

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

Briane Carla Coppi Ferreira

**VULNERABILIDADE DOS RECURSOS HÍDRICOS DA
BACIA DO RIO RIBEIRA DE IGUAPE - SP ÀS MUDANÇAS
CLIMÁTICAS**

SANTO ANDRÉ – SP

2020

BRIANE CARLA COPPI FERREIRA

**VULNERABILIDADE DOS RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA DO RIO
RIBEIRA DE IGUAPE - SP ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS**

Dissertação apresentada ao Curso de ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade Federal do ABC, como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Ciência e Tecnologia. Linha de pesquisa: Mudanças climáticas, recursos hídricos, hidrologia.

Orientadora: Prof. Dra. Maria Cleofé Valverde Brambila

Santo André – SP

2020

Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do ABC
Elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da UFABC
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Ferreira, Briane Carla Coppi

Vulnerabilidade dos Recursos Hídricos da Bacia do Rio Ribeira de Iguape - SP às Mudanças Climáticas / Briane Carla Coppi Ferreira.
— 2020.

140 fls. : il.

Orientadora: Maria Cleofê Valverde Brambila

Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do ABC, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, Santo André, 2020.

1. Mudanças Climáticas. 2. Recursos Hídricos. 3. Vulnerabilidade.
4. Bacia Hidrográfic. I. Brambila, Maria Cleofê Valverde. II.
Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, 2020.
III. Título.

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

Santo André, 09 de Dezembro de 2020.

Briane Carla Coppi Ferrira

Assinatura do autor: _____

Maria C. Valverde Brambila



SIGAA - Sistema Integrado de Gestão de Atividades Acadêmicas
UFABC - Fundação Universidade Federal do ABC
Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental
CNPJ nº 07.722.779/0001-06
Av. dos Estados, 5001 - Bairro Santa Terezinha - Santo André - SP - Brasil
pgcta@ufabc.edu.br



FOLHA DE ASSINATURAS

Assinaturas dos membros da Banca Examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Dissertação de Mestrado da candidata BRIANE CARLA COPPI FERREIRA, realizada em 25 de Agosto de 2020:

Dra. MARIA CLEOFE VALVERDE BRAMBILA, UFABC

Presidente - Interno ao Programa

Dr. LINCOLN MUNIZ ALVES, INPE

Membro Titular - Examinador(a) Externo à Instituição

Dr. VITOR VIEIRA VASCONCELOS, UFABC

Membro Titular - Examinador(a) Interno ao Programa

Dra. GABRIELA FARIAS ASMUS, UFABC

Membro Suplente - Examinador(a) Externo ao Programa

Dra. GRAZIELA BALDA SCOFIELD, CEMADEN

Membro Suplente - Examinador(a) Externo à Instituição

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

Aos meus pais, noivo, irmãos, sobrinhos, amigos e professores pelo apoio e carinho.

Agradecimentos

Ao seguir uma ordem cronológica, os primeiros agradecimentos merecem ser aos meus pais. Sem suas experiências e diretrizes, não teria seguido meu caminho até aqui. Em especial, agradeço a minha mãe (*in memoriam*), que me permitiu sonhar e seguir esse caminho da forma mais terna possível.

Ao meu noivo, Fernando, pela força, apoio, compreensão, cuidado e carinho.

A minha Orientadora, María, que durante todo o progresso deste trabalho se manteve disposta a ajudar, teve paciência e disposição em ensinar da melhor e da mais simples maneira.

Às minhas amigas Cláudia, Milla e Paula, que me acolheram e incluíram no Quarteto Fantástico, firmando um elo de amizade e força extraordinária.

A minha amiga Edilene Fazza, que sempre me mostrou que mesmo com dificuldades é possível seguir mais um passo.

A minha amiga Elenilda e seu esposo Armando, por todo acolhimento e ajuda.

Ao Ricardo Brambila pelo apoio e por toda ajuda.

À Universidade Federal do ABC pelo apoio e complacência.

Ao DAEE, Comitê da Bacia Hidrográfica do Ribeira de Iguape e Litoral Sul e PROJETA/INPE, pelo fornecimento de dados tão essencial para o desenvolvimento deste trabalho.

Quero agradecer a todos que contribuíram direta ou indiretamente para essa produção e gostaria homenageá-los com um trecho do livro “O vendedor de Sonhos” do escritor Augusto Curry:

[...] Certa vez houve uma inundação numa imensa floresta. O choro das nuvens que deveriam promover a vida dessa vez anunciou morte. Os grandes animais bateram em retirada fugindo do afogamento, deixando até os filhos para trás. Devastavam tudo o que estava à frente. Os animais menores seguiam seus rastros. De repente uma pequena andorinha, toda ensopada, apareceu na contramão procurando a quem salvar. As hienas viram a atitude da andorinha e ficaram admiradíssimas. Disseram: “Você é louca! O que poderá fazer com um corpo tão frágil?”. Os abutres bradaram: “Utópica! Veja se enxerga a sua pequenez!”. Por onde a frágil andorinha passava, era

ridicularizada. Mas, atenta, procurava alguém que pudesse resgatar. Suas asas batiam fatigadas, quando viu um filhote de beija-flor debatendo-se na água, quase se entregando. Apesar de nunca ter aprendido mergulhar, ela se atirou na água e com muito esforço pegou o diminuto pássaro pela asa esquerda. E bateu em retirada, carregando o filhote no bico. Ao retornar, encontrou outras hienas, que não tardaram muito a declarar: “Maluca! Está querendo se heroína!”. Mas não parou; muito fatigada, só descansou após deixar o pequeno beija-flor em local seguro. Horas depois, encontrou as hienas embaixo de uma sombra. Fitando-as nos olhos, deu a sua resposta: “Só me sinto digna das minhas asas se eu as utilizar para fazer os outros voarem” [...].

Ter sido como o beija-flor só teve sua real importância quando notei que também tenho asas.

Obrigada!

“Eu sou a água. Para os humanos, eu estou simplesmente... ali. Eu sou algo que eles consideram garantido. Mas só existe uma quantidade limitada de mim. E há mais e mais pessoas a cada dia que passa. Eu começo como chuva nas montanhas, escorro até os rios e termino no oceano. Aí o ciclo começa de novo e eu vou levar 10 mil anos para voltar ao estado que estou agora. Mas para os humanos eu sou apenas água, sempre ali. Onde os humanos vão me achar quando houver outros bilhões deles a me consumir? E se eu começar a faltar, como já vem acontecendo? Eles vão começar a fazer guerras por mim, como fazem por todo o resto? É sempre uma opção, mas não é a única.”

Vídeo: A Natureza está falando - Maitê Proença é a Água.

RESUMO

As alterações do clima e mudança do regime das chuvas podem tornar os recursos hídricos de uma bacia hidrográfica vulneráveis à escassez de água. Este trabalho tem como objetivo identificar a vulnerabilidade atual e futura dos recursos hídricos da bacia do rio Ribeira de Iguape (BHRRI) frente às mudanças climáticas, considerando os fatores socioambientais para as três sub-bacias mais importantes em relação ao uso da água: Alto Juquiá, Baixo Ribeira e Rio Ribeira de Iguape. O método baseou-se num Índice de Vulnerabilidade Geral atual (IVG) através da agregação do Índice de Vulnerabilidade Social (IVS), formado por componentes socioeconômicas da região e Ambiental (IVA), composto por tipo de uso do solo e Hidroclimático (IVH) gerado por índices extremos de chuva e disponibilidade hídrica. Já o IVG futuro (IVG_F) foi calculado com os mesmos IVA e IVS atuais, somando-se ao IVH futuro (IVH_F), onde os indicadores foram resultados das projeções futuras do modelo climático Eta-HadGEM2-ES em dois cenários de emissões, 4,5 e 8,5 RCP, e em 3 *time slices* que se dividem nos períodos de 2006-2040 (*time slice* 1), 2041-2070 (*time slice* 2) e de 2071 a 2099 (*time slice* 3). Os resultados mostraram que para o contexto atual, o IVG classificou a Alto Juquiá como de alta vulnerabilidade, devido ao IVH apresentar a menor disponibilidade hídrica e uma tendência negativa de índices climáticos de chuva (PRCPTOT, CWD, Rx5day, R10mm, R20mm e R25mm). Tanto no IVG atual como no futuro as sub-bacias apresentaram vulnerabilidade média, no entanto somente em Alto Juquiá o IVG atual é maior que o IVG_F. No cenário de 8,5 RCP, o IVG_F esteve na classificação de média vulnerabilidade, porém o IVH_F apresentou vulnerabilidade alta para o *time slice* 1 e 2, na bacia do Alto Juquiá. Ressalta-se também que as projeções futuras da disponibilidade hídrica para todos os cenários foram de aumento em quase todas as sub-bacias, apenas em Baixo Ribeira e Alto Juquiá mostraram diminuição no *time slice* 3. Alto Juquiá, que fornece água para a Região Metropolitana de São Paulo, mostrou ter boa situação com a disponibilidade de água, segundo as simulações do Eta-HadGEM2-ES, mesmo considerando os cenários de transposição de até 9,65 m³/s, conforme abordado no último plano da BHRRI. Estudos referentes aos recursos hídricos da BHRRI são importantes para o gerenciamento da própria bacia hidrográfica, a fim de compreender os fatores que influenciam na disponibilidade de água em meio às mudanças climáticas, bem como desvendar se o abastecimento de água de bacias vizinhas, como a bacia do Alto Tietê, pode contribuir para escassez hídrica ao considerar as projeções futuras do clima.

Palavras-chave: vulnerabilidade; escassez de água; índices de extremos de precipitação;

cenários climáticos; bacia hidrográfica Rio Ribeira de Iguape.

ABSTRACT

Climate change and changes in the rainfall regime can make the water resources of a watershed vulnerable to water scarcity. This work aims to identify the current and future vulnerability of water resources in the Ribeira de Iguape River Basin (BHRRI) in the face of climate change, considering socioenvironmental factors for the three most important sub-basins regarding to water use: Alto Juquiá, Baixo Ribeira and Rio Ribeira de Iguape. The method was based on a current General Vulnerability Index (IVG) through the aggregation of the Social Vulnerability Index (IVS), formed by socioeconomic components of the region, Environmental (IVA), composed by type of land use, and Hydroclimate (IVH), generated by extreme rain index and water availability. The future IVG (IVG_F) was calculated using the same current IVA and IVS, adding to the future IVH (IVH_F), where the indicators were the result of future projections of the Eta-HadGEM2-ES climate model in two emission scenarios RCP 4.5 and RCP 8.5, and into three time slices that were divided into the periods of 2006-2040 (time slice 1), 2041-2070 (time slice 2) and from 2071 to 2099 (time slice 3). The results showed that for the current context, the IVG classified Alto Juquiá as highly vulnerable, due to the fact that the IVH has the lowest water availability and a negative trend in climatic rainfall indexes (PRCPTOT, CWD, Rx5day, R10mm, R20mm and R25mm). Both the current IVG and the sub-basins in the future showed average vulnerability, however only in Alto Juquiá the current IVG is greater than the IVG_F . In the RCP 8.5 scenario, the IVG_F was classified as medium vulnerability, but the IVH_F showed high vulnerability for time slice 1 and 2, in the Alto Juquiá basin. It is also noteworthy that the future projections of water availability for all scenarios increased in almost all sub-basins, only in Baixo Ribeira and Alto Juquiá showed a decrease in time slice 3. Alto Juquiá, which supplies water to the Metropolitan Region of São Paulo, revealed a good situation regarding the availability of water, according to the simulations of Eta-HadGEM2-ES, even considering the inter-basin water transfer scenarios of up to $9.65 \text{ m}^3/\text{s}$, as discussed in the last BHRRI plan. Studies referring to BHRRI's water resources are important for the management of the watershed itself, in order to understand the factors that influence the availability of water amid climate change, as well as to unveil whether the water supply to neighboring basins, such as the basin Alto Tietê, can contribute to water scarcity when considering future climate projections.

Keywords: vulnerability; water shortage; precipitation extreme indices; climate scenarios; Ribeira de Iguape River basin.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Uso da água versus disponibilidade hídrica no Brasil, por recurso hídrico.....	28
Figura 2 - Esquema da circulação de baixos níveis para um verão normal e para o verão de 2014 (crise hídrica).....	32
Figura 3 - Esquema do Sistema Produtor São Lourenço.....	35
Figura 4 - Mapa da Área de estudo (UGRHI-11).....	46
Figura 5 - Localização dos postos pluviométricos e fluviométricos na área de estudo.....	52
Figura 6 - Apresentação dos indicadores ambientais, e suas respectivas componentes, utilizados para gerar o Índice de Vulnerabilidade Ambiental.....	59
Figura 7 - Apresentação dos indicadores sociais, e suas respectivas componentes, utilizados para gerar o Índice de Vulnerabilidade Social.....	61
Figura 8 - Apresentação dos indicadores de precipitação e disponibilidade hídrica, utilizados para gerar o Índice de Vulnerabilidade Hidroclimático atual.....	67
Figura 9 - Esquema do método para determinar o IVH _F	70
Figura 10 - Esquematização dos métodos aplicados para correção dos dados modelados.....	74
Figura 11 - Localização da área urbana dos municípios das Sub-bacias Alto Juquiá, Baixo Ribeira e Rio Ribeira de Iguape.....	78
Figura 12 - Modelo simplificado do método adotado para calcular os índices de vulnerabilidade.....	82
Figura 13 - Localização dos parâmetros qualidade da água, pontos de captação de água e localização de usinas hidrelétricas nas sub-bacias da bacia do rio Ribeira de Iguape – SP.....	85
Figura 14 - Mapa dos tipos de uso e ocupação do solo da Bacia do Rio Ribeira de Iguape.....	88
Figura 15 - Unidades de Conservação presentes na Bacia do Rio Ribeira de Iguape e nas sub-bacias estudadas.....	89
Figura 16 - Índice de Vulnerabilidade Ambiental nas sub-bacias estudadas.....	90
Figura 17 - Índice de Vulnerabilidade Social nas sub-bacias estudadas.....	92
Figura 18 - Climatologia do ciclo anual da precipitação (1981-2018) das sub-bacias hidrográficas.....	93
Figura 19 - Representação gráfica dos índices de extremos de precipitação na sub-bacia Alto Juquiá.....	96
Figura 20 - Representação gráfica dos índices de extremos de precipitação na sub-bacia Baixo Ribeira.....	97
Figura 21 - Representação gráfica índices de extremos de precipitação na sub-bacia Rio	

Ribeira de Iguape.....	98
Figura 22 - Índice de Vulnerabilidade Hidroclimático atual nas sub-bacias estudadas.	101
Figura 23 - Índice de Vulnerabilidade Geral atual nas sub-bacias estudadas.	103
Figura 24 - Distribuição dos valores da vazão de referência e disponibilidade Hídrica das sub-bacias estudadas no cenário RCP 4,5 do modelo Eta-HadGEM2-ES.	111
Figura 25 - Distribuição dos valores da vazão de referência e disponibilidade Hídrica das sub-bacias estudadas no cenário RCP 8,5 do modelo Eta-HadGEM2-ES.	113
Figura 26 - Vazão de referência e disponibilidade Hídrica da sub-bacia Alto Juquiá no cenário RCP 4,5 do modelo Eta-HadGEM2-ES e para 4 situações de transposição de água para a RMSP.	114
Figura 27 - Vazão de referência e disponibilidade Hídrica da sub-bacia Alto Juquiá no cenário RCP 8,5 do modelo Eta-HadGEM2-ES e para 4 situações de transposição de água para a RMSP.	115
Figura 28 - Índice de Vulnerabilidade Hidroclimático futuro das sub-bacias estudadas para o cenário RCP 4,5 do modelo Eta- HadGEM2-ES.....	116
Figura 29 - Índice de Vulnerabilidade Hidroclimático futuro das sub-bacias estudadas para o cenário RCP 8,5 do modelo Eta-HadGEM2-ES.....	117
Figura 30 - Índice de Vulnerabilidade Geral futuro das sub-bacias estudadas para os cenários RCP 4,5 do modelo Eta-HadGEM2-ES.	118
Figura 31- Índice de Vulnerabilidade Geral futuro das sub-bacias estudadas para os cenários RCP 8,5 do modelo Eta-HadGEM2-ES	119

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação da disponibilidade hídrica no Brasil.....	28
Tabela 2 - Estudo de vulnerabilidade às mudanças climáticas internacionais e nacionais.....	42
Tabela 3 - Sub-UGRHIs da UGRHI-11.....	45
Tabela 4 - Informações sobre os postos pluviométricos utilizados.	51
Tabela 5 - Informações sobre os postos fluviométricos utilizados.....	52
Tabela 6 - Classificação da vulnerabilidade.	57
Tabela 7 - Descrição das componentes de cada indicador ambiental e tipo de reescalação.....	59
Tabela 8 - Classes sociais de acordo com a renda mensal atribuída pelo SAE.....	63
Tabela 9 - Índices climáticos extremos de precipitação a serem utilizados neste trabalho e calculados pelo software RClimdex.	65
Tabela 10 - Agrupamento dos municípios por sub-bacia para projeção da população.	79
Tabela 11 - Municípios e rios principais das seis regiões hidrográficas.	83
Tabela 12 - Resultado da presença dos parâmetros que caracterizam a importância das regiões hidrográficas.	84
Tabela 13 - Área dos Usos do solo nas sub-bacias estudadas e reescalação utilizada em cada indicador.....	87
Tabela 14 - Unidade de Conservação e área total das mesmas, presentes nas sub-bacias estudadas.....	90
Tabela 15 - Valores reescalados referentes a cada componente que constitui o indicador de Vulnerabilidade Social.	92
Tabela 16 - Apresentação dos valores da tendência e <i>p-value</i> dos índices extremos de precipitação calculados no <i>RClimdex</i>	94
Tabela 17 - Valores dos percentis P_{10} e P_{90} de cada índice de extremos de precipitação atual.	99
Tabela 18 - Valor do indicador “Precipitação” em cada sub-bacia.....	100
Tabela 19 - Vazão de referência das sub-bacias estudadas.	100
Tabela 20 - Valores do parâmetro de inclinação da linha tendência e <i>p-value</i> dos índices extremos de precipitação encontrados nos cenários 4,5 RCP e 8,5 RCP do modelo climático Eta-HadGEM2-ES nos <i>time slices</i> 1, 2 e 3.....	105
Tabela 21 - Valores dos percentis 10 e 90 de cada índice de extremos de precipitação no cenário 4,5 RCP do modelo Eta-HadGEM2-ES.....	107
Tabela 22 - Valores dos percentis P_{10} e P_{90} de cada índice de extremos de precipitação no	

cenário 8,5 RCP do modelo Eta-HadGEM2-ES.....	108
Tabela 23 - Valor do indicador reescalado “Precipitação” em cada sub-bacia nos cenários de RCP 4,5 e 8,5 e nos 3 time slices do modelo Eta-HadGEM2-ES.	109
Tabela 24 - Equações empíricas para determinação da vazão futura para as sub-bacias Alto Juquiá, Baixo Ribeira e Rio Ribeira de Iguape.	109
Tabela 25 - Vazão de referência e disponibilidade Hídrica das sub-bacias estudadas no cenário RCP 4,5 do modelo Eta-HadGEM2-ES.	110
Tabela 26 - Vazão de referência e disponibilidade Hídrica das sub-bacias estudadas no cenário RCP 8,5 do modelo Eta-HadGEM2-ES.	112

LISTA DE SIGLAS

Af - Tropical úmido sem estação seca
ANA - Agência Nacional de Água
ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica
APA - Área de Proteção Ambiental
ARIE - Área de Relevante Interesse Ecológico
BHRRI - Bacia do Rio Ribeira de Iguape
CBA - Companhia Brasileira de Alumínio
CBH - RB - Comitê da Bacia Hidrográfica do Ribeira de Iguape e Litoral Sul
CCSR - *Center for Climate System Research*
CMIP5 - *Coupled Model Intercomparison Project 5*
CDD - Máximo número de dias secos consecutivos
CDW - Máximo número de dias úmidos consecutivos
Cepal - *Comisión Económica para América Latina y el Caribe*
CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
Cfa - Subtropical úmido com verão quente
Cfb - Subtropical úmido com verão fresco
COBRAPE - Companhia Brasileira de Projetos e Empreendimentos
CPTEC - Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos
DAEE - Departamento de Águas e Energia Elétrica
DH - Disponibilidade Hídrica
ECMWF - *European Center for Medium-Range Weather Forecast*
EM - Erro médio
ETP - Evapotranspiração Potencial
Fc - Fator de Correlação
FC – Fator de Correção
FF - Sistemas Frontais
HadGEM2-ES - *Hadley Global Environment Model 2 - Earth System*
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDH - Índice de desenvolvimento humano
INEA - Instituto Estadual do Ambiente
INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPCC - *Intergovernmental Panel on Climate Change* - Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
IVA - Índice de Vulnerabilidade Ambiental

IVG - Índice de Vulnerabilidade Geral atual
IVG_F - Índice de Vulnerabilidade Geral futuro
IVH - Índice de Vulnerabilidade Hidroclimático atual
IVH_F - Índice de Vulnerabilidade Hidroclimático futuro
IVS - Índice de Vulnerabilidade Social
JBN - Jatos de Baixos Níveis
JBNAS - Jatos de Baixos Níveis da América do Sul
MMA - Ministério do Meio Ambiente
MIROC5 - *Model for Interdisciplinary Research on Climate version 5*
MSA - Monção Sul-Americana
NIES - *National Institute for Environmental Studies*
ONU - Organização das Nações Unidas
OMM - Organização Meteorológica Mundial
PBMC - Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas
PNUMA - Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
PRCPTOT - Precipitação total anual
REMQ - Raiz do Erro Médio Quadrático
RCP - *Representative Concentration Pathways* ou Forçante Radiativa
RDS - Reserva de Desenvolvimento Sustentável
RMRJ - Região Metropolitana do Rio de Janeiro
RMSP - Região Metropolitana de São Paulo
RPPN - Reserva Particular do Patrimônio Natural
Rx1day - Máxima precipitação total em 1 dia
Rx5day - Máxima precipitação total em 5 dias
SABESP - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SEADE - Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados
SIM - Sistema Integrado Metropolitano
SIG - RB - Sistema de Informação Geográfica do Ribeira de Iguape e Litoral Sul
SMA - Secretaria do Meio Ambiente
SNUC - Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza
SP - São Paulo
SPSL - Sistema Produtor São Lourenço
UC/UCs - Unidade de Conservação/ Unidades de Conservação
UGRHI - Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos

UNFCCC - *United Nations Framework Convention on Climate Change* - Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima

UNISDR - *United Nations International Strategy for Disaster Reduction* - Estratégia Internacional das Nações Unidas para Redução de Desastres

ZCAS - Zona de Convergência do Atlântico Sul

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	23
1.2 Objetivo.....	26
1.3 Objetivos Específicos	26
2. REVISÃO DA LITERATURA	27
2.1 Disponibilidade hídrica no Brasil	27
2.1.1 Crise hídrica e a RMSP	29
2.2 Sistema Produtor São Lourenço (SPSL) e o Projeto Isotherma	34
2.3 Hazard, Risco e Vulnerabilidade: Conceito, discussão e abordagem para o desenvolvimento do trabalho de pesquisa	36
2.4 Análise da vulnerabilidade	40
3. ÁREA DE ESTUDO, DADOS E METODOLOGIA.....	45
3.1 Área de Estudo.....	45
3.2 Clima.....	47
3.2.1 Uso do solo, Unidades de Conservação e População	48
4. DADOS E MÉTODOS UTILIZADOS	49
4.1 Dados.....	50
4.1.1 Sistema de Informação Geográfica do Ribeira de Iguape e Litoral Sul (SIG-RB)	50
4.1.2 Dados Climáticos e Hidrológicos	50
4.1.3 Dados Ambientais e Socioeconômicos.....	53
4.1.4 Dados climáticos e de cenários futuros do modelo Eta	53
4.2 Métodos.....	55

4.2.1 Caracterização das sub-UGRHIs segundo a sua importância em quanto ao uso do recurso hídrico.....	55
4.2.2 Desenvolvimento dos Índices de Vulnerabilidade	56
4.2.2.6 Índice de Vulnerabilidade Geral futuro (IVG _F).....	68
4.2.2.7 Índice de Vulnerabilidade Hidroclimático Futuro (IVH _F)	69
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	83
5.1 Identificação das sub-bacias mais importantes da bacia do rio Ribeira de Iguape.....	83
5.2 Construção e avaliação dos índices de vulnerabilidade Ambiental, Social e Hidroclimáticos atuais	86
5.2.1 Índice de Vulnerabilidade Ambiental (IVA)	87
5.2.2 Índice de Vulnerabilidade Social (IVS).....	91
5.2.3 Índice de Vulnerabilidade Hidroclimático atual (IVH).....	93
5.2.4 Índice de Vulnerabilidade Geral atual (IVG)	102
5.2.5 Índice de Vulnerabilidade Hidroclimático Futuro (IVH _F).....	103
5.2.6 Índice de Vulnerabilidade Hidroclimático Futuro (IVH _F)	116
5.2.7 Índice de Vulnerabilidade Geral Futuro (IVG _F).....	117
6. CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS	122
REFERÊNCIAS	125
APÊNDICE A.....	142

1. INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas e os efeitos que essas alterações podem ocasionar sobre o meio natural e antrópico geram preocupação a nível mundial desde a década de 80. No ano de 1988, a Organização Meteorológica Mundial (OMM), em conjunto com o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), criaram o *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) ou Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, com o intuito de avaliar as questões do clima através de uma base especificamente científica (MARCOVITCH, 2006).

O termo mudança climática (*climate change*), utilizado pelo IPCC (2014a) em seu quinto relatório (AR5), é descrito como uma alteração no estado do clima de forma natural ou devido à atividade humana e pode ser identificada com modificações na média e/ou variabilidade de suas propriedades que persiste por um longo período (décadas ou mais tempo). Em contrapartida, outra definição é apresentada pela *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC) ou Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima, a qual afirma que a mudança climática é atribuída direta ou indiretamente às ações antrópicas e que altera tanto a composição da atmosfera quanto à variabilidade natural do clima dentro de períodos comparáveis (UNFCCC, 1992). Essas definições mostram uma divergência e dificuldade de definição quanto à causa das mudanças no clima, porém se acredita que as mudanças climáticas são um conjunto tanto das alterações antrópicas quanto da própria dinâmica natural da atmosférica. Vale destacar que o último relatório do IPCC mostrou maiores evidências de que as atividades antrópicas podem ter acelerado o processo de aquecimento do planeta e que alteraram o sistema climático global (IPCC, 2013).

Análises sobre o comportamento do clima global, desde 1950, mostram que houve uma diminuição dos dias e noites frias, sendo que os dias e noites quentes aumentaram. Além disso, houve também um aumento de frequência de chuvas fortes, o aumento e intensificação de períodos de secas em algumas regiões, o contrário em outras, bem como aumento das ressacas em decorrência da elevação do nível do mar e, possivelmente, crescimento das atividades de ciclones tropicais (CHANG, 2015).

Presume-se que as mudanças climáticas estão gerando impactos maiores sobre os sistemas naturais e humanos através de extremos, tais como ondas de calor, secas, inundações, ciclones e incêndios florestais no decorrer das últimas décadas, como cita o quinto relatório do IPCC (IPCC, 2013a). A atribuição da ação humana, na escala global, é fortemente evidenciada através do aumento significativo de gases de efeito estufa na atmosfera quando comparados aos níveis existentes pré-revolução industrial (IPCC, 2014b). O aquecimento, que vem

ocorrendo gradualmente, pode intensificar a dinâmica da atmosfera e acelerar tanto o ciclo hidrológico como o ciclo de energia na atmosfera que, por consequência, podem afetar a intensidade e frequência dos eventos de extremos climáticos (UNESCO, 2008).

Pressupõe-se que as mudanças climáticas irão ocasionar alteração do ciclo hidrológico em relação à precipitação, tanto em intensidade quanto em variabilidade, de modo a afetar a disponibilidade e distribuição hídrica, seja para um déficit ou excesso do recurso água (ANA, 2016; MARENGO, 2008). Contudo, os eventos hidrológicos extremos, tais como secas e enchentes, poderão ocorrer com maior frequência (MARENGO, 2008).

Essas alterações previstas que envolvem os recursos hídricos e que estão relacionadas às mudanças climáticas resultam em uma condição de vulnerabilidade generalizada (NASCIMENTO, 2014). Os impactos gerados através de eventos climáticos extremos tais como secas, inundações, entre outros, revelam o alto grau de vulnerabilidade de alguns ecossistemas e de sistemas humanos à variabilidade climática já existente (ANA, 2016).

A vulnerabilidade às mudanças climáticas é descrita pelo IPCC (2007a) como o grau de suscetibilidade ou incapacidade para lidar com os efeitos adversos da mudança climática. Para Plummer (2012), a vulnerabilidade dos recursos hídricos refere-se à suscetibilidade ao dano em função da exposição a forças externas, sensibilidade do sistema e capacidade do sistema para responder (lidar, recuperar-se, adaptar-se).

As mudanças no clima e, conseqüentemente, do regime de chuva podem tornar os recursos hídricos vulneráveis devido à escassez da água. Em 2014 e início de 2015 muitas regiões no Brasil sofreram com escassez hídrica. O Estado de São Paulo e a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) enfrentaram uma das maiores crises hídricas já registradas (COELHO; CARDOSO; FIRPO, 2015; MARENGO, 2015). Com esse episódio, a cultura da abundância da água, devido à grande oferta hídrica no país, precisou ser revista (PBMC, 2016). A cidade de São Paulo, que é a maior cidade do Brasil apresentou o risco de rodízio no abastecimento de água da população (PBMC, 2016). O Sistema Cantareira, que é o maior reservatório de São Paulo e abastece a maior parte de São Paulo, em janeiro de 2015 atingiu somente 5% da capacidade de armazenamento (COELHO; CARDOSO; FIRPO, 2015). Com isso, foi necessário utilizar a reserva técnica, que fica localizada abaixo das comportas do reservatório (SORIANO et al., 2016).

Em meio à alta demanda de água e à insegurança hídrica da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), uma das alternativas para garantir a disponibilidade de água foi a implantação do Sistema Produtor São Lourenço (SPSL), presente no Plano de Aproveitamento dos Recursos Hídricos para a Macrometrópole Paulista, do Governo do Estado de São Paulo. O

SPSL é responsável pela transposição de água da bacia hidrográfica do rio Ribeira de Iguape para a bacia do Alto Tietê e com a captação de uma vazão média anual de 4,7 m³/s do reservatório Cachoeira do França para abastecer a região oeste da RMSP (CBH-RB, 2015; SABESP, 2011). O reservatório Cachoeira do França é alimentado pelo rio Juquiá e está localizado na sub-UGRHI do Alto do Juquiá, sendo esta uma das 06 sub-UGRHIs que compõem a grande bacia do rio Ribeira de Iguape (CBH-RB, 2015).

A região estudada neste trabalho é a bacia hidrográfica do rio Ribeira de Iguape dentro do território do Estado de São Paulo. A bacia está situada a sudeste do Estado de São Paulo e limita-se a sudeste com o Estado do Paraná; ao norte com as Unidades de Gerenciamento dos Recursos Hídricos (UGRHIs) Alto do Paranapanema (UGRHI-14) e Médio Tietê/Sorocaba (UGRHI-10); e a nordeste com as UGRHIs Alto Tietê (UGRHI-6) e Baixada Santista (UGRHI-7) (CBH-RB, 2008).

Apesar de a região da bacia do rio Ribeira de Iguape ser considerada rica em relação aos recursos hídricos, a disponibilidade hídrica apresentou escassez de água durante a crise no ano de 2014. Isso ocorreu devido à diminuição da precipitação na região observada no final de 2013 (CBH-RB, 2015).

Os recursos hídricos da bacia estão expostos à variabilidade natural da precipitação, além das alterações que podem ser ocasionadas pelas mudanças climáticas. Ademais, fatores ambientais e sociais contribuem e podem fragilizar ainda mais os recursos hídricos em relação à disponibilidade de água. Outra questão que deve ser considerada é que a bacia está sofrendo a transposição de água para abastecer a Bacia do Alto Tietê, com intuito de assegurar o abastecimento da região mais populosa e industrializada do Brasil. Frente a esse contexto, em relação à insegurança hídrica, surge a iniciativa e a motivação de estudar a vulnerabilidade dos recursos hídricos da bacia do rio Ribeira de Iguape frente às mudanças no clima associadas às características hidroclimáticas e socioambientais da bacia.

Dentro da proposta deste trabalho, um questionamento a ser respondido pelo mesmo seria até que ponto a disponibilidade hídrica da bacia do rio Ribeira de Iguape para uso da água é vulnerável às mudanças climáticas. Assim, considerando o que muitos trabalhos demonstram em relação à maior intensidade e frequência dos eventos extremos na região sudeste do Brasil (IPCC, 2007; IPCC, 2014a), torna-se importante conhecer o que os cenários projetados pelos modelos climáticos analisados no quinto relatório do IPCC mostram para a bacia em estudo em relação à disponibilidade de água para os múltiplos usos.

1.2 Objetivo

Este trabalho tem como objetivo principal avaliar a vulnerabilidade atual e futura dos recursos hídricos pertencentes à bacia do rio Ribeira de Iguape frente às mudanças climáticas, considerando a disponibilidade hídrica, bem como os aspectos hidroclimáticos e socioambientais.

1.3 Objetivos Específicos

- Identificar quais são as sub-UGRHIs mais importantes da bacia do Ribeira do Iguape quanto ao uso do recurso hídrico;
- Mensurar a disponibilidade hídrica de cada sub-UGRHI de maior importância na situação atual e futura;
- Calcular o Índice de Vulnerabilidade atual e futuro de cada uma das sub-UGRHI mais importantes da bacia do rio Ribeira de Iguape em meio às mudanças do clima, considerando aspectos socioeconômicos, ambientais e hidroclimáticos.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Disponibilidade hídrica no Brasil

A água não tem distribuição uniforme no mundo e cerca de dez países concentram 60% da água doce disponível: Brasil, Rússia, China, Canadá, Indonésia, EUA, Índia, Colômbia e República Democrática do Congo (PARBOTEEAH; CULLEN, 2013). O Brasil está em uma situação privilegiada em relação aos recursos hídricos, pois apresenta 12% do total mundial de água doce superficial (MMA, 2007). Porém, a sua distribuição em todo o território não é equilibrada.

Os recursos hídricos brasileiros podem ser divididos em 12 regiões hidrográficas¹: Amazônia, Atlântico Leste, Atlântico Nordeste Ocidental, Atlântico Nordeste Oriental, Atlântico Sudeste, Atlântico Sul, Paraguai, Paraná, Parnaíba, São Francisco, Tocantins-Araguaia e Uruguai (BRASIL, 2013).

A distribuição espacial desta água é desigual em todo território brasileiro. Cerca de 80% de sua disponibilidade hídrica estão concentrados na região hidrográfica da Amazônia, onde há menor contingente populacional e baixa demanda de consumo (ANA, 2013). Já a região hidrográfica do Paraná concentra 6,5% da água disponível no país, porém apresenta a maior densidade demográfica e o maior desenvolvimento econômico de todas as regiões hidrográficas do país (ANA, 2015). Esta situação esclarece a problemática em relação à gestão de recursos hídricos no Brasil, visto que as maiores demandas de água não estão localizadas na mesma região com maior oferta de água. Verifica-se, através da Figura 1, que a alta demanda hídrica, devido ao grande número de pessoas, faz com que a situação dos recursos hídricos seja muito crítica na bacia do rio Tietê.

A Tabela 1 mostra a classificação de disponibilidade hídrica determinadas pela Organização das Nações Unidas (ONU), bem como o enquadramento territorial nacional referente a esta classificação conforme a SABESP².

¹ A Resolução nº 32/2003 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos instituiu a Divisão Hidrográfica

² Referência disponível em: <http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaoId=137>. Acesso em 02 ago. 2020.

Tabela 1 - Classificação da disponibilidade hídrica no Brasil.

Classificação da ONU	Disponibilidade Hídrica (m ³ /habitante/ano)	Região
Abundante	Maior que 20.000	Brasil (35.000)
Correta	Entre 2.500 e 20.000	Paraná (12.600)
Pobre	Entre 1.500 e 2.500	Estado de São Paulo
Crítica	Menor que 1.500	Estado de Pernambuco (1.270)
		Bacia do Piracicaba (408)
		Bacia do Alto Tietê (200)

(Fonte: SABESP, 1996)

Figura 1 - Uso da água versus disponibilidade hídrica no Brasil, por recurso hídrico.



(Fonte: adaptado de MARANHÃO, 2014)

Tanto a Figura 1, como a Tabela 1 destacam a criticidade dos recursos hídricos da bacia do rio Tietê (dentro da Região Hidrográfica do Paraná), que ocorre devido a alta demanda de água para abastecer a população. Este problema de demanda hídrica ficou evidente no ano de 2014, pois a RMSPE enfrentou um grande problema de desabastecimento devido à diminuição do regime de chuva e alta demanda de água para abastecimento da grande população local.

2.1.1 Crise hídrica e a RMSP

Localidades que, predominantemente, não possuem carência de precipitação podem ser afetadas por fatores que influenciam na ocorrência de precipitação. A falta de chuva esporádica, quando associada à alta demanda de água em função de uma população muito numerosa pode gerar grandes problemas com a falta de água e de distribuição de água para toda a sociedade (MARCOLIN, 2014).

A cidade de São Paulo apresentou adversidades com a oferta de água devido ao crescimento da população desde 1885, onde relatos do jornal Diário de São Paulo que advertiam sobre a problemática enfrentada pela população com a falta de água (VICTORINO, 2002). A população decuplicou de 1874 a 1900 em São Paulo e de 1874 a 1940 a população cresceu cerca de 57 vezes, de 23.253 para 1.326.261 pessoas. E esse crescimento não foi acompanhado por investimentos para ampliação de todo o sistema de produção e distribuição de água, políticas de educação ambiental para uso racional da água e nem de preservação para as áreas de mananciais (MARCOLIN, 2014; GAVIOLLI, 2013).

Sérios problemas com a seca foram relatados nos anos de 1924 e 1925, levando até a companhia de energia elétrica responsável por fornecer energia elétrica para São Paulo adotar uma série de medidas para não suspender seus serviços. Além disso, outro período de seca que se destacou foi de 1951 a 1956, sendo o pior ano em 1953. Em 1969, a escassez de chuva foi rigorosa ao ponto de exigir racionamento da água pela população (MARCOLIN, 2014).

Outro ano de severas consequências para a população da RMSP devido à estiagem ocorrida nas regiões sul e sudeste foi em 1985 e janeiro de 1986 e culminou em racionamento de água (ARAÚJO, 1986). Já no ano de 2003 ocorreu no Sistema Cantareira uma significativa escassez de água, chegando a apenas 1% do volume útil. Porém, foi em 2014 que ocorreu a mais recente seca que afetou toda a RMSP e uma das piores crises hídricas desde que teve o início o acompanhamento na década de 1930 (MARCOLIN, 2014; MARTINS, 2014a).

A seca de 2014 originou no Brasil uma crise hídrica que atingiu as regiões nordeste, centro-oeste e, de forma muito significativa, a região sudeste. Um total de 1485 municípios brasileiros (27%) decretou estado de emergência devido à falta de água. A diminuição da chuva prejudicou a oferta de água para o abastecimento público nas regiões do semiárido brasileiro e nas regiões com população numerosa, como o caso das regiões metropolitanas de São Paulo, que enfrentou o racionamento de água, e do Rio de Janeiro, que possuem uma alta demanda hídrica. Além da disponibilidade de água para a população, outros setores foram afetados com a crise: consumo urbano e industrial, agricultura, geração de energia, entre outros usos (AMBRIZZI; COELHO, 2018).

Conceitualmente, há uma diferença entre seca hidrológica e crise da água. A seca hidrológica é caracterizada pelo déficit da precipitação, ou seja, um período sem precipitação significativa em relação ao valor de referência para o mesmo período (WILHITE; GLANTZ, 1985). Já a crise vai além da seca hidrológica. A causa da crise hídrica na RMSP em 2014 não pode ser atribuída apenas ao menor índice pluviométrico da região comparado ao mesmo período em outros anos. Outros fatores relacionados à gestão podem influenciar na oferta da água, e sendo assim, a crise não pode ser atribuída a um evento único, como a falta de chuva, mas sim a um conjunto de fatores (ANA, 2014; BUCKERIDGE; RIBEIRO, 2018).

Autores como Porto, Porto e Palermo (2014), Targa e Batista (2015), Leite e Monteiro (2016), relatam que a crise hídrica na RMSP foi agravada por erros de gerenciamento dos recursos hídricos, além da escassez de chuva. Ao momento que a crise havia se instalado já não era mais possível recorrer a soluções com medidas estruturais, por isso medidas não-estruturais precisaram ser implementadas. Essas medidas consistiram em ações que diminuíssem o uso da água tratada pela população, como campanhas de esclarecimento e conscientização, instrumentos econômicos por meio de descontos ou aumento de tarifas, rodízios, entre outros (PORTO; PORTO; PALERMO, 2014; TARGA; BATISTA, 2015; SABESP, 2015). As outras causas que certamente influenciaram na oferta de água durante a crise envolveram o aumento da demanda pela população, o uso agrícola e industrial; o desperdício da água e as perdas de água devido à falta de manutenção dos sistemas já implantados; a falta de saneamento básico e a poluição das águas; a proteção da vegetação natural e mananciais, que têm uma grande influencia no abastecimento dos reservatórios; a falta de incentivo ao reuso da água, seja tratada ou diretamente coletada da chuva (BUCKERIDGE; RIBEIRO, 2018).

Para evitar uma crise como a de 2014 devem ser necessárias as seguintes ações: conscientização da necessidade de um uso mais racional e sustentável da água; aprimorar técnicas de reuso da água; reduzir o desperdício pelos diferentes usos (na irrigação, na indústria, na distribuição e no consumo residencial, por exemplo); além de implementar ações de conservação de mananciais; infraestrutura focando a segurança hídrica e a valorização do recurso hídrico. Esses são exemplos de medidas que auxiliam na segurança de oferta da água (ANA, 2014).

A crise ocorrida em 2014 é um exemplo de como a redução da precipitação afeta a disponibilidade de água nos recursos hídricos. O início da crise ocorreu no segundo semestre do ano de 2012 e, segundo a ANA (2014), o comportamento do índice de chuva esteve abaixo da média em algumas regiões. O Relatório de Conjuntura dos Recursos Hídricos – Especial

Crise Hídrica 2014, elaborado pela Agência Nacional da Água, mostra que o comportamento pluviométrico apresentou o início da redução dos níveis de chuva mensais em 2012 na região nordeste; e na região sudeste, essa redução ocorreu em outubro de 2013 (ANA, 2014).

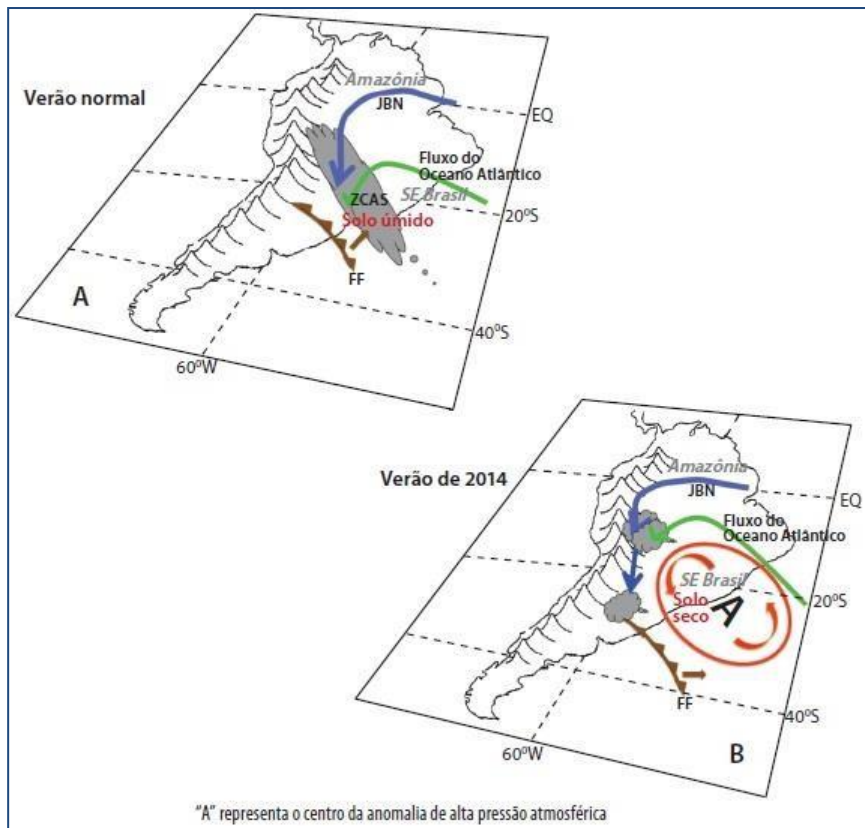
A região sudeste do Brasil, em geral, possui uma precipitação uniforme com a precipitação total anual acumulada que varia em torno de 1500 e 2000 mm, podendo atingir 4500 mm no litoral sul de São Paulo (REBOITA et al., 2009; NUNES; VICENTE; CANDIDO, 2009). A região, também, apresenta verão chuvoso e inverno seco, sendo que o período chuvoso ocorre de outubro a março (ALVES; MARENGO; CASTRO, 2002).

O fenômeno atmosférico responsável pela escassez de chuva, na seca de 2014, na região sudeste foi uma incomum área de alta pressão atmosférica (anticiclone) nos baixos e médios níveis da atmosfera (MARENGO, 2015). O anticiclone teve início em dezembro de 2013 sobre o Oceano Atlântico subtropical e influenciou a circulação atmosférica da região. A duração desse anticiclone foi de aproximadamente 45 dias, o que é raro já que os mesmos costumam durar 7-8 dias (MARENGO; ALVES, 2016).

O fluxo descendente do ar, no sistema de alta pressão, injetou ar seco transportado dos níveis mais altos e inibiu que o ar úmido formasse as chuvas típicas da região. Além disso, este sistema, conhecido como bloqueio atmosférico, não permitiu a passagem de sistemas frontais (FF), assim como o desenvolvimento da Zona de Convergência Atlântico Sul (ZCAS), e do fluxo de umidade da Amazônia, também conhecido como Jato de Baixos Níveis (JBN) (MARENGO; ALVES, 2016). O JBN consiste em fortes fluxos meridionais observados ao longo de cadeias montanhosas. Na América do Sul, o JBN é denominado Jatos de Baixos Níveis da América do Sul (JBNAS), e é responsável pelo transporte de umidade da bacia Amazônica para a bacia Paraná-Prata através dos Andes (MARENGO et al., 2009).

A Figura 2 mostra um esquema da circulação de baixos níveis para um verão normal e para 2014.

Figura 2 - Esquema da circulação de baixos níveis para um verão normal e para o verão de 2014 (crise hídrica).



(Fonte: MARENGO, 2015, p. 37)

Em 2015 houve a atuação de outro sistema de alta pressão, porém mais fraco e curto. Entretanto, esse outro bloqueio atmosférico impediu que houvesse recuperação da umidade no solo. Esse efeito gerou um círculo vicioso em relação ao ciclo hidrológico, já que a falta de chuva afetou a umidade do solo que influenciou na falta de chuva (MARENGO, 2015). O total acumulado de precipitação no verão 2013/2014 foi cerca de 47,8% menor que o esperado para a época em São Paulo. Enquanto que o verão de 2014/2015 apresentou 75% menos do que o acumulado mensal esperado (COELHO; CARDOSO e FIRPO, 2015). Assim, o nível de precipitação foi deficitário no centro-sul do Estado de Minas Gerais e centro-leste do Estado de São Paulo, justamente áreas de recarga do Sistema Produtor Cantareira, que, até 2014, eram responsáveis por abastecer 45% da RMSP (MARENGO, 2015; ANA, 2014).

A crise hídrica da RMSP acabou gerando um estresse em relação à disputa pela outorga de uso de água no Vale do Rio Paraíba do Sul com a Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ). A RMRJ também apresentou problemas com a alta demanda e falta de chuva (MMA, 2017; ANA, 2014).

A RMSP é a mais populosa do Brasil, com cerca de 20 milhões de pessoas, e quinta maior do mundo. Essa região recebe abastecimento de água do Sistema Integrado Metropolitano (SIM) responsável por abastecer trinta municípios, enquanto outros nove municípios e alguns núcleos são abastecidos por sistemas isolados (SABESP, 2011). A RMSP está localizada nas cabeceiras da bacia do rio Tietê. Essa região apresenta baixa disponibilidade hídrica que, segundo a SABESP (2011), ocorre devido à grande concentração urbana e à disponibilidade hídrica escassa. Essa escassez hídrica é agravada por problemas de poluição dos mananciais, sendo necessária, assim, a transposição de água de outras bacias. O SIM é composto por 8 sistemas produtores de água (Cantareira, Guarapiranga, Alto Tietê, Rio Claro, Rio Grande, Alto Cotia, Baixo Cotia, Ribeirão da Estiva) das quais apenas a do Ribeirão da Estiva não necessita de melhorias ou ampliações para assegurar o abastecimento da RMSP no futuro (FABHAT, 2016).

O abastecimento de água da RMSP depende fortemente do abastecimento do Sistema Cantareira e se constitui no maior sistema produtor de água da RMSP. Até 2014, esse sistema atendia cerca de 9,4 milhões de pessoas da RMSP e em 2014 passou a fornecer água para 6,5 milhões³. Durante a crise hídrica, o Sistema Cantareira atingiu 12,5% da sua capacidade, sendo necessário utilizar a reserva técnica ou volume morto para abastecimento de água (PORTO; PORTO; PALERMO, 2014).

Dentro da problemática que envolve o abastecimento público da RMSP, algumas obras já vinham sendo realizadas para minimizar o impacto de falta de água para a região. Dentre elas está a captação de água do rio Juquiá através do Sistema Produtor São Lourenço (SPSL), na bacia hidrográfica do rio Ribeira de Iguape.

³ <https://www.nivelaguasaopaulo.com/cantareira>. Acesso em: 21 out. 2019.

2.2 Sistema Produtor São Lourenço (SPSL) e o Projeto Isoterma

No contexto histórico, o SPSL consiste em uma evolução do Projeto Juquitiba, que foi uma proposição realizada pela SABESP nos anos 1996/1997. O antigo projeto previa captação de 4,7 m³/s do fio de água do rio Juquiá com reversão para a bacia do Guarapiranga, na RMSP. Nessa época houve uma manifestação de preocupação do Ministério do Meio Ambiente em meio as seguintes questões (SABESP, 2011):

- Impacto econômico local devido à atividade de canoagem (*rafting*) no rio Juquiá (no município de Juquitiba, logo após a foz do rio São Lourenço);
- Impacto da vazão na bacia receptora, impacto sobre a vegetação ribeirinha e risco de inundação nas várzeas do rio Embu-Guaçu;
- Risco de introduzir espécies indesejáveis no reservatório Guarapiranga.

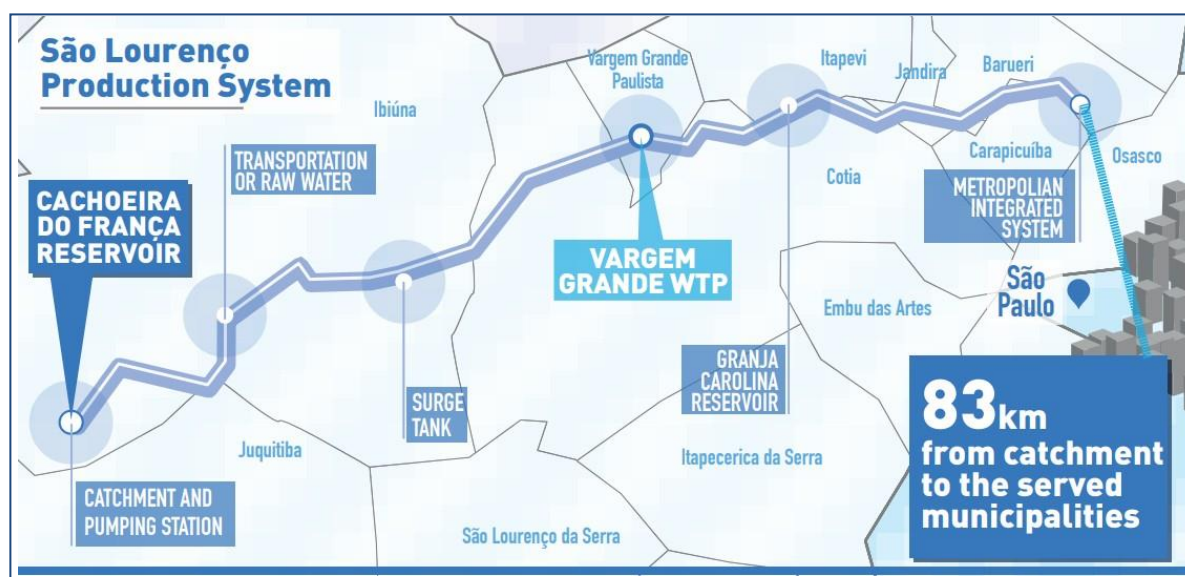
O SPSL, que iniciou a operação em abril de 2018⁴, é responsável pela captação de 4,7 m³/s de água do reservatório da Cachoeira do França, localizado na bacia do Alto Juquiá. Esse sistema foi previsto para servir como reforço e regularização do abastecimento público de cerca de 2 milhões de pessoas que residem na zona oeste e sudoeste da RMSP (LIMA; ARADO, 2017).

Atualmente, a Companhia Brasileira de Alumínio (CBA) possui a concessão com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) de aproveitamento de energia elétrica da represa Cachoeira do França. Porém, nessa concessão reservam o direito de reversão de 4,7 m³/s para abastecimento público de água da RMSP (SABESP, 2011; LIMA; ARADO, 2017).

O SPSL (Figura 3) complementa a vazão que já é disponibilizada pelo uso dos sistemas Cantareira, Guarapiranga, Alto e Baixo Cotia através do Sistema Integrado Metropolitano (SIM), o qual atende os municípios de Cotia, Vargem Grande Paulista, Itapevi, Jandira, Barueri, Carapicuíba e Santana de Parnaíba. Contudo, o SPSL permite que o Sistema Cantareira tenha capacidade de abastecer melhor o extremo norte da Grande São Paulo, tais como os municípios Franco da Rocha e Francisco Morato. Além disso, também se considerou a possibilidade de liberar água do Sistema Alto Cotia e atender melhor os municípios Embu, Itapeverica da Serra e Embu-Guaçu (SABESP, 2011).

⁴ Disponível em: <https://g1.globo.com/sp/sao-paulo/noticia/sistema-sao-lourenco-e-inaugurado-e-deve-abastecer-2-milhoes-de-pessoas-na-grande-sp.ghtml>. Acesso em: 08 out. 2019.

Figura 3 - Esquema do Sistema Produtor São Lourenço.



(Fonte: HILDEBRAND; TONELLO; SILVA, 2016)

A bacia do rio Juquiá possui alta disponibilidade hídrica, que é favorecida pela precipitação no trecho superior da bacia, densa rede hídrica, vegetação arbórea e uso do solo compatível com o uso da água. A água dos mananciais da bacia é captada pela SABESP para abastecimento público dos municípios de Juquitiba e São Lourenço. Cerca de 61 l/s são captados, volume muito pequeno comparado às vazões disponíveis. A disponibilidade hídrica da Cachoeira do França é de 18,6 m³/s, com 100% de garantia, e 22,3 m³/s, para 95% de garantia. Essa vazão é totalmente compatível com a captação do SPSL, de 4,7 m³/s (SABESP, 2011).

Além da captação de 4,7 m³/s, há outras demandas sendo alinhadas para complementar e aumentar a transposição de água da BHRRRI para a RMSP. Dentre esse aumento da demanda prevista pelo Comitê de Bacias da UGRHI-11, o último Plano da Bacia Hidrográfica do Rio Ribeira de Iguape criou cinco cenários de captação para facilitar a compreensão dos efeitos dessa transferência de água (CBH-RB, 2018). O cenário 1 não considera transferência de água. O cenário 2 leva em conta apenas o volume transferido na atualidade de 4,7 m³/s. No cenário 3 há o interesse de transferir 6,4 m³/s de água para a RMSP com solicitação feita e aguardando consentimento. O cenário 4 considera o total de 7,75 m³/s que, até a elaboração do último plano, ainda estava aguardando licenciamento. E, por fim, o cenário 5 visa captar 9,65 m³/s no total e que já chegou a ser solicitado (CBH-RB, 2018).

Além de considerar o SPSL, o Plano Diretor de Aproveitamento de Recursos Hídricos para a Macrometrópole Paulista cita que houve um estudo preliminar para abastecimento da

RMSP através do baixo curso da bacia do rio Juquiá (a montante da confluência com o rio Ribeira de Iguape). O projeto, denominado Isoterma, seria aproveitado para abastecimento de água e geração de energia por meio de uma reversão de 800 a 900 m de desnível e que permitiria bombear $80 \text{ m}^3/\text{s}$ para a região do planalto, podendo ser aproveitado nas regiões de Campinas, Sorocaba e a RMSP (COBRAPE, 2013). O projeto foi delineado para fornecer 1500 MW de energia, além de abastecer com $80 \text{ m}^3/\text{s}$ a região mais povoada do Brasil, contra $4,7 \text{ m}^3/\text{s}$ do SPSL⁵. Assim, a captação de água do baixo Juquiá, é algo que depende apenas de questões econômicas, mas que pode ser considerada concretizável. Esse fato pode ser reforçado pelo projeto ter sido citado como opção no Plano Diretor de Aproveitamento de Recursos Hídricos para a Macrometrópole Paulista (COBRAPE, 2013).

Segundo o Plano da Bacia do Alto Tietê (FUSP, 2009), a demanda máxima mensal para 2020 é de $87,9 \text{ m}^3/\text{s}$, quase o volume total que o projeto Isoterma pode fornecer. Essa comparação sugere o quanto a captação de água do Baixo Ribeira, com a implantação desse projeto, pode fragilizar os recursos hídricos através do alto volume de reversão de água para abastecer a RMSP. Ainda, ao considerar que a ocorrência de eventos extremos, como uma seca meteorológica, pode ser mais frequente no contexto das mudanças climáticas, como analisado na seção anterior, a bacia do Rio Ribeira pode se tornar tão vulnerável quanto outras sub-bacias que abastecem RMSP em relação à disponibilidade hídrica.

2.3 Hazard, Risco e Vulnerabilidade: Conceito, discussão e abordagem para o desenvolvimento do trabalho de pesquisa

A definição de quais são os agentes precursores e que tornam um sistema ou população vulnerável permite uma maior compreensão dessa fragilidade, sendo importante para criar um conjunto de ações que possa mitigar essa vulnerabilidade ou até mesmo erradicá-la. Assim sendo, este tópico tem como propósito apresentar uma discussão e proporcionar clareza sobre as definições que envolvem o *hazard*, o risco e a vulnerabilidade. Essa análise permite a reflexão e, conseqüentemente, compreensão do principal sentido atribuído a cada conceito, facilitando a atribuição destes no conceito das fragilidades dos recursos hídricos da bacia em estudo.

O *hazard* e o risco podem ser descritos como precursores da vulnerabilidade, já que para um sistema ou população ser vulnerável, é necessária a exposição a outros fatores (MARANDOLA JUNIOR; HOGAN, 2004). Para iniciar a discussão, é necessário entender o

⁵ <http://www.cbdb.org.br/informe/img/57socios3.pdf>. Acesso em: 21 out. 2019.

que é *hazard*. A definição de *Hazard* tem como origem a possibilidade de ocorrência de um evento que rompe o ritmo de um ciclo natural e interfere na vida de uma população causando danos, perdas e expondo ao perigo (MARANDOLA JUNIOR; HOGAN, 2004). Segundo Marandola Junior e Hogan (2004) a palavra *hazard* possui diversas traduções em diferentes países, porém não há uma palavra correspondente na língua portuguesa e nem nos idiomas latinos, por isso a tentativa de usar tradução de *hazard* torna-se questionável. A definição literal, na língua inglesa, de perigo é *danger*, no entanto alguns autores como Ogura e Macedo (2002) e Marcelino, Nunes e Kobiyama (2006) preferem apresentar a palavra *hazard* como perigo. Já Mattedi e Butzke (2001) entendem que um *hazard* está associado a uma ameaça para sociedade. Dentre essa abordagem de diversas definições atribuídas ao mesmo termo, neste trabalho optou-se por não traduzir o *hazard* com a finalidade de preservar o termo original associado à palavra inglesa.

De uma forma mais abrangente, a UNISDR (2017) exhibe o significado de *hazard* como um processo, fenômeno ou atividade humana que pode causar perda de vida, ferimentos ou impactos à saúde, perdas materiais, interrupção social e econômica ou degradação ambiental. Além disso, pode ser de origem natural, antropogênica ou socionatural.

Os *hazards* naturais estão predominantemente associados a processos e fenômenos naturais. Os antropogênicos são induzidos por humanos de forma total ou por atividades e escolhas humanas. Vale destacar que, este termo não inclui a ocorrência ou o risco de conflitos armados e outras situações de instabilidade ou tensão social sujeitas ao direito internacional humanitário e à legislação nacional. Os *hazards* socionaturais estão associados a uma combinação de fatores naturais e antropogênicos, incluindo degradação ambiental e mudanças climáticas (UNISDR, 2017).

Em meio ao contexto deste trabalho, vale citar o que é um *hazard* hidrometeorológico. Este pode ser determinado como de origem atmosférica, hidrológica ou oceanográfica, e pode ser exemplificado por ciclones tropicais (que podem originar tufões e furacões), inundações (incluindo enxurradas), seca, ondas de calor e tempestades costeiras (UNISDR, 2017). Neste trabalho o *hazard* abrange o conceito de *hazard* hidrometeorológico e pode ser atribuído à escassez de chuva ou evento de seca. O déficit da precipitação exerce influência sobre a vazão dos recursos hídricos causando insuficiência hídrica.

O risco está associado a um *hazard* e é definido como a probabilidade de ocorrência do mesmo (SAHNI et al., 2001 apud PROAG, 2014). Para Castro, Peixoto e Pires do Rio (2005) um risco está associado a noções de incerteza, exposição ao perigo e perda e prejuízos humanos, materiais e econômicos em função de processos naturais (sendo estes processos

endógenos e exógenos da Terra) e/ou relacionados ao trabalho e relações humanas. O sentido amplo da palavra risco faz referência à probabilidade de ocorrer os processos no tempo e no espaço, de forma não constante e, também, não determinado considerando a maneira como estes processos afetam (direta ou indiretamente) a vida humana (CASTRO; PEIXOTO; RIO, 2005). A UNISDR define um risco a desastres como:

Uma potencial perda de vidas, lesões ou ativos destruídos ou danificados que podem ocorrer em um sistema, sociedade ou comunidade em um período específico, determinado de forma probabilística em função do *hazard*, exposição, vulnerabilidade e capacidade. A definição de risco de desastre reflete o conceito de ocorrência de um *hazard* como o resultado de condições de risco continuamente presentes. O risco de desastre compreende diferentes tipos de perdas potenciais que muitas vezes são difíceis de quantificar. No entanto, com o conhecimento dos *hazards* prevaletentes e dos padrões de desenvolvimento populacional e socioeconômico, os riscos de desastres podem ser avaliados e mapeados, pelo menos em termos gerais (UNISDR, 2017).

Tanto o artigo de Marandola Junior e Hogan (2004), quanto o de Castro, Peixoto e Pires do Rio (2005) discutem a abordagem de diferentes autores quanto à definição de um mesmo termo de *hazard* e o risco, e mencionam que muitos autores confundem seus significados. Nesse trabalho, o risco de ocorrência de um *hazard* está associado à variabilidade e probabilidade de ocorrência aos extremos climáticos, mais precisamente aos eventos de seca, que podem estar relacionados com as mudanças climáticas. Em meio à exposição ao risco de um sistema ou população à ocorrência de um *hazard*, pode-se dizer que esse sistema ou população é vulnerável. Sendo assim, se há o risco de ocorrer um evento de seca através das alterações do clima, então os recursos hídricos são vulneráveis às mudanças climáticas.

O conceito vulnerabilidade, que teve início na área da geografia referindo-se aos desastres naturais, é muito utilizado em trabalhos no âmbito social (CUTTER, BORUFF E SHIRLEY, 2003; VINCENT, 2004; ALVES, OJIMA, 2008; MARANDOLA JUNIOR; HOGAN, 2005; COSTA, MARGUTI, 2015) e ambiental (FERREIRA, 2013; TAGLIANI, 2003; LOMBARDO et al., 2013; DEBORTOLI et al., 2017).

La Comisión Económica para América Latina y el Caribe (Cepal) ou Comissão Econômica para a América Latina e Caribe conceitua a vulnerabilidade da seguinte forma (Cepal, 2002):

Vulnerabilidade = exposição ao risco + incapacidade de responder

Já a *United Nations International Strategy for Disaster Reduction* (UNISDR) ou Estratégia Internacional das Nações Unidas para a Redução de Desastres descreve a vulnerabilidade como uma condição determinada por fatores ou processos físicos, sociais, econômicos e ambientais que aumentam à susceptibilidade de um indivíduo, uma comunidade, ativos ou sistemas para o impacto a uma ameaça (UNISDR, 2017).

Referente ao clima, a vulnerabilidade pode ser descrita como o grau de suscetibilidade ou incapacidade para lidar com os efeitos adversos da mudança climática (IPCC, 2014b).

Outra definição é documentada por Cardona (2003), que relata a vulnerabilidade como um fator de risco de um sujeito ou sistema exposto a um *hazard* e corresponde à sua predisposição de ser afetada, ou estar suscetível a danos. Em resumo, a vulnerabilidade pode ser descrita como a suscetibilidade ou predisposição, seja econômica, política ou social de uma comunidade para causar perdas a partir de um fenômeno de origem natural ou antrópico.

Cardona (2003) faz uma discussão importante a respeito da necessidade de repensar sobre conceito de vulnerabilidade e risco. O autor relata que há um grande número de autores que fazem referência do termo vulnerabilidade referindo-se diretamente ao risco e que o *hazard* e a vulnerabilidade são concomitantes e levam ao risco. Ele afirma que se não existir risco, não há vulnerabilidade, quando visto sob a perspectiva do potencial ao dano ou perda com a ocorrência de um evento. Do mesmo modo, não há uma situação de risco para um elemento ou sistema se ele não estiver "exposto" ou vulnerável ao fenômeno em potencial (CARDONA, 2003).

Em meio a essa ambiguidade que a definição de vulnerabilidade possa sofrer, Cardona (2003) e Chang (2013) citam que é muito importante nos questionarmos: vulnerável a quê ou a quem? (catástrofes, eventos climáticos extremos, desastres antrópicos ou naturais, etc.).

Chang (2013) e Nascimento (2014) também mencionam que para estudar a vulnerabilidade é necessário responder algumas questões que são consideradas fundamentais como: Vulnerabilidade de quem? (recursos hídricos, geração de energia, ecossistemas, etc.); E porque existe a vulnerabilidade? No que diz respeito à escala, é necessário definir a unidade de análise espacial (estado, município, região, microbacia hidrográfica, setor censitário, bairro, etc.) (CHANG, 2013).

Neste trabalho, a vulnerabilidade está atribuída à suscetibilidade e exposição dos recursos hídricos da bacia do Rio Ribeira de Iguape em face à escassez hídrica que pode ocorrer devido às mudanças climáticas. As mudanças climáticas podem aumentar o risco de eventos extremos climáticos e de ocorrência do *hazard* de escassez da precipitação. Além das mudanças climáticas, outros aspectos importantes, como os fatores sociais e ambientais,

contribuem para tornar os recursos hídricos ainda mais fragilizados. Por isso, neste trabalho eles serão considerados na identificação da vulnerabilidade dos recursos hídricos. Nunes (2009) levanta a questão de que a escassez hídrica, além de ser influenciada pelo crescimento populacional acelerado e pelos problemas relacionados à qualidade da água, também sofre pressão devido à diminuição da cobertura vegetal.

O trabalho desenvolvido pelo Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC) (2016), intitulado “Mudanças Climáticas e Cidades” ressalta que as secas comprometem o fluxo de água nos rios. Em contrapartida, a intensificação no volume de chuvas e sua concentração em curtos espaços de tempo podem gerar aumentos repentinos de vazão, e, conseqüentemente, transporte de sedimentos, causar enchentes, assorear os rios e a reduzir a qualidade da água. Além disso, grandes quantidades de chuva por períodos contínuos, ou após um período de estiagem, aumenta o escoamento superficial sobre os solos, devido à redução na permeabilidade da água, tanto por intervenções antrópicas quanto pelos eventos extremos (PBMC, 2016).

O presente estudo apresenta uma proposta metodológica que permite a avaliação quantitativa da vulnerabilidade no momento atual e futuro dos recursos hídricos que compõem as sub-bacias de maior importância quanto ao uso da água na bacia do rio Ribeira de Iguape.

2.4 Análise da vulnerabilidade

Os métodos de avaliação da vulnerabilidade adotados para elaboração de trabalhos sobre o tema podem ser qualitativos (NUNES, 2011) ou quantitativos, através da associação de indicadores (CHANG, 2013; CONFALONIERI; BARATA; MARINHO, 2015; FERREIRA, 2013; BARATA CONFALONIERI 2014; VALVERDE, 2017; MENEZES et al. 2018). Antes da apresentação dos métodos para quantificação da vulnerabilidade, faz-se necessária conceituar os indicadores e outros termos correlacionados. Os indicadores podem ser descritos como variáveis individuais ou uma variável que está em função de outras sub-variáveis (VAN BELLEN, 2002). Essas sub-variáveis serão aqui descritas como componentes. O grande objetivo dos indicadores é agregar e quantificar informações, tornando-as mais compreensíveis. Sendo assim, os indicadores transformam fenômenos complexos para que possam ser assimilados com maior facilidade (VAN BELLEN, 2002). A partir da agregação dos indicadores, os índices são formados (VINCENT, 2004). E são os índices que neste estudo quantificarão a vulnerabilidade dos recursos hídricos frente às mudanças do clima.

Confalonieri, Barata e Marinho (2015), com base em alguns trabalhos de vulnerabilidade ao clima, fazem uma síntese de alguns aspectos que consideraram importantes. Os autores citam que uma boa maneira de quantificar a vulnerabilidade ao clima é através da utilização de índices agregados que contenham dimensões como saúde, ambiental, climática e social. Também recomendam a resscalação dos mesmos, já que essas dimensões de cada componente ou indicador são de escalas distintas.

Chang (2013) aponta que, para utilizar um método quantitativo, é necessário escolher as variáveis ou componentes que melhor traduzem ou representam as vulnerabilidades específicas e a sua disponibilidade. Assim, uma vez obtidos esses dados, ainda seria necessário definir como estratificá-los em classes e quantas classes para melhor representar e visualizar os segmentos em análise (quartis, quintis, intervalos iguais ou intervalos dirigidos de três, cinco, ou dez classes). Para compor os índices seria preciso definir se a ponderação realizada de alguns indicadores representa bem a vulnerabilidade específica analisada. Dada a complexidade das diferentes dimensões da vulnerabilidade, além da sua análise qualitativa, a sua quantificação e espacialização são de fundamental importância (CHANG, 2013).

Estudos que utilizam o método de associação de indicadores para representação da vulnerabilidade às mudanças climáticas são muito utilizados tanto no Brasil, quanto no exterior. A seguir, na Tabela 2, serão apresentados alguns estudos nacionais e internacionais referentes à vulnerabilidade aos impactos das alterações climáticas, e que utilizam a associação de indicadores como metodologia, realizados na última década.

Tabela 2 - Estudo de vulnerabilidade às mudanças climáticas internacionais e nacionais.

Ano	Escala	Local	Índices ou Indicadores	Autores
2009	Internacional	Moçambique	-Sociodemográfico; -Estratégias de subsistência; -Rede social; -Saúde; -Alimento; -Água; -Desastres Naturais e Variabilidade Climática;	Hahn, Riederer e Foster
2011	Internacional	Índia	-Sociodemográfico; -Estratégias de subsistência; -Rede social; -Saúde; -Alimento; -Água; -Desastres Naturais; -Variabilidade Climática;	Pandey e Jha
2015	Nacional	Brasil	Demográfico; Renda; Educação; Saneamento; Saúde.	Confalonieri, Marinho e Rodriguez
2015	Nacional	Paraná	-Deslizamento; -Estresse hídrico; -Enchentes e alagamentos; -Socioeconômico; -Cenário climático;	Chang e Freitas
2018	Nacional	Amazonas	-Cobertura vegetal; -Desastres naturais; -Doenças associadas mudanças climáticas; -Pobreza; -Sociodemográfico; -Socioeconômico; -Organização sociopolítica; -Instituição, infraestrutura e serviços para adaptação; -Cenários Climáticos;	Menezes et al.

(Fonte: Elaboração própria)

O artigo de Hahn, Riederer e Foster (2009) mostra o desenvolvimento do Índice de Vulnerabilidade de Subsistência para estimar a vulnerabilidade às mudanças do clima em dois distritos de Moçambique: Mabote e Moma. Esse índice foi calculado através da agregação de sete indicadores, sendo eles: sociodemográfico; estratégias de subsistência; redes sociais;

saúde; alimentos, água e desastres naturais e variabilidade climática. A apresentação dos resultados ocorreu por gráfico de aranha e diagramas triangulares e os mesmos mostraram que o distrito de Mabote pode ser mais vulnerável em termos de estrutura sociodemográfica e Moma pode ser mais vulnerável em relação aos recursos hídricos.

O segundo estudo que aplica o método de agregação de indicadores e se relaciona com as mudanças climáticas, foi desenvolvido pelos autores Pandey e Jha (2011) para encontrar o Índice de Vulnerabilidade Climática nas comunidades da zona rural do Baixo Himalaia, na Índia. Foram utilizados oito indicadores: perfil sociodemográfico, estratégias de subsistência, rede social, saúde, alimento, água, desastres naturais e variabilidade climática. Os dados para o cálculo do índice final foram obtidos através de entrevistas a 50 domicílios selecionados aleatoriamente. A pesquisa foi realizada próximo ao distrito NDH e fora do distrito ADH, de Srinagar, Utrakhand na Índia. Os indicadores foram divididos em três dimensões da vulnerabilidade. Estas divisões foram: capacidade adaptativa, que incluiu o perfil sociodemográfico, estratégias de subsistência e redes sociais, devido à natureza e conteúdo deste componente. A outra dimensão foi sensibilidade, sendo composta por saúde, alimentos, a água. E por fim, a exposição, que contém os desastres naturais e variabilidade climática. O resultado encontrado pelos autores identificou maior vulnerabilidade fora do distrito para os indicadores estratégias de subsistência, alimentação e desastres naturais e saúde e água em domicílios próximos ao distrito. Além disso, foi verificado que a capacidade adaptativa e a sensibilidade foram maiores longe do distrito do que próximo. Já a exposição, foi semelhante em ambos os locais. O Índice de Vulnerabilidade Climática foi de 0,69 próximo ao distrito e 0,64 longe do distrito e mostra que a comunidade próxima ao distrito é mais vulnerável às mudanças do clima.

No Brasil, o artigo desenvolvido por Menezes et al. (2018) buscou avaliar a vulnerabilidade da população nos municípios do estado do Amazonas em relação às mudanças climáticas considerando projeções climáticas. Foram analisados índices socioeconômicos, demográficos e políticos, além de considerar a presença de instituições, infraestrutura e serviços para adaptação; de saúde; vegetação; desastre natural; cenários climáticos usando as projeções do modelo Eta para 62 municípios. Os cenários climáticos corresponderam ao uso de dados de precipitação e temperatura de saída do modelo Eta-HadGEM2-ES. A combinação desses índices permitiu criar o índice de Vulnerabilidade Municipal e identificar os municípios com a população mais vulnerável em meio às alterações do clima. Com esse estudo foi possível identificar que a capacidade adaptativa e a pobreza têm maior influência na vulnerabilidade dos municípios atualmente nas regiões sul, norte e

leste do Estado do Amazonas. O trabalho sugere que haja um esforço de políticas públicas para tentar reduzir a vulnerabilidade dessas regiões e organizar ações para que a população possa lidar com as adversidades das mudanças no clima.

O estudo de Chang e Freitas (2015) apresenta o mapeamento e indicadores de vulnerabilidade aos extremos climáticos no estado do Paraná. Os métodos utilizados consistiram na agregação de indicadores de modo a formar o Índice de Vulnerabilidade Municipal em dois cenários: um de baixa emissão e outro de alta emissão. Esse Índice de Vulnerabilidade Municipal é composto por o Índice de Suscetibilidade Biofísico, que por sua vez é composto por índices de deslizamento, estresse hídrico e enchentes e alagamentos; Índice de Vulnerabilidade Socioeconômica e Índice do Cenário Climático. Índice de Cenário Climático utilizou dados de chuva de saída do modelo Eta. Como resultado final, foram apresentados mapas de dois cenários para mostrar o índice de vulnerabilidade de cada por meio de uma escala. O mapa com cenário de baixa emissão apresentou menos municípios com alta vulnerabilidade em comparação ao outro cenário, sendo a maior vulnerabilidade do cenário de baixa emissão presente a norte e nordeste do estado. Já o cenário de alta emissão mostrou maior vulnerabilidade em quantidade de municípios e valor do índice, sendo que este mostrou ser mais vulnerável na região norte, nordeste, centro, sudoeste e sul.

3. ÁREA DE ESTUDO, DADOS E METODOLOGIA

3.1 Área de Estudo

A área de estudo compreende a Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos de São Paulo n° 11 (UGRHI -11), denominada Ribeira de Iguape e Litoral Sul, e suas subdivisões, e compreende as regiões metropolitanas de São Paulo e Curitiba. Apesar de existir diferença entre uma UGRHI e uma bacia hidrográfica, neste trabalho a UGRHI-11 será considerada como a parte da bacia do rio Ribeira de Iguape pertencente ao Estado de São Paulo. A área total da bacia equivale a 24.980 km², das quais 15.480 km² (62%) estão contidas no Estado de São Paulo e 9.500 km² (38%) ao Estado do Paraná. A bacia está dividida em seis sub-bacias ou seis sub-UGRHIs: Baixo Ribeira, Vertente Marítima Sul, Rio Ribeira de Iguape, Vertente Marítima Norte, Alto Juquiá e Rio Itariri, cujas informações das áreas de drenagem são exibidas na Tabela 3. Os mais importantes rios da bacia são o Juquiá, Ribeira, Ribeira de Iguape, São Lourenço, Jacupiranga, Pardo, Una da Aldeia e Itariri. A Figura 4 representa a área de estudo e as subdivisões.

A UGRHI-11 é composta pelos municípios: Apiaí, Barra do Chapéu, Barra do Turvo, Cajati, Cananeia, Eldorado, Iguape, Iguape, Ilha Comprida, Iporanga, Itaóca, Itapirapuã Paulista, Itariri, Jacupiranga, Juquiá, Juitituba, Miracatu, Pariquera-Açu, Pedro de Toledo, Registro, Ribeira, São Lourenço da Serra, Sete Barras, Tapiraí e Ibiúna⁶.

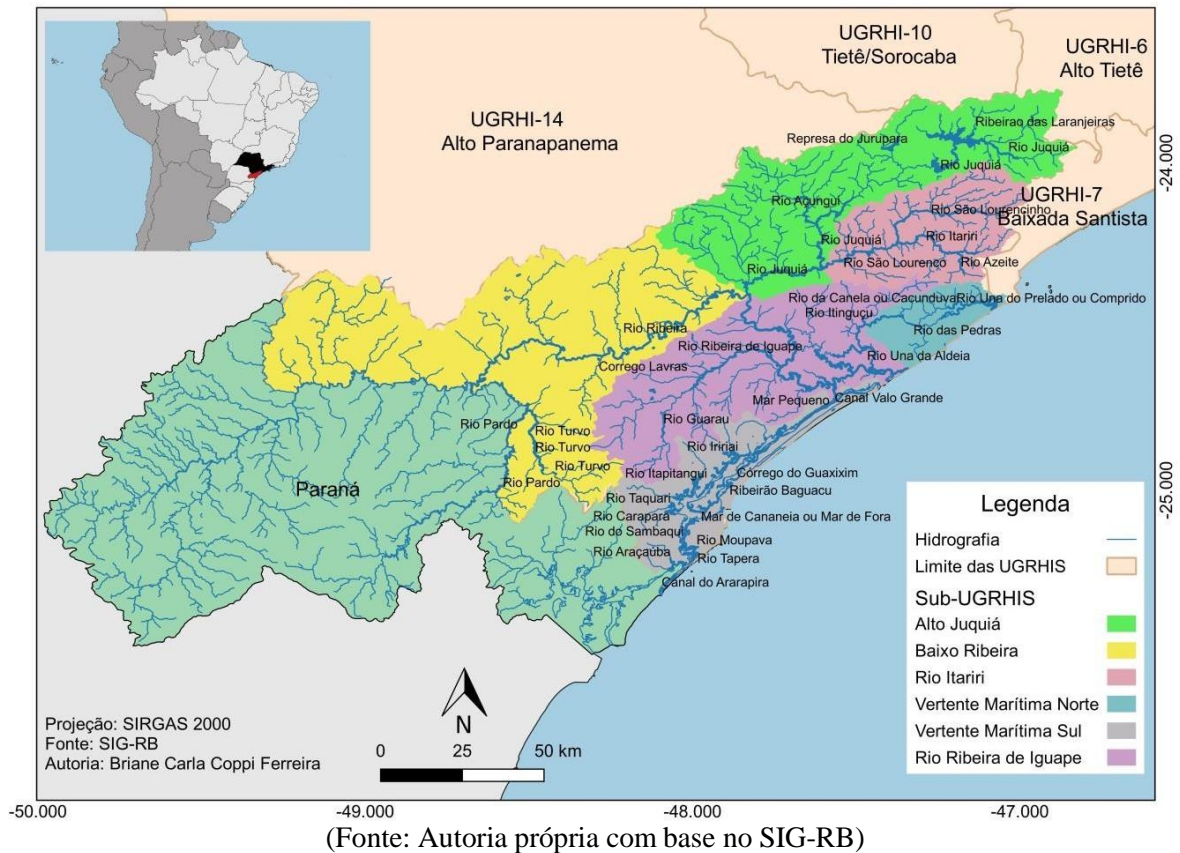
Tabela 3 - Sub-UGRHIs da UGRHI-11.

Nome da Su-UGRHI	Área (km²)
Baixo Ribeira	5996,200
Vertente Marítima Sul	1383,733
Rio Ribeira de Iguape	3631,908
Vertente Marítima Norte	573,195
Alto Juquiá	3746,657
Rio Itariri	1736,244
Total	17067,94

(Fonte: CBH- RB, 2013, p.12)

⁶ A inclusão do município Ibiúna ocorreu em dezembro de 2011. (Fonte: <http://www.sigrh.sp.gov.br/cbhrb/apresentacao>, acesso em 18 fev. 2020).

Figura 4 - Mapa da Área de estudo (UGRHI-11).



A extensão total do rio Ribeira de Iguape é de aproximadamente 470 km, visto que o rio percorre 120 km sobre o território do Paraná, acompanha o limite entre os Estados do Paraná e São Paulo por cerca de 80 km e estende-se por 260 km pelo Estado de São Paulo até desembocar no mar, isto no município de Iguape. Esse rio é formado pelos rios: Ribeirinha e Açungui. Após a confluência desses dois rios, e ainda no território do Paraná, o rio apresenta o nome de Rio Ribeira até as proximidades do município de Eldorado. O rio Juquiá é o seu principal rio tributário no território paulista (SANTANA, 2008).

3.2 Clima

A UGRHI-11 pode ser classificada, de uma forma geral, com o clima tropical úmido com ligeira variação entre zonas costeiras e da serra de Paranapiacaba. Na classificação dos tipos climáticos, baseado no sistema de Köppen, a região enquadra-se nos tipos: Af (tropical úmido sem estação seca) em 5% da área, o tipo Cfa (subtropical úmido com verão quente) que cobre 50% da região e Cfb (subtropical úmido com verão fresco) nos demais 45% da área. A média da precipitação anual na UGRHI-11 é de 1.400 mm/ano, sendo que na parte inferior da bacia chove por volta de 1.900 mm/ano. Na sub-bacia do Rio Juquiá, a média chega a 1500 mm/ano e o trecho mais chuvoso localiza-se no baixo curso do rio Ribeira, a jusante do município de Registro (CBH-RB, 2007). Os meses considerados mais chuvosos vão de setembro a março, sendo que o mês de janeiro apresenta a maior pluviosidade e o mês de agosto, a menor pluviosidade. Além disso, o município com maior acumulado anual é Tapiraí, com 1895,2 mm, localizado na região mais alta da bacia (870 m do nível do mar), enquanto que o menor acumulado anual de chuva foi registrado em Ribeira, com o resultado de 1312,5 mm e uma altitude de 133 m em relação ao nível do mar (FERREIRA, 2012; 2013).

Conforme descrito por Reboita et al. (2009) a região sudeste, onde está localizada a bacia do Rio Ribeira de Iguape, apresenta um período seco e um chuvoso, sendo o primeiro do período de abril a setembro e o segundo de outubro a março. Uma importante influência das precipitações na região sudeste é a ZCAS. Esse fenômeno é caracterizado como uma banda de nebulosidade e precipitação originada por uma junção de vários sistemas e é responsável por transportar umidade no sentido noroeste-sudeste desde o sul/sudeste da região amazônica até o sudoeste do oceano atlântico sul (REBOITA, 2009; SILVA, REBOITA, ESCOBAR; 2019). Um dos mais importantes sistemas atmosféricos que compoem a ZCAS é um sistema de monção, que ocorre em áreas continentais e devido à diferença entre o aquecimento do continente e do oceano de forma que no período mais quente a umidade do oceano é transportada para o continente aumentando a precipitação (NOGUÉS-PEAGLE et al., 2002). Na América do Sul essas moções são chamadas de Sistema de Monção Sul-Americana (MSA) (BOMBARDI, CARVALHO, 2007). Esse sistema acaba levando umidade para a Amazônia equatorial e transportam mais umidade para a região norte do Brasil. Essa umidade trazida do oceano Atlântico Tropical em conjunto com a evapotranspiração da floresta amazônica são transportadas para o sudeste através do JBN, descritos anteriormente na seção 2.1.1 (NOGUÉS-PEAGLE; MO, 1997, SILVA; REBOITA; ESCOBAR, 2019). Além disso, existe mais umidade, que é proveniente do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul e que se encontra mais a leste do oceano Atlântico Sul, que também nutre a região sudeste

no período mais quente (SILVA; REBOITA; ESCOBAR, 2019).

A região estudada também recebe influências da Massa de Ar de origem Polar e das perturbações frontais. Porém, é a Massa de Ar Tropical Atlântica que permanece a maior parte do tempo na bacia (GEOBRÁS apud SANTANA, 2008). São as frentes frias, provenientes do encontro de uma massa de ar fria de origem polar com uma massa tropical quente, que originam as chuvas intensas que ocorrem nessa região (FERREIRA, 2013).

3.2.1 Uso do solo, Unidades de Conservação e População

Conforme levantamento realizado pelo Instituto Florestal (2000-2001), a UGRHI-11 apresenta 81,77% de sua vegetação natural composta, principalmente, por mata, além de conter capoeiras, restinga e vegetação de várzea, mangues e campos (CBH-RB, 2007).

Devido às condições do relevo, clima e solo, as técnicas agrícolas convencionais são de difícil aplicabilidade no território da UGRHI-11. Por isso, apenas 32,7% da área são adequadas para agricultura, 13,4% podem ser aproveitadas para pastagens, 28,9% para silvicultura e 25% do território inapto ao uso agropecuário (CBH-RB, 2007). A economia da região é baseada, principalmente, na agricultura, como de chá e banana, mineração e extrativismo vegetal, como o palmito (HOGAN, 2000).

No território da UGRHI-11 há o predomínio da vegetação natural, que segundo levantamento da Secretaria do Meio Ambiente (SMA-SP), está aumentando devido à recuperação da vegetação, e outra parte menor com o uso agrícola e urbano. Vale ressaltar que, devido à região ter pouco uso da área para atividade agropecuária e uma baixa parcela da população humana e animal existe menor influência tanto na qualidade quanto na disponibilidade da água na UGRHI-11 do que em outras regiões com desenvolvimento maior (CBH-RB, 2013).

Existe um total de 37 Unidades de Conservação (UCs) presentes na UGRHI-11, sendo 15 de Proteção Integral e 22 de Usos Sustentáveis. A área contemplada com UCs é de 10.998 km², cerca de 64,48% da área total (CBH-RB, 2013).

A população total da UGRHI-11 é de 365.087 habitantes (2010), com 260.012 habitantes presentes em área urbana e 105.177 habitantes na área rural. O censo de 1980 mostrou que a população urbana dos municípios da UGRHI-11 tornou-se maior que a rural e, em 2010, chegou a 71,16% do total contra 28,84% da população rural. Apesar do baixo crescimento populacional, cerca de 1,97% entre os anos de 2000 e 2010, o aumento da população urbana indica uma maior necessidade de água e de saneamento nas cidades. A grande maioria dos municípios que compõem a BHRRI é considerada pouco povoada, com

menos de 30.000 pessoas. Além disso, cabe destacar que a metade dos municípios apresentou taxa de crescimento negativo em 2010 como, por exemplo, em Iporanga (-0,59%) e Ribeira (-0,44) (CBH-RB, 2013).

DADOS E MÉTODOS UTILIZADOS

3.3 Dados

3.3.1 Sistema de Informação Geográfica do Ribeira de Iguape e Litoral Sul (SIG-RB)

O site do SIG-RB é uma fonte de dados digitais e contém informações necessárias para a administração dos recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Ribeira de Iguape. O SIG-RB é mantido pelo Comitê da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI-11)⁷. Atualmente, o SIG-RB possui 187 planos de informações digitais. Os arquivos digitais foram utilizados para elaboração dos mapas relacionados à área de estudo deste trabalho, com apresentação da rede hidrográfica e limites geográficos. Além disso, esses arquivos serviram como fonte de informações sobre pontos de monitoramento da qualidade de água, disposição das usinas hidrelétricas e pontos de captação de água que foram utilizados para gerar parte dos resultados desse trabalho.

3.3.2 Dados Climáticos e Hidrológicos

Os dados climáticos são compostos por dados de precipitação e temperatura, e o dado hidrológico corresponde à vazão. Os dados pluviométricos e fluviométricos no período de 1981 a 2018 foram obtidos do site do Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE)⁸ e os postos de medição são apresentados nas Tabelas 4 e 5 e a localização na área de estudo são exibidos na Figura 5.

Os dados de temperatura do ar foram retirados da reanálise atmosférica ERA-Interim do *European Center for Medium-Range Weather Forecast* (ECMWF), que disponibiliza dados climáticos em pontos de grade com alta resolução espacial (0,5° x 0,5°) como temperatura, pressão, precipitação, evaporação, entre outros (DEE et al., 2011). Segundo Quadro et al. (2012), um sistema de reanálise associa um modelo de previsão, bem como um sistema de assimilação de dados.

⁷ <http://www.comiterb.com.br/sigrb/>. Acesso em: 05 abr. 2020.

⁸ <http://www.hidrologia.daee.sp.gov.br/>. Acesso em: 05 abr. 2020.

Tabela 4 - Informações sobre os postos pluviométricos utilizados.

Município	Nome do Posto	Prefixo (DAEE)	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Período de dados
Tapiraí	Tapiraí	E4-055	23° 58' 00"	47° 30'00"	870	1942-2018
Ibiúna	Cachoeira do França	E4-116	23° 57' 00"	47° 13'00"	660	1969-2018
Juquiá	Bairro Iporanga	F4-002	24° 06' 00"	47° 41'00"	20	1958-2018
Registro	Registro	F4-005	24° 30' 00"	47° 51'00"	20	1937-2018
Juquiá	Capela do Porto	F4-007	24° 10' 00"	47° 39'00"	40	1958-2018
Pariquera-Açu	Pariquera-Açu	F4-016	24° 43' 00"	47° 53'00"	30	1939-2018
Jacupiranga	Jacupiranga	F4-017	24° 43' 00"	48° 01'00"	90	1939-2018
Pariquera-Açu	Barra do capinzal	F4-018	24° 36' 00"	47° 53'00"	30	1942-2018
Sete Barras	Ribeirão da Serra	F4-025	24° 17' 00"	47° 57'00"	30	1961-2018
Iguape	Iguape	F4-028	24° 42' 00"	47° 34'00"	3	1951-2018
Juquiá	Escalvado	F4-037	24° 21' 00"	47° 43'00"	40	1961-2018
Iguape	Sítio Grande	F4-043	24° 32' 00"	47° 32'00"	30	1969-2018
Apiáí	Apiáí	F5-019	24° 30' 18"	48° 50'51"	800	1960-2018
Barra do Turvo	Rio Pardinho	F5-022	25° 03' 39"	48° 33'30"	600	1964-2018
Cajati	Serrana do Sul	F5-028	24° 43' 00"	48° 07'00"	50	1950-2018
Iporanga	Barra dos Pilões	F5-031	24° 33' 16"	48° 25'45"	80	1969-2018
Iporanga	Caboclos	F5-032	24° 26' 00"	48° 35'00"	580	1969-2018
Barra do Turvo	Barra do Turvo	F5-033	24° 45' 22"	48° 30'19"	160	1969-2018
Iporanga	Serra dos Motas	F5-042	24° 33' 00"	48° 41'00"	240	1972-2018
Ribeira	Catas Altas	F6-012	24° 37' 00"	49° 03'00"	180	1975-2018

(Fonte: Autoria própria com base no DAEE)

Tabela 5 - Informações sobre os postos fluviométricos utilizados.

Município	Nome	Prefixo (DAEE)	Latitude	Longitude	Curso d'água	Período de Dados
Registro	Registro	4F-002	24°29'27"	47° 50'12"	Rio Ribeira de Iguape, rio Ribeirinha	1938-2018
Sete Barras	Sete Barras	4F-015	24°23'34"	47° 55'43"	Rio Ribeira de Iguape	1961-2018
Juquiá	Juquiá	4F-018	24°19' 14"	47° 7' 29"	Rio Juquiá	1969-2018

(Fonte: Autoria própria com base no DAEE)

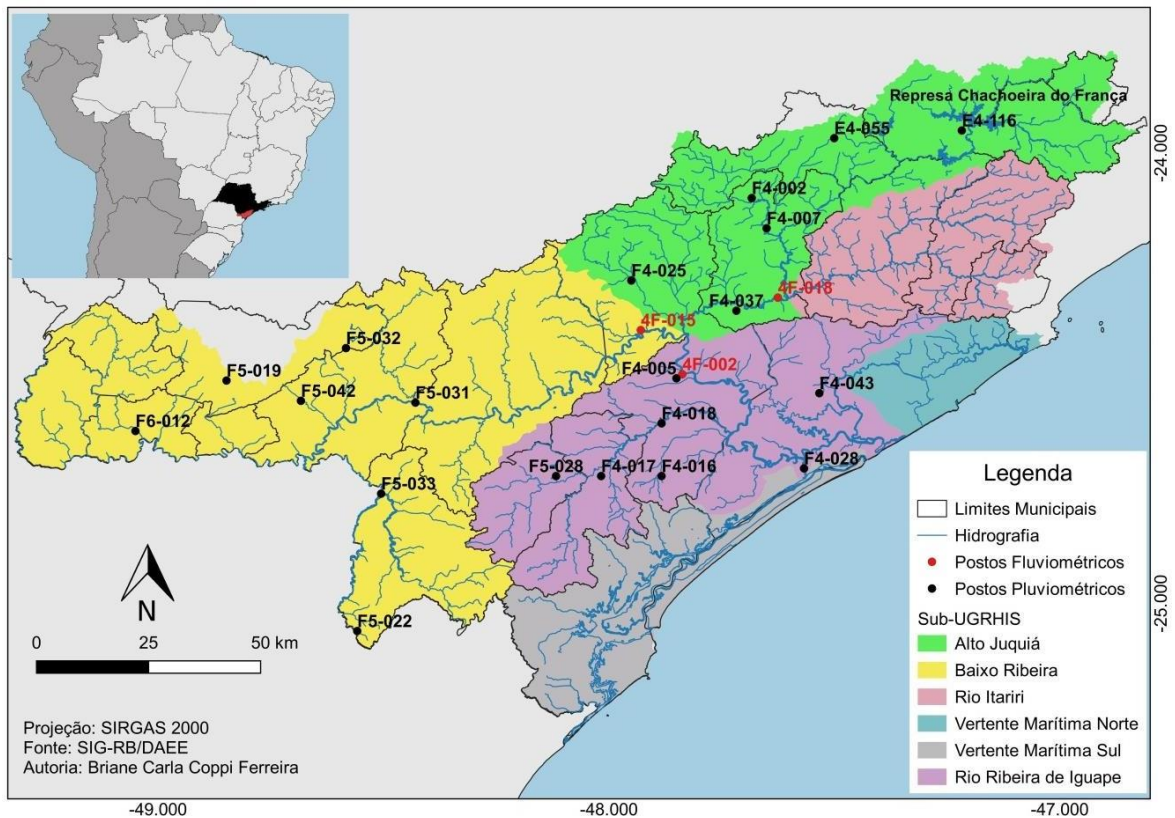


Figura 5 - Localização dos postos pluviométricos e fluviométricos na área de estudo.

(Fonte: Autoria própria com base no SIG-RB)

3.3.3 Dados Ambientais e Socioeconômicos

Os dados do indicador ambiental “Uso do Solo” estão disponíveis como arquivo digital no site do SIG-RB. Já os dados dos indicadores sociais, tais como o número de pessoas, dados socioeconômicos e de saneamento, foram obtidos do último censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010) e da Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados do Estado de São Paulo (SEADE, 2018) utilizando como fonte para cada sub-bacia os setores censitários.

3.3.4 Dados climáticos e de cenários futuros do modelo Eta

Os dados climáticos de cenários futuros utilizados basearam-se nas projeções do modelo climático regional Eta (CHOU et al., 2014a; CHOU et al., 2014b; LYRA et al., 2017; BRASIL, 2016a, 2016b; 2016c, 2016d).

Os modelos climáticos são ferramentas frequentemente empregadas para simular condições climáticas futuras ou passadas. Esses modelos matemáticos descrevem os processos físicos e dinâmicos, assim como a interação entre o sistema climático e os mecanismos de retro-alimentação através dos sistemas físicos (MARENGO; VALVERDE, 2007). Para a modelagem de cenários futuros, no contexto de mudanças climáticas, as simulações climáticas podem ser realizadas em nível global ou regional como resposta a mudanças na concentração de gases de efeito estufa e de aerossóis (MARENGO; VALVERDE, 2007).

O modelo Eta compreende um modelo de mesoescala composto em pontos de grades e equações físicas elementares que explicam a dinâmica e termodinâmica da atmosfera. Esse modelo foi rodado no Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), e é do tipo hidrostático com resolução espacial de 40 km e 20 km e cobre quase toda América do Sul (MOURA et al., 2010).

Para a geração das projeções climáticas tendo como base o modelo regional Eta utilizaram-se as projeções do modelo Eta-HadGEM2-ES, que utiliza as condições de contorno do modelo global *Hadley Global Environment Model 2 - Earth System* (HadGEM2-ES) em dois cenários de forçante radiativa: 4,5 RCP e 8,5 RCP (CHOU et al., 2014a; CHOU et al., 2014b; LYRA et al., 2017).

O HadGEM2-ES é um modelo acoplado atmosfera-oceano disponibilizado pelo *Coupled Model Intercomparison Project 5* (CMIP5) e desenvolvido pelo *Met Office Hadley Center*. A plataforma Projeções de Mudança do Clima para a América do Sul regionalizados pelo

modelo Eta (PROJETA)⁹ é uma plataforma online e foi criada a partir de uma parceria entre o Brasil e a Alemanha. O PROJETA permite o acesso aos dados de projeção de diversos parâmetros climáticos especificamente na América do Sul (INPE, 2017). Assim, foram obtidos do PROJETA dados de chuva e temperatura do modelo Eta-HadGEM2-ES com resolução espacial de 20 km x 20 km¹⁰ e para os cenários de emissões 4,5 RCP e 8,5 RCP.

A Forçante Radiativa ou *Representative Concentration Pathways* (RCP) é uma das métricas mais utilizadas para fornecer estimativas das mudanças climáticas. É expressa na unidade de watts por metro quadrado (W/m^2) e representa uma mudança líquida no balanço energético do sistema Terra devido alguma perturbação, sendo uma boa medida de alteração da temperatura global da superfície terrestre. Essa medida pode auxiliar na identificação do aquecimento global, que é definido pelo aumento gradual da superfície através da radiação e causado por ações antrópicas (IPCC, 2013; 2014c). O IPCC, no quinto relatório, utiliza cenários de RCP para gerar as projeções globais do clima, sendo eles cenários de 2,6, 4,5, 6,0 e 8,5 W/m^2 . Assim, os cenários considerados mais e menos otimistas são 2,6 e 8,5 W/m^2 , respectivamente (IPCC, 2013).

⁹ <https://projeta.cptec.inpe.br/#/dashboard>. Acesso em: 05 abr. 2020.

¹⁰ Vale ressaltar que, o PROJETA disponibiliza dados com a resolução espacial de 05 km x 05 km para o modelo Eta-HadGEM2-ES e poderia apresentar maior precisão para as projeções realizadas neste trabalho, porém para a região de estudo no momento da análise houve erro ao gerar os dados inviabilizando seu uso.

3.4 Métodos

A quantificação da vulnerabilidade foi baseada na construção de índices de vulnerabilidade, considerando fatores ambientais, socioeconômicos e hidroclimáticos. Os itens descritos a seguir descrevem como foram obtidos os resultados deste trabalho.

3.4.1 Caracterização das sub-UGRHs segundo a sua importância em quanto ao uso do recurso hídrico

Na caracterização das sub-UGRHs, foi utilizada a metodologia desenvolvida por Franz (2011) para a identificação das sub-bacias mais importantes em uma Região Hidrográfica, quanto ao uso da água do rio principal. A metodologia é qualitativa e foi baseada em políticas estaduais e nacionais pertinentes ao gerenciamento de recursos hídricos, e na seleção de quatro parâmetros, considerados fundamentais para inferir sobre os principais rios de cada Região Hidrográfica (FRANZ, 2011).

Assim, os parâmetros que devem ser atendidos e que atestam a importância das sub-bacias quanto ao uso do recurso hídrico são os seguintes:

- Rio cuja bacia tem um conselho gestor: entende-se que se há um órgão gestor para uma bacia de um rio já sugere seu grau de relevância;
- Uso da água para consumo: segundo a Política Nacional dos Recursos Hídricos, em situações de escassez o uso para consumo humano é prioritário;
- Uso de água para geração de energia elétrica: os usos da vazão de um rio para geração de energia elétrica afetam tanto a economia quanto o bem-estar da população;
- Rios cuja qualidade de água é monitorada pelo Estado: o monitoramento qualitativo é realizado somente nos rios que o Estado considera relevantes para os usos benéficos da água, atividade que possam influenciar na qualidade da água e na natureza das cargas poluidoras como despejo industrial, esgoto doméstico, água de drenagem agrícola ou urbana.

Assim, quanto maior o número de parâmetros atendidos em cada sub-bacia da região de estudo, maior será a importância da mesma. Dessa forma foi possível caracterizar as sub-UGRHs, para posteriormente avaliar os graus de vulnerabilidade.

3.4.2 Desenvolvimento dos Índices de Vulnerabilidade

A vulnerabilidade foi estimada para as sub-bacias mais importantes em relação ao uso do recurso hídrico através da agregação de indicadores que resultam em um índice geral denominado Índice de Vulnerabilidade Geral (IVG). O IVG é composto do Índice de Vulnerabilidade Ambiental (IVA), Índice de Vulnerabilidade Social (IVS) e Índice de Vulnerabilidade Hidroclimático (IVH). O IVG foi calculado considerando o cenário atual e projeções futuras de modo a criar dois índices: O Índice de Vulnerabilidade Geral atual (IVG) e o Índice de Vulnerabilidade Geral Futuro (IVG_F).

3.4.2.1 Método de construção dos índices de Vulnerabilidades

Cada índice de vulnerabilidade foi obtido usando a metodologia de agregação de indicadores desenvolvida por Vincent (2004), e que tem sido adaptada e aplicada no Brasil por diversos pesquisadores (CONFALONIERI; MARINHO; RODRIGUEZ, 2009; FERREIRA, 2013; COSTA; MARGUTI, 2015; BARATA, 2015; VALVERDE, 2017; MENEZES et al., 2018).

A agregação de indicadores resulta em uma combinação linear ponderada dos indicadores, como mostrado na Equação (1):

$$IV = \sum_{i=1}^n w_i \cdot x_i \quad (1)$$

Em que IV é o índice de vulnerabilidade, w_i é o peso, x_i é o valor reescalado de cada indicador, n é o número de indicadores.

De modo que cada indicador ambiental, social e hidroclimático possui grandezas diferentes, faz-se necessário reescalá-los para uma mesma escala, que varia entre 0 e 1. As equações 2 e 3 apresentam a reescalação para os fatores indicadores. A primeira (tipo I) é usada para o caso em que o menor valor corresponde a uma menor vulnerabilidade. Já a segunda (tipo II), é a equação para o caso em que o maior valor corresponde a uma menor vulnerabilidade.

$$\text{Tipo I } \mu_i = \frac{x_i - x_{min}}{(x_{max} - x_{min})} \quad (2)$$

$$\text{Tipo II } \mu_i = \frac{x_{max} - x_i}{(x_{max} - x_{min})} \quad (3)$$

Em que x_i é o valor a ser reescalado, x_{min} é o valor mínimo para o fator e x_{max} é o valor máximo.

A cada indicador foi atribuído um tipo de reescalação. Como exemplo de atribuição dos tipos e equações usadas na classificação de indicadores, pode-se citar a componente densidade demográfica. Dependendo do contexto de avaliação, quanto maior a densidade demográfica, maior deve ser a vulnerabilidade. Isto, porque quando existe uma maior quantidade de pessoas habitando um quilômetro quadrado de território, sem condições de habitação e saneamento adequado, maiores devem ser os riscos frente a uma calamidade ou desastre para os recursos hídricos. Sendo assim, a componente densidade demográfica deve ser reescalada com a Equação 3.

O Índice de Vulnerabilidade, gerado por intermédio do método de agregação de indicadores, resulta em valores numéricos. A fim de tornar os valores do IV de fácil compreensão, foi estabelecida uma classificação com escala de valores para avaliação da vulnerabilidade, conforme mostra a Tabela 6.

Tabela 6 - Classificação da vulnerabilidade.

Escala	Vulnerabilidade
0-0,29	Baixa
0,30-0,59	Média
0,60-0,89	Alta
0,90-1	Extrema

(Fonte: NASCIMENTO, 2014)

3.4.2.2 Índice de Vulnerabilidade Ambiental (IVA)

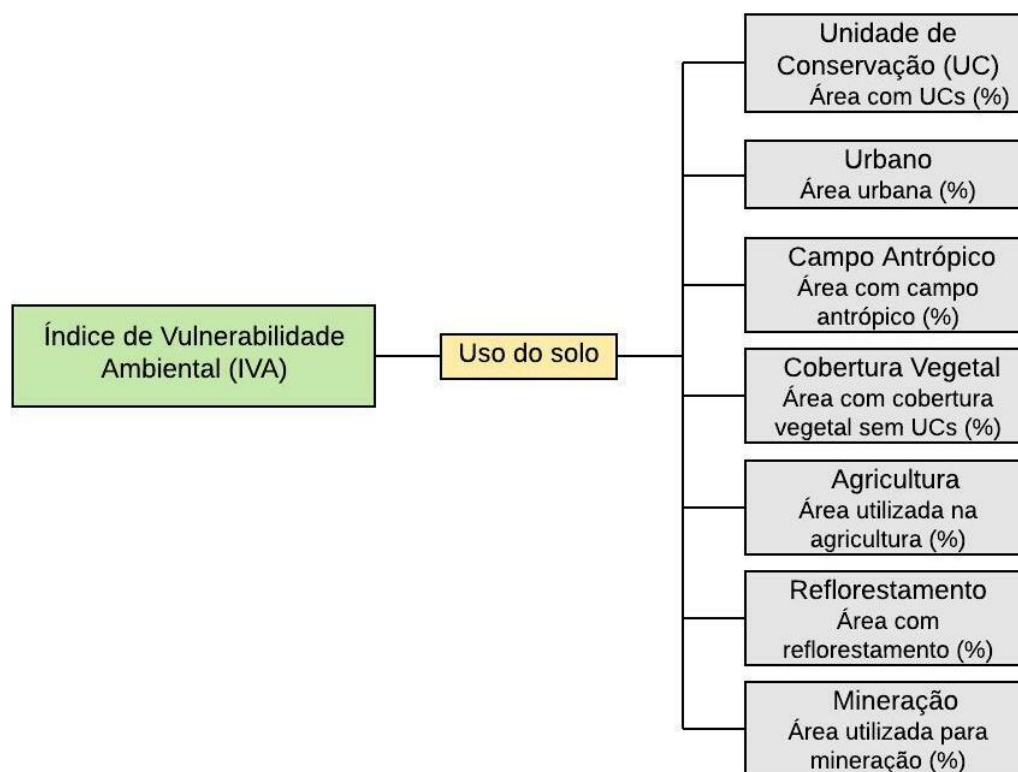
O Índice de Vulnerabilidade Ambiental (IVA) integrou os fatores ambientais na quantificação da vulnerabilidade dos recursos hídricos às mudanças do clima da bacia em estudo. O IVA foi calculado com a aplicação do método descrito no item 4.2.2.1 e os indicadores considerados são apresentados na Figura 6. A escolha do indicador “Uso do Solo” e suas componentes foram baseadas no trabalho de Chang e Freitas (2015) e adaptado às variáveis dos dados ambientais disponíveis para a área de estudo (Figura 6). Os valores de cada variável do indicador “Uso do solo” referem-se à porcentagem da área correspondente das mesmas em cada sub-bacia. A área dessas componentes foram retiradas dos arquivos digitais cobertura Uso do Solo e Unidade de Conservação da bacia disponível no site do SIG-RB.

A Tabela 7 mostra as componentes dos indicadores, bem como a Equação de reescalação correspondente dos mesmos. Os indicadores: “Urbano”, “Campo antrópico”, “Agricultura” e “Mineração” foram reescalados com a Equação tipo I, uma vez que contribuem para aumentar a vulnerabilidade dos recursos hídricos. A reescalação da “Cobertura Vegetal”, “Unidade de Conservação” e “Reflorestamento” utilizaram o tipo II já que contribuem para manutenção e equilíbrio dos rios.

As classificações disponíveis no arquivo Uso do Solo são: Área urbana; Industrial; Aeroporto; Campo antrópico; Campo úmido; Cobertura florestal; Restinga; Mata ciliar, Cultura perene; Cultura semi-perene; Agricultura; Culturas anuais; Reflorestamento; Mangue e Mineração.

Devido ao grande número de classificações do uso do solo, foi realizado um agrupamento das áreas com classificações que possuem características semelhantes. Assim, a componente “Urbana” incorporou a área urbana, Industrial e aeroporto. A componente “Cobertura vegetal natural” foi composta por campo úmido, cobertura florestal, restinga, mata ciliar e mangue. A “agricultura” reuniu as áreas cultura perene e semi-perene, agricultura e culturas anuais.

Figura 6 - Apresentação dos indicadores ambientais, e suas respectivas componentes, utilizados para gerar o Índice de Vulnerabilidade Ambiental.



Fonte: Autoria própria com base em Chang e Freitas (2015)

Tabela 7 - Descrição das componentes de cada indicador ambiental e tipo de reescalação feita para aferir o IVA.

Indicador	Componente	Reescalação
Urbano	Área Urbana	I
	Industrial	
	Aeroporto	
Cobertura Vegetal	Campo Antrópico	II
	Cobertura Florestal	
	Campo úmido	
	Mangue	
	Restinga	
Agricultura	Mata ciliar	I
	Agricultura	
Reflorestamento	Reflorestamento	II
Mineração	Mineração	I
UC	UC	II

(Fonte: Autoria própria)

3.4.2.3 Índice de Vulnerabilidade Social (IVS)

O Índice de Vulnerabilidade Social (IVS) foi responsável por agregar fatores sociais, socioeconômicos e de saneamento básico. O IVS foi formado com base nos indicadores: abastecimento de água, destinação do lixo, instalação sanitária, escolaridade, renda e densidade demográfica, sendo que cada um deles apresenta componentes específicas como mostrado na Figura 7. O cálculo adotado para gerar o IVS baseou-se no método descrito no item 4.2.2.1.

Esses indicadores foram utilizados para avaliação da Vulnerabilidade a extremos climáticos na pesquisa de Nascimento (2014), que teve como local de estudo a Amazônia. Os mesmos indicadores foram utilizados neste trabalho, com exceção do indicador escolaridade já que o número de pessoas não alfabetizadas não está disponibilizado na base de informações por setor censitário de 2010¹¹.

Os dados dos setores censitários estão disponibilizados pelo IBGE¹² em formato de arquivo digital. Os dados são apresentados em formato alfanumérico e que, através de ferramentas de geoprocessamento de imagens, foram convertidos em Tabelas de banco de dados. Devido a maior parte dos limites geográficos dos setores censitários não coincidirem com os limites das sub-bacias, optou-se por utilizar o método de Nascimento (2014), que consistiu em considerar os dados do setor censitário com mais de 50% de sua área em comum com a área das sub-bacias como parte dos dados das mesmas. Resumidamente, no banco de dados de cada sub-bacia, somaram-se os setores com mais de 50% da área na respectiva sub-bacia e foram desconsiderados os setores com menos de 50% da área.

Grande parte dos indicadores é composta por números de domicílios ou números de pessoas, com exceção do indicador densidade demográfica que mostra a relação entre o número de pessoas e a área da sub-bacia.

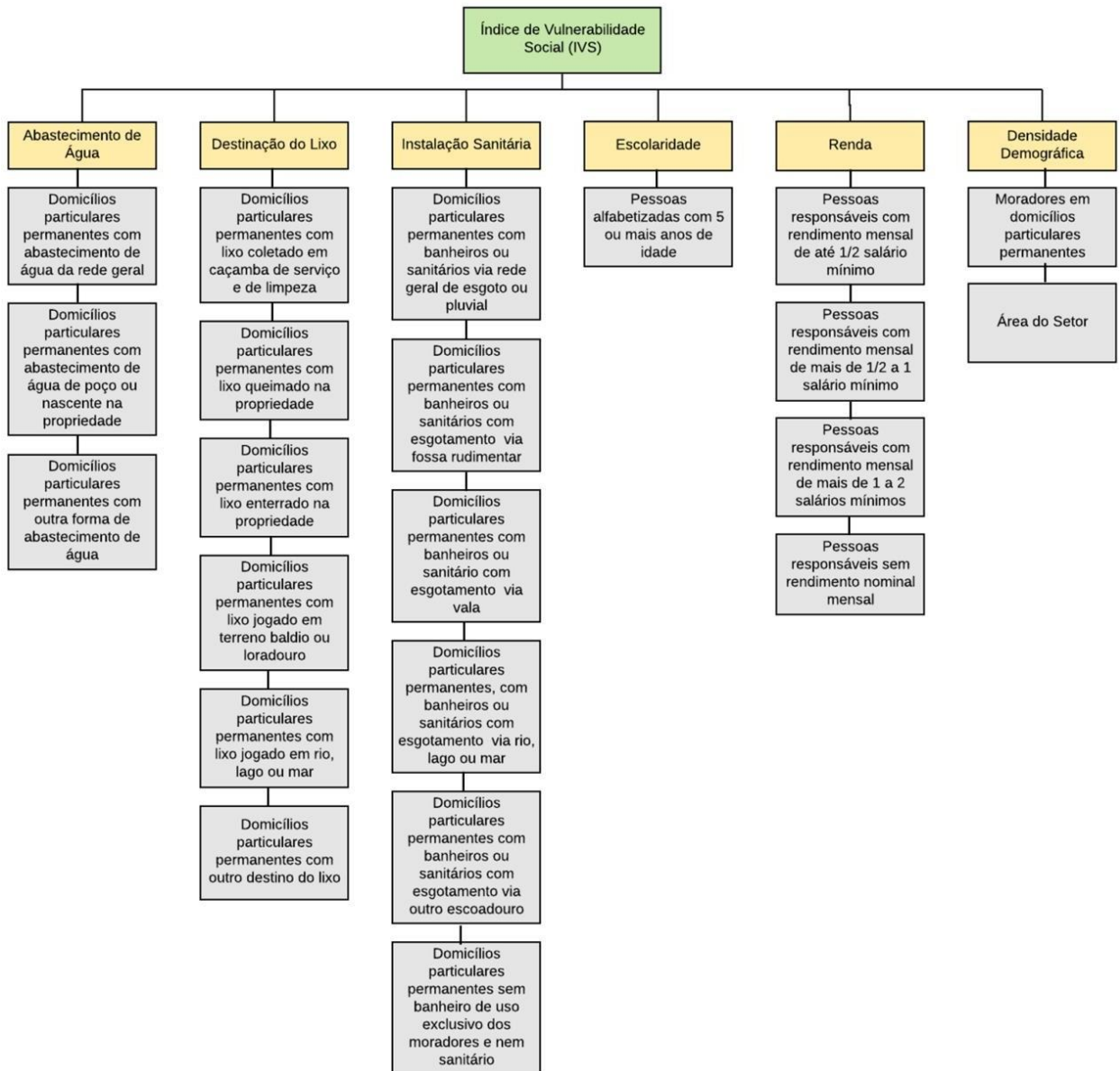
O indicador “Abastecimento de água” é composto por domicílios com algumas formas distintas de abastecimento, entre elas o abastecimento através de poço e nascentes na propriedade, que independem de fornecimento e tratamento de água público. Considerou-se que todos os meios de consumo de água aumentam a vulnerabilidade dos recursos hídricos,

¹¹https://www.ipea.gov.br/redeipea/images/pdfs/base_de_informacoess_por_setor_censitario_universo_censo_2010.pdf. Acesso em: 08 jul. 2020.

¹²<https://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais/bases-cartograficas/malhas-digitais>. Acesso em: 06 abr. 2020.

por retirar volume de água e contribuir para diminuição da vazão do rio direta ou indiretamente, como o caso de poços e nascentes. Dessa forma, todas as componentes desse indicador foram reescalados com a Equação do tipo I.

Figura 7 - Apresentação dos indicadores sociais, e suas respectivas componentes, utilizados para gerar o Índice de Vulnerabilidade Social.



(Fonte: Autoria própria com base no IBGE (2019) e Nascimento (2014))

De forma semelhante, a “Destinação do lixo” também considera o número de domicílios que possuem diferentes tipos de destinação de resíduos, sendo realizada da forma correta ou não. As componentes que mostram que os resíduos são coletados e cremados, a reescalação escolhida para estes foram do tipo II, visto que os resíduos não mais são capazes de causar

contaminação aos recursos hídricos. As demais componentes reescalaram-se-se com a Equação Tipo I, já que as mesmas podem transferir os resíduos para os rios. A componente que mostra outros destinos do lixo, também foi reescalada com o Tipo I, já que a destinação não pôde ser identificada.

A “Instalação Sanitária” abrange domicílios que têm seu esgoto tratado pelo serviço público e a destinação do esgoto *in natura* em fossa rudimentar, vala, diretamente ao rio, lago ou mar e domicílios sem sanitário. A primeira componente na Figura 7 foi reescalada com a Equação tipo II, pois se considerou que os domicílios são atendidos com rede de esgoto munido de tratamento adequado. Com o restante das componentes utilizou-se a Equação tipo I, já que as mesmas não apresentam tratamento e podem contaminar a água. Os domicílios que apresentam outros tipos de esgotamento também foram reescalados com o tipo I, uma vez que não foi possível ter informações sobre o destino do esgoto.

De forma mais simplificada, a “Escolaridade” apresentou apenas uma componente que mostra a quantidade de pessoas alfabetizadas com idade igual ou superior a 5 anos. Como mencionado anteriormente, a informação sobre o número de analfabetos por setor censitário não estava disponível no arquivo digital e por isso não foi considerada. Escolheu-se reescalar a “Escolaridade” com a fórmula tipo II, já que a educação contribui para maiores cuidados com os recursos hídricos.

De acordo com Osório, Soares e Souza (2011), não há um senso comum a respeito da definição e medição do bem-estar, bem como o mínimo bem-estar aceitável, de forma a existir distintas estratificações sociais tanto no Brasil, como no exterior. Entende-se que existem diferentes entidades que decompõe a renda da população que as classificam em diferentes classes sociais. No Brasil essa classificação é realizada pelo IBGE, pela Secretaria de Assuntos Estratégicos do governo federal (SAE), pela Fundação Getúlio Vargas (FGV) e pela Associação Brasileira de Empresas de Pesquisa (ABEP) (ROSA; GONÇALVES; FERNANDES, 2014).

A aplicação da reescalonagem no indicador “Renda” fundamentou-se na classificação adotada pelo SAE, com base em dados de 2012 (classificação mais recente encontrada até a presente data), conforme mostra a Tabela 8.

Tabela 8 - Classes sociais de acordo com a renda mensal atribuída pelo SAE.

Classes Sociais		Renda Per Capita Média (R\$/mês)	Renda Familiar Média (R\$/mês)
Baixa	Extremamente Pobre	42,00	227,00
	Pobre	124,00	648,00
	Vulnerável	227,00	1.030,00
	Baixa Classe Média	364,00	1.540,00
Média	Média Classe Média	535,00	1.925,00
	Alta Classe Média	804,00	2.813,00
	Baixa Classe Alta	1.503,00	4.845,00
Alta	Alta Classe Alta	4.687,00	12.988,00

(FONTE: SAE, 2013 apud LIMA et al.. 2014)

O site do IBGE informa que o salário mínimo em 2010, ano do último censo, foi de R\$510,00¹³, menos que a metade do valor atual de R\$1045,00 (BRASIL, 2020). Considerou-se que as componentes que integram o indicador “renda” equivalem à renda da família, já que aquelas contabilizam a renda da pessoa responsável no domicílio. A reescalação das componentes desse indicador considera que classes mais altas aumentam a vulnerabilidade dos recursos hídricos, seguindo os resultados obtidos por Bertolotti (2010) referentes à cidade de São Paulo. Bertolotti (2010) mostra que o consumo de água da classe média e alta está além do necessário para garantir as necessidades de consumo e higiene básica. Além disso, há uma relação considerável entre o aumento da renda com o aumento do consumo de produtos não apenas diretamente, quanto indiretamente através de mercadorias processadas (TOMASONI, PINTO e SILVA, 2009).

As componentes “Pessoas responsáveis com renda até ½ salário mínimo” obteve o valor de R\$255,00; de “Pessoas responsáveis com renda de ½ a 1 salário mínimo” ocupa o teto de R\$510,00; e, por fim, “Pessoas responsáveis com renda de 1 a 2 salários mínimos” equivale

¹³ <https://censo2010.ibge.gov.br/noticias-censo.html?view=noticia&id=3&idnoticia=2019&busca=1&t=indicadores-sociais-municipais-2010-incidencia-pobreza-maior-municipios-porte-medio>. Acesso em: 07 abr. 2020.

de mais de R\$510,00 até R\$1020,00. Todas essas rendas estão posicionadas na classe social baixa, apenas diferindo entre extremamente pobre, pobre e vulnerável. As componentes foram reescaladas com a Equação tipo I, pois as mesmas estão relacionadas com quantidade de pessoas e sua renda e por mais que a renda seja baixa, se o número de pessoas for alto também aumenta o consumo de água.

O último indicador considerado IVS (Figura 7), “Densidade demográfica”, foi reescalado com o tipo I ao pressupor que um número maior de pessoas por área contribui para maior fragilidade dos recursos hídricos devido ao uso da água. Quanto mais pessoas no local, mais água é necessária para suprir as necessidades de consumo.

Todas as componentes dos indicadores foram divididas pelo número de domicílios ou de pessoas totais fornecidos pelo IBGE em cada sub-bacia estudada para o cálculo do IVS. Os indicadores “Abastecimento de água”, “Destinação do Lixo” e “Instalação Sanitária” foram divididos pelo número de domicílios particulares permanentes; Já “Escolaridade” e “Densidade demográfica” consideraram no cálculo o número de moradores em domicílios particulares permanentes; e a “Renda” foi dividida pelos responsáveis por domicílios particulares permanentes (NASCIMENTO, 2014).

3.4.2.4 Índice de Vulnerabilidade Hidroclimático atual (IVH)

O Índice de Vulnerabilidade Hidroclimático é composto pelos indicadores de “Precipitação” e “Disponibilidade hídrica”. Para o cálculo desse índice de vulnerabilidade atual foram usados nove índices climáticos de precipitação como indicadores da “Precipitação”, exibidos na Tabela 9 e calculados a partir de dados diários de chuva no período de 1981-2018 referentes aos postos pluviométricos (Tabela 4). Os índices foram calculados a partir da utilização do software *RClimdex*, que é mantido pelo *Climate Research Division*¹⁴ (ZHANG; YANG, 2004; ZHANG et al., 2005). Esse software, desenvolvido na linguagem computacional R, fornece uma interface gráfica de fácil interpretação para calcular um total de 27 índices de temperatura e precipitação (ZHANG; YANG, 2004; ALEXANDER et al., 2005). O *RClimdex* é bastante utilizado para o cálculo dos índices extremos climáticos, sendo que auxilia no monitoramento e detecção das alterações climáticas (SANSIGOLO, 2011; SANTOS; SATYAMURTY; SANTOS, 2012; ARAÚJO; SANTOS; NASCIMENTO,

¹⁴ O software *RClimdex* está disponível em: <http://etccdi.pacificclimate.org/data.shtml>. Acesso em: 06 abr. 2020.

2014; VALVERDE; MARENGO, 2014; MENEZES et al., 2018).

O índice CDD, que mostra o número máximo de dias secos consecutivos, foi o único índice reescalado com a Equação Tipo I, já que os recursos hídricos necessitam da recarga de água proveniente da chuva para permanecer com escoamento da água. Os outros índices estão relacionados à quantidade de chuva ou número de dias com precipitação, assim quanto maior esses índices, os recursos hídricos apresentam-se menos vulneráveis e, por isso, são reescalado com a Equação tipo II.

Tabela 9 - Índices climáticos extremos de precipitação a serem utilizados neste trabalho e calculados pelo software RCLimindex.

Índices	Definição	Descrição
PRCPTOT	Precipitação total anual	Seja RR_{ij} a quantidade diária de precipitação no dia i no período j : $PRCPTOT_j = \sum RR_{ij}$
CDD	Máximo número de dias secos consecutivos	Número máximo de dias consecutivos com $RR < 1\text{mm}$. Temos RR_{ij} como a quantidade de precipitação diária no dia i e no período j : $RR_{ij} < 1\text{mm}$
CWD	Máximo número de dias úmidos consecutivos	Número máximo de dias consecutivos com $RR \geq 1$ milímetro: Sendo RR_{ij} a quantidade de precipitação diária no dia i no período j . Contar o maior número de dias consecutivos sempre que: $RR_{ij} \geq 1$ milímetro
RX1day	Máxima precipitação total em 1 dia	É a maior precipitação em 1 dia. Sendo RR_{ij} a quantidade de precipitação diária no dia i no período j : $Rx1day_j = \max (RR_{ij})$
RX5day	Máxima precipitação total em 5 dias	É a maior quantidade de precipitação em 5 dias. Sendo RR_{ij} a quantidade de precipitação no intervalo de cinco dias, terminando no dia k , no período j : $Rx5day_j = \max (RR_{kj})$
R10mm	Número de dias com precipitação ≥ 10 m/dia	Seja RR_{ij} a quantidade de precipitação diária no dia i , no período j . Contabiliza-se o número de dias onde: $RR_{ij} \geq 10\text{mm}$
R20mm	Número de dias com precipitação ≥ 20 m/dia	Seja RR_{ij} a quantidade de precipitação diária no dia i , no período j . Contabiliza-se o número de dias onde: $RR_{ij} \geq 20\text{mm}$
R25mm	Número de dias com precipitação ≥ 25 m/dia	Seja RR_{ij} a quantidade de precipitação diária no dia i , no período j . Contabiliza-se o número de dias onde: $RR_{ij} \geq 25\text{mm}$
R95	Precipitação total anual quando $RR > 95p$	Seja RR_{wj} a quantidade diária de precipitação em um dia chuvoso w ($RR \geq 1,0$ mm) no período i e RR_{wn95} seja o 95º percentil de precipitação em dias chuvosos. Se w representa o número de dias úmidos no período, então: $R95p_j = \sum RR_{wj}$ quando $RR_{wj} > RR_{wn95}$

(Fonte: Autoria própria com base em ZHANG; YANG (2004))

Para as componentes do indicador “precipitação”, que são os índices climáticos, foram calculados o percentil 10 (P_{10}), o percentil 90 (P_{90}) e o parâmetro de inclinação da reta de ajuste de tendência dos 9 índices. Os percentis P_{10} e P_{90} , segundo o IPCC, são considerados limiares que possibilitam encontrar extremos raros, que para o caso da chuva, devem indicar extremos para déficit e para excesso de chuva, respectivamente (IPCC, 2013b). Já o parâmetro de inclinação é uma componente que indica a tendência ao aumento ou diminuição dos índices climáticos e torna-se importante para determinar a vulnerabilidade dos recursos hídricos.

O método usado para estimar a “Disponibilidade hídrica” atual serviu tanto para tomar conhecimento do déficit hídrico de cada sub-bacia, como também foi utilizado como um dos indicadores para quantificar a vulnerabilidade hidroclimática. Assim, a disponibilidade hídrica atual, para cada uma das sub-bacias de maior importância, foi estimada através da Equação 4 (MENDES, 2007):

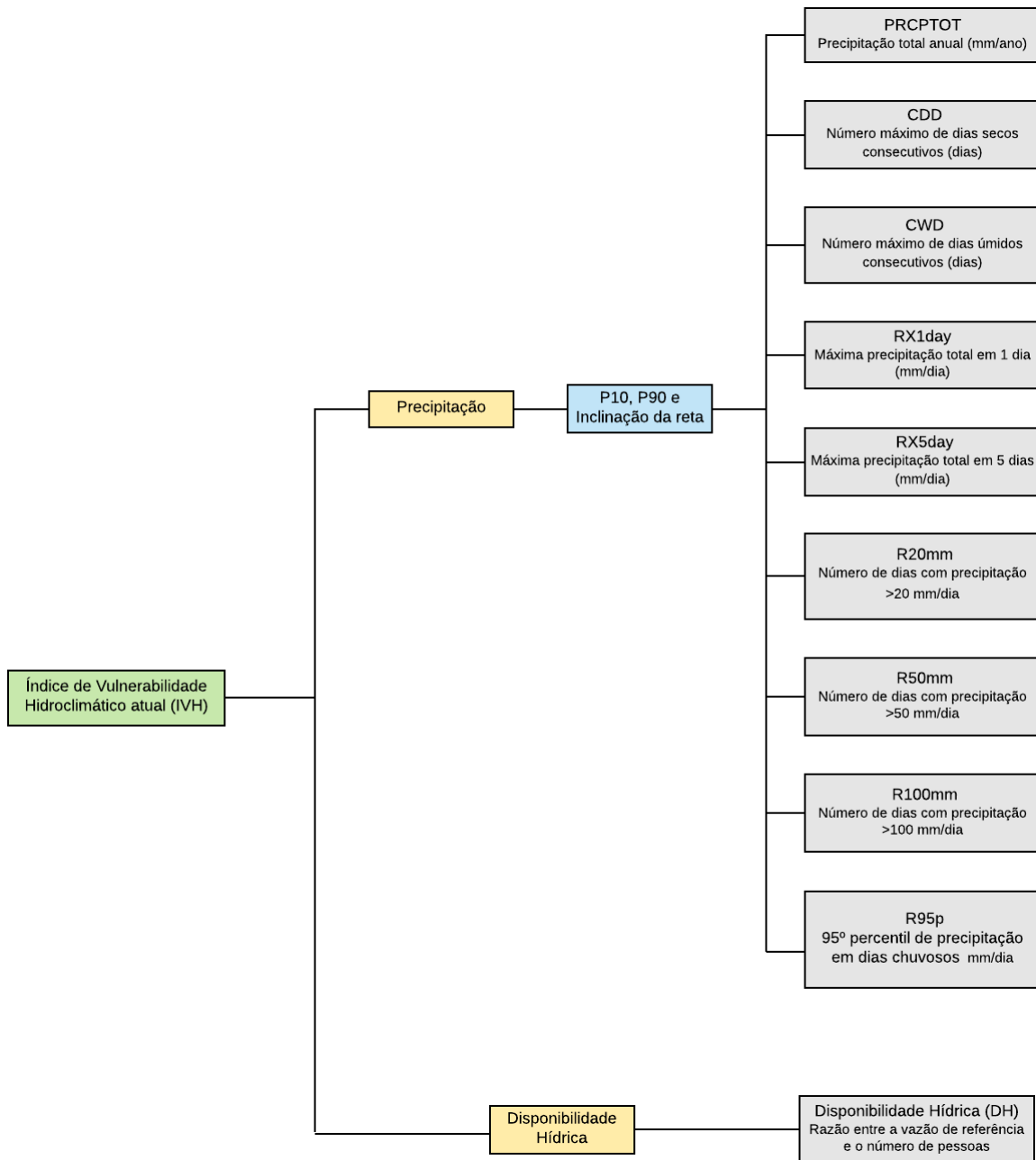
$$DH = \frac{Q_{90}}{N_p} \quad (4)$$

Onde DH é a disponibilidade hídrica, o Q_{90} é a vazão de referência e N_p é o número de pessoas ou o número da população que ocupa a sub-bacia.

A vazão de referência é o estabelecimento de um valor de vazão que passa a representar o limite superior de utilização da água em um curso d’água (CAMARA, 2003) e geralmente é utilizado em gestão de recursos hídricos, em estudos de regionalização, e relacionado à cheia (SILVA, 2015). O Q_{90} foi calculado usando os dados de vazão disponibilizados pelo DAEE através da construção da curva de permanência que expressa a frequência da vazão do rio, de forma a mostrar quanto da vazão está presente 90% do tempo. A vazão de permanência não se refere à probabilidade de ocorrer uma determinada vazão, mas revela quantitativamente a vazão disponível no período de interesse (CRUZ; TUCCI, 2008). Segundo Harris et al. (2000) apud Silva et al. (2006), a aplicação do critério de vazão de referência ocorre para proteger os rios, pois as vazões de outorga para uso da água são feitas, geralmente, a partir de uma vazão de base de pequeno risco.

Para melhor compreensão, a composição dos indicadores utilizados para aferir o IVH é apresentada na Figura 8.

Figura 8 - Apresentação dos indicadores de precipitação e disponibilidade hídrica, utilizados para gerar o Índice de Vulnerabilidade Hidroclimático atual.



(Fonte: Autoria própria)

3.4.2.5 Índice de Vulnerabilidade Geral atual (IVG)

Como descrito anteriormente no item 4.2.2.1, o índice de vulnerabilidade geral foi obtido através da associação de três índices de vulnerabilidade: ambiental, social e hidroclimático. Para determinar o IVG foi utilizada a média simples ponderada desses três índices com seus respectivos pesos, conforme mostra a Equação 5. A determinação dos pesos seguiu o critério do IVH ser o índice de maior influência sobre a vulnerabilidade dos recursos hídricos e por isso foi dado um peso de 0,5, visto que qualquer interferência no regime da chuva e da água disponível afeta diretamente os recursos hídricos. Para o IVA e o IVS foi atribuído o peso 0,2 e 0,3, respectivamente, pois ambos contribuem de forma significativa para aumento ou diminuição da vulnerabilidade dos rios, porém de forma indireta, mas o IVS apresenta maior impacto por conta dos diversos usos de água da população.

$$IVG = 0,2 IVA + 0,3 IVS + 0,5 IVH \quad (5)$$

Sendo, o IVG o índice de vulnerabilidade geral, IVA o índice de vulnerabilidade ambiental, IVS o índice de vulnerabilidade Social e IVH o índice de vulnerabilidade hidroclimático.

3.4.2.6 Índice de Vulnerabilidade Geral futuro (IVG_F)

De modo semelhante ao cálculo do IVG atual, o Índice de Vulnerabilidade Geral Futuro (IVG_F) foi determinado pelo mesmo IVA e IVS, porém agora com o Índice de Vulnerabilidade Hidroclimático Futuro (IVH_F). Embora tendo conhecimento de que os aspectos ambientais, como o indicador “Uso do Solo” sofrerá alterações futuramente, não existem meios para mensurar a projeção desses dados. Desse modo, os mesmos dados atuais foram usados para compor este índice. O mesmo ocorre com os indicadores sociais, visto que não é possível calcular a projeção de todas as componentes.

Assim, o IVG_F foi obtido através da média simples dos 3 índices de vulnerabilidade: ambiental, social e hidroclimático futuro e seguiu a mesma distribuição de pesos, conforme mostra a Equação 6:

$$VG_F = 0,3 IVA + 0,3 IVS + 0,4 IVH_F \quad (6)$$

Sendo, o IVG_F o índice de vulnerabilidade geral futuro, IVA o índice de vulnerabilidade ambiental, IVS o índice de vulnerabilidade social e IVH_F o índice de vulnerabilidade

hidroclimático futuro.

3.4.2.7 Índice de Vulnerabilidade Hidroclimático Futuro (IVH_F)

O Índice de Vulnerabilidade Hidroclimático Futuro (IVH_F) utilizou como base os dados de projeções climáticas disponibilizados pela plataforma PROJETA para dois cenários de emissões, sendo 4,5 RCP e de 8,5 RCP. Assim como os outros índices, a determinação do IVH_F deu-se por meio do método explicado na seção 4.2.2.1.

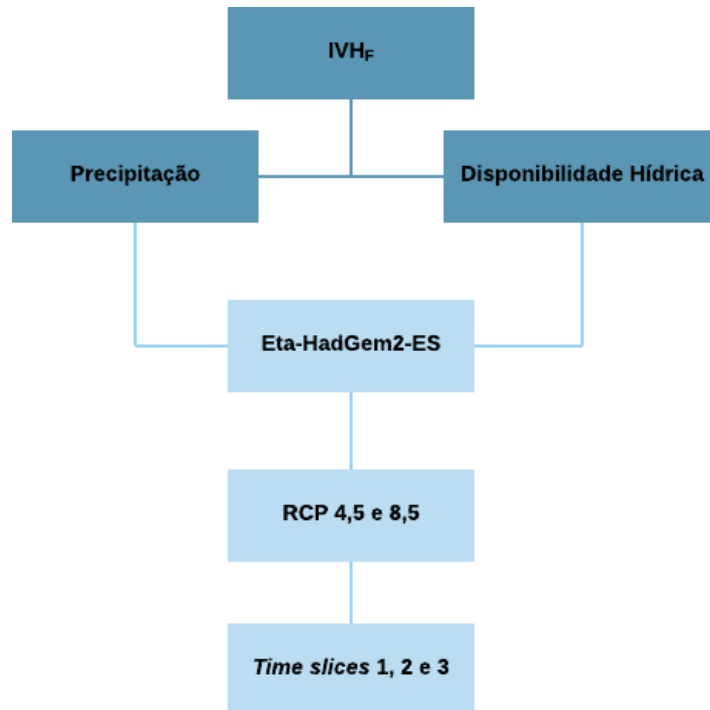
O PBMC comenta que:

A incerteza nas formulações dos modelos numéricos para resolver o sistema climático se reflete na magnitude dos erros sistemáticos das simulações. Esta avaliação dos erros, por sua vez, também contém incertezas na qualidade das observações, cuja rede sobre América do Sul é deficiente do ponto de vista espacial e temporal. As incertezas sobre as medidas observacionais afetam diretamente a robustez da avaliação dos modelos climáticos (PBMC, 2014; p.304).

Assim, em meio às incertezas associadas aos dados de um modelo climático, fez-se necessário determinar o erro sistemático agregado às simulações do modelo.

Os indicadores do IVH_F foram os mesmo que a IVH (índices climáticos de precipitação e disponibilidade hídrica), porém, para as projeções futuras, agrupadas em três intervalos de períodos climáticos (*time slices*): 2006-2040 (1); 2041-2070 (2); e 2071-2099 (3) do modelo climático Eta-HadGEM2-ES para dois cenários de emissões, conforme mostra a Figura 9 abaixo.

Figura 9 - Esquema do método para determinar o IVH_F .



(Fonte: Elaboração própria)

- **Validação dos dados de chuva, temperatura e vazão derivados do Eta-HadGEM2-ES**

A avaliação do comportamento da precipitação simulada pelo modelo climático Eta-HadGEM2-ES foi realizada através da validação da simulação histórica do modelo com os dados observados disponibilizados pelo DAEE, para o período de 1981-2005, a fim de computar o erro sistemático do modelo. Esse procedimento foi também realizado para os dados de temperatura simulados pelo modelo, com base nos dados históricos fornecidos pelo ERA-Interim. As métricas utilizadas foram o erro médio (EM) que representa o erro sistemático do modelo, o valor da Raiz do Erro Médio Quadrático (REM) e a correlação de anomalias (CA) como mostram as equações 7, 8 e 9 (MOURA et al., 2010; MARTINS, 2014b).

$$EM = \sum_{i=1}^n \frac{(S-O)}{n} \quad (7)$$

$$\text{REMQ} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(S - O)^2}{n}} \quad (8)$$

$$\text{CA} = \frac{\sum_{i=1}^n (S - \bar{S})(O - \bar{O})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (S - \bar{S})^2 \sum_{i=1}^n (O - \bar{O})^2}} \quad (9)$$

Onde EM é o erro médio, REMQ é a Raíz do Erro Médio Quadrático, CA a correlação entre os dados simulados e observados; S são as simulações, O as observações, \bar{S} e \bar{O} são as médias simuladas e observadas na escala mensal, respectivamente; e n é o número da série de dados estudados.

Após da aplicação das métricas, avaliaram-se três métodos de correção: *Delta Change Approach*, *Direct Approach* e Remoção do Erro Médio (OLIVEIRA, PEDROLLO E CASTRO, 2015; SILVA E VALVERDE, 2017) que tiveram como objetivo remover ou diminuir o erro sistemático do modelo.

Para a aplicação dos métodos o período de análise foi dividido em um período chamado de CTRL que inclui o período de 1981-1992 (CTRL) e um período de avaliação que contempla 1993-2005. Além disso, testaram-se os métodos, considerando todo o período de análise (ALL) que equivale a 1981-2005.

No primeiro método *Delta Change Approach* (Corr1), encontrou-se o fator de correção (FC) com a relação entre as médias mensais da variável observada e simulada. Após isso, esse fator de correção determinado para cada mês do ano é multiplicado pelo valor simulado, conforme a Equação 10 que mostra para o período ALL.

$$K_{(1981-2005)}^{\text{Corr}} = K_{(1981-2005)}^{\text{Sim}} * \underbrace{\left(\frac{K_{(1981-2005)}^{\text{Obs}}}{K_{(1981-2005)}^{\text{Sim}}} \right)}_{\text{FC}} \quad (10)$$

Onde, K^{Corr} é a variável corrigida, K^{Sim} a variável simulada, K^{Obs} a variável observada e FC é o fator de correção.

A correção para o período CTRL foi obtido através da Equação 11 a seguir.

$$K_{(1993-2005)}^{CorrA} = K_{(1993-2005)}^{SimA} * \underbrace{\left(\frac{K_{(1981-1992)}^{ObsC}}{K_{(1981-1992)}^{SimC}} \right)}_{FC} \quad (11)$$

Onde, K^{CorrA} é a variável corrigida do período de avaliação, K^{SimA} a variável simulada do período de avaliação, K^{ObsC} a variável observada do período controle, K^{SimC} a variável simulada do período de controle e FC é o fator de correção.

O método *Direct Approach* (Corr2) calcula o fator de correção também como a razão entre a média mensal da variável observada e da simulada adicionada ao valor simulado pelo modelo. A Equação 12 exibe a formulação para o período ALL e a Equação 13 para o período CTRL.

$$K_{(1981-2005)}^{Corr} = K_{(1981-2005)}^{Sim} + \underbrace{\left(\frac{K_{(1981-2005)}^{Obs}}{K_{(1981-2005)}^{Sim}} \right)}_{FC} \quad (12)$$

$$K_{(1993-2005)}^{CorrA} = K_{(1993-2005)}^{SimA} + \underbrace{\left(\frac{K_{(1981-1992)}^{ObsC}}{K_{(1981-1992)}^{SimC}} \right)}_{FC} \quad (13)$$

Onde, K^{Corr} é a variável corrigida, K^{Sim} a variável simulada, K^{Obs} a variável observada, K^{CorrA} é a variável corrigida para o período de avaliação, K^{SimA} a variável simulada do período de avaliação, K^{ObsC} a variável observada do período controle, K^{SimC} a variável simulada do período de controle e FC é o fator de correção.

O último método Remoção do Erro Médio (Corr3) considera o fator de correção como a subtração das médias mensais da variável simulada e observada. Para obter o Corr3 foi necessário subtrair o FC da variável simulada, conforme mostram as Equações 14 e 15 sendo referentes ao período ALL e CTRL, respectivamente.

$$K_{(1981-2005)}^{Corr} = K_{(1981-2005)}^{Sim} - \underbrace{\left(K_{(1981-2005)}^{Sim} - K_{(1981-2005)}^{Obs} \right)}_{FC} \quad (14)$$

$$K_{(1993-2005)}^{\text{CorrA}} = K_{(1993-2005)}^{\text{SimA}} + \underbrace{\left(K_{(1981-1992)}^{\text{SimC}} - K_{(1981-1992)}^{\text{ObsC}} \right)}_{\text{FC}} \quad (15)$$

Onde, o significado de cada uma das variáveis está explicado nos parágrafos anteriores.

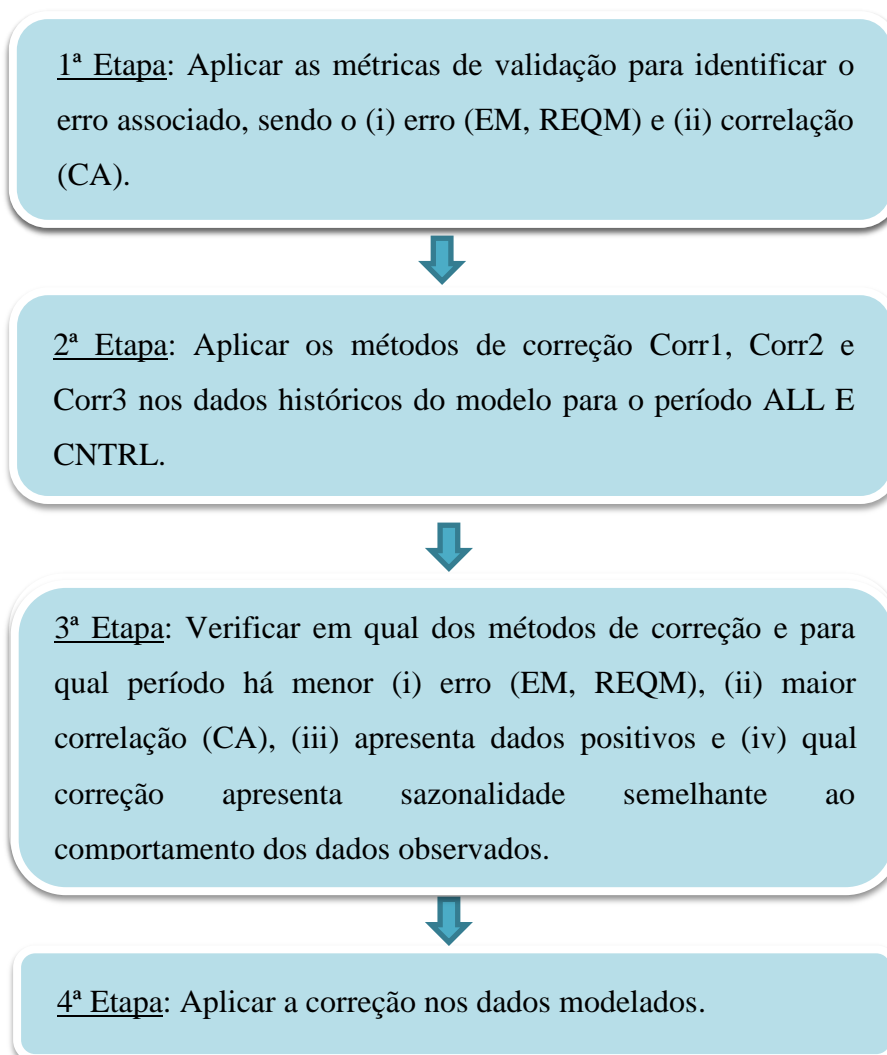
Após a aplicação dos métodos de correção (Corr1, Corr2 e Corr 3) na simulação histórica dos modelos, novamente foram calculadas as métricas de desempenho (EM, REMQ e CA) e escolheu-se o método de correção com menores valores de EM, REMQ e maior correlação possível; e que demonstraram a maior semelhança da sazonalidade na modelagem histórica em comparação ao comportamento dos dados observados.

Tendo selecionado o melhor método de correção, procedeu-se a utilizar o seu fator de correção para as projeções climáticas futuras do modelo utilizado.

Os procedimentos de validação e remoção do erro foram aplicados para a precipitação e temperatura mensal simulados pelo modelo Eta-HadGEM2-ES, para posteriormente serem utilizados no cálculo da disponibilidade hídrica.

O diagrama exibido na Figura 10 abaixo exemplifica a validação e remoção de erros utilizada nesse trabalho.

Figura 10 - Esquematização dos métodos aplicados para correção dos dados modelados.



(Fonte: Autoria própria)

Em relação aos índices climáticos de precipitação derivados dos modelos, O PROJETA já os fornece corrigidos, pois previamente a precipitação diária foi corrigida pelo método quantil-quantil (BÁRDOSSY; PEGRAM, 2011) tanto para a série histórica, como para os cenários futuros. A remoção de erro sistemático na precipitação diária minimiza as incertezas. Assim, foram utilizados os índices climáticos de chuva corrigidos do modelo Eta-HadGEM2-ES resolução 20 km x 20 km. As tendências dos índices climáticos extremos foram analisadas nos três *time slices* citados anteriormente: 2006-2040 (1); 2041-2070 (2); e 2071-2099 (3).

- **Disponibilidade Hídrica futura**

Modelos climáticos não fornecem simulações referentes à vazão. Dessa forma, os dados de vazão no cenário futuro, que são necessários para estimar a disponibilidade hídrica futura, não são disponibilizados pelo PROJETA. Assim, a determinação a vazão média mensal foi realizada através da equação de balanço hídrico.

Villela e Mattos (1975) apresentam a equação do balanço hídrico (Equação 16) de uma bacia hidrográfica como:

$$S = P - E - T - Q - I \quad (16)$$

Sendo, S armazenamento, P a precipitação, E a evaporação, T a transpiração, I a infiltração e Q o escoamento superficial.

De forma simplificada, numa bacia hidrográfica o fluxo de entrada, determinado pela precipitação, e o de saída dada pela evapotranspiração e vazão no exutório conforme mostra a Equação 17 (SILVA, 2015).

$$S = P - (ETP + Q) \quad (17)$$

Onde, S é o armazenamento de água na bacia hidrográfica (unidade de altura milimétrica ao ano); P é a precipitação (altura milimétrica); ETP é a evapotranspiração potencial (altura milimétrica); Q é a vazão (unidade de altura milimétrica).

O Q também pode ser referenciado como a disponibilidade hídrica da bacia hidrográfica. Em bacias hidrográficas extensas e em um longo período de tempo, na escala anual ou mensal, por exemplo, é razoável considerar que toda a precipitação ocorrida naquela unidade de tempo já não está mais presente na bacia e considera-se o armazenamento (S) mínimo ou nulo, gerando a Equação do balanço hídrico simplificado (18) (SILVA, 2015).

$$Q = P - ETP \quad (18)$$

Onde, Q é a vazão (unidade de altura milimétrica); P é a precipitação (altura milimétrica); ETP é a evapotranspiração potencial (altura milimétrica).

A evapotranspiração potencial é a perda de água para atmosfera, através de uma superfície natural gramada, padrão, sem restrição hídrica a evaporação do solo, definida por perda de água para atmosfera a partir do solo saturado e exposto às condições naturais, e transpiração

das plantas, a perda de água para a atmosfera em forma de vapor e decorrente de ações físicas e fisiológicas dos vegetais (VILLELA; MATOS, 1975; CAMARGO; CAMARGO, 2000).

O método para estimar a ETP mensal futura foi o utilizado por Mendes, Beludes e Canales (2017) em que a ETP (Equação 19) se baseia na pressão de saturação de vapor expressa na Equação 20, a seguir.

$$ETP = 4,09 e_{sat} (T) \quad (19)$$

$$e_{sat}(T) = 6,11 e^{\frac{17,3T}{T+237,3}} \quad (20)$$

Onde, ETP é a evapotranspiração acumulada (unidade de altura milimétrica ao mês); T é a temperatura média do ar em graus Celsius; e_{sat} é a pressão de saturação de vapor. A temperatura do ar simulada pelos modelos também esteve disponibilizada no PROJETA.

Os dados de temperatura simulados pelo Eta-HadGEM2-ES também foram validados para encontrar os erros associados, e utilizaram-se os dados de temperatura estimados pelo ERA-Interim, para posterior aplicação dos três métodos de correção (Corr1, Corr2 e Corr3) conforme descrito anteriormente.

Considerando a equação do balanço hídrico simplificado (18), construiu-se uma equação empírica, com base nos dados observados (P, Q e ETP) através de coeficientes derivados da equação simplificada do balanço hidrológico, seguindo a metodologia de SILVA (2016). Os coeficientes que relacionam todas as variáveis necessárias seguem as equações abaixo (SILVA, 2016; SILVA; VALVERDE, 2017):

Onde, ETP é a evapotranspiração acumulada (unidade de altura milimétrica ao mês); T é a temperatura média do ar em graus Celsius; e_{sat} é a pressão de saturação de vapor. A temperatura do ar simulada pelos modelos também esteve disponibilizada no PROJETA.

Os dados de temperatura simulados pelo Eta-HadGEM2-ES também foram validados para encontrar os erros associados, e utilizaram-se os dados de temperatura estimados pelo ERA-Interim, para posterior aplicação dos três métodos de correção (Corr1, Corr2 e Corr3) conforme descrito anteriormente.

Considerando a equação do balanço hídrico simplificado (17), construiu-se uma equação empírica, com base nos dados observados (P, Q e ETP) através de coeficientes derivados da equação simplificada do balanço hidrológico (18), seguindo a metodologia de SILVA (2016).

Os coeficientes que relacionam todas as variáveis necessárias seguem as equações 21 e 22 abaixo (SILVA, 2016; SILVA; VALVERDE, 2017):

$$Coef_{1(mês)} = \frac{P(mês)}{ETP(mês)} \quad (21)$$

$$Coef_{2(mês)} = \frac{Q(mês)}{ETP(mês)} \quad (22)$$

Com base nos coeficientes construiu-se um gráfico de dispersão, sendo o eixo X o $Coef_1$ e o eixo Y o $Coef_2$ que possibilitou traçar uma curva de ajuste, com a sua respectiva equação, que melhor representasse a dispersão desses dados, conforme maior o coeficiente de determinação (R^2).

Em um modelo de ajuste linear ou não linear o R^2 mostra a existência de uma relação entre a variável dependente e a independente. Numericamente esse coeficiente varia entre 0 e 1 e o cálculo do R^2 é mostrado na Equação 23 (SILVA; VALVERDE, 2017; NAGHETTINI; PINTO, 2007).

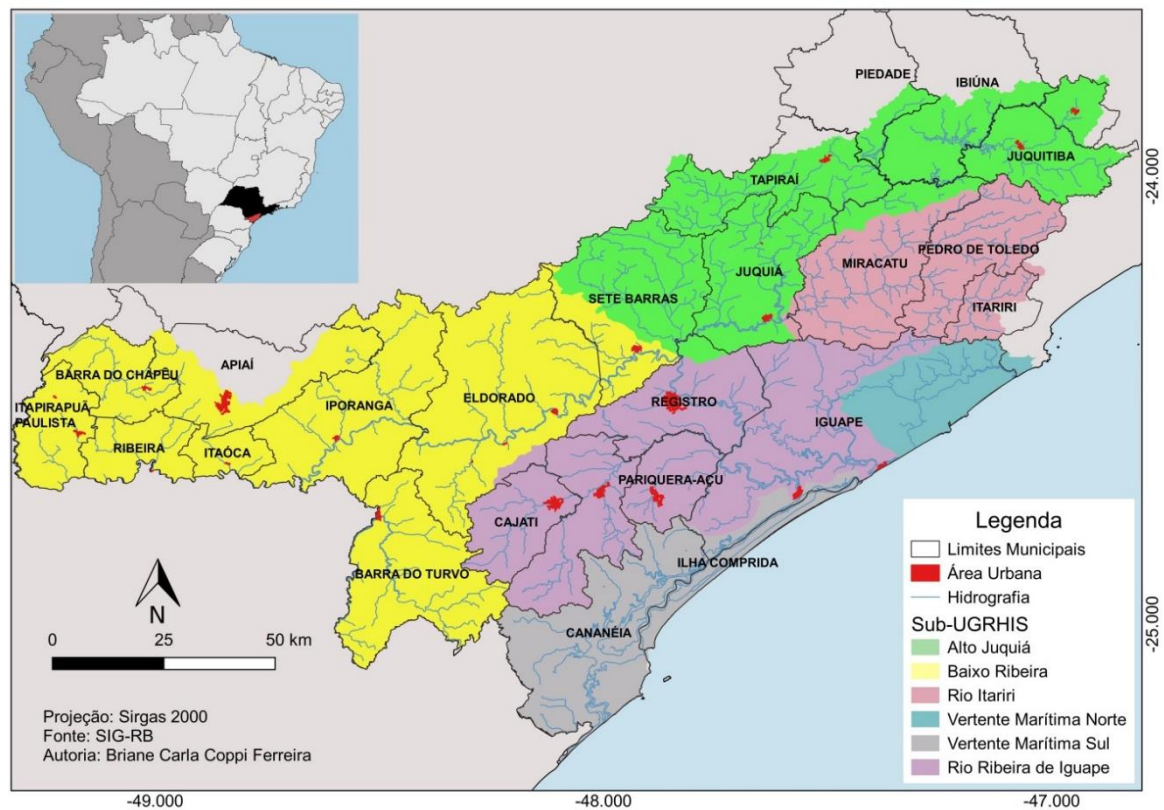
$$R^2 = \frac{\text{Varância explicada}}{\text{Variação total}} = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (23)$$

Por fim, encontrado o modelo empírico que melhor determine a vazão em cada sub-bacia, tendo como base o R^2 e o comportamento sazonal. Os modelos empíricos construídos, para o cálculo da vazão, em cada sub-bacia foram aplicados às simulações históricas do modelo (Eta-HadGEM2-ES), e a vazão obtida foi validada e submetida aos métodos de correção explicados na seção 4.2.2.6 para obter o fator de correção. Posteriormente, as equações empíricas foram utilizadas para os cenários futuros, e após a aplicação do fator de correção se obteve a vazão mensal futura. Tendo a vazão mensal futura, procedeu-se ao cálculo da vazão de referência (seção 4.2.2.4) para os três *time slices* do modelo.

Para auferir a disponibilidade hídrica futura foi necessário obter a projeção da população até 2099 nas sub-bacias de estudo. A população total das sub-bacia foi estimada pela soma da população dos municípios que compõem essas áreas. Vale ressaltar que, alguns municípios estão presentes em mais de uma sub-bacia e, nesse caso, considerou-se que a população pertence a uma determinada sub-bacia se a área urbana pertencente à mesma. Já que não é possível determinar exatamente a projeção para uma unidade de área de um

município, esse método pode ser eficaz devido à área urbana possuir uma maior concentração de pessoas numa área menor (maior densidade demográfica) em comparação à população rural. A Figura 11 exibe as áreas urbanas presentes nas sub-bacias por município. Com base nesse método, o agrupamento dos municípios por sub-bacia para estimativa da população pode ser observada na Tabela 10.

Figura 11 - Localização da área urbana dos municípios das Sub-bacias Alto Juquiá, Baixo Ribeira e Rio Ribeira de Iguape.



(Fonte: Autoria própria com base no SIG-RB)

Tabela 10 - Agrupamento dos municípios por sub-bacia para projeção da população.

Sub-bacias	Municípios
Alto Juquiá	Juquiá
	Juquitiba
	Miracatu
Baixo Ribeira	Apiáí
	Barra do Chapéu
	Barra do Turvo
	Eldorado
	Iporanga
	Itaóca
	Itapirapuã Paulista
	Ribeira Sete Barras
Ribeira deIguape	Cajati
	Iguape
	Jacupiranga
	Pariquera-Açu
	Registro

(Fonte: Elaboração própria)

O SEADE é uma instituição oficial do governo do Estado de São Paulo e que fornece análises estatísticas socioeconômicas e demográficas do estado¹⁵. Um dos produtos fornecidos pelo SEADE são as projeções da população, até o momento presente, de 2011 a 2050 para todos os municípios do Estado de São Paulo¹⁶. O método de projeção utilizado pelo SEADE é denominado componentes demográficos ou projeção dos Componentes por Coortes, sendo uma projeção com maior nível de detalhamento tanto geográfico como demográfico já que incorpora informações de migração, fecundidade e mortalidade (WALDVOGEL, 1996; WALDVOGEL et al., 2003; BRITO; CAVENAGHI; JANNUZZI, 2010; IBGE, 2016). Esse método é bastante utilizado para estimar populações de áreas maiores, sendo um problema para aferir pequenas áreas, como municípios, visto que as informações necessárias de fecundidade e mortalidade, que muitas vezes podem ser instáveis e de difícil mensuração (MUNIZ, 2018). Assim, uma das alternativas para projeções populacionais de áreas menores, e que também foi adotada pelo IBGE, é de utilizar o método de Crescimento Demográfico

¹⁵ <https://www.seade.gov.br/institucional/>. Acesso em: 09 jul. 2020.

¹⁶ <http://produtos.seade.gov.br/produtos/projpop/>. Acesso em: 09 jul. 2020.

(AiBi), que estima a população de uma área menor através da distribuição proporcional da área maior (IBGE, 2016; MUNIZ, 2018).

Apesar do AiBi não ser um método indicado para longas projeções, o mesmo é indicado para áreas pequenas em declínio populacional, que apresentam baixo crescimento ou que apresentam a mesma taxa de crescimento que a área maior (BRITO; CAVENAGHI; JANNUZZI, 2010). Ao analisar os dados fornecidos para a região administrativa de Registro pelo SEADE, que é composta por alguns municípios da BHRRI (Barras do Turvo, Cajati, Cananéia, Eldorado, Iguape, Ilha Comprida, Itariri, Jacupiranga, Juquiá, Miracatú, Pariquera-Açu, Pedro de Toledo, Registro e Sete Barras)¹⁷ e serve como exemplo de representação do comportamento da população da bacia, notou-se que a taxa de crescimento populacional é muito baixa (0,19 em % a.a) quando comparada a todas as regiões administrativas do estado, inclusive a RMSP (0,72 em % a. a) e ao crescimento do Estado (0,80 em % a.a).

A população das sub-bacias nos *time slice* 1, 2 e 3 foi estimada através do método AiBi que utilizou como base a população atual fornecida pelo IBGE. O método AiBi, que calcula a estimativa da população de um domínio menor em relação ao domínio maior por meio de uma relação linear, é exibido na Equação 24 (FRIAS, 1987 apud BRITO; CAVENAGHI; JANNUZZI, 2010; IBGE, 2016).

A população da área maior $P(t)$ é estimada em um momento t , cuja área maior é subdividida em n áreas menores e na população da área i , tem-se:

$$P_i(t) ; i = 1,2,3,\dots,n$$

$$P(t) = \sum_{i=1}^n P_i(t) \quad (24)$$

Ao supor que a população da área i tem dois termos, sendo um $a_i P(t)$ que depende da área maior e outro o b_i , entende-se que a_i é o coeficiente de proporcionalidade do “(de)crescimento” população da área menor em relação ao “(de)crescimento” da maior área. Sendo assim:

$$P_i(t) = a_i P(t) + b_i \quad (25)$$

¹⁷ http://www.igc.sp.gov.br/produtos/mapas_rad41d.html?. Acesso em: 15 jul. 2020

Para que os coeficientes sejam determinados parte-se do período delimitado por dois censos demográficos consecutivos: t_0 e t_1 . Ao substituí-los na Equação 25, obteve-se:

$$P_i(t_0) = a_i P(t_0) + b_i \quad (26)$$

$$P_i(t_1) = a_i P(t_1) + b_i \quad (27)$$

A partir das Equações 26 e 27, para os coeficientes a_i e b_i , tem-se:

$$a_i = \frac{P_i(t_1) - P_i(t_0)}{P(t_1) - P(t_0)} \quad (28)$$

$$b_i = P_i(t_0) - a_i P(t_0) \quad (29)$$

Considera-se nas expressões acima:

t_0 : o 1º censo demográfico;

t_1 : o 2º censo demográfico;

t : 1º de julho do ano a ser estimado.

A aplicação do modelo AiBi descrito acima, é capaz de estimar a população futura de qualquer município do Brasil, considerando como área maior o próprio Brasil ou a Unidade da Federação com projeções realizadas por meio do método das componentes demográficas. Além disso, para evitar que apareçam populações negativas com o Aibi, pode-se separar as áreas com taxas de decréscimo e de aumento (BRITO; CAVENAGHI; JANNUZZI, 2010; BORGES, ERVATTI, SILVA; 2011).

Assim, a disponibilidade hídrica futura foi calculada para cada *time slice* através da Equação 30 que relaciona a vazão de referência futura, o Q_{90F} e a projeção populacional, conforme abaixo:

$$DH_F = \frac{Q_{90F}}{N_{pF}} \quad (30)$$

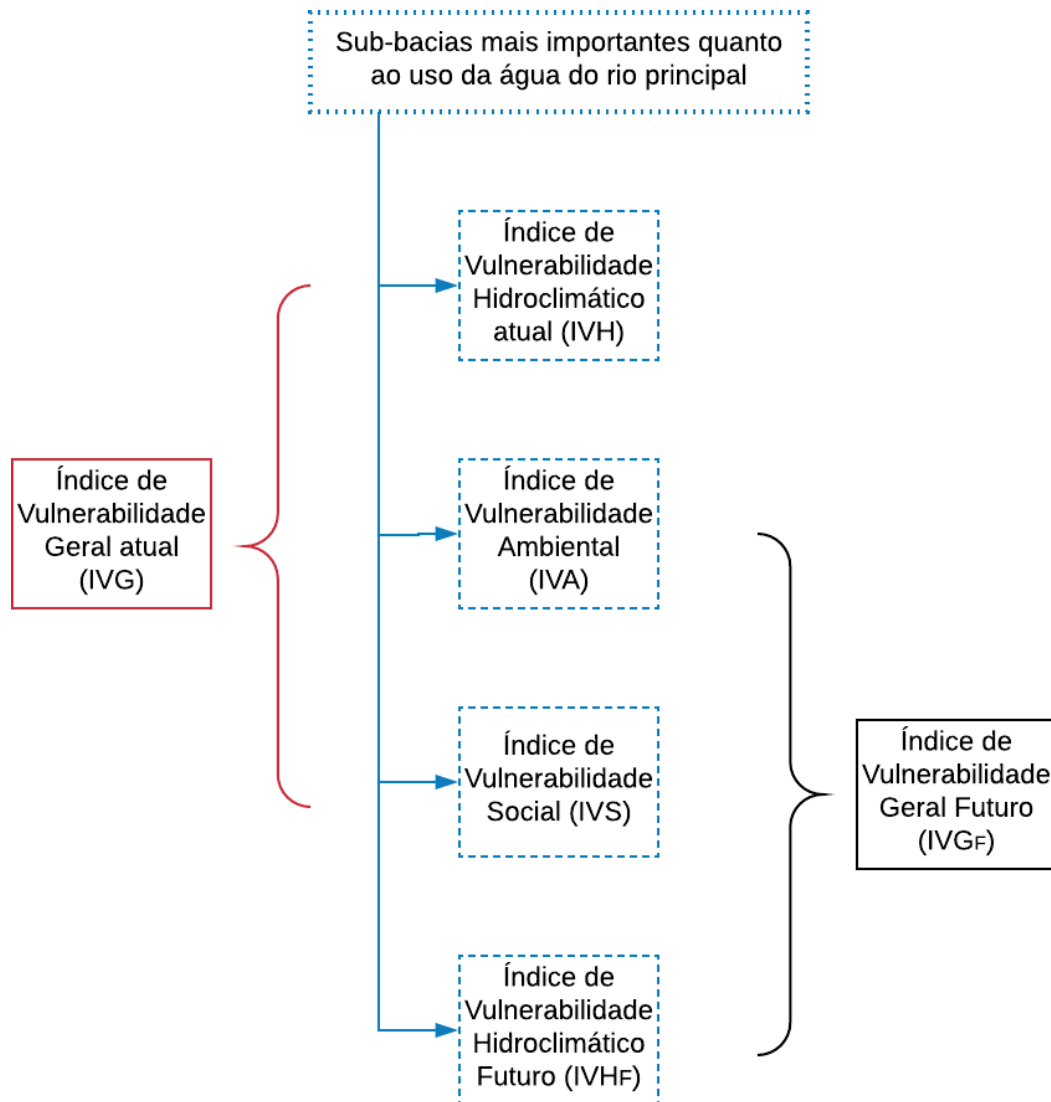
Onde, DH_F é a disponibilidade hídrica futura; Q_{90F} é a vazão de referência e N_{pF} o número de pessoas presentes na sub-bacia utilizando a projeção da população.

A Figura 12 mostra de forma simplificada a metodologia geral adotada nesse trabalho que

termina ao mensurar o Índice de Vulnerabilidade Geral futura.

Além de calcular a disponibilidade hídrica futura para as 3 sub-bacias, nos 3 períodos de *time slices* considerados, nos dois cenários de emissões de 4,5 e 8,5 RCP, especificamente, para a sub-bacia Alto Juquiá foram estimadas as disponibilidades de água para esta sub-bacia considerando 4 cenários de reversão de água para a RMSP, dos cinco abordados no Plano da Bacia, isto também para os 3 *time slices* e nos dois cenários de emissões: com transposição de 4,7 m³/s (cenário 2); 6,4 m³/s (cenário 3), 7,75 m³/s (cenário 4); e 9,65 m³/s (Cenário 5) (CBH-RB, 2018).

Figura 12 - Modelo simplificado do método adotado para calcular os índices de vulnerabilidade.



(Fonte: Autoria própria)

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Identificação das sub-bacias mais importantes da bacia do rio Ribeira de Iguape

Inicialmente, foram identificadas quais das seis sub-bacias são as mais importantes considerando os parâmetros de uso da água dos recursos hídricos. A Tabela 11 abaixo mostra os municípios, bem como os rios principais de cada uma das seis sub-bacias hidrográficas que compõem a grande bacia do rio Ribeira de Iguape.

Tabela 11 - Municípios e rios principais das seis regiões hidrográficas.

Região Hidrográfica	Municípios da Região Hidrográfica	Rios Principais
Baixo Ribeira	Itapirapuã Paulista, Ribeira, Itaóca, Barra do Turvo, grande parte de Eldorado, parte de Sete Barras, grande parte de Barra do Chapéu, parte de Apiaí, Iporanga	Ribeira, Pardo
Rio Ribeira de Iguape	Cajati, Jacupiranga, grande parte de Registro, Pariquera-Açu e parte de Iguape	Ribeira de Iguape, Una da Aldeia, Jacupiranga
Vertente Marítima Sul	Cananéia, Ilha Comprida e pequena parte de Iguape	Mar de Cananéia ou Mar de Fora, Mar Pequeno
Vertente Marítima Norte	Parte de Iguape	Das Pedras e Comprido
Alto Juquiá	São Lourenço da Serra, Juquiá, Jucituba, Tapiraí, grande parte de Sete Barras, pequena parte de Miracatu, pequena parte de Registro, parte de Ibiuna.	Juquiá, Juquiá-Guaçu
Rio Itariri	Grande parte de Miracatu, Itariri, Pedro de Toledo,	Itariri e São Lourenço

(Fonte: Autoria própria com base nos arquivos digitais do SIG-RB)

Seguindo a metodologia da seção 4.2.1, em relação ao primeiro parâmetro de identificação – Conselho Gestor, a bacia em estudo tem o Comitê da Bacia Hidrográfica do Ribeira de Iguape e Litoral Sul, responsável pela gestão de todos os recursos hídricos da UHRI-11, mas que tem como principal objeto de análise o maior rio da região, o Rio Ribeira de Iguape. Toda a região da UGRHI é abastecida com captação de água superficial e subterrânea para usos doméstico, industrial, comercial e agrícola, porém o parâmetro “Uso da Água para consumo humano” considerou os pontos de captação de água superficial do rio principal. Para a caracterização do parâmetro “Uso da água para gerar energia elétrica”

encontrou-se que a região da UGRHI-11 é contemplada com o total de 12 usinas hidrelétricas. No que se refere ao parâmetro de “Qualidade da água”, esta é monitorada pela CETESB e, apesar de em geral a água dos recursos hídricos apresentarem boa qualidade, existem fontes de poluição pontuais destacando-se pontos de origem doméstica, urbana, industrial e agrícola (CBH-RB, 2007).

Como resultado da análise, as sub-bacias que se apresentaram mais relevantes por possuírem o maior número de parâmetros são: Alto Juquiá, Baixo Ribeira e Rio Ribeira de Iguape (Tabela 12). Destas três regiões hidrográficas, Baixo Ribeira apresentou o maior número de parâmetros de importância entre todas as sub-bacias e atendeu todos os parâmetros considerados.

Tabela 12 - Resultado da presença dos parâmetros que caracterizam a importância das regiões hidrográficas.

Região Hidrográfica	Rio Principal	Existe Conselho Gestor	Uso da água para consumo humano	Uso da água para gerar energia elétrica	Qualidade da água monitorada (CETESB)
Baixo Ribeira	Ribeira, Pardo	X	X	X	X
Rio Ribeira de Iguape	Ribeira de Iguape, Una da Aldeia, Jacupiranga	X	X	–	X
Vertente Marítima Sul	Mar de Cananéia ou Mar de Fora, Mar Pequeno	–	X	–	X
Vertente Marítima Norte	Das Pedras e Comprido	–	–	–	–
Alto Juquiá	Juquiá, Juquiá-Guaçu	–	X	X	X
Rio Itariri	Itariri e São Lourenço	–	X	–	–

(Fonte: Autoria própria com base nos arquivos digitais do SIG-RB)

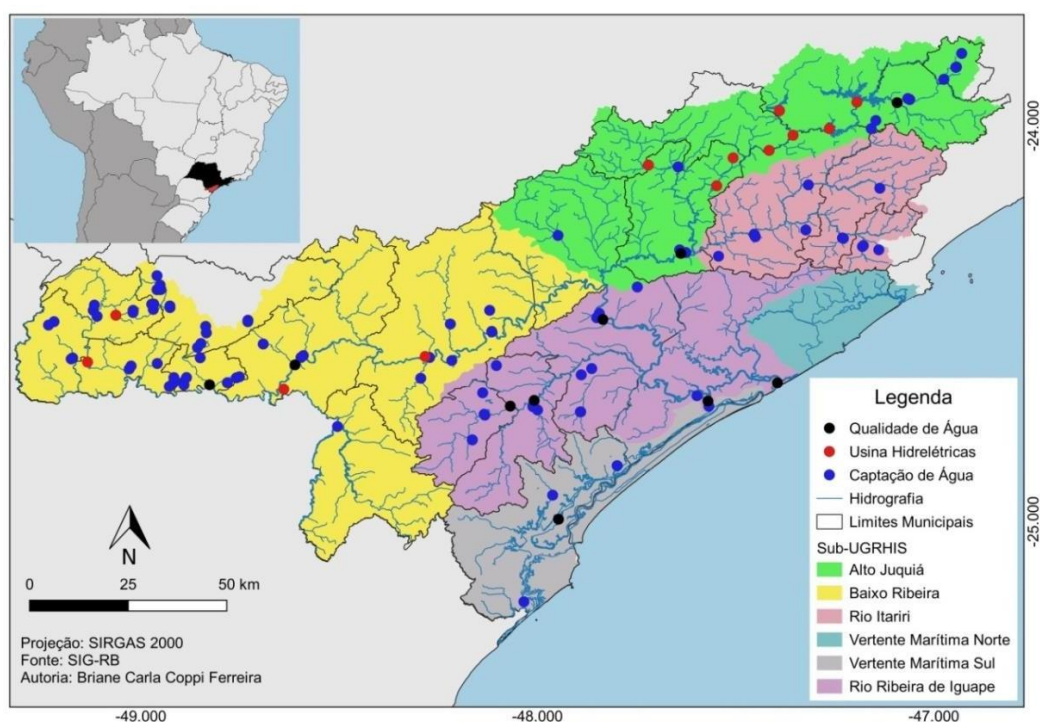
As outras duas sub-bacias mais importantes, Alto Juquiá e Rio Ribeira de Iguape atenderam três parâmetros cada. A sub-bacia Alto Juquiá apresentou os parâmetros uso da “água para consumo, gerar energia elétrica” e possui “monitoramento de qualidade”.

Enquanto que, a região Rio Ribeira de Iguape incluiu os parâmetros “conselho gestor” para o rio principal, “uso da água para consumo” e “qualidade monitorada da água”. Devido às três regiões atenderem maior número de parâmetros de uso dos cursos d’água, pode-se inferir que as mesmas podem ser mais vulneráveis á escassez de água em relação às demais já que apresentam a maior parte dos múltiplos usos da água. O maior número de parâmetros atendidos sugere o alto grau de relevância dos recursos hídricos dessas sub-bacias quanto ao uso da água (Tabela 12).

A Figura 13 exhibe a disposição de três dos parâmetros adotados nas sub-bacias: pontos de monitoramento da qualidade da água, pontos de captação de água e localização de usinas hidrelétricas.

A região Alto Juquiá apresenta o maior número de usinas hidrelétricas entre as demais, totalizando oito usinas, entre elas as usinas presentes no rio Juquiá que podem ser citadas são: Usina de França, Usina de Fumaça, Usina de Porto Raso, Usina Alecrim e Usina Serraria e que pertencem a CBA (CBH-RB, 2013). A Usina de França destaca-se devido ao seu reservatório Cachoeira do França que, além de gerar energia elétrica para a Companhia Brasileira de Alumínio (CBA), também está fornecendo água para abastecer a região oeste da RMSP.

Figura 13 - Localização dos parâmetros qualidade da água, pontos de captação de água e localização de usinas hidrelétricas nas sub-bacias da bacia do rio Ribeira de Iguape – SP.



(Fonte: Autoria própria com base nos arquivos digitais do SIG-RB)

Os postos de monitoramento da água superficial são mais abundantes na sub-bacia Rio Ribeira de Iguape, com cinco postos de captação de água para a avaliação da qualidade realizada pela CETESB. Os pontos de captação de água para consumo são muitos e possuem ampla distribuição na bacia hidrográfica, com exceção da sub-bacia Vertente Marítima Norte, que não possui esse e nenhum outro parâmetro. A sub-bacia que possui o maior número de pontos de captação de água é Baixo Ribeira. Das seis sub-bacias estudadas, apenas a Vertente Marítima Norte não atendeu a nenhum dos quatro parâmetros analisados, o que sugere ser a menos importante quanto ao uso dos recursos hídricos.

4.2 Construção e avaliação dos índices de vulnerabilidade Ambiental, Social e Hidroclimáticos atuais

Seguindo a metodologia adotada, os índices foram calculados através da construção e agregação de indicadores sociais, ambientais e hidroclimático, cujos resultados são apresentados a seguir. A vulnerabilidade foi classificada de acordo com os intervalos descritos na metodologia como baixa, média, alta e extrema vulnerabilidade.

4.2.1 Índice de Vulnerabilidade Ambiental (IVA)

4.2.1.1 Cálculo do Índice de Vulnerabilidade Ambiental

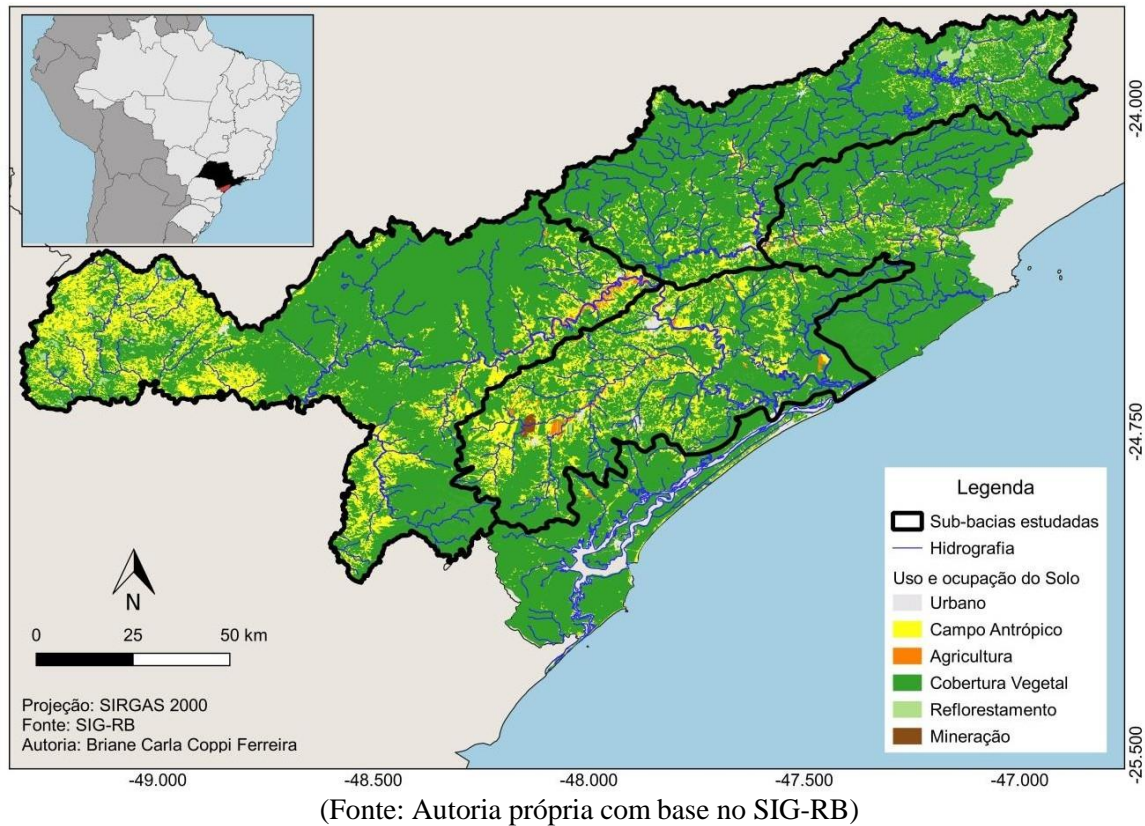
Na Tabela 14 se explicita os indicadores utilizados para o cálculo do IVA. A sub-bacia Rio Ribeira de Iguape possui a maior área urbana entre as três sub-bacias mais importantes, além de ser a única com presença de área industrial e aeroporto. Essa sub-bacia também possui a maior cobertura vegetal, com 53% da área, maior área de mineração e possui o mais baixo percentual de preservação com as UCs. Baixo Ribeira e Alto Juquiá apresentaram a mesma área de reflorestamento, porém, devido à área total de Alto Juquiá ser menor, a mesma obteve maior percentual de reflorestamento com 1,2%. A sub-bacia Alto Juquiá é a que possui maior parte do seu território com UCs, com cerca de 70%. Baixo Ribeira aparece com maiores áreas de Agricultura (apesar de percentualmente ser menor que Rio Ribeira de Iguape) e Campo Antrópico, mas também é a sub-bacia que possui menor área urbana (Tabela 13). A distribuição dos tipos de uso do solo podem ser observadas na Figura 14.

Tabela 13 - Área dos Usos do solo nas sub-bacias estudadas e reescalação utilizada em cada indicador.

Uso do Solo	Indicador	Alto Juquiá		Baixo Ribeira		Rio Ribeira de Iguape	
		Área (km ²)	% da Área total	Área (km ²)	% da Área total	Área (km ²)	% da Área total
Área Urbana							
Industrial	Urbano	23,75	0,64	12,62	0,20	37,22	1,07
Aeroporto							
Campo Antrópico	Campo Antrópico	299,74	8,04	1353,20	21,39	834,61	24,01
Cobertura Florestal							
Campo úmido	Cobertura Vegetal	743,10	19,94	1516,74	23,98	1855,41	53,37
Mangue							
Restinga							
Mata ciliar							
Agricultura	Agricultura	7,76	0,21	46,24	0,73	42,42	1,22
Reflorestamento	Reflorestamento	45,20	1,21	45,19	0,714	3,59	0,10
Mineração	Mineração	0,366	0,01	0	0	14,68	0,42
UC	UC	2607,0	69,95	3350,94	52,98	688,44	19,80

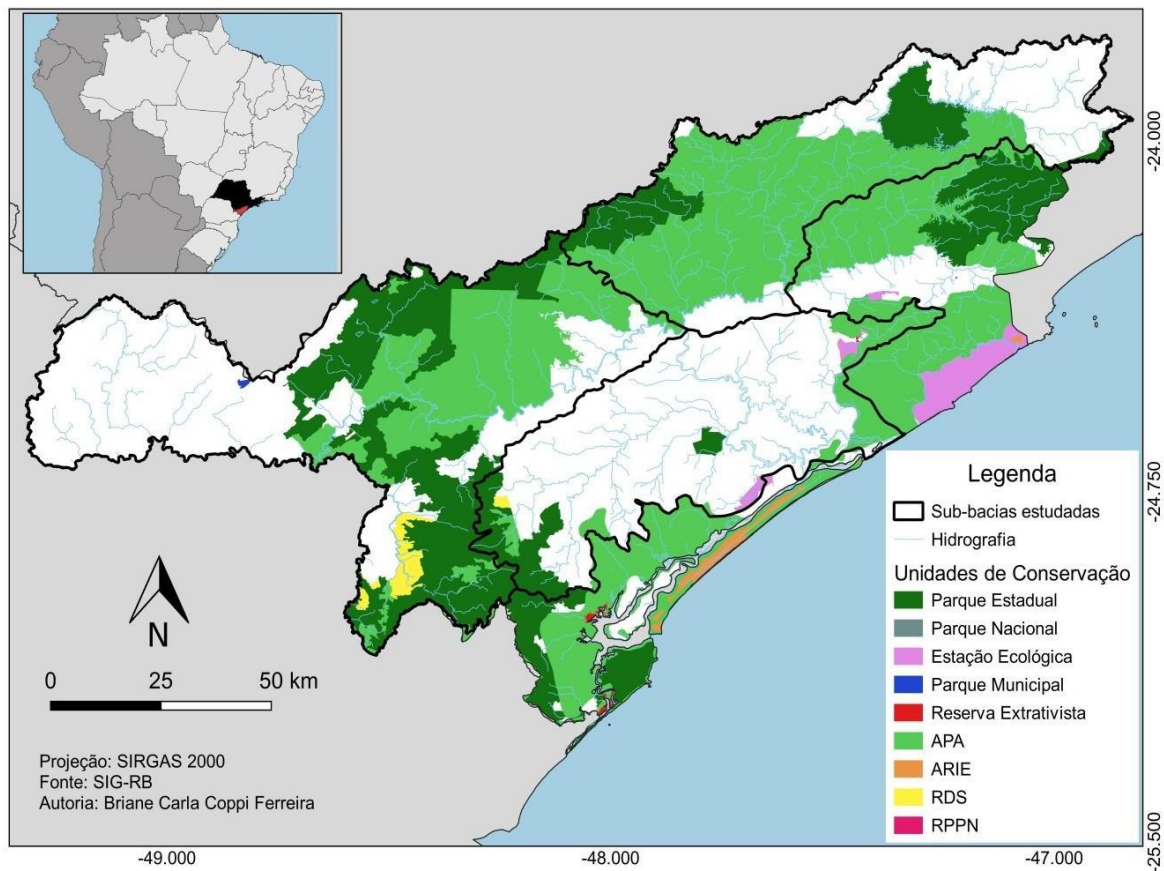
(Fonte: Autoria própria com base no SIG-RB)

Figura 14 - Mapa dos tipos de uso e ocupação do solo da Bacia do Rio Ribeira de Iguape.



A outra componente que está presente dentro do indicador “Uso e ocupação do solo” são as Unidades de Conservação (UCs). É importante considerar as UCs na composição do indicador, visto que, segundo o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC), visa à preservação e conservação da natureza através da proteção legal (BRASIL, 2000). A BHRRI é composta por Unidades de Proteção Integral, com Estações Ecológicas, Parques Nacionais, Estaduais e Municipais, e por Unidades de Uso Sustentável, como Área de Proteção Ambiental (APA), Área de Relevante Interesse Ecológico (ARIE), Reserva Extrativista, Reserva de Desenvolvimento Sustentável (RDS) e Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) (Figura 15).

Figura 15 - Unidades de Conservação presentes na Bacia do Rio Ribeira de Iguape e nas sub-bacias estudadas.



(Fonte: Autoria própria com base no SIG-RB)

A Tabela 14 a seguir mostra as Unidades de Conservação localizadas nas sub-bacias Alto Juquiá, Baixo Ribeira e Rio Ribeira de Iguape com suas respectivas áreas.

Em Alto Juquiá a UC com maior área é a APA Serra do Mar, com 77% de área de todas as UCs no território, seguido dos Parques Estaduais Carlos Botelho e Jurupará. Ressalta-se que Alto Juquiá é a sub-bacia com mais UCs em sua área, sendo cerca de 70%. Na sub-bacia Baixo Ribeira, também a APA Serra do Mar apresentou maior proporção de UC, com 25% das UCs e segunda maior área, com 19% da área pela APA Quilombos do Médio Ribeira. O total de UCs presente em Baixo Ribeira equivale a 53% da área da sub-bacia, porém sua área total de UCs é a maior entre as 3 sub-bacias mais importantes já que a mesma apresenta maior área total. A APA Cananéia-Iguape-Peruíbe e o Parque Estadual Rio Turvo somaram mais de 80% da área das UCs em Rio Ribeira de Iguape, sendo somente Cananéia-Iguape-Peruíbe com 47%. A área total de UCs nessa sub-bacia é a menor, somando apenas 20% do total da área de Rio Ribeira de Iguape.

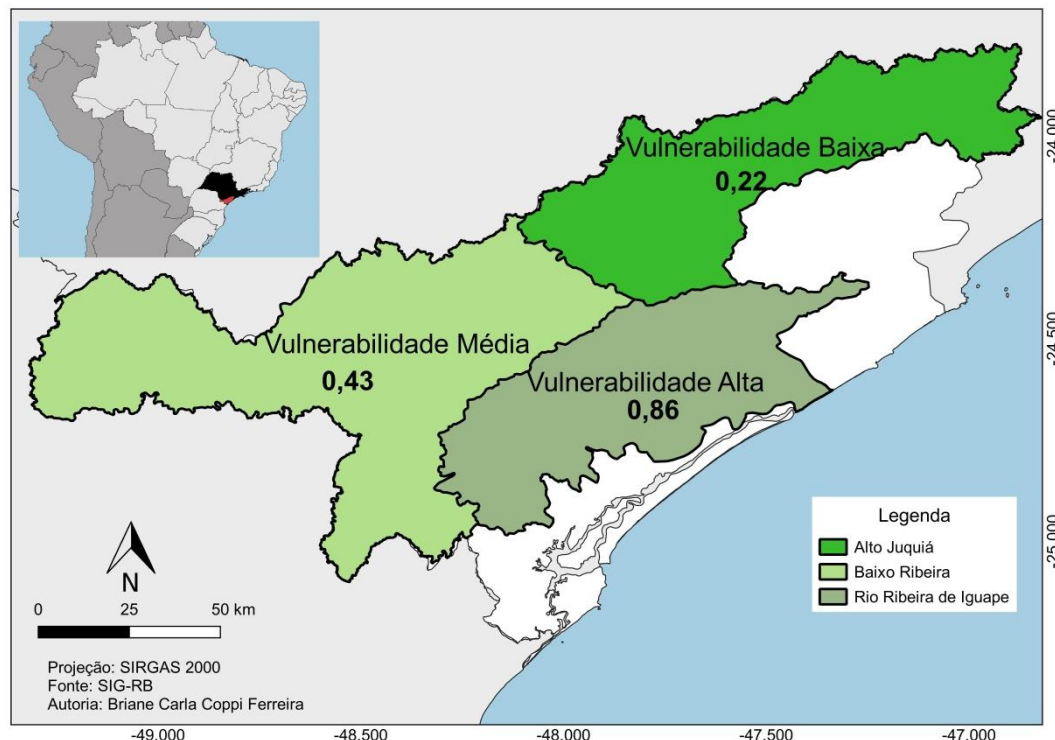
Tabela 14 - Unidade de Conservação e área total das mesmas, presentes nas sub-bacias estudadas.

Alto Juquiá			Baixo Ribeira			Rio Ribeira de Iguape		
Categoria	UC	Área (km ²)	Categoria	UC	Área (km ²)	Categoria	UC	Área (km ²)
Parque Estadual	Carlos Botelho	268,186	Estação Ecológica	Xituê	0,82	Estação Ecológica	Chauás	21,858
Parque Estadual	Intervales	14,901	Parque Estadual	Intervales	397,094	Parque Estadual	Campina do Encantado	33,191
Parque Estadual	Jurupará	266,813	Parque Estadual	Turístico Alto do Ribeira	365,585	Parque Estadual	Caverna do Diabo	33,8
APA	Itupararanga	1,18	Parque Estadual	Caverna do Diabo	376,699	Parque Estadual	Lagamar de Cananéia	3,676
RPPN	São Judas Tadeu	0,634	Parque Estadual	Lagamar de Cananéia	0,151	Parque Estadual	Rio Turvo	226,804
Parque Estadual	Serra do Mar	31,106	Parque Estadual	Rio Turvo	525,923	APA	Cajati	30,347
Parque Estadual	Nascentes do Paranapanema	0,029	APA	Planalto do Turvo	26,678	APA	Planalto do Turvo	1,093
APA	Serra do Mar	2024,06	APA	Rios Vermelho e Pardinho	33,038	RDS	Lavras	9,074
RPPN	Parque Zizo	0,096	APA	Quilombos do Médio Ribeira	662,678	RPPN	Serra do Itatins	0,764
			RDS	Barreiro/Anhemas	33,406	APA	Serra do Mar	-
			RDS	Pinheirinhos	15,615	APA	Marinha do Litoral Sul	0,46
			RDS	Quilombos de Barra do Turvo	59,5	Estação Ecológica	Juréia-Itatins	-
			Parque Estadual	Nascentes do Paranapanema	0,879	APA	Cananéia-Iguape-Peruíbe	327,368
			APA	Serra do Mar	839,39			
			APA	Guaraqueçaba	9,219			
			Parque Municipal	Morro do Ouro	4,266			
Total de área de UC: 2607 km²			Total de área de UC: 3350,94 km²			Total de área de UC: 688,44 km²		
Total de UC na área da sub-bacia: 69,95%			Total de UC na área da sub-bacia: 52,98%			Total de UC na área da sub-bacia: 19,80%		

(Fonte: arquivo vetorial Unidades de Conservação disponível pelo SIG-RB)

Após a reescalação dos indicadores (Tabela 14), o resultado do Índice de Vulnerabilidade Ambiental mostrou que a sub-bacia Rio Ribeira de Iguape é mais vulnerável e Alto Juquiá menos vulnerável (Figura 16). A alta vulnerabilidade do Rio Ribeira de Iguape pode ser explicado por apresentar maior área urbana que inclui um aeroporto local e uma maior área de mineração. A formação de área urbana reflete em menor infiltração da água de chuva, bem como a falta de vegetação que interfere negativamente na evapotranspiração e prejudica toda a dinâmica do ciclo d'água e dos recursos hídricos comprometendo a disponibilidade de água. Além disso, Rio Ribeira de Iguape possui a menor área com UCs, menor reflorestamento e uma das maiores áreas com agricultura, que também contribuiu para a maior vulnerabilidade dos rios com menos vegetação nativa. Por outro lado, Alto Juquiá mostrou menor vulnerabilidade ambiental já que obtém menor área com campo antrópico, menor área com agricultura, maior território com reflorestamento e 70% da sua área total coberta e protegida por UCs. Ademais, Alto Juquiá também revelou uma baixa vulnerabilidade ambiental devido à menor área urbana e sem área de mineração, sendo uma das maiores áreas com reflorestamento e a maior área com UCs, o que contribui para maior evapotranspiração e infiltração de água no solo, causando influência positiva na disponibilidade de água em relação às demais áreas estudadas.

Figura 16 - Índice de Vulnerabilidade Ambiental nas sub-bacias estudadas.



(Fonte: Autoria própria)

4.2.2 Índice de Vulnerabilidade Social (IVS)

O Índice de Vulnerabilidade Social baseou-se em dados por setor censitário do IBGE composto pelos indicadores: Abastecimento de água, Destinação do lixo, Instalação sanitária, Escolaridade, Renda e Densidade demográfica, que utilizaram as suas respectivas componentes para o cálculo dos mesmos, como explicitado na seção de metodologia 4.2.2.3.

A Tabela 15 exibe o valor da reescalação de cada indicador considerado na estimativa do IVS. Notou-se que o indicador “Abastecimento de água” apresentou maiores valores reescalados em Baixo Ribeira devido à maior porcentagem de residências abastecidas por outras formas que não rede geral e poços e nascentes. Rio Ribeira de Iguape apresentou o maior número de domicílios abastecidos com a rede geral, porém mostrou ser menos vulnerável. O abastecimento através da rede geral sugere que existe o tratamento da água utilizada, como mostra o indicador “Instalação Sanitária” com o menor resultado em Rio Ribeira de Iguape, e essa água utilizada retorna para os recursos hídricos após o tratamento. A “Destinação do lixo” em Baixo Ribeira e Rio Ribeira de Iguape apresentaram-se mais vulneráveis. Baixo Ribeira destaca-se por apresentar maior vulnerabilidade com o maior número de domicílios com lixo jogado em rio, lago ou mar e maior número de domicílios com lixo jogado em terreno baldio ou logradouro, situação que pode comprometer a disponibilidade de água devido a contaminação com o lixo urbano. As sub-bacias Rio Ribeira de Iguape e Baixo Ribeira revelaram menor e maior valor para a reescalação do indicador “Instalação sanitária”, respectivamente. O Baixo Ribeira obteve mais domicílios com esgotamento sanitário via rio, lago ou mar, outros tipos de esgotamento e domicílios privados de qualquer tipo de esgotamento sanitário. Ou seja, ambas apresentaram condições sanitárias que podem prejudicar a qualidade da água dos rios. No quesito “Escolaridade”, o Baixo Ribeira exibiu maior valor, seguido por Alto Juquiá. O Rio Ribeira de Iguape foi a sub-bacia com mais pessoas acima dos 5 anos alfabetizadas. Já a respeito do indicador “Renda”, Rio Ribeira de Iguape demonstrou ter um número maior de pessoas responsáveis por domicílios com baixa renda, sendo de até 1 salário mínimo mensal ou sem rendimento mensal.

As três sub-bacias estudadas apresentaram médio IVS, mas Baixo Ribeira manifestou estar mais vulnerável entre elas (Figura 17). Rio Ribeira de Iguape mostrou que sua maior fragilidade social está relacionada à maior população, que demanda maior disponibilidade de água. Em Alto Juquiá, a média vulnerabilidade foi decorrente de um valor com grande número de pessoas de baixa renda, mesmo com uso baixo devido à problemática associada à renda e a “Escolaridade” indicando um número mais baixo de pessoas com mais de 5 anos alfabetizadas. Por fim, a sub-bacia mais vulnerável socialmente em relação aos recursos

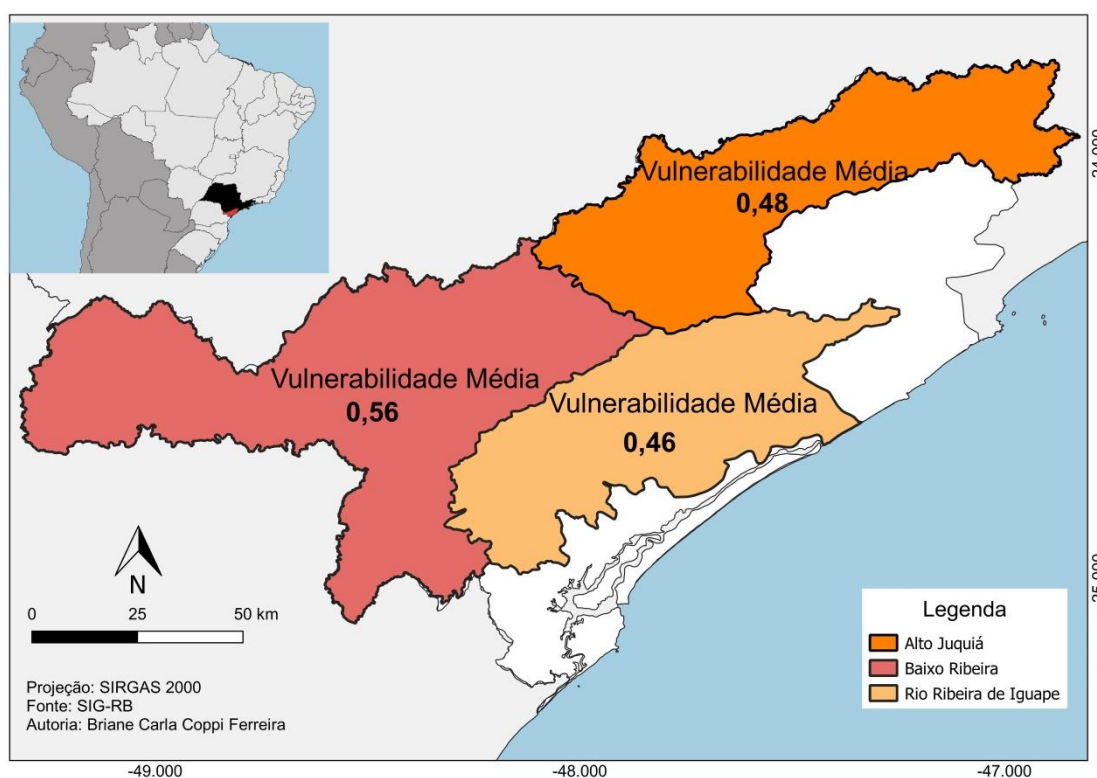
hídricos é Baixo Ribeira devido às influências da destinação do lixo e instalação sanitária, que podem comprometer a qualidade das águas e, com isso, a disponibilidade da mesma. Outro indicador que contribuiu para o aumento da vulnerabilidade de Baixo Ribeira foi a escolaridade afetada por menos pessoas com mais de cinco anos alfabetizadas.

Tabela 15 - Valores reescalados referentes a cada componente que constitui o indicador de Vulnerabilidade Social.

Indicador	Alto Juquiá	Baixo Ribeira	Rio Ribeira de Iguape
Abastecimento de Água	0,48	0,54	0,33
Destinação do lixo	0,34	0,53	0,53
Instalação Sanitária	0,35	0,85	0,16
Escolaridade	0,99	1	0
Renda	0,45	0,43	0,75
Densidade demográfica	0,29	0	1

(Fonte: Autoria própria)

Figura 17 - Índice de Vulnerabilidade Social nas sub-bacias estudadas.



(Fonte: Autoria própria)

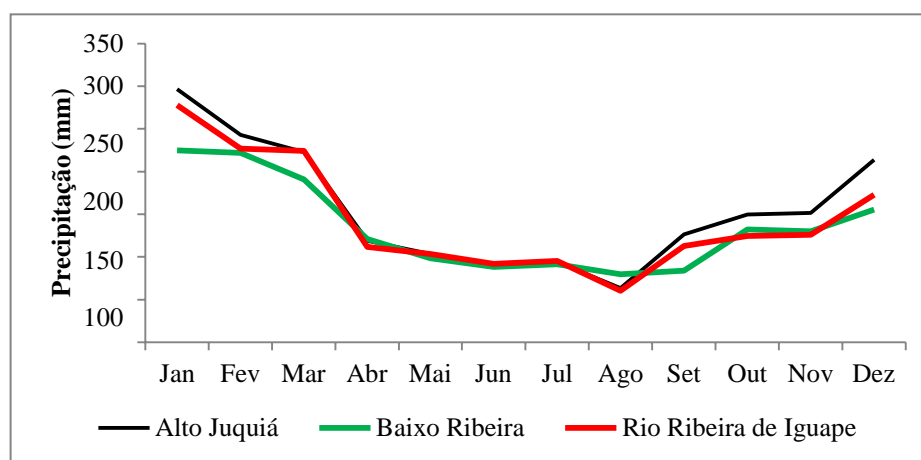
4.2.3 Índice de Vulnerabilidade Hidroclimático atual (IVH)

O cálculo do IVH, para cada sub-bacia associou dois indicadores: “Precipitação” e “Disponibilidade Hídrica” sendo o resultado apresentado a seguir.

4.2.3.1 Indicador de Precipitação

Inicialmente para estabelecer o indicador “Precipitação” foi necessária a análise do comportamento mensal da chuva, no período de 1981 a 2018, de cada uma das sub-bacias analisadas. A chuva mensal em cada sub-bacia representa o valor médio mensal de todos os postos pluviométricos inseridos na sua área (Figura 13). A Figura 18 mostra o ciclo sazonal da precipitação das sub-bacias (baseado na média mensal da precipitação de todos os meses do ano no período de 1981-2018) e destacam-se as diferenças nos meses de verão, primavera, final do inverno e no início do outono. Em todas as sub-bacias os meses mais chuvosos são janeiro e fevereiro e o mês com menor chuva é agosto. Alto Juquiá, sub-bacia onde se localiza o SPSL, mostrou maior precipitação que as demais, nos meses de primavera e verão. Entre as três sub-bacias, Alto Juquiá apresenta maior altitude em relação ao nível do mar. A sub-bacia Rio Ribeira de Iguape foi identificada como a segunda mais chuvosa, nos meses de verão e primavera. Essa região destaca-se por ser costeira e de menor altitude (FERREIRA; VALVERDE, 2018). A menor precipitação, média mensal, foi verificada em Baixo Ribeira, sendo as principais diferenças salientadas nos meses de janeiro, março e setembro. Apesar de menos chuvosa, essa região também apresenta casos de inundações, devido às chuvas extremas, em três dos municípios com maior número destes eventos (FERREIRA, 2013).

Figura 18 - Climatologia do ciclo anual da precipitação (1981-2018) das sub-bacias hidrográficas.



(Fonte: Autoria própria)

As componentes da Precipitação foram os índices de extremos climáticos determinados pelo *RClimdex*, como explicado na seção de metodologia 4.2.2.4.

A Tabela 16 exhibe os resultados do parâmetro de inclinação e o de significância estatística (*p-value*) dos índices climáticos extremos da precipitação das estações pluviométricas com maior representatividade entre todas as estações de cada sub-bacia. Considera-se que um valor negativo do parâmetro de inclinação indica tendência negativa ou de diminuição do índice e um valor positivo, tendência de aumento.

Tabela 16 - Apresentação dos valores da tendência e *p-value* dos índices extremos de precipitação calculados no *RClimdex*.

Índices	Alto Juquiá		Baixo Ribeira		Rio Ribeira de Iguape	
	Inclinação	P-Value	Inclinação	P-Value	Inclinação	P-Value
PRCPTOT	-15,185 (F4-037)	0,004* (F4-037)	9,86 (F5-032)	0,06 (F5-032)	2,613 (F4-016)	0,598 (F4-016)
CDD	0,306 (E4-055)	0,007* (E4-055)	0,221 (F5-022)	0,05* (F5-022)	0,268 (F4-028)	0,004* (F4-028)
CWD	-0,085 (F4-007)	0,062 (F4-007)	0,053 (F5-019)	0,339 (F5-019)	0,313 (F4-017)	0,001* (F4-017)
Rx1day	0,361 (E4-055)	0,295 (E4-055)	-0,334 (F5-031)	0,342 (F5-031)	-0,381 (F4-043)	0,534 (F4-043)
Rx5day	-1,421 (F4-037)	0,04* (F4-037)	-0,795 (F5-042)	0,144 (F5-042)	-1,416 (F4-028)	0,226 (F4-028)
R10mm	-0,56 (F4-037)	0 (F4-037)	0,388 (F5-032)	0,019* (F5-032)	-0,156 (F4-017)	0,253 (F4-017)
R20mm	-0,352 (F4-037)	0,002* (F4-037)	0,157 (F5-032)	0,108 (F5-032)	0,106 (F4-016)	0,292 (F4-016)
R25mm	-0,221 (F4-037)	0,015* (F4-037)	0,122 (F5-032)	0,194 (F5-032)	0,089 (F4-028)	0,206 (F4-028)
R50mm	0,063 (F4-002)	0,05* (F4-002)	0,065 (F5-019)	0,05* (F5-019)	0,013 (F5-018)	0,072 (F5-018)
R80mm	0,022 (E4-055)	0,094 (E4-055)	0,017 (F5-019)	0,04* (F5-019)	0,02 (F5-028)	0,083 (F5-028)
R100mm	0,015 (F4-007)	0,108 (F4-007)	0,01 (F5-032)	0,20 (F5-032)	-0,008 (F4-043)	0,433 (F4-043)
R95p	4,879 (F4-002)	0,05* (F4-002)	5,603 (F5-019)	0,027* (F5-019)	3,71 (F5-028)	0,196 (F5-028)

*Significância estatística com *P-Value* < 0,05.

(Fonte: Autoria própria)

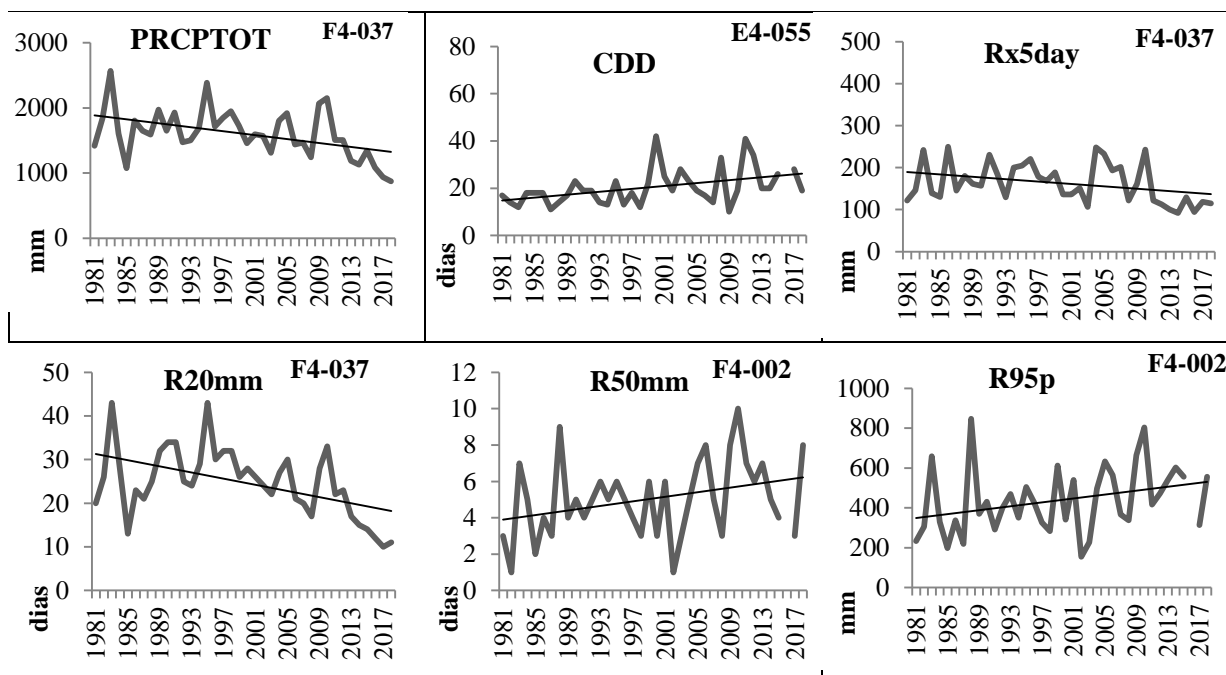
A sub-bacia Alto Juquiá mostrou uma tendência negativa, nos índices PRCPTOT, CWD, Rx5day, R10mm, R20mm e R25mm, tendo a maioria deles significância estatística. O índice R95p que representa anos com dias muito úmidos e os índices R50mm e R80mm (sem

significância estatística) que indicam número de dias com chuvas intensas e muito intensas respectivamente, mostraram tendência positiva indicando um aumento na frequência de dias com esses limiares de chuva durante o período analisado. O índice R100mm obteve 50% dos postos com tendência ao aumento e os outros 50% tendendo a diminuição, o que mostra a alta variabilidade do índice nesta bacia, possivelmente por ser intensidade de chuvas diárias muito extremas.

A Figura 19 mostra o gráfico de tendência de seis dos índices analisados. O índice PRPTOT apresenta uma tendência negativa acentuada com maiores acumulados marcados nos anos de 1983 (ano com forte influência do fenômeno El Niño (VALVERDE et al. 2017)) e 1995, e com menores acumulados nos anos recentes de 2017 e 2018. Apesar de baixa tendência positiva, o Rx1day não aparenta uma tendência predominante ao acumulado de chuva diária (Tabela 16). A tendência negativa e estatisticamente significativa no acumulado de 5 dias consecutivos de chuva sugere a diminuição deste índice ao longo do período analisado. Verificou-se, também, que o número de dias com chuvas maiores que 10, 20 e 25 mm estão diminuindo ao longo dos anos, sendo os índices R20mm e R25mm significante estatisticamente (Tabela 16).

A sub-bacia Baixo Ribeira (Figura 20) apresentou uma configuração oposta ao PRCPTOT (sem significância estatística) em relação à Alto Juquiá mostrando tendência positiva ao acumulado anual de precipitação. O índice R95p continuou apresentando significância estatística. Os índices CDD (com significância estatística) e CWD (sem significância estatística) (Tabela 16) também mostraram estar aumentando, este efeito revela que, ao mesmo tempo em que está aumentando o número de dias secos, também está ocorrendo o aumento de dias consecutivos com chuva, porém com um parâmetro de inclinação bem menor. O acumulado de 1 dia e 5 dias (Rx1day e Rx5day) mostram-se com tendência de diminuição, porém não apresentaram significância estatística (Tabela 16).

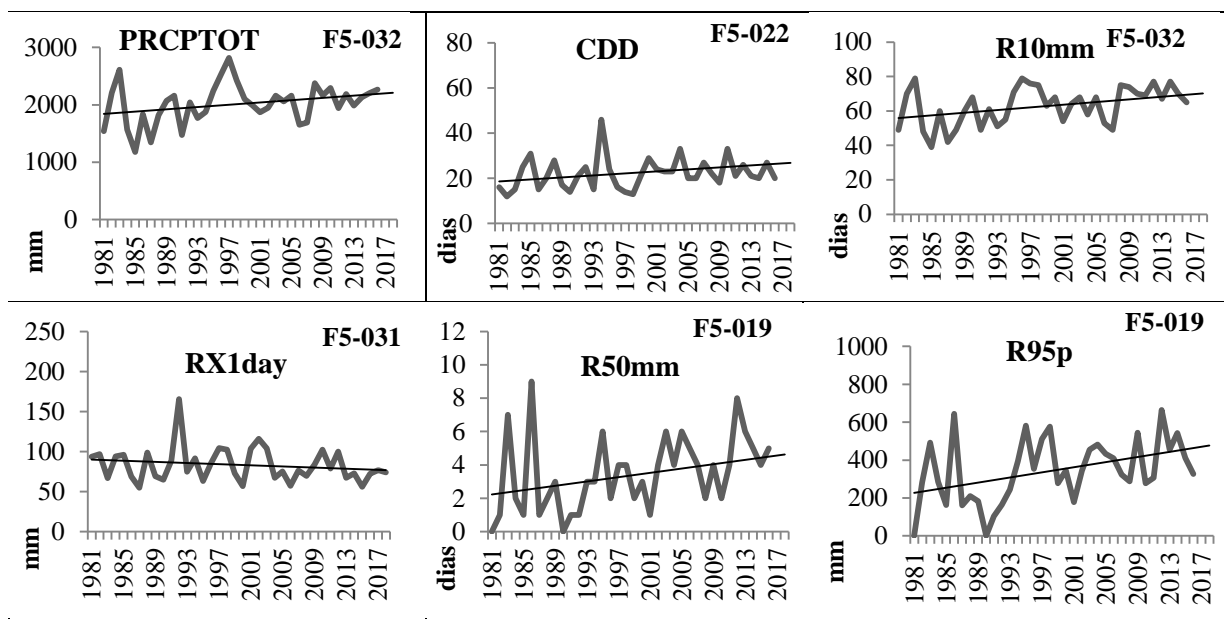
Figura 19 - Representação gráfica dos índices de extremos de precipitação na sub-bacia Alto Juquiá.



(Fonte: Autoria própria)

De forma oposta a Alto Juquiá, em Baixo Ribeira os índices de extremos de chuva R10mm (com significância), R20mm e R25mm mostraram estar aumentando com os anos, apesar do aumento tímido de R20mm e R25mm (sem significância estatística). O número de dias com chuvas fortes como R50mm, R80mm (com significância estatística) e R100mm (sem significância estatística) mostram tendência ao aumento. Esse resultado indica que embora o número de dias secos apresente um aumento e haja diminuição dos acumulados de chuva (Rx1day e Rx5day), as chuvas diárias extremas e precipitações mais intensas estão ocorrendo e, muitas vezes, são esses eventos extremos responsáveis por acarretar prejuízos com eventos de inundações que são bastante recorrentes nessa região (FERREIRA, 2013).

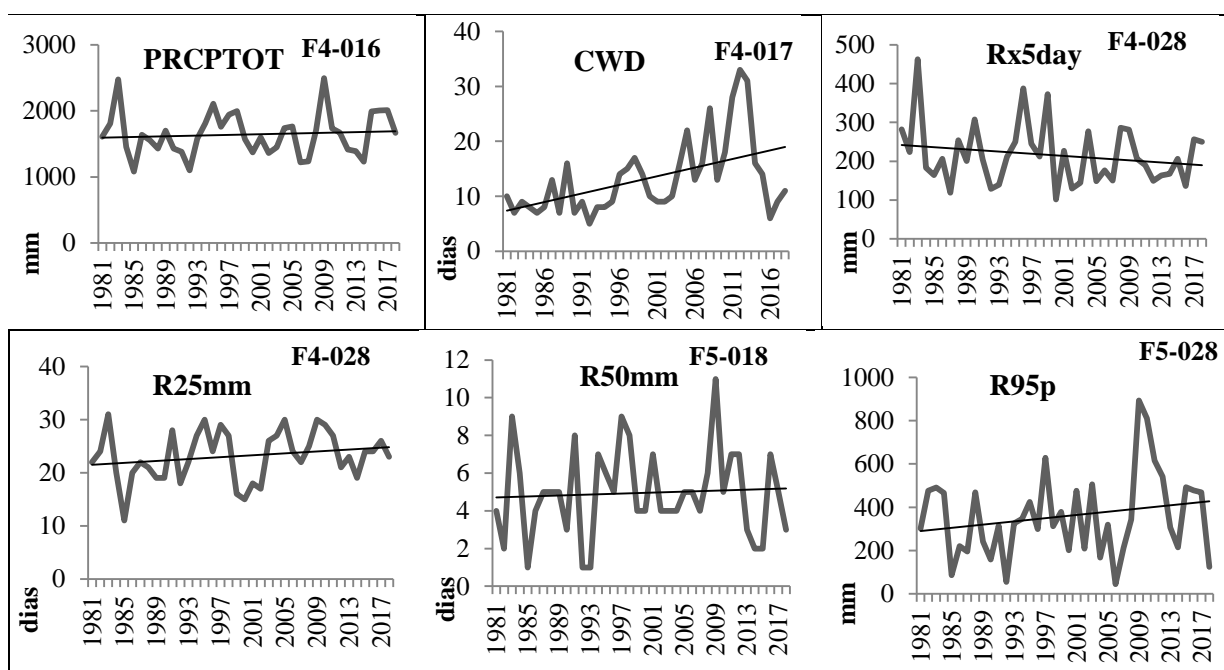
Figura 20 - Representação gráfica dos índices de extremos de precipitação na sub-bacia Baixo Ribeira



(Fonte: Autoria própria)

Os índices de extremos de chuva na sub-bacia Rio Ribeira de Iguape mostrado na Figura 21 apresentaram poucas diferenças em relação à Baixo Ribeira. O PRCPTOT continua evidenciando aumento, porém não tão acentuado, assim como o aumento da intensidade das chuvas anuais com dias muito úmidos (R95p). O índice de dias secos consecutivos (CDD) e úmidos (CWD), ambos com significância estatística, também mostram aumento de dias secos e chuvosos. Tanto o Rx1day quanto o Rx5day apresentam diminuição dos acumulados de chuva, como em Baixo Ribeira. Houve, também, a diminuição de dias com chuvas iguais ou menores que 10 mm, entretanto houve aumento de R20mm, R25mm, R50mm e R80mm com diminuição de chuvas extremamente intensas de até 100 mm (R100mm) (Tabela 14).

Figura 21 - Representação gráfica índices de extremos de precipitação na sub-bacia Rio Ribeira de Iguape.



(Fonte: Autoria própria)

A Tabela 17 mostra o percentil 10th (P_{10}) e 90th (P_{90}) de cada um dos índices climáticos, retratando os valores extremos. O resultado dos percentis e os valores grifados na coloração verde indicam o maior valor daquele indicado num determinado percentil e a cor rosada mostra o menor valor do percentil. O P_{10} demonstra os valores mais baixos de cada índice eo P_{90} o contrário com valores mais altos. Foi Alto Juquiá que apresentou mais índices com baixos valores de P_{10} (extremo para déficit de chuva) e apresentou entre as 3 sub-bacias os menores valores dos percentis do acumulado anual (PRCPTOT), número de dias úmidos consecutivos (CWD), chuva acumulada em 1 dia e em número de dias com chuvas maiores ou iguais à 10, 20 e 25 mm. Esse resultado evidencia que os eventos mais extremos para déficit de chuva, retratados por esses índices, aconteceram em Alto Juquiá e pode se associar com menos água disponível e maior vulnerabilidade dos rios. Em contrapartida, o menor P_{10} para o CDD em Alto Juquiá demonstrou ser a região com eventos de menores dias secos consecutivos, apesar de que a diferença é muito pequena entre Alto Juquiá e Rio Ribeira de Iguape para esse índice. Essa sub-bacia também mostrou ter chuvas mais intensas anuais (R95p) com maiores valores tanto de P_{10} como P_{90} . Baixo Ribeira demonstrou ser a bacia com índices mais altos em PRCPTOT, R10mm e R20mm. Além disso, assim como Alto Juquiá, Baixo Ribeira apresentou os maiores percentis extremos de CDD. Rio Ribeira de Iguape apresentou os maiores valores dos percentis para Rx1day, Rx5day e CWD.

Tabela 17 - Valores dos percentis P_{10} e P_{90} de cada índice de extremos de precipitação atual.

Índices	Alto Jiquiá		Baixo Ribeira		Rio Ribeira de Iguape	
	P_{10}	P_{90}	P_{10}	P_{90}	P_{10}	P_{90}
PRCPTOT	1116,67	2002,17	1556,56	2396,76	1233,72	2007,59
CDD	12,4	30	14,6	31,8	12,7	25
CWD	6	13	6	14	7	23,2
Rx1day	58,75	114,75	61,44	103,82	72,54	155,1
Rx5day	110,93	235,5	102,18	189,46	134,08	292,7
R10mm	36,7	61,6	49	76,4	37	58,3
R20mm	13,7	33,3	21,4	39	18	34,9
R25mm	10	24,9	15,7	27,3	17,7	39
R95p	231,1	643,44	161,4	557,1	147,84	563,71

(Fonte: Autoria própria)

Assim, estimaram-se os indicadores da “Precipitação” (Tabela 16) e Alto Jiquiá apresentou o maior valor do indicador, enquanto que Baixo Ribeira e Rio Ribeira de Iguape obtiveram um valor aproximado, porém Rio Ribeira de Iguape mostrou o menor valor entre eles. O resultado de Alto Jiquiá estar atrelado ao menor valor de P_{10} dos índices PRCPTOT, CWD, Rx1day, R10mm, R20mm e R25mm, o que indica que nessa sub-bacia os valores extremos para déficit de chuva (P_{10}) foram os menores em relação às outras sub-bacias. Além do que, os índices de chuva PRCPTOT, CWD, Rx5day, R10, R20 e R25mm mostraram tendência negativa em Alto Jiquiá. A proximidade do resultado encontrado para Baixo Ribeira e Rio Ribeira de Iguape, se deve a que em Rio Ribeira de Iguape tanto o P_{10} quanto o P_{90} mostraram maiores valores, o que indica mais chuva comparando com as outras áreas. Em Baixo Ribeira os índices PRCPTOT, Rx5day, R10, R20, R25mm e R95p mostraram inclinação com tendência de aumento.

Tabela 18 - Valor do indicador “Precipitação” em cada sub-bacia.

Sub-bacia	PRECIPITAÇÃO
Alto Juquiá	0,78
Baixo Ribeira	0,45
Rio Ribeira de Iguape	0,43

(Fonte: Autoria própria)

4.2.3.2 Indicador Disponibilidade Hídrica atual

O cálculo da disponibilidade hídrica de cada sub-bacia, seguindo a metodologia da seção 4.2.2.4, é mostrado na Tabela 19. Observa-se que Baixo Ribeira apresentou a maior disponibilidade hídrica, já que dispõe da segunda maior vazão de referência e a menor quantidade de pessoas. Em contrapartida, Alto Juquiá possui a menor vazão de referência, pois diferente das outras bacias que possuem como rio principal o rio Ribeira de Iguape, seu rio principal é o rio Juquiá. O rio Juquiá é um afluente importante do rio Ribeira de Iguape, porém apresenta menor vazão que o mesmo e como apresenta o segundo maior número de pessoas, tem a menor vazão de água disponível por pessoa ao ano. Além disso, o resultado obtido em Alto Juquiá (Tabela 19) considerou a transposição de 4,7 m³/s para a RMSP. A sub-bacia Rio Ribeira de Iguape, apesar de possuir a maior vazão de referência entre todas, contém a maior população que contribui para diminuir a disponibilidade da água.

Tabela 19 - Vazão de referência das sub-bacias estudadas.

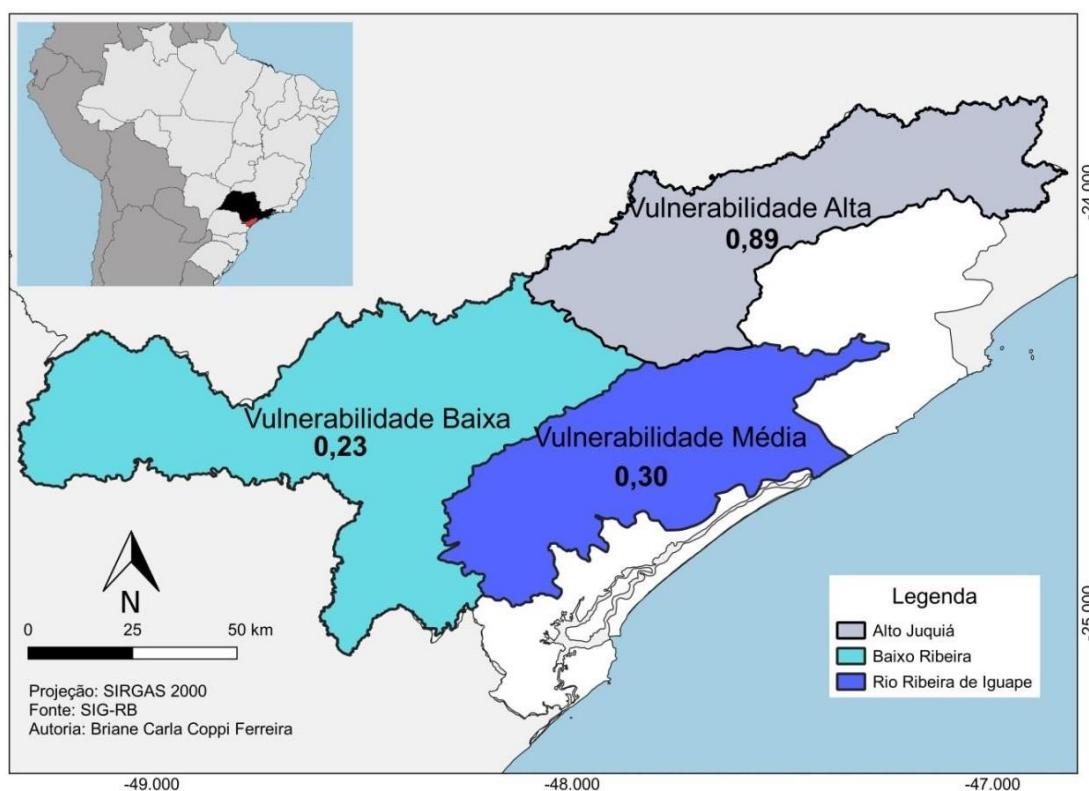
Sub-bacia	Q ₉₀ (m ³ /s)	Q ₉₀ (m ³ /ano)	Número de pessoas *(censo 2010)	Disponibilidade Hídrica (DH) (m ³ /ano/pessoa)	DH
Alto Juquiá	81,30	2563876800	76.059	31760,31	1
Baixo Ribeira	154,98	4887480816	71.848	68025,29	0
Rio Ribeira de Iguape	281,94	8891228304	142.291	62486,23	0,1651

(Fonte: Autoria própria)

4.2.3.3 Cálculo do Índice de Vulnerabilidade Hidroclimático atual (IVH)

Com isso, o resultado obtido do IVH (Figura 22) mostra que a sub-bacia mais vulnerável em relação aos indicadores hidroclimáticos é Alto Juquiá, classificada com alta vulnerabilidade. A maior vulnerabilidade pode estar associada à menor disponibilidade de água (Tabela 19), que equivale à vazão de referência por pessoa presente na sub-bacia. Outra contribuição para o IVH ser maior em Alto Juquiá justifica-se por apresentar menores valores no percentil dos índices PRCPTOT, CWD, R20mm e R25mm e parâmetros de inclinação negativos, o que indicam diminuição da precipitação como se observa na Tabela 14. Ambas sub-bacias, Baixo Ribeira e Rio Ribeira de Iguape, mostraram baixa vulnerabilidade. Associadas a esse resultado, está a maior precipitação e maior vazão, já as mesmas possuem o rio Ribeira de Iguape, um rio de grande volume, como rio principal.

Figura 22 - Índice de Vulnerabilidade Hidroclimático atual nas sub-bacias estudadas.



(Fonte: Autoria própria)

4.2.4 Índice de Vulnerabilidade Geral atual (IVG)

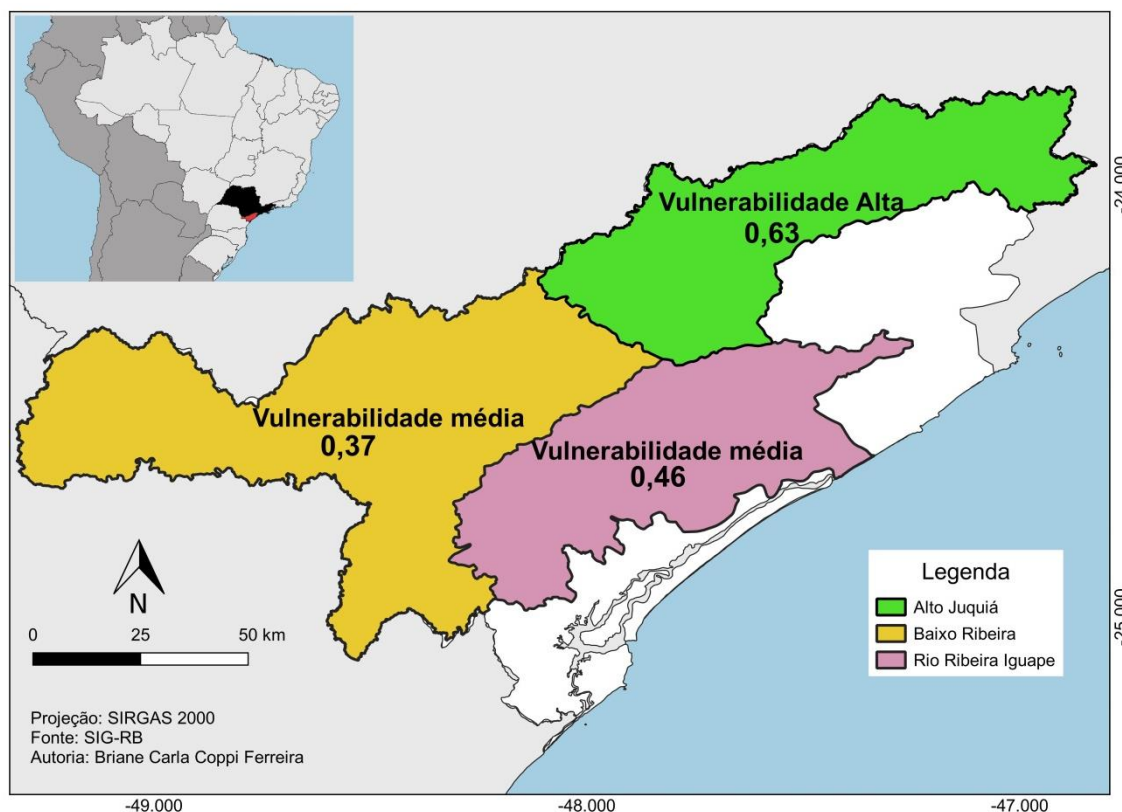
O cálculo do IVG para duas sub-bacias mostrou vulnerabilidade média (Baixo Ribeira e Rio Ribeira de Iguape), sendo que Alto Juquiá apresentou vulnerabilidade alta (Figura 23).

Apesar de Alto Juquiá ter apresentado baixa vulnerabilidade ambiental, no IVS as componentes escolaridade e renda foram responsáveis pela média vulnerabilidade socioeconômica. O fator determinante para Alto Juquiá apresentar a maior vulnerabilidade geral entre as sub-bacias foi a alta vulnerabilidade hidroclimática (Figura 21). O IVH apresenta maior peso para determinar o IVG já que a precipitação e a disponibilidade de água contribuem diretamente para a existência de água nos recursos hídricos.

O menor IVG atual foi em Baixo Ribeira, com a maior disponibilidade hídrica entre as três sub-bacias, além de obter melhores respostas do valor de chuva anual e maior número de dias com chuva acima de 10 e 20 mm (R10mm e R20mm) e, sobretudo com melhores resultados das tendências nos índices de extremos de precipitação, indicando aumento na oferta de chuva. Outros fatores que contribuíram para menor vulnerabilidade geral em Baixo Ribeira foram a ausência de área de mineração, menor área urbanizada e maior área de UCs, que garantiram um vulnerabilidade média no IVA.

Rio Ribeira de Iguape demonstrou vulnerabilidade média dos recursos hídricos no IVS devido a maior densidade demográfica, e por consequência, maior demanda de água, além de um número grande de pessoas com alguma renda. Porém, foi a alta vulnerabilidade ambiental, que mais contribuiu para aumentar o IVG nesta sub-bacia, já que ambientalmente mostrou-se mais fragilizada com maior área urbana e de mineração, ademais de poucas áreas de UCs e de reflorestamento. A baixa vulnerabilidade hidroclimática esteve associada com os resultados dos índices de extremos de chuva, tanto para déficit (P_{10}) quanto para mais chuva (P_{90}) e pela vazão, o que foi determinante para que a mesma não apresentasse alta vulnerabilidade no IVG atual.

Figura 23 - Índice de Vulnerabilidade Geral atual nas sub-bacias estudadas.



(Fonte: Autoria própria)

4.2.5 Índice de Vulnerabilidade Hidroclimático Futuro (IVH_F)

O IVH_F foi determinado seguindo a metodologia da seção 4.2.2.6.1 e assemelha-se à determinação do índice atual, porém utilizando os dados dos índices climáticos extremos de precipitação em dois cenários, 4,5 RCP e 8,5 RCP, para o modelo Eta-HadGEM2-ES disponibilizado pelo PROJETA.

4.2.5.1 Indicadores da Precipitação Futura

Os indicadores da precipitação futura foram calculados através da combinação dos percentis P₁₀ e P₉₀ dos índices climáticos nos cenários futuros, bem como o parâmetro de inclinação da linha de tendência desses índices.

- **Avaliação da tendência dos índices extremos de precipitação para cenários futuros**

A Tabela 20 exhibe os resultados encontrados das tendências dos índices climáticos de chuva simulados pelo modelo Eta-HadGEM2-ES nos dois cenários de emissões e para os 3

time slices em estudo: 2006-2040, 2041-2070 e 2071-2099.

Observa-se na Tabela 20 que no *time slice* 1, no RCP 4,5, em Alto Juquiá houve tendência ao aumento em grande parte dos índices, com exceção do CDD e do CWD que mostrou tendência negativa no número de dias secos e úmidos consecutivos. O cenário de aumento em 4,5 RCP, este resultado pode ser considerado favorável para disponibilidade de água dessa sub-bacia, pois há um indicativo de mais chuva para a região, com aumento expressivo da precipitação total anual (PRCPTOT) e de dias com chuva extremamente chuvoso (R95p). Ainda no cenário 4,5 RCP, para o *time slice* 2, a tendência mostrou-se contrária ao primeiro *time slice* já que houve uma tendência a diminuição de todos os índices menos para o CDD. Esse desfecho, muito similar ao resultado encontrado no *time slice* 3 aponta menor precipitação e menos água disponível. No cenário pessimista de 8,5 RCP, Alto Juquiá no *time slice* 1, apresentou tendência positiva do CDD, Rx1day e Rx5day, no entanto os outros índices obtiveram tendência negativa. No *time slice* 2, assim como com o *time slice* 3 do cenário 4,5 RCP, todos os índices mostraram diminuição, sendo um dos piores resultados para a disponibilidade hídrica. O último *time slice* (3) exibiu diminuição do CDD e CWD, porém com tendência ao aumento para os demais índices indicando maior precipitação e conseqüentemente acesso à água nessa condição.

Na sub-bacia Baixo Ribeira, para o cenário de 4,5 RCP, no *time slice* 1 houve uma tendência ao aumento dos índices de chuva, porém com duas ressalvas: a diminuição do número de dias secos consecutivos (CDD) e de chuvas mais intensas (R95p). O *time slice* 2 mostrou as mesmas tendências de Alto Juquiá, com aumento do CDD e diminuição dos outros índices, sendo a pior condição para a disponibilidade de água. Já o *time slice* 3, apresentou tendência ao aumento apenas os acumulados de chuva de 1 e 5 dias, e o restante dos índices com diminuição. O RCP 8,5 em Baixo Ribeira apresentou a pior condição dos índices para os *time slices* 1 e 2, com aumento do CDD e diminuição dos outros índices de chuva. No *time slice* 3, houve apenas tendência negativa no Rx5day e R95p, enquanto os demais índices mostraram aumento, sendo que esse foi o *time slice* que apresentou melhores aumentos desses índices de extremos de precipitação. Vale ressaltar que em Baixo Ribeira nos dois cenários e para os 3 *time slices* mostraram tendência à diminuição de R95p, que pode contribuir para diminuição das inundações tão recorrentes nessa região.

O RCP 4,5 em Rio Ribeira de Iguape resultou, no *time slice* 1, em aumento da tendência dos índices de precipitação e indicam mais precipitação com diminuição do número de dias secos (CDD) mostrando um bom resultado para os cursos de água. Os *time slices* 2 e 3 são semelhantes com aumento do CDD e diminuição para os demais índices, exceto para o

Rx5day que apontou aumento na tendência no *time slice* 2, enquanto diminuiu no *time slice* 3. Para o cenário de 8,5 RCP, o *time slice* 1 e 2 também mostram aumento do CDD e diminuição do outros índices que indicam mais chuva, com exceção do RX5day, que aumenta no *time slice* 2. Esse efeito é prejudicial para os recursos hídricos, uma vez que indicam menor volume de chuva. Por fim, o *time slice* 3 sugere um quadro melhor para a disponibilidade hídrica já que mostrou tendência de diminuição apenas em RX5day e R95p, enquanto os índices restantes demonstraram aumento.

Tabela 20 - Valores do parâmetro de inclinação da linha tendência e *p-value* dos índices extremos de precipitação encontrados nos cenários 4,5 RCP e 8,5 RCP do modelo climático Eta-HadGEM2-ES nos *time slices* 1, 2 e 3.

	Índice	Time Slice1		Time Slice2		Time Slice3	
		RCP 4,5	RCP 8,5	RCP 4,5	RCP 8,5	RCP 4,5	RCP 8,5
Alto Juquiá	PRCPTOT	16,367	-16,371	-59,761*	-37,183*	-25,299	7,9226
	CDD	-0,0468	0,0843	0,4812*	-0,0047	-0,419	-0,0739
	CWD	-0,1118	-0,9899*	-0,9735*	-0,7895*	-0,3478	-7,1286*
	RX1day	0,6163*	0,1603	-0,694	-0,5793	-0,4534	0,8894
	RX5day	1,2781*	0,4318	-0,835	-1,245	-1,1843	1,0356
	R10mm	0,358	-0,5577	-1,9566*	-1,3442*	-0,6196	0,2404
	R20mm	0,3059	-0,3528	-1,127*	-0,6514*	-0,6782*	0,1493
	R25mm	0,335	-0,2232	-0,9617*	-0,4685*	-0,5328	0,1379
	R95p	12,712*	-3,1146	-19,811*	-11,911*	-10,427	0,9497
Baixo Ribeira	PRCPTOT	10,81	-4,6053	-32,011*	-21,722*	-16,95	5,4581
	CDD	-0,0913	0,1361	0,958*	0,6839*	-0,1892	0,3818
	CWD	0,0882	-0,0168	-0,1891*	-0,0165	-0,1749	0,068
	RX1day	0,3666	-0,2085	-0,2725	-0,042	0,2719	0,2471
	RX5day	0,6859	-0,6104	-0,8293	-0,0766	0,3433	-0,6776
	R10mm	0,298	-0,0899	-1,2142*	-0,8354*	-0,6357	0,2478
	R20mm	0,1697	-0,016	-0,5577*	-0,3617*	-0,3407	0,0744
	R25mm	0,195	-0,0272	-0,3406*	-0,2683*	-0,2469	0,0759
	R95p	-4,6317	-2,722	-7,8282*	-7,6002*	-7,9247*	-0,0653
Rio Ribeira de Iguape	PRPTOT	11,698	-6,2293	-31,241*	-18,175*	-18,121	5,1458
	CDD	-0,1524	0,3622	1,0834*	1,4665*	0,1842	0,0167
	CWD	0,1244*	-0,0199	-0,1235	-0,0258	-0,237*	0
	RX1day	0,6454	-0,4806	-0,4498	-0,2952	-0,5388	1,1335
	RX5day	2,67*	-0,3437	8,3397	4,6306	-2,546	-0,2682
	R10mm	0,2681	-0,223	-1,1021*	-0,3922	-0,4423	0,0818
	R20mm	0,1098	-0,1213	-0,5135*	-0,3479*	-0,2365	0,0862
	R25mm	0,1056	-0,0992	-0,3909*	-0,2741*	-0,2663	0,0138
	R95p	10,145*	-3,1771	-11,67	-8,746	-13,333*	-0,3958

*Significância estatística com *p-value* < 0,05

(Fonte: Autoria própria)

- **Resultado dos percentis 10 e 90 Futuros**

Os percentis P_{10} e P_{90} são exibidos nas Tabelas 21 (4,5 RCP) e 22 (8,5 RCP). No cenário de 4,5 RCP e para os 3 *time slices* foi Alto Juquiá que apresentou os maiores valores dos percentis, que para o P_{90} identifica uma projeção de eventos extremos de chuva para excesso mais frequentes em comparação as outras sub-bacias. Até mesmo os valores do P_{10} foram maiores quando comparados às demais sub-bacias, o que significa que a projeção de extremos para déficit é menor. Baixo Ribeira apresentou os menores valores de P_{90} , indicando ser a sub-bacia com menor quantidade de eventos extremos para excesso de chuva segundo a projeção do modelo nos 3 *time slices*. O maior problema com a precipitação, e consequentemente com a oferta de água, foi encontrado nos 3 *time slices* em Rio Ribeira de Iguape que apresentou menores índices de precipitação (P_{10}), ou seja uma projeção do modelo para eventos de déficit de chuva mais extremos.

Tabela 21 - Valores dos percentis 10 e 90 de cada índice de extremos de precipitação no cenário 4,5 RCP do modelo Eta-HadGEM2-ES.

	Índice	Time Slice1		Time Slice2		Time Slice3	
		P ₁₀	P ₉₀	P ₁₀	P ₉₀	P ₁₀	P ₉₀
Alto Juquiá	PRCPTOT	1138,44	2855,66	1112,15	3276,81	1512,87	3145,14
	CDD	11	26,6	11	28,3	11	24,20
	CWD	14	50,6	14,8	64,8	12,70	42,80
	RX1day	56,25	103,09	51,94	95,96	61,05	100,16
	RX5day	124,99	214,26	121,79	247,03	128,74	259,60
	R10mm	33	97,2	33,8	103,7	46,90	101,70
	R20mm	12	44,6	12,9	56	17,80	52,70
	R25mm	7,2	35,6	7	43	10,40	41,40
	R95p	114,84	908,96	131,29	995,51	201,51	821,16
Baixo Ribeira	PRCPTOT	605,68	1843,76	711,46	2064,15	900,55	1956,13
	CDD	16,8	53,2	15	44	12	39,30
	CWD	6	16,2	7	15,5	8,70	18
	RX1day	38,76	81,78	48,89	80,60	51,52	84,88
	RX5day	76,62	167,22	83,67	203	101,59	196,55
	R10mm	19,8	61,8	21,8	68,4	26,40	68,10
	R20mm	8	30,6	8,9	34,5	10,10	29,30
	R25mm	5	21,6	5,9	23,3	6	22,30
	R95p	182,10	566,44	272,70	671,49	302,68	756,88
Rio Ribeira de Iguape	PRPTOT	629,64	1733,34	757,04	1975,4	904,14	1979,47
	CDD	25	63	16	47	15,70	48,30
	CWD	6	11,6	7	12	7	16,30
	RX1day	41,76	145,12	45,13	147,70	53,56	149,67
	RX5day	85,64	261,16	85,31	283,67	105,29	237,49
	R10mm	20	59,8	28,1	63,3	26,40	64,90
	R20mm	7	24,6	11,6	34,4	10,40	31,20
	R25mm	3	18,6	5,8	25,1	6	22,30
	R95p	77,26	553,56	113,01	796,10	159,22	722,16

(Fonte: Autoria própria)

No cenário de 8,5 RCP (Tabela 21) Alto Juquiá também apresentou os valores mais altos nos 3 *time slices*, tanto para ocorrência de P₁₀ e P₉₀. No *time slice* 1, Rio Ribeira de Iguape obteve os valores mais baixos de P₉₀ e de P₁₀ em relação às outras 2 sub-bacias, para todos os índices. Para o *time slices* 2 e 3, Baixo Ribeira apresentou menores valores de P₉₀ para RX1day e Rio Ribeira de Iguape apontou ser a sub-bacia mais preocupante em relação à oferta de água, por apresentar os menores valores de P₁₀ dos índices de precipitação, sugerindo uma projeção de eventos extremos mais secos. Em ambos os cenários os valores de P₁₀ e P₉₀ para o índice PRCPTOT mostraram-se maiores em relação aos dados observados, o que indica uma projeção de maior acumulado de chuva anual.

Tabela 22 - Valores dos percentis P₁₀ e P₉₀ de cada índice de extremos de precipitação no cenário 8,5 RCP do modelo Eta-HadGEM2-ES.

	Índice	Time Slice1		Time Slice2		Time Slice3	
		P ₁₀	P ₉₀	P ₁₀	P ₉₀	P ₁₀	P ₉₀
Alto Juquiá	PRCPTOT	1141,56	3248,42	1562,15	3026,28	1287,62	3383,30
	CDD	11,8	26,6	9,90	22,10	10,80	24,40
	CWD	11,4	65	13	63,30	12,80	63,80
	RX1day	57,34	107,26	56,49	104,59	55,54	115,48
	RX5day	122,38	235,42	136,25	218,18	119,94	251,62
	R10mm	35	103,6	49	98,10	38,60	92,40
	R20mm	13,4	53,6	19,80	47	13,80	56,40
	R25mm	6	40,6	13,90	34,50	9,80	44,20
R95p	142,66	1008,54	235,77	882,65	151,88	1165,82	
Baixo Ribeira	PRCPTOT	693,90	1889,76	1037,60	1881,21	698,98	1967,90
	CDD	13,4	47,2	15,80	44	16	59,40
	CWD	6	13	8	15,20	6	14,20
	RX1day	43,60	81	53,21	98,83	43,07	101,44
	RX5day	82,50	961	107,75	183,83	92,65	227,44
	R10mm	19,8	59,2	31,90	64,10	24	65,60
	R20mm	8,4	29,8	14,90	32,10	8,70	34,40
	R25mm	6	21	9,90	23,10	5,70	23,80
R95p	157,86	668,38	284,90	748,25	173,57	883,74	
Rio Ribeira de Iguape	PRPTOT	645,80	1594,40	1018,97	1775,88	518,89	1782,30
	CDD	20,8	61,2	21,90	84	24,50	83,80
	CWD	5	9,6	7	12,20	5	12,40
	RX1day	47,30	128	55,05	128,37	42,30	120,28
	RX5day	86,98	244,88	105,67	279,52	74,56	250,68
	R10mm	23,4	54,6	28,90	53,50	19,70	56
	R20mm	7	26	14,80	26,10	6,70	27,40
	R25mm	5,4	18	9,80	23	4,70	21,20
R95p	110,20	613,96	168,63	782,89	102,09	810,22	

(Fonte: Autoria própria)

O indicador “Precipitação” reescalado nos cenários futuros que associa o parâmetro de inclinação da reta de tendência e os percentis P₁₀ e P₉₀ dos índices de precipitação para cada sub-bacia é apresentado na Tabela 23.

Alto Juquiá mostrou o melhor resultado dos índices extremos de chuva em todos os intervalos e cenários estudados, segundo as projeções do modelo Eta-HadGEM2-ES, e mostrou ser a sub-bacia que menos contribui para tornar os recursos hídricos da BHRRI vulnerável à escassez de água, em um contexto de mudanças climáticas. Embora Baixo Ribeira tenha apresentado os piores valores em relação aos índices no cenário RCP 4,5 nos *time slices* 1 e 2, foi em Rio Ribeira de Iguape que os indicadores se mostraram mais

favoráveis à falta de chuva e conseqüentemente à diminuição de água disponível na bacia, principalmente no cenário RCP 8,5.

Tabela 23 - Valor do indicador reescalado “Precipitação” em cada sub-bacia nos cenários de RCP 4,5 e 8,5 e nos 3 time slices do modelo Eta-HadGEM2-ES.

Sub-bacia	Time Slice1		Time Slice2		Time Slice3	
	RCP	RCP	RCP	RCP	RCP	RCP
	4,5	8,5	4,5	8,5	4,5	8,5
Alto Juquiá	0,17	0,28	0,37	0,37	0,31	0,07
Baixo Ribeira	0,79	0,53	0,66	0,62	0,62	0,73
Rio Ribeira de Iguape	0,72	0,79	0,59	0,63	0,76	0,81

(Fonte: Autoria própria)

4.2.5.2 Indicador Disponibilidade Hídrica para cenários futuros

O primeiro feito para determinar a disponibilidade hídrica futura consistiu em encontrar a equação empírica que melhor representasse o comportamento da vazão a partir dos dados observados no período de 1981-2005 como explicado na seção 4.2.2.6. A Tabela 24 apresenta as equações empíricas para cada sub-bacia, onde x é a razão entre a precipitação e a ETP e y a razão entre vazão e a ETP.

Tabela 24 - Equações empíricas para determinação da vazão futura para as sub-bacias Alto Juquiá, Baixo Ribeira e Rio Ribeira de Iguape.

Sub-bacia	Equação Empírica da Vazão	R ²
Alto Juquiá	$y = 0,0053x^3 + 0,0774x^2 - 0,1444x + 0,8274$	0,33
Baixo Ribeira	$y = 0,0126x^4 - 0,1112x^3 + 0,4701x^2 - 0,2793x + 0,9906$	0,59
Rio Ribeira de Iguape	$y = 0,1214x^4 - 1,0193x^3 + 3,0551x^2 - 2,2819x + 3,0418$	0,56

(Fonte: Autoria própria)

Ressalta-se que os dados mensais de precipitação e temperatura simulados pelo modelo para o cálculo da ETP, e para a construção da equação empírica foram validados e corrigidos. O melhor método de correção encontrado, que diminuiu o erro sistemático do ciclo sazonal e

na escala mensal das variáveis simuladas foi o *Delta Change Approach* (Corr1) para precipitação, e para a temperatura o método Remoção do Erro Médio (Corr3), nas sub-bacias Alto Juquiá, Baixo Ribeira e Corr1 em Rio Ribeira de Iguape. Os resultados da atribuição dos métodos de correção do erro sistemático encontram-se no Apêndice A.

Em seguida, a vazão estimada para o modelo com base nas equações empíricas, também foi corrigida com aplicação do método *Delta Change Approach* para todo o período utilizado, tendo como base a vazão observada, diminuindo ainda mais as incertezas associadas à determinação da vazão futura nas 3 sub-bacias estudadas.

Construída a serie da vazão futura (2006-2099) foi possível encontrar a disponibilidade hídrica para os cenários futuros RCP 4,5 e 8,5. A projeção encontrada para a população está disponível no Apêndice B. As três sub-bacias, nos dois cenários abordados, mostraram aumento sequencial de vazão de referência (Q_{90}) a cada *time slice*, (Tabelas 25 e 26). Vale destacar que Alto Juquiá mostra a disponibilidade hídrica considerando a transposição de água para a Bacia Alto Tietê. Notou-se também que, em geral, o cenário RCP 4,5 mostrou menor disponibilidade hídrica em relação ao outro cenário, resultado que pode ser influenciado através do maior valor de P_{90} e do índice R95p, no cenário 8,5 RCP (Tabelas 21 e 22).

Tabela 25 - Vazão de referência e disponibilidade Hídrica das sub-bacias estudadas no cenário RCP 4,5 do modelo Eta-HadGEM2-ES.

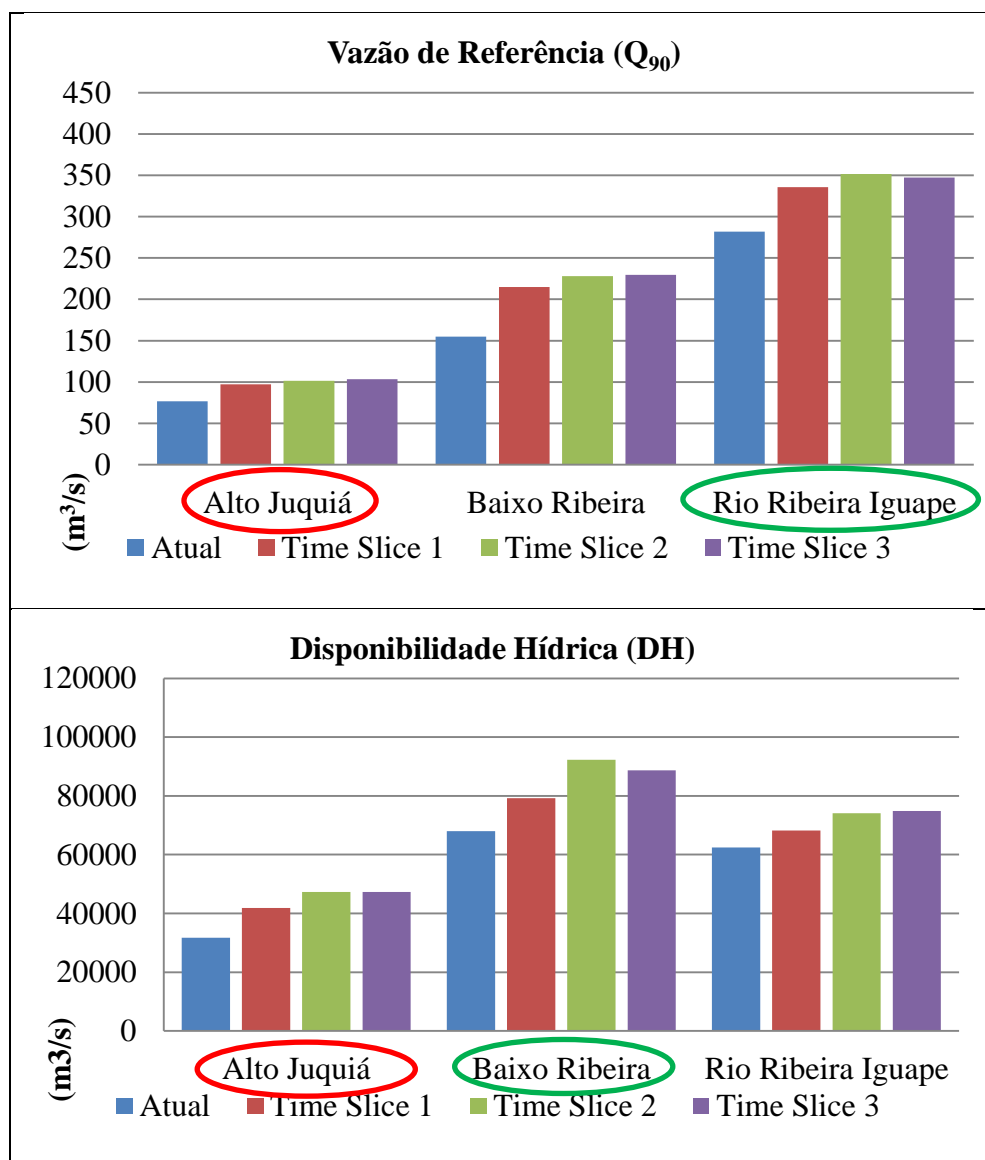
		<i>Time Slice1</i>	<i>Time Slice2</i>	<i>Time Slice3</i>
Alto Juquiá	Q_{90} (m ³ /s)	97,23	101,48	103,31
	Q_{90} (m ³ /ano)	3066289983	3200175924	3257962805
	Número de pessoas	67158	67646	68948
	DH (m³/ano/pessoa)	45657,86	47307,46	47252,70
Baixo Ribeira	Q_{90} (m ³ /s)	214,75	228,07	229,76
	Q_{90} (m ³ /ano)	6772323904	7192417000	7245767016
	Número de pessoas	76483	77893	81651
	DH (m³/ano/pessoa)	79186,24	92336,71	88740,63
Rio Ribeira de Iguape	Q_{90} (m ³ /s)	335,75	351,44	347,15
	Q_{90} (m ³ /ano)	10588246996	11082915092	10947711412
	Número de pessoas	150805	149538	146161
	DH (m³/ano/pessoa)	68183,70	74114,36	74901,77

(Fonte: Autoria própria)

Ao comparar a disponibilidade hídrica nas três sub-bacias em relação à vazão de referência no cenário RCP 4,5 (Figura 24), notou-se que os mesmos são menores em Alto Juquiá. No entanto essa situação não segue o mesmo padrão nas outras bacias, já que Rio

Ribeira, que exibiu os maiores valores do Q_{90} não obteve a maior disponibilidade hídrica por conta da maior população nesta sub-bacia.

Figura 24 - Distribuição dos valores da vazão de referência e disponibilidade Hídrica das sub-bacias estudadas no cenário RCP 4,5 do modelo Eta-HadGEM2-ES.



(Fonte: Autoria própria)

Em Baixo Ribeira, as projeções do modelo apresentaram os melhores resultados com maior volume de água disponível para cada habitante nos três *time slices*, indicando ser a sub-bacia que menos contribui para tornar os recursos hídricos vulneráveis à seca em toda BHRRI, sendo considerado abundante segundo a classificação da ONU (Tabela 1). Isto pode ter sido influenciado pelas tendências positivas dos índices de chuva (Tabela 19) no cenário 4,5 RCP, apesar de ter mostrado baixos valores dos percentis P_{90} e P_{10} .

De forma contrária, Alto Juquiá apresentou a menor disponibilidade hídrica também nos

dois cenários de emissões, porém com resultado confortável para os recursos hídricos e classificação abundante em relação à água disponível. Ao comparar a disponibilidade hídrica atual e futura, notou-se que as condições futuras nos dois cenários são mais consideráveis, visto que a disponibilidade de água é maior e permite uma situação confortável para os recursos hídricos. A disponibilidade hídrica de Alto Juquiá, que apresentou 31.760,31 m³/ano/pessoa atualmente, na pior situação do cenário futuro mostra 41.812,09 m³/ano/pessoa no cenário 4,5 RCP e *time slice* 1.

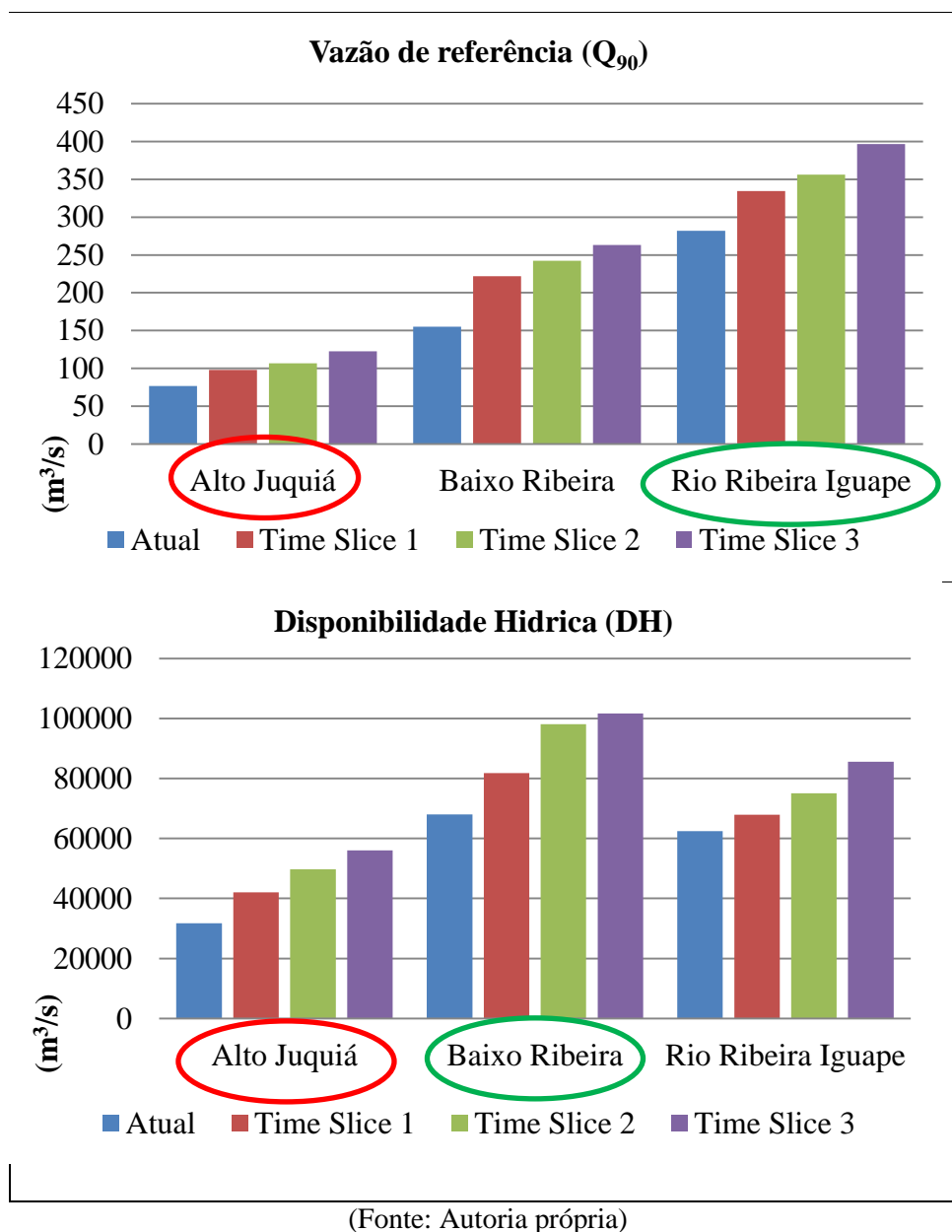
Tabela 26 - Vazão de referência e disponibilidade Hídrica das sub-bacias estudadas no cenário RCP 8,5 do modelo Eta-HadGEM2-ES.

	Índice	Time Slice1	Time Slice2	Time Slice3
Alto Juquiá	Q ₉₀ (m ³ /s)	97,86	106,61	122,60
	Q ₉₀ (m ³ /ano)	3086108256	3362201775	3866321730
	Número de pessoas	67158	67646	68948
	DH (m³/ano/pessoa)	45953,96	49702,65	56076,19
Baixo Ribeira	Q ₉₀ (m ³ /s)	221,72	242,17	263,26
	Q ₉₀ (m ³ /ano)	6992123563	7637193870	8302101007
	Número de pessoas	76483	77893	81651
	DH (m³/ano/pessoa)	91420,38	98046,78	101677,8
Rio Ribeira de Iguape	Q ₉₀ (m ³ /s)	334,40	356,10	396,43
	Q ₉₀ (m ³ /ano)	10545576687	11230090502	12501958733
	Número de pessoas	150805	149538	146161
	DH (m³/ano/pessoa)	69928,39	75098,56	85535,58

(Fonte: Autoria própria)

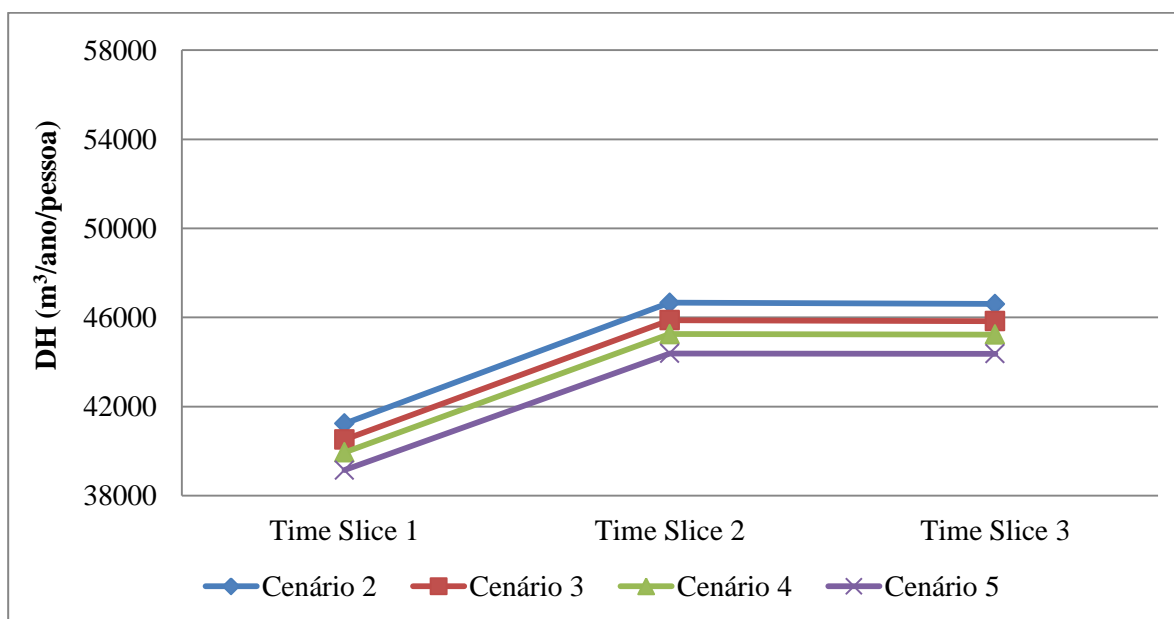
A Figura 25 mostra a comparação entre disponibilidade hídrica e vazão de referência nas sub-bacias para o cenário de 8,5 RCP e os resultados obtiveram o mesmo comportamento sendo que a maior vazão (Q₉₀) foi mais alta em Rio Ribeira de Iguape, porém devido esta ser a sub-bacia mais povoada Baixo Ribeira apresentou a maior disponibilidade hídrica entre todas. Alto Juquiá manteve-se com o menor Q₉₀ e a menor disponibilidade hídrica.

Figura 25 - Distribuição dos valores da vazão de referência e disponibilidade Hídrica das sub-bacias estudadas no cenário RCP 8,5 do modelo Eta-HadGEM2-ES.



Alto Juquiá merece maior atenção em relação às outras sub-bacias uma vez que está próxima da RMSP, sendo pressionada a suprir a alta demanda além do que já abastece atualmente com $4,7 \text{ m}^3/\text{s}$ (CBH-RB, 2018). As Figuras 24 e 25 revelam a disponibilidade hídrica da sub-bacia Alto Juquiá, nos cenários de emissões 4,5 e 8,5 RCP, respectivamente, considerando, além da projeção da vazão e população, a transposição de água para a RMSP conforme previsto nos cenários 2, 3, 4 e 5 descritos no Plano de Bacias da UGHRI-11 referente ao ano 2018 (CBH-RB, 2018).

Figura 26 - Vazão de referência e disponibilidade Hídrica da sub-bacia Alto Juquiá no cenário RCP 4,5 do modelo Eta-HadGEM2-ES e para 4 situações de transposição de água para a RMSP.



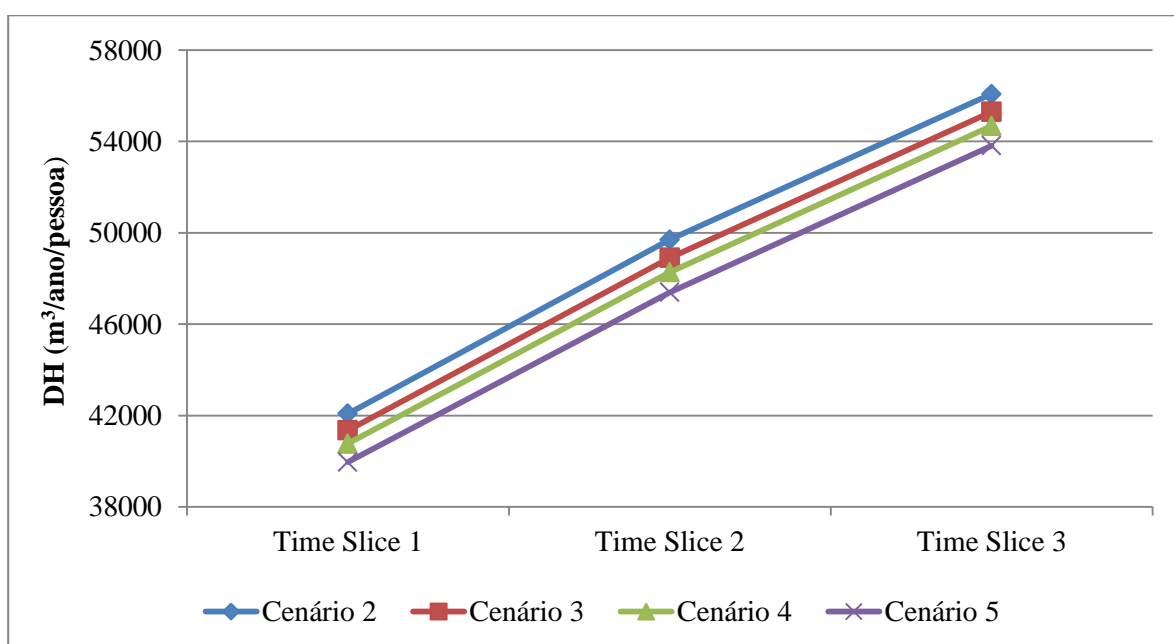
(Fonte: Autoria própria)

O cenário de transposição 1 presume nenhuma transposição de água e não foi abordado já que atualmente a sub-bacia abastece a RMSP. O cenário 2 considera a transposição atual de $4,7 \text{ m}^3/\text{s}$. No cenário de transposição 3 a vazão estimada é de $6,4 \text{ m}^3/\text{s}$; o cenário de transposição 4 com $7,75 \text{ m}^3/\text{s}$; e, por fim, o cenário de transposição 5 com $9,65 \text{ m}^3/\text{s}$. As figuras 26 e 27, que representam esses cenários, mostram que o *time slice* 1 é o mais crítico, já que apresenta menor disponibilidade hídrica, principalmente no cenário de transposição 5 que envolve a maior vazão exportada. Alto Juquiá mostrou, no cenário de emissão 4,5 RCP, a disponibilidade hídrica muito semelhante nos *time slices* 2 e 3, mas a melhor situação dos recursos hídricos foi identificada no *time slice* 3 para o cenário 8,5 RCP. No geral, foi o cenário 4,5 RCP que mostrou menor disponibilidade hídrica nos três *time slices*. Embora a transposição seja considerável em termos de vazão, a situação da sub-bacia ainda teria bastante água disponível e considerada abundante pela ONU (Tabela 1). Além disso, foi possível notar que nos cinco cenários de transposição a disponibilidade de água é maior em comparação ao resultado atual para essa sub-bacia. É importante destacar que o aumento da transposição também pode diminuir a disponibilidade hídrica no Baixo Ribeira, que está a jusante do Alto Juquiá, uma vez que as seções das bacias estão conectadas hidrologicamente.

O Plano da Bacia de 2018 (CBH-RB, 2018) mostra que a relação entre demanda e disponibilidade de água é classificada como “boa” e positiva nos cinco cenários propostos na transposição de água da Represa Cachoeira do França para a RMSP nos anos de 2016, 2020,

2024 e 2028 e indica que até 2028 não haverá danos em relação à disponibilidade de água, visto que a demanda é baixa. Os resultados da projeção do modelo foram semelhante aos do Plano da Bacia, porém se obteve nesse trabalho uma maior projeção, até 2099. Entretanto, esse Plano faz a mesma análise de demanda versus disponibilidade para a sub-bacia do Rio São Lourenço, que está inserido na sub-bacia Alto Juquiá, demonstra uma elevada criticidade para os cenários de transposição 2, 3, 4 e 5, nos anos 2020, 2024 e 2028, isso considerando a captação a fio d'água sem considerar regulação da vazão que ocorre na represa (CBH-RB, 2018). Essa informação mostra que, numa escala espacialmente mais restrita que a da bacia Alto Juquiá, o problema com a disponibilidade de água pode acontecer na sub-bacia do Rio São Lourenço, que faz parte do Alto Juquiá.

Figura 27 - Vazão de referência e disponibilidade Hídrica da sub-bacia Alto Juquiá no cenário RCP 8,5 do modelo Eta-HadGEM2-ES e para 4 situações de transposição de água paraa RMSP.



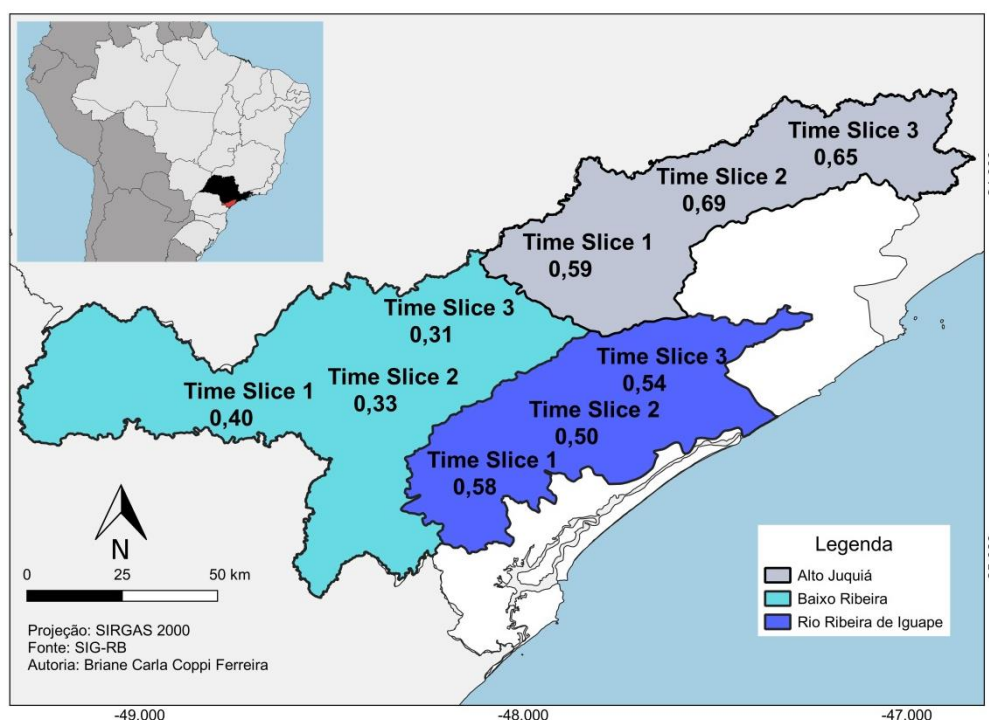
(Fonte: Autoria própria)

4.2.6 Índice de Vulnerabilidade Hidroclimático Futuro (IVH_F)

O IVH_F foi obtido para os cenários RCP 4,5 e 8,5 e agregou os indicadores da “Precipitação futura” e “Disponibilidade Hídrica futura” nos 3 *time slices* estudados para cada uma das sub-bacias.

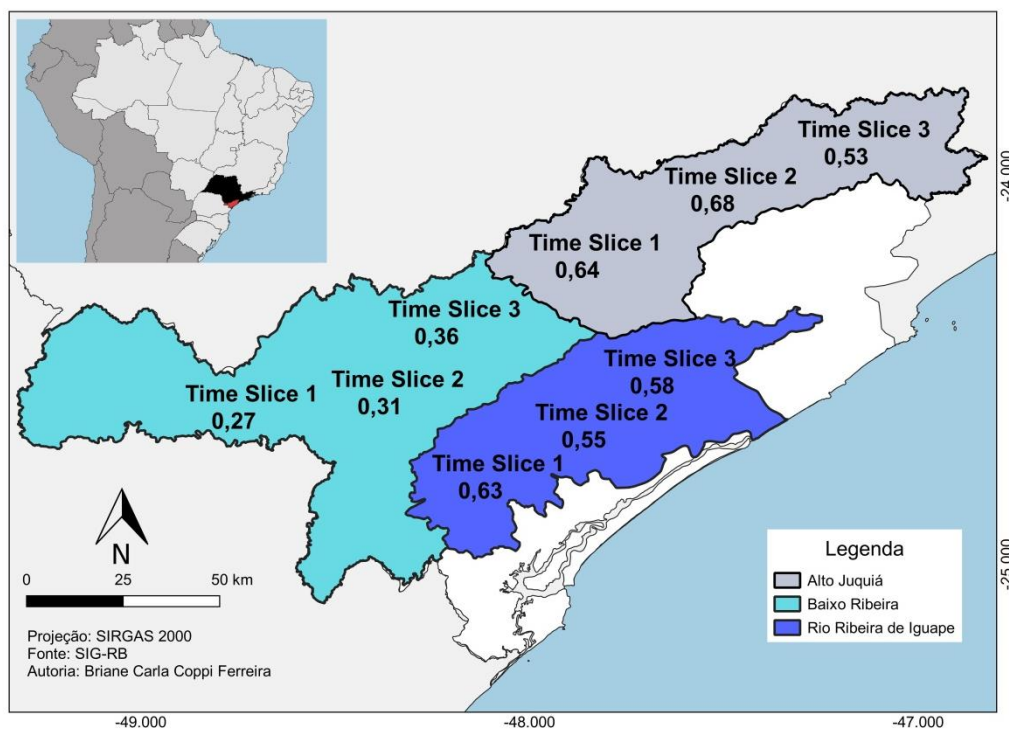
O resultado final do IVH_F apontou a sub-bacia Alto Juquiá como a mais vulnerável, assim como no IVH atual, principalmente no cenário 4,5 RCP, que apresentou vulnerabilidade média no *time slice* 1 e vulnerabilidade alta nos *time slices* 2 e 3. Para os três *time slices*, ainda mantendo a sua classificação de vulnerabilidade, o IVH_F teve menor valor que o IVH atual. A sub-bacia menos vulnerável hidroclimaticamente foi Baixo Ribeira, seguindo o mesmo padrão da situação atual, classificado como baixa vulnerabilidade no cenário 8,5 RCP e *time slice* 1 e com vulnerabilidade média nos demais *time slices* e cenários de emissões. Rio Ribeira de Iguape foi classificado com vulnerabilidade média, em todas as situações, porém no *time slice* 1, no cenário 8,5 RCP, mostrou o mais alto valor de IVH_F por influência de baixos índices de extremos de chuva, podendo afetar a disponibilidade de água dos rios (P_{10} , P_{90} e inclinação da reta) e também do indicador “Disponibilidade hídrica”.

Figura 28 - Índice de Vulnerabilidade Hidroclimático futuro das sub-bacias estudadas para o cenário RCP 4,5 do modelo Eta- HadGEM2-ES.



(Fonte: Autoria própria com base no SIG-RB).

Figura 29 - Índice de Vulnerabilidade Hidroclimático futuro das sub-bacias estudadas para o cenário RCP 8,5 do modelo Eta-HadGEM2-ES.



(Fonte: Autoria própria com base no SIG-RB).

4.2.7 Índice de Vulnerabilidade Geral Futuro (IVGF)

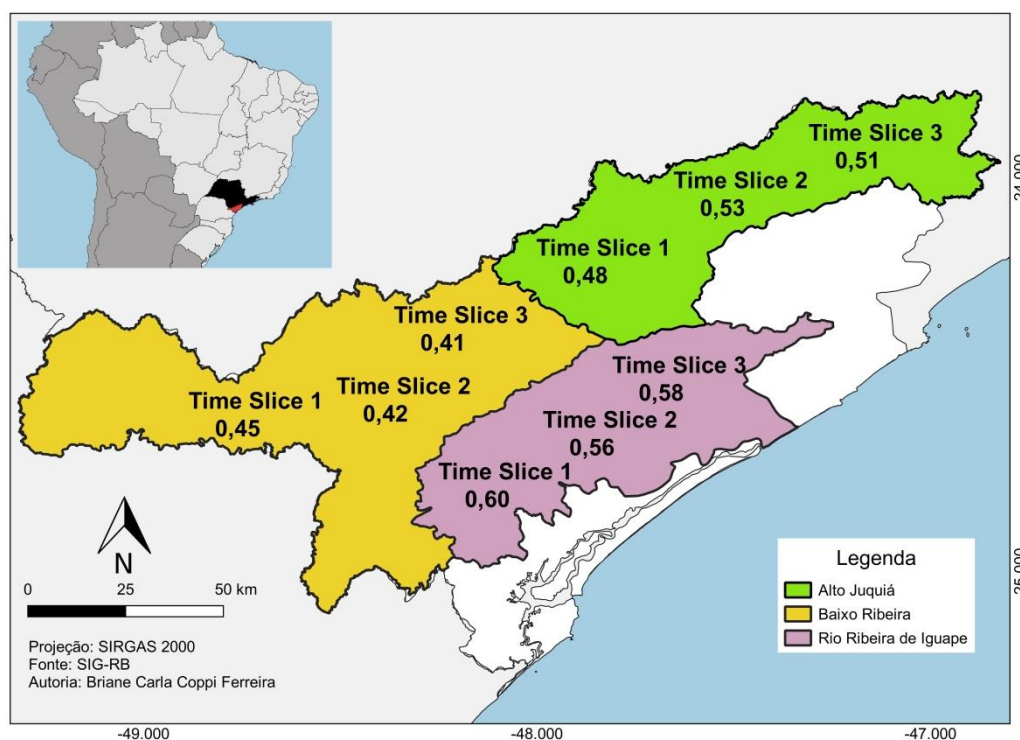
O IVGF apresentou vulnerabilidade média em grande parte dos *time slices* nos dois cenários, porém em Rio Ribeira de Iguape alguns *time slices* chegaram a ser classificados com vulnerabilidade alta (Figuras 30 e 31).

A menor vulnerabilidade foi obtida em Baixo Ribeira, da mesma forma que o IVG atual devido ao menor IVA e maior disponibilidade de água que também foi projetado nas simulações do modelo (Figuras 30 e 31). O IVGF só depende do IVHF para aumentar ou diminuir em relação ao IVG atual, e conseqüentemente das simulações de precipitação e temperatura do modelo, nos diferentes cenários de emissões e de *time slices*.

Em relação à derivação da vazão futura com base nas simulações da chuva e temperatura corrigidas, obteve-se aumento da vazão para quase todos os *time slices* e cenários de emissões, o que originou um aumento na disponibilidade hídrica até 2099 em quase todas as sub-bacias. Somente no cenário RCP 4,5, e nas bacias do Alto Juquiá e Baixo Ribeira, houve uma diminuição da disponibilidade hídrica do *time slice* 2 para o 3, sob influência de um aumento da população e dos índices climáticos e as suas tendências negativas, principalmente no *time slice* 2 e nos dois cenários de emissões influenciaram na alteração da vulnerabilidade de IVHF nos *time slices* 2 e 3.

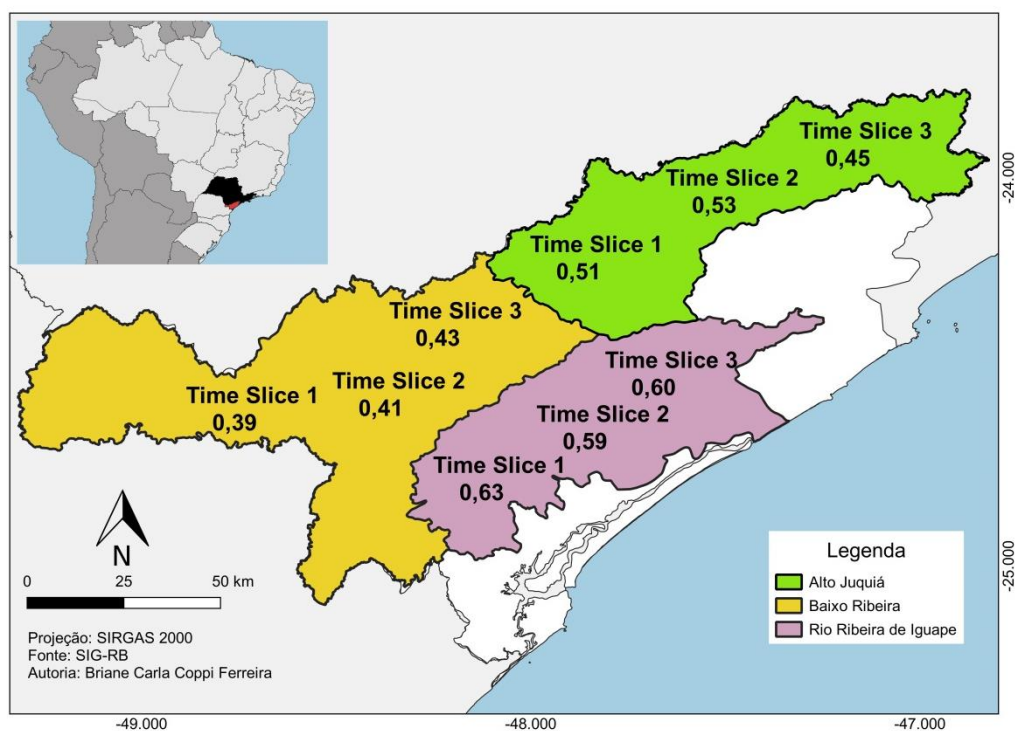
Baixo Ribeira mostrou a menor vulnerabilidade no IVG_F para o cenário futuro 8,5 RCP, no *time slice* 1 devido à baixa vulnerabilidade do IVH futuro. A sub-bacia Rio Ribeira de Iguape apresentou alta vulnerabilidade no *time slice* 1 do cenário de 4,5 RCP e no cenário 8,5 RCP mostrou vulnerabilidade alta nos *time slices* 1 e 3 no IVG_F . A maior influência no IVG_F nesta sub-bacia em relação às outras está bastante atrelado à alta vulnerabilidade do IVA apesar de ter menor peso no cálculo do IVG e IVG_F , porém as oscilações que ocorrem nos resultados do IVG_F , em relação ao IVG atual e entre os *time slices*, sofrem influência apenas das variações da vazão e precipitação identificadas no modelo climático. O *time slice* 1 do cenário 4,5 RCP mostrou alta vulnerabilidade no indicador “Precipitação” (sobretudo em relação ao P_{10} que apresentou estar mais crítico nessa sub-bacia), além de média vulnerabilidade na disponibilidade hídrica por influência maior da mais alta população. Já no segundo cenário, a alta vulnerabilidade nos *time slices* 1 e 3 também sofreram influência devido ao indicador “Precipitação” que se mostrou maior entre as sub-bacias. No *time slice* 1, os valores tanto de P_{10} quanto do P_{90} foram os mais preocupantes, enquanto que no *time slice* 3 o P_{10} manifestou os resultados mais críticos em todos os indicadores analisados.

Figura 30 - Índice de Vulnerabilidade Geral futuro das sub-bacias estudadas para os cenários RCP 4,5 do modelo Eta-HadGEM2-ES.



(Fonte: Autoria própria com base no SIG-RB)

Figura 31- Índice de Vulnerabilidade Geral futuro das sub-bacias estudadas para os cenários RCP 8,5 do modelo Eta-HadGEM2-ES



(Fonte: Autoria própria com base no SIG-RB)

Trabalhos sobre a vulnerabilidade dos recursos hídricos na região de estudo não têm sido encontrado ainda na literatura científica, porém trabalhos sobre projeções futuras simuladas por modelos climáticos para chuva e vazão na região sudeste do Brasil, onde a BHRRI se encontra, têm sido documentados.

Em geral, para a região sudeste do Brasil, não existe um consenso em relação ao aumento ou diminuição das chuvas para cenários futuros. Natividade, Garcia e Torres (2017) analisaram índices climáticos extremos de 19 modelos globais do CMIP5 para o estado de Minas Gerais e o resultado mostrou aumento das condições secas (CDD) no norte de Minas Gerais no período presente e na projeção futura 2041-2070, e uma tendência de diminuição dos índices Rx5day e R95p em 2071-2099.

No presente trabalho, para as três sub-bacia em análise, também se encontrou uma tendência de aumento para o índice CDD com significância estatística para o período histórico e uma tendência de aumento para o índice R95p. Já a simulação do Eta-HadCM3 mostrou só para um futuro mais próximo (2006-2040), e para o cenário 4,5 RCP tendências positivas dos índices PRCPTOT, RX1day, RX5day e R95p. Uma comparação realizada por Lyra et al. (2017) entre as resoluções de 5 km e 20 km do modelo regional Eta-HadGEM2-ES revelou

que a maior resolução espacial apresenta melhores representações dos valores extremos, quando comparado à resolução de 20 km. Os cenários de RCP 4,5 e RCP 8,5, na resolução de 5 km, mostraram redução dos extremos de precipitação (Rx1day, Rx5day e R95p) e aumento da duração de dias secos (CDD) na maior parte da área nas regiões metropolitanas de São Paulo, Santos e Rio de Janeiro.

Calado e Valverde (2020) utilizaram 4 modelos climáticos de alta resolução (CMCC, Eta-MIROC5, Eta-HadGEM2-ES e MIROC4h) para o cálculo da vazão e análise da precipitação na bacia hidrográfica do Alto Tietê (BHAT), para dois cenários de emissões. Os resultados mostraram uma redução do volume de precipitação mais evidente na projeção do modelo Eta-HadGEM2-ES, quando comparada com os outros modelos analisados, que mostraram uma tendência de aumento. Esse resultado influenciou a vazão média na BHAT, que apresentou uma redução significativa, principalmente para o verão do futuro mais próximo, 2020-2040.

Pontes et al. (2019) utilizaram o modelo hidrológico SWAT e quatro modelos climáticos (GFDL, HadGEM2-ES, IPSL e MIROC) sob três cenários de emissões (RCP2,6, RCP6,0 e RCP8,5) para determinar a vazão afluente da bacia do Rio Jaguari. Os resultados não mostraram um consenso entre os modelos climáticos na simulação da chuva até o século 21. Enquanto o modelo GFDL simulou uma diminuição substancial da precipitação, especialmente no cenário RCP 8,5, os outros modelos apresentaram precipitação crescente. Nessas condições, a vazão calculada foi reduzida (fluxo máximo, médio e mínimo) no caso do modelo GFDL, enquanto que para os outros modelos as descargas máximas aumentaram.

O estudo de Gesualdo et al. (2019) também analisou a Bacia Hidrográfica do Jaguari, afluente do Sistema Cantareira, para investigar cenários de mudanças climáticas que podem impactar a vazão, utilizando o *ensemble* de 17 modelos climáticos do CMIP5 para os cenários de emissões RCP 4,5 e RCP 8,5 e um modelo hidrológico HYMOD. Os autores verificaram que a vazão apresentou uma maior variabilidade anual, com aumentos significativos entre janeiro e março e uma extensão de 2 meses da estação seca hidrológica (junho a setembro) até novembro. Também, segundo as simulações dos modelos, haverá uma redução de mais de 35% na vazão de setembro a novembro, com uma redução maior que 50% em outubro.

Os estudos acima citados mostram a divergência nos resultados, quando se trabalha com diferentes modelos, e para diferentes áreas da região Sudeste de Brasil, isso comprova a necessidade da utilização de mais de um modelo climático de cenários futuros para comparações e análise das incertezas.

No presente trabalho, se utilizou apenas as simulações do modelo Eta-HadCM3, muito

utilizado no contexto de mudanças climáticas no Brasil, e ainda comprovado em alguns estudos a sua eficácia por representar melhor as características climáticas das regiões subtropicais no Brasil, como por exemplo as regiões sudeste e sul do Brasil (Debortoli et al. 2017; Lyra et al., 2017). No contexto da análise de vulnerabilidade do recurso hídrico às mudanças climáticas, os resultados obtidos para a bacia BHRRI vislumbram a necessidade da gestão e governança do recurso água, pois a bacia já apresenta um histórico de tendências de diminuição das chuvas, tanto no seu acumulado anual, como em algum dos índices climáticos extremos analisados, assim como um aumento na tendência de número de dias secos consecutivos. Essa situação já é uma alerta, do que se pode esperar para as próximas décadas, em função as simulações dos modelos e suas projeções futuras.

5. CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho visou identificar a disponibilidade hídrica das sub-bacias mais importantes em relação ao uso dos recursos hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Ribeira de Iguape (BHRRI), para posteriormente avaliar a vulnerabilidade dos recursos hídricos frente às mudanças do clima. Para isso foi necessário avaliar primeiro a vulnerabilidade do recurso em um contexto atual para depois analisar a resposta no contexto de mudanças climáticas, utilizando o modelo Eta-HadGEM2-ES nos cenários de emissões 4,5 e 8,5 RCP disponibilizados pelo PROJETA.

A determinação da vulnerabilidade considerou o cálculo de um índice que agregou indicadores relacionados à chuva e vazão, além de indicadores socioeconômicos e ambientais que também contribuem para alterações na disponibilidade de água. Assim, foram construídos três índices de vulnerabilidade, o Índice de Vulnerabilidade Ambiental (IVA), Socioeconômico (IVS) e Hidroclimático (IVH), os quais foram utilizados para o cálculo do Índice de Vulnerabilidade Geral (IVG).

Nesse trabalho determinou-se que as sub-bacias da BHRRI de maior importância para a utilização dos recursos hídricos são Alto Juquiá, Rio Ribeira de Iguape e Baixo Ribeira. Destas, destacou-se a sub-bacia de Baixo Ribeira por apresentar todos os parâmetros exigidos: Conselho Gestor, o Uso da água para consumo humano e para gerar energia elétrica e qualidade da água monitorada pela CETESB. Assim, fora nessas sub-bacias que foram calculados os índices de vulnerabilidade do seu recurso hídrico.

Para o contexto atual, foi Rio Ribeira de Iguape que mostrou o maior IVA, já que possui a maior área urbana e a maior área de mineração, que influenciam negativamente na infiltração da água de chuva e na evapotranspiração, que prejudica toda a dinâmica do ciclo d'água e dos recursos hídricos. Já o IVS foi maior em Baixo Ribeira, como consequência dos piores indicadores relacionados com a destinação de lixo, instalação sanitária e escolaridade, que contribuem para uma baixa qualidade da disponibilidade hídrica. Por outro lado, o IVH atual revelou ser maior em Alto Juquiá devido, principalmente, aos parâmetros negativos de inclinação da linha de tendência, que indicaram diminuição em grande parte dos índices de chuva (PRCPTOT, CWD, Rx5day, R10mm, R20mm e R25mm) e uma tendência de aumento dos índices CDD, além de mostrar baixos valores de P_{10} e de disponibilidade hídrica. Com base nesses resultados, entre essas sub-bacias, o IVG atual apontou Alto Juquiá com vulnerabilidade alta, devido ao IVH, que indicou um comportamento de déficit de chuva através da análise dos índices climáticos extremos de chuva. Além disso, Rio Ribeira de Iguape e Baixo Ribeira apresentaram vulnerabilidade média.

Para o cálculo do Índice de Vulnerabilidade Geral Futuro (IVGF) se mantiveram fixos os valores do IVA e IVS, pois não se tinham disponíveis projeções dos indicadores ambientais e sociais. Somente foi trabalhado com o IVH futuro (IVH_F) e se fez uso das projeções climáticas nos dois cenários de emissões 4,5 RCP e 8,5 RCP do modelo Eta-HadGEM2-ES.

É importante destacar que dados simulados por modelos regionais com condições de contorno provenientes de modelos globais acoplados, como é o caso do Eta-HadGEM2-ES, apresentam erros e incertezas em suas projeções e o aprimoramento constante dos modelos permite a diminuição dos mesmos e a maior confiabilidade das suas simulações. Apesar da diminuição dos erros com essas melhorias constantes, os erros dos modelos climáticos precisam ser identificados e removidos para aplicação dos dados. Por esse motivo, antes do cálculo do IVH_F, as simulações da precipitação e temperatura passaram por uma avaliação do erro sistemático, e posteriormente um método de correção para a diminuição desse erro.

Assim, os resultados para os cenários futuros, mostraram um IVH_F alto para o *time slice* 2 e 3 em Alto Juquiá, no cenário 4,5 RCP e mesmo mostrando menor valor comparado ao contexto atual, a classificação se manteve como de alta vulnerabilidade. Já no cenário 8,5 RCP o IVH_F foi alto nos *times slices* 1 e 2, mas também com valores mais baixos que o IVH atual. Detaca-se que a vulnerabilidade hidroclimática de Alto Juquiá ocorreu principalmente por influência da baixa disponibilidade hídrica em relação às demais sub-bacias, já que a vazão de referência vinculada ao rio Juquiá apresentou menor volume de água em relação ao rio Ribeira de Iguape presente nas outras duas sub-bacias. Em Alto Juquiá houve também a influência do déficit das precipitações que são melhores quando comparadas às outras sub-bacias, mas é determinante para o resultado entre os *time slices* em Alto Juquiá especificamente. Além disso, Rio Ribeira de Iguape mostrou vulnerabilidade alta também no IVH_F, durante o *time slice* 1, devido aos baixos índices de chuva com o RCP 4,5. Apesar da vazão de referência ser a maior nos dois cenários, a disponibilidade hídrica não foi a maior entre elas em resposta à população que corresponde a quase o dobro das demais. No entanto, todos os *times slices* e cenários apresentaram aumento da disponibilidade hídrica em Rio Ribeira de Iguape. Nas outras sub-bacias, somente no cenário 4,5 RCP, e nas bacias do Alto Juquiá e Baixo Ribeira, houve uma diminuição da disponibilidade hídrica no *time slice* 3 em relação ao *time slice* 2. O IVGF apresentou, na maior parte dos cenários de emissões, e para todas as sub-bacias, vulnerabilidade média. Porém, Rio Ribeira de Iguape mostrou alta vulnerabilidade em alguns *time slices* nos dois cenários por conta do déficit das precipitações associado ao alto IVA.

Em relação à disponibilidade de água tanto no cenário atual quanto nos cenários futuros

considerados, observou-se que os volumes encontrados seguem a classificação da ONU (SABESP, 1996) e são igualmente denominadas abundantes.

Ao analisar a sub-bacia Alto Juquiá individualmente, devido à peculiaridade de proximidade e fornecimento de 4,7 m³/s de água para a RMSP, mesmo nos 5 cenários de captação considerados no Plano da Bacia do Rio Ribeira de Iguape (CBH-RB, 2018) e que considera o máximo de 9,65 m³/s, a situação da disponibilidade de água na bacia ainda é considerada alta.

Tomar conhecimento do comportamento da chuva através de extremos climáticos, principalmente ao considerar cenários futuros, permite identificar o aumento ou diminuição da precipitação, que é importante para que órgãos responsáveis possam gerir a bacia com ações preventivas a desastres como a ocorrência de inundações e a falta de água. Apesar das incertezas inerentes às projeções climáticas, é de suma relevância que as informações derivadas das projeções auxiliem aos tomadores de decisões que visem mitigar fatalidades que prejudiquem a população.

Como recomendação de trabalhos futuros aconselha-se trabalhar com outros modelos climáticos e cenários de emissões, como por exemplo, o modelo regional Eta-MIROC5, que também está disponível pelo PROJETA. Isso possibilita ter maiores possibilidades de comparação e avaliar melhor as incertezas que os modelos geram nas suas simulações.

Ademais, também se recomenda utilizar projeções futuras dos indicadores sociais e ambientais, além de considerar como variável indicadora o grau de contaminação dos recursos hídricos, que contribui para fragilizar e diminuir a disponibilidade de água, bem como o uso modelos hidrológicos conceituais para a derivação da vazão e da evapotranspiração.

Outra recomendação no cálculo do índice de vulnerabilidade seria a identificação dos pesos através de uma técnica quantitativa, como por exemplo, a análise de componentes principais ou a técnica conhecida como Processo Analítico Hierárquico (*Analytic Hierarchy Process – AHP*) que determina os pesos por meio de perguntas a especialistas ou à população residente.

Vale destacar também, que uma limitação da metodologia deste estudo está associado à reescalação dos valores (entre 0 e 1 – mínimo e máximo), pois os mesmos servem apenas para comparar as sub-bacias umas com as outras, e não para comparar com outros valores de referência na literatura, ou em outras bacias hidrográficas tanto nacionais e quanto internacionais.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA (Brasil). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: 2013**. Brasília, 2013. 434 p. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/conj2013_rel.pdf>. Acesso em: 25 out. 2018.

_____. Conjuntura dos recursos hídricos: Informe 2014 – Encarte especial sobre a crise hídrica. Brasília, 2014. 31p. Disponível em: <<http://www3.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/crisehidrica2014.pdf>>. Acesso em: 14 fev. 2018.

_____. Conjuntura dos recursos hídricos: Regiões Hidrográficas Brasileiras – Edição Especial. Brasília, 2015. 164 p. Disponível em: <<http://www3.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/regioeshidrograficas2014.pdf>>. Acesso em: 27 fev. 2018.

_____. Conjuntura dos recursos hídricos: Informe. Brasília, 2016. 96 p. Disponível em: <<http://www3.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/informe-conjuntura-2016.pdf>>. Acesso em: 14 fev. 2018.

ALEXANDER, L. V. et al. Global observed changes in daily climatic extremes of temperature and precipitation. *Journal of Geophysical Research*, v. 111, p. 1-22, 2005.

ALVES, Lincoln Muniz; MARENGO, José A.; CASTRO, Christopher A. C.. Início das Chuvas na Região Sudeste do Brasil: Análise Climatológica. In: XII CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 12., 2002, Xii Congresso Brasileiro de Meteorologia. **Anais...** . Foz do Iguaçu: Rbmet, 2002. p. 1403 - 1410. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/228840206_Inicio_das_chuvas_na_regiao_Sudeste_do_Brasil_analise_climatologica>. Acesso em: 14 out. 2018.

ALVES, Humberto Prates da Fonseca; OJIMA, Ricardo. Vulnerabilidade às Mudanças Climáticas nas Áreas Urbanas do Estado de São Paulo: Mudança no Regime de Chuvas e Características Socioeconômicas e Demográficas da População. In: IV ENCONTRO NACIONAL DA ANPPAS, 4., 2008, Brasília. **Anais...** . [s.l.]: Anppas, 2008. p. 1 - 19. Disponível em: <<http://www.anppas.org.br/encontro4/cd/ARQUIVOS/GT11-510-219-20080510105031.pdf>>. Acesso em: 13 out. 2018

AMBRIZZI, Tercio; COELHO, Caio A. S.. A crise hídrica e a seca de 2014 e 2015 em São Paulo: Contribuições do clima e das atividades humanas. In: BUCKERIDGE, Marcos; RIBEIRO, Wagner Costa (Org.). **A Crise Hídrica na Região Metropolitana de São Paulo em 2013-2015: Origens, impactos e soluções**. São Paulo: Instituto de Estudos Avançados, 2018. Cap. 2. p. 22-35. Disponível em: <<http://www.iea.usp.br/publicacoes/ebooks/livro-branco-da-agua>>. Acesso em: 14 out. 2018.

ARAÚJO, João Luiz Barreiros. A Estiagem e a crise do Abastecimento de água na Região Metropolitana de São Paulo. **Revista DAE**. vol. 46, n.144, p.56-76, março de 1986.

Disponível em: < http://revistadae.com.br/artigos/artigo_edicao_144_n_155.pdf>. Acesso em: 02 ago. 2020.

ARAÚJO, Fabiane R. C. D; SANTOS, Carlos A. C.; NASCIMENTO, Francisco C. A. **Estudo dos Índices Extremos de Temperatura na Bacia Hidrográfica do Baixo Rio Colorado**, EUA. Revista Brasileira de Meteorologia, vol.30, n.1, p.29-36, 2015.

BÁRDOSSY, András; PEGRAM, Geoffrey. Downscaling Precipitation Using Regional Climate Models and Circulation Patterns Toward Hydrology. **Water Resources Research**, [s.l.], v. 47, n. 4, p.1-18, abr. 2011. American Geophysical Union (AGU). <http://dx.doi.org/10.1029/2010wr009689>. Disponível em: <<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2010WR009689>>. Acesso em: 09 dez. 2019.

BARATA, Marta M. L.; CONFALONIERI, Ulisses E. C. **Mapa da Vulnerabilidade da População dos Municípios do Estado do Rio de Janeiro frente às Mudanças Climáticas**. FIOCRUZ. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em

<http://www.fiocruz.br/ioc/media/20150722_Relatorio_Final_RJ.pdf>. Acesso em: 25 out. 2018.

BARATA, Martha et al. Mapa de Vulnerabilidade da População do Estado do Rio de Janeiro aos Impactos das Mudanças Climáticas. In: CHANG, Manyu et al. **Metodologias de Estudos de Vulnerabilidade à Mudança do Clima**. Rio de Janeiro: Interciência, 2015. Cap. 4. p. 63-90.

BERTOLOTTI, Frederico. **Os conteúdos sociais da crise ecológica**: a reprodução do espaço urbano e a ocupação da Guarapiranga. 271 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. Disponível em: https://teses.usp.br/teses/disponiveis/8/8136/tde-15062011-083921/publico/2010_FredericoBertolotti.pdf. Acesso em: 16 abr. 2020.

BOMBARDI, Rodrigo José; CARVALHO, Leila Maria Véspoli de. Variabilidade do regime de monções sobre o Brasil: o clima presente e projeções para um cenário com 2xco2 usando o modelo m. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [S.L], v. 23, n. 1, p. 58-72, maio 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbmet/a/v5N6jtHgTGdTdZdfLyHrkRx/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 10 out. 2020.

BORGES, Gabriel Mendes; ERVATTI, Leila Regina; SILVA, Luciano Gonçalves de Castro e. Desafios para o IBGE nas estimativas populacionais dos municípios brasileiros: aplicação de distintas metodologias. In: SEMINARIO INTERNACIONAL "ESTIMACIONES Y PROYECCIONES DE POBLACIÓN: METODOLOGÍAS, INNOVACIONES Y ESTIMACIÓN DE GRUPOS OBJETIVO DE POLÍTICAS PÚBLICAS, 1., 2011, Rio de Janeiro. **Anais [...]**. [s.l.]: Alap, 2011. p. 3-34. Disponível em: <http://www.alapop.org/alap/Docs/ProjectionsSeminar/AbstractsOthers/TrabalhoGabrielMendes.pdf>. Acesso em: 15 jul. 2020.

BRASIL. Regulamenta o art. 225, § 1o, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências.

Publicado no DOU em 18/07/2000.

_____. Resolução nº 32, de 15 de outubro de 2003. Institui a Divisão Hidrográfica Nacional. Órgão Emissor: Conselho Nacional de Água. Publicado no DOU em 17/12/2003.

_____. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Third National Communication of Brazil to the United Nations Framework Convention on Climate Change: Executive Summary**. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2016a. 42 p. Disponível em: <<https://unfccc.int/resource/docs/natc/branc3es.pdf>>. Acesso em: 25 out. 2019.

_____. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Third National Communication of Brazil to the United Nations Framework Convention on Climate Change: Volume I**. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2016b. 144 p. Disponível em: <<https://unfccc.int/resource/docs/natc/branc3v1.pdf>>. Acesso em: 25 out. 2019.

_____. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Third National Communication of Brazil to the United Nations Framework Convention on Climate Change: Volume II**. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2016c. 229 p. Disponível em: <<https://unfccc.int/resource/docs/natc/branc3v2.pdf>>. Acesso em: 25 out. 2019.

_____. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Third National Communication of Brazil to the United Nations Framework Convention on Climate Change: Volume III**. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2016d. 133 p. Disponível em: <<https://unfccc.int/resource/docs/natc/branc3v3.pdf>>. Acesso em: 25 out. 2019.

_____. Constituição (2020). Medida Provisória nº 919, de 30 de janeiro de 2020. **Dispõe sobre o valor do salário mínimo a vigorar a partir de 1º de fevereiro de 2020**. Brasília, Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/Mpv/mpv919.htm. Acesso em: 07 abr. 2020.

BRITO, Luana Paula Gentil de; CAVENAGHI, Suzana; JANNUZZI, Paulo de Martino. Estimativas e projeções populacionais para pequenos domínios: uma avaliação da precisão para municípios do rio de janeiro em 2000 e 2007. **Revista Brasileira de Estudos de População**, [s.l.], v. 27, n. 1, p. 35-57, jun. 2010. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0102-30982010000100004>. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rbepop/v27n1/04.pdf>. Acesso em: 15 jul. 2020.

BUCKERIDGE, Marcos; RIBEIRO, Wagner Costa. Uma visão sistêmica das origens, consequências e perspectivas das crises hídricas na Região Metropolitana de São Paulo. In: BUCKERIDGE, Marcos; RIBEIRO, Wagner Costa (Org.). **A Crise Hídrica na Região Metropolitana de São Paulo em 2013-2015: Origens, impactos e soluções**. São Paulo: Instituto de Estudos Avançados, 2018. Cap. 1. p. 14-21. Disponível em: <<http://www.iea.usp.br/publicacoes/ebooks/livro-branco-da-agua>>. Acesso em: 22 out. 2018.

CALADO, G. G.; VALVERDE, M. C. Avaliação de cenários futuros da disponibilidade hídrica na bacia do Alto Tietê utilizando modelos climáticos de alta resolução do CMIP5. **REVISTA BRASILEIRA DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS**. v. 55, p. 401-419, 2020.

CAMARA, Ana Carolina Farias Coelho. **Análise da Vazão Máxima Outorgável e da Introdução Simplificada da Qualidade da Água no Processo de Outorga na Bacia do Rio Gramame (PB)**. 2003. 219 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/1770>>. Acesso em: 27 out. 2018.

CAMARGO, A. Paes de. Contribuição para a determinação da evapotranspiração potencial no estado de São Paulo. **Bragantia**, [s.l.], v. 21, n. , p.163-213, 1962. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0006-87051962000100012>.

CAMARGO, Ângelo Paes de; CAMARGO, Marcelo Bento Paes de. Uma revisão analítica da evapotranspiração potencial. **Bragantia**, [s.l.], v. 59, n. 2, p.125-137, 2000. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0006-87052000000200002>.

CARDONA, D. O. The Need for Rethinking the Concepts of Vulnerability and Risk from a Holistic Perspective: A Necessary Review and Criticism for Effective Risk Management. In: **Mapping Vulnerability: Disasters, Development and People**, Earthscan, London, 254. 2003. Disponível em:< https://doms.csu.edu.au/csu/file/78a6c5d7-fd8b-ff7e-fff3-2ffb78764ebe/1/resources/readings/Reading12_2.pdf>. Acesso em: 25 out. 2018.

CASTRO, Cleber Marques de; PEIXOTO, Maria Naíse de Oliveira; PIRES DO RIO, Gisela Aquino. Riscos Ambientais e Geografia: Conceituações, Abordagens e Escalas. **Anuário do Instituto de Geociências**, Rio de Janeiro, v. 28, n. 2, p.11-30, dez. 2005. Disponível em: <<http://ppegeo.igc.usp.br/index.php/anigeo/article/view/4830/4342>>. Acesso em: 12 out. 2018.

CHANG, Manyu. **Estudo e Mapeamento de Vulnerabilidade a Extremos Climáticos no Estado do Paraná**. Rio de Janeiro, 2013. 116 p. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/272274782_Estudo_e_Mapeamento_de_Vulnerabilidade_a_Extremos_Climaticos_no_Estado_do_Parana>. Acesso em: 01 mar. 2018.

CHANG, Manyu et al. (Org.). **Metodologias de Estudos de Vulnerabilidade à Mudança do Clima**. 1ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2015, v. 5, 210 p.

CHANG, Manyu; FREITAS, Marcos. Mapeamento e Indicadores de Vulnerabilidade a Extremos Climáticos no Estado do Paraná: Uma Proposta Metodológica. In: CHANG, Manyu et al (Org.). **Metodologias de Estudo de Vulnerabilidade a Mudanças do Clima**. Rio de Janeiro: Interciência, 2015. Cap. 3. p. 39-62.

CHOU, Sin Chan et al. Assessment of Climate Change over South America under RCP 4.5 and 8.5 Downscaling Scenarios. **American Journal Of Climate Change**, [s.l.], v. 03, n. 05, p.512-527, 2014a. Scientific Research Publishing, Inc., <http://dx.doi.org/10.4236/ajcc.2014.35043>.

CHOU, Sin Chan et al. Evaluation of the Eta Simulations Nested in Three Global Climate Models. **American Journal Of Climate Change**, [s.l.], v. 03, n. 05, p.438-454, 2014b. Scientific Research Publishing, Inc., <http://dx.doi.org/10.4236/ajcc.2014.35039>.

COELHO, Caio A. S.; CARDOSO, Denis H. F.; FIRPO, Mári A. F. **Precipitation diagnostics of an exceptionally dry event in São Paulo, Brazil**. Theoretical And Applied Climatology. Viena, p. 769-784. jul. 2015. Disponível em: <http://www.cptec.inpe.br/pesquisadores/caio.coelho/coelho_et_al_2015_TAC.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2018.

COLLINS, W. J. et al. Development and evaluation of an Earth-System model – HadGEM2-ES. **Geoscientific Model Development**, [s.l.], v. 4, n. 4, p.1051-1075, 29 nov. 2011. Copernicus GmbH. <http://dx.doi.org/10.5194/gmd-4-1051-2011>. Disponível em: <<https://www.geosci-model-dev.net/4/1051/2011/gmd-4-1051-2011.pdf>>. Acesso em: 05 abr. 2020.

COMISIÓN ECONÓMICA PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE – Cepal (Brasil). **Socio-demographic vulnerability: old and new risks for communities, households and individuals**. Brasília, 2002. 82 p. Disponível em: <https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/13054/1/S2002602_en.pdf>. Acesso em: 13 out. 2018.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRA DE IGUAPE E LITORAL SUL – CBH-RB (Brasil) **Relatório de Situação dos Recursos Hídricos e Meio Ambiente da Unidade de Gerenciamento N° 11: Bacia Hidrográfica do Ribeira de Iguape e Litoral Sul**. Registro, 2007. 659 p. Disponível em: <http://www.comiterb.com.br/sigrb/app/pdf/Rel_de_%20Situacao_RB_%202007.pdf>. Acesso em: 27 out. 2018.

_____. **Relatório de Situação dos Recursos Hídricos e Meio Ambiente da Unidade de Gerenciamento N° 11: Bacia Hidrográfica do Ribeira de Iguape e Litoral Sul**. Registro, 2013. 634 p. Disponível em: <http://www.sigrb.com.br/app/pdf/RSMA_COMPLETO_2013.pdf>. Acesso em: 06 fev. 2018.

_____. **Relatório de Situação dos Recursos Hídricos da UGRHI-11: Bacia Hidrográfica do Ribeira de Iguape e Litoral Sul Ano-Base 2014**. Registro, 2015. 44 p. Disponível em: <<http://www.sigrh.sp.gov.br/public/uploads/documents/CBH-RB/10501/relatorio-de-situacao-2015-ugrhi-11.pdf>>. Acesso em: 06 fev. 2018.

_____. **Elaboração do Plano de Bacias da UGRHI-11: Relatório II**. 2018. 235 p. Disponível em: <<http://comiterb.com.br/wp-content/uploads/2018/07/Plano-de-Bacia-CBH-RB-Relat%C3%B3rio-II.pdf>>. Acesso em: 15 jul. 2020.

COMPANHIA BRASILEIRA DE PROJETOS E EMPREENDIMENTOS - COBRAPE. **Plano Diretor de Aproveitamento de Recursos Hídricos para a Macrometrópole Paulista: Relatório Final**. São Paulo, 2013. 195 p. Disponível em: <http://www.dae.sp.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=1112:plano-diretor-de-aproveitamento-dos-recursos-hidricos-para-a-macrometropole-paulista>. Acesso em: 28 fev. 2018

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO - SABESP

(SÃO PAULO). **Uso Racional da Água**. 1996. Disponível em: <<http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaoId=137>>. Acesso em: 13 out. 2018.

_____. **Estudo de Concepção e Projeto Básico do Sistema Produtor São Lourenço – Relatório Síntese**: Relatório de Impacto ao Meio Ambiente. São Paulo, 2011. 112 p. Disponível em: <http://site.sabesp.com.br/site/uploads/file/ppp_sao_lourenco/estudo_concep%C3%A7%C3%A3o_SPSL.pdf>. Acesso em: 27 fev. 2018.

_____. **A seca persiste, continue economizando**. São Paulo, 2015. 2p. Disponível em: <<http://site.sabesp.com.br>>. Acesso em: 27 out. 2018.

CONFALONIERI, U. E. C.; MARINHO, D. P.; RODRIGUEZ, R. Public Health Vulnerability to Climate Change in Brazil. *Climate Research*, v. 40, p. 175-186, 2009. CLIMATE CHANGE INDICES. Disponível em: <https://www.int-res.com/articles/cr_oa/c040p175.pdf>. Acesso em: 02 mar. 2018.

CONFALONIERI, Ulisses; BARATA, Martha; MARINHO, Diana. Vulnerabilidade Climática no Brasil. In: CHANG, Manyu et al (Org.). **Metodologias de Estudos de Vulnerabilidade à Mudança do Clima**. Rio de Janeiro: Interciência, 2015. p. 23-38.

COSTA, Marco Aurélio; MARGUTI, Bárbara Oliveira (Org.). **Atlas da vulnerabilidade social nos municípios brasileiro**. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA, 2015. 84 p. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/livros/livros/151022_atlas_da_vulnerabilidade.pdf>. Acesso em: 13 out. 2018.

CRUZ, Jussara; TUCCI, Carlos. Estimativa da Disponibilidade Hídrica Através da Curva de Permanência. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [s.l.], v. 13, n. 1, p. 111-124, 2008. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v13n1.p111-124>. Disponível em: <https://www.abrhidro.org.br/SGCv3/publicacao.php?PUB=1&ID=15&SUMARIO=174>. Acesso em: 16 abr. 2020.

CUTTER, Susan L.; BORUFF, Bryan J.; SHIRLEY, W. Lynn. Social Vulnerability to Environmental Hazards. **Social Science Quarterly**, [s.l.], v. 84, n. 2, p.242-261, jun. 2003. Disponível em: <<http://www.d.umn.edu/~pfarrell/Natural%20Hazards/Readings/Cutter.%20Social%20Vulnerability.pdf>>. Acesso em: 13 out. 2018.

DEBORTOLI, Nathan S. et al. An index of Brazil's vulnerability to expected increases in natural flash flooding and landslide disasters in the context of climate change. **Natural Hazards**, [s.l.], v. 86, n. 2, p.557-582, 4 jan. 2017. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s11069-016-2705-2>. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s11069-016-2705-2>>. Acesso em: 13 out. 2018.

DEE, D. P. et al. **The ERA-Interim reanalysis**: configuration and performance of the data assimilation system. **Quarterly Journal Of The Royal Meteorological Society**, [s.l.], v. 137, n. 656, p.553-597, abr. 2011. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/qj.828>. Disponível em: <https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/qj.828>. Acesso em: 05 abr. 2020.

FERREIRA, Briane Carla Coppi; VALVERDE, María Cleofé. Estudo das enchentes fora de época no Vale do Ribeira: Caso Agosto de 2011. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 17., 2012. Gramado: Sbmec, 2012. Disponível em: <<http://www.sbmec.org.br/cbmet2012/pdfs/62N2.pdf>>. Acesso em: 13 mar. 2018.

FERREIRA, Briane C. C. Estudo das Inundações na Bacia do Rio Ribeira de Iguape e seus Fatores Hidroclimáticos e Socioambientais. Santo André – SP: UFABC, 2013. 93 p.

FERREIRA, Briane Carla Coppi; VALVERDE, Maria Cleofé. Análise das fragilidades quanto ao uso do recurso hídrico nas regiões hidrográficas da bacia do rio Ribeira de Iguape. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 16., 2018, São Paulo. **Anais...** . [s.l.]: Abge, 2018. p. 1 - 10. Disponível em: <http://www.schenautomacao.com.br/cbge/envio/files/trabalho_51.pdf>. Acesso em: 09 out. 2018.

FRANZ, Barbara. Fatores Intervenientes nas Vulnerabilidades dos Recursos Hídricos às Mudanças do Clima no Estado do Rio de Janeiro. In: NUNES, Riane T. S.; FERITAS, Marcos A. V.; ROSA, Luiz Pinguelli (Org.). **Vulnerabilidade dos Recursos Hídricos no âmbito Regional e Urbano**. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. Cap. 1. p. 1-60.

FUNDAÇÃO AGÊNCIA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO TIETÊ – FABHAT. Plano de Bacia Hidrográfica do Alto Tietê - UGRHI 06 – 2016/2035. São Paulo, 2016. 318 p. Disponível em: <http://www.sigrh.sp.gov.br/public/uploads/documents/CBH-AT/11958/relatorio_i_plano_final-rev2.pdf>. Acesso em 13 out. 2018.

FUNDAÇÃO DE APOIO À UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO – FUSP. Plano da Bacia do Alto Tietê: Relatório Final. São Paulo, 2009. 131 p. Disponível em: <http://www.fabhat.org.br/site/images/docs/volume_3_pat_dez09.pdf>. Acesso em 13 out. 2018.

GAVIOLLI, Juliane. **Abastecimento público de água na Região Metropolitana de São Paulo**: escassez, demanda e aspectos de saúde pública. 2013. 150 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/6/6134/tde-12112013-104028/pt-br.php>. Acesso em: 02 ago. 2020.

GESUALDO, G.C., OLIVEIRA, P.T.S., RODRIGUES, D.B.B., AND GUPTA, H.V. Assessing Water Security in the Sao Paulo Metropolitan Region Under Projected Climate Change, *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.*, <https://doi.org/10.5194/hess-2019-134>, in review, 2019.

HAHN, Micah B.; RIEDERER, Anne M.; FOSTER, Stanley O.. The Livelihood Vulnerability Index: A pragmatic approach to assessing risks from climate variability and change—A case study in Mozambique. **Global Environmental Change**, [s.l.], v. 19, n. 1, p.74-88, fev. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2008.11.002>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095937800800112X>>. Acesso em: 25 out. 2018.

HILDEBRAND, Aluisio; TONELLO, João Paulo N.; SILVA, Priscila C. (Coord.).

Sustainability Report 2016. São Paulo, 2016. 106 p. Disponível em: <http://site.sabesp.com.br/site/uploads/file/asabesp_doctos/RS2016_ing.pdf >. Acesso em: 01 mar. 2018.

HOGAN, D. J. et al. Sustentabilidade no Vale do Ribeira (SP): conservação ambiental e melhoria das condições de vida da população. In: HOGAN, D. J. et al (orgs.). Migração e meio ambiente em São Paulo: aspectos relevantes da dinâmica recente. Campinas: Núcleo de Estudos de População/UNICAMP, 2000; p. 385-410.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Censo 2010. 2010. Disponível em: <<https://censo2010.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 15 jul. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Estimativas da população residente para os municípios e para as unidades da federação brasileiros com data de referência em 1º de julho de 2016. Rio de Janeiro, setembro de 2016. Disponível em: <<http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv97868.pdf>>. Acesso em: 15 jul. 2020.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE (Brasil). PROJETA: Guia prático ilustrado. 2017, 31 p.. Disponível em: <http://ftp1.cptec.inpe.br/etamd/Download/PROJETA/Guia_Projeta_Versao_Preliminar.pdf> . Acesso em: 14 set. 2018.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC (Reino Unido). **Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability.** Nova Iorque, 2007. 987 p. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg2/ar4_wg2_full_report.pdf>; Acesso: 05 out. 2018.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC (Reino Unido e EUA). Resumo para Decisores. In: **Climate Change 2013: The Physical Science Basis.** Cambridge e Nova Iorque, 2013. 210 p. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/pdf/reports-nonUN-translations/portuguese/ar5_wg1_spm.pdf>. Acesso em 20 fev. 2018.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC (Suíça): **Climate Change 2014: Synthesis Report.** Geneva, 2014a, pp. 117-130. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_Glossary.pdf>. Acesso em 02 mar. 2018.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC (Reino Unido e EUA). **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects.** Cambridge e Nova Iorque, 2014b. 32 p. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg2/ar5_wgII_spm_en.pdf >. Acesso em 20 fev. 2018.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC (Reino Unido e EUA). **Anthropogenic and Natural Radiative Forcing.**[S.l], 2014c. 82 p. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_Chapter08_FINAL.pdf>. Acesso em 08 out. 2018.

IPCC (2013) Annex III: Glossary [Planton, S. (ed.)]. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the

Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

LEITE, Douglas; MONTEIRO, Marko. Racionamento retórico na Região Metropolitana de São Paulo: Seca sem precedentes ou má gestão dos recursos hídricos?. In: JORNADAS LATINO-AMERICANAS DE ESTUDOS SOCIAIS DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 11., 2016, Curitiba. **Anais...** . [s.l.]: Esocite, 2016. p. 1 - 15. Disponível em: <<http://www.esocite2016.esocite.net/site/anaiscomplementares#D>>. Acesso em: 26 nov. 2018.

LIMA, Leonardo Parma de et al. Descrição do perfil da nova classe média brasileira. In: CIÊNCIA PARA UM PLANETA URBANO, 18., 2014, São José dos Campos. **Anais [...]** . São José dos Campos: Universidade do Vale do Paraíba, 2014. p. 1-6. Disponível em: http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2014/anais/arquivos/0853_0476_01.pdf. Acesso em: 12 abr. 2020.

LIMA, José Carlos de; ARADO, Celso Gonçalves. Aplicação de novas tecnologias e acompanhamento em campo das obras lineares e localizadas do empreendimento Sistema Produtor São Lourenço. In: CONGRESSO ABES/FENASAN 2017, 1., 2017, São Paulo. **Anais...** . [s.l.]: Abes/aesabesp, 2017. p. 1 - 21. Disponível em: <<https://www.tratamentodeagua.com.br/wp-content/uploads/2017/12/I-009.pdf>>. Acesso em: 21 out. 2018.

LYRA, Andre et al. 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**, [s.l.], v. 132, n. 1-2, p.683-683, 3 abr. 2017. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s00704-017-2110-0>.

LOMBARDO, Magda Adelaide et al. Riscos Ambientais na Região Metropolitana de São Paulo decorrentes de urbanização e vulnerabilidades diante das mudanças climáticas. In: LOMBARDO, Magda Adelaide; FREITAS, Maria Isabel C. de (Org.). **Riscos e Vulnerabilidades: Teoria e Prática no contexto Luso-Brasileiro**. São Paulo: UNESP, 2013. Cap. 2. p. 45-70. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/109268/ISBN9788579834363.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 13 out. 2018.

MARANDOLA JUNIOR, Eduardo; HOGAN, Daniel Joseph. Natural hazards: o estudo geográfico dos riscos e perigos. **Ambiente & Sociedade**, [s.l.], v. 7, n. 2, p.95-110, dez. 2004. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1414-753x2004000200006>. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=s1414-753x2004000200006&script=sci_abstract&tlng=pt>. Acesso em: 10 out. 2018.

MARANDOLA JUNIOR, Eduardo; HOGAN, Daniel Joseph. Vulnerabilidades e riscos: entre geografia e demografia. **Revista Brasileira de Estudos de População**, São Paulo, v. 22, n. 1, p.29-53, jun. 2005. Disponível em: <https://www.rebep.org.br/revista/article/view/253/pdf_237>. Acesso em: 13 out. 2018.

MARANHÃO, Ney. **Water and Sustainable Development: Brazilian Challenges**. Ciudad de Mexico: Water Week Latinoamerica, 2014. 19 *slides*, color. Disponível em:

<<http://www.conagua.gob.mx/conagua07/contenido/documentos/NeyMaranhao.pdf>>. Acesso em: 05 abr. 2018.

MARCELINO, Emerson Vieira; NUNES, Luci Hidalgo; KOBİYAMA, Masato. Mapeamento de Risco de Desastres Naturais do Estado de Santa Catarina. **Caminhos de Geografia**, [s.l.], v. 17, n. 8, p.72-84, fev. 2006. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Luci_Nunes/publication/305698252_Mapeamento_de_riscos_de_desastres_naturais_no_estado_de_Santa_Catarina/links/579a152c08ae024e100e3a0c/Mapeamento-de-riscos-de-desastres-naturais-no-estado-de-Santa-Catarina.pdf>. Acesso em: 12 out. 2018.

MARCOLIN, Neldson. Seca na Metrópole. **PESQUISA FAPESP**. São Paulo: FAPESP, v. 1, n. 224, out. 2014. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/seca-na-metropole/>. Acesso em: 02 ago. 2020.

MARCOVITCH, Jaques. Para mudar o futuro: mudanças climáticas, políticas públicas e estratégias empresariais. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo: Editora Saraiva, 2006, 378p.

MARENGO, José A.; VALVERDE, Maria C.. Caracterização do clima no Século XX e Cenário de Mudanças de clima para o Brasil no Século XXI usando os modelos do IPCC-AR4, São Paulo, **Revista Multiciência**, v. 8, p. 5-28, 2007. Disponível em: <https://www.multiciencia.unicamp.br/artigos_08/a_01_8.pdf>. Acesso em: 08 out. 2018.

MARENGO, José Antônio. Água e mudanças climáticas. **Estudos Avançados**, São Paulo, v.22, n.63, p.83-96, 2008. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-40142008000200006>>. Acesso em: 15 fev. 2018.

MARENGO, José A.; AMBRIZZI, Tércio; SOARES, Wagner R.. Jato de Baixos Níveis ao longo do Andes. In: CAVALCANTI, Iracema Fonseca Albuquerque et al (Org.). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. Cap. 11. p. 169-194.

MARENGO, José A. et al. A seca e a crise hídrica de 2014-2015 em São Paulo. **Revista Usp**, São Paulo, v. 0, n. 106, p.31-44, 2 set. 2015. Universidade de São Paulo. Sistema Integrado de Bibliotecas - SIBiUSP. <http://dx.doi.org/10.11606/issn.2316-9036.v0i106p31-44>.

MARENGO, J. A.; ALVES, L. M. Crise hídrica em São Paulo em 2014: seca e desmatamento. **Geosp – Espaço e Tempo**, [s.l.], v. 19, n. 3, p. 485-494, 2016. Disponível em:

<https://www.researchgate.net/publication/301957099_Crise_Hidrica_em_Sao_Paulo_em_2014_Seca_e_Desmatamento>. Acesso em: 13 out. 2018.

MARTINS, Amanda. **Sistema Cantareira e a crise da água em São Paulo**: a falta de transparência no acesso à informação. São Paulo: Article 19, 2014a. 48 p. Disponível em: <<https://artigo19.org/wp-content/uploads/2014/12/Relat%3%b3rio-Sistema-Cantareira-e-a-Crise-da-%c3%81gua-em-S%3%a3o-Paulo-%e2%80%93-a-falta-de-transpar%3%ancia-no-acesso-%c3%a0-informa%3%a7%3%a3o.pdf>>. Acesso em: 02 ago. 2020.

MARTINS, Maria Eugénia Graça. Coeficiente de correlação amostral. **Revista de Ciência Elementar**, [s.l.], v. 2, n. 2, p.1-2, 30 jun. 2014b. ICETA. <http://dx.doi.org/10.24927/rce2014.042>. Disponível em: <<https://rce.casadasciencias.org/rceapp/art/2014/042/>>. Acesso em: 12 jan. 2020.

MATTEDI, Marcos Antônio; BUTZKE, Ivani Cristina. A relação entre o social e o natural nas abordagens de hazards e de desastres. **Ambiente & Sociedade**, [S.L.], n. 9, p. 93-114, dez. 2001. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1414-753x2001000900006>.

MENDES, Ludmilson Abritta. **Análise dos critérios de outorga de direito de usos consuntivos dos Recursos Hídricos baseados em vazões mínimas e em vazões de permanência**. 2007. 189 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Recursos Hídricos, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-01082007-180524/publico/LudmilsonMestrado.pdf>. Acesso em: 15 jul. 2020.

MENDES, Carlos André B.; BELUCO, Alexandre; CANALES, Fausto Alfredo. Some important uncertainties related to climate change in projections for the Brazilian hydropower expansion in the Amazon. **Energy**, [S. l.], v. 141, p. 123-138, 18 out. 2017. DOI 10.1016/j.energy.2017.09.071. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S036054421731592X?via%3Dihub>. Acesso em: 10 jul. 2020.

MENEZES, Júlia Alves et al. Mapping human vulnerability to climate change in the Brazilian Amazon: The construction of a municipal vulnerability index. **Plos One**. [s.l.], p. 1-30. fev. 2018. Disponível em: <<https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0190808>>. Acesso em: 13 out. 2018.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Índice de vulnerabilidade aos desastres naturais relacionados às secas no contexto da mudança do clima**. Brasília, 2017. 130 p. Disponível em: <https://d3nehc6yl9qzo4.cloudfront.net/downloads/estudo_secas_completo_com_isbn.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2018.

_____. **GEO Brasil: Recursos Hídricos**. Brasília, 2007. 62 p. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/wfa/sa/GEO%20Brasil%20Recursos%20H%C3%ADricos%20-%20Resumo%20Executivo.pdf>>. Acesso em: 17 set. 2018.

MOURA, Rildo Gonçalves de et al. Avaliação do Modelo Regional ETA utilizando as análises do CPTEC e NCEP. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [s.l.], v. 25, n. 1, p.46-53, set. 2010. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbmet/v25n1/v25n1a05>>. Acesso em: 30 out. 2019.

MUNIZ, Jeronimo Oliveira. Análise e previsão demográfica utilizando-se matrizes de crescimento e distribuição populacional intermunicipal. **Revista Brasileira de Estudos de População**, [s.l.], v. 35, n. 3, p. 1-36, 16 maio 2018. Associação Brasileira de Estudos Populacionais. <http://dx.doi.org/10.20947/s0102-3098a0051>. Disponível em:

https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0102-30982018000300153&script=sci_arttext. Acesso em: 15 jul. 2020.

NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. A. Hidrologia estatística. Belo Horizonte: CPRM, 2007. 552p.

NASCIMENTO, José Antônio Sena do. Elementos Metodológicos para a Avaliação da Vulnerabilidade a Eventos Climáticos Extremos na Amazônia: O caso da Bacia do Rio Acre. In: RIBEIRO, Marta F.; FREITAS, Marcos A. V.; ROSA, Luiz Pinguelli (Org.). **Vulnerabilidade e ações de adaptação dos recursos hídricos às mudanças climáticas no Brasil**. Rio de Janeiro: Interciência, 2014. Cap. 3. p. 53-97.

NATIVIDADE, Ulisses Antônio; GARCIA, Sâmia Regina; TORRES, Roger Rodrigues. Tendência dos Índices de Extremos Climáticos Observados e Projetados no Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [S.L.], v. 32, n. 4, p. 600-614, dez. 2017. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0102-7786324008>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-77862017000400600&tlng=pt. Acesso em: 02 ago. 2020.

NOGUÉS-PEAGLE, J.; MO, K. C. Alternating wet and dry conditions over South America during summer. **Monthly Weather Review**, vol. 125, p. 279-291, 1997.

NOGUÉS-PEAGLE, J.; MECHOSO, C. R.; e coautores. Progress in Pan America CLIVAR Research: Understanding the South American Monsoon. **Meteorologica**, v. 27, p. 3-30, 2002.

NUNES, Lucí Hidalgo; VICENTE, Andréa Koga; CANDIDO, Daniel Henrique. Clima da Região Sudeste do Brasil. In: CAVALCANTI, Iracema Fonseca Albuquerque et al (Org.). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. Cap. 16. p. 243-273.

OGURA, A.; MACEDO, E. S. Procesos y riesgos geologicos. In: **II Curso internacional de aspectos geologicos de protección ambiental**: notas de clases. Montevideo: UNESCO, 2002. Cap. 8, p. 114-137. Disponível em: <http://unesdoc.unesco.org/images/0016/001631/163153s.pdf> >. Acesso em: 12 out. 2018.

OLIVEIRA, Guilherme Garcia de; PEDROLLO, Olavo Correa; CASTRO, Nilza Maria dos Reis. As Incertezas Associadas às Condições Climáticas Obtidas pelo Modelo ETA CPTec/HADCM3: Avaliação Comparativa Entre os Dados Simulados e Observados de Precipitação, Evapotranspiração e Vazão na Bacia Hidrográfica do Rio Ijuí, Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [S. L.], v. 30, n. 1, p. 101-121, 1 mar. 2015. DOI 10.1590/0102-778620140041. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-77862015000100101&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 9 jul. 2020.

OSÓRIO, R. G.; SOARES, S.; SOUZA, P. **Erradicar a pobreza extrema: um objetivo ao alcance do Brasil**. Brasília: Ipea, 2011. Disponível em: https://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=9610. Acesso em 07 abr. 2020.

PONTES, L.M., DOMINGUES, L.M., FIRPO, M.A.F. ROCHA, H.R. A Vazão do rio Jaguarí no século 21 estipulada com projeções climáticas regionalizadas. In: XXIII SIMPÓSIO

BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. Foz do Iguaçu: ABRH, 2019.

PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS – PBMC (Brasil): **Mudanças Climáticas e Cidades**: Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. Rio de Janeiro, 2016. 116pp. Disponível em: <http://www.pbmc.coppe.ufrj.br/documentos/Relatorio_UM_v10-2017-1.pdf>. Acesso em 14. Fev. 2018.

_____. **Base científica das mudanças climáticas**. Rio de Janeiro, 2014. 464 pp. Disponível em http://www.pbmc.coppe.ufrj.br/pt/publicacoes/relatorios-pbmc/item/base-cientifica-das-mudancas-climaticas-volume-1-completo?category_id=18>. Acesso em: 08 outr. 2018.

PANDEY, Rajiv; JHA, Shashidharkumar. Climate vulnerability index - measure of climate change vulnerability to communities: a case of rural Lower Himalaya, India. **Mitigation And Adaptation Strategies For Global Change**, [s.l.], v. 17, n. 5, p.487-506, 2 dez. 2011. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s11027-011-9338-2>. Disponível em: <[https://link-springer-com.ez42.periodicos.capes.gov.br/article/10.1007/s11027-011-9338-2](https://link.springer.com.ez42.periodicos.capes.gov.br/article/10.1007/s11027-011-9338-2)>. Acesso em: 25 out. 2018.

PARBOTEEAH, K. Praveen; CULLEN, John P.. **Business Ethics**. New York: Routledge, 2013. 630 p.

PINTO, N. L. de Sousa. Manipulação dos dados de vazão. In: PINTO, Nelson L. de Sousa et al. **Hidrologia Básica**. 11. ed. São Paulo: Blucher, 1976. Cap. 9. p. 167-181.

PLUMMER, Ryan; LOË, Rob de; ARMITAGE, Derek. A Systematic Review of Water Vulnerability Assessment Tools. **Water Resources Management**. Países Baixos, p. 4327-4346. Dez. 2012. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s11269-012-0147-5>>. Acesso em: 26 fev. 2018.

PONTES, Lucas Machado *et al.* A Vazão do Rio Jaguari no Século 21 estipulada com Projeções Climáticas Regionalizadas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 23., 2019, Foz do Iguaçu. **Anais [...]**. [S.L.]: Abrhidro, 2019. p. 1-8. Disponível em: <http://anais.abrh.org.br/works/6347>. Acesso em: 02 ago. 2020.

PORTO, Rubem L.; PORTO, Monica F.a.; PALERMO, Marco. Ponto de vista_ A ressurreição do volume morto do sistema Cantareira na Quaresma. **Revista Dae**, [s.l.], v. 62, n. 197, p.18-25, 2014. Editora Cubo Multimedia. <http://dx.doi.org/10.4322/dae.2014.131>. Disponível em: <<http://doi.editoracubo.com.br/10.4322/dae.2014.131>>. Acesso em: 26 abr. 2018.

PROAG, Virendra. The concept of vulnerability and resilience. **Procedia Economics and Finance**, v. 18, p. 369-376, 2014. Disponível em:<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212567114009526>>. Acesso em: 12 out. 2018.

PRODANOFF, Jorge Henrique Alves. Qualidade das Águas em Inundações Urbanas. In: NUNES, Riane T. S.; FREITAS, Marcos A. V.; ROSA, Luiz Pinguelli (org.). **Vulnerabilidade dos Recursos Hídricos no Âmbito Regional e Urbano**. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. Cap. 6. p. 157-190.

QUADRO, Mario Francisco Leal de. Et al. **Análise climatológica da precipitação e do transporte de umidade na região da ZCAS através da nova geração de reanálises.** *Revista Brasileira de Meteorologia*, [s.l.], v. 27, n. 2, p.152-162, jul. 2012. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0102-77862012000200004>. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-77862012000200004. Acesso em: 05 abr. 2020.

REBOITA, Michele Simões et al. Regimes de Precipitação na América do Sul: Uma revisão bibliográfica. *Revista Brasileira de Meteorologia*, [s.l.], v. 25, n. 2, p.185-204, out. 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbmet/v25n2/a04v25n2.pdf>>. Acesso em: 13 out. 2018.

ROSA, T. M.; GONÇALVES, F. O.; FERNANDES, A. S. **Estratificação socioeconômica: uma proposta a partir do consumo.** XIX Encontro Regional de Economia, 2014. Disponível em: <https://www.bnb.gov.br/documents/160445/226386/ss4_mesa4_artigos2014 ESTRATIFICACAO_SOCIOECONOMICA_UMA_PROPOSTA_PARTIR_CONSUMO.pdf/fbbd77abe78c-4885-973f-a841a26ab49e>. Acesso em: 06 abr. 2020.

SANSIGOLO, Clóvis Angeli. Tendências nos Índices climáticos de Extremos de Temperatura e Precipitação em Piracicaba, SP (1917-2010). In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE CLIMATOLOGIA, Não use números Romanos ou letras, use somente números Arábicos., 2011, João Pessoa. **Anais...** [s.l.]: SBMET, 2011. p. 1 - 5. Disponível em: <<http://mtc-m16d.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m19/2011/11.16.12.23/doc/Sansigolo-%20Tend%eancias%20nos%20indices%20climaticos.PDF?metadataarepository=sid.inpe.br/mtc-m19/2011/11.16.12.23.55&mirror=sid.inpe.br/mtc-m19@80/2009/08.21.17.02.53>>. Acesso em: 25 out. 2018.

SANTANA, Claudinei Lopes. **Geomorfologia da planície fluvial do Rio Ribeira de Iguape entre Sete Barras e Eldorado (SP):** Subsídios ao planejamento físico-territorial de áreas inundáveis. 2008. 297 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/8/8135/tde-07102009-152524/pt-br.php>>. Acesso em: 17 maio 2018.

SANTOS, Carlos Antônio Costa dos; SATYAMURTY, Prakki; SANTOS, Edilanê Mendes dos. Tendências de índices de extremos climáticos para a região de Manaus-AM. *Acta Amazonica*, [s.l.], v. 42, n. 3, p.329-336, set. 2012. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0044-59672012000300004>.

SEADE – Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados. Portal de estatística do Estado de São Paulo. Disponível em: < <https://www.seade.gov.br/>>. Acesso em: 15 jul. 2019.

SILVA, Antônio M. da et al. Vazões mínimas e de referência para outorga na região do Alto Rio Grande, Minas Gerais. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, [s.l.], v. 10, n. 2, p.374-380, jun. 2006. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1415-43662006000200019>.

SILVA, Luciene Pimentel da. **Hidrologia**: engenharia e meio ambiente. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015. 330 p.

SILVA, Maíra Cristina de Oliveira. **Cenário futuro da disponibilidade hídrica na Bacia do Rio Tietê**: subsídio à gestão dos recursos hídricos. 2016. 135 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência e Tecnologia Ambiental, Universidade Federal do ABC, Santo André, 2016.

SILVA, M. C.; VALVERDE, M. Cenário Futuro da Disponibilidade Hídrica na Bacia do Alto Tietê. **Revista Brasileira De Ciências Ambientais (Online)**, n. 43, p. 114-130, 1 Jul. 2017. <https://doi.org/10.5327/Z2176-947820170185>.

SILVA, João Pedro Rodrigues; REBOITA, Michelle Simões; ESCOBAR, Gustavo Carlos Juan. CARACTERIZAÇÃO DA ZONA DE CONVERGÊNCIA DO ATLÂNTICO SUL EM CAMPOS ATMOSFÉRICOS RECENTES. **Revista Brasileira de Climatologia**, [S.L.], v. 25, n. 1, p. 355-377, 9 set. 2019. Universidade Federal do Paraná. <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v25i0.64101>. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/64101>. Acesso em: 11 out. 2020.

SORIANO, Érico et al. Crise hídrica em São Paulo sob o ponto de vista dos desastres. **Ambiente & Sociedade**, [s.l.], v. 19, n. 1, p.21-42, mar. 2016. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4422asoc150120r1v1912016>. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1414-753X2016000100003&script=sci_arttext&tlng=pt>. Acesso em: 21 out. 2018.

TAGLIANI, Carlis Roney Armanini. Técnica para Avaliação da Vulnerabilidade Ambiental de Ambientes Costeiros Utilizando um Sistema Gráfico de Informações. In: XI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** [s.l.]: SBSR, 2003. p. 1657 - 1664. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/239556107_Tecnica_para_avaliacao_da_vulnerabilidade_ambiental_de_ambientes_costeiros_utilizando_um_sistema_geografico_de_informacoes>. Acesso em: 13 out. 2018.

TARGA, Marcelo dos Santos; BATISTA, Getúlio Teixeira. Benefits and legacy of the water crisis in Brazil. **Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal Of Applied Science**, [S.L.], v. 10, n. 2, p. 234-239, 30 abr. 2015. Instituto de Pesquisas Ambientais em Bacias Hidrograficas (IPABHi). <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1629>. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/ambiagua/v10n2/1980-993X-ambiagua-10-02-00234.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2020.

THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**, Nova Iorque, v.38, n.1, p.55-94, 1948.

TOMASONI, M. A., PINTO, J. E. S., SILVA, H. P. A questão dos recursos hídricos e as perspectivas para o Brasil. **GeoTextos**, [S. l.], v. 5, n. 2, p. 107-127, 2 dez. 2009. DOI 10.9771/1984-5537geo.v5i2.3789.

Disponível em: <https://portalseer.ufba.br/index.php/geotextos/article/view/3789>. Acesso em: 9 jul. 2020.

UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION – UNESCO. **Mudanças climáticas e mudanças socioambientais globais: reflexões sobre**

alternativas de futuro. Brasília: UNESCO, IBECC, 2008. 184 p.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE – UNFCCC (Brasil); **Text of the Convention.** Rio de Janeiro, 1992. Disponível em: <http://unfccc.int/files/essential_background/background_publications_htmlpdf/application/pdf/conveng.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2018.

UNITED NATIONS INTERNATIONAL STRATEGY FOR DISASTER REDUCTION – UNISDR. Terminology: Basic terms of disaster risk reduction. 2017 Disponível em: <<https://www.unisdr.org/we/inform/terminology>>. Acesso em: 01 mar. 2018.

VALVERDE, Maria Cleofé; MARENGO, José A. Extreme Rainfall Indices in the Hydrographic Basins of Brazil. *OPEN JOURNAL OF MODERN HYDROLOGY*, v. 04, p. 10-26, 2014.

VALVERDE, Maria Cleofé. A Interdependência entre Vulnerabilidade Climática e Socioeconômica na Região do ABC Paulista. *Ambiente & Sociedade*, [s.l.], v. 20, n. 3, p.39-60, set. 2017. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4422asoc66r2v2032017>. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1414-753X2017000300039&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt>. Acesso em: 25 out. 2018.

VAN BELLEN, Hans Michael. **Indicadores de Sustentabilidade:** uma análise comparativa. 2002. 235 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/84033/189898.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 25 out. 2018.

VICTORINO, Valério. Uma Visão Histórica dos Recursos Hídricos na Cidade de São Paulo. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, [S.L.], v. 7, n. 1, p. 51-68, 2002. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v7n1.p51-68>. Disponível em: <https://www.abrhidro.org.br/SGCv3/publicacao.php?PUB=1&ID=99&SUMARIO=1588>. Acesso em: 02 ago. 2020.

VILLELA, Swami M.; MATTOS, Arthur. **Hidrologia aplicada.** São Paulo: McGraw-Hill, 1975. 222 p.

VINCENT, Katharine. **Creating an index of social vulnerability for Africa.** Norwich, 2004. Working Paper 56, Tyndall Centre for CC Research, University of East Anglia. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/228809913_Creating_an_Index_of_Social_Vulnerability_to_Climate_Change_in_Africa>. Acesso em: 13 out. 2018.

WALDVOGEL, Bernadette. **Projeção Populacional para São Paulo:** um método analítico como alternativa. um método analítico como alternativa. 1996. Disponível em: http://produtos.seade.gov.br/produtos/spp/v10n02/v10n02_14.pdf. Acesso em: 15 jul. 2020.

WALDVOGEL, Bernadette Cunha et al. Projeção da população paulista como instrumento de planejamento. *São Paulo em Perspectiva*, [s.l.], v. 17, n. 3-4, p. 67-79, dez. 2003. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0102-88392003000300008>. Disponível

em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0102-88392003000300008&script=sci_arttext. Acesso em: 15 jul. 2020.

WILHITE, Donald A.; GLANTZ, Michael H.. Understanding the Drought Phenomenon: The Role of Definitions. **Water International**. [s.l.], p. 111-120. 1985. Disponível em: http://www.esalq.usp.br/lepse/imgs/conteudo_thumb/Understanding-the-Drought-Phenomenon-The-Role-of-Definitions.pdf>. Acesso em: 19 set. 2018.

ZHANG, X.; YANG, F. **RCLimDex (1.0)**: User Manual. Climate Research Branch Environment Canada Downs view, Ontario, 2004. Disponível em:<<http://etccdi.pacificclimate.org/software.shtml>>. Acesso em: 30 out. 2019.

ZHANG, Xuebin et al. Avoiding Inhomogeneity in Percentile-Based Indices of Temperature Extremes. **Journal Of Climate**, [s.l.], v. 18, n. 11, p.1641-1651, jun. 2005. American Meteorological Society. <http://dx.doi.org/10.1175/jcli3366.1>. Disponível em: <<https://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/JCLI3366.1>>. Acesso em: 26 out. 2018.

APÊNDICE A

Método de correção e período de aplicação dos mesmos para diminuir os erros associados ao modelo climático Eta-HadGEM2-ES para as variáveis precipitação, temperatura e vazão.

Sub-bacia	Precipitação		Temperatura		Vazão	
	Método	Período	Método	Período	Método	Período
Alto Juquiá	Corr1	All	Corr3	Cntrl	Corr1	All
Baixo Ribeira	Corr1	Cntrl	Corr3	Cntrl	Corr1	All
Rio Ribeira de Iguape	Corr1	Cntrl	Corr1	Cntrl	Corr1	All

(Fonte: Autoria própria)

APÊNDICE B – PROJEÇÃO DA POPULAÇÃO ATÉ 2100

Projeção da população da bacia hidrográfica do Rio Ribeira de Iguape com base no método AiBi e dados fornecidos pelo IBGE.

Sub-bacias	Municípios	2040	2070	2100
Alto Juquiá	Juquiá	16948	17740	19850
	Juquitiba	32860	31439	27653
	Miracatu	17351	18468	21444
	Total	67158	67646	68948
Baixo Ribeira	Apiáí	21624	22853	26129
	Barra do Chapéu	5964	5716	5055
	Barra do Turvo	7043	7279	7909
	Eldorado	15559	15242	14400
	Iporanga	3823	3987	4424
	Itaóca	3232	3230	3227
	Itapirapuã Paulista	4428	4239	3736
	Ribeira	3088	3181	3429
	Sete Barras	11722	12164	1334
	Total	76483	77893	81651
Rio Ribeira de Iguape	Cajati	26825	27358	28779
	Iguape	31400	30518	28168
	Jacupiranga	17510	17406	17129
	Pariquera-Açu	19888	19391	18067
	Registro	55182	54865	54019
	Total	150805	149538	146161

(Fonte: Autoria própria)