Cafelândia	-21,81	-49,61
38	Caiabu	-22,01	-51,23
39	Cajobi	-20,87	-48,82
40	Campinas	-22,91	-47,06
41	Campos Novos Paulista	-22,61	-50,01
42	Cananeia	-25,01	-47,94
43	Candido Mota	-22,75	-50,39
44	Candido Rodrigues	-21,33	-48,63
45	Capivari	-23,01	-47,61
46	Cardoso	-20,08	-49,98
47	Casa Branca	-21,77	-47,09
49	Catiguá	-21,06	-49,06
50	Cedral	-20,91	-49,27
51	Cerqueira Cesar	-23,05	-49,17
52	Charqueada	-22,51	-47,77

53	Chavantes	-23,04	-49,71
54	Colina	-20,71	-48,54
55	Colômbia	-20,18	-48,69
56	Coroados	-21,36	-50,29
57	Corumbataí	-22,22	-47,63
58	Cosmópolis	-22,64	-47,19
59	Cosmorama	-20,41	-49,73
60	Cravinhos	-21,34	-47,73
61	Descalvado	-21,92	-47,62
62	Dois Córregos	-22,37	-48,39
63	Dolcinópolis	-20,12	-50,51
64	Dourado	-22,11	-48,31
65	Dracena	-21,48	-51,54
66	Echaporã	-22,43	-50,21
67	Emilianópolis	-21,83	-51,43
68	Fernandópolis	-20,28	-50,25
69	Flora Rica	-21,68	-51,38
70	Florida Paulista	-21,63	-51,17
71	Franca	-20,54	-47,42
72	Gália	-22,29	-49,55
73	Getulina	-21,81	-49,93
74	Guaimbê	-21,91	-49,91
75	Guapiaçu	-20,79	-49,22
76	Guaraçai	-21,03	-51,21
77	Guarani D'Oeste	-20,07	-50,63
78	Guarantã	-21,89	-49,59
79	Guariba	-21,36	-48,23
80	Guarulhos	-23,46	-46,53
81	Holambra	-22,64	-47,05

82	Iacri	-21,86	-50,69
83	Ibirá	-21,08	-49,25
84	Ibitinga	-21,76	-48,83
85	Ibiúna	-23,66	-47,22
86	Icem	-20,34	-49,19
87	Igaratá	-23,21	-46,15
88	Iguape	-24,71	-47,56
89	Indaiatuba	-20,09	-47,21
90	Indiana	-22,15	-51,25
91	Ipaussu	-23,06	-49,63
92	Iperó	-23,25	-47,69
93	Iporanga	-24,59	-48,61
94	Ipuã	-20,44	-48,01
95	Irapuru	-21,57	-51,35
96	Itaberá	-23,86	-49,14
97	Itajobi	-21,31	-49,06
98	Itapecerica da Serra	-23,72	-46,86
99	Itapetininga	-23,59	-48,05
100	Itapira	-22,44	-46,82
101	Itápolis	-21,61	-48,81
102	Itaquaquecetuba	-23,48	-46,35
103	Itararé	-24,28	-47,17
104	Itatiba	-23,01	-46,85
105	Itirapina	-22,26	-47,82
106	Itirapina	-20,64	-47,16
107	Ituverava	-20,35	-47,79
108	Jaborandi	-20,91	-47,27
109	Jaboticabal	-21,25	-48,33
110	Jacupiranga	-24,71	-48,01

111	Jaguariúna	-22,71	-46,99
112	Jales	-20,27	-50,55
113	Jardinópolis	-21,03	-47,77
114	Jarinu	-23,11	-46,73
115	Jaú	-22,31	-48,58
116	Joanópolis	-22,93	-46,28
117	José Bonifácio	-21,04	-49,69
118	Jundiaí	-23,19	-46,91
119	Juquiá	-24,32	-47,64
120	Laranjal Paulista	-23,05	-47,84
121	Leme	-22,18	-47,41
122	Lençóis Paulista	-22,61	-48,81
123	Limeira	-22,57	-47,41
124	Lorena	-22,73	-45,12
125	Lucélia	-22,08	-51,47
126	Luís Antônio	-21,55	-47,71
127	Luisiania	-21,67	-50,32
128	Lutecia	-22,34	-50,39
129	Macedônia	-20,14	-50,21
130	Magda	-20,64	-50,23
131	Marabá Paulista	-22,11	-51,96
132	Marília	-22,22	-49,95
133	Matão	-21,61	-48,36
134	Mendonça	-21,18	-49,58
135	Mirandópolis	-21,13	-51,11
136	Mirante do Paranema	-22,29	-51,91
137	Mirassol	-20,82	-49,52
138	Mirassolândia	-20,62	-49,46
139	Moji Mirim	-22,43	-46,95

140	Mongaguá	-24,11	-46,68
141	Monte Alegre do Sul	-22,68	-46,68
142	Monte Alto	-21,22	-48,51
143	Monte Aprazível	-20,77	-49,71
144	Monte Castelo	-21,29	-51,56
145	Morro Agudo	-20,73	-48,06
146	Morungaba	-22,89	-46,77
147	Murutinga do Sul	-21,01	-51,26
148	Narandiba	-22,41	-51,52
149	Natividade da Serra	-23,38	-45,45
150	Nazaré Paulista	-23,18	-46,41
151	Nipoa	-20,92	-49,78
152	Nova Europa	-21,78	-48,56
153	Ocacu	-22,44	-49,92
154	Óleo	-22,94	-49,34
155	Olímpia	-20,74	-48,91
156	Onda Verde	-20,62	-49,31
157	Orinduva	-20,18	-49,35
158	Orlândia	-20,72	-47,89
159	Oswaldo Cruz	-21,79	-50,89
160	Ourinhos	-22,98	-49,87
161	Palestina	-20,39	-49,43
162	Palmeira D'Oeste	-20,41	-50,76
163	Paraguaçu Paulista	-22,42	-50,57
164	Parapua	-21,78	-50,79
165	Pardinho	-23,08	-48,38
166	Pariquera Açu	-24,71	-47,88
167	Parisi	-20,31	-50,01
168	Patrocínio Paulista	-20,64	-47,28

169	Paulistanea	-22,58	-49,41
170	Pederneiras	-22,35	-48,78
171	Pedregulho	-20,26	-47,48
172	Pedro Toledo	-24,28	-47,23
173	Penápolis	-21,42	-50,08
174	Pereira Barreto	-20,64	-51,11
175	Peruíbe	-24,32	-47,01
176	Piacatu	-21,59	-50,61
177	Piedade	-23,71	-47,43
178	Pilar do Sul	-23,81	-47,72
179	Pindorama	-21,19	-48,91
181	Piquerobi	-21,88	-51,73
182	Piracicaba	-22,73	-47,65
183	Pirapozinho	-22,28	-51,51
184	Pirassununga	-22,01	-47,43
185	Platina	-22,64	-50,21
186	Pontalinda	-20,44	-50,52
187	Porangaba	-23,18	-48,12
188	Porto Feliz	-23,22	-47,52
189	Potirendaba	-21,04	-49,38
190	Praia Grande	-24,01	-46,41
191	Presidente Prudente	-22,12	-51,38
192	Promissão	-21,54	-49,86
193	Quatá	-22,26	-50,71
194	Queiros	-21,81	-50,24
195	Redenção da Serra	-23,27	-45,54
196	Registro	-24,51	-47,84
197	Ribeira	-24,64	-49,01
198	Ribeirão Bonito	-22,06	-48,17

199	Ribeirão Branco	-24,22	-48,77
200	Ribeirão do Sul	-22,78	-49,93
201	Rifaina	-20,08	-47,42
202	Rio Claro	-22,41	-47,57
203	Salesópolis	-23,53	-45,85
204	Sandovalina	-22,46	-51,77
205	Santa Adélia	-21,24	-48,81
206	Santa Albertina	-20,03	-50,73
207	Santa Cruz do Rio Pardo	-22,91	-49,63
208	Santa Isabel	-23,32	-46,22
209	Santa Lucia	-21,69	-48,08
210	Santa Rosa de Viterbo	-21,48	-47,36
211	Santana do Parnaíba	-23,42	-46,86
212	Santo Anastácio	-21,99	-51,66
213	Santo Antônio da Alegria	-21,09	-47,15
214	Santo Antônio do Jardim	-22,35	-46,94
215	Santo Antônio do Pinhal	-22,83	-45,67
216	Santos	-23,95	-46,33
217	São Carlos	-22,02	-47,89
218	São João da Boa Vista	-21,97	-46,79
219	São Joaquim da Barra	-20,58	-47,88
220	São José da Bela Vista	-20,61	-47,64
221	São José do Rio Preto	-20,82	-49,38
222	São Manuel	-22,73	-48,57
223	São Miguel Arcanjo	-23,92	-47,96
224	São Pedro do Turvo	-22,74	-49,73
225	São Sebastião	-23,76	-45,41
226	São Sebastião da Gramma	-21,72	-46,82
227	São Simão	-21,48	-47,55

228	São Vicente	-23,96	-46,39
229	São José dos Campos	-23,18	-45,89
230	Sarutaia	-23,27	-49,48
231	Sebastianópolis do Sul	-20,66	-49,92
232	Serra Negra	-22,61	-46,71
233	Serrana	-21,21	-47,61
234	Sertãozinho	-21,14	-47,99
235	Sete Barras	-24,38	-47,93
236	Socorro	-22,59	-46,53
237	Tabapuã	-20,96	-49,03
238	Taciba	-22,39	-51,29
239	Tapiratiba	-21,47	-46,75
240	Taquaritinga	-21,41	-48,51
241	Taquarituba	-23,53	-49,25
242	Tatui	-23,35	-47,85
243	Terra Roxa	-20,79	-48,33
244	Tietê	-23,11	-47,71
245	Torrinha	-22,42	-48,17
246	Tupã	-21,93	-50,52
247	Turiuba	-20,51	-50,12
248	Ubirajara	-22,53	-49,66
249	Urania	-20,25	-50,65
250	Urupês	-21,21	-49,29
251	Valentim Gentil	-20,42	-50,09
252	Vargem	-22,89	-46,41
253	Vista Alegre do Alto	-21,16	-50,17
255	São Paulo	-23,55	-46,63
256	Sorocaba	-23,51	-47,45
257	Jacareí	-23,31	-45,97



258	Suzano	-23,55	-46,31
259	Atibaia	-23,12	-46,56
260	Castilho	-20,87	-51,49
262	Guararapes	-21,25	-50,65
263	Santo Antônio do Araranguá	-20,93	-50,95
264	Borborema	-21,62	-49,08
265	Arealva	-22,03	-48,91
266	Boa Esperança do Sul	-21,99	-48,39
304	Ubatuba	-23,43	-45,09
305	Caraguatatuba	-23,63	-45,42
306	São Sebastiao	-23,68	-45,55
307	Cajati	-24,73	-48,11
308	Agudos	-22,46	-48,98
309	Altair	-20,31	-49,03
310	Taubaté	-23,02	-45,56
311	Paraibuna	-23,39	-45,66
312	Altinópolis	-21,02	-47,37
313	Arujá	-23,31	-46,32
314	Bragança Pta	-22,95	-46,54
315	Cajuru	-21,28	-47,31
316	Campos do Jd	-22,74	-45,61
317	Cotia	-23,61	-46,92
318	Assis	-22,66	-50,42
319	Americana	-22,74	-47,33
320	Cristais Paulista	-20,41	-47,43
321	Euclides	-22,56	-52,59
322	Guararapes	-21,25	-50,65
323	Guareí	-23,37	-48,19
324	Guarujá	-23,99	-46,26

325	Iepe	-22,64	-51,11
326	Ilhabela	-23,78	-45,37
327	Ipeuna	-22,44	-47,72
328	Itapeva	-23,98	-48,88
329	Itariporã Paulista	-24,58	-49,17
330	Itapetininga	-23,59	-48,05
331	Lindoia	-22,52	-46,65
332	Marinque	-23,55	-47,19
333	Monte Azul	-20,91	-48,64
334	Monte Mor	-22,95	-47,31
335	Monteiro Lobato	-22,96	-45,84
336	Nuporanga	-20,73	-47,75
337	Ouro Verde	-21,49	-51,71
338	Palmital	-22,79	-50,22
339	Panorama	-21,35	-51,86
340	Pereiras	-23,07	-47,98
341	Pitangueiras	-21,01	-48,22
342	Pradópolis	-21,36	-48,07
343	Rancheria	-22,23	-50,89
344	Ribeirão Preto	-21,17	-47,81
345	Ribeirão Pires	-23,71	-46,41
346	Rio das Pedras	-22,84	-47,61
347	Sales Oliveira	-20,77	-47,84
348	Salmourão	-21,63	-50,86
349	Salto	-23,21	-47,29
350	Santa Barbara D'Oeste	-22,76	-47,41
351	São Caetano	-23,62	-46,56
352	São Lourenço da Serra	-23,85	-46,94
353	São José do Rio Pardo	-21,61	-46,89

354	São Luiz do Paraitinga	-23,23	-45,32
355	Silveiras	-22,67	-44,85
356	Sumaré	-22,83	-47,27
357	Tabatinga	-21,72	-48,69
358	Taguai	-23,45	-49,41
359	Tapiraí	-23,96	-47,51
360	Teodoro Sampaio	-22,53	-52,17
361	Vargem Grande do Sul	-21,83	-46,89
362	Votuporanga	-20,42	-49,97
363	Jambeiro	-23,25	-45,69
364	Cunha	-23,08	-44,96
365	Aguai	-22,06	-46,97
366	Campina do Monte Alegre	-23,59	-48,49
367	Paranapanema	-23,39	-48,72
368	Capão Bonito	-24,01	-48,35
369	Anhembi	-23,52	-46,64
370	São Pedro	-22,55	-47,91

**Figura 26** - Quadro das estações utilizadas para as médias pluviométricas.

## **8.2 Tutoriais**

### **8.2.1 Introdução ao Argis / Qgis e sua utilização para Meteorologia**

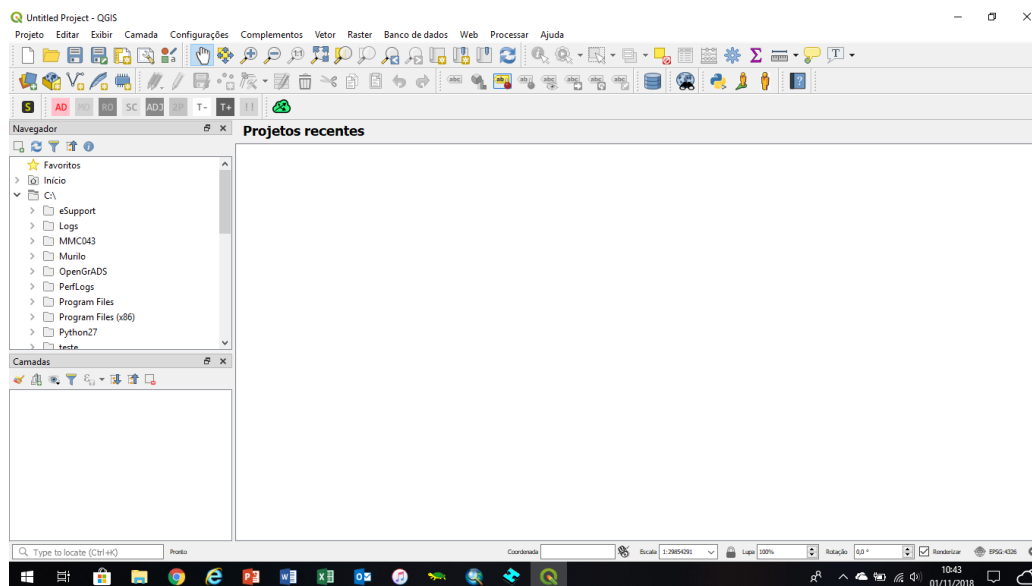
#### **Conhecendo o QGIS**

Tanto o ArcGis quanto o QGIS são softwares para manipulação de dados com o objetivo de uma melhor visualização. Esses dados podem ser físicos (vegetação, cobertura do solo, relevo, geologia do local, pedologia, entre outros), humanos (densidade populacional, uso e cobertura do solo, população, diversos tipos de senso) além de dados meteorológicos (precipitação, temperatura, vento, entre várias outras variáveis).

Ambos possuem uma fácil interface, a diferença está em como adquiri-los. O Quantum GIS, ou QGIS, está disponível gratuitamente no site [https://www.qgis.org/pt\\_BR/site/forusers/download.html](https://www.qgis.org/pt_BR/site/forusers/download.html), além de possuir versão para Windows e Mac iOS. Já o ArcGIS é uma versão paga, para mais informações acesse <http://www.img.com.br/apps/arcgis-pro/licensing>.

#### Interface do QGIS

A Figura 27 ressalta a primeira interface da Versão 3.4 Madeira.



**Figura 27** - Interface do QGIS.

Primeiramente vamos dar um apanhado geral nas principais e mais importantes ferramentas do QGIS. Na barra do topo (Figura 28), na primeira linha temos as várias opções de configurações do projeto. A aba Vetor e Raster, serão utilizadas quando for necessárias modificações com os seus produtos. É possível, cortar, juntar e até modificar seus arquivos .shp através dessas opções. Abaixo da primeira barra, temos opções para salvar o projeto, seja ele como projeto QGIS, para continuar outra hora e, também, salvar como imagem. Da esquerda para a direita, ainda na segunda linha, temos a 5ª opção, o desenho de uma folha de papel como uma régua. Essa opção serve para, sempre que finalizado o trabalho no shape, você possa finalizar a imagem, ou seja, colocar legenda, escala, título, grade, entre outras informações complementares dos seus mapas. A diante, temos as ferramentas de melhor visualização, mais zoom, menos zoom, enquadramento total e foco em um determinado ponto.

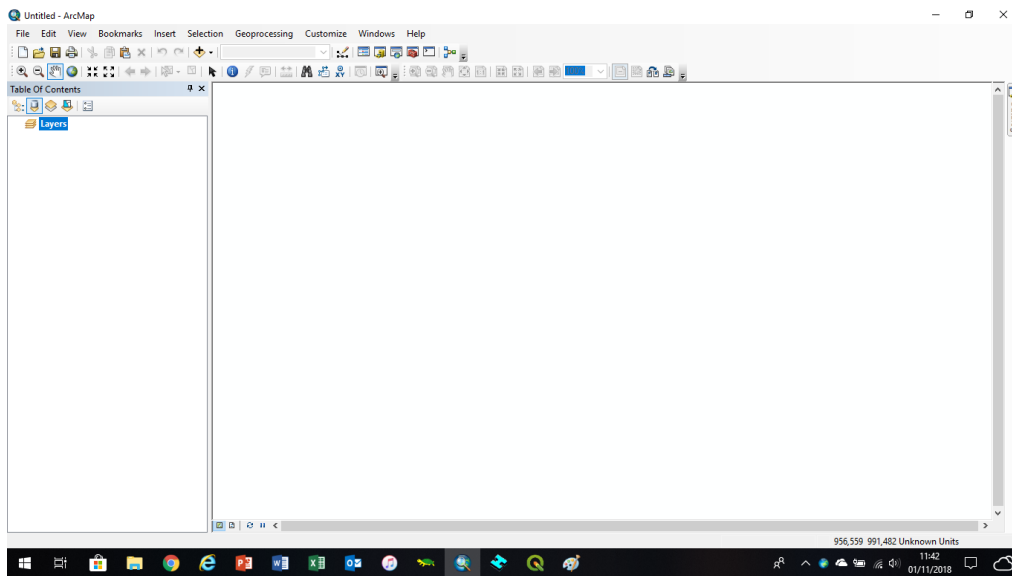
Na terceira fileira de opções encontram-se as opções para abrir os arquivos, seja ele vetor (.shp) no terceiro item da esquerda para a direita, seja ele raster (.TIFF), primeiro item da terceira fileira. Nela é possível ajustar vários itens, como por exemplo a projeção na qual o arquivo será plotado, lembrando que, uma vez escolhido a projeção, todos os outros arquivos necessitam estar na mesma.



**Figura 28** - Barra de opções do QGIS

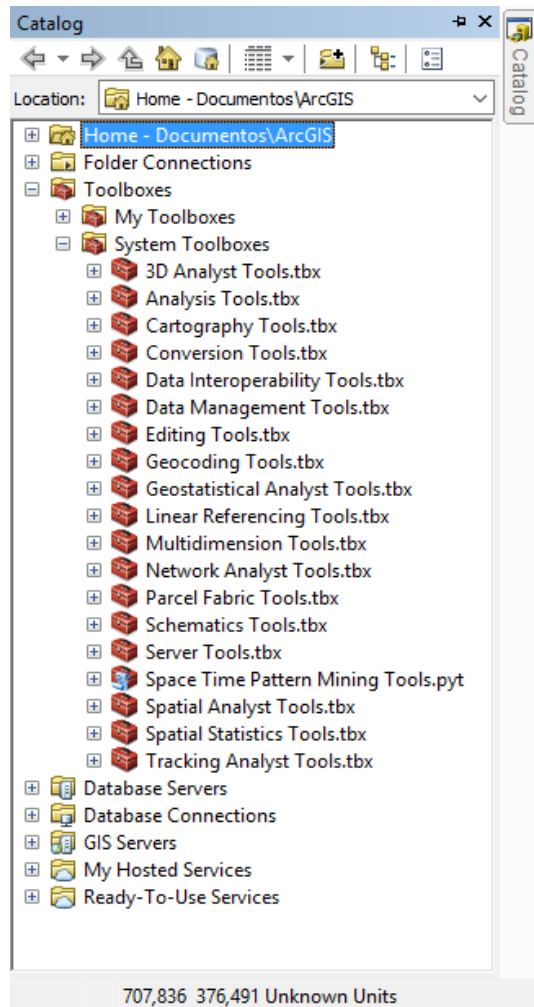
## Interface ArcGIS

A seguir veremos como se dispões a interface do ArcGIS (Figura 29).



**Figura 29** - Interface do ArcGIS.

A paleta de configurações do ArcGIS difere bastante (Figura 30), quando comparada ao QGIS. No QGIS temos a paleta configurada na parte superior do software, já no ArcGIS ela pode ser encontrada na forma de opções no canto direito da tela. Nela, em “Spatial Analysis Tools”, iremos encontrar todas as opções para edição tanto dos vetores quanto dos objetos rasters, como observado na Figura 30. Nessa opção você encontrará opções de extração, interpolação, duplicar camadas, entre outras. Além disso tudo, lá é possível encontrar a opção “Surface” com funções que o QGIS não possui, entre elas a opção curvas de nível para um Modelo Digital de Elevação (MDE) com muito mais precisão.

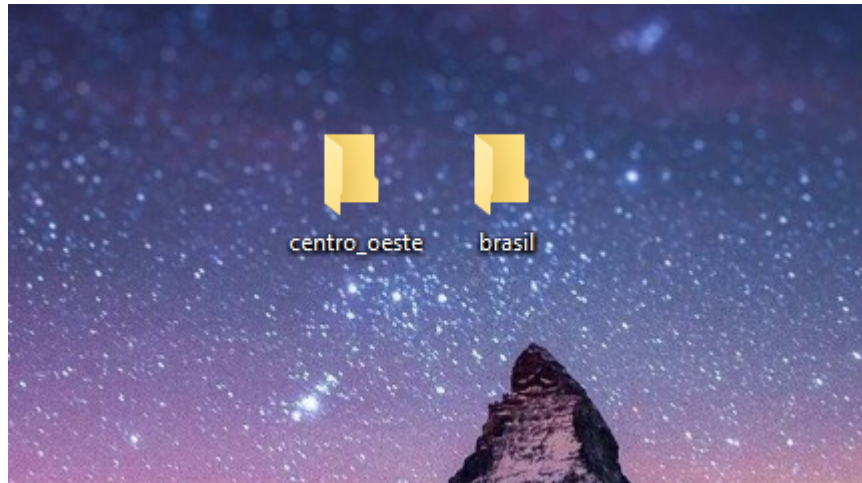


**Figura 30-** Paleta de configurações do ArcGIS.

### **Criando destaque para uma Região brasileira**

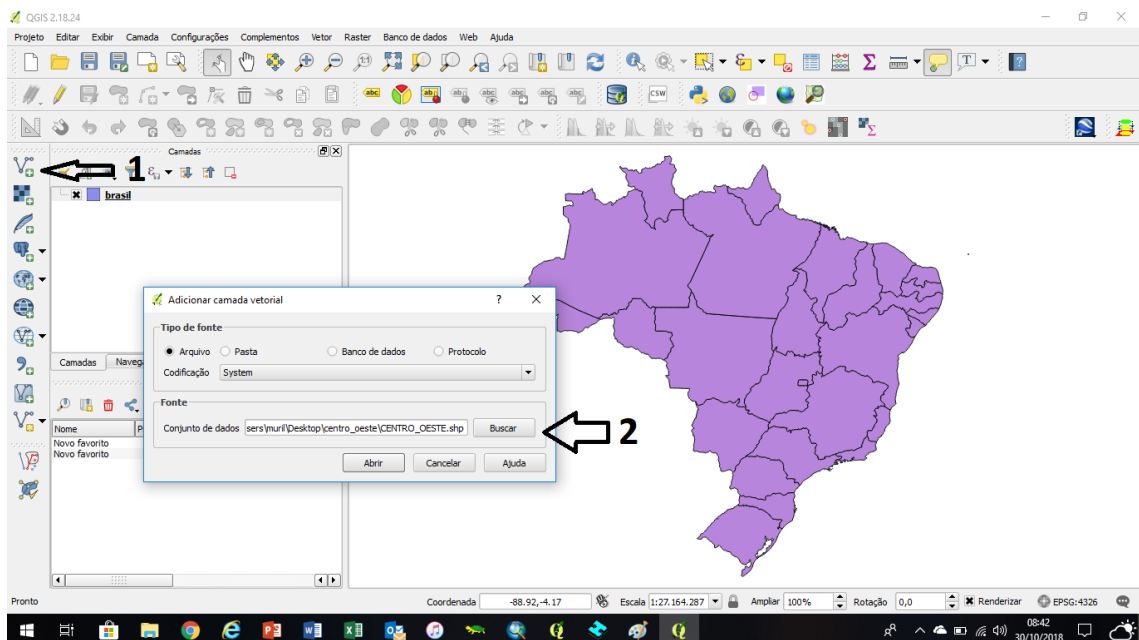
Neste item, vamos aprender a destacar mesorregiões brasileiras, deixando com cor (centro-oeste) e o resto do país neutro.

- 1- Na Figura 31 temos duas pastas, onde, uma irá conter o shape da região que será dado destaque (centro-oeste) e a outra com todas as regiões do Brasil.



**Figura 31** - Pastas com os shapes.

- 2- Agora vamos trabalhar com os vetores, para isso a Figura 32 descreve os dois primeiros passos. Clique na primeira seta, essa opção irá servir para fazer a busca do shape no seu Desktop. Após encontra-los, clique de acordo com a segunda seta para abri-los.



**Figura 32**- Inserindo os vetores na área de trabalho do qgis.



- 3- Agora é necessário configurar a opacidade da camada que vamos desejar deixar fora de destaque. Para isso, selecione-a com o botão direito e vá em propriedades como é indicado pela seta na Figura 33.

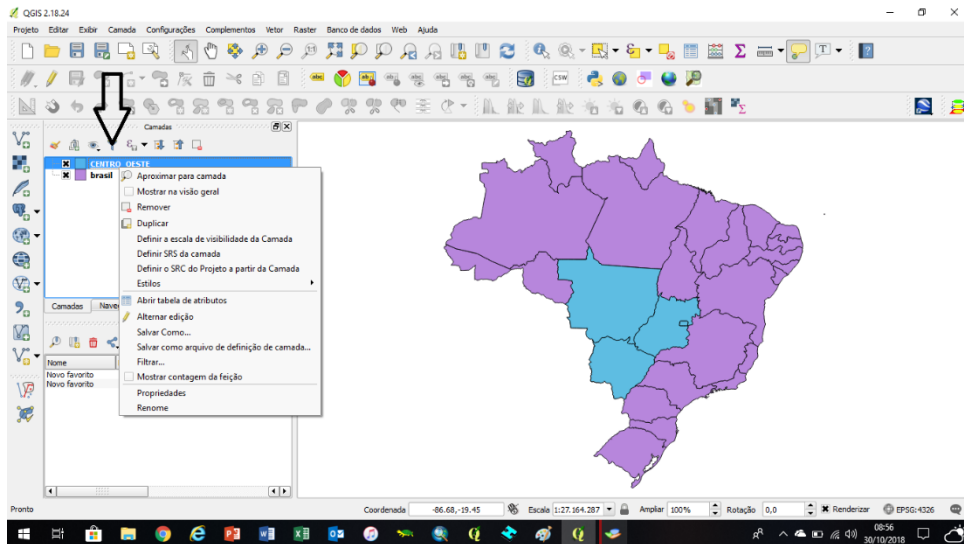
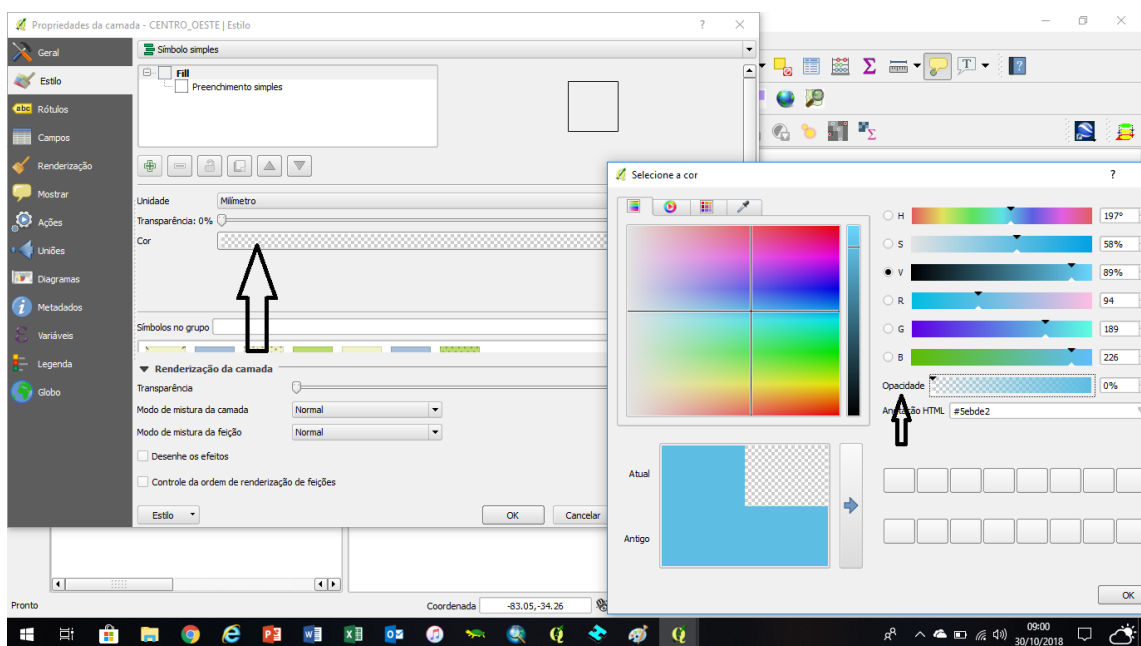


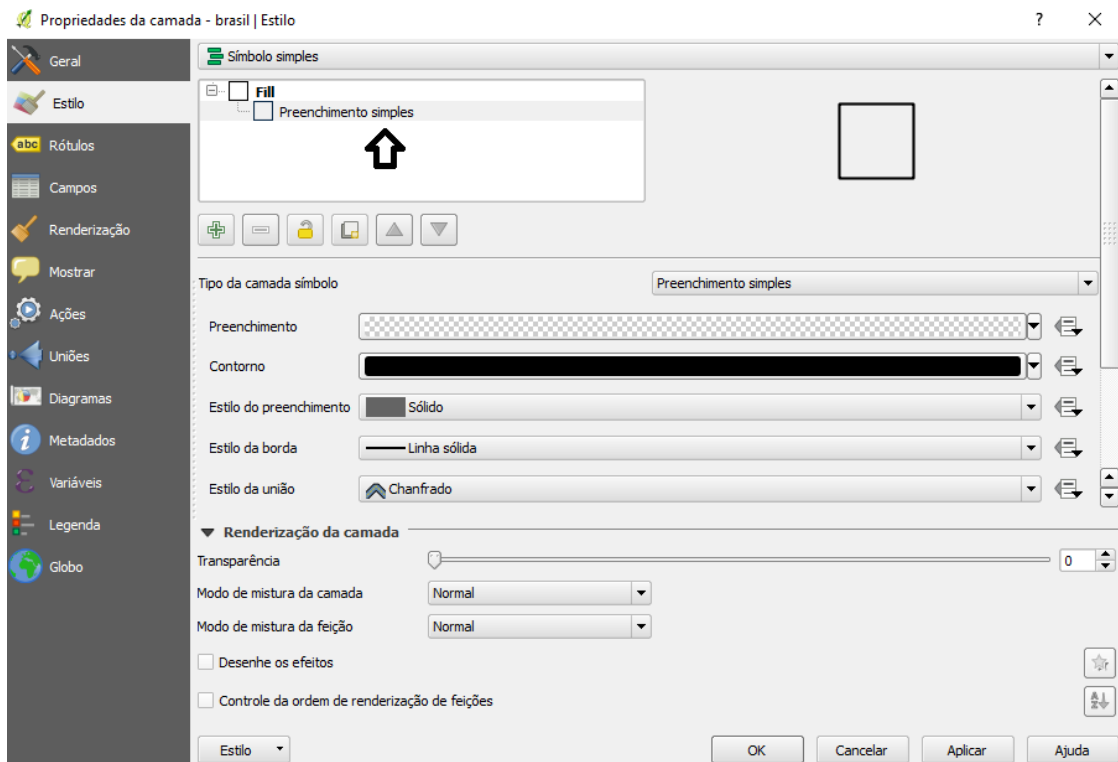
Figura 33- Acessando as propriedades da camada.

- 4- Em propriedades da camada (Figura 34), no item cor, é necessário clicar em cima da barra, para abrir outra janela com as diversas opções de cores. Abrindo essa nova janela, note que existe uma opção “Opacidade”. Ajuste até o máximo, para que só reste o contorno da imagem. Para finalizar esse passo é só clicar em Aplicar e OK.



**Figura 34** - Escolhendo valores de opacidade e contornos.

- 5- Se clicarmos na opção “preenchimento simples” abrirão novas opções abaixo. A opção que estamos querendo é “ espessura da borda”. As Figuras 35 e 36 mostram esse processo. Para mudar a espessura, seja para mais grossa ou mais fina, basta alterar o valor tanto para o eixo x, quanto para o eixo y. Aqui foi mudado somente o eixo x. Feito isso, basta aplicar e fechar com ok.



**Figura 35**- Preenchimento Simples, opções de contorno.

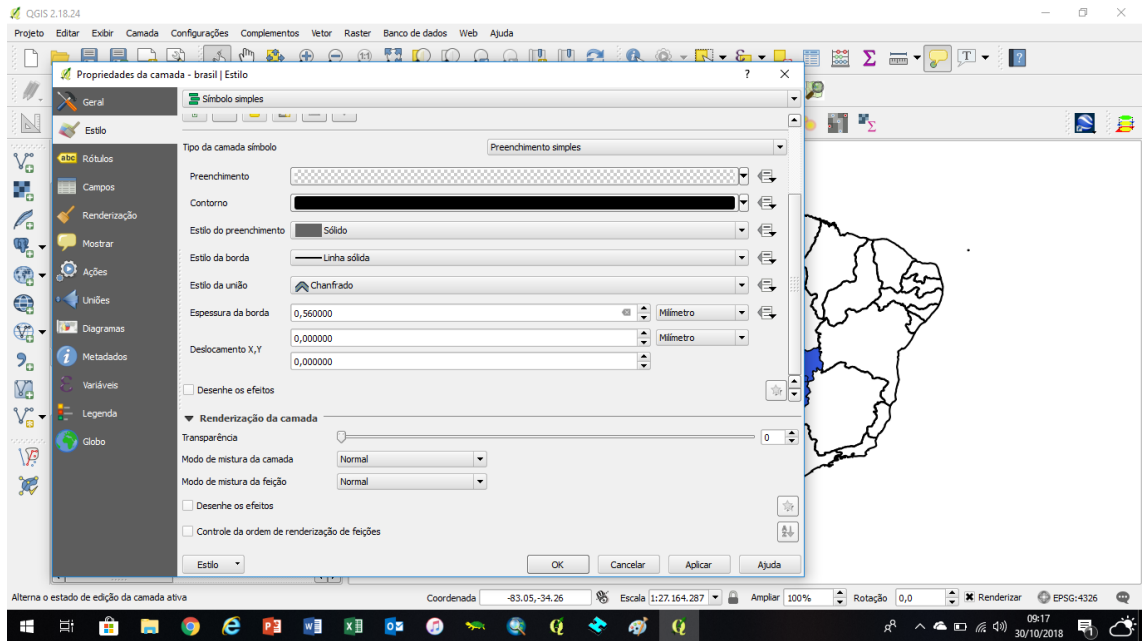


Figura 36- Espessura da borda.

- 6- Ao final destes processos, teremos já o mapa do Brasil apenas em contorno, com os demais estados (Figura 37). Porém, a região Centro-Oeste em destaque (para mudar a cor, basta seguir o passo número 4).

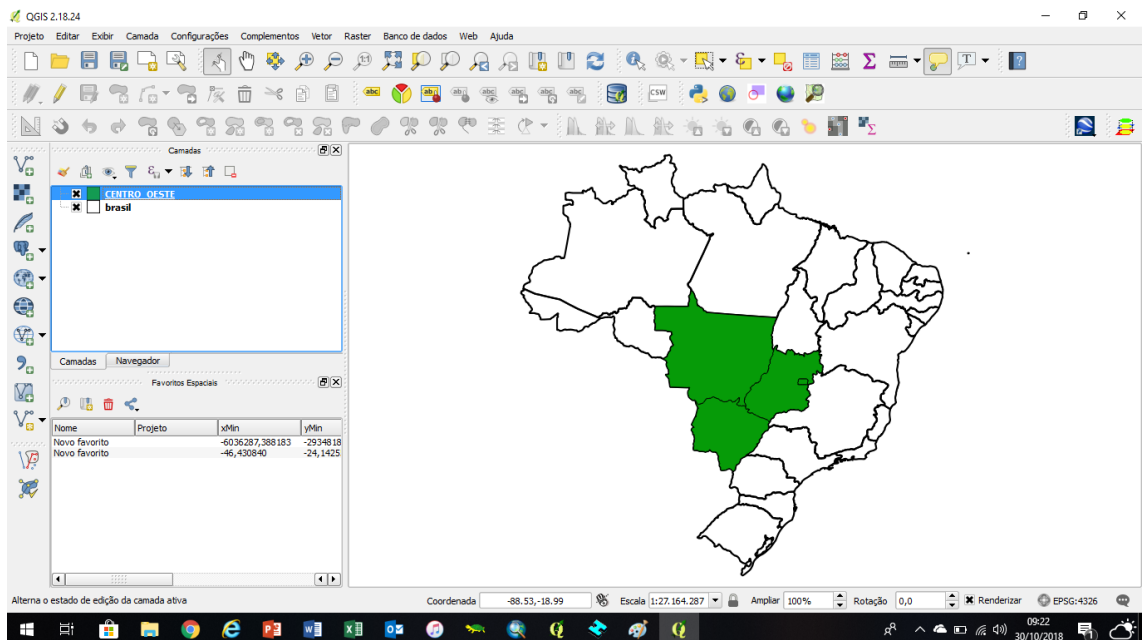
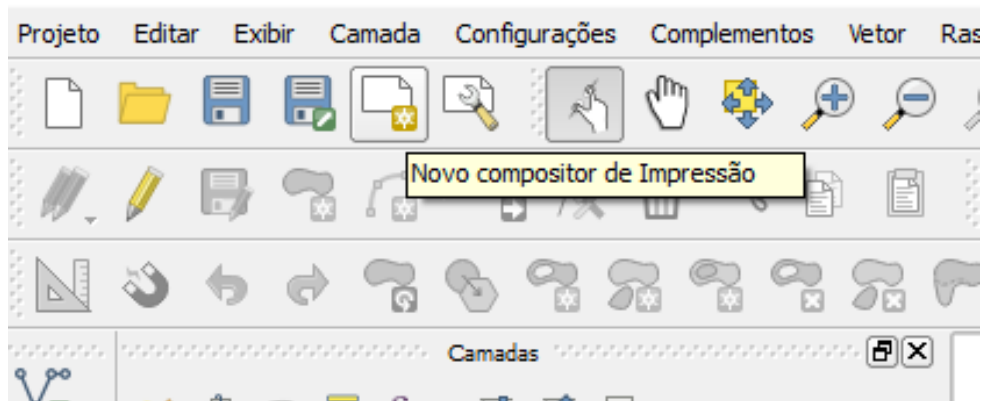


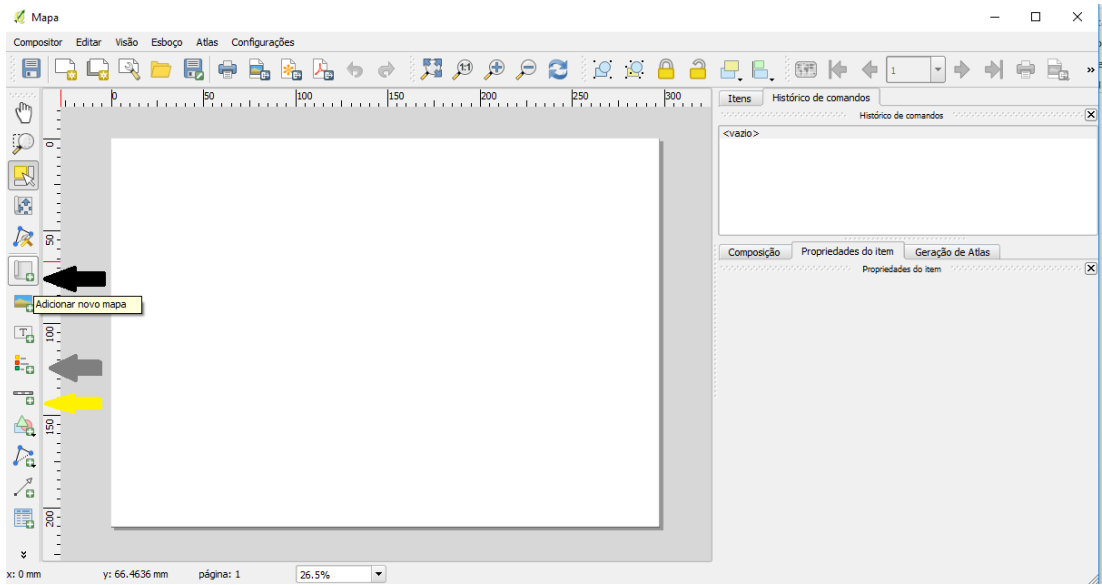
Figura 37- Visualização geral.

7- Para editar o modelo final do mapa, é necessário escolher a opção “Novo compositor de Impressão” será pedido um título para o novo compositor a seguir, portanto, você pode colocar o título de sua preferência, ou o que se adequa melhor ao mapa (Figura 38).

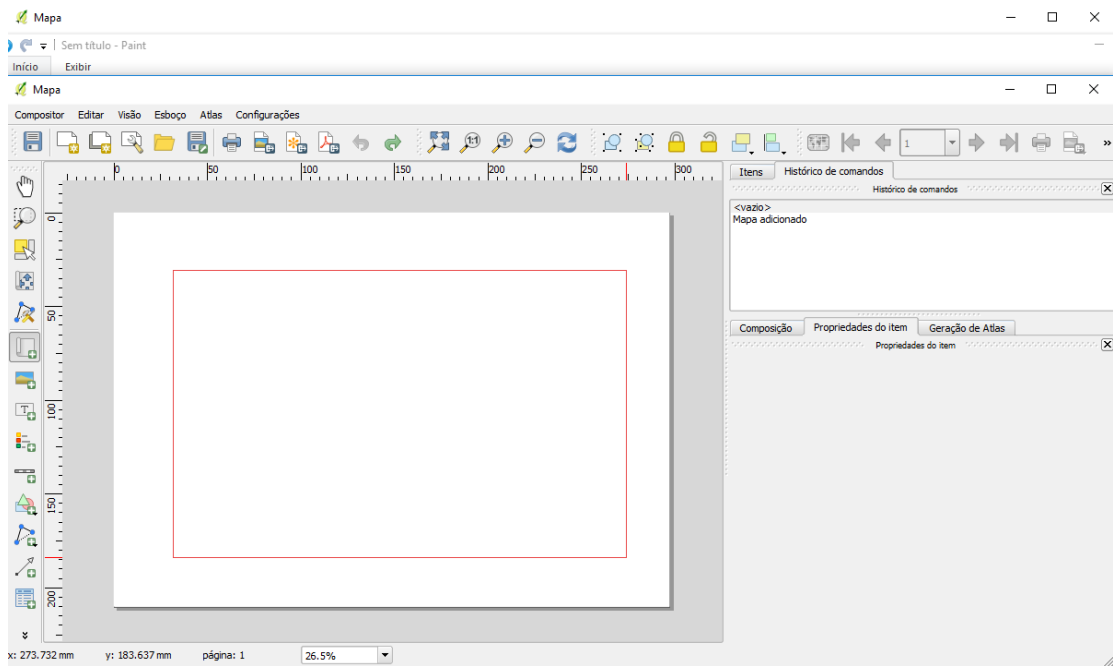


**Figura 38-** Novo compositor de impressão, este item será usado para colocar os itens básicos que compõem um mapa (título, escala, grade...).

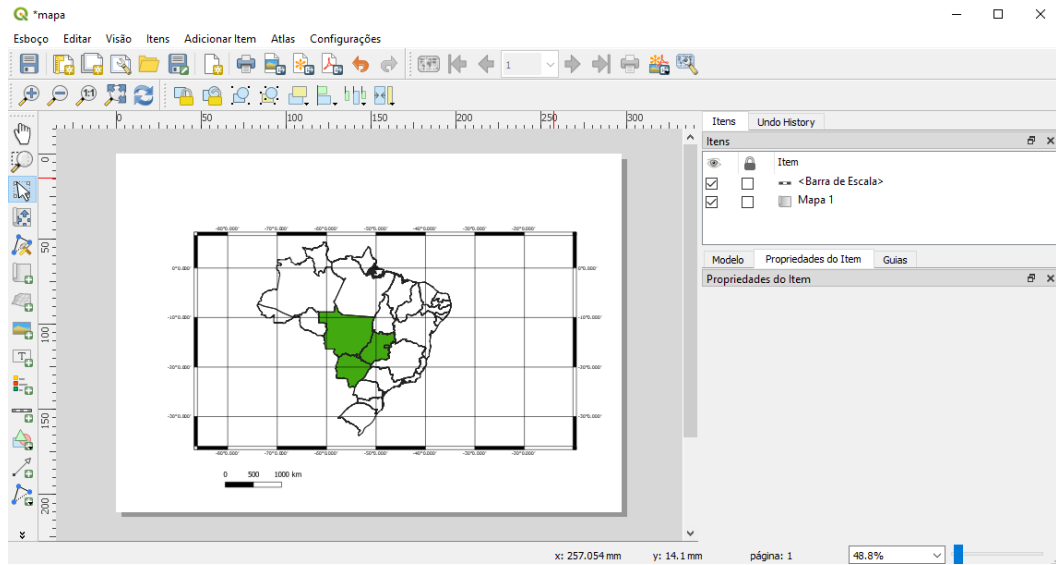
8- O próximo e último passo será editar o modo de visualização do mapa. Vamos inserir itens como: legenda, escala, título, grade, entre outros elementos. As próximas figuras (39, 40 e 41) mostram o passo a passo da inserção desses objetos. A seta preta indica a opção novo compositor, escolha ela e insira o mapa de acordo com a Figura 39. Feito isso, é só repetir o processo para a escala e legenda, lembrando que essas duas opções você poderá personalizar e escolher qual o melhor modelo (Figura 40). Após todos esses passos, teremos o produto final de acordo com a Figura 41.



**Figura 39-** Layout para edição do mapa.

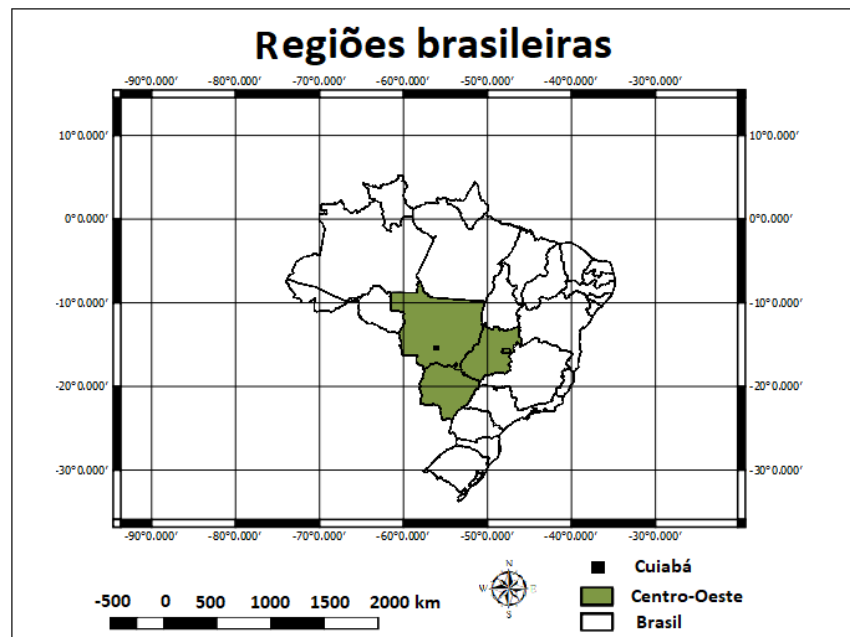


**Figura 40 -** Área na qual o mapa irá se ajustar.



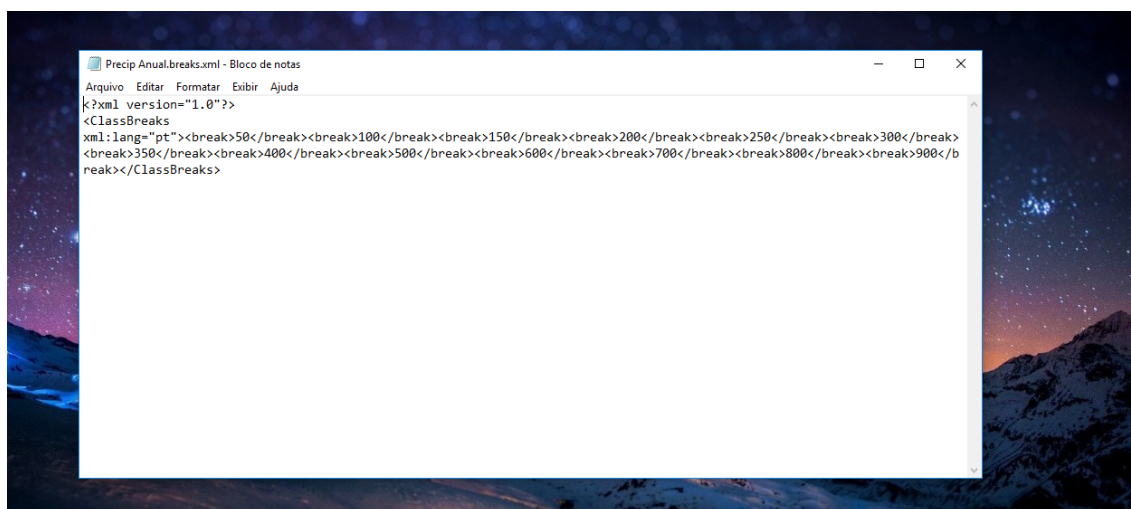
**Figura 41-** Configurando o layout final do mapa.

9- Por fim, temos a versão final do mapa na Figura 42.



**Figura 42 -** Mapa Finalizado.

## 1) Script de intervalo de escala de cores



**Figura 43-** Script para formatação de intervalos para escala de cores.

É muito importante, para os mapas de precipitação, temperatura, entre outros, criar intervalos consistentes para a visualização dos dados não ser prejudicada. Com esse intuito, existe um script que cria exatamente o intervalo desejado no ArcGis.

Iniciamos esse script apresentando extensão que será utilizada (Figura 43), portanto, para que o ArcGIS leia, é necessário setar kml + a versão do programa. A seguir com a opção <ClassBreaks, selecionaremos o intervalo desejado, quebrando, a cada intervalo, a série de interesse.

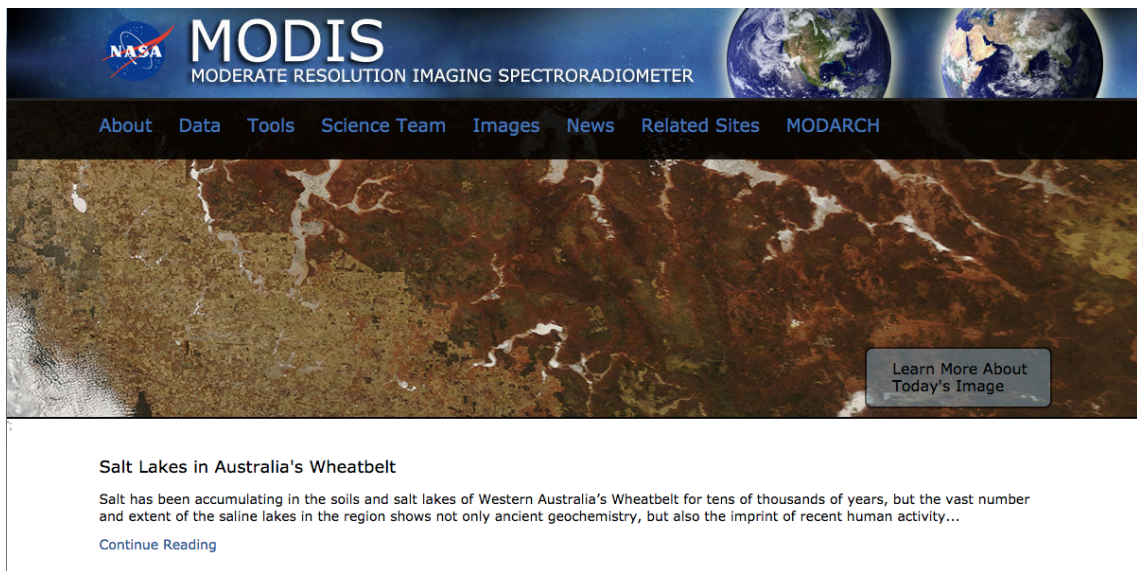
```
<break>50</break>
```

Utilizamos o </break> para que o intervalo seja fechado, não dando continuidade.

### 8.2.2 Aquisição de dados MODIS

- 1) Para saber qualquer informação do produto em questão, é necessário acessar a página do MODIS, onde será encontrado toda e qualquer tipo de informação para a busca dos dados necessários (no caso desse documento, temperatura da superfície)(Figura 44).

<https://modis.gsfc.nasa.gov/>



**Figura 44** - Plataforma MODIS.

- 2) Na parte superior, na barra de opções, acesse Data, e encontre a opção Land Surface Temperature de acordo com a Figura 45.



**Figura 45** - Barra de opções da plataforma MODIS.

- 3) Entrando na opção Land Surface Temperature, será possível encontrar diversos produtos que o sensor oferece, neste tutorial foi escolhido o produto MOD11A1 da versão 6 (Figura 46). Ainda pode ser escolhido o satélite. Terra é voltado para a cobertura do continente, já o Aqua, para cobertura oceânica.



The screenshot shows the NASA MODIS website interface. At the top, the NASA logo and 'MODIS MODERATE RESOLUTION IMAGING SPECTRORADIOMETER' are displayed. A navigation menu includes 'About', 'Data', 'Tools', 'Science Team', 'Images', 'News', 'Related Sites', and 'MODARCH'. Below the menu, there are two satellite images in the sidebar: 'Low clouds in central California 01-24-2015' and 'Hurricane Igor in the Atlantic Ocean 09-17-2010'. The main content area features a 'Product Details' section with a table listing various data products.

Product Name	Terra Prod ID/ DAAC Link	Aqua Prod ID/ DAAC Link
Land Surface Temperature/Emissivity Daily L3 Global 1km	<a href="#">MOD11A1</a>	<a href="#">MYD11A1</a>
Land Surface Temperature/Emissivity 8-Day L3 Global 1km	<a href="#">MOD11A2</a>	<a href="#">MYD11A2</a>
Land Surface Temperature/Emissivity Daily L3 Global 6km	<a href="#">MOD11B1</a>	<a href="#">MYD11B1</a>
Land Surface Temperature/Emissivity Daily 5-Min L2 Swath 1km	<a href="#">MOD11_L2</a>	<a href="#">MYD11_L2</a>
Land Surface Temperature/Emissivity Daily L3 Global 0.05Deg CMG	<a href="#">MOD11C1</a>	<a href="#">MYD11C1</a>
Land Surface Temperature/Emissivity 8-Day L3 Global 0.05Deg CMG	<a href="#">MOD11C2</a>	<a href="#">MYD11C2</a>
Land Surface Temperature/Emissivity Monthly L3 Global 0.05Deg CMG	<a href="#">MOD11C3</a>	<a href="#">MYD11C3</a>

< [Return to Data Products Page](#)

**Figura 46-** Produtos Land Surface Temperature (MODIS).

- 4) Uma vez escolhido a opção. A janela do produto se abrirá, com toda a descrição geográfica e matemática do sensor e produto, como se vê na Figura 47. Para obter o produto, vá em Data Access, nela será possível escolher entre 5 diferentes plataformas que a NASA disponibiliza para fazer o requerimento dos dados.

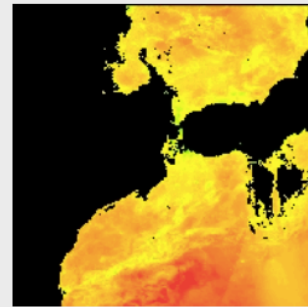
## MOD11A1: MODIS/Terra Land Surface Temperature/Emissivity Daily L3 Global 1 km SIN Grid V006

### Description

The MOD11A1 version 6 product provides daily, per-pixel land surface temperature (LST) in a 1200 x 1200 kilometer grid. The pixel temperature value is derived from the MOD11\_L2 swath product. Above 30 degrees latitude, some pixels may have multiple observations where the criteria for clear-sky are met. When this occurs, the pixel value is a result of the average of all qualifying observations. Provided along with both the day-time and night-time surface temperature bands and their quality indicator layers, are MODIS bands 31 and 32 and six observation layers. Validation at stage 2 has been achieved for all MODIS LST/Emissivity products.

### Improvements/Changes from Previous Versions

- Removed cloud-contaminated LSTs not only from level 3 LST products but also from level 2 LST products, which includes MOD11\_L2.
- Updated the coefficient look-up table (LUT) for the split-window algorithm with comprehensive regression analysis of MODIS simulation data in bands 31 and 32 over wide ranges of surface and atmospheric conditions, especially extending the upper boundary for (LST – Ts-air) in arid and semi-arid regions and increasing the overlapping between various sub-ranges in order to reduce the sensitivity of the algorithm to the uncertainties in the input data (i.e., column water vapor and air surface temperature from MxD07).
- Made minor adjustments in the classification-based surface emissivity values, especially for bare soil and rockland cover types.
- Tuned the day/night algorithm by adjusting weights to improve its performance in desert regions where the incorporated split-window algorithm may not work well.
- Generated new LST products for 8-day and monthly at 6 kilometer grids, in response to user community requests.



MOD11A1. Acquired June 21, 2003. Tile H17V05. Strait of Gibraltar.

DOI 10.5067/MODIS/MOD11A1.006

Product	Temperature, Emissivity
Dataset	Terra MODIS
Dataset Version	6
Pixel Size	1000
Temporal Granularity	Daily
Spatial Extent	Global
Data Access	<a href="#">DAAC2Disk</a> , <a href="#">Data Pool</a> , <a href="#">NASA Earthdata Search</a> , <a href="#">AppEEARS</a> , <a href="#">EarthExplorer</a>

Figura 47 - Descrição do Produto MOD11A1.

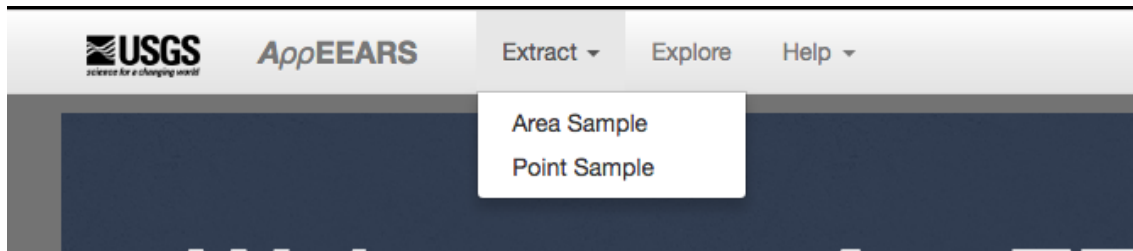
5) Neste tutorial, foi escolhido baixar os dados meio da plataforma AppEEARS (Figura 48).

**Welcome to AppEEARS!**  
Application for **Extracting** and **Exploring** Analysis Ready Samples (**AppEEARS**)

The Application for Extracting and Exploring Analysis Ready Samples (**AppEEARS**) offers a simple and efficient way to access and transform geospatial data from a variety of federal data archives. AppEEARS enables users to subset **geospatial datasets** using spatial, temporal, and band/layer parameters. Two types of sample requests are available: **point samples** for geographic coordinates and **area samples** for spatial areas via vector polygons. Sample requests submitted to AppEEARS provide users not only with data values, but also associated quality data values. Interactive visualizations with summary statistics are provided for each sample within the application, which allow users to preview and interact with their samples before downloading their data. Get started with a sample request using the Extract option above, or visit the [Help](#) page to learn more.

Figura 48 - Plataforma AppEEARS.

- 6) Será necessário fazer o Login da conta institucional no site. Feito isso, na parte superior, deverá escolher se deseja baixar os dados por uma área, ou um ponto de latitude e longitude (Figura 49). No caso da escolha por área, será possível utilizar um .shp para definir os pontos de grade.



**Figura 49** - Opção de baixar dados por área ou ponto de latitude e longitude.

- 7) Feito isso, a ultima tela será para escolher a área, período e produto MODIS desejado (Figura 50). Após selecionar todas essas informações, um email do pedido será gerado, e os dados começaram a ser produzidos. O tempo de finalização varia pelo tamanho da área e período. Ao final do processo, um email será novamente enviado para o solicitante com o link para Download.

### Extract Area Sample

The image shows the 'Extract Area Sample' form. At the top, it says 'Enter a name to identify your sample' with a text input field labeled 'Area Sample name'. Below that is a section for file upload: 'Upload a file or draw a polygon using the [house icon] or [square icon] icon'. A dashed blue box contains instructions: 'Drop a vector polygon file containing the area feature(s) to extract or click here to select the file.' and lists supported formats: 'ESRI Shapefile (.zip including .shp, .dbf, .prj, and .shx files)' and 'GeoJSON (.json or .geojson)'. There are two date input fields: 'Start Date' and 'End Date', both with a calendar icon and the format 'MM-DD-YYYY'. Below them is a checkbox labeled 'Is Date Recurring?'. On the right, there is a map titled 'Selected file' showing a satellite view of North America with a blue polygon drawn over Hudson Bay. The map includes labels for 'Canada', 'United States of America', and 'Mexico'. At the bottom of the map, it says 'Leaflet | NASA EOSDIS GIBS'. Below the map is a small instruction: 'To clear a polygon, draw a new polygon or upload a vector polygon file.'

**Figura 50** - Plataforma final para Download.

8) Na parte esquerda da Figura 51, pode-se notar o campo para inserir um .shp. Logo que inserir, no caso utilizou-se o limite político do estado de São Paulo, ele já aparecerá no campo de visualização do lado direito da Figura 49. Dessa maneira, os dados serão baixados exatamente do campo escolhido.

Enter a name to identify your sample

Area Sample name

Upload a file or draw a polygon using the or icon

Drop a vector polygon file containing the area feature(s) to extract or [click here](#) to select the file.

Supported file formats:

- ESRI Shapefile (.zip including .shp, .dbf, .prj, and .shx files)
- GeoJSON (.json or .geojson)

Start Date

End Date

Is Date Recurring?

Selected file (sao\_paulo/sao\_paulo)

To clear a polygon, draw a new polygon or upload a vector polygon file.

**Figura 51** - Escolha do .shp para seleção da área dos dados.