

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

**DANIELLE PICÃO DE MELO**

**EFEITO RELATIVO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS E DAS MUDANÇAS DO USO  
DA TERRA NA DISPONIBILIDADE HÍDRICA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO  
ALTO PARANAPANEMA**

São Carlos - SP

2024

DANIELLE PICÃO DE MELO

**EFEITO RELATIVO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS E DAS MUDANÇAS DO USO  
DA TERRA NA DISPONIBILIDADE HÍDRICA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO  
ALTO PARANAPANEMA**

Trabalho apresentado para obtenção do Título de  
Mestra em Ciências Ambientais pelo Programa  
de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da  
Universidade Federal de São Carlos.

**Orientador:** Prof. Dr. Alexandre Camargo  
Martensen

**Coorientador:** Prof. Dr. Rafael de Oliveira  
Tiezzi

**São Carlos - SP**

**2024**

Melo, Danielle Picão de

EFEITO RELATIVO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS E  
DAS MUDANÇAS DO USO DA TERRA NA  
DISPONIBILIDADE HÍDRICA NA BACIA  
HIDROGRÁFICA DO ALTO PARANAPANEMA / Danielle  
Picão de Melo -- 2024.  
114f.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São  
Carlos, campus São Carlos, São Carlos  
Orientador (a): Alexandre Camargo Martensen  
Banca Examinadora: Alexandre Uezu, Franciane  
Mendonça dos Santos  
Bibliografia

1. Disponibilidade Hídrica. 2. Mudanças Climáticas. 3.  
Mudanças no Uso da Terra. I. Melo, Danielle Picão de. II.  
Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática  
(SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Ronildo Santos Prado - CRB/8 7325



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**

Centro de Ciências Biológicas e da Saúde  
Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais

---

**Folha de Aprovação**

---

Defesa de Dissertação de Mestrado da candidata Danielle Picão de Melo, realizada em 27/03/2024.

**Comissão Julgadora:**

Prof. Dr. Alexandre Camargo Martensen (UFSCar)

Prof. Dr. Rafael de Oliveira Tiezzi (UFSCar)

Profa. Dra. Franciane Mendonça dos Santos (UFSCar)

Prof. Dr. Alexandre Uezu (IPE)

## AGRADECIMENTOS

A Deus que me permitiu estar aqui.

A minha família, marido e amigos que me apoiaram na minha caminhada.

Aos profs. Dr. Alexandre Camargo Martensen e Dr. Rafael de Oliveira Tiezzi por todo o apoio e dedicação ao longo da pesquisa.

Ao Núcleo de Estudos em Ecologia Espacial e Desenvolvimento Sustentável (NEEDS) e todos os integrantes pelas ricas trocas de conhecimentos, principalmente, ao Júlio César Araújo que me acompanhou e apoiou em todos os momentos deste trabalho.

Ao Alexandre Uezu, Thiago de Andrade Águas, Matheus Menegaz, Luis Guilherme Foresto e Jorge Luiz Rodrigues Pantoja-Filho que me apoiaram pontualmente na elaboração de projeções de uso da terra, obtenção e extração dos dados climáticos futuros e testes estatísticos.

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

## RESUMO

Melo, D. P. - Citação – Efeito relativo das mudanças climáticas e das mudanças do uso da terra na disponibilidade hídrica na bacia hidrográfica do Alto Paranapanema. 2024 – 105: Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de São Carlos, Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, São Carlos – 2024.

As mudanças climáticas juntamente com as mudanças no uso da terra, compõem os principais fatores que contribuem para as alterações nos processos hidrológicos em bacias hidrográficas. Entender o comportamento destes processos frente a estas mudanças é de fundamental importância para fins de planejamento e gestão dos recursos hídricos, principalmente, no que tange a disponibilidade hídrica. Este trabalho objetiva avaliar como as mudanças das variáveis climáticas (temperatura e precipitação) interferem na disponibilidade hídrica da bacia hidrográfica do Jurumirim (localizada na Alto Paranapanema) e discutir como o uso da terra futuro pode afetar ou ser afetado pela disponibilidade hídrica para fins de gestão de bacias. Para isso, foi utilizado o *software DinamicaEgo* para a cenarização futura do uso da terra (até 2100) e o modelo *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT) para as modelagens hidrológicas. As modelagens no SWAT contemplaram 4 modelos climáticos (Eta-BESM, Eta-Eta-CanESM2, Eta-HadGEM2-EM e Eta-Miroc5) e 2 cenários de emissões (RCP 4.5 e RCP 8.5), no intervalo de 1960 à 2099. As médias do período histórico (1960-1990) do modelo Eta-BESM (RCP4.5) foram utilizadas como base de comparação para os demais modelos e períodos (2010-2039 - próximo, 2040-2069 - médio e, 2070-2099 - distante). As transições de uso apontam aumentos de áreas da silvicultura e da urbanização e redução de pastagem, vegetação nativa e agricultura até o final do século. O modelo referência apresenta histórico de médias mensais de período chuvoso entre outubro e março e período de seca entre abril e setembro, com maiores vazões de dezembro a maio e as menores de junho a novembro. As projeções futuras sugerem aumento de temperatura e um aumento de precipitação nos meses mais secos e uma redução nos meses chuvosos, resultando em perda anual de precipitação na maioria dos casos. As questões climáticas influenciam mais na disponibilidade hídrica do que as mudanças no uso da terra, onde, as variáveis climáticas afetam a vazão com reduções no período chuvoso e aumentos no período de seca. De modo geral, os cenários RCP 8.5 tendem a possuir maiores perdas e menores ganhos em relação aos cenários RCP 4.5, indicando menor entrada de água no sistema hidrológico e maiores períodos de seca. Os dados Eta-BESM e Eta-HadGEM2-EM, que melhor representam a pluviosidade na região, apontam para reduções na disponibilidade hídrica, enquanto Eta-Miroc5 apresenta aumento. Reduções na disponibilidade hídrica evidencia possíveis conflitos para os usos múltiplos, podendo impactar negativamente a produção e preço de alimentos e de energia. Ressalta-se que o modelo ainda não foi calibrado, porém com os resultados já é possível entender a dinâmica e padrões de chuvas e temperaturas na região.

**Palavras-Chave:** Balanço hidrológico; modelagem hidrológica; SWAT; DinamicaEgo.

## ABSTRACT

Climate change, particularly changes in land use, make up the main factors that are relevant to changes in hydrological processes in river basins. Understanding the behavior of these processes in the face of these changes is of fundamental importance for the purposes of planning and managing water resources, especially with regard to water availability. This work aims to evaluate how changes in climate variations (temperature and variations) interfere with water availability in the Jurumirim hydrographic basin (located in Alto Paranapanema) and discuss how future land use can affect or be affected by water availability for management purposes. For this, the DinamicaEgo software was used for the future scenario of land use (until 2100) and the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) model for hydrological modeling. SWAT modeling included 4 climate models (Eta-BESM, Eta-Eta-CanESM2, Eta-HadGEM2-EM and Eta-Miroc5) and 2 emissions scenarios (RCP 4.5 and RCP 8.5), in the range from 1960 to 2099. averages from the historical period (1960-1990) of the Eta-BESM model (RCP4.5) were used as a basis for comparison for the other models and periods (2010-2039 - close, 2040-2069 - medium and, 2070-2099 - distant). Use transitions point to increases in forestry and urbanization areas and a reduction in pasture, native and agricultural land by the end of the century. The reference model presents a history of monthly averages for the rainy season between October and March and the dry season between April and September, with the highest flows from December to May and the lowest from June to November. Future forecasts suggest an increase in temperature and an increase in precipitation in the drier months and a reduction in the rainy months, resulting in a loss of annual occurrence in most cases. Climatic issues influence water availability more than changes in land use, where climate variables affect flow with reductions in the rainy season and increases in the dry season. In general, RCP 8.5 scenarios tend to have greater losses and smaller gains compared to RCP 4.5 scenarios, indicating less water input into the hydrological system and longer periods of drought. The Eta-BESM and Eta-HadGEM2-EM data, which best represent rainfall in the region, point to reductions in water availability, while Eta-Miroc5 shows an increase. Reductions in water availability highlight possible conflicts for multiple uses, which could negatively impact the production and price of food and energy. It should be noted that the model has not yet been calibrated, but with the results it is now possible to understand the dynamics and patterns of rainfall and temperatures in the region.

**Keywords:** Hydrological balance; hydrological modeling; SWAT; DinamicaEgo.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Base de dados para modelagens de projeções de uso da terra e disponibilidade hídrica. ....	24
Tabela 2: Transições de usos da terra, em hectares, do ano inicial para o final (1987-2017 e 2017-2100) na bacia do Jurumirim.....	71
Tabela 3: Variação da precipitação média (%) das predições climáticas do período próximo (2010-2039) nos cenários de emissões intermediárias (RCP 4.5) e altas (RCP 8.5) em relação a ao histórico (1963-1990).....	73
Tabela 4: Temperatura máxima média (°C) das predições climáticas do período próximo (2010-2039) nos cenários de emissões intermediárias (RCP 4.5) e altas (RCP 8.5) em relação a ao histórico (1963-1990). ....	74
Tabela 5: Temperatura mínima média (°C) das predições climáticas do período próximo (2010-2039) nos cenários de emissões intermediárias (RCP 4.5) e altas (RCP 8.5) em relação a ao histórico (1963-1990). ....	75
Tabela 6: Variação da precipitação média (%) das predições climáticas do período médio (2040-2069) nos cenários de emissões intermediárias (RCP 4.5) e altas (RCP 8.5) em relação a ao histórico (1963-1990). ....	76
Tabela 7: Temperatura máxima média (°C) das predições climáticas do período médio (2040-2069) nos cenários de emissões intermediárias (RCP 4.5) e altas (RCP 8.5) em relação a ao histórico (1963-1990). ....	77
Tabela 8: Temperatura mínima média (°C) das predições climáticas do período médio (2040-2069) nos cenários de emissões intermediárias (RCP 4.5) e altas (RCP 8.5) em relação a ao histórico (1963-1990). ....	78
Tabela 9: Variação da precipitação média (%) das predições climáticas do período distante (2070-2099) nos cenários de emissões intermediárias (RCP 4.5) e altas (RCP 8.5) em relação a ao histórico (1963-1990).....	79
Tabela 10: Temperatura máxima média (°C) das predições climáticas do período distante (2070-2099) nos cenários de emissões intermediárias (RCP 4.5) e altas (RCP 8.5) em relação a ao histórico (1963-1990). ....	80
Tabela 11: Temperatura mínima média (°C) das predições climáticas do período distante (2070-2099) nos cenários de emissões intermediárias (RCP 4.5) e altas (RCP 8.5) em relação a ao histórico (1963-1990). ....	81
Tabela 12: Variação por sub-bacia da precipitação média (%) dos meses chuvosos (Dezembro, Janeiro e Fevereiro) das predições climáticas do período próximo (2010-2039) nos cenários de emissões intermediárias (RCP 4.5) e altas (RCP 8.5) em relação a ao histórico (1963-1990).....	82
Tabela 13: Temperatura máxima média (°C), por sub-bacia, dos meses chuvosos (Dezembro, Janeiro e Fevereiro) das predições climáticas do período próximo (2010-2039) nos cenários de emissões intermediárias (RCP 4.5) e altas (RCP 8.5) em relação a ao histórico (1963-1990).....	83
Tabela 14: Variação por sub-bacia da precipitação média (%) dos meses chuvosos (Dezembro, Janeiro e Fevereiro) das predições climáticas do período médio (2040-2069) nos cenários de emissões intermediárias (RCP 4.5) e altas (RCP 8.5) em relação a ao histórico (1963-1990).....	84
Tabela 15: Temperatura máxima média (°C), por sub-bacia, dos meses chuvosos (Dezembro, Janeiro e Fevereiro) das predições climáticas do período médio (2040-2069) nos cenários de emissões intermediárias (RCP 4.5) e altas (RCP 8.5) em relação a ao histórico (1963-1990).....	85
Tabela 16: Variação por sub-bacia da precipitação média (%) dos meses chuvosos (Dezembro, Janeiro e Fevereiro) das predições climáticas do período distante (2070-2099) nos cenários de emissões intermediárias (RCP 4.5) e altas (RCP 8.5) em relação a ao histórico (1963-1990).....	86



Tabela 17: Temperatura máxima média (°C), por sub-bacia, dos meses chuvosos (Dezembro, Janeiro e Fevereiro) das predições climáticas do período distante (2070-2099) nos cenários de emissões intermediárias (RCP 4.5) e altas (RCP 8.5) em relação a ao histórico (1963-1990).....	87
Tabela 18: Variação por sub-bacia da precipitação média (%) dos meses de seca (Maio, Junho e Julho) das predições climáticas do período próximo (2010-2039) nos cenários de emissões intermediárias (RCP 4.5) e altas (RCP 8.5) em relação a ao histórico (1963-1990).....	88
Tabela 19: Temperatura mínima média (°C), por sub-bacia, dos meses de seca (Maio, Junho e Julho) das predições climáticas do período próximo (2010-2039) nos cenários de emissões intermediárias (RCP 4.5) e altas (RCP 8.5) em relação a ao histórico (1963-1990).....	89
Tabela 20: Variação por sub-bacia da precipitação média (%) dos meses de seca (Maio, Junho e Julho) das predições climáticas do período médio (2040-2069) nos cenários de emissões intermediárias (RCP 4.5) e altas (RCP 8.5) em relação a ao histórico (1963-1990). ....	90
Tabela 21: Temperatura mínima média (°C), por sub-bacia, dos meses de seca (Maio, Junho e Julho) das predições climáticas do período médio (2040-2069) nos cenários de emissões intermediárias (RCP 4.5) e altas (RCP 8.5) em relação a ao histórico (1963-1990). ....	91
Tabela 22: Variação por sub-bacia da precipitação média (%) dos meses de seca (Maio, Junho e Julho) das predições climáticas do período distante (2070-2099) nos cenários de emissões intermediárias (RCP 4.5) e altas (RCP 8.5) em relação a ao histórico (1963-1990).....	92
Tabela 23: Temperatura mínima média (°C), por sub-bacia, dos meses de seca (Maio, Junho e Julho) das predições climáticas do período distante (2070-2099) nos cenários de emissões intermediárias (RCP 4.5) e altas (RCP 8.5) em relação a ao histórico (1963-1990).....	93
Tabela 24: Variação da vazão média (%) das predições climáticas do período próximo (2010-2039) nos cenários de emissões intermediárias (RCP 4.5) e altas (RCP 8.5) em relação a ao histórico (1963-1990). ....	94
Tabela 25: Variação da vazão média (%) das predições climáticas com uso da terra de 2017 do período próximo (2010-2039) nos cenários de emissões intermediárias (RCP 4.5) e altas (RCP 8.5) em relação a ao histórico (1963-1990). ....	95
Tabela 26: Variação da vazão média (%) das predições climáticas com uso da terra de 2100 do período próximo (2010-2039) nos cenários de emissões intermediárias (RCP 4.5) e altas (RCP 8.5) em relação a ao histórico (1963-1990). ....	96
Tabela 27: Variação da vazão média (%) das predições climáticas do período médio (2040-2069) nos cenários de emissões intermediárias (RCP 4.5) e altas (RCP 8.5) em relação a ao histórico (1963-1990). ....	97
Tabela 28: Variação da vazão média (%) das predições climáticas com uso da terra de 2017 do período médio (2040-2069) nos cenários de emissões intermediárias (RCP 4.5) e altas (RCP 8.5) em relação a ao histórico (1963-1990). ....	98
Tabela 29: Variação da vazão média (%) das predições climáticas com uso da terra de 2100 do período médio (2040-2069) nos cenários de emissões intermediárias (RCP 4.5) e altas (RCP 8.5) em relação a ao histórico (1963-1990). ....	99
Tabela 30: Variação da vazão média (%) das predições climáticas do período distante (2070-2099) nos cenários de emissões intermediárias (RCP 4.5) e altas (RCP 8.5) em relação a ao histórico (1963-1990). ....	100
Tabela 31: Variação da vazão média (%) das predições climáticas e uso da terra de 2017 do período distante (2070-2099) nos cenários de emissões intermediárias (RCP 4.5) e altas (RCP 8.5) em relação a ao histórico (1963-1990). ....	101
Tabela 32: Variação da vazão média (%) das predições climáticas e uso da terra de 2017 do período distante (2070-2099) nos cenários de emissões intermediárias (RCP 4.5) e altas (RCP 8.5) em relação a ao histórico (1963-1990). ....	102

Tabela 33: Variação por sub-bacia da vazão média (%) do período próximo (2010-2039) nos cenários de emissões intermediárias (RCP 4.5) e altas (RCP 8.5) em relação a ao histórico (1963-1990).....	103
Tabela 34: Variação por sub-bacia da vazão média (%) do período próximo (2010-2039) para modelagens com previsões climáticas e uso da terra de 2017, nos cenários de emissões intermediárias (RCP 4.5) e altas (RCP 8.5) em relação a ao histórico (1963-1990).....	104
Tabela 35: Variação por sub-bacia da vazão média (%) do período próximo (2010-2039) para modelagens com previsões climáticas e uso da terra de 2100, nos cenários de emissões intermediárias (RCP 4.5) e altas (RCP 8.5) em relação a ao histórico (1963-1990).....	105
Tabela 36: Variação por sub-bacia da vazão média (%) do período médio (2040-2069) nos cenários de emissões intermediárias (RCP 4.5) e altas (RCP 8.5) em relação a ao histórico (1963-1990). ....	106
Tabela 37: Variação por sub-bacia da vazão média (%) do período médio (2040-2069) para modelagens com previsões climáticas e uso da terra de 2017, nos cenários de emissões intermediárias (RCP 4.5) e altas (RCP 8.5) em relação a ao histórico (1963-1990).....	107
Tabela 38: Variação por sub-bacia da vazão média (%) do período médio (2040-2069) para modelagens com previsões climáticas e uso da terra de 2100, nos cenários de emissões intermediárias (RCP 4.5) e altas (RCP 8.5) em relação a ao histórico (1963-1990).....	108
Tabela 39: Variação por sub-bacia da vazão média (%) do período médio (2040-2069) nos cenários de emissões intermediárias (RCP 4.5) e altas (RCP 8.5) em relação a ao histórico (1963-1990). ....	109
Tabela 40: Variação por sub-bacia da vazão média (%) do período distante (2070-2100) para modelagens com previsões climáticas e uso da terra de 2017, nos cenários de emissões intermediárias (RCP 4.5) e altas (RCP 8.5) em relação a ao histórico (1963-1990).....	110
Tabela 41: Variação por sub-bacia da vazão média (%) do período distante (2070-2100) para modelagens com previsões climáticas e uso da terra de 2100, nos cenários de emissões intermediárias (RCP 4.5) e altas (RCP 8.5) em relação a ao histórico (1963-1990).....	111

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Representação dos processos hidrológicos de uma bacia hidrográfica.....	18
Figura 2: Localização da área de estudos delimitada a partir da represa do Jurumirim, dividida por sub-bacias. ....	21
Figura 3: Distribuição de pivôs centrais em 1985 e 2022 na bacia. ....	22
Figura 4: Processamento de correção dos usos da terra. ....	23
Figura 5: Metodologia de projeções de uso da terra.....	28
Figura 6: Dados de entrada do modelo SWAT: (a) Rede de drenagem obtida pelo modelo SWAT e mapas de entrada de (b) declividade, (c ) uso da terra (ano 2017), (d) pedologia, (e) localização das estações climatológicas das projeções de mudanças climáticas.....	28
Figura 7: Localização das estações fluviométricas que representam os exutórios das sub-bacias. ....	29
Figura 8: Metodologia SWAT.....	31
Figura 9: Índice de similaridade entre os mapas de projeções de uso da terra.....	32
Figura 10: Evolução do uso da terra na bacia do Jurumirim até 2100. ....	33
Figura 11: Distribuição anual da precipitação média (1963-1990). ....	34
Figura 12: Distribuição mensal da precipitação (em mm) em relação ao histórico segundo cada modelo, cenário e período. ....	35
Figura 13: Distribuição mensal da precipitação (em mm) em relação ao histórico segundo cada modelo, cenário e período. ....	37
Figura 14: Variação anual de precipitação de acordo com cada modelo. ....	38
Figura 15: Distribuição espacial da (a) precipitação e (b) temperatura máximas nos meses chuvosos e temperaturas mínima nos meses secos do modelo Eta-BESM. ....	40
Figura 16: Distribuição espacial da (a) precipitação e (b) temperatura máximas nos meses chuvosos e temperaturas mínima nos meses secos do modelo Eta-CanESM2. ....	41
Figura 17: Distribuição espacial da (a) precipitação e (b) temperatura máximas nos meses chuvosos e temperaturas mínima nos meses secos do modelo Eta-HadGEM2-EM. ....	42
Figura 18: Distribuição espacial da (a) precipitação e (b) temperatura máximas nos meses chuvosos e temperaturas mínima nos meses secos do modelo Eta-Miroc5. ....	43
Figura 19: Distribuição de precipitação e vazão ao longo do ano hidrológico (1960-1990). ..	44
Figura 20: Variações mensais de vazão em relação ao histórico, segundo cada modelo e cenário. ....	45
Figura 21: Variação média anual de vazão.....	46
Figura 22: Distribuição média anual das projeções de vazão.....	47
Figura 23: Variações mensais de vazão, segundo cada modelo e cenário em três períodos de tempo (próximo – 2010-2039, médio - 2040-2069 e distante 2070-2099), das modelagens com uso da terra (2017 e 2100) em relação às modelagens sem uso da terra. ....	50
Figura 24: Variação média anual por sub-bacia considerando os diferentes usos da terra de 2017 e 2100. ....	51

## SUMÁRIO

1. Introdução Geral.....	11
2. Referencial Teórico .....	13
2.1. Mudanças de uso da terra e ciclo hidrológico .....	13
2.2. Projeções Climáticas e modelos climáticos.....	14
2.3 Modelagem Hidrológica e SWAT.....	16
3. Objetivo.....	20
3.1. Objetivos específicos.....	20
4. Materiais e Métodos .....	20
4.1. Área de Estudos.....	20
4.2. Métodos.....	23
4.2.1. Modelagens de Uso e Cobertura da Terra .....	23
4.2.2. Modelagens Hidrológicas.....	28
5. Resultados .....	31
5.1. Transição do uso da terra .....	31
5.2. Modelagem Climática .....	33
5.2.1. Precipitação e Temperatura.....	33
5.3. Vazão.....	44
6. Discussão.....	51
7. Limitações e Considerações Finais .....	55
8. Referências.....	57
Anexo I.....	71
Anexo II .....	73
Anexo III .....	76
Anexo IV .....	79
Anexo V .....	82
Anexo VI.....	84
Anexo VII.....	86
Anexo VIII .....	88
Anexo IX.....	90
Anexo X .....	92
Anexo XI.....	94
Anexo XII.....	97
Anexo XIII .....	100
Anexo XIV.....	103

Anexo XV .....	106
Anexo XVI.....	109

## 1. Introdução Geral

As mudanças climáticas têm causado uma série de impactos econômicos, afetando diversos setores da economia, como por exemplo, a agropecuária, causando preocupações relacionadas à produção de alimentos e a segurança alimentar (Abbass *et al.*, 2022). Além disso, a agropecuária é também a maior responsável pela conversão de ambientes naturais em antropizados, diretamente ameaçando a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos (Foley *et al.*, 2011a). Conjuntamente, a conversão de terras e as mudanças climáticas, compreendem o maior desafio da atualidade, influenciando na discussão em como alimentar a crescente população humana de maneira sustentável (Foley, 2011b; Bradshaw *et al.*, 2021). Ademais, as mudanças no uso da terra, associadas a características físicas do solo e da paisagem, impactam diretamente os regimes de infiltração de água no solo (comprometendo a recarga de águas subterrâneas), de evapotranspiração e escoamento superficial (Perazzoli *et al.* 2013; Tambosi *et al.*, 2015), afetando os processos hidrológicos, com impacto direto nos ecossistemas aquáticos e na disponibilidade hídrica (Lin *et al.*, 2007; Wang *et al.*, 2014; Gashaw *et al.*, 2018), outra grave crise do século XXI (Mancosu *et al.*, 2015).

Segundo o VI Relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), aproximadamente, 23% das emissões globais de efeito estufa provém da agropecuária, silvicultura e outros usos do solo, além disso, 44% das emissões atuais de metano são provenientes da agropecuária, destruição de turfeiras e outras fontes ligadas ao uso da terra (IPCC, 2020). O aumento da concentração de GEE na atmosfera, intensifica o fenômeno do efeito estufa, aumentando a temperatura média do planeta e modificando os ciclos biogeoquímicos, como o ciclo hidrológico, por exemplo (Trenberth, 1999; Pfahl *et al.*, 2017; Ayugi *et al.*, 2022). As projeções sugerem um aumento médio global da temperatura entre 1,4 e 5,7 ° C, até 2100, e quase todas as regiões do mundo sofrerão impactos negativos em seus recursos hídricos decorrentes das mudanças climáticas (IPCC 2021). Segundo Almazroui *et al.*, (2021), a América do Sul sofrerá impactos em relação a sua temperatura média até o final do século, que variam de acordo com a região devido às diferenças latitudinais e características físicas, podendo ter aumentos de 3°C à até 5,4° C (cenário SSP585, CMIP6) com impacto direto nos padrões de precipitação e variação na frequência e distribuição de eventos extremos, ou seja, de inundações e secas prolongadas (Marengo *et al.*, 2007; Mango *et al.*, 2011; Remondi, Burlando e Vollmer, 2016). Os eventos extremos são grandes desafios para os tomadores de decisão no que diz respeito ao gerenciamento dos recursos hídricos, uma vez que interfere

diretamente na disponibilidade hídrica da região (Qiu, Shen e Xie, 2023), comprometendo a geração de hidroeletricidade (Zhao *et al.*, 2023), e a produção de alimentos (Mirón, Linares e Diaz, 2023) por exemplo.

Por outro lado, a intensificação sustentável da agricultura é tida como a saída para aumentar a produção de alimentos, diminuindo novas conversões de áreas naturais (Tilman *et al.*, 2011). Contudo, a agricultura intensificada é largamente baseada na irrigação, que atualmente já contribui com cerca de 40% da produção global de alimentos (FAO, 2017), com previsão de aumento de 20% até 2030, especialmente nos países em desenvolvimento (Darko *et al.*, 2016). Diversos estudos preveem um impacto direto das mudanças climáticas nos modos de produção agrícola atuais (Springmann *et al.*, 2016; Zhang, ZhanG e Chen, 2017; Ortiz-Bobera *et al.*, 2021), incluindo locais onde as formas de produção conduzidas nas décadas passadas já não são mais possíveis, como na Califórnia e ao redor do Mar do Aral, devido à alta demanda por irrigação, e a diminuição no fluxo hídrico que compromete a disponibilidade hídrica para a irrigação (Qadir *et al.*, 2009; Pathak *et al.*, 2018).

Dessa forma, é de suma importância avaliar e quantificar os impactos das mudanças climáticas na disponibilidade hídrica e entender a potencial transição do uso da terra, com vistas à conservação e alocação racional dos recursos hídricos. A bacia do Alto Paranapanema, é uma região fundamental para a realização deste estudo, uma vez que é palco de uma rápida expansão da agricultura intensificada de grãos e derivados de madeiras (IBGE, 2017), sendo ainda um importante polo de expansão da agricultura irrigada no estado de São Paulo (ANA, 2019) e já apresenta sinais de conflitos entre diferentes usos da água (De Oliveira Tiezzi *et al.*, 2018).

## 2. Referencial Teórico

### 2.1. Mudanças de uso da terra e ciclo hidrológico

O aumento da população humana e a necessidade de maximizar produções agrícolas vem alterando paisagens em todo o mundo, especialmente, pela substituição de vegetação nativa por campos agrícolas e pastagens. Estudos globais revelam que entre 1700 e 1990, houve um expressivo aumento na agricultura (3-4 para 15-18 milhões de km<sup>2</sup>) e na pastagem (5 para 31 milhões de km<sup>2</sup>), por outro lado, as florestas passaram de 53 milhões Km<sup>2</sup> para 43-44 milhões Km<sup>2</sup> resultando em campos de produção cada vez maiores e áreas nativas menores e fragmentadas (Ramankutty e Foley, 1999; Goldewijk, 2001; Goldewijk e Ramankutty, 2003). Segundo a FAO (2020), entre o período de 1990 e 2020, o mundo perdeu cerca de 1,78 milhões km<sup>2</sup> em cobertura florestal. A maioria deste prejuízo ocorreu nas regiões tropicais, sobretudo, na África, na Ásia e na América do Sul, onde um dos países em destaque é o Brasil (FAO, 2018, FAO, 2020). No caso das pastagens, o Brasil é o maior exportador de carne bovina do mundo (USDA, 2021) e o setor continua em crescimento (EMBRAPA, 2020). Entretanto, segundo De Almeida Olivette *et al.*, (2011), até 2030, a pastagem no estado de São Paulo reduzirá de 12,5% a 37,5% (em relação à área de 2008) cedendo espaço para a cana-de-açúcar e para a silvicultura. Panorama similar ao observado no restante do país, onde os últimos censos do IBGE mostram que as pastagens reduziram no país, sendo que a região sudeste do país foi a que sofreu maiores perdas de pastagens (32%). Além disso, mais da metade das pastagens brasileiras estão degradadas, associadas à compactação e a falta de nutrientes do solo (De Oliveira Silva *et al.*, 2017, Do Valle Junior *et al.*, 2019), e o manejo e recuperação correta destas áreas podem auxiliar no aumento da produtividade e na redução de emissões de CO<sub>2</sub> (Weindl *et al.*, 2017, Batista *et al.*, 2019, EMBRAPA, 2020).

Atualmente, os campos agrícolas cobrem cerca de 38% da cobertura terrestre em todo o planeta e as projeções apontam ainda para um aumento de 70 a 100% na demanda de alimentos até 2050 (Tilman *et al.*, 2011; Kastner *et al.*, 2012). Segundo as estimativas de Zabel *et al.*, (2019), até 2030 haverá uma expansão da agricultura em 7,3 milhões de km<sup>2</sup> em todo mundo, especialmente, nas Américas Central e do Sul (+146%) e na Austrália/Nova Zelândia (+78%). Esta expansão afetará pontos críticos de biodiversidade, incluindo a parte ocidental da Bacia Amazônica e a Mata Atlântica, as florestas e savanas da África Central e Madagascar, partes da África do Sul, leste da Austrália e grandes porções do Sudeste Asiático. Já a intensificação ocorrerá mais na África Subsaariana (+ 78%), Índia (+68%) e na Antiga União



Soviética (+ 63%). Uma das soluções mais pautadas para a intensificação do uso da terra é o aumento de insumos agrícola, tais como expansão da irrigação, fertilizantes e transgênicos (Rosa *et al.*, 2020; Gerten *et al.*, 2020; Beltran-Penã, Rosa e D'Odorico, 2020).

Um estudo da WWF (2013) aponta que serão necessários mais 250 milhões de hectares de florestas plantadas até 2050 para atender a demanda mundial de biocombustíveis. O Brasil é um dos maiores exportadores de celulose do planeta, abastecendo 13,2% do mercado mundial (IBA, 2021; FAO, 2021). Segundo o Plano Nacional de Desenvolvimento de Florestas, o país tem metas de aumento de 20% até 2030 das áreas de florestas plantadas. Destaca-se ainda que a bacia do Alto Paranapanema apresenta um dos maiores índices de produtos provenientes da silvicultura do estado de São Paulo (IBGE, 2021). Devido à competição de áreas de florestas plantadas com campos agrícolas, esse aumento se dará inicialmente em áreas marginais para a agricultura e em pequenas propriedades, e pelo aprimoramento de tecnologias que resultem no aumento de produtividade. Adicionalmente, o manejo sustentável de florestas plantadas é uma estratégia para a redução de gás carbônico na atmosfera (Payn, 2015, Carle; Duval e Ashford, 2020, Rosa *et al.*, 2020; Gerten *et al.*, 2020; Beltran-Penã, Rosa e D'Odorico, 2020).

Segundo o WWF (2015) até 170 milhões de hectares de florestas nativas podem ser perdidas até 2030, sendo mais de 80% destas perdas situadas em 11 regiões, dentre elas a Amazônia, o Cerrado e a Mata Atlântica. Segundo o mesmo estudo, serão 230 milhões de hectares de florestas perdidas até 2050 e as principais pressões são a expansão agrícola da silvicultura e abertura de estradas.

## **2.2. Projeções Climáticas e modelos climáticos**

O IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas) é um órgão científico criado em 1988 pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) e pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA). Seu objetivo é fornecer avaliações objetivas e atualizadas do conhecimento científico relacionado às mudanças climáticas, seus impactos e potenciais estratégias de mitigação e adaptação.

O IPCC publica relatórios periódicos que sintetizam as mais recentes pesquisas climáticas e suas implicações. Os relatórios compilam informações das mudanças climáticas e seus impactos e quais são os meios de mitigação e estratégias para reduzir os impactos negativos. Para isso, o IPCC cria cenários futuros baseados em diferentes trajetórias de

emissões de gases de efeito estufa e outras influências humanas. O IPCC desenvolveu diferentes séries de cenários ao longo do tempo, conhecidos como "Cenários de Emissões Representativos" (*Representative Concentration Pathways* - RCPs).

O 5º Relatório do IPCC (2013) introduziu os cenários RCPs como representações possíveis das emissões futuras de GEE baseada em um conjunto de suposições em relação a demografia, desenvolvimento socioeconômico e mudanças tecnológicas. Os principais cenários RCPs são: RCP 2.6 (Baixas emissões), RCPs 4.5 e 6.0 (estabilização de médias emissões de GEE) e o RCP 8.5 (altas emissões) baseados na alteração no balanço de radiação no sistema terrestre em relação ao aumento de emissões de GEE. Atualmente, o relatório encontra-se na sua sexta edição (IPCC, 2023).

Os relatórios do IPCC são baseados em modelos globais, que são modelos que possuem escalas na ordem de 400 km x 400 km a 200 km x 200 km. Algumas das previsões climáticas utilizando as cenarizações do IPCC foram realizadas por quatro modelos globais do *Coupled Model Intercomparison Project Phase 5* (CMIP5), sendo eles:

- *BESM (Brazilian Earth System Model)*: É um modelo desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e possui 28 níveis de atmosfera terrestre e 50 níveis de atmosfera oceânica, utilizando 12 diferentes tipos de vegetações, interações radioativas de ondas curtas e longas e sistema convectivo de nuvens. Utilização resolução espacial da ordem de 0,25 a 2 graus latitude e 1 grau em longitude (Veiga *et al.*, 2019).
- *CanESM2 (Canadian Earth System Model, versão 2)*: modelo acoplado de interação oceânica e terrestre. Utiliza componentes de ciclo de carbono, composto por 9 tipos de vegetações em 3 sistemas vegetativos e 2 de matéria orgânica morta (Chylek *et al.*, 2011).
- *HadGEM2-EM (Hadley Centre Global Environmental Model)*: modelo com resolução espacial de 1.875 graus em longitude e 1.275 em latitude terrestre, utiliza ciclo de carbono com 5 tipos de vegetação e interação atmosférica em 38 níveis. Possui modelo de química atmosférica com aerossóis (Collins *et al.*, 2011).
- *Miroc5 (Model for Interdisciplinary Research on Climate, versão 5)*: modelo desenvolvido no Japão, que utiliza microfísica de nuvens acoplado com modelo de aerossóis, representação de dinâmica de gelo oceânico. Na superfície utiliza efeitos do albedo em neve e espelhos d'água. Com dinâmica vertical em 40 níveis terrestres e 50

níveis oceânicos, em resolução espacial de aproximadamente 150 km na cobertura terrestre e 1 grau no oceano (Watanabe *et al.*, 2010).

Todo modelo climático possui incertezas, e quanto maior é a escala, maiores são estes desvios. Para minimizar este problema, é comum se fazer a regionalização dos modelos globais, forçando a redução de sua escala, e transformando-os em modelos regionais, da ordem de 50 x 50 km a 5 x 5 km (Chou *et al.*, 2014a). Para a regionalização dos modelos globais na América do Sul, é utilizado o Modelo Eta (Pequero *et al.*, 2010; Chou *et al.*, 2012). Este modelo utiliza dinâmica anual do ciclo de vegetação, microfísica de nuvens, esquema convectivo de nuvens e balanço de ondas curtas e longas em concentração constante de CO<sub>2</sub> (Chou *et al.*, 2014a, 2014b). Neste caso o modelo Eta usa uma resolução vertical em 38 níveis e espacial em 20 km. Nestes casos para diferenciar os resultados dos modelos globais para suas regionalizações, no caso do Brasil a regionalização pelo Eta, os modelos recebem uma nomenclatura diferenciada após o *downscaling*, sendo nomeados de Eta-BESM, Eta-Miroc5, Eta-HadGEM2-EM e Eta-CanESM2, que caracteriza que são as regionalizações de cada um dos GCMs realizada pelo modelo brasileiro Eta.

### 2.3 Modelagem Hidrológica e SWAT

O modelo hidrológico SWAT, *Soil and Water Assessment Tool* é amplamente utilizado para simular os processos hidrológicos em bacias hidrográficas (Douglas-Mankin *et al.*, 2010; Wang *et al.*, 2019; Marin *et al.*, 2020; Costa Lins, *et al.*, 2021; Janjic e Tadic, 2023). Ele integra informações sobre topografia, uso da terra, características do solo, clima e gestão da água, permitindo a avaliação dos efeitos das mudanças climáticas e do uso da terra na disponibilidade hídrica. O SWAT simula a distribuição espacial e temporal das variáveis hidrológicas, como escoamento superficial, escoamento subterrâneo, evapotranspiração e sedimentação, auxiliando na análise dos impactos desses fatores (Neitsch *et al.*, 2011).

O modelo SWAT é baseado na equação global do balanço hídrico que relaciona as entradas e saídas de água do sistema, simulando os componentes de ciclo da água como escoamentos superficiais e subterrâneos, evapotranspiração, infiltração, percolação e umidade do solo (Neitsch *et al.*, 2011), como mostrado abaixo:

$$SWt = SWo + \sum_{t_i=1}^i (Rday - Qsurf - Ea - Wseep - Qgw)$$

Onde:  $SW_t$  é a quantidade final de água no solo (mm) após o tempo  $t$  (dias),  $SW_0$  é a quantidade inicial de água no solo no dia  $i$  (mm),  $R_{day}$  representa a precipitação no dia  $i$  (mm),  $Q_{surf}$  é o escoamento superficial no dia  $i$  (mm),  $E_a$  é a evapotranspiração no dia  $i$  (mm),  $W_{seep}$  é a quantidade de água que percola no solo (mm) e  $Q_{gw}$  representa o escoamento subsuperficial no dia  $i$  (mm).

O escoamento superficial será calculado através do método da Curva Número, que é o padrão do modelo SWAT.

$$Q_{surf} = \frac{(R - Ia)^2}{(R - Ia + S)}$$

Onde:  $Q_{surf}$  é o escoamento acumulado ou excesso de chuva (mm);  $R$  é a precipitação (mm);  $Ia$  é a abstração inicial (armazenamento superficial, interceptação, infiltração – mm) e  $S$  é o parâmetro de retenção, que varia no tempo e no espaço, de acordo com as características de uso, relevo e conteúdo de água no solo.  $S$  é calculado da seguinte maneira:

$$S = 25,4 (1000CN) - 10$$

Onde  $CN$  é a curva número para o dia.

No modelo, a evapotranspiração potencial pode ser calculada a partir de 3 métodos distintos a ser definido pelo usuário: Hargreaves, Priestley-Taylor ou Penman-Monteith . Como neste trabalho será utilizado o método de Penman-Monteith (default), este será descrito abaixo:

$$ETP = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T_a + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)}$$

Onde,  $R_n$  é o saldo de radiação ( $Mj/m^2 \cdot dia^{-1}$ );  $G$  é o fluxo de calor no solo ( $Mj \cdot m^{-2} \cdot dia^{-1}$ );  $T_a$  Temperatura média do ar ( $^{\circ}C$ );  $u_2$  é a velocidade média diária do vento a 2m de altura,  $e_s$  é a pressão de saturação média diária (kPa);  $e_a$  é a pressão atual de vapor média diária (kPa);  $\Delta$  é a declividade da curva de pressão de vapor e  $\gamma$  é a constante psicrométrica ( $kPa/^{\circ}C$ ).

O modelo define que as entradas de água no ciclo (por exemplo, precipitação) podem ter diversas rotas, conforme mostrado na Figura 1. A quantidade de água no solo pode se localizar em quatro componentes principais: reservatórios superficiais, subsuperficiais, subterrâneos rasos (ou livres) e profundos. A contribuição para o canal é proveniente do

escoamento superficial, escoamento lateral pelo perfil do solo e do escoamento de retorno dos reservatórios subterrâneos rasos.

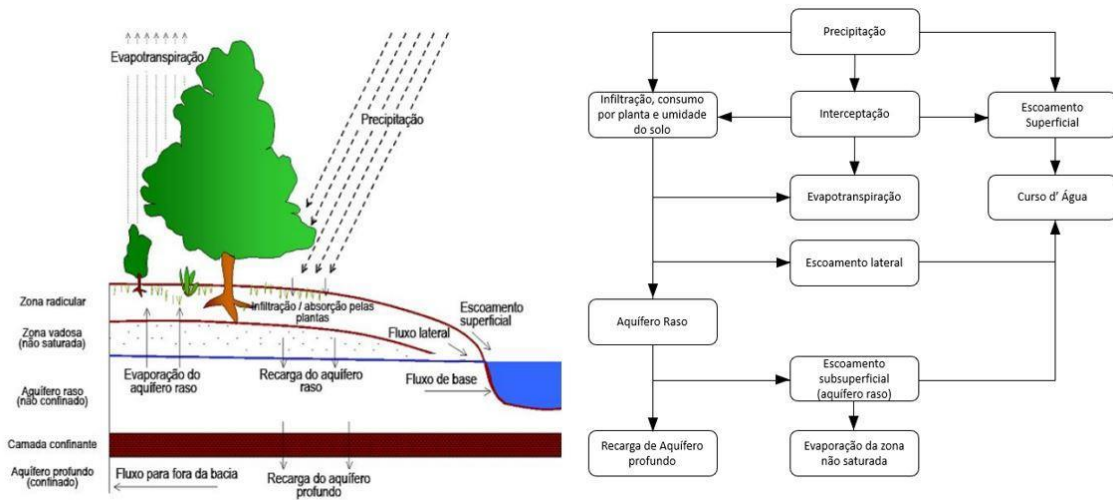


Figura 1: Representação dos processos hidrológicos de uma bacia hidrográfica. Fonte: Neitsch *et al.*, (2011), adaptado.

O modelo divide a área de estudo em unidades menores, conhecidas como Unidades de Resposta Hidrológicas (URH), representadas pela combinação entre tipo de solo, uso da terra e declividade. O balanço hidrológico é calculado em cada URH e a média ponderada entre todas as URH da área de estudo compõe os resultados dos processos hidrológicos finais (ARNOLD *et al.*, 1998).

A calibração do modelo é necessária para se ajustar a saída de dados de forma que os valores simulados se aproximem dos valores já observados. Já a validação compara estes valores simulados e observados com outro conjunto de dados para avaliar a adequação do modelo ao entendimento dos fenômenos ocorridos na bacia (ARNOLD *et al.*, 2012). O processo de calibração pode ser feito de modo manual no próprio SWAT (Van Griensven and Bauwens, 2003; Van Liew *et al.*, 2005) ou pelo SWAT-CUP que é o programa de calibração e incerteza do próprio SWAT. A calibração no SWAT-CUP pode ser feita através de vários algoritmos como o ajuste de incerteza sequencial (SUFI-2), a estimativa de incerteza de probabilidade generalizada (GLUE), solução de parâmetro (ParaSol), cadeia de Markov Monte Claro (MSMC) e orimização de partículas (PSO). Um dos mais usados é o SUFI-2 pois realiza

parametrização, análise de sensibilidade, calibração, validação e análise de incerteza de parâmetros hidrológicos (Abbaspour et al., 2007)

Para avaliar o ajuste de calibração, é utilizado o Coeficiente de Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE) e o coeficiente de PBIAS calculados a partir das vazões observadas ( $Q_{obs}$ ), simuladas ( $Q_{sim}$ ) e médias ( $\bar{Q}$ ), como mostrado abaixo:

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{obs} - Q_{sim})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{obs} - \bar{Q})^2}$$

$$PBIAS = 100 \times \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{obs} - Q_{sim})}{\sum_{i=1}^n Q_{obs}}$$

Onde: NSE varia de  $-\infty$  à 1, sendo que 1 significa que o modelo é o ideal, e os valores acima de 0,36 são satisfatórios. Já o coeficiente de PBIAS mede a tendência média do fluxo simulado estar superestimado ou subestimado em relação ao fluxo observado e quanto mais próximo de 0, melhor é o ajuste da simulação.

### **3. Objetivo**

Avaliar a influência das mudanças dos padrões de temperatura e precipitação e mudanças do uso da terra na disponibilidade hídrica na bacia hidrográfica do Alto Paranapanema para fins de gestão hídrica.

#### **3.1. Objetivos específicos**

- Realizar cenários de uso da terra até 2100;
- Verificar as variações de precipitação e temperaturas influenciadas pelas mudanças das variáveis climáticas na região de estudo baseadas nos dados do RCP 4.5 e RCP 8.5 de quatro modelos climáticos ((*Brazilian Earth System Model – Eta-BESM*, *Canadian Earth System Model - Eta-CanESM2*, *Hadley Centre Global Environmental Model - Eta-HadGEM2-EM* ou *Model for Interdisciplinary Research on Climate - Eta-Miroc5*);
- Realizar modelagem hidrológica na região para avaliar alterações na disponibilidade hídrica frente às predições de mudanças climáticas e de uso da terra.

### **4. Materiais e Métodos**

#### **4.1. Área de Estudos**

O estudo foi realizado na bacia hidrográfica delimitada à partir da barragem de Jurumirim, totalmente inserida dentro dos limites da Unidade de Gerenciamento dos Recursos Hídricos do Alto do Paranapanema (UGRHI-14), ocupando uma área de 17.876 km<sup>2</sup>, o que equivale a cerca de 80% da área da UGRHI-14. A região de estudo encontra-se localizada no sudoeste paulista, entre as coordenadas 23° 00' e 24°23' S e 49°25' e 47°22' O (Figura 2). O clima da região, segundo Köppen (1948) é predominantemente CWa, com temperaturas médias mensais entre 18°C a 22°C, chovendo cerca de 1.200 mm/ano, exceto na Serra de Paranapiacaba onde chove cerca de 1.800 mm/ano (CBH-ALPA, 2018). A chuva é sazonalmente distribuída, sendo os meses mais chuvosos entre setembro e março e de abril a agosto os mais secos (Minuzzi *et al.*, 2007).

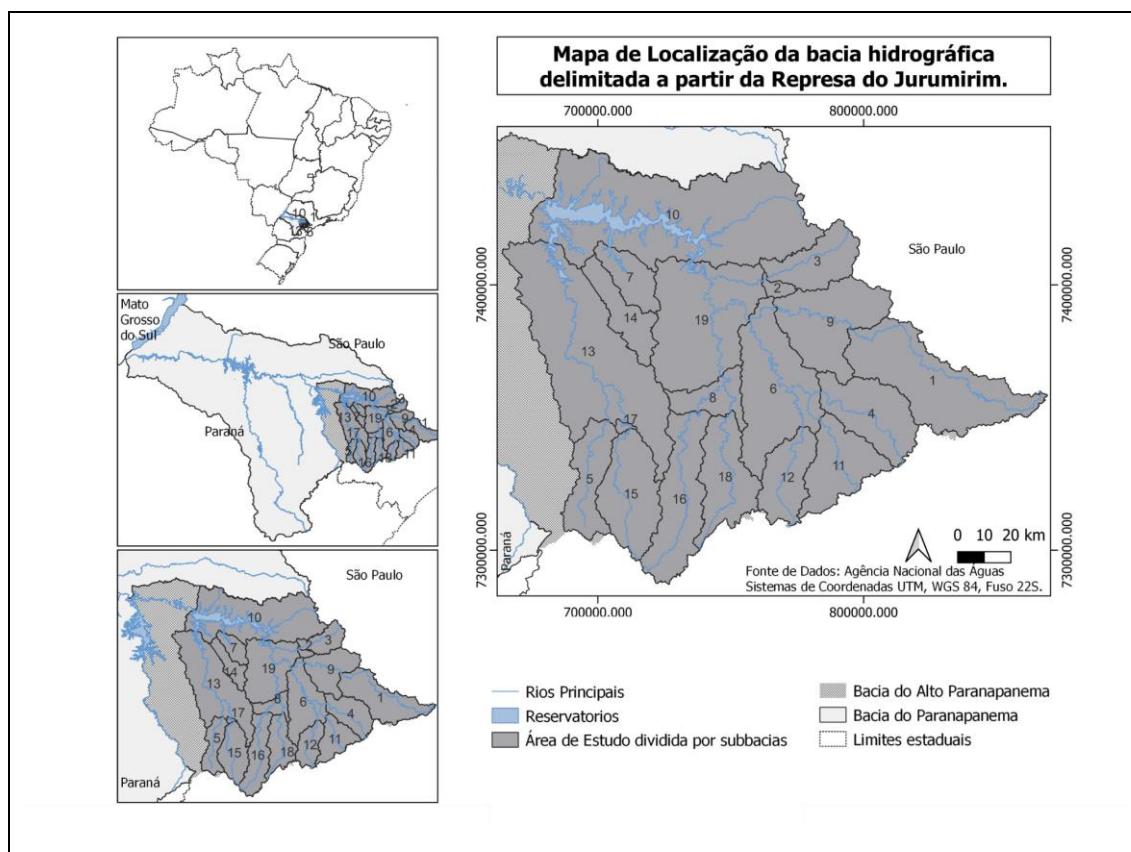


Figura 2: Localização da área de estudos delimitada a partir da represa do Jurumirim, dividida por sub-bacias.

A região tem sua economia baseada especialmente na agropecuária e silvicultura, principalmente no cultivo de grãos como soja, milho, trigo e feijão e na criação de gado leiteiro e de corte (SEADE, 2014, IBGE, 2017). A área possui municípios referência na produção de grãos, como por exemplo, Capão Bonito, Itapeva e Itararé (Secretaria de Agricultura e do Abastecimento, 2017; ARESPI, 2017), e é um dos principais eixos de expansão agrícola irrigada do estado de São Paulo (ANA, 2019).

A vegetação nativa da área de estudo é composta por espécies de dois biomas, Mata Atlântica e Cerrado (CBH-ALPA, 2018), abrigando um dos maiores remanescentes contínuos de Mata Atlântica do país (Ribeiro *et al.*, 2009) incluindo áreas dos Parques estaduais Nascentes do Paranapanema, Carlos Botelho, Intervales, e da Estação Ecológica Xituê.

O seu relevo possui predominância de morros de até 800 m de altitude e declividade de até 30%, e os solos mais encontrados são B textural, B latossólico, Hidromórficos e não desenvolvidos (Gouveia, 2017; CBH-ALPA, 2018). A hidrografia da bacia é composta pelo



rio principal, Paranapanema, e seus afluentes, sendo eles: Guareí, Itapetininga, Turvo, Taquari, Apiaí-Guaçu, Paranaquitanga e Almas.

A bacia do Alto Paranapanema vem sofrendo uma constante diminuição da disponibilidade hídrica, que passou de 10.686 m<sup>3</sup>/hab.ano em 2018 para 10.465,2 m<sup>3</sup>/hab.ano (2022). A vazão outorgada em relação ao Q95% aumentou de 2018 para 2022, passando de 18,7% para 31,9%, assim como a vazão outorgada superficial em relação a vazão mínima (Q7,10) que passou de 24,3% para 41,3%, respectivamente.

A bacia é altamente composta por agricultura irrigada e a maior parte da captação coincide com a localização dos pivôs centrais, conforme mostrado na Figura 3 a seguir. Segundo o Comitê de Bacias, a sub-bacia do Rio Taquari (bacia na porção oeste da área de estudo) é a mais vulnerável quanto à disponibilidade hídrica uma vez que a demanda é superior à vazão mínima. Dentro da área de estudo, segundo dados da ANA e da Embrapa (2022), em levantamentos realizados para o ano de 1985 e 2022, inicialmente havia 2 pivôs centrais dentro da bacia, entretanto, dados mais recentes mostram a presença de 2.098 pivôs centrais.

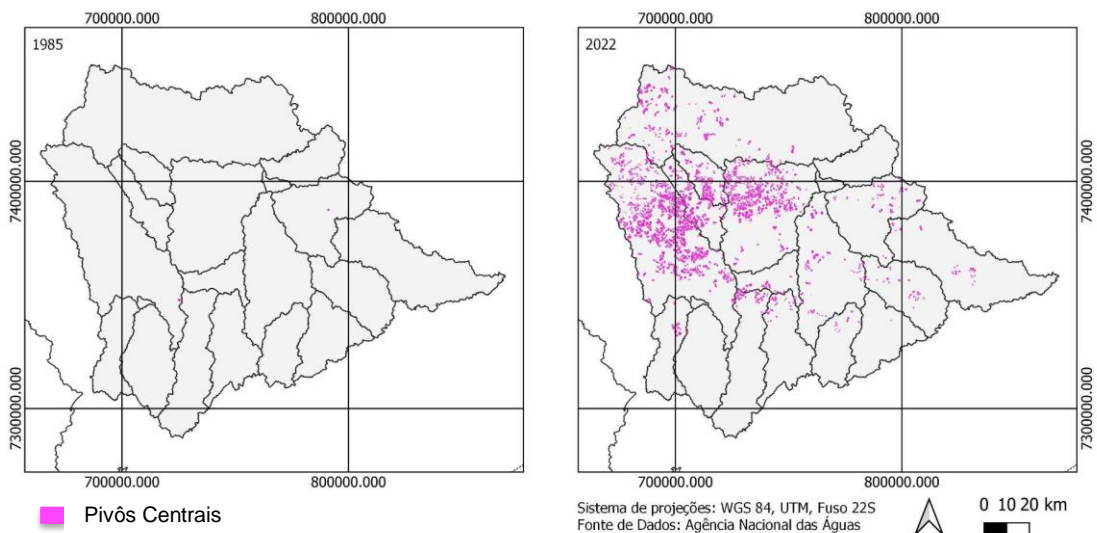


Figura 3: Distribuição de pivôs centrais em 1985 e 2022 na bacia.

## 4.2. Métodos

### 4.2.1. Modelagens de Uso e Cobertura da Terra

Nas modelagens de projeções de uso da Terra, utilizou-se os dados de uso da terra do Projeto Mapbiomas (2019) corrigidos, disponibilizados pelo Núcleo de Estudos em Ecologia Espacial e Desenvolvimento Sustentável (NEEDS, <https://www.needs.ufscar.br/mapeamentos>). Esta correção, esquematizada na Figura 4, se deu apenas na classe de Consórcio entre Pastagem e Agricultura, dividindo-a entre estes dois usos, pelo método de Máxima Verossimilhança, através de imagens Landsat para os anos de 1987, 1997, 2007 e 2017. Além disso, juntou-se os usos da terra, considerando no estudo 7 classes: Agricultura, Pastagem, Silvicultura, Urbanização, Vegetação Nativa, Água e Outros, conforme apresentado na Tabela 1. Para o ano de 2017, estes usos representam 36,2%, 17,9%, 16,2%, 0,6%, 26,2%, 2,8% e Outros 0,1%, respectivamente. Os polígonos com áreas inferiores à 0,36 ha foram incorporados aos usos vizinhos de maior dimensão ou maior segmento. Estes processamentos foram realizados no software ArcGis 10.7.

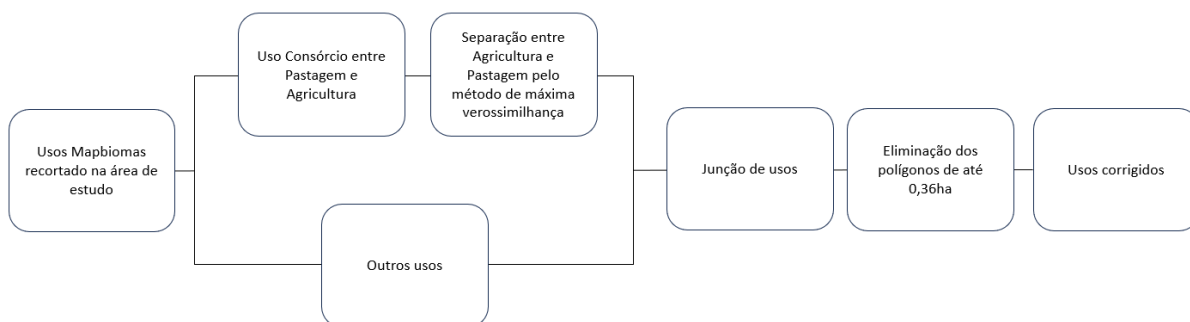


Figura 4: Processamento de correção dos usos da terra.

Tabela 1: Base de dados para modelagens de projeções de uso da terra e disponibilidade hídrica.

<b>Dado</b>	<b>Original</b>	<b>Descrição</b>	<b>Fonte</b>
Uso da Terra	Vegetação Nativa (Formação Florestal + Formação Savânica + Formação Campestre)	Usos da Terra através do agrupamento de classes (entre parênteses). Para a classe descrita como Consórcio entre pastagem e agricultura, foi feita a reclassificação deste uso, separando-o entre estas duas classes. Escala 1:100.000	Projeto Mapbiomas, Coleção 3.1
	Silvicultura (Floresta Plantada)		
	Pastagem (Pastagem + Consórcio)		
	Agricultura (Anual + Perene + Consórcio)		
	Urbanização		
	Outros (Não vegetada + Não Observada + Mineração)		
	Água		
Imagens Landsat	Landsat 5/TM (1987, 1997 e 2007) e 8/OLI-TIRS (2017)	Resolução espacial de 30m. Imagens selecionadas nas órbitas 220 e 221 e pontos 76 e 77 com até 10% de nuvem.	NASA Landsat Program
Mapa Pedológico	Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico (33,91%)	Dados agrupados em primeira ordem para projeções de uso da terra e classificados conforme disponibilidade de dados de caracterização para modelagens hidrológicas. Escala 1:250.000.	ROSSI, 2017
	Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico (0,03%)		
	Argissolo (0,77%)		
	Cambissolo (7,99%)		
	Cambissolo Háptico (0,33%)		
	Gleissolo (2,77%)		
	Latossolo Amarelo (0,12%)		

	<p>Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (17,94%)</p> <p>Latossolo Vermelho (28,54%)</p> <p>Neossolo (1,42%)</p> <p>Neossolo Quartzarênico (1,49%)</p> <p>Nitossolo (1,46%)</p>		
Características as pedológicas	<p>Número de horizontes a serem considerados por classe de solo;</p> <p>Grupo hidrológico do solo (A, B, C e D); profundidade máxima das raízes;</p> <p>profundidade de cada horizonte; densidade do solo;</p> <p>capacidade de armazenamento de água do solo; condutividade hidráulica saturada;</p> <p>conteúdo de carbono orgânico do solo;</p> <p>porcentagem de argila no solo;</p> <p>porcentagem de silte no solo;</p> <p>porcentagem de areia no solo;</p> <p>porcentagem de cascalho no solo; erodibilidade do solo.</p>	Variáveis utilizadas para caracterização do solo nas modelagens hidrológicas	BALDISSER A, 2005, LIMA <i>et al.</i> , 2013, FUJITA, 2018
Declividade e Orientação de Vertente	Modelo Digital de Elevação	Resolução espacial de 30m. Declividade classificada conforme Embrapa (1999), considerando as seguintes classes (%): 0-3, 3-8, 8-13, 13-20, 20-45, 45-75 e >75.	<i>Shuttle Radar Topography Mission (USGS)</i>
Projeções climáticas	Modelo Eta-BESM ( <i>Brazilian Earth System Model</i> )	Dados mensais pluviométricos e de temperaturas máximas e	Instituto Nacional de Pesquisas

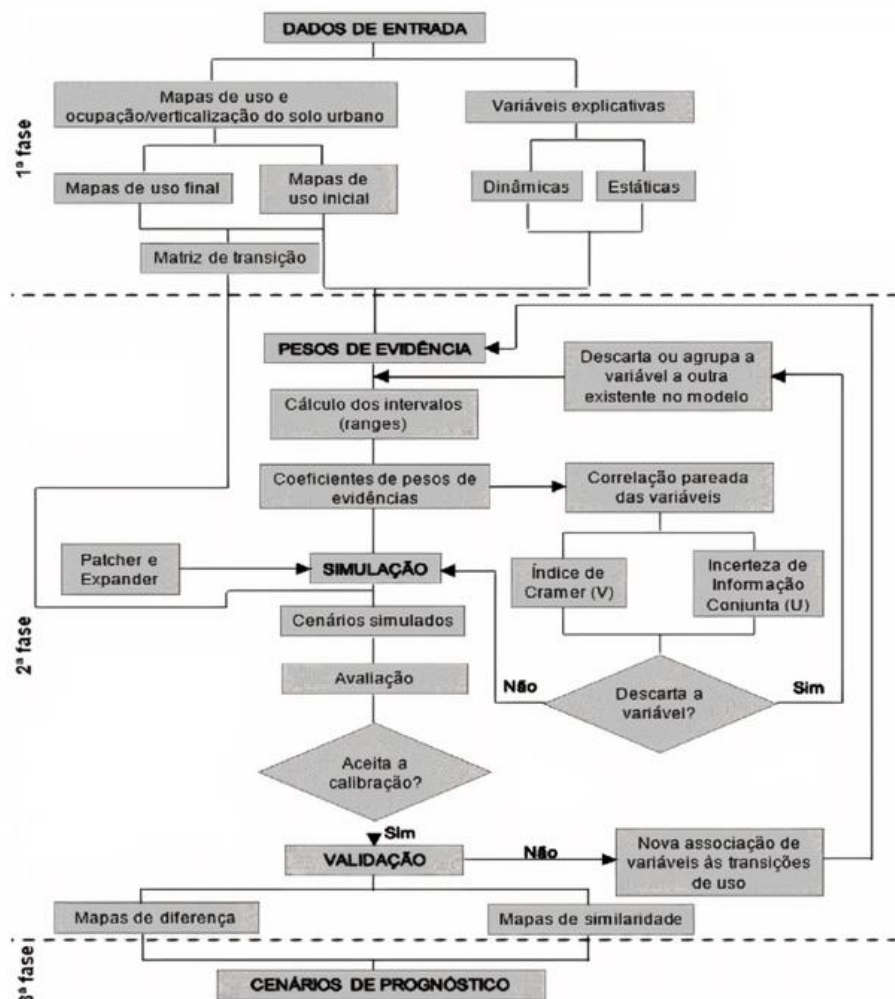
	Modelo Eta-CanESM2 ( <i>Canadian Earth System Model</i> )	mínimas para os cenários RCP 4.5 e RCP 8.5 do AR5 (IPCC) de quatro modelos distintos. Histórico: 1960 à 1990 Projeções: 2010 à 2099	Espaciais (INPE)
	Modelo Eta-HadGEM2-EM ( <i>Hadley Centre Global Environmental Model</i> )		
	Modelo Eta-Miroc5 ( <i>Model for Interdisciplinary Research on Climate</i> )		
Caracterização da represa Jurumirim	Volume máximo e área máxima	Dado de entrada do reservatório na modelagem hidrológica	HENRY <i>et al.</i> , 2016
	Volume, área principal e vazão	Dado de entrada do reservatório na modelagem hidrológica	Sistema Integrado Nacional (ANA)

Com os usos reclassificados, foram realizadas as projeções dos usos da terra, até 2100, no software Dinâmica EGO, conforme Soares-Filho, Rodrigues e Costa (2009). Para isso, criou-se uma matriz de transição baseada nos usos dos anos de 2007 e 2017 e um cubo de variáveis contendo a declividade e orientação de vertentes (obtidas pelo Modelo digital de elevação - MDE - USGS, 2000) e tipo de solo (considerando a primeira ordem de classificação levantada por Rossi, 2017), as quais condicionaram as transições das projeções. O Modelo Digital de Elevação (MDE) e tipo de solo foram utilizados pois são as mesmas bases de dados utilizadas nas modelagens hidrológicas. A partir disso, foi atribuído o peso do intervalo de categorização (pelo método de Peso de Evidências, no qual o efeito de uma variável espacial em uma transição é calculado independentemente de uma solução combinada) entre os usos dos anos de 1997 e 2017 e criou-se um mapa de probabilidade de transição, representando as áreas mais favoráveis para uma mudança.

O modelo prevê que as variáveis devem ser independentes entre si, desta forma, utilizou-se os índices de Crammer e Incerteza da informação Conjunta para análise de independência e calibração do modelo. Variáveis dependentes devem ser excluídas ou substituídas, os valores destes índices variam de 0 a 1 e quanto mais próximo de 0, menor é a dependência entre os dados, valores inferiores a 0,5 possuem baixa dependência (Bonham-Carter, 1994). Após estas etapas, foi gerada uma simulação para 10 anos, tendo 2007 como ano (e uso da terra) inicial, a partir da integração das taxas de transição e a probabilidade de mudanças espaciais baseados

nos autômatos celulares *patcher* (criação de novas manchas) parametrizados com tamanho médio, variância e isometria iguais a 1 (Soares-Filho *et al.*, 2002).

Para a validação, utilizou-se o decaimento exponencial, na janela fixa 11x11, baseado no índice de similaridade Fuzzy, que considera que o aspecto de uma célula é influenciado por ela mesma e pelas células adjacentes. Segundo Novaes *et al.* (2011), valores próximos a 40% são considerados aceitáveis para a similaridade. Também, empregou-se a similaridade de janelas múltiplas, considerando decaimento constante que variam nas resoluções 1x1, 3x3, 5x5, 7x7, 9x9 e 11x11 (Hagen, 2003), para as duas análises, usou-se o mapa de 2007 em comparação com os mapas de 2017 simulado e o real. Após validado e calibrado, realizou-se as projeções futuras até 2100, a partir do mapa inicial de 2017. As configurações de *patcher* e *expander* do processamento foram igualmente configuradas como na simulação. Além disso, é estabelecido 20% como percentual de células que irão sofrer alterações pelo *Expander* em todas as transições.



Fonte: adaptada de Trentin (2008).

Figura 5: Metodologia de projeções de uso da terra.

Fonte: Almino e Rufino, 2021.

#### 4.2.2. Modelagens Hidrológicas

A modelagem hidrológica foi realizada no QSWAT (Qgis versão 3.22.16 e *Soil and Water Assessment Tool - SWAT 3.9*), conforme dados de entrada citados na Tabela 1. Utilizou-se os dados de uso da terra, MDE para a declividade, classificação pedológica segundo Rossi, (2017), dados de caracterização do solo (BALDISSERA, 2005; LIMA *et al.*, 2013 e FUJITA, 2018), previsões climáticas (temperaturas máximas e mínimas e precipitação, <https://pclima.inpe.br/analise/>) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Modelo Regional ETA, estudo AR5, 2013) e dados de caracterização do reservatório Jurumirim, do Sistema Integrado Nacional e Henry *et al.*, (2016), como mostrado na Tabela 1. Os mapas de entrada do modelo são exemplificados na Figura 6.

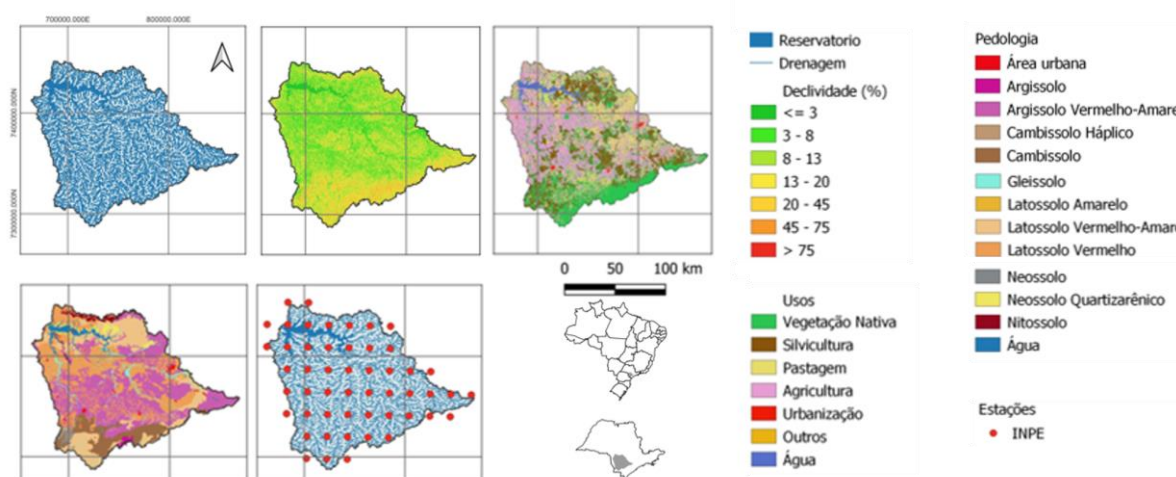


Figura 6: Dados de entrada do modelo SWAT: (a) Rede de drenagem obtida pelo modelo SWAT e mapas de entrada de (b) declividade, (c) uso da terra (ano 2017), (d) pedologia, (e) localização das estações climatológicas das projeções de mudanças climáticas.

Foi utilizado o MDE para delimitação das bacias e redes de drenagem, considerou-se um limiar de 50 km<sup>2</sup> para corpos hídricos e como exultório, a estação fluviométrica 64215080 (Hidroweb) adicionada manualmente em cima do corpo hídrico mais próximo desta estação. Após a delimitação da rede de drenagem, outras estações fluviométricas foram adicionadas para delimitar as sub-bacias dentro da área de estudo (Figura 7) pensando em uma futura calibração. Para as características do uso da terra, foram utilizadas informações do próprio banco de dados

do SWAT, relacionando os usos da seguinte forma: Agricultura Genérica - AGRL (Agricultura), Eucalipto - EUCA (Silvicultura), Floresta Decidual - FRSD (Vegetação Nativa), Pastagem - PAST, Urbanização - URBAN, Água - WATR (Corpos Hídricos), zona úmida não florestada WETN (Outros). As classes de declividade, tipos de solo e caracterização pedológicas foram classificadas conforme referências descritas na Tabela 1. Para a limitação das URH foi considerado um limiar de 50 ha. Cada bacia possui como retorno de resposta a média ponderada das URH que a compõem.

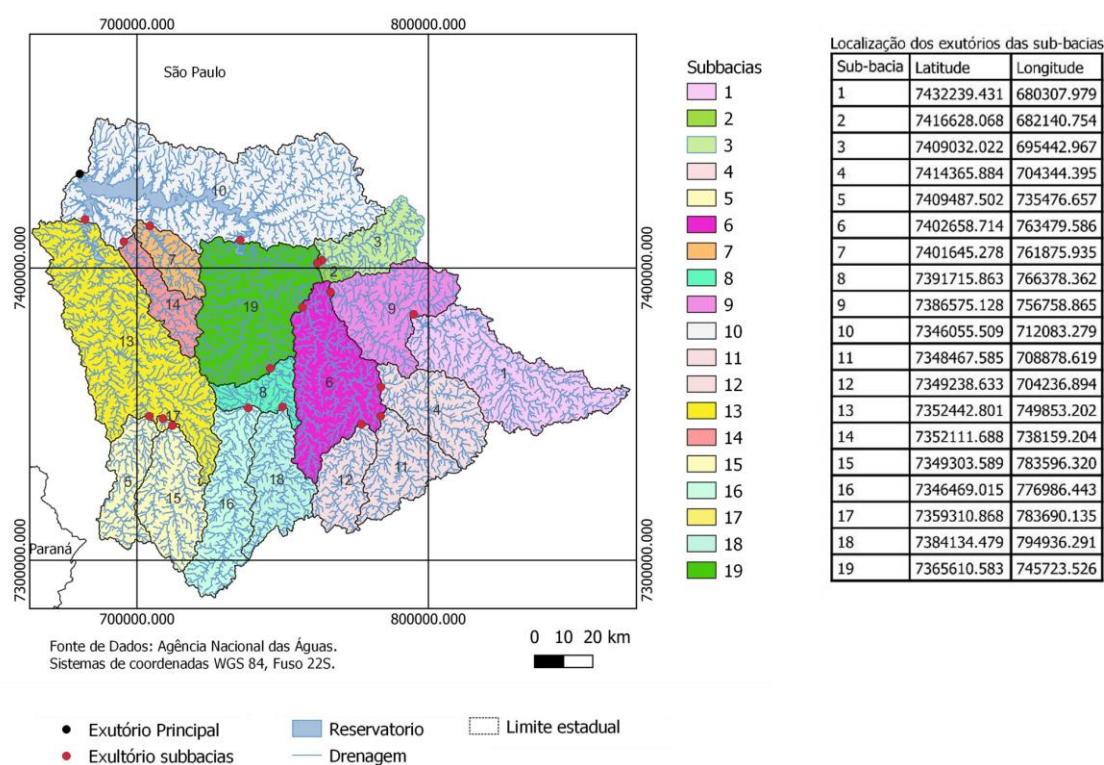


Figura 7: Localização das estações fluviométricas que representam os exutórios das sub-bacias.

Os dados climáticos mensais de 1960 a 1990 (histórico) foram obtidos do INPE e utilizado para as previsões de 2010 a 2099 (projeções). Ressalta-se que o modelo usa dados diários de entrada, desta forma, utilizou-se o dado médio mensal em todos os dias do respectivo mês. Além disso, todas as falhas nos dados climáticos foram preenchidos com “-99”. Os demais dados foram inseridos conforme base de dados já descritos e configurados conforme DILE, SRINIVASAN e GEORGE (2015).

Foi feita uma simulação com o uso de 1987 e dados climáticos de 1960-1990 do modelo Eta-BESM, RCP 4.5 como referência (histórico) para nossas análises. Adicionalmente foram



feitas 8 simulações, sendo 4 modelos (Eta-BESM, Eta-CanESM2, Eta-HadGEM2-EM e Eta-Miroc5) e 2 cenários (RCP 4.5 e RCP 8.5), com evapotranspiração potencial baseada no método Penman-Monteith, método default do programa. A modelagem foi programada para saídas mensais de 1960 a 2099 e aquecimento de 3 anos. O método de cálculo da curva número variou conforme o objetivo de análise dos resultados, conforme mostrado a seguir:

- Em função do tipo de solo: para avaliar a influência das mudanças das variáveis climáticas na vazão com o mapa de uso da terra de 2017 (8 modelos);
- Em função da evapotranspiração das plantas: para avaliar a influência das Mudanças climáticas e da variação do uso da terra na vazão (8 modelos com o uso da terra de 2017 e 8 modelos com o uso da terra de 2100).

As projeções foram divididas em médias mensais dos períodos histórico (1963-1990), próximo (2010-2039), médio (2040-2069) e distante (2070-2099) (Figura 8). Todos os resultados referentes aos períodos próximo, médio e distante foram comparados às médias históricas do modelo Eta-BESM, pois é o único modelo desenvolvido em um país sul-americano (Veiga *et al.*, 2023).

Ressalta-se que o modelo resulta em diversos parâmetros, porém este trabalho se baseia na análise da distribuição de precipitação e temperaturas da bacia e de vazão do canal principal. Os resultados foram analisados quanto a resposta de vazão do exultório principal e por sub-bacia.

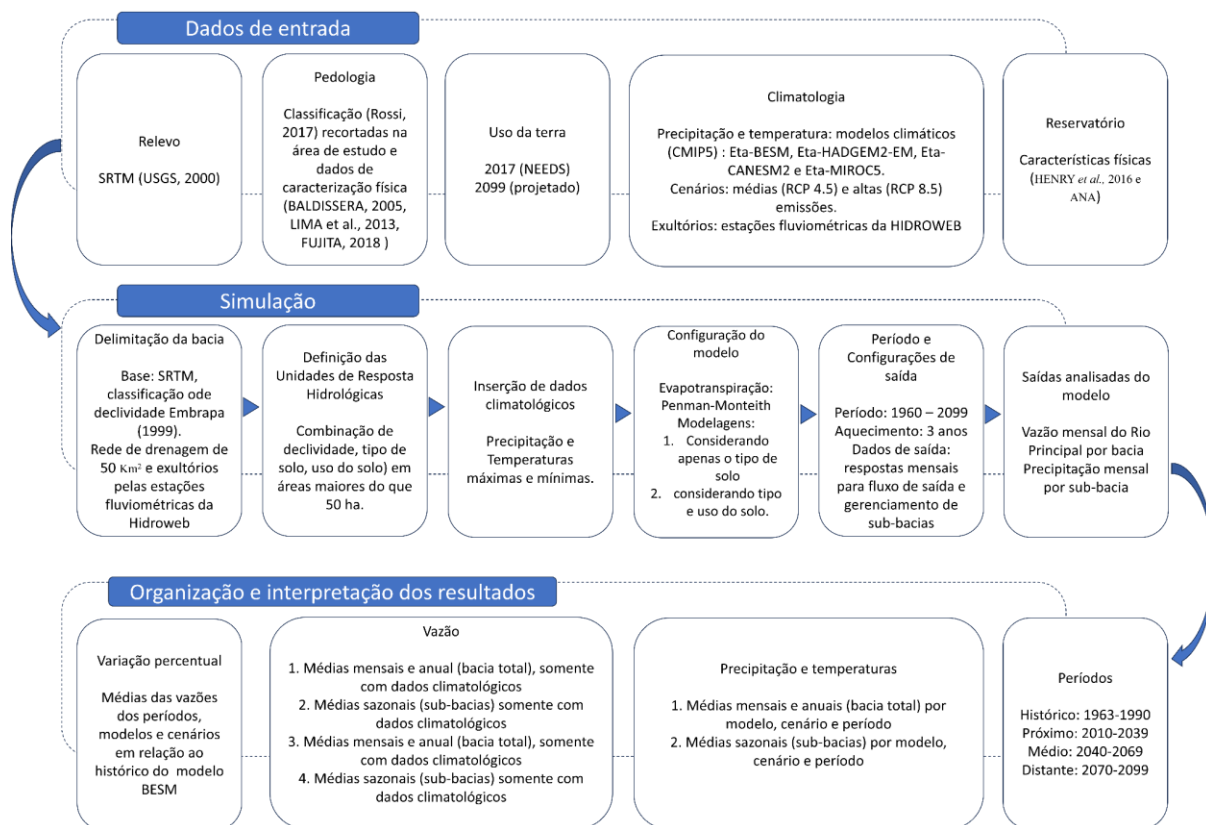


Figura 8: Metodologia SWAT.

## 5. Resultados

### 5.1. Transição do uso da terra

As variáveis não apresentaram dependência entre si, portanto, nenhuma foi descartada na análise de dependência. O modelo de transição foi calibrado atingindo 40% de similaridade pelo método Fuzzy, e até 59% pelo decaimento constante (Figura9).

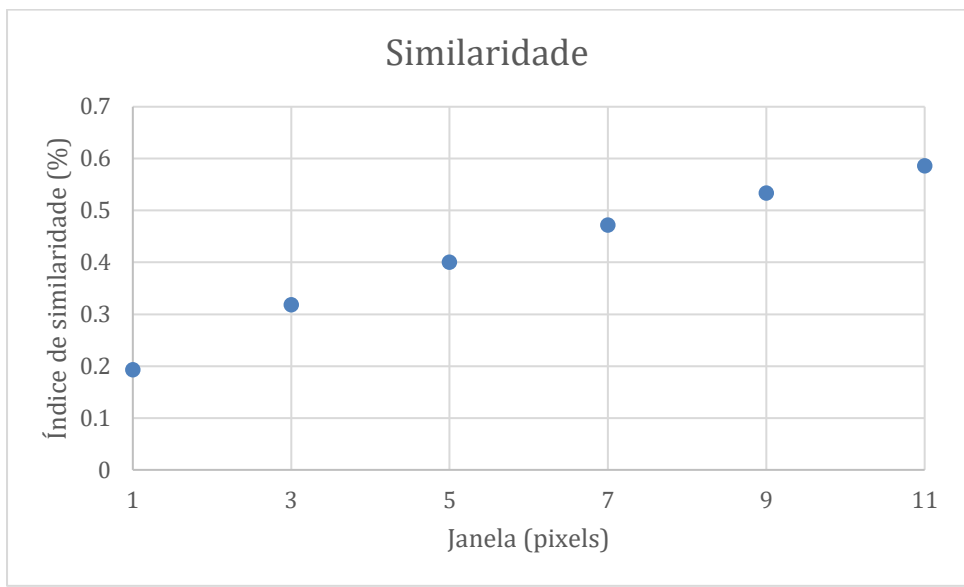


Figura 9: Índice de similaridade entre os mapas de projeções de uso da terra.

A figura 10 apresenta as transições do uso da terra de 1987 à 2017 e as transições do uso atual (2017) até o uso projetado (2100). Nela, é possível observar um padrão de redução das pastagens e da vegetação nativa frente ao aumento da agricultura e da silvicultura (Anexo 1). As projeções de uso da terra apontam que as pastagens e vegetação nativa sofrerão reduções de 53,4% e 10,1%, respectivamente, frente ao aumento de 115,3% da silvicultura em relação ao ano de 2017. Por outro lado, a agricultura reduções até o final do século chegando em uma redução de 21,4% em relação ao ano de 2017. Os demais usos, sofrerão aumentos de 100,7%, 34% e 97% para Urbanização, Água e Outros, respectivamente. É interessante observar que a agricultura teve um aumento expressivo desde 1987, entretanto, possui tendência de redução até o final do século, perdendo áreas principalmente, para a silvicultura.

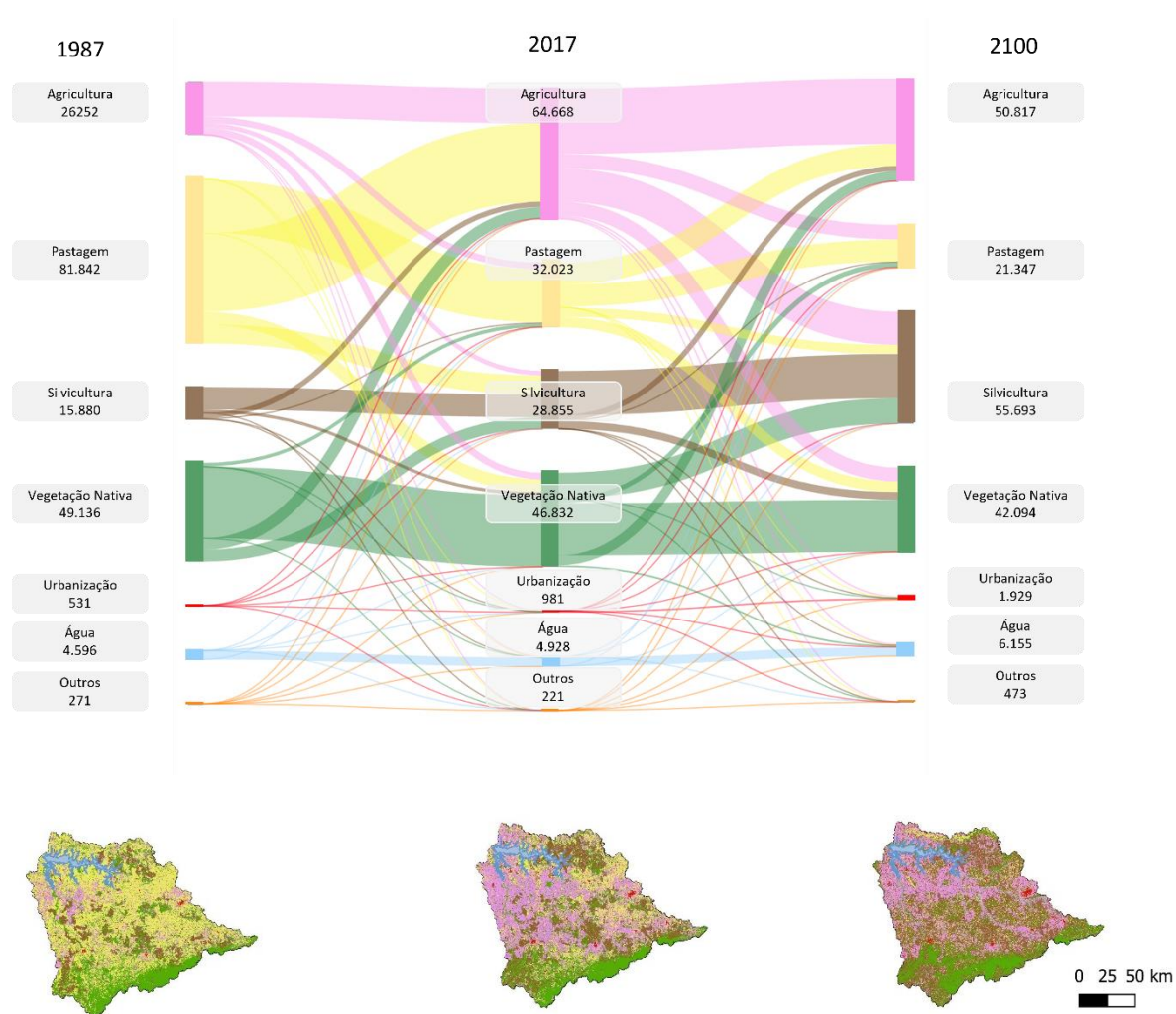


Figura 10: Evolução e transição do uso da terra na bacia do Jurumirim entre 1987 e 2017 e entre 2017 e 2100. Os valores representam as áreas, em km<sup>2</sup>, de cada uso da terra e em cada ano.

## 5.2. Modelagem Climática

### 5.2.1. Precipitação e Temperatura

O modelo Eta-BESM apresenta histórico (médias de 1963-1990) de precipitação anual de 1670 mm (Anexo II), com maiores volumes de chuvas concentrados de outubro a fevereiro (entre 156 e 276 mm por mês) onde os meses de dezembro, janeiro e fevereiro (DJF) contribuem com quase 46% da precipitação anual (~770 mm). Os menores índices pluviométricos estão entre maio e setembro (entre 26 e 145 mm por mês) onde os meses de maio, junho e julho (MJJ) possuem os menores valores, representando juntos menos de 8% da precipitação anual. Já as temperaturas médias variam entre 13°C (Julho) e 29°C (Janeiro e Fevereiro).

A figura 11 a seguir apresenta a distribuição das médias mensais de precipitação e temperaturas máximas e mínimas da bacia, onde os números de 1 a 12 correspondem aos meses do ano de janeiro a dezembro, respectivamente.

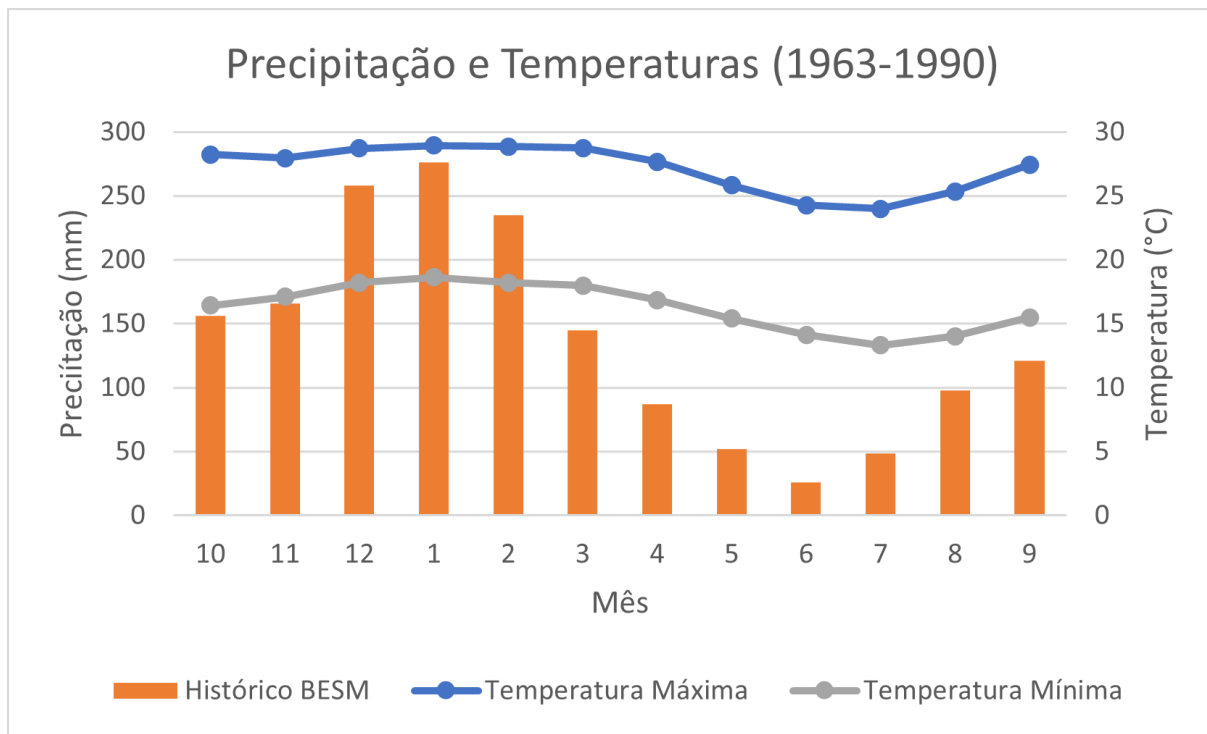


Figura 11: Distribuição anual da precipitação média (1963-1990).

Em uma análise da distribuição mensal de precipitação obtido através das projeções, observa-se de maneira geral, uma redução nos picos de chuva, aumento nos meses de menor precipitação e um deslocamento da curva de pico para os meses de agosto, setembro e outubro em quase todos os cenários e modelos (Figura 12), exceto para os resultados obtidos com o modelo Eta-Miroc5 no cenário RCP 8.5 para o período distante e para os resultados obtidos com os modelos Eta-CanESM2 que possuem picos semelhantes ao do histórico.

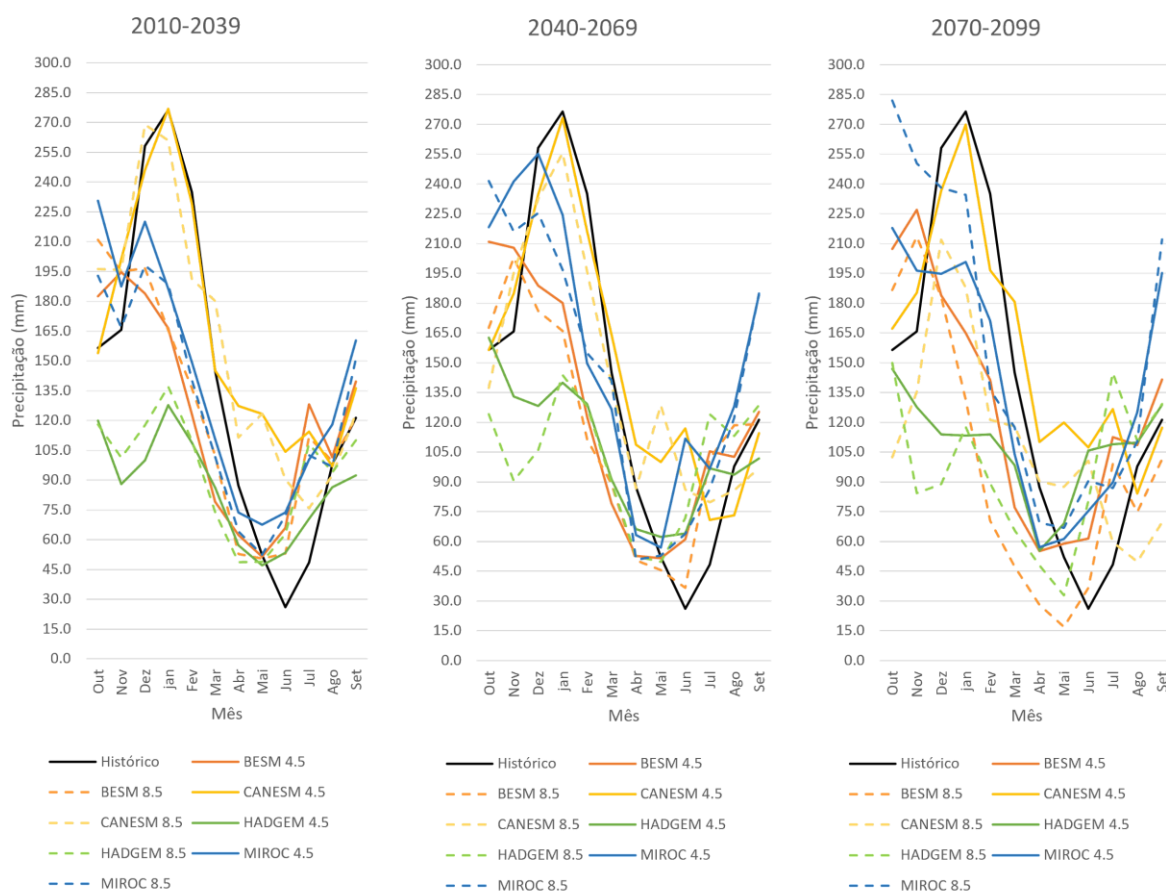


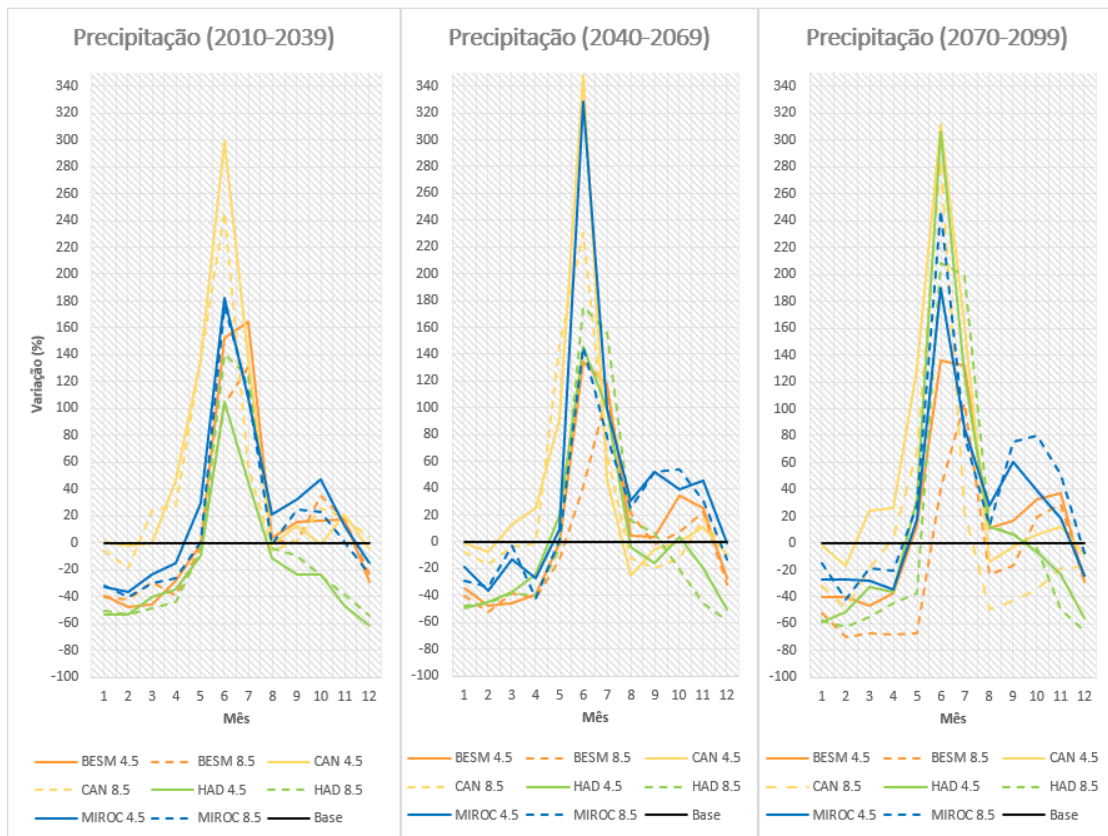
Figura 12: Distribuição mensal da precipitação (em mm) em relação ao histórico segundo cada modelo, cenário e período.

Ao comparar os cenários futuros obtidos, considerando as médias mensais nos 3 períodos de tempo (próximo, médio e distante), comparativamente ao histórico (1863-1990) obtido através do Eta-BESM, é observado que na maioria dos casos há uma redução de precipitação de dezembro à abril, especialmente nos meses mais chuvosos DJF, que chegam a 61% e 70% de redução nos cenários RCP 4.5 e RCP 8.5, respectivamente. Já os aumentos, ocorrem entre maio e novembro, principalmente, nos meses mais secos de Junho e Julho (JJ), chegando a 348% de aumento no RCP 4.5 e 286% no RCP 8.5.

Considerando as predições futuras nos três períodos, há aumentos de temperatura em quase todos os modelos, particularmente no cenário RCP 8.5. Os aumentos chegam a 5°C para as temperaturas máximas no RCP 4.5 e a 9°C no RCP 8.5, enquanto para as temperaturas mínimas, foi observado um aumento de 4°C no RCP 4.5 e 6°C no RCP 8.5. A principal exceção é o modelo Eta-Miroc5, que apresenta redução de temperatura em todos os períodos, sendo o RCP 4.5 com redução maior do que o RCP 8.5. No RCP 4.5, as reduções chegam a 5°C para

temperatura máxima, enquanto para o RCP 8.5 e os dois cenários de temperatura mínima reduzem 4°C.

A figura 13 mostra as médias mensais da precipitação (a), temperatura máxima (b) e temperatura mínima (c) na bacia (Ver Anexos II, III e IV), a linha preta horizontal representa os valores atuais, sendo que valores abaixo dessa linha representam reduções, enquanto valores acima representam aumentos. Adicionalmente, linhas contínuas representam os resultados dos modelos para o cenário RCP 4.5, enquanto e as linhas pontilhadas são os resultados para o cenário RCP 8.5. De modo geral, os incrementos em valores do cenário RCP 8.5 são inferiores aos do RCP 4.5, da mesma forma que as reduções de precipitação no cenário RCP 8.5 são superiores as reduções do cenário 4.5.



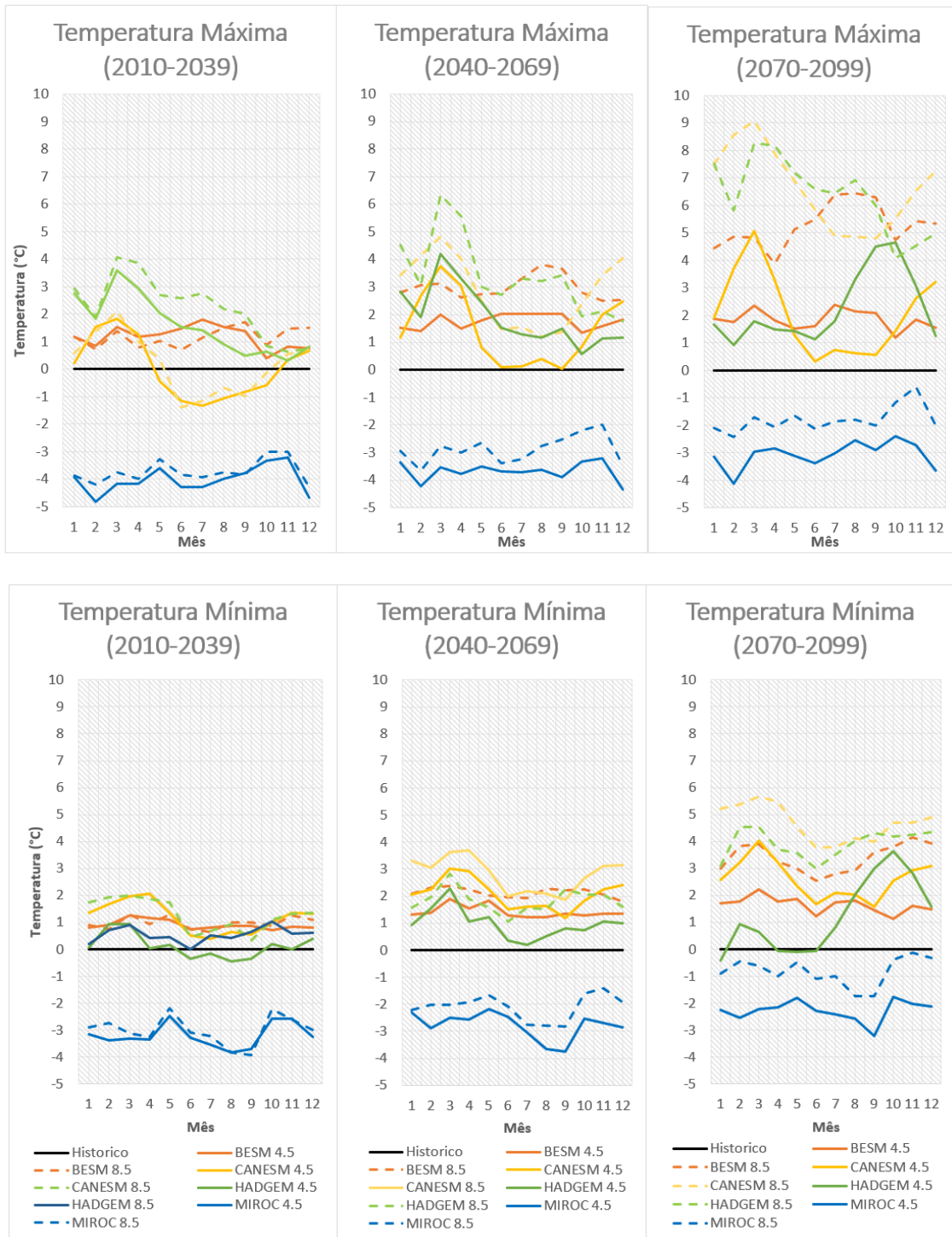


Figura 13: Distribuição mensal da precipitação (em mm) em relação ao histórico segundo cada modelo, cenário e período.

Considerando o total anual, os resultados sugerem reduções de precipitação nos dois cenários para as simulações com os modelos Eta-BESM e Eta-HadGEM2-EM, por outro lado, apresentam aumentos para ambos os cenários para os modelos Eta-CanESM2 e Eta-Miroc5, exceto no caso do RCP 8.5 distante e próximo, respectivamente. As reduções anuais chegam a



cerca de 38% (RCP 4.5) e 32% (RCP 8.5), já os aumentos chegam a 17% e 14,5%, respectivamente (Figura 14, ver Anexos II, III e IV).

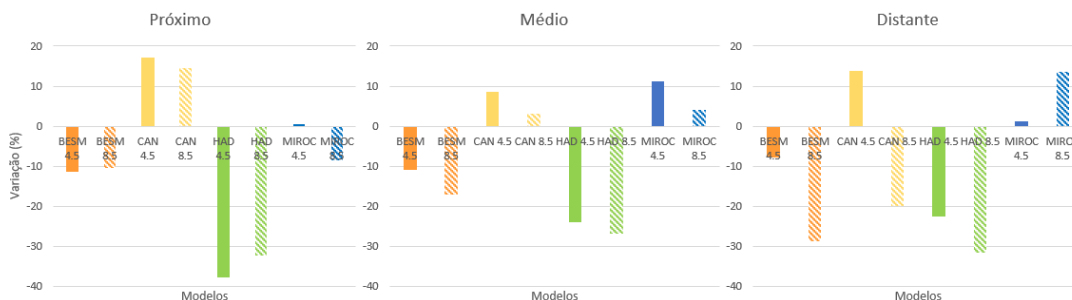


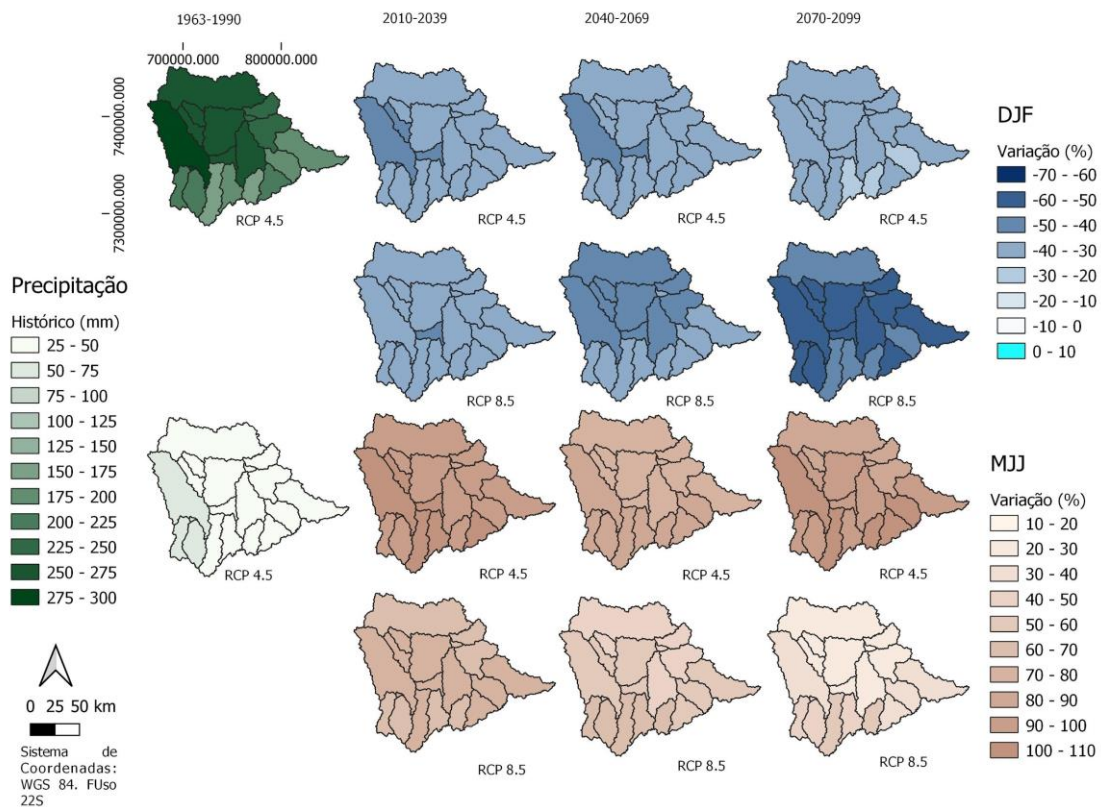
Figura 14: Variação anual de precipitação de acordo com cada modelo.

Há bastante congruência entre as projeções de precipitação dos diferentes modelos nos diferentes períodos de tempo, onde são observadas reduções expressivas de precipitação nos meses mais chuvosos, e incrementos de precipitação nos meses mais secos (Figuras 15a, 16a, 17a e 18a). Para a estação chuvosa, o modelo Eta-HadGEM2-EM foi o que apresentou as maiores reduções de precipitação, chegando a diminuições de 61% e 66%, respectivamente no cenário RCP 4.5 e no RCP 8.5 (Figura 17a). Os resultados do modelo Eta-BESM apresentaram reduções que variaram entre -43% e -26% no RCP 4.5 e entre -57% e -30% no RCP 8.5, além de um agravamento na redução de precipitação ao longo dos anos. Além disso, as reduções são mais acentuadas nas bacias onde historicamente os índices de pluviosidade são mais elevados, na porção oeste e sul da bacia (Figura 15a). O modelo Eta-Miroc5 apresenta reduções de precipitação em DJF que chegam a 32% e 35%, principalmente no período mais próximo e nas regiões da porção centro-oeste e norte da bacia, sendo que as áreas de cabeceira apresentam reduções mais brandas (Figura 18a). Os resultados do modelo Eta-CanESM2 são os únicos ligeiramente contrastantes, onde no cenário 4.5 não são observadas alterações significativas na maioria das bacias, e um ligeiro incremento de pluviosidade (<10%) nas bacias da cabeceira do Alto Paranapanema no período próximo e médio, e uma ligeira redução de precipitação nas bacias da porção oeste no período distante. Já no cenário 8.5 são observadas reduções de precipitação similares aos resultados dos demais modelos, com reduções que chegam a 35% (Figura 16a).

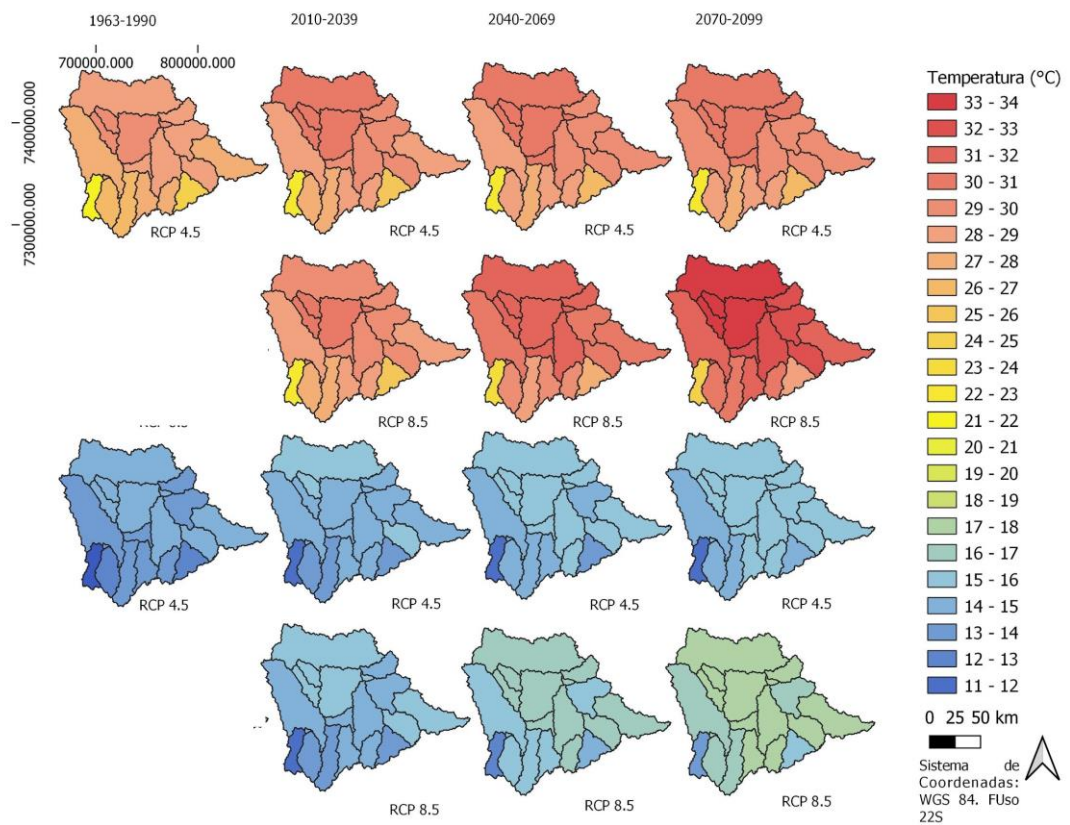
Para a estação seca o modelo Eta-CanESM2 apresentou os maiores aumentos de precipitação, chegando a 208% no cenário RCP 4.5 e 162% no cenário RCP 8.5 (Figura 16a), seguido pelos modelos Eta-HadGEM2-EM, com incrementos de 150% (RCP 4.5) e 157% (RCP 8.5) (Figura 17a) e Eta-Miroc5, com incrementos de cerca de 120% em ambos os cenários,

particularmente na porção central da bacia (Figura 16a). O modelo Eta-BESM também apresenta ganhos de precipitação em todas as bacias no período de seca, chegando a 109% de incremento no RCP 4.5 e 77% no RCP 8.5 (Figura 15a).

Com relação às temperaturas máximas e mínimas, os modelos Eta-BESM (Figura 15b), Eta-HadGEM2-EM (Figura 17b) e Eta-CanESM2 (Figura 16b) foram congruentes em apresentar elevações de temperatura significativas, tanto nas médias das mínimas, quanto na média das máximas. Os modelos Eta-HadGEM2-EM e Eta-CanESM2 foram os que apresentaram os maiores aumentos, tanto nas temperaturas máximas, sendo 7,6°C e 7,4°C para o RCP 8.5 e 2,8°C e 2,2°C para o RCP 4.5, quanto nas mínimas, 5,3°C e 4,3°C para RCP 8.5 e 4,2°C e 2,1°C para RCP 4.5. Esses resultados sugerem temperaturas médias máximas de 37°C na porção norte da bacia do Alto Paranapanema, enquanto as médias das mínimas nessa região se aproximam dos 20°C. O modelo Eta-BESM também apresentou resultados de elevação expressiva das temperaturas médias, sendo para as máximas 4,5°C e 1,7°C, e para as mínimas 3,6°C e 1,5°C, respectivamente para RCP 8.5 e 4.5. O modelo Eta-Miroc5 (Figura 18b) foi o único que apresentou resultados discrepantes, apresentando uma redução aproximada de 3°C, tanto nas temperaturas máximas, quanto nas mínimas (Anexos V-X).

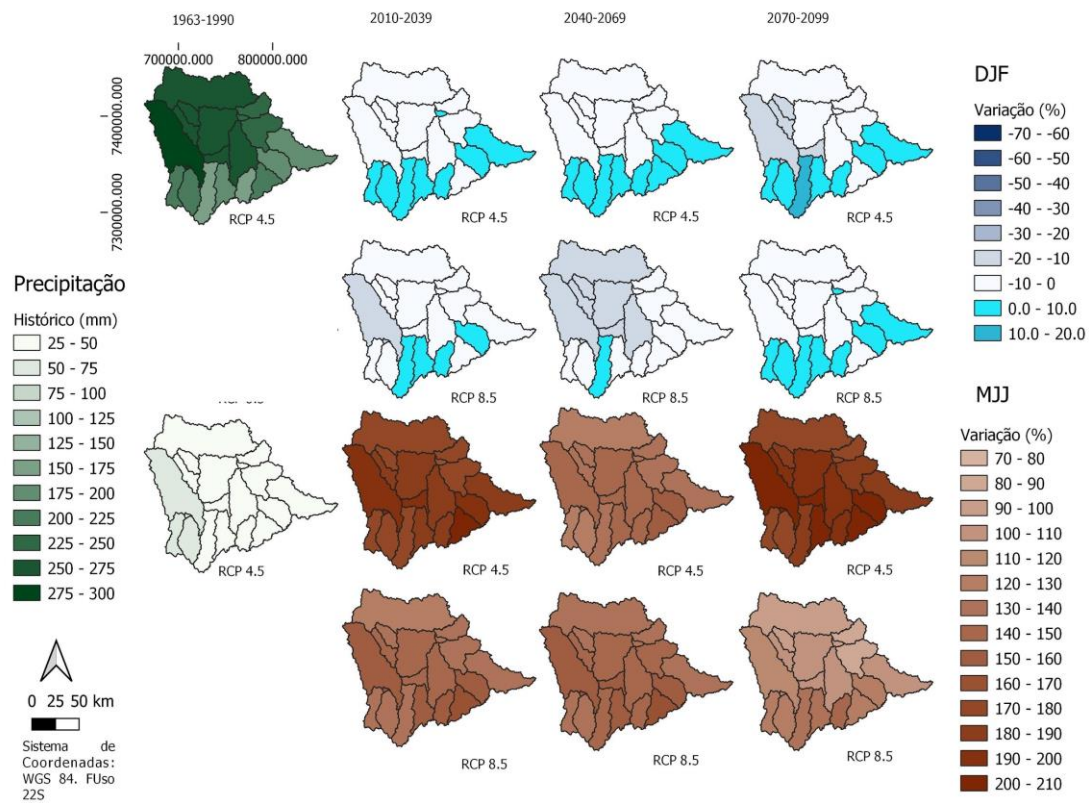


a

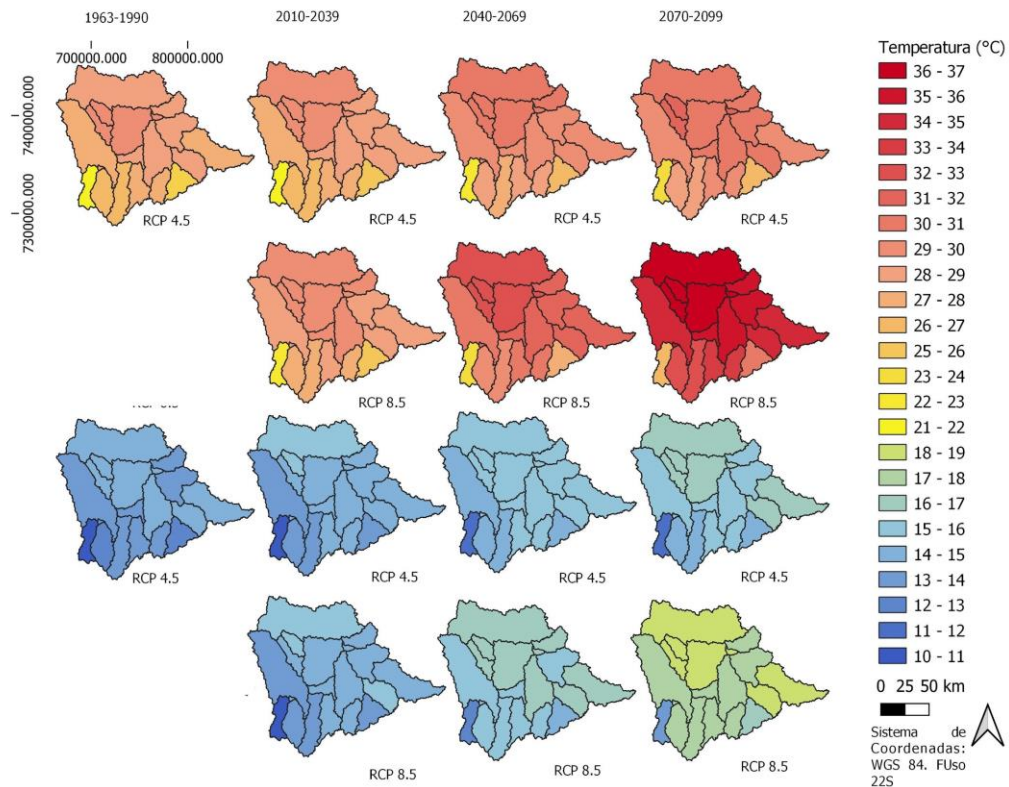


b

Figura 15: Distribuição espacial da (a) precipitação e (b) temperatura máximas nos meses chuvosos e temperaturas mínima nos meses secos do modelo Eta-BESM.

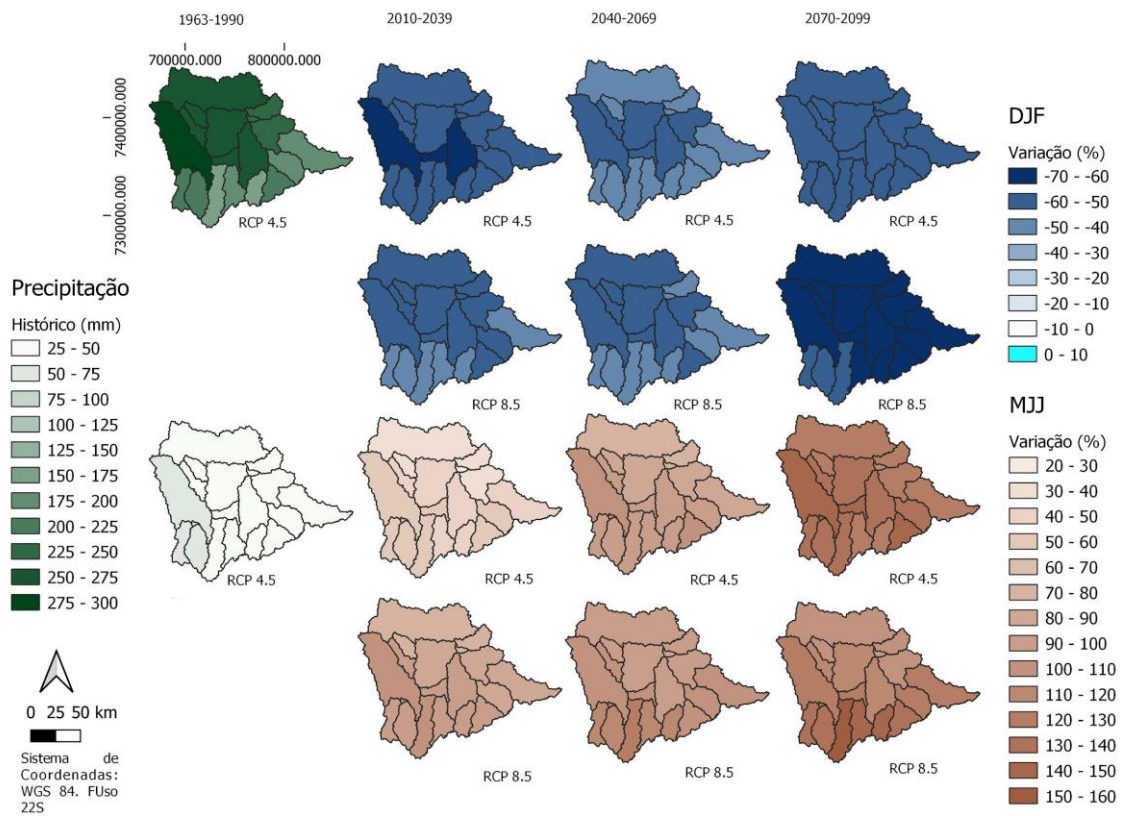


a

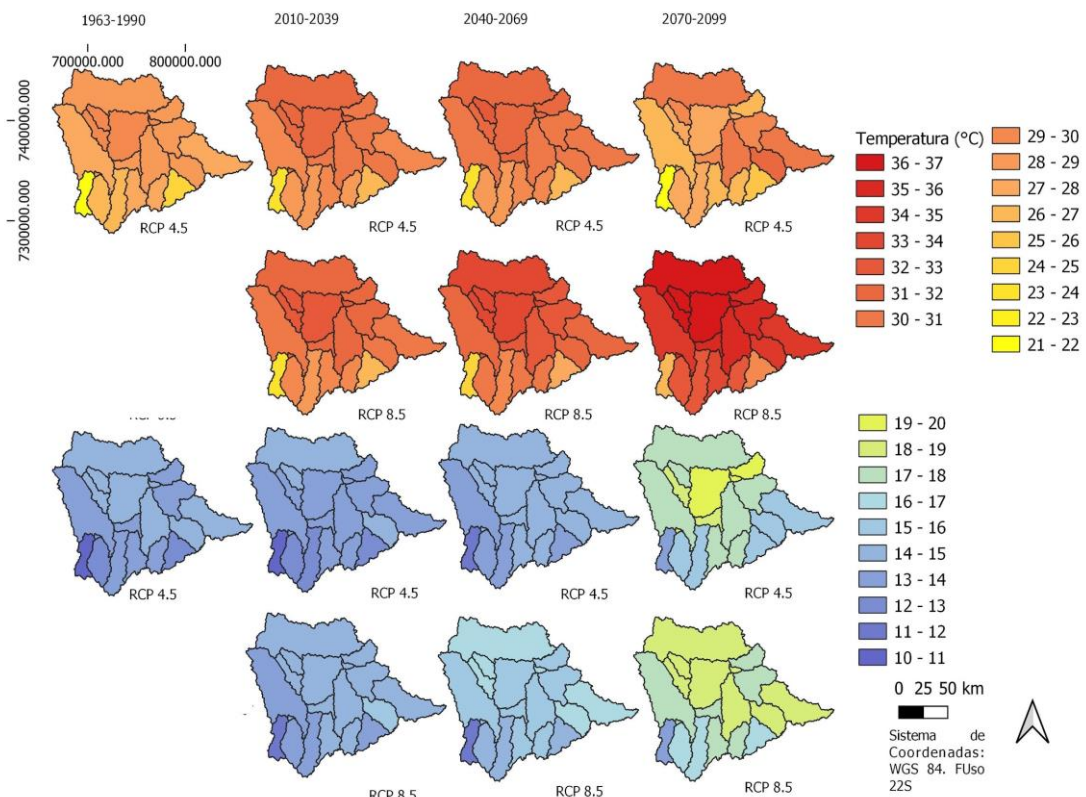


b

Figura 16: Distribuição espacial da (a) precipitação e (b) temperatura máximas nos meses chuvosos e temperaturas mínima nos meses secos do modelo Eta-CanESM2.

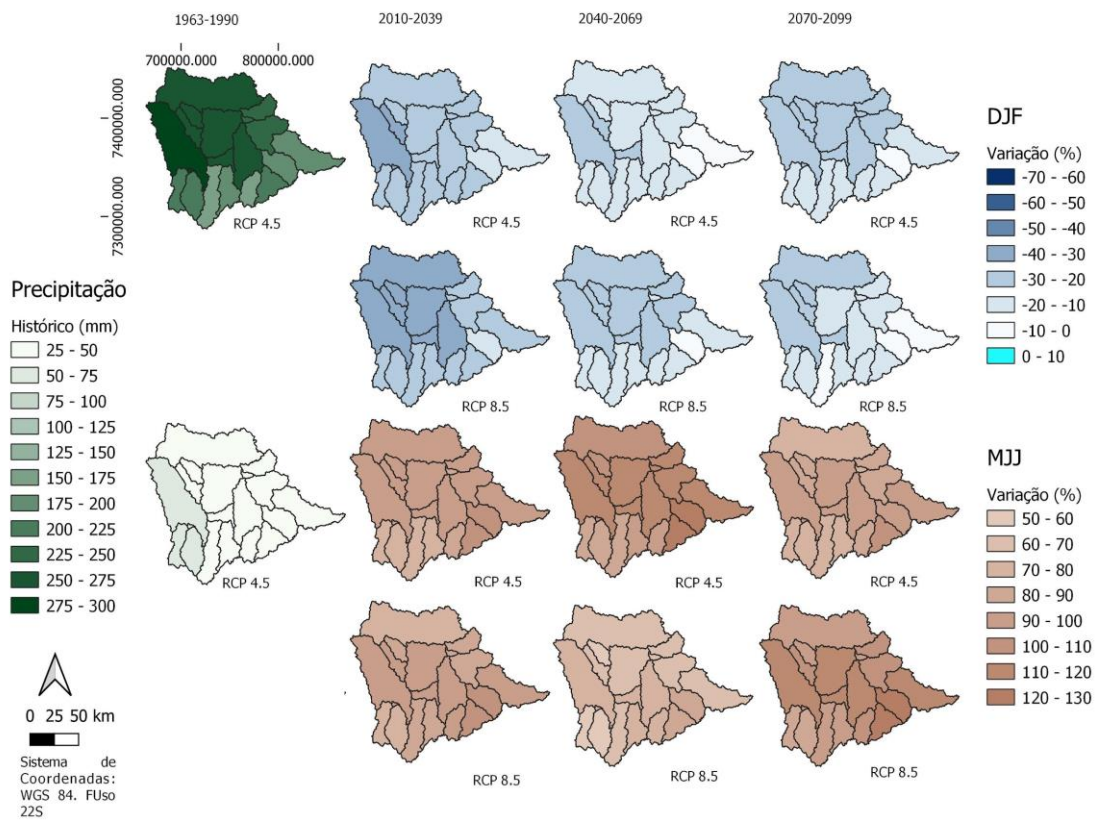


a

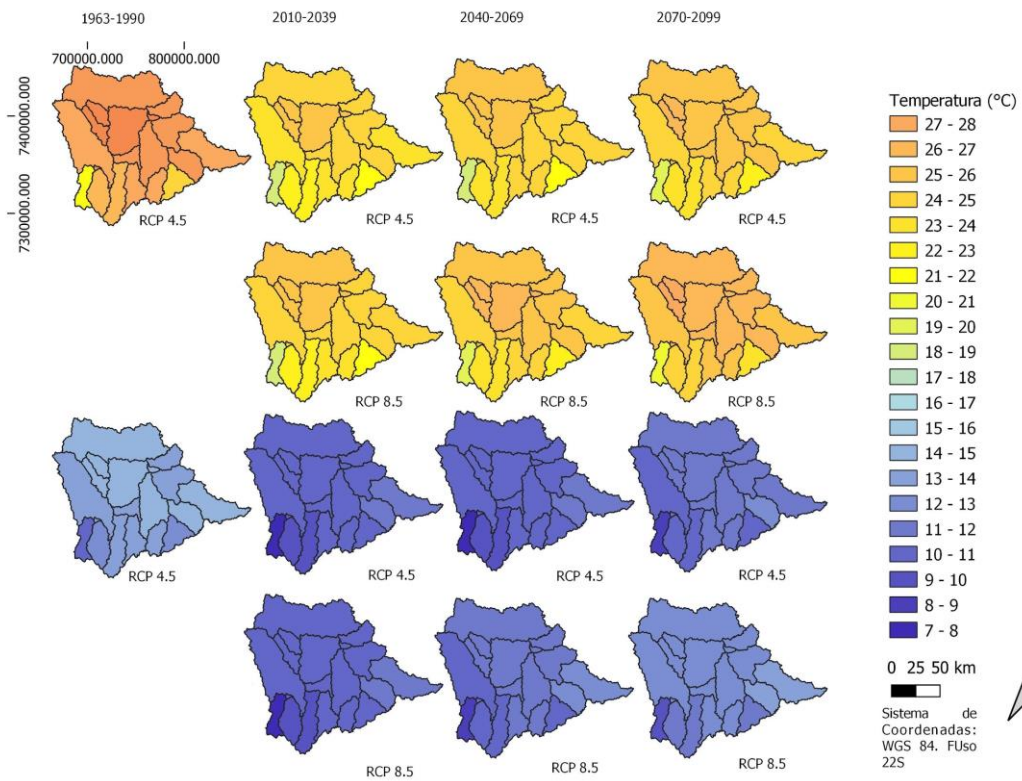


b

Figura 17: Distribuição espacial da (a) precipitação e (b) temperatura máximas nos meses chuvosos e temperaturas mínima nos meses secos do modelo Eta-HadGEM2-EM.



a



b

Figura 18: Distribuição espacial da (a) precipitação e (b) temperatura máximas nos meses chuvosos e temperaturas mínima nos meses secos do modelo Eta-Miroc5.

### 5.3. Vazão

O histórico de vazão do modelo Eta-BESM mostra vazões mensais variando entre 135 m<sup>3</sup>/s e 657 m<sup>3</sup>/s. Os meses com maiores vazões estão entre dezembro e maio, com pico em fevereiro, por outro lado, os meses de menores vazões estão entre junho e novembro, com o menor valor em agosto (Figura 19).

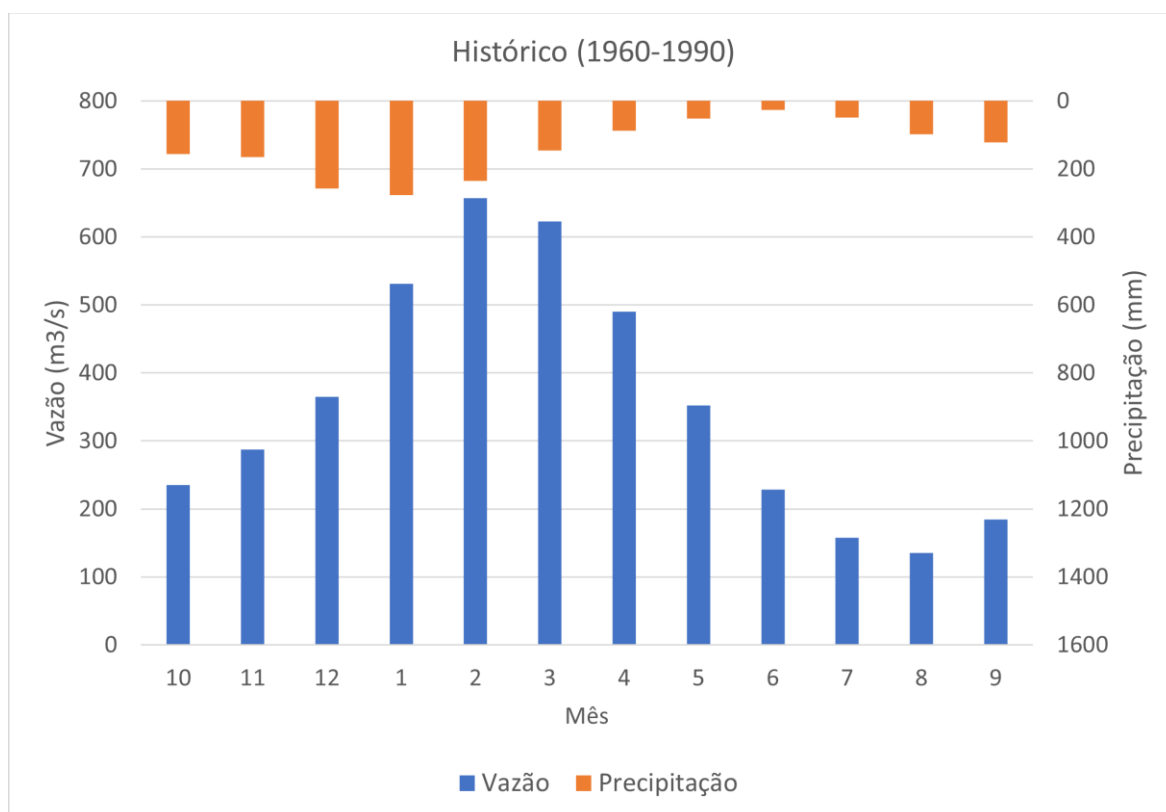


Figura 19: Distribuição de precipitação e vazão ao longo do ano hidrológico (1960-1990).

Os diferentes modelos mostram reduções de vazão que podem chegar a 78% no RCP 4.5 e a 85% no RCP 8.5, enquanto os aumentos chegam a 250% e 168%, respectivamente (Figura 18). Ressalta-se que na maioria dos modelos e cenários, as maiores reduções estão nos meses de vazão de pico, enquanto os maiores aumentos ocorreram nos meses de baixa vazão. Em linhas gerais, as respostas às mudanças das variáveis climáticas apontam para uma redução de vazão nos meses chuvosos e aumentos nos meses de seca. Poucas exceções ocorrem, especialmente, em janeiro (Eta-CanESM2 e Eta-Miroc5), Julho (Eta-BESM e Eta-HadGEM2-

EM) e Dezembro (Eta-HadGEM2-EM e Eta-CanESM2) (Figura 20). Os modelos Eta-BESM e Eta-HadGEM2-EM tendem a ter vazões menores em relação aos modelos Eta-CanESM2 e Eta-Miroc5. Além disso, os cenários RCP 8.5 possuem vazões menores do que os cenários RCP 4.5, exceto no período próximo do modelo Eta-HadGEM2-EM (Anexos XI, XII e XIII).

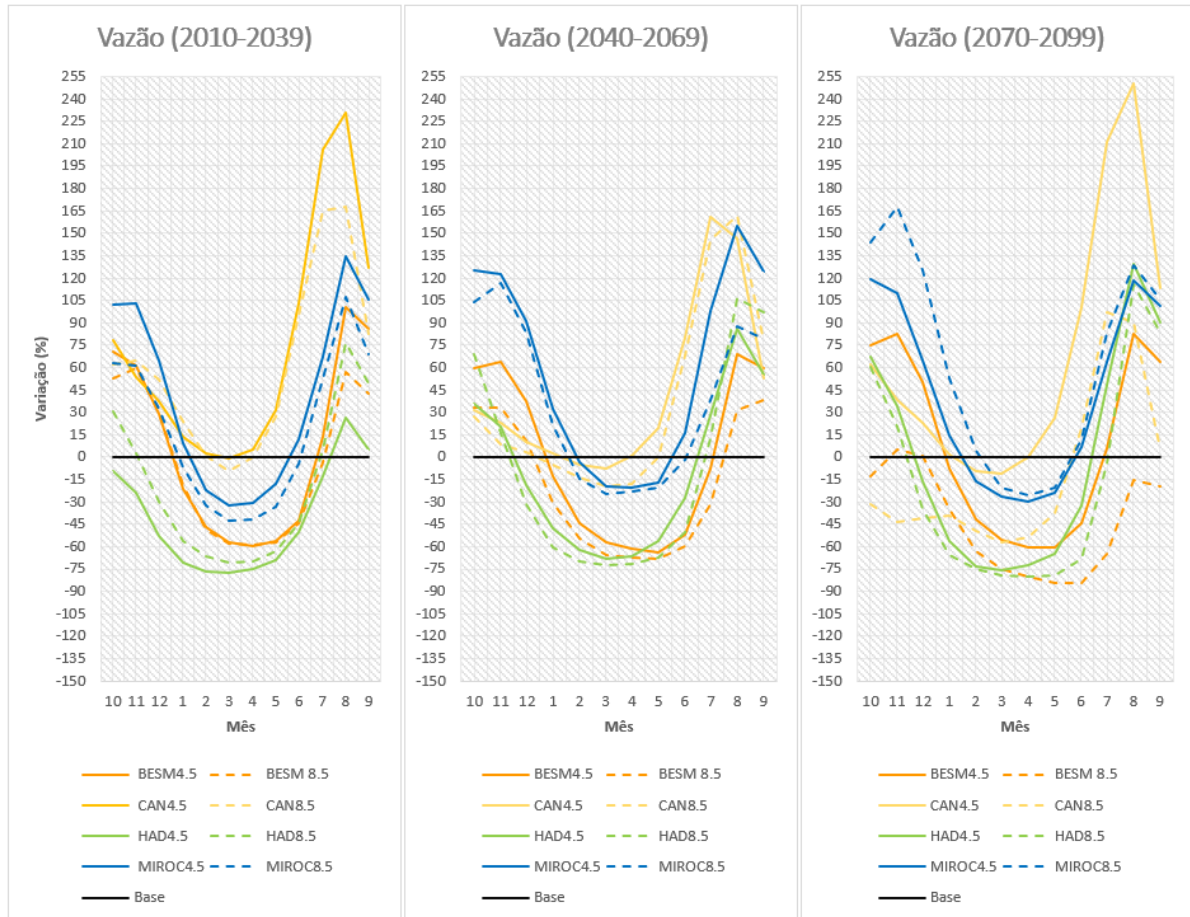


Figura 20: Variações mensais de vazão em relação ao histórico, segundo cada modelo e cenário.

Mesmo tendo grandes aumentos percentuais, destaca-se que estes aumentos são sobre volumes menores, desta forma, as perdas nos meses de cheias são maiores em termos absolutos, resultando em uma redução de vazão média anual nos modelos Eta-BESM e Eta-HadGEM2-EM e no período distante do Eta-CanESM2. Na figura 21, as barras em azul representam respostas às modelagens que utilizam apenas dados climáticos. As perdas anuais chegam a 55% no RCP 4.5 (Eta- HadGEM2-EM) e a 50% no RCP 8.5 (Eta-BESM). O modelo Eta-Miroc5 apresenta aumentos de vazão média anual em todos os períodos e cenários, podendo alcançar



incrementos de 42% nos dois cenários, enquanto o Eta-CanESM2 mostra aumentos no cenário RCP 4.5 de até 42% e no RCP 8.5 de até 37%. Para este último cenário, no período distante, o modelo Eta-CanESM2 mostra redução na vazão de até 30%. É interessante observar que ao considerar diferentes usos da terra nas modelagens, há poucas variações nas respostas de vazão da bacia.

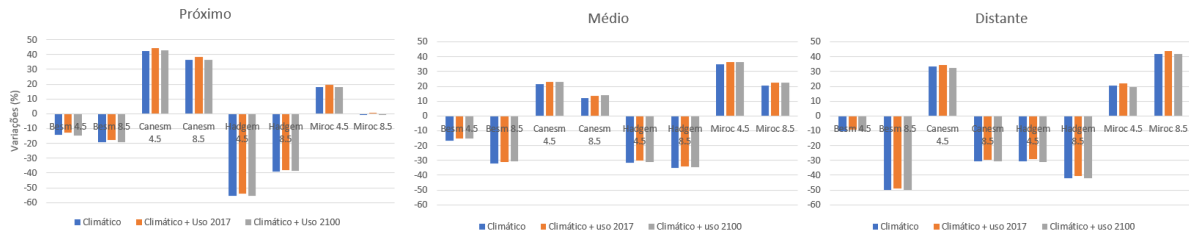


Figura 21: Variação média anual de vazão.

A vazão média anual se distribui nas sub-bacia tendo maior produção na bacia leste (13) com  $81\text{m}^3/\text{s}$ , e na porção central da área estudada, além disso, há déficit de  $10\text{m}^3/\text{s}$  na sub-bacia localizada ao norte da região (que coincide com o exultório da área de estudo). A sub-bacia 17 (anterior a 13), também tem déficit de 16%.

Considerando as análises futuras da distribuição das vazões médias, as maiores e menores variações de fluxo, 180% e -236%, ocorrem na bacia 10 (Figura 22). Ressalta-se que, historicamente, especificamente as bacias 10 e 17 perdem disponibilidade hídrica (até  $10\text{m}^3/\text{s}$  e  $20\text{m}^3/\text{s}$ , respectivamente), portanto, quando comparado em relação ao histórico, valores percentuais negativos são, na verdade, ganhos de disponibilidade hídrica em valores absolutos, enquanto valores percentuais positivos são perdas. Por exemplo, considerando a sub-bacias 10 que tem um histórico negativo de até  $10\text{m}^3/\text{s}$ , se houver uma variação de 180%, significa que ela passa a perder  $28\text{m}^3/\text{s}$ , da mesma forma, se a variação for de -236%, então, ela passa a ter uma vazão de cerca de  $14\text{m}^3/\text{s}$ . Na figura 22 é possível observar a distribuição e projeções da vazão nas sub-bacias, em valores percentuais (Anexos XIV, XV e XVI).

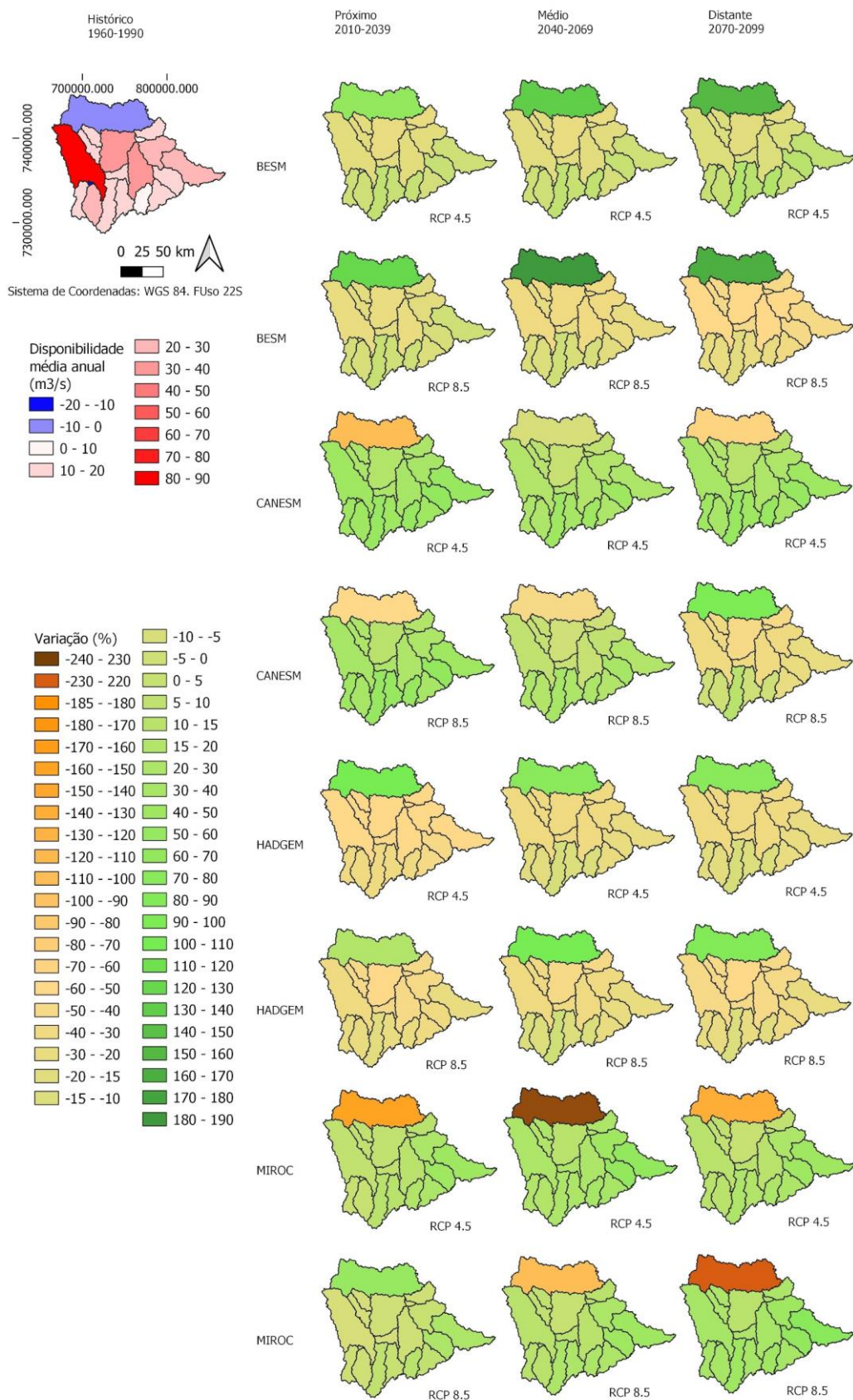


Figura 22: Distribuição média anual das projeções de vazão.

Adicionando o uso da terra nos modelos, houve poucas variações nas respostas de vazão, em relação às modelagens realizadas apenas com os dados climáticos. Como mostrado na Figura 21, as vazões médias anuais sofreram variações de cerca de 2%. Com o uso de 2017, todas as médias anuais de vazão tiveram acréscimos.

As variações na vazão média mensal mudam na faixa de -9% a 5% em relação às simulações somente com dados climatológicos, conforme mostrado na figura 23. A maioria das variações ficam na faixa de -2% a 2%, e é possível observar que, de maneira geral, as maiores variações de vazão comparando diferentes usos da terra ocorrem no segundo semestre. Além disso, o uso da terra do ano de 2017 combinado com dados climáticos tende a aumentar as vazões médias em todos os cenários, enquanto o uso da terra do ano de 2100 combinado com dados climáticos possui diferentes interpretações a depender do período. Para o período próximo, basicamente, ocorrem reduções de vazão no último trimestre e aumento nos demais meses do ano; para o período médio ocorrem reduções em Outubro e aumentos nos demais meses; e, para o período distante ocorrem reduções de maio à novembro.

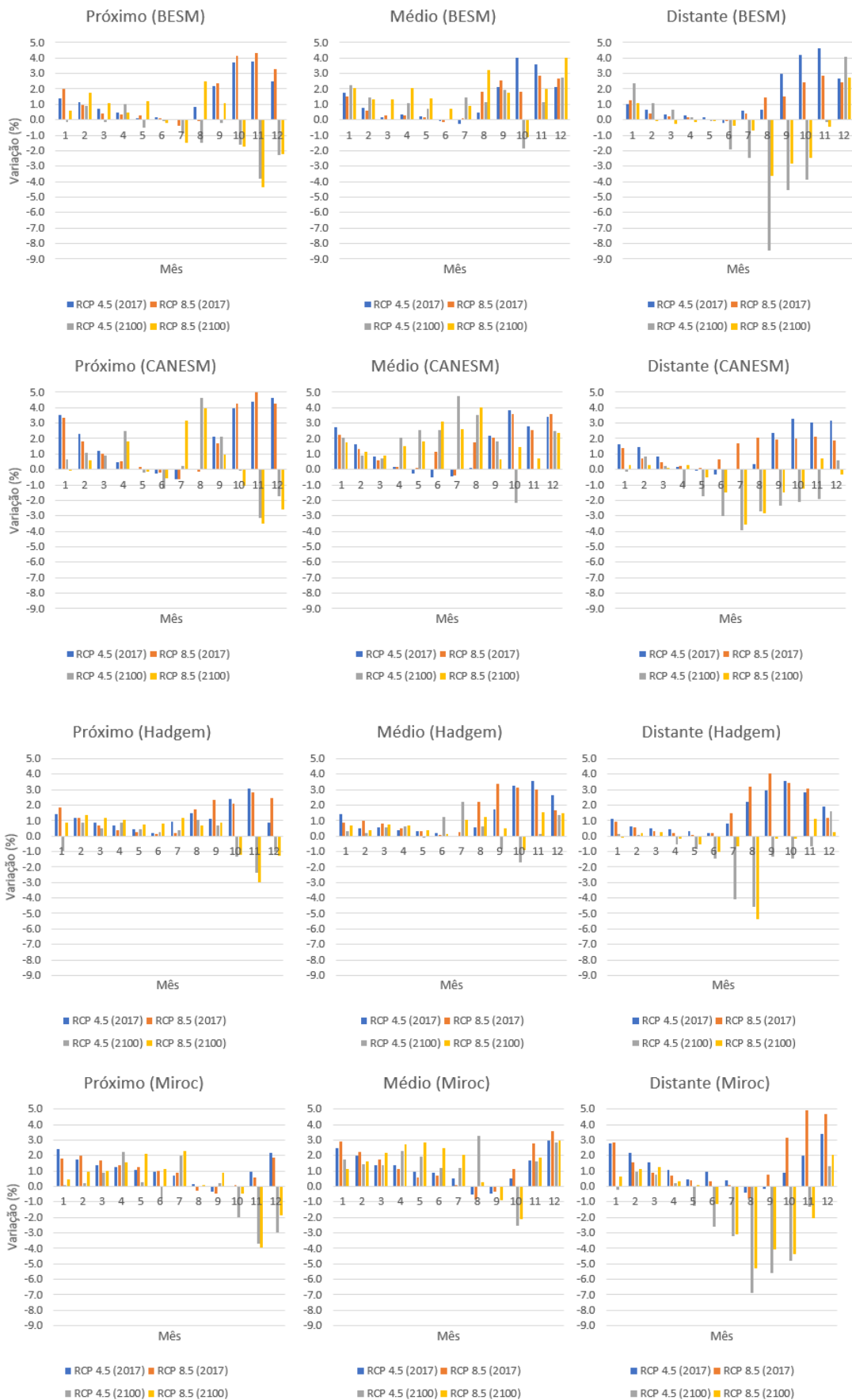


Figura 23: Variações mensais de vazão, segundo cada modelo e cenário em três períodos de tempo (próximo – 2010-2039, médio - 2040-2069 e distante 2070-2099), das modelagens com uso da terra (2017 e 2100) em relação às modelagens sem uso da terra.

Na análise por sub-bacia, comparando as modelagens realizadas considerando variações com dados climáticos com aquelas que adicionamos também o uso da terra, foi observado que ao adicionar o uso da terra no modelo, as variações ficaram em cerca de 3%, exceto para a bacia 10, que foi a bacia que mais sofreu com alterações climáticas e de uso da terra. Para o ano de 2017, nesta região, houve redução de vazão na maioria dos cenários e modelos, que chegaram a 17% (RCP 4.5) e 19% no RCP 8.5, em relação as modelagens apenas com dados climáticos. Com o uso de 2100, as reduções chegaram a 34% e 41% nos RCP 4.5 e 8.5, respectivamente. Com este mesmo uso, houve aumentos de 5% no Eta-CanESM2 (médio, RCP 8.5) e 2% no Eta-Miroc5 (distante, RCP 4.5) (Figura 24). É importante ressaltar que estas diferenças percentuais, embora pareçam muito, representam muito pouco em termos absolutos, variando entre  $0,5\text{m}^2/\text{s}$  e  $4\text{m}^3/\text{s}$ .

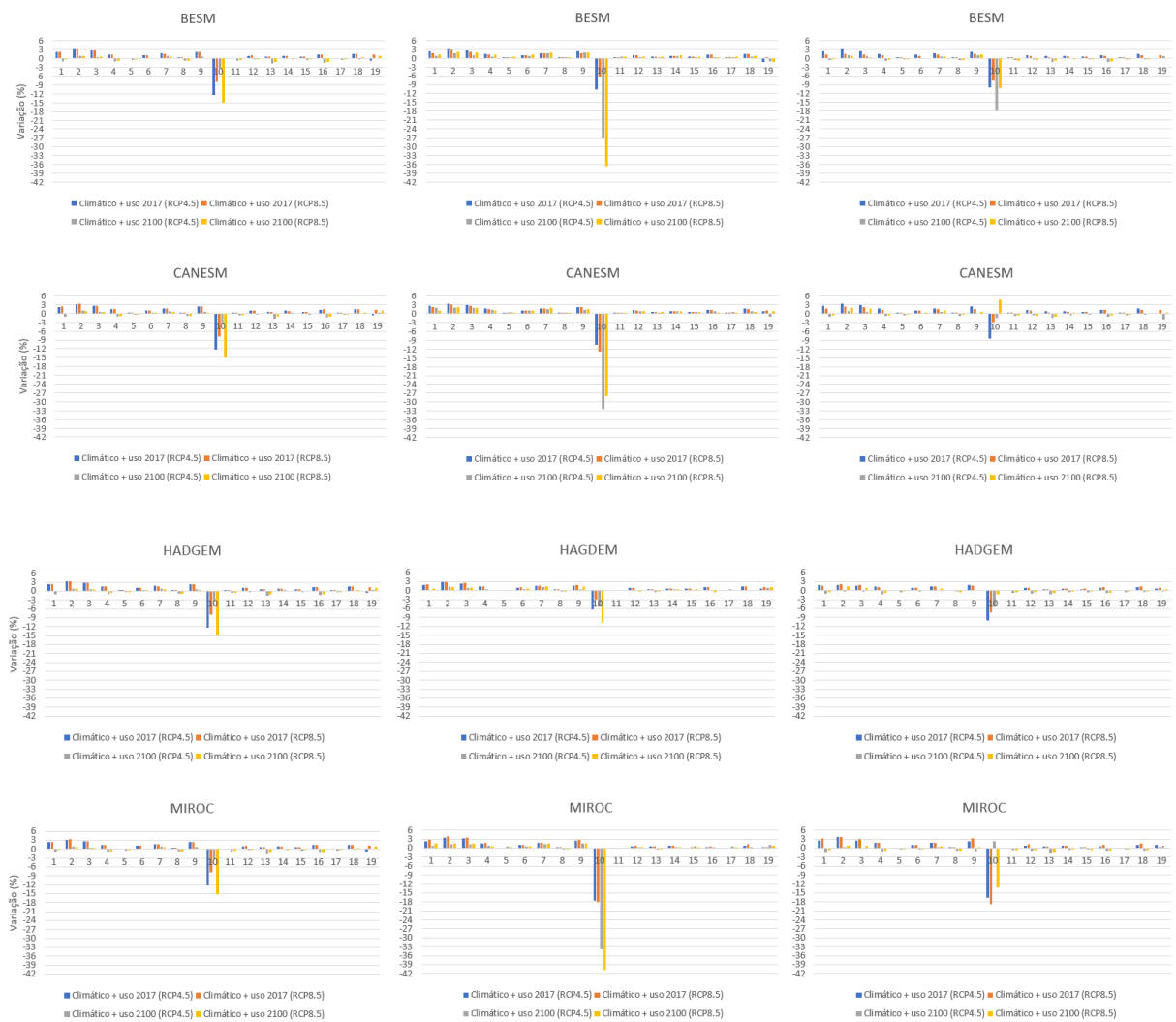


Figura 24: Variação média anual por sub-bacia considerando os diferentes usos da terra de 2017 e 2100.

## 6. Discussão

Em termos de resposta de vazão, os resultados mostram redução anual de disponibilidade hídrica nos modelos Eta-BESM, Eta-HadGEM2-EM e para o período distante do RCP 8.5 do Eta-CanESM2, enquanto apresenta aumentos nos demais cenários do modelo Eta-CanESM2 e Eta-Miroc5 até o final do século. As médias anuais e mensais de vazão de longos períodos são mais influenciadas pelas variações de precipitação e temperaturas do que pelas mudanças de uso da terra. As previsões climáticas apontam para aumentos da temperatura em todos os meses, redução nos padrões de precipitação nos meses chuvosos e aumento de precipitação nos meses secos, resultando em uma diminuição de precipitação anual, exceto nos

modelos Eta-CanESM2 e Eta-Miroc5. Esta dinâmica afetará a disponibilidade hídrica da bacia, reduzindo a vazão do rio principal nos meses chuvosos e aumentos nos meses de seca, ao passo que a demanda hídrica irá aumentar visto o aumento das temperaturas e conseqüentemente, aumento da evaporação, a expansão da área urbana nas modelagens de uso da terra e necessidade de intensificação de produção agrícola frente a redução de áreas de agricultura e expansão da silvicultura.

Haghighi *et al*, 2019 e Rani e Sreekes, 2020 mostraram que as mudanças climáticas são os maiores impulsionadores dos regimes de fluxos em bacias hidrográficas, assim como nossos resultados. Desta forma, reduções de disponibilidade hídrica anual dos modelos Eta-BESM e Eta-HadGEM2-EM estão associadas as reduções de precipitação nestes modelos. Segundo Chou *et. al.*, 2014, os modelos Eta-HadGEM2-EM e Eta-BESM possuem maior correlação para precipitação nos meses chuvosos e secos, respectivamente, na região centro-sul da América do Sul, assim como Eta-HadGEM2-EM possui maior correlação para temperaturas máximas e Eta-Miroc5 para temperaturas mínimas. Eta-Miroc5 apresenta aumentos de disponibilidade hídrica associado aos aumentos de precipitação, segundo Chou *et al.*, (2014), Eta-HadGEM2-EM e Eta-Miroc5 apontam resultados contraditórios para a região sul e sudeste do Brasil. Vale ressaltar que a região sudeste sofre influência tanto do clima do norte, quanto do clima do sul, e, por isso, está mais propensa a extremos climáticos de seca e chuvas intensas.

As variações climáticas de temperatura e precipitação estão de acordo com Chou *et al* 2014, que aponta um aumento de temperatura de até 9°C na América do Sul, e reduções de precipitação no sudoeste brasileiro explicado pela redução de intensidade das atividades da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). Neste mesmo sentido, Reboita *et al.* (2022) e Konapala *et al* (2020) também obtiveram as mesmas conclusões para o sudeste da América do Sul quando modelado pelo Eta. Adicionalmente, Brêda *et al* (2020), mostrou que haverá redução de vazão de 3% a 6% na bacia do Paraná, a depender do cenário de emissões, onde o cenário RCP 8.5 possui maiores reduções, enfatizando que a região a montante desta bacia, ou seja, concordante a nossa área de estudos, ficará mais seca.

A redução de disponibilidade hídrica poderá trazer conseqüências tanto para a produção de alimentos quanto para a geração de energia. Em um estudo na Europa, a redução de precipitação e aumento de temperatura, reduziu os fluxos de água em até 50% na bacia hidrográfica, afetando principalmente a produção agrícola (Zapata-Sierra, Zapata-Castillo e Manzano-Agugliaro, 2022). Na África, Nhemachena *et a.* (2020) mostram que o aumento da

escassez hídrica pode afetar de 15% a 50% a produção de alimentos. O aumento de temperatura e redução de precipitação aponta para reduções de produtividade mundial de alimentos, o aumento de cada grau na temperatura média mundial pode levar a redução na produtividade de trigo (6%), soja (3,1%), arroz (3,5%) e milho (7,4%) (Zhao *et al.*, 2017). No norte e leste da Europa, a redução chega a 24,5%, 9,1% e 2,1% para milho, cevada e trigo, respectivamente, assim como 5,8% (milho) e 3,9% na África Subsariana (Ray *et al.*, 2019). Nos EUA, revelam que aumentos de temperaturas em até 3°C podem resultar na redução de 30% a 82% da produtividade de milho, soja e algodão (Schlenker e Roberts, 2009). Alterações nos regimes de precipitação em regiões tropicais e subtropicais podem afetar a janela de produção de culturas altamente dependentes da precipitação (Wu *et al.*, 2017). Este cenário corrobora para o aumento do custo de produção, colocando em evidência o problema de segurança alimentar (Abbass *et al.*, 2021).

Além disso, redução na disponibilidade hídrica pode causar redução na capacidade de geração de hidroeletricidade na Bacia do Alto Paranapanema, conforme mostrado por Tiezzi, *et al* 2018. Segundo os autores, uma redução na vazão na Usina Hidrelétrica do Jurumirm de até 6,4% a 12,2% pode causar uma redução na geração de energia de 5,2% a 10,3%, respectivamente. Ressalta-se que devido a presença de reservatórios nas usinas, o efeito da redução de vazão é minimizado pelo aumento de precipitação anterior aos meses chuvosos (Tiezzi, *et al*, 2018), no entanto, as Pequenas Centrais hidrelétricas sofrerão mais por não terem reservatórios. Ao longo de toda a bacia e em cenário hipotético de extrapolação para o Brasil, a redução na geração de energia elétrica traz grandes efeitos econômicos e ambientais, gerando um conflito entre demanda e oferta de água, energia e alimento frente a um mundo que migra para soluções de baixo carbono, uma vez que, por muitas vezes, para suprir a demanda destes recursos, são utilizadas soluções com altas emissões de carbono, como o acionamento das termelétricas (Tiezzi *et al.*, 2018).

Por outro lado, Reboita *et al.* (2022) também demonstrou que embora os modelos Eta subestimem precipitações no sudeste da América do Sul no verão e causam aumentos no inverno, os modelos GMC resultam em aumentos de precipitação nos meses chuvosos e redução nos meses de seca nesta região, agravando eventos climáticos relacionados a chuvas extremas ou secas. Segundo Veiga *et al.*, 2023, a precipitação pode aumentar na região em até 30% até o final do século. De maneira geral, as distribuições sazonais globais apontam que regiões úmidas fiquem mais úmidas e regiões secas fiquem mais secas, ocorrendo o aumento na frequência de eventos extremos de precipitação e seca intensificados ainda mais no cenário



de altas emissões, conforme discutido por Chou *et al.*, (2014), Dai, Zhao e Chen (2018), Alves *et al.*, (2021), Almazroui *et al.*, (2021) e Reboita *et al.*, (2022) Veiga *et al.*, (2023). Os aumentos de vazão, especialmente, nos períodos chuvosos, podem aumentar a frequência e magnitude de inundações (Alfieri, *et al.*, 2015) que trazem diversos danos sociais e ambientais, tais como perdas materiais, aumento de doenças de veiculação hídrica e perdas de produções agrícolas. (Doocy *et al.*, 2013; Otomofa, Okafor, Obienusi, 2015), ao mesmo tempo, se estes aumentos forem em pequena escala, podem levar ao aumento na produção primária, na regulação da água, na recreação e no turismo (Talbot *et al.*, 2018).

As projeções de uso da terra atingiram similaridade de 40% assim como Novaes *et al.*, (2011), ressalta-se que em seu trabalho considerou apenas transição entre quatro usos e neste estudo, as transições foram baseadas em sete usos. Para suprir toda a demanda de recursos necessários para abastecimento da população frente aos desafios ambientais, sobretudo de redução do desmatamento, é esperado um aumento na produção de florestas plantadas (WWF, 2013), assim como mostrado nos nossos resultados, e a intensificação nas áreas de produção (Weindl *et al.*, 2017, Carle; Duval e Ashford, 2020) visto que novas terras para produção agrícola estão cada vez mais escassas (Bezerra *et al.*, 2022). Embora historicamente as conversões de vegetação nativa, principalmente em campos agrícolas, tem sido mais frequentes em áreas de alta aptidão agrícola e relevos mais planos (Rosa *et al.*, 2021) o aumento da silvicultura, especialmente, para pequenos produtores, tem sido cada vez mais comum, uma vez que é uma cultura de crescimento rápido, retorno econômico considerável, adaptável à diversas regiões incluindo áreas marginais (Castro *et al.*, 2016, Costa e Streck, 2018, Elli *et al.*, 2019, Elli *et al.*, 2020).

Embora os resultados apontem que as variações do uso do solo não interfiram nas vazões médias mensais, vale ressaltar que os modelos ainda não foram calibrados. Freitas *et al.*, (2022), em suas modelagens em uma bacia do sistema Cantareira, mostrou que mesmo após a calibração, a variação em três cenários de uso da terra (considerando a restauração da mata ciliar, a conservação em áreas específicas de acordo com sua capacidade de fornecer serviços hidrológicos e um cenário combinado dos dois anteriores), não alterou significativamente a vazão. Além disso, modelos hidrológicos em grandes bacias são complexos e podem ter efeitos compensatórios que reduzem o efeito da mudança do uso da terra nos fluxos (Costa *et al.* .2003, Cao *et al.* .2009, Bieger *et al.* .2015). Por outro lado, estudos apontam que a substituição de pastagens e campos agrícolas por silvicultura tendem a reduzir as vazões pois aumentam a evapotranspiração e diminuem escoamento base ((Bonnesoeur *et al.*, 2019, Almeida *et al.*,

2020, Iroumé et al., 2021, Slingsby et al., 2021, Costa et al., 2023). Isto ocorre pois o índice de área foliar (IAF) do eucalipto é superior ao da pastagem, contribuindo para maior interceptação da copa (Viola et al. 2014) , além disso, o sistema radicular dos eucaliptos permitem um maior armazenamento de água no solo por serem mais profundos e conseqüentemente, reduzem o escoamento base (Carvalho et al., 2022, Costa et al., 2023).

Desta forma, alinhada a redução de fluxos hídricos devido as projeções futuras de mudanças climáticas, a cenarização do uso da terra no qual se aumenta a silvicultura, intensificará ainda mais a falta de água superficial disponível na bacia, sendo necessária a obtenção de água por outros meios para suprir a demanda por este recurso, como a exploração de água subterrânea ou transposição de outras bacias, por exemplo. Em paralelo, outras ações relacionadas aos usos da terra também podem ser tomadas para garantir a segurança hídrica e alimentar da região, como rotação de culturas, seleção de genótipos, maior espaçamento entre as mudas de eucalipto, desbaste e poda em intervalos mais curtos (Florêncio, Martins e Fagundes, 2022), recuperação e preservação das nascentes, manejo e recuperação correta de pastagens degradadas (Weindl *et al.*, 2017, Batista *et al.*, 2019, EMBRAPA, 2020), gestão de irrigação e práticas inteligentes (nivelamento de terras a laser, armazenamento de águas pluviais, microirrigação, diversificação de culturas, plantação em canteiros elevados (Saccon, 2018), o plantio direto, gestão do solo, mudanças na janela de produção para adaptação climática, aprimoramento de tecnologias de conservação de recursos, tecnologias de sistemas de cultivo e intervenções socioeconômicas ou políticas (Ventakeswarlu e Shanker, 2009, Sandhu *et al.*, 2019; Powlson *et al.*, 2014), investimentos em fontes alternativas de energia, são as principais medidas a serem tomadas para mitigar os efeitos da redução de disponibilidade hídrica na bacia (Ribeiro, Arouca e Coelho, 2016).

## **7. Limitações e Considerações Finais**

Os resultados apontam para que as mudanças de precipitação e temperatura são mais influentes na disponibilidade hídrica do que as mudanças no uso da terra. As alterações climáticas futuras irão reduzir a disponibilidade hídrica no período chuvoso e aumentar no período de seca. A relação oferta e demanda por água será afetada negativamente aumentando os conflitos pelos usos múltiplos evidenciando a necessidade de uma gestão mais eficiente dos recursos hídricos de forma integrada para garantir água, energia e segurança alimentar.

Ressalta-se que a disponibilidade de dados é um problema constante das modelagens. Os dados de caracterização de tipo de solo da região foram baseados em áreas próximas ou semelhantes. Outro ponto importante a ser considerado é que o modelo hidrológico não foi calibrado, entretanto, por mais que os números absolutos não sejam precisos, este trabalho contribui para o entendimento futuro nos padrões de precipitação, temperaturas e vazão na região de estudo. Para trabalhos futuros, recomenda-se a calibração do modelo tanto em relação aos dados de vazão, quanto aos dados de caracterização do solo para minimizar as incertezas das simulações. É interessante explorar a questão do uso do solo em uma escala temporal mais discretizada, embora os usos tenham sido menos relevantes à longo prazo, entender como as mudanças no uso da terra afetam a disponibilidade em curtos períodos também é interessante, sobretudo quanto à respostas de eventos climáticos. Adicionalmente, é interessante considerar modelagens mais detalhadas quanto a inserção de irrigação, culturas sazonais e simulação de cenários da paisagem e gestão, como por exemplo, restauração de áreas de preservação permanentes, que possam corroborar para melhor gestão dos recursos hídricos da bacia frente às mudanças climáticas e usos da terra.

## 8. Referências

- ABBASPOUR, Karim C. "User manual for SWAT-CUP, SWAT calibration and uncertainty analysis programs." Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, Eawag, Duebendorf, Switzerland 93, 2007.
- ABBASS, Kashif *et al.* A review of the global climate change impacts, adaptation, and sustainable mitigation measures. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 29, n. 28, p. 42539-42559, 2022.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. Hidroweb: Sistemas de informações hidrológicas.
- ALFIERI, Lorenzo *et al.* Ensemble flood risk assessment in Europe under high end climate scenarios. **Global Environmental Change**, v. 35, p. 199-212, 2015.
- ALMAZROUI, Mansour *et al.* Assessment of CMIP6 performance and projected temperature and precipitation changes over South America. **Earth Syst Environ**, v. 5, n. 2, pág. 155-183, 2021.
- ALMINO, Laís Marques de Oliveira; RUFINO, Iana Alexandra Alves. Modelagem dinâmica e cenários urbanos de demanda de água: simulações em Campina Grande (PB). **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 26, p. 915-925, 2021.
- ALVES, Lincoln M. *et al.* Assessment of rainfall variability and future change in Brazil across multiple timescales. **International Journal of Climatology**, v. 41, p. E1875-E1888, 2021.
- ANA - Agência Nacional de Águas; EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias. **Levantamento da Agricultura Irrigada Por Pivôs Centrais No Brasil (1985-2017)**. 2019.
- ARESPI - ASSOCIAÇÃO REGIONAL DOS ENGENHEIRO DE ITAPEVA (Itapeva). Agronegócio em nossa Região. *In: Itapeva e Região. Uma das maiores produtoras agrícolas do estado de São Paulo.* [S. l.], 15 out. 2017. Disponível em: <https://www.arespi.org.br/noticia/agronegocio-em-nossa-regiao/>. Acesso em: 10 abr. 2023.
- ARNOLD, J. G., R. S. Muttiah, R. Srinivasan, and P. M. Allen. 2000. Regional estimation of baseflow and groundwater recharge in the Upper Mississippi River basin. *J. Hydrol.* 227(1-4): 21-40.

ARNOLD, Jeffrey G. *et al.* Large area hydrologic modeling and assessment part I: model development 1. **JAWRA Journal of the American Water Resources Association**, v. 34, n. 1, p. 73-89, 1998.

AYUGI, Brian *et al.* East African population exposure to precipitation extremes under 1.5 °C and 2.0 °C warming levels based on CMIP6 models. **Environmental Research Letters**, v. 17, n. 4, pág. 044051, 2022.

BALDISSERA, G. C. 2005. **Aplicabilidade do modelo de simulação hidrológica SWAT (Soil and Water Assessment Tool), para a Bacia Hidrográfica do Rio Cuiabá/MT**. 132f. Dissertação de Mestrado em Física e Meio Ambiente, Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, Mato Grosso, Brasil, 132p.

BARATI, Ali Akbar *et al.* Interactions of land-use cover and climate change at global level: How to mitigate the environmental risks and warming effects. **Ecological Indicators**, v. 146, p. 109829, 2023.

BATISTA, Evandro *et al.* Large-scale pasture restoration may not be the best option to reduce greenhouse gas emissions in Brazil. **Environmental Research Letters**, v. 14, n. 12, p. 125009, 2019.

BELTRAN-PEÑA, Areidy; ROSA, Lourenço; D'ODORICO, Paulo. Global food self-sufficiency in the 21st century under sustainable intensification of agriculture. **Environmental Research Letters**, v. 15, n. 9, pág. 095004, 2020.

BIEGER, Katrin; HÖRMANN, Georg; FOHRER, Nicola. The impact of land use change in the Xiangxi Catchment (China) on water balance and sediment transport. **Regional Environmental Change**, v. 15, p. 485-498, 2015.

BONHAM-CARTER, G. F. 1994. **Geographic Information systems for geoscientists: modelling with GIS**. Ontario, Pergamon Press, 398 p.

BONNESOEUR, Vivien *et al.* Impacts of forests and forestation on hydrological services in the Andes: A systematic review. **Forest Ecology and Management**, v. 433, p. 569-584, 2019.

BRADSHAW, Corey JA *et al.* Underestimating the challenges of avoiding a ghastly future. **Frontiers in Conservation Science**, v. 1, p. 615419, 2021.

BRASIL. INMET. (Org.). **Instituto Nacional de Meteorologia**. Disponível em: <<https://tempo.inmet.gov.br/TabelaEstacoes/A001>>.

BRÊDA, João Paulo Lyra Fialho *et al.* Climate change impacts on South American water balance from a continental-scale hydrological model driven by CMIP5 projections. **Climatic Change**, v. 159, n. 4, p. 503-522, 2020.

CAO, Wenzhi *et al.* Modelling impacts of land cover change on critical water resources in the Motueka River catchment, New Zealand. **Water resources management**, v. 23, p. 137-151, 2009.

CARLE, J. B.; DUVAL, A.; ASHFORDC, S. The future of planted forests. **International Forestry Review**, v. 22, n. 1, p. 65-80, 2020.

CARVALHO, Vinícius SO *et al.* Assessment of land use changes in the Verde River basin using two hydrological models. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 118, p. 103954, 2022.

CASTRO, Carla Aparecida de Oliveira *et al.* Brief history of Eucalyptus breeding in Brazil under perspective of biometric advances. *Ciência Rural*, v. 46, p. 1585-1593, 2016. ALMEIDA, Rafael A. *et al.* Applicability of the swat hydrological model in the mucuri river basin. **Engenharia Agrícola**, v. 40, p. 631-644, 2020.

CBH-ALPA. COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO PARANAPANEMA. **Plano da Bacia Hidrográfica do Alto Paranapanema (UGRHI 14) – 2016-2027: Relatório II – Plano de Bacia**. São Paulo: Cbh-alpa, 2018. 235 p. Disponível em: <[http://www.sigrh.sp.gov.br/public/uploads/documents//CBH-ALPA/13699/pbhalpa\\_relatorioii\\_final.pdf](http://www.sigrh.sp.gov.br/public/uploads/documents//CBH-ALPA/13699/pbhalpa_relatorioii_final.pdf)> Acesso em: 21 out. 2022.

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**, v. 3, n. 05, p. 512, 2014.

CHOU, Sin Chan *et al.* Downscaling of South America present climate driven by 4-member HadCM3 runs. **Climate dynamics**, v. 38, p. 635-653, 2012.

CHOU, Sin Chan *et al.* Evaluation of the Eta simulations nested in three global climate models. **American Journal of Climate Change**, v. 3, n. 05, p. 438, 2014.

CHYLEK, P. *et al.* Observed and model simulated 20th century Arctic temperature variability: Canadian earth system model CanESM2. **Atmospheric Chemistry and Physics Discussions**, v. 11, n. 8, p. 22893-22907, 2011.

COBLE, Ashley A. *et al.* Long-term hydrological response to forest harvest during seasonal low flow: Potential implications for current forest practices. **Science of the Total Environment**, v. 730, p. 138926, 2020.

COLLINS, W. J. *et al.* Development and evaluation of an Earth-System model—HadGEM2. **Geoscientific Model Development**, v. 4, n. 4, p. 1051-1075, 2011.

COSTA LINS, FREDERICO ABRAÃO *et al.* ANÁLISE DA DINÂMICA TEMPORAL DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO REAL EM UMA BACIA HIDROGRÁFICA DO SEMIÁRIDO ATRAVÉS DE MODELAGEM HIDROLÓGICA E SENSORIAMENTO REMOTO. **Revista IRRIGA (Brazilian Journal of Irrigation & Drainage)**, v. 26, n. 3, 2021.

COSTA, Daniele Barbosa da; STRECK, Nereu Augusto. Duração da fase de mudas em eucalipto simulada em cenários de aumento de temperatura. **Ciência Florestal**, v. 28, p. 1263-1270, 2018.

COSTA, Marcos Heil; BOTTA, Aurélie; CARDILLE, Jeffrey A. Effects of large-scale changes in land cover on the discharge of the Tocantins River, Southeastern Amazonia. **Journal of hydrology**, v. 283, n. 1-4, p. 206-217, 2003.

COSTA, Renata Cristina Araújo *et al.* Hydrologic response to land use and land cover change scenarios: an example from the Paraopeba River basin based on the SWAT model. **Water**, v. 15, n. 8, p. 1451, 2023.

COSTA, Renata Cristina Araújo *et al.* Hydrologic response to land use and land cover change scenarios: an example from the Paraopeba River basin based on the SWAT model. **Water**, v. 15, n. 8, p. 1451, 2023.

CURTIS, Philip G. *et al.* Classifying drivers of global forest loss. **Science**, v. 361, n. 6407, p. 1108-1111, 2018.

DAI, Aiguo; ZHAO, Tianbao; CHEN, Jiao. Climate change and drought: a precipitation and evaporation perspective. **Current Climate Change Reports**, v. 4, p. 301-312, 2018.

DARKO, Ransford Opoku *et al.* Irrigation, a productive tool for food security—a review. **Acta Agriculturae Scandinavica, Section B—Soil & Plant Science**, v. 66, n. 3, p. 191-206, 2016.

DE ALMEIDA OLIVETTE, Mário Pires *et al.* EVOLUÇÃO E PROSPECÇÃO DA AGRICULTURA PAULISTA: liberação da área de pastagem para o cultivo da cana-de-açúcar, eucalipto, seringueira e reflexos na pecuária, 1996-20301.

DE FREITAS, Letícia Duarte *et al.* How far can nature-based solutions increase water supply resilience to climate change in one of the most important Brazilian watersheds?. **Earth**, v. 3, n. 3, p. 748-767, 2022.

DE OLIVEIRA SILVA, Rafael *et al.* Sustainable intensification of Brazilian livestock production through optimized pasture restoration. **Agricultural systems**, v. 153, p. 201-211, 2017.

DE OLIVEIRA TIEZZI, R. *et al.* Impacts of climate change on hydroelectric power generation—a case study focused in the Paranapanema Basin, Brazil. **Journal of Sustainable Development**, v. 11, n. 1, 2018.

DILE, Y.; SRINIVASAN, R.; GEORGE, C. **QGIS Interface for SWAT (QSWAT)**, Version 1.3 (2016).

DO VALLE JÚNIOR, Renato Farias *et al.* Diagnosis of degraded pastures using an improved NDVI-based remote sensing approach: An application to the Environmental Protection Area of Uberaba River Basin (Minas Gerais, Brazil). **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 14, p. 20-33, 2019.

DOOCY, Shannon *et al.* The human impact of floods: a historical review of events 1980-2009 and systematic literature review. **PLoS currents**, v. 5, 2013.

DOUGLAS-MANKIN, K. R.; SRINIVASAN, Raghavan; ARNOLD, J. G. Soil and Water Assessment Tool (SWAT) model: Current developments and applications. **Transactions of the ASABE**, v. 53, n. 5, p. 1423-1431, 2010.

ELLI, Elvis Felipe *et al.* Gauging the effects of climate variability on Eucalyptus plantations productivity across Brazil: a process-based modelling approach. **Ecological Indicators**, v. 114, p. 106325, 2020.

ELLI, Elvis Felipe *et al.* Intercomparison of structural features and performance of Eucalyptus simulation models and their ensemble for yield estimations. **Forest ecology and management**, v. 450, p. 117493, 2019.



EMBRAPA, GADO DE CORTE. O futuro da cadeia produtiva da carne bovina brasileira: uma visão para 2040. **Centro de Inteligência da Carne Bovina, Embrapa Gado de Corte, Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Corte, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Campo Grande, 2020.** Disponível em: < <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1125194/o-futuro-da-cadeia-produtiva-da-carne-bovina-brasileira-uma-visao-para-2040>> Acesso em: 15 de Janeiro de 2023.

FAO - **Food and Agriculture Organization of the United Nations.** Online data FAOSTAT. Disponível em:: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/FO>. FAO, 2021a

FAO, O. d. Agricultura Irrigada Sustentável no Brasil: Identificação de Áreas Prioritárias. 2017.

FAO. Global Forest Resources Assessment 2020: Main report. Rome. 2020.

FLORÊNCIO, Gabriel Wilson Lorena; MARTINS, Fabrina Bolzan; FAGUNDES, Flávia Fernanda Azevedo. Climate change on Eucalyptus plantations and adaptive measures for sustainable forestry development across Brazil. **Industrial Crops and Products**, v. 188, p. 115538, 2022.

FOLEY, Jonathan A. Can we feed the world sustain the planet?. **Scientific American**, v. 305, n. 5, p. 60-65, 2011

FOLEY, Jonathan A. *et al.* Solutions for a cultivated planet. **Nature**, v. 478, n. 7369, p. 337-342, 2011.a.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). The water-energy-food nexus: A new approach in support of food security and sustainable agriculture. 2014. Disponível em: <[http://www.fao.org/nr/water/docs/FAO\\_nexus\\_concept.pdf](http://www.fao.org/nr/water/docs/FAO_nexus_concept.pdf)>

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **The state of the world's land and water resources for food and agriculture: Managing systems at risk.** Earthscan, 2011.

FUJITA, Thais. **Calibração e validação de um modelo hidrológico para a bacia hidrográfica do rio Ivaí.** 2018. 128 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2018.

GASHAW, Temesgen *et al.* Estimating the impacts of land use/land cover changes on Ecosystem Service Values: The case of the Andassa watershed in the Upper Blue Nile basin of Ethiopia. **Ecosystem Services**, v. 31, p. 219-228, 2018.

GERTEN, Dieter *et al.* Feeding ten billion people is possible within four terrestrial planetary boundaries. **Nature Sustainability**, v. 3, n. 3, p. 200-208, 2020.

GOLDEWIJK, Kees Klein. Estimating global land use change over the past 300 years: the HYDE database. **Global biogeochemical cycles**, v. 15, n. 2, p. 417-433, 2001

GOLDEWIJK, Kees; RAMANKUTTY, Navin. Land cover change over the last three centuries due to human activities: The availability of new global data sets. **GeoJournal**, v. 61, p. 335-344, 2004.

HADDELAND, Ingjerd *et al.* Global water resources affected by human interventions and climate change. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 111, n. 9, p. 3251-3256, 2014.

HAGEN, Alex. Fuzzy set approach to assessing similarity of categorical maps. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 17, n. 3, p. 235-249, 2003.

HENRY, R., PAES, J. V. K., KURCHEVSKI, G. e QUEIROZ, J. (2016). A represa de Jurumirim e seus tributários. In R. J. Silva (Ed.), **Integridade ambiental da represa de Jurumirim: Ictiofauna e relações ecológicas** (pp. 15– 32). São Paulo: Editora Unesp.

IBÁ – Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório Anual IBÁ 2021**. Disponível em:<<https://www.iba.org/publicacoes/relatorios>>. Acesso em Dezembro de 2021. IBÁ, 2021.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2021. **Produção Nacional da Extração Vegetal e da Silvicultura- 2021**. Disponível em:<<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9105-producao-da-extracao-vegetal-e-da-silvicultura.html?=&t=resultados>>.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário 2017**. Disponível em: <[https://censoagro2017.ibge.gov.br/templates/censo\\_agro/resultadosagro/index.html](https://censoagro2017.ibge.gov.br/templates/censo_agro/resultadosagro/index.html)>. Acesso em: 15 Janeiro de 2023.

IPCC, 2021: Climate Change 2021. **The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge University Press. Cambridge. <https://report.ipcc.ch/ar6wg1/>

JANJIĆ, Josip; TADIĆ, Lidija. Fields of Application of SWAT Hydrological Model—A Review. **Earth**, v. 4, n. 2, p. 331-344, 2023.

IROUMÉ, Andrés; JONES, Julia; BATHURST, James C. Forest operations, tree species composition and decline in rainfall explain runoff changes in the Nacimiento experimental catchments, south central Chile. **Hydrological Processes**, v. 35, n. 6, p. e14257, 2021.

KASTNER, Thomas *et al.* Global changes in diets and the consequences for land requirements for food. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 109, n. 18, p. 6868-6872, 2012.

KONAPALA, Goutam *et al.* Climate change will affect global water availability through compounding changes in seasonal precipitation and evaporation. **Nature communications**, v. 11, n. 1, p. 3044, 2020.

KÖPPEN, W. **Lãs zonas de clima. Climatologia – com um estúdio de los climas de la Tierra.** Tradução PEREZ, P.H. México. Fundo de cultura econômico, p. 145-378, 1948.

LIMA, J. E. F. W. *et al.* Desenvolvimento de base de dados de solos para a aplicação do modelo SWAT em bacia do Bioma Cerrado. **Proceedings of the XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Bento Gonçalves, Brazil**, p. 17-22, 2013.

LIN, Yu-Pin *et al.* Impacts of land use change scenarios on hydrology and land use patterns in the Wu-Tu watershed in Northern Taiwan. **Landscape and urban planning**, v. 80, n. 1-2, p. 111-126, 2007.

MANCOSU, Noemi *et al.* Water scarcity and future challenges for food production. **Water**, v. 7, n. 3, p. 975-992, 2015

MANGO, Liya M. *et al.* Land use and climate change impacts on the hydrology of the upper Mara River Basin, Kenya: results of a modeling study to support better resource management. **Hydrology and earth system sciences**, v. 15, n. 7, p. 2245-2258, 2011.

MARENGO, Jose A. *et al.* Development of regional future climate change scenarios in South America using the Eta CPTEC/HadCM3 climate change projections: climatology and regional analyses for the Amazon, São Francisco and the Paraná River basins. **Climate dynamics**, v. 38, p. 1829-1848, 2012.

- MARENGO, José A. *et al.* Eventos extremos em cenários regionalizados de clima no Brasil e América do Sul para o Século XXI: projeções de clima futuro usando três modelos regionais. 2007. **Brasília: MMA**, 2007.
- MARIANI, Leidiane *et al.* Análise de oportunidades e desafios para o Nexo Água-Energia. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 37, 2016.
- MARIN, Mirabela *et al.* Assessing the vulnerability of water resources in the context of climate changes in a small forested watershed using SWAT: A review. **Environmental research**, v. 184, p. 109330, 2020.
- MASSON-DELMOTTE, V. *et al.* IPCC, 2020: **Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems**. 2020.
- MINUZZI, Rosandro Boligon *et al.* Climatologia do comportamento do período chuvoso da região sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 22, p. 338-344, 2007.
- MIRÓN, Isidro Juan; LINARES, Cristina; DÍAZ, Julio. The influence of climate change on food production and food safety. **Environmental Research**, v. 216, p. 114674, 2023.
- MOROZ-CACCIA GOUVEIA, Isabel Cristina *et al.* Atlas Geoambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Paranapanema. **FCT/UNESP, Presidente Prudente**, 2018.
- NEITSCH, Susan L. *et al.* **Documentação teórica da ferramenta de avaliação de solo e água versão 2009**. Instituto de Recursos Hídricos do Texas, 2011.
- NOVAES, Maikon Roberth de *et al.* Cenários previsões baseados em modelagem dinâmica espacial para o manejo da colheita de cana-de-açúcar no estado de São Paulo. **Anais do XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, p. 407-414, 2011.
- ORTIZ-BOBEA, Ariel *et al.* Anthropogenic climate change has slowed global agricultural productivity growth. **Nature Climate Change**, v. 11, n. 4, p. 306-312, 2021.
- OTOMOFA, J.; OKAFOR, B. N.; OBIENUSI, E. A. Evaluation of the impacts of flooding on socio-economic activities in Oleh, Isoko South Local Government Area, Delta State. **Evaluation**, v. 5, n. 18, p. 155-171, 2015.
- PATHAK, Tapan B. *et al.* Climate change trends and impacts on California agriculture: a detailed review. **Agronomy**, v. 8, n. 3, p. 25, 2018.
- PAYN, Tim *et al.* Changes in planted forests and future global implications. **Forest Ecology and Management**, v. 352, p. 57-67, 2015.

- PESQUERO, José Fernando *et al.* Redução do clima na América do Sul entre 1961–1970 usando o Modelo Eta. **Climatologia teórica e aplicada**, v. 99, p. 75-93, 2010.
- PERAZZOLI, Mauricio; PINHEIRO, Adilson; KAUFMANN, Vander. Efeitos de cenários de uso do solo sobre o regime hídrico e produção de sedimentos na bacia do Ribeirão Concórdia-SC. **Revista Árvore**, v. 37, p. 859-869, 2013.
- PFAHL, Stephan; O’GORMAN, Paul A.; FISCHER, Erich M. Understanding the regional pattern of projected future changes in extreme precipitation. **Nature Climate Change**, v. 7, n. 6, p. 423-427, 2017.
- POKHREL, Yadu *et al.* Global terrestrial water storage and drought severity under climate change. **Nature Climate Change**, v. 11, n. 3, p. 226-233, 2021.
- PROJETO MAPBIOMAS. **Coleção 3.1 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da terra no Brasil**. Disponível em: <<http://mapbiomas.org/>> Acesso em: 04 jul. 2021.
- QADIR, Manzoor *et al.* Salt-induced land and water degradation in the Aral Sea basin: A challenge to sustainable agriculture in Central Asia. In: **Natural Resources Forum**. Oxford, UK: Blackwell Publishing Ltd, 2009. p. 134-149.
- QIU, Jiali; SHEN, Zhenyao; XIE, Hui. Drought impacts on hydrology and water quality under climate change. **Science of The Total Environment**, v. 858, p. 159854, 2023.
- RAMANKUTTY, Navin; FOLEY, Jonathan A. Estimating historical changes in global land cover: Croplands from 1700 to 1992. **Global biogeochemical cycles**, v. 13, n. 4, p. 997-1027, 1999.
- RANI, Seema; SREEKESH, S. Flow regime changes under future climate and land cover scenarios in the Upper Beas basin of Himalaya using SWAT model. **International Journal of Environmental Studies**, v. 78, n. 3, p. 382-397, 2021.
- RAY, Deepak K. *et al.* Climate change has likely already affected global food production. **PloS one**, v. 14, n. 5, p. e0217148, 2019.
- REBOITA, Michelle Simões *et al.* South America climate change revealed through climate indices projected by GCMs and Eta-RCM ensembles. **Climate Dynamics**, v. 58, n. 1, p. 459-485, 2022.
- REMONDI, Federica; BURLANDO, Paolo; VOLLMER, Derek. Exploring the hydrological impact of increasing urbanisation on a tropical river catchment of the metropolitan Jakarta, Indonesia. **Sustainable Cities and Society**, v. 20, p. 210-221, 2016.

RIBEIRO, AED; AROUCA, MC; COELHO, DM Geração de energia elétrica a partir de energia solar e eólica em pequena escala no Brasil: a influência da localização, área e formato. *Renovar. Energia* **2016** , 85 , 554–563.

RIBEIRO, Milton Cezar *et al.* The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological conservation**, v. 142, n. 6, p. 1141-1153, 2009.

ROSA, Lorenzo *et al.* Global agricultural economic water scarcity. **Science Advances**, v. 6, n. 18, p. eaaz6031, 2020.

ROSA, Marcos R. *et al.* Hidden destruction of older forests threatens Brazil's Atlantic Forest and challenges restoration programs. **Science advances**, v. 7, n. 4, p. eabc4547, 2021.

ROSSI, M. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo: revisado e ampliado**. São Paulo: Instituto Florestal, 2017.

SACCON, Pierpaolo. Água para agricultura, gestão de irrigação. **Ecologia aplicada do solo** , v. 123, p. 793-796, 2018.

SANDHU, S. S. *et al.* The effect of recent climate shifts on optimal sowing windows for wheat in Punjab, India. **Journal of Water and Climate Change**, v. 11, n. 4, p. 1177-1190, 2020.

SCHLENKER, Wolfram; ROBERTS, Michael J. Nonlinear temperature effects indicate severe damages to US crop yields under climate change. **Proceedings of the National Academy of sciences**, v. 106, n. 37, p. 15594-15598, 2009.

SEADE. **PIB DOS MUNICÍPIOS PAULISTAS 2002-2014**. SEADE GOV. 2017. Disponível em:

<[http://www.seade.gov.br/produtos/midia/2017/07/PIB\\_2002\\_2014\\_FINAL\\_reduzido.pdf](http://www.seade.gov.br/produtos/midia/2017/07/PIB_2002_2014_FINAL_reduzido.pdf)>.

Acesso em: 15 out. 2020.

SECRETARIA DE AGRICULTURA E ABASTECIMENTO (Brasil). Instituto de Economia Agrícola (IEA). Soja: alta produtividade e tecnologia. In: ZEFERINO, Marisa; MARTINS, Renata. **Soja: alta produtividade e tecnologia**. [S. l.], 5 maio 2017. Disponível em: <http://www.iea.agricultura.sp.gov.br/out/TerTexto.php?codTexto=14291>. Acesso em: 18 jun. 2022.

SILVA BEZERRA, Francisco Gilney *et al.* New land-use change scenarios for Brazil: Refining global SSPs with a regional spatially-explicit allocation model. **Plos One** , v. 17, n. 4, pág. e0256052, 2022.

SLINGSBY, Jasper A. et al. Jonkershoek: Africa's oldest catchment experiment-80 years and counting. **Hydrological Processes**, v. 35, n. 4, p. e14101, 2021.

van Griensven, A., and W. Bauwens. 2003. Multiobjective autocalibration for semidistributed water quality models. *Water Resour. Res.* 39(12): 1348-1356.

SOARES-FILHO, Britaldo Silveira; CERQUEIRA, Gustavo Coutinho; PENNACHIN, Cássio Lopes. DINAMICA – A stochastic cellular automata model designed to simulate the landscape dynamics in an Amazonian colonization frontier. **Ecological Modelling**, v. 154, n. 3, pág. 217-235, 2002.

SOARES-FILHO, Britaldo S.; RODRIGUES, Hermann O.; COSTA, W. L. Modelagem de dinâmica ambiental com Dinamica EGO. **Centro de Sensoriamento Remoto/Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte**, 2009.

SPRINGMANN, Marco *et al.* Analysis and valuation of the health and climate change cobenefits of dietary change. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 113, n. 15, p. 4146-4151, 2016.

TALBOT, Ceara J. *et al.* The impact of flooding on aquatic ecosystem services. **Biogeochemistry**, v. 141, p. 439-461, 2018.

TAMBOSI, Leandro Reverberi *et al.* Funções eco-hidrológicas das florestas nativas e o Código Florestal. **Estudos avançados**, v. 29, p. 151-162, 2015.

TAYLOR, R., *et al.*, 2015. **WWF Living Forests Report: Chapter 5 Saving Forests at Risk**, Disponível em: <<https://www.worldwildlife.org/publications/living-forests-report-chapter-5-saving-forests-at-risk>> Acesso em: 15 de Fevereiro de 2023.

TILMAN, David *et al.* Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. **Proceedings of the national academy of sciences**, v. 108, n. 50, p. 20260-20264, 2011.

TORABI HAGHIGHI, Ali *et al.* Uma abordagem baseada em cenários para avaliar os impactos hidrológicos do uso da terra e das alterações climáticas na Bacia Hidrográfica de Marboreh, Irão. **Modelagem e Avaliação Ambiental**, v. 25, n. 1, pág. 41-57, 2020.

TRENBERTH, Kevin E. Conceptual framework for changes of extremes of the hydrological cycle with climate change. **Climatic change**, v. 42, n. 1, p. 327-339, 1999.

UN FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION *et al.* State of Food Insecurity in the World, The Multiple Dimensions of Food Security. **Food and Agriculture Organization**,

2013. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/018/i3434e/i3434e.pdf>> Acesso em: 14 de Fevereiro de 2023.

USDA. **Livestock and poultry: world markets and trade**. United States Department of Agriculture and Foreign Agricultural Service, p. 31, 2021.

USGS. UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. **Shuttle Radar Topography Mission**. Disponível em: <<http://srtm.usgs.gov/>>.

VAN LIEW, M. W., ARNOLD, J. G. e BOSCH, D. D. 2005. Problems and potential of autocalibrating a hydrologic model. **Trans. ASAE** 48(3): 1025-1040.

VEIGA, Sandro F. *et al.* Climate change over South America simulated by the Brazilian Earth system model under RCP4. 5 and RCP8. 5 scenarios. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 131, p. 104598, 2023

VEIGA, Sandro F. *et al.* The Brazilian Earth System Model ocean–atmosphere (BESM-OA) version 2.5: evaluation of its CMIP5 historical simulation. **Geoscientific Model Development**, v. 12, n. 4, p. 1613-1642, 2019.

VENKATESWARLU, B.; SHANKER, Arun K. Climate change and agriculture: adaptation and mitigation strategies. **Indian Journal of Agronomy**, v. 54, n. 2, p. 226-230, 2009.

VIOLA, M. R. *et al.* Impacts of land-use changes on the hydrology of the Grande river basin headwaters, Southeastern Brazil. **Water resources management**, v. 28, p. 4537-4550, 2014.

WANG, Ruoyu *et al.* Individual and combined effects of land use/cover and climate change on Wolf Bay watershed streamflow in southern Alabama. **Hydrological Processes**, v. 28, n. 22, p. 5530-5546, 2014.

WANG, Yinping *et al.* Soil and water assessment tool (SWAT) model: A systemic review. **Journal of Coastal Research**, v. 93, n. SI, p. 22-30, 2019.

WATANABE, Masahiro *et al.* Improved climate simulation by MIROC5: mean states, variability, and climate sensitivity. **Journal of Climate**, v. 23, n. 23, p. 6312-6335, 2010.

WEINDL, Isabelle *et al.* Livestock and human use of land: Productivity trends and dietary choices as drivers of future land and carbon dynamics. **Global and Planetary Change**, v. 159, p. 1-10, 2017.



WORLD WIDE FUND FOR NATURE. **Living Forests Report**. [S. l.]: WWF, 2013. Disponível em: <[http://d2ouvy59p0dg6k.cloudfront.net/downloads/living\\_forests\\_report\\_ch4\\_forest\\_products .pdf](http://d2ouvy59p0dg6k.cloudfront.net/downloads/living_forests_report_ch4_forest_products.pdf)> Acesso em: 25 de Março de 2023.

ZABEL, Florian *et al.* Global impacts of future cropland expansion and intensification on agricultural markets and biodiversity. **Nature communications**, v. 10, n. 1, p. 2844, 2019.

ZAPATA-SIERRA, Antonio Jesús; ZAPATA-CASTILLO, Lourdes; MANZANO-AGUGLIARO, Francisco. Water resources availability in southern Europe at the basin scale in response to climate change scenarios. **Environmental Sciences Europe**, v. 34, n. 1, p. 75, 2022.

ZHANG, Peng; ZHANG, Junjie; CHEN, Minpeng. Economic impacts of climate change on agriculture: The importance of additional climatic variables other than temperature and precipitation. **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 83, p. 8-31, 2017.

ZHAO, Chuang *et al.* Temperature increase reduces global yields of major crops in four independent estimates. **Proceedings of the National Academy of sciences**, v. 114, n. 35, p. 9326-9331, 2017.

ZHAO, Xiaohu *et al.* Responses of hydroelectricity generation to streamflow drought under climate change. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 174, p. 113141, 2023.

## Anexo I

Tabela 2: Transições de usos da terra, em hectares, do ano inicial para o final (1987-2017 e 2017-2100) na bacia do Jurumirim.

Uso 1987 (início)	Uso 2017 (final)	Uso 2017 (início)	Uso 2100 (final)
Agricultura (26.252)	(17067) Agricultura (3287) Pastagem (2293) Silvicultura (3384) Vegetação Nativa (96) Urbanização (90) Água (35) Outros	Agricultura (64.668)	(32271) Agricultura (7206) Pastagem (16496) Silvicultura (6985) Vegetação Nativa (809) Urbanização (775) Água (126) Outros
Pastagem (81.842)	(38996) Agricultura (26402) Pastagem (9453) Silvicultura (6266) Vegetação Nativa (360) Urbanização (259) Água (106) Outros	Pastagem (32.023)	(10868) Agricultura (10957) Pastagem (4526) Silvicultura (5172) Vegetação Nativa (226) Urbanização (138) Água (136) Outros
Silvicultura (15.880)	(2592) Agricultura (459) Pastagem (11268) Silvicultura (1545) Vegetação Nativa (6) Urbanização (8) Água (2) Outros	Silvicultura (28.855)	(2683) Agricultura (318) Pastagem (21971) Silvicultura (3781) Vegetação Nativa (51) Urbanização (5) Água (46) Outros
Vegetação Nativa (49.136)	(5756) Agricultura (1747) Pastagem (5816) Silvicultura (35563) Vegetação Nativa (29) Urbanização (179) Água (46) Outros	Vegetação Nativa (46.832)	(4811) Agricultura (2463) Pastagem (12566) Silvicultura (25992) Vegetação Nativa (18) Urbanização (845) Água (137) Outros
Urbanização (531)	(24) Agricultura (17) Pastagem (1) Silvicultura (2) Vegetação Nativa (485) Urbanização (0) Água (2) Outros	Urbanização (981)	(57) Agricultura (51) Pastagem (36) Silvicultura (11) Vegetação Nativa (818) Urbanização (2) Água (6) Outros
Água (4.596)	(100) Agricultura (66) Pastagem (1) Silvicultura (38) Vegetação Nativa (1) Urbanização (4389) Água (1) Outros	Água (4.928)	(59) Agricultura (335) Pastagem (29) Silvicultura (98) Vegetação Nativa (0) Urbanização (4387) Água (20) Outros

Outros (271)	(133) Agricultura (45) Pastagem (23) Silvicultura (34) Vegetação Nativa (4) Urbanização (3) Água (29) Outros		Outros (221)	(68) Agricultura (17) Pastagem (69) Silvicultura (55) Vegetação Nativa (7) Urbanização (3) Água (2) Outros
--------------	--	--	--------------	--

Legenda: Os usos da terra do ano final representam a distribuição do uso do ano inicial.

## Anexo II

Tabela 3: Variação da precipitação média (%) das predições climáticas do período próximo (2010-2039) nos cenários de emissões intermediárias (RCP 4.5) e altas (RCP 8.5) em relação a ao histórico (1963-1990).

	Histórico (mm)	Eta- BESM 4.5	Eta- BESM 8.5	Eta- CanE SM2 4.5	Eta- CanE SM2 8.5	Eta- HadG EM2- EM 4.5	Eta- HadG EM2- EM 8.5	Eta- Miroc 5 4.5	Eta- Miroc 5 8.5
Jan	276	-40	-40	0	-6	-54	-50	-33	-32
Fev	235	-48	-42	-3	-19	-54	-53	-36	-40
Mar	145	-46	-30	0	24	-41	-49	-24	-30
Abr	87	-28	-40	46	28	-34	-44	-16	-26
Mai	52	-1	-3	137	137	-10	-6	29	1
Jun	26	153	103	300	247	105	141	182	177
Jul	48	165	131	136	57	46	124	107	112
Ago	98	4	2	-1	-6	-12	-4	21	-1
Set	121	15	0	12	2	-24	-9	32	25
Out	156	17	35	-2	25	-23	-25	47	23
Nov	166	17	18	21	18	-47	-39	13	1
Dez	258	-29	-24	-5	4	-61	-54	-15	-23
Anual	1669	-11	-10	17	14	-38	-32	0	-9

Tabela 4: Temperatura máxima média (°C) das predições climáticas do período próximo (2010-2039) nos cenários de emissões intermediárias (RCP 4.5) e altas (RCP 8.5) em relação a ao histórico (1963-1990).

	Histórico (°C)	Eta-BESM 4.5	Eta-BESM 8.5	Eta-CanE SM2 4.5	Eta-CanE SM2 8.5	Eta-HadG EM2- EM 4.5	Eta-HadG EM2- EM 8.5	Eta-Miroc 5 4.5	Eta-Miroc 5 8.5
Jan	28.9	30.1	30.1	29.2	29.5	31.7	31.9	25.0	25.1
Fev	28.9	30.1	29.9	28.4	29.2	30.9	31.5	25.3	25.6
Mar	28.7	30.2	29.4	27.6	27.4	30.3	31.3	24.5	24.9
Abr	27.7	29.5	28.8	26.3	26.5	29.1	30.4	23.4	23.7
Mai	25.8	27.4	27.4	24.8	25.2	26.8	28.0	21.8	22.1
Jun	24.3	25.7	26.0	23.5	23.3	24.8	26.3	20.5	20.4
Jul	24.0	24.4	24.9	23.4	23.8	24.6	24.9	20.6	21.0
Ago	25.4	26.2	26.8	25.7	25.9	25.7	26.0	22.1	22.3
Set	27.4	28.2	28.9	28.1	28.2	28.2	28.2	22.8	23.1
Out	28.2	29.1	29.0	29.8	29.6	30.1	30.1	23.4	24.1
Nov	28.0	29.5	29.3	29.8	30.1	31.5	32.0	23.8	24.2
Dez	28.7	29.9	29.5	30.0	29.7	31.7	32.6	24.5	24.7
Anual	27.2	28.3	28.3	27.2	27.4	28.8	29.4	23.1	23.4

Tabela 5: Temperatura mínima média (°C) das previsões climáticas do período próximo (2010-2039) nos cenários de emissões intermediárias (RCP 4.5) e altas (RCP 8.5) em relação a ao histórico (1963-1990).

	Histórico (°C)	Eta-BESM 4.5	Eta-BESM 8.5	Eta-CanE SM2 4.5	Eta-CanE SM2 8.5	Eta-HadG EM2- EM 4.5	Eta-HadG EM2- EM 8.5	Eta-Miroc 5 4.5	Eta-Miroc 5 8.5
Jan	18.6	19.5	19.6	20.0	20.4	18.7	18.8	15.5	15.7
Fev	18.2	19.3	19.5	19.6	20.0	18.4	18.7	15.7	16.0
Mar	18.0	18.7	18.7	18.5	18.4	17.6	18.0	14.7	14.9
Abr	16.8	17.6	17.5	17.2	17.5	16.7	17.4	13.3	13.6
Mai	15.4	16.3	16.4	16.1	16.3	14.9	15.8	11.6	11.6
Jun	14.1	15.0	15.1	14.7	14.4	13.8	14.8	10.4	10.2
Jul	13.3	14.0	14.2	14.3	14.4	13.5	14.3	10.7	11.1
Ago	14.0	14.9	15.3	15.4	15.3	14.0	14.6	11.5	11.4
Set	15.5	16.3	16.6	16.8	16.8	15.9	16.1	12.2	12.5
Out	16.4	17.3	17.2	18.1	18.4	17.4	17.1	13.0	13.7
Nov	17.1	18.3	18.4	19.1	19.1	18.0	18.0	13.8	14.0
Dez	18.2	19.4	19.1	20.3	20.1	18.2	18.6	14.9	15.0
Anual	16.3	17.2	17.3	17.5	17.6	16.4	16.9	13.1	13.3

### Anexo III

Tabela 6: Variação da precipitação média (%) das predições climáticas do período médio (2040-2069) nos cenários de emissões intermediárias (RCP 4.5) e altas (RCP 8.5) em relação a ao histórico (1963-1990).

	Histórico (mm)	Eta-BES M 4.5	Eta-BES M 8.5	Eta-CanE SM2 4.5	Eta-CanE SM2 8.5	Eta-HadG EM2- EM 4.5	Eta-HadG EM2- EM 8.5	Eta-Miroc 5 4.5	Eta-Miroc 5 8.5
Jan	276	-35	-40	-1	-7	-49	-48	-19	-29
Fev	235	-48	-53	-8	-17	-45	-46	-36	-34
Mar	145	-45	-39	13	-4	-37	-38	-13	-3
Abr	87	-40	-42	25	-1	-24	-40	-28	-42
Mai	52	-1	-13	92	147	19	-4	9	1
Jun	26	134	41	348	230	146	175	329	145
Jul	48	118	110	46	65	100	156	99	78
Ago	98	5	21	-25	-12	-4	16	31	25
Set	121	3	-2	-6	-20	-16	6	52	52
Out	156	35	7	0	-12	4	-21	40	54
Nov	166	25	23	12	18	-20	-45	46	30
Dez	258	-27	-32	-9	-10	-50	-59	-1	-13
Anual	1669	-11	-17	9	3	-24	-27	11	4

Tabela 7: Temperatura máxima média (°C) das previsões climáticas do período médio (2040-2069) nos cenários de emissões intermediárias (RCP 4.5) e altas (RCP 8.5) em relação a ao histórico (1963-1990).

	Histórico (°C)	Eta-BES M 4.5	Eta-BES M 8.5	Eta-CanE SM2 4.5	Eta-CanE SM2 8.5	Eta-HadG EM2- EM 4.5	Eta-HadG EM2- EM 8.5	Eta-Miroc 5 4.5	Eta-Miroc 5 8.5
Jan	28.9	30.4	31.7	30.1	32.4	31.8	33.4	25.6	26.0
Fev	28.9	30.7	31.6	29.7	31.3	31.3	31.9	25.4	26.2
Mar	28.7	30.8	31.5	28.8	30.2	30.3	31.4	25.0	25.3
Abr	27.7	29.7	31.0	27.8	29.2	28.9	31.0	24.0	24.4
Mai	25.8	27.9	29.6	26.2	27.0	27.0	29.1	22.2	23.1
Jun	24.3	26.3	27.9	24.3	25.6	25.8	27.7	20.4	21.8
Jul	24.0	25.3	26.8	24.8	26.4	24.5	25.9	20.7	21.8
Ago	25.4	26.9	27.9	27.3	28.8	26.5	27.5	22.1	23.4
Set	27.4	29.2	30.0	29.9	31.5	28.6	29.2	23.1	24.0
Out	28.2	29.6	31.3	30.9	32.4	30.1	31.3	24.0	24.6
Nov	28.0	29.9	31.1	31.7	32.8	32.2	34.3	24.4	25.2
Dez	28.7	30.2	31.3	31.8	32.7	32.0	34.3	25.0	25.7
Annual	27.2	28.9	30.1	28.6	30.0	29.1	30.6	23.5	24.3



Tabela 8: Temperatura mínima média (°C) das previsões climáticas do período médio (2040-2069) nos cenários de emissões intermediárias (RCP 4.5) e altas (RCP 8.5) em relação a ao histórico (1963-1990).

	Histórico (°C)	Eta-BES M 4.5	Eta-BES M 8.5	Eta-CanE SM2 4.5	Eta-CanE SM2 8.5	Eta-HadG EM2- EM 4.5	Eta-HadG EM2- EM 8.5	Eta-Miroc 5 4.5	Eta-Miroc 5 8.5
Jan	28.9	20.0	20.7	20.7	21.9	19.6	20.2	16.3	16.4
Fev	28.9	20.0	20.2	20.5	21.2	19.4	19.8	16.0	16.6
Mar	28.7	19.3	19.9	19.5	20.0	18.3	19.1	15.5	15.9
Abr	27.7	18.0	18.8	18.4	19.0	17.0	18.4	13.8	14.1
Mai	25.8	16.6	17.7	17.0	17.5	15.9	16.9	11.7	12.6
Jun	24.3	15.5	16.3	15.3	16.0	14.9	16.4	10.4	11.3
Jul	24.0	14.6	15.6	15.1	16.0	14.1	15.4	10.8	11.7
Ago	25.4	15.4	16.1	16.3	17.1	15.1	16.1	11.3	12.6
Set	27.4	16.8	17.3	17.9	18.6	16.5	17.1	12.6	13.6
Out	28.2	17.8	18.7	18.7	19.5	18.0	18.4	13.6	14.4
Nov	28.0	19.0	19.5	20.1	20.7	19.4	19.9	14.6	15.1
Dez	28.7	19.8	20.4	21.1	21.9	19.3	20.1	15.6	16.3
Anual	27.2	17.7	18.4	18.4	19.1	17.3	18.1	13.5	14.2

## Anexo IV

Tabela 9: Variação da precipitação média (%) das previsões climáticas do período distante (2070-2099) nos cenários de emissões intermediárias (RCP 4.5) e altas (RCP 8.5) em relação ao histórico (1963-1990).

	Histórico (mm)	Eta-BES M 4.5	Eta-BES M 8.5	Eta-CanE SM2 4.5	Eta-CanE SM2 8.5	Eta-HadG EM2- EM 4.5	Eta-HadG EM2- EM 8.5	Eta-Miroc 5 4.5	Eta-Miroc 5 8.5
Jan	276	-40	-52	-2	-32	-59	-57	-27	-15
Fev	235	-40	-70	-16	-48	-52	-62	-27	-42
Mar	145	-47	-67	25	-19	-32	-55	-28	-19
Abr	87	-37	-68	26	4	-37	-45	-35	-20
Mai	52	13	-67	130	68	32	-37	17	28
Jun	26	136	40	312	286	306	208	189	247
Jul	48	133	105	162	23	125	199	85	80
Ago	98	11	-23	-14	-49	12	13	28	13
Set	121	17	-16	-3	-43	6	6	61	75
Out	156	33	19	7	-35	-6	-4	39	80
Nov	166	37	29	12	-18	-23	-49	19	51
Dez	258	-29	-29	-8	-18	-56	-66	-25	-8
Anual	1669	-8	-29	14	-20	-23	-32	1	13

Tabela 10: Temperatura máxima média (°C) das predições climáticas do período distante (2070-2099) nos cenários de emissões intermediárias (RCP 4.5) e altas (RCP 8.5) em relação a ao histórico (1963-1990).

	Histórico (°C)	Eta-BES M 4.5	Eta-BES M 8.5	Eta-CanE SM2 4.5	Eta-CanE SM2 8.5	Eta-HadG EM2- EM 4.5	Eta-HadG EM2- EM 8.5	Eta-Miroc 5 4.5	Eta-Miroc 5 8.5
Jan	28.9	30.8	33.4	30.8	36.4	30.6	36.5	25.8	26.8
Fev	28.9	30.4	34.0	30.1	35.7	30.3	36.0	25.8	27.2
Mar	28.7	30.3	34.2	29.1	34.6	29.9	35.3	25.4	26.6
Abr	27.7	30.0	34.1	28.4	32.6	29.4	34.1	24.7	25.8
Mai	25.8	28.0	32.3	26.4	30.7	29.2	32.7	23.3	24.0
Jun	24.3	26.4	30.6	24.8	29.1	28.8	30.3	21.4	22.3
Jul	24.0	25.2	28.7	25.4	29.5	28.6	28.1	21.6	22.8
Ago	25.4	27.2	30.8	28.0	31.9	28.4	29.9	22.6	24.7
Set	27.4	29.0	32.8	30.7	34.7	28.7	32.4	23.8	25.4
Out	28.2	30.0	33.1	31.9	36.8	29.2	34.1	24.1	25.8
Nov	28.0	30.3	32.8	33.0	37.0	29.7	36.2	25.0	26.3
Dez	28.7	30.5	32.6	32.0	36.6	30.2	36.9	25.9	26.7
Anual	27.2	29.0	32.4	29.2	33.8	29.4	33.5	24.1	25.4

Tabela 11: Temperatura mínima média (°C) das previsões climáticas do período distante (2070-2099) nos cenários de emissões intermediárias (RCP 4.5) e altas (RCP 8.5) em relação a ao histórico (1963-1990).

	Histórico (°C)	Eta-BES M 4.5	Eta-BES M 8.5	Eta-CanE SM2 4.5	Eta-CanE SM2 8.5	Eta-HadG EM2- EM 4.5	Eta-HadG EM2- EM 8.5	Eta-Miroc 5 4.5	Eta-Miroc 5 8.5
Jan	18.6	20.3	21.6	21.2	23.8	18.2	21.7	16.4	17.7
Fev	18.2	20.1	21.2	20.6	22.8	18.1	21.8	16.4	17.7
Mar	18.0	19.2	20.5	19.7	21.8	17.9	21.0	15.7	16.9
Abr	16.8	18.6	19.6	18.9	20.6	17.7	20.4	14.4	15.8
Mai	15.4	17.2	18.3	17.4	19.5	17.4	19.4	12.8	13.7
Jun	14.1	15.6	17.7	15.7	18.1	17.1	18.4	10.9	12.4
Jul	13.3	14.4	17.1	15.9	18.0	16.9	17.5	11.5	12.9
Ago	14.0	15.7	18.2	17.0	18.7	16.8	18.3	12.0	13.9
Set	15.5	17.0	19.4	18.6	20.4	17.1	19.8	13.4	15.1
Out	16.4	18.2	20.3	19.7	21.8	17.4	21.0	13.9	16.0
Nov	17.1	19.3	21.0	21.1	22.8	17.7	21.7	14.9	16.5
Dez	18.2	20.0	21.5	21.4	23.7	18.1	21.9	16.1	17.2
Annual	16.3	18.0	19.7	18.9	21.0	17.5	20.2	14.0	15.5

## Anexo V

Tabela 12: Variação por sub-bacia da precipitação média (%) dos meses chuvosos (Dezembro, Janeiro e Fevereiro) das predições climáticas do período próximo (2010-2039) nos cenários de emissões intermediárias (RCP 4.5) e altas (RCP 8.5) em relação a ao histórico (1963-1990).

	Histórico (mm)	Eta-BES M 4.5	Eta-BES M 8.5	Eta-CanE SM2 4.5	Eta-CanE SM2 8.5	Eta-HadG EM2- EM 4.5	Eta-HadG EM2- EM 8.5	Eta-Miroc 5 4.5	Eta-Miroc 5 8.5
1	178	-37	-36	2	-1	-57	-49	-18	-22
2	242	-35	-33	1	-3	-55	-51	-25	-28
3	236	-36	-34	0	-4	-56	-51	-25	-29
4	186	-32	-32	6	3	-55	-50	-15	-18
5	215	-37	-36	5	-1	-54	-49	-27	-25
6	253	-40	-40	-6	-8	-60	-54	-27	-32
7	262	-39	-36	-3	-7	-57	-53	-29	-32
8	273	-41	-40	-6	-9	-61	-55	-29	-33
9	236	-37	-37	-2	-5	-58	-52	-25	-29
10	256	-38	-35	-2	-6	-56	-53	-28	-32
11	214	-36	-37	-1	-2	-58	-52	-21	-25
12	160	-33	-33	3	5	-53	-47	-22	-22
13	290	-42	-40	-6	-11	-61	-56	-32	-35
14	267	-40	-37	-4	-9	-59	-54	-30	-33
15	215	-37	-36	5	-1	-54	-49	-27	-25
16	163	-34	-34	8	5	-51	-45	-23	-21
17	299	-43	-41	-5	-11	-60	-56	-31	-34
18	194	-32	-33	4	4	-53	-48	-23	-24
19	256	-39	-38	-4	-7	-59	-53	-28	-32

Tabela 13: Temperatura máxima média (°C), por sub-bacia, dos meses chuvosos (Dezembro, Janeiro e Fevereiro) das predições climáticas do período próximo (2010-2039) nos cenários de emissões intermediárias (RCP 4.5) e altas (RCP 8.5) em relação a ao histórico (1963-1990).

	Histórico (°C)	Eta-BES M 4.5	Eta-BES M 8.5	Eta-CanE SM2 4.5	Eta-CanE SM2 8.5	Eta-HadG EM2-EM 4.5	Eta-HadG EM2-EM 8.5	Eta-Miroc 5 4.5	Eta-Miroc 5 8.5
1	27.8	1.1	1.0	0.4	0.8	2.1	2.6	-3.9	-3.6
2	29.0	1.2	1.0	0.3	0.6	2.5	3.1	-4.0	-3.8
3	28.4	1.2	1.0	0.3	0.6	2.5	3.0	-3.9	-3.7
4	28.2	1.1	1.0	0.3	0.6	2.0	2.5	-3.9	-3.7
5	21.6	0.8	0.8	0.1	0.4	1.6	2.1	-3.0	-2.9
6	28.5	1.1	1.0	0.2	0.5	2.2	2.7	-4.0	-3.8
7	29.2	1.2	1.0	0.3	0.6	2.5	3.1	-3.9	-3.8
8	28.5	1.1	1.0	0.2	0.5	2.3	2.8	-3.9	-3.7
9	28.2	1.1	0.9	0.3	0.6	2.4	2.9	-3.9	-3.7
10	28.8	1.2	1.0	0.4	0.7	2.6	3.2	-3.9	-3.7
11	25.0	0.8	0.8	0.3	0.6	1.4	1.9	-3.4	-3.2
12	27.4	0.9	0.9	0.3	0.6	1.6	2.1	-3.8	-3.6
13	27.6	1.1	0.9	0.2	0.6	2.2	2.8	-3.7	-3.6
14	29.2	1.1	1.0	0.3	0.6	2.4	3.0	-3.9	-3.8
15	26.7	1.0	1.0	0.2	0.5	1.9	2.4	-3.8	-3.7
16	26.6	1.0	0.9	0.3	0.6	1.8	2.2	-3.8	-3.6
17	28.3	1.1	1.0	0.2	0.5	2.2	2.8	-3.8	-3.7
18	27.5	1.0	0.9	0.3	0.6	1.8	2.3	-3.8	-3.6
19	29.0	1.1	1.0	0.2	0.5	2.5	3.0	-3.9	-3.8

## Anexo VI

Tabela 14: Variação por sub-bacia da precipitação média (%) dos meses chuvosos (Dezembro, Janeiro e Fevereiro) das predições climáticas do período médio (2040-2069) nos cenários de emissões intermediárias (RCP 4.5) e altas (RCP 8.5) em relação a ao histórico (1963-1990).

	Histórico (mm)	Eta-BES M 4.5	Eta-BES M 8.5	Eta-CanE SM2 4.5	Eta-CanE SM2 8.5	Eta-HadG EM2- EM 4.5	Eta-HadG EM2- EM 8.5	Eta-Miroc 5 4.5	Eta-Miroc 5 8.5
1	178	-36	-39	3	-3	-48	-48	-9	-13
2	242	-34	-39	-1	-7	-47	-50	-15	-19
3	236	-35	-40	-2	-8	-48	-50	-15	-21
4	186	-30	-35	7	0	-46	-49	-3	-10
5	215	-37	-40	2	-5	-46	-45	-16	-18
6	253	-39	-44	-5	-13	-51	-54	-18	-23
7	262	-36	-42	-7	-12	-49	-51	-19	-24
8	273	-40	-45	-6	-14	-52	-54	-20	-24
9	236	-36	-41	-2	-10	-50	-51	-14	-20
10	256	-36	-41	-6	-11	-48	-51	-18	-25
11	214	-35	-39	2	-7	-49	-51	-10	-16
12	160	-34	-34	7	-2	-44	-45	-11	-14
13	290	-40	-46	-9	-17	-53	-54	-24	-27
14	267	-38	-44	-7	-14	-51	-52	-21	-25
15	215	-37	-40	2	-5	-46	-45	-16	-18
16	163	-35	-35	9	1	-43	-41	-13	-13
17	299	-42	-47	-8	-17	-53	-52	-23	-25
18	194	-32	-35	6	-2	-44	-44	-12	-16
19	256	-38	-43	-4	-12	-50	-53	-18	-23

Tabela 15: Temperatura máxima média (°C), por sub-bacia, dos meses chuvosos (Dezembro, Janeiro e Fevereiro) das predições climáticas do período médio (2040-2069) nos cenários de emissões intermediárias (RCP 4.5) e altas (RCP 8.5) em relação a ao histórico (1963-1990).

	Histórico (°C)	Eta-BES M 4.5	Eta-BES M 8.5	Eta-CanE SM2 4.5	Eta-CanE SM2 8.5	Eta-HadG EM2-EM 4.5	Eta-HadG EM2-EM 8.5	Eta-Miroc 5 4.5	Eta-Miroc 5 8.5
1	27.8	1.5	2.6	1.7	3.2	2.4	3.6	-3.4	-2.9
2	29.0	1.5	2.7	1.6	3.2	2.8	4.2	-3.6	-3.0
3	28.4	1.6	2.7	1.6	3.2	2.8	4.2	-3.5	-2.9
4	28.2	1.5	2.5	1.5	3.1	2.4	3.4	-3.5	-3.0
5	21.6	1.1	2.0	1.1	2.3	2.0	2.9	-2.7	-2.3
6	28.5	1.5	2.6	1.5	3.1	2.5	3.7	-3.6	-3.0
7	29.2	1.6	2.7	1.6	3.2	2.8	4.3	-3.6	-2.9
8	28.5	1.5	2.6	1.5	3.1	2.5	3.8	-3.5	-3.0
9	28.2	1.5	2.6	1.5	3.2	2.6	4.0	-3.5	-2.9
10	28.8	1.6	2.7	1.7	3.3	2.9	4.4	-3.5	-2.9
11	25.0	1.2	2.1	1.3	2.6	1.8	2.6	-3.0	-2.6
12	27.4	1.3	2.3	1.4	2.9	2.0	2.9	-3.4	-2.9
13	27.6	1.4	2.5	1.5	3.0	2.6	3.8	-3.3	-2.7
14	29.2	1.5	2.7	1.5	3.2	2.7	4.2	-3.5	-2.9
15	26.7	1.4	2.4	1.4	2.9	2.3	3.4	-3.4	-2.9
16	26.6	1.4	2.3	1.4	2.9	2.2	3.2	-3.3	-2.9
17	28.3	1.5	2.6	1.4	3.0	2.6	3.9	-3.4	-2.9
18	27.5	1.3	2.3	1.4	2.9	2.1	3.1	-3.3	-2.9
19	29.0	1.6	2.7	1.5	3.2	2.7	4.1	-3.6	-3.0



## Anexo VII

Tabela 16: Variação por sub-bacia da precipitação média (%) dos meses chuvosos (Dezembro, Janeiro e Fevereiro) das predições climáticas do período distante (2070-2099) nos cenários de emissões intermediárias (RCP 4.5) e altas (RCP 8.5) em relação a ao histórico (1963-1990).

	Histórico (mm)	Eta-BES M 4.5	Eta-BES M 8.5	Eta-CanE SM2 4.5	Eta-CanE SM2 8.5	Eta-HadG EM2- EM 4.5	Eta-HadG EM2- EM 8.5	Eta-Miroc 5 4.5	Eta-Miroc 5 8.5
1	178	-36	-51	0	-23	-58	-60	-15	-9
2	242	-34	-49	-4	-31	-55	-61	-24	-15
3	236	-36	-51	-6	-32	-56	-61	-25	-17
4	186	-29	-47	6	-28	-56	-62	-9	-5
5	215	-35	-51	3	-15	-54	-60	-17	-14
6	253	-38	-54	-10	-35	-60	-66	-24	-18
7	262	-36	-51	-10	-33	-57	-63	-26	-20
8	273	-38	-55	-11	-35	-60	-66	-25	-20
9	236	-36	-52	-8	-33	-58	-63	-23	-15
10	256	-36	-50	-9	-32	-56	-62	-26	-21
11	214	-33	-51	-2	-31	-58	-64	-15	-12
12	160	-28	-46	6	-17	-52	-61	-14	-13
13	290	-39	-56	-14	-34	-59	-65	-28	-24
14	267	-37	-53	-11	-32	-58	-64	-26	-22
15	215	-35	-51	3	-15	-54	-60	-17	-14
16	163	-31	-47	11	-5	-51	-57	-13	-9
17	299	-40	-57	-11	-32	-59	-65	-25	-22
18	194	-27	-46	6	-17	-51	-61	-14	-14
19	256	-37	-53	-10	-34	-58	-65	-26	-19

Tabela 17: Temperatura máxima média (°C), por sub-bacia, dos meses chuvosos (Dezembro, Janeiro e Fevereiro) das predições climáticas do período distante (2070-2099) nos cenários de emissões intermediárias (RCP 4.5) e altas (RCP 8.5) em relação a ao histórico (1963-1990).

	Histórico (°C)	Eta-BES M 4.5	Eta-BES M 8.5	Eta-CanE SM2 4.5	Eta-CanE SM2 8.5	Eta-HadG EM2- EM 4.5	Eta-HadG EM2- EM 8.5	Eta-Miroc 5 4.5	Eta-Miroc 5 8.5
1	27.8	1.5	4.0	2.0	6.8	2.4	6.4	-3.0	-2.0
2	29.0	1.7	4.4	2.0	7.4	-1.4	7.4	-3.1	-2.1
3	28.4	1.7	4.3	2.0	7.3	-2.3	7.4	-3.0	-2.0
4	28.2	1.4	3.9	1.8	6.7	2.8	6.2	-3.1	-2.1
5	21.6	1.2	3.2	1.4	5.2	0.2	5.3	-2.4	-1.5
6	28.5	1.5	4.1	1.8	6.9	2.1	6.7	-3.2	-2.1
7	29.2	1.7	4.5	2.1	7.3	0.3	7.5	-3.1	-2.0
8	28.5	1.5	4.2	1.9	6.9	1.1	6.9	-3.1	-2.1
9	28.2	1.6	4.2	1.9	7.1	1.6	7.0	-3.1	-2.1
10	28.8	1.7	4.5	2.2	7.4	1.5	7.6	-3.0	-1.9
11	25.0	1.1	3.2	1.6	5.5	0.4	4.9	-2.7	-1.8
12	27.4	1.2	3.5	1.7	6.1	-1.0	5.5	-3.1	-2.0
13	27.6	1.5	4.1	1.9	6.8	-0.8	6.9	-2.9	-1.9
14	29.2	1.6	4.4	2.0	7.2	-1.6	7.4	-3.1	-2.0
15	26.7	1.4	3.9	1.8	6.3	0.4	6.3	-3.1	-2.0
16	26.6	1.3	3.7	1.7	6.1	0.5	5.9	-3.1	-2.0
17	28.3	1.5	4.3	1.9	6.8	-0.8	6.9	-3.1	-1.9
18	27.5	1.3	3.7	1.8	6.3	-0.9	5.9	-3.1	-2.0
19	29.0	1.6	4.4	2.0	7.2	-1.1	7.3	-3.1	-2.0

## Anexo VIII

Tabela 18: Variação por sub-bacia da precipitação média (%) dos meses de seca (Maio, Junho e Julho) das predições climáticas do período próximo (2010-2039) nos cenários de emissões intermediárias (RCP 4.5) e altas (RCP 8.5) em relação a ao histórico (1963-1990).

	Histórico (mm)	Eta-BES M 4.5	Eta-BES M 8.5	Eta-CanE SM2 4.5	Eta-CanE SM2 8.5	Eta-HadG EM2- EM 4.5	Eta-HadG EM2- EM 8.5	Eta-Miroc 5 4.5	Eta-Miroc 5 8.5
1	37	72	63	103	88	52	70	73	70
2	43	80	69	113	98	55	73	81	77
3	40	75	66	107	92	52	70	78	74
4	37	73	63	111	96	56	70	76	76
5	52	103	87	140	122	79	102	89	90
6	45	91	78	132	112	66	86	88	89
7	46	90	78	125	106	64	81	87	83
8	48	98	83	142	121	73	94	94	94
9	42	81	71	117	100	58	76	83	80
10	42	82	72	114	97	57	73	80	76
11	40	82	71	123	106	62	79	82	83
12	34	67	56	96	85	50	66	61	64
13	50	104	89	149	128	79	101	100	99
14	47	95	81	134	114	70	89	91	90
15	52	103	87	140	122	79	102	89	90
16	42	84	71	115	100	63	84	73	76
17	56	118	99	167	142	91	115	108	108
18	40	81	67	114	100	59	79	71	75
19	44	88	76	125	107	63	81	87	85

Tabela 19: Temperatura mínima média (°C), por sub-bacia, dos meses de seca (Maio, Junho e Julho) das predições climáticas do período próximo (2010-2039) nos cenários de emissões intermediárias (RCP 4.5) e altas (RCP 8.5) em relação a ao histórico (1963-1990).

	Histórico (°C)	Eta-BES M 4.5	Eta-BES M 8.5	Eta-CanE SM2 4.5	Eta-CanE SM2 8.5	Eta-HadG EM2- EM 4.5	Eta-HadG EM2- EM 8.5	Eta-Miroc 5 4.5	Eta-Miroc 5 8.5
1	14.2	0.7	0.9	0.6	0.7	-0.3	0.7	-3.1	-3.1
2	14.1	0.8	0.9	0.8	0.8	-0.3	0.7	-3.3	-3.3
3	13.9	0.7	0.9	0.8	0.8	-0.3	0.6	-3.2	-3.2
4	14.4	0.7	0.9	0.6	0.7	-0.2	0.7	-3.2	-3.1
5	10.5	0.6	0.8	0.4	0.5	-0.1	0.5	-2.7	-2.6
6	14.0	0.7	0.9	0.7	0.7	-0.2	0.7	-3.3	-3.2
7	14.2	0.8	1.0	0.8	0.8	-0.2	0.7	-3.4	-3.4
8	13.9	0.8	1.0	0.7	0.7	-0.2	0.7	-3.3	-3.2
9	13.7	0.7	0.9	0.8	0.8	-0.2	0.7	-3.1	-3.1
10	14.3	0.8	1.0	0.7	0.8	-0.2	0.7	-3.4	-3.3
11	12.9	0.6	0.8	0.4	0.5	-0.2	0.6	-2.8	-2.7
12	14.0	0.6	0.9	0.4	0.5	-0.3	0.6	-3.3	-3.2
13	13.2	0.8	1.0	0.7	0.7	-0.2	0.7	-3.2	-3.2
14	14.1	0.9	1.0	0.8	0.8	-0.2	0.7	-3.4	-3.3
15	13.0	0.7	1.0	0.4	0.5	-0.2	0.7	-3.4	-3.3
16	13.1	0.7	0.9	0.4	0.5	-0.2	0.6	-3.4	-3.2
17	13.7	0.8	1.0	0.6	0.7	-0.2	0.7	-3.4	-3.3
18	13.8	0.7	0.9	0.4	0.5	-0.3	0.6	-3.3	-3.2
19	14.1	0.8	1.0	0.8	0.8	-0.2	0.7	-3.3	-3.3

## Anexo IX

Tabela 20: Variação por sub-bacia da precipitação média (%) dos meses de seca (Maio, Junho e Julho) das predições climáticas do período médio (2040-2069) nos cenários de emissões intermediárias (RCP 4.5) e altas (RCP 8.5) em relação a ao histórico (1963-1990).

	Histórico (mm)	Eta-BES M 4.5	Eta-BES M 8.5	Eta-CanE SM2 4.5	Eta-CanE SM2 8.5	Eta-HadG EM2- EM 4.5	Eta-HadG EM2- EM 8.5	Eta-Miroc 5 4.5	Eta-Miroc 5 8.5
1	37	66	57	88	87	69	77	79	61
2	43	73	60	98	101	74	81	89	68
3	40	68	57	92	94	71	77	87	65
4	37	67	59	95	95	73	76	82	68
5	52	96	83	119	123	99	111	96	82
6	45	80	68	111	113	88	90	98	78
7	46	79	68	105	108	83	89	94	73
8	48	85	73	118	122	95	98	104	83
9	42	73	62	99	102	77	82	92	71
10	42	73	61	96	98	74	82	88	68
11	40	74	64	104	106	81	84	91	75
12	34	62	57	83	84	66	73	67	59
13	50	92	78	123	129	103	104	109	87
14	47	83	71	111	116	91	94	100	79
15	52	96	83	119	123	99	111	96	82
16	42	78	70	99	102	81	92	79	69
17	56	106	89	138	144	116	121	118	96
18	40	73	68	97	101	79	86	78	69
19	44	78	66	106	109	84	88	96	74

Tabela 21: Temperatura mínima média (°C), por sub-bacia, dos meses de seca (Maio, Junho e Julho) das predições climáticas do período médio (2040-2069) nos cenários de emissões intermediárias (RCP 4.5) e altas (RCP 8.5) em relação a ao histórico (1963-1990).

	Histórico (°C)	Eta-BES M 4.5	Eta-BES M 8.5	Eta-CanE SM2 4.5	Eta-CanE SM2 8.5	Eta-HadG EM2-EM 4.5	Eta-HadG EM2-EM 8.5	Eta-Miroc 5 4.5	Eta-Miroc 5 8.5
1	14.2	1.2	2.1	1.4	2.1	0.6	1.9	-3.1	-2.2
2	14.1	1.2	2.2	1.6	2.2	0.6	1.9	-3.2	-2.3
3	13.9	1.2	2.1	1.5	2.1	0.6	1.9	-3.2	-2.3
4	14.4	1.2	2.2	1.4	2.0	0.6	1.9	-3.1	-2.2
5	10.5	1.0	1.8	1.1	1.7	0.5	1.4	-2.7	-1.9
6	14.0	1.2	2.2	1.4	2.1	0.6	1.9	-3.2	-2.3
7	14.2	1.3	2.3	1.6	2.2	0.7	1.9	-3.3	-2.4
8	13.9	1.3	2.2	1.5	2.1	0.7	1.9	-3.2	-2.3
9	13.7	1.2	2.1	1.5	2.1	0.7	1.9	-3.1	-2.2
10	14.3	1.3	2.2	1.6	2.2	0.7	1.9	-3.3	-2.4
11	12.9	1.0	1.9	1.2	1.7	0.5	1.6	-2.7	-2.0
12	14.0	1.1	2.1	1.2	1.8	0.5	1.7	-3.2	-2.3
13	13.2	1.2	2.2	1.5	2.1	0.7	1.8	-3.2	-2.3
14	14.1	1.3	2.2	1.6	2.2	0.7	2.0	-3.3	-2.4
15	13.0	1.3	2.3	1.4	2.1	0.7	1.8	-3.4	-2.4
16	13.1	1.3	2.3	1.3	2.0	0.6	1.8	-3.3	-2.4
17	13.7	1.3	2.2	1.4	2.1	0.7	1.8	-3.3	-2.4
18	13.8	1.2	2.1	1.2	1.9	0.5	1.7	-3.3	-2.4
19	14.1	1.3	2.2	1.6	2.2	0.7	1.9	-3.2	-2.3

## Anexo X

Tabela 22: Variação por sub-bacia da precipitação média (%) dos meses de seca (Maio, Junho e Julho) das predições climáticas do período distante (2070-2099) nos cenários de emissões intermediárias (RCP 4.5) e altas (RCP 8.5) em relação a ao histórico (1963-1990).

	Histórico (mm)	Eta-BES M 4.5	Eta-BES M 8.5	Eta-CanE SM2 4.5	Eta-CanE SM2 8.5	Eta-HadG EM2- EM 4.5	Eta-HadG EM2- EM 8.5	Eta-Miroc 5 4.5	Eta-Miroc 5 8.5
1	37	72	50	104	74	85	84	70	78
2	43	78	50	117	81	92	85	76	83
3	40	74	48	109	73	89	81	75	80
4	37	74	49	112	82	85	85	74	82
5	52	101	77	144	114	121	124	89	96
6	45	90	58	136	93	108	99	87	96
7	46	86	56	131	90	103	95	82	89
8	48	96	62	147	101	117	107	93	102
9	42	80	52	120	80	97	88	80	87
10	42	78	51	118	83	95	86	75	81
11	40	83	55	125	89	99	95	81	90
12	34	67	51	100	81	75	84	61	68
13	50	101	66	154	107	123	112	97	107
14	47	92	60	139	96	110	101	88	97
15	52	101	77	144	114	121	124	89	96
16	42	84	66	120	99	98	107	73	80
17	56	113	77	172	123	141	130	107	116
18	40	80	59	120	96	91	99	70	79
19	44	86	56	131	90	104	95	84	93

Tabela 23: Temperatura mínima média (°C), por sub-bacia, dos meses de seca (Maio, Junho e Julho) das predições climáticas do período distante (2070-2099) nos cenários de emissões intermediárias (RCP 4.5) e altas (RCP 8.5) em relação a ao histórico (1963-1990).

	Histórico (°C)	Eta-BES M 4.5	Eta-BES M 8.5	Eta-CanE SM2 4.5	Eta-CanE SM2 8.5	Eta-HadG EM2-EM 4.5	Eta-HadG EM2-EM 8.5	Eta-Miroc 5 4.5	Eta-Miroc 5 8.5
1	14.2	1.4	3.3	1.9	4.0	1.5	3.9	-2.3	-1.1
2	14.1	1.4	3.3	2.1	4.1	5.2	4.1	-2.5	-1.2
3	13.9	1.4	3.2	2.0	4.1	5.2	4.0	-2.4	-1.2
4	14.4	1.4	3.3	1.9	3.9	1.2	4.0	-2.3	-1.1
5	10.5	1.1	2.8	1.5	3.3	2.7	3.2	-2.1	-1.1
6	14.0	1.4	3.3	2.0	4.0	3.3	4.0	-2.4	-1.1
7	14.2	1.5	3.4	2.1	4.2	3.0	4.2	-2.6	-1.3
8	13.9	1.4	3.4	2.0	4.1	4.5	4.1	-2.4	-1.2
9	13.7	1.4	3.2	2.0	4.0	4.1	4.0	-2.3	-1.1
10	14.3	1.5	3.4	2.0	4.3	2.9	4.2	-2.5	-1.3
11	12.9	1.2	2.9	1.6	3.3	2.3	3.4	-2.1	-1.0
12	14.0	1.3	3.3	1.7	3.7	3.5	3.7	-2.4	-1.3
13	13.2	1.4	3.3	2.0	4.0	4.2	4.0	-2.4	-1.2
14	14.1	1.5	3.4	2.1	4.2	4.5	4.2	-2.6	-1.3
15	13.0	1.4	3.6	1.8	4.2	2.8	4.0	-2.6	-1.3
16	13.1	1.4	3.5	1.8	4.0	2.6	3.9	-2.5	-1.3
17	13.7	1.4	3.5	2.0	4.1	5.3	4.1	-2.6	-1.3
18	13.8	1.3	3.3	1.7	3.8	3.5	3.7	-2.5	-1.3
19	14.1	1.5	3.4	2.1	4.2	5.0	4.1	-2.5	-1.2



## Anexo XI

Tabela 24: Variação da vazão média (%) das predições climáticas do período próximo (2010-2039) nos cenários de emissões intermediárias (RCP 4.5) e altas (RCP 8.5) em relação a ao histórico (1963-1990).

	Histórico (mm)	Eta-BES M 4.5	Eta-BES M 8.5	Eta-CanE SM2 4.5	Eta-CanE SM2 8.5	Eta-HadG EM2- EM 4.5	Eta-HadG EM2- EM 8.5	Eta-Miroc 5 4.5	Eta-Miroc 5 8.5
Jan	531	-21	-19	14	24	-71	-56	9	-7
Fev	657	-47	-48	3	1	-77	-67	-22	-32
Mar	623	-58	-58	-1	-9	-78	-71	-32	-42
Abr	490	-60	-59	5	0	-75	-69	-30	-41
Mai	352	-57	-57	32	27	-69	-63	-18	-33
Jun	229	-42	-44	103	96	-50	-44	12	-4
Jul	158	14	-3	206	165	-12	5	67	52
Ago	135	101	57	231	168	27	77	135	107
Set	184	86	43	127	83	5	50	105	69
Out	235	71	53	78	62	-10	31	102	63
Nov	287	61	60	53	65	-24	3	103	61
Dez	364	29	30	37	52	-53	-30	65	33

Tabela 25: Variação da vazão média (%) das predições climáticas com uso da terra de 2017 do período próximo (2010-2039) nos cenários de emissões intermediárias (RCP 4.5) e altas (RCP 8.5) em relação a ao histórico (1963-1990).

	Histórico (mm)	Eta-BES M 4.5	Eta-BES M 8.5	Eta-CanE SM2 4.5	Eta-CanE SM2 8.5	Eta-HadG EM2- EM 4.5	Eta-HadG EM2- EM 8.5	Eta-Miroc 5 4.5	Eta-Miroc 5 8.5
Jan	531	-20.1	-17.1	17.1	27.2	-69.1	-54.1	11.7	-4.8
Fev	657	-45.7	-47.5	5.1	2.8	-75.6	-65.3	-20.0	-30.4
Mar	623	-56.8	-57.2	0.5	-8.4	-76.8	-70.0	-31.0	-40.6
Abr	490	-59.1	-58.7	5.1	0.3	-74.6	-69.1	-29.1	-40.0
Mai	352	-56.5	-57.0	31.6	27.0	-68.2	-62.5	-17.1	-32.2
Jun	229	-42.1	-44.3	102.9	95.4	-49.8	-44.1	13.3	-3.4
Jul	158	13.9	-3.7	205.5	164.7	-11.5	4.9	67.7	53.4
Ago	135	101.5	57.1	231.2	168.0	28.2	78.3	134.9	106.7
Set	184	87.9	45.0	129.2	84.3	5.8	51.9	105.0	68.4
Out	235	74.4	57.1	81.9	66.1	-7.2	33.0	101.8	63.3
Nov	287	65.2	64.2	57.7	69.8	-20.7	5.4	104.0	61.7
Dez	364	31.6	33.0	42.1	55.8	-51.7	-27.4	67.0	34.6

Tabela 26: Variação da vazão média (%) das predições climáticas com uso da terra de 2100 do período próximo (2010-2039) nos cenários de emissões intermediárias (RCP 4.5) e altas (RCP 8.5) em relação a ao histórico (1963-1990).

	Histórico (mm)	Eta-BES M 4.5	Eta-BES M 8.5	Eta-CanE SM2 4.5	Eta-CanE SM2 8.5	Eta-HadG EM2- EM 4.5	Eta-HadG EM2- EM 8.5	Eta-Miroc 5 4.5	Eta-Miroc 5 8.5
Jan	531	-21.6	-18.5	14.2	23.8	-71.5	-55.0	9.3	-6.2
Fev	657	-46.0	-46.7	3.9	1.6	-75.9	-65.2	-21.6	-31.5
Mar	623	-57.7	-56.5	0.2	-9.3	-77.2	-69.4	-31.4	-41.3
Abr	490	-58.6	-58.5	7.1	1.7	-74.4	-68.5	-28.2	-39.8
Mai	352	-57.2	-56.1	31.4	26.7	-68.2	-62.0	-17.9	-31.3
Jun	229	-42.3	-44.6	102.0	95.1	-49.7	-43.4	11.4	-3.3
Jul	158	13.0	-4.8	206.4	168.5	-12.0	5.9	69.0	54.8
Ago	135	99.2	59.6	235.8	172.1	27.7	77.3	134.7	107.0
Set	184	85.5	43.7	129.1	83.5	5.4	50.4	105.6	69.8
Out	235	69.0	51.2	77.9	60.8	-10.9	29.7	99.8	62.7
Nov	287	57.6	55.6	50.2	61.2	-26.1	-0.4	99.3	57.1
Dez	364	26.9	27.6	35.8	48.9	-53.6	-31.2	61.9	30.9

## Anexo XII

Tabela 27: Variação da vazão média (%) das predições climáticas do período médio (2040-2069) nos cenários de emissões intermediárias (RCP 4.5) e altas (RCP 8.5) em relação a ao histórico (1963-1990).

	Histórico (mm)	Eta-BES M 4.5	Eta-BES M 8.5	Eta-CanE SM2 4.5	Eta-CanE SM2 8.5	Eta-HadG EM2- EM 4.5	Eta-HadG EM2- EM 8.5	Eta-Miroc 5 4.5	Eta-Miroc 5 8.5
Jan	531	-13	-31	2	-5	-47	-60	33	21
Fev	657	-44	-55	-5	-14	-62	-70	-4	-15
Mar	623	-57	-66	-7	-20	-68	-73	-20	-24
Abr	490	-61	-67	0	-18	-67	-71	-21	-23
Mai	352	-64	-68	20	0	-56	-67	-17	-21
Jun	229	-52	-59	80	68	-28	-51	16	-2
Jul	158	-8	-32	161	145	28	13	98	38
Ago	135	69	32	146	162	86	107	155	87
Set	184	60	38	53	77	55	97	124	79
Out	235	60	33	31	27	36	69	125	104
Nov	287	64	33	23	9	20	16	123	116
Dez	364	38	11	10	3	-19	-31	91	84

Tabela 28: Variação da vazão média (%) das predições climáticas com uso da terra de 2017 do período médio (2040-2069) nos cenários de emissões intermediárias (RCP 4.5) e altas (RCP 8.5) em relação a ao histórico (1963-1990).

	Histórico (mm)	Eta-BES M 4.5	Eta-BES M 8.5	Eta-CanE SM2 4.5	Eta-CanE SM2 8.5	Eta-HadG EM2- EM 4.5	Eta-HadG EM2- EM 8.5	Eta-Miroc 5 4.5	Eta-Miroc 5 8.5
Jan	531	-10.8	-29.5	5.2	-2.7	-46.1	-59.4	35.0	24.1
Fev	657	-43.3	-53.9	-3.7	-12.6	-61.5	-69.3	-1.8	-12.5
Mar	623	-56.7	-65.6	-6.6	-19.0	-67.3	-71.7	-18.1	-22.7
Abr	490	-60.9	-67.1	0.7	-17.4	-66.3	-70.7	-19.2	-22.1
Mai	352	-63.5	-67.9	19.5	0.4	-55.7	-66.9	-16.2	-20.3
Jun	229	-52.0	-59.6	79.5	69.1	-27.3	-50.6	17.2	-1.3
Jul	158	-8.0	-31.6	160.7	145.0	28.3	12.9	98.1	38.1
Ago	135	69.1	33.3	146.5	164.0	86.7	109.0	154.1	86.6
Set	184	62.1	40.4	54.9	79.5	57.0	100.7	123.8	79.1
Out	235	63.8	35.2	35.3	30.7	38.9	72.3	125.9	105.1
Nov	287	67.5	35.7	25.5	11.3	23.9	19.4	124.7	119.2
Dez	364	39.8	13.4	13.3	6.8	-16.5	-29.7	93.8	87.3

Tabela 29: Variação da vazão média (%) das predições climáticas com uso da terra de 2100 do período médio (2040-2069) nos cenários de emissões intermediárias (RCP 4.5) e altas (RCP 8.5) em relação a ao histórico (1963-1990).

	Histórico (mm)	Eta-BES M 4.5	Eta-BES M 8.5	Eta-CanE SM2 4.5	Eta-CanE SM2 8.5	Eta-HadG EM2- EM 4.5	Eta-HadG EM2- EM 8.5	Eta-Miroc 5 4.5	Eta-Miroc 5 8.5
Jan	531	-10.4	-29.0	4.5	-3.3	-47.2	-59.6	34.3	22.3
Fev	657	-42.7	-53.2	-4.5	-12.8	-61.8	-69.9	-2.3	-13.1
Mar	623	-56.9	-64.6	-6.7	-18.7	-67.3	-71.8	-18.2	-22.3
Abr	490	-60.2	-65.3	2.5	-16.0	-66.1	-70.5	-18.3	-20.6
Mai	352	-63.0	-66.7	22.3	2.2	-56.2	-66.8	-15.2	-18.0
Jun	229	-52.0	-58.7	82.5	71.1	-26.3	-50.6	17.5	0.5
Jul	158	-6.3	-30.8	165.9	148.0	30.5	13.7	98.8	40.1
Ago	135	69.8	34.7	150.0	166.3	86.8	108.0	157.9	87.8
Set	184	61.9	39.6	54.5	78.1	54.4	97.8	124.2	78.5
Out	235	57.9	32.3	29.3	28.6	33.9	68.2	122.8	101.8
Nov	287	65.1	34.8	22.8	9.5	20.5	17.9	124.6	118.3
Dez	364	40.4	14.7	12.3	5.6	-17.8	-29.8	93.7	86.7

### Anexo XIII

Tabela 30: Variação da vazão média (%) das predições climáticas do período distante (2070-2099) nos cenários de emissões intermediárias (RCP 4.5) e altas (RCP 8.5) em relação a ao histórico (1963-1990).

	Histórico (mm)	Eta-BES M 4.5	Eta-BES M 8.5	Eta-CanE SM2 4.5	Eta-CanE SM2 8.5	Eta-HadG EM2- EM 4.5	Eta-HadG EM2- EM 8.5	Eta-Miroc 5 4.5	Eta-Miroc 5 8.5
Jan	531	-8	-35	1	-39	-56	-65	14	53
Fev	657	-42	-63	-10	-49	-73	-75	-16	4
Mar	623	-56	-75	-11	-57	-76	-79	-26	-21
Abr	490	-61	-80	0	-54	-73	-80	-30	-25
Mai	352	-60	-85	26	-37	-64	-79	-24	-21
Jun	229	-44	-84	100	20	-32	-68	7	12
Jul	158	6	-65	211	97	48	-4	64	84
Ago	135	82	-16	251	90	130	116	118	129
Set	184	63	-19	114	5	90	84	101	105
Out	235	75	-13	62	-32	67	60	119	144
Nov	287	82	5	38	-44	34	20	110	168
Dez	364	50	1	23	-41	-16	-35	65	125

Tabela 31: Variação da vazão média (%) das predições climáticas e uso da terra de 2017 do período distante (2070-2099) nos cenários de emissões intermediárias (RCP 4.5) e altas (RCP 8.5) em relação a ao histórico (1963-1990).

	Histórico (mm)	Eta-BES M 4.5	Eta-BES M 8.5	Eta-CanE SM2 4.5	Eta-CanE SM2 8.5	Eta-HadG EM2- EM 4.5	Eta-HadG EM2- EM 8.5	Eta-Miroc 5 4.5	Eta-Miroc 5 8.5
Jan	531	-6.9	-34.0	2.9	-37.8	-55.1	-64.3	16.9	55.5
Fev	657	-41.0	-62.8	-8.2	-48.3	-72.7	-74.3	-14.1	5.6
Mar	623	-55.4	-75.1	-10.5	-56.3	-75.2	-78.8	-24.8	-19.9
Abr	490	-60.3	-80.0	0.0	-53.4	-72.1	-79.6	-28.4	-24.6
Mai	352	-60.0	-84.7	26.1	-37.3	-64.1	-79.2	-23.5	-20.5
Jun	229	-44.4	-84.1	100.1	20.2	-32.2	-68.2	7.5	12.4
Jul	158	6.9	-64.3	210.8	99.0	49.0	-2.5	64.2	83.8
Ago	135	83.0	-14.1	251.1	91.9	131.7	119.0	117.8	127.8
Set	184	66.4	-17.8	116.0	7.3	93.4	87.6	100.8	106.2
Out	235	79.5	-10.7	65.1	-29.8	70.4	63.6	120.1	147.1
Nov	287	87.0	8.2	41.4	-41.7	37.2	23.5	111.9	173.0
Dez	364	52.6	3.6	26.1	-38.6	-14.2	-33.5	68.5	129.8



Tabela 32: Variação da vazão média (%) das predições climáticas e uso da terra de 2017 do período distante (2070-2099) nos cenários de emissões intermediárias (RCP 4.5) e altas (RCP 8.5) em relação a ao histórico (1963-1990).

	Histórico (mm)	Eta-BES M 4.5	Eta-BES M 8.5	Eta-CanE SM2 4.5	Eta-CanE SM2 8.5	Eta-HadG EM2- EM 4.5	Eta-HadG EM2- EM 8.5	Eta-Miroc 5 4.5	Eta-Miroc 5 8.5
Jan	531	-5.6	-34.2	1.2	-38.9	-56.1	-65.4	13.9	53.3
Fev	657	-40.6	-63.3	-8.8	-48.7	-73.2	-74.7	-15.3	5.2
Mar	623	-55.1	-75.5	-11.2	-56.6	-75.7	-78.8	-25.6	-19.6
Abr	490	-60.4	-80.3	-1.3	-53.3	-73.1	-79.9	-29.3	-24.9
Mai	352	-60.2	-84.8	24.4	-37.9	-65.2	-79.8	-25.3	-20.8
Jun	229	-46.0	-84.4	97.3	18.1	-33.8	-69.4	3.9	11.0
Jul	158	3.8	-65.4	206.9	93.8	44.1	-4.7	60.6	80.7
Ago	135	73.8	-19.2	248.0	87.0	125.0	110.5	111.3	123.3
Set	184	58.9	-22.1	111.3	3.9	89.1	83.4	95.4	101.4
Out	235	71.4	-15.6	59.7	-33.0	65.4	60.0	114.4	139.6
Nov	287	82.2	4.9	36.5	-43.1	33.7	21.6	108.6	166.1
Dez	364	54.0	3.8	23.5	-40.9	-14.5	-34.4	66.4	127.2

## Anexo XIV

Tabela 33: Variação por sub-bacia da vazão média (%) do período próximo (2010-2039) nos cenários de emissões intermediárias (RCP 4.5) e altas (RCP 8.5) em relação a ao histórico (1963-1990).

	Histórico (mm)	Eta-BES M 4.5	Eta-BES M 8.5	Eta-CanE SM2 4.5	Eta-CanE SM2 8.5	Eta-HadG EM2- EM 4.5	Eta-HadG EM2- EM 8.5	Eta-Miroc 5 4.5	Eta-Miroc 5 8.5
1	20.59	-3	-5	56	47	-53	-27	43	20
2	2.08	-19	-19	25	21	-57	-47	8	-6
3	15.33	-20	-19	21	17	-58	-48	10	-4
4	13.78	0	-6	68	64	-49	-35	42	25
5	17.2	-4	-8	45	41	-39	-26	5	-1
6	39.57	-17	-20	30	27	-58	-44	10	-3
7	11.54	-18	-19	26	20	-52	-44	6	-9
8	12.13	-16	-19	30	26	-53	-41	7	-6
9	20.64	-16	-18	35	27	-57	-40	22	0
10	-9.72	61	123	-107	-58	104	18	-157	52
11	18.96	-7	-10	42	39	-47	-35	20	10
12	9.71	4	0	55	60	-40	-24	18	12
13	80.91	-17	-23	41	34	-53	-40	9	-8
14	14.23	-16	-18	29	23	-51	-40	6	-8
15	25.44	-5	-9	43	40	-40	-27	4	-2
16	19.93	6	1	58	57	-36	-19	14	9
17	-16.22	-3	-8	46	42	-39	-25	5	-1
18	18.1	1	-5	50	52	-39	-27	11	4
19	39.7	-24	-21	17	12	-56	-51	8	0

Tabela 34: Variação por sub-bacia da vazão média (%) do período próximo (2010-2039) para modelagens com predições climáticas e uso da terra de 2017, nos cenários de emissões intermediárias (RCP 4.5) e altas (RCP 8.5) em relação a ao histórico (1963-1990).

	Histórico (mm)	Eta-BES M 4.5	Eta-BES M 8.5	Eta-CanE SM2 4.5	Eta-CanE SM2 8.5	Eta-HadG EM2-EM 4.5	Eta-HadG EM2-EM 8.5	Eta-Miroc 5 4.5	Eta-Miroc 5 8.5
1	20.59	-1.1	-2.3	-4.4	-4.8	58.8	49.9	56.2	46.7
2	2.08	-15.5	-15.5	-17.8	-17.9	28.7	25.1	26.0	22.2
3	15.33	-17.7	-16.5	-19.9	-18.6	24.7	20.5	22.7	18.1
4	13.78	1.9	-4.7	-0.6	-6.8	70.1	65.6	68.0	63.4
5	17.2	-4.0	-8.2	-4.5	-8.7	45.4	41.2	44.9	40.6
6	39.57	-15.6	-19.3	-16.8	-20.3	31.7	28.6	30.7	27.4
7	11.54	-16.1	-17.0	-17.0	-18.0	28.4	22.2	27.6	21.1
8	12.13	-15.7	-18.1	-16.9	-19.3	30.1	26.9	29.0	25.7
9	20.64	-13.5	-15.3	-15.2	-17.3	37.3	30.2	35.7	28.2
10	-9.72	48.4	114.7	57.3	107.5	-124.6	-74.1	-129.4	-78.9
11	18.96	-6.3	-9.8	-7.3	-10.7	42.3	39.4	41.8	38.5
12	9.71	4.6	0.9	3.3	-0.4	56.8	61.3	56.1	60.3
13	80.91	-16.2	-22.8	-18.4	-24.6	41.8	34.9	39.8	33.0
14	14.23	-15.3	-17.2	-16.3	-18.2	30.3	23.7	29.2	22.6
15	25.44	-4.3	-8.4	-5.4	-9.3	44.0	40.1	43.2	39.2
16	19.93	7.3	2.7	4.6	0.1	59.3	57.8	57.3	55.5
17	-16.22	-3.4	-7.6	-3.9	-8.1	46.2	42.1	45.8	41.5
18	18.1	2.6	-3.1	1.1	-4.3	51.6	53.5	50.0	52.0
19	39.7	-24.9	-19.9	-24.1	-20.1	18.8	13.4	16.5	9.7

Tabela 35: Variação por sub-bacia da vazão média (%) do período próximo (2010-2039) para modelagens com predições climáticas e uso da terra de 2100, nos cenários de emissões intermediárias (RCP 4.5) e altas (RCP 8.5) em relação a ao histórico (1963-1990).

	Histórico (mm)	Eta-BES M 4.5	Eta-BES M 8.5	Eta-CanE SM2 4.5	Eta-CanE SM2 8.5	Eta-HadG EM2- EM 4.5	Eta-HadG EM2- EM 8.5	Eta-Miroc 5 4.5	Eta-Miroc 5 8.5
1	20.59	-4.4	-4.8	58.8	49.9	56.2	46.7	-51.6	-24.5
2	2.08	-17.8	-17.9	28.7	25.1	26.0	22.2	-54.3	-43.9
3	15.33	-19.9	-18.6	24.7	20.5	22.7	18.1	-56.1	-45.4
4	13.78	-0.6	-6.8	70.1	65.6	68.0	63.4	-47.9	-33.5
5	17.2	-4.5	-8.7	45.4	41.2	44.9	40.6	-39.1	-25.6
6	39.57	-16.8	-20.3	31.7	28.6	30.7	27.4	-56.7	-43.2
7	11.54	-17.0	-18.0	28.4	22.2	27.6	21.1	-50.8	-41.7
8	12.13	-16.9	-19.3	30.1	26.9	29.0	25.7	-52.8	-40.4
9	20.64	-15.2	-17.3	37.3	30.2	35.7	28.2	-55.7	-38.5
10	-9.72	57.3	107.5	-124.6	-74.1	-129.4	-78.9	98.4	13.1
11	18.96	-7.3	-10.7	42.3	39.4	41.8	38.5	-46.7	-34.2
12	9.71	3.3	-0.4	56.8	61.3	56.1	60.3	-39.0	-23.1
13	80.91	-18.4	-24.6	41.8	34.9	39.8	33.0	-52.9	-39.1
14	14.23	-16.3	-18.2	30.3	23.7	29.2	22.6	-50.0	-39.2
15	25.44	-5.4	-9.3	44.0	40.1	43.2	39.2	-39.2	-26.0
16	19.93	4.6	0.1	59.3	57.8	57.3	55.5	-34.6	-17.4
17	-16.22	-3.9	-8.1	46.2	42.1	45.8	41.5	-38.6	-25.0
18	18.1	1.1	-4.3	51.6	53.5	50.0	52.0	-37.4	-25.1
19	39.7	-24.1	-20.1	18.8	13.4	16.5	9.7	-55.3	-49.5

## Anexo XV

Tabela 36: Variação por sub-bacia da vazão média (%) do período médio (2040-2069) nos cenários de emissões intermediárias (RCP 4.5) e altas (RCP 8.5) em relação a ao histórico (1963-1990).

	Histórico (mm)	Eta-BES M 4.5	Eta-BES M 8.5	Eta-CanE SM2 4.5	Eta-CanE SM2 8.5	Eta-HadG EM2- EM 4.5	Eta-HadG EM2- EM 8.5	Eta-Miroc 5 4.5	Eta-Miroc 5 8.5
1	20.59	-3	-23	30	19	-23	-21	62	49
2	2.08	-18	-32	10	3	-37	-41	23	12
3	15.33	-21	-33	7	-2	-38	-42	24	12
4	13.78	2	-20	42	31	-23	-27	61	48
5	17.2	-2	-11	29	20	-16	-14	16	13
6	39.57	-18	-33	15	5	-35	-40	24	13
7	11.54	-19	-30	10	3	-34	-38	20	9
8	12.13	-17	-30	15	5	-32	-36	20	10
9	20.64	-18	-35	17	9	-35	-38	41	24
10	-9.72	135	181	-8	-42	75	110	-235	-106
11	18.96	-5	-19	27	15	-25	-27	34	24
12	9.71	7	-5	41	30	-13	-11	34	29
13	80.91	-19	-36	19	8	-32	-37	24	12
14	14.23	-17	-29	13	5	-32	-35	19	8
15	25.44	-2	-12	27	19	-16	-15	16	12
16	19.93	9	-1	41	32	-10	-3	27	25
17	-16.22	-1	-11	30	21	-15	-13	16	13
18	18.1	3	-8	36	27	-14	-14	24	21
19	39.7	-25	-34	5	-5	-39	-46	15	4

Tabela 37: Variação por sub-bacia da vazão média (%) do período médio (2040-2069) para modelagens com predições climáticas e uso da terra de 2017, nos cenários de emissões intermediárias (RCP 4.5) e altas (RCP 8.5) em relação a ao histórico (1963-1990).

	Histórico (mm)	Eta-BES M 4.5	Eta-BES M 8.5	Eta-CanE SM2 4.5	Eta-CanE SM2 8.5	Eta-HadG EM2-EM 4.5	Eta-HadG EM2-EM 8.5	Eta-Miroc 5 4.5	Eta-Miroc 5 8.5
1	20.59	-1.0	-21.3	-2.6	-21.9	32.3	21.4	31.6	20.2
2	2.08	-15.4	-29.4	-16.9	-30.0	13.7	5.7	12.4	4.8
3	15.33	-18.2	-31.1	-19.6	-31.2	9.5	0.3	8.4	-0.3
4	13.78	3.2	-19.0	2.1	-19.0	44.0	32.4	43.5	31.9
5	17.2	-1.4	-11.3	-1.2	-11.0	29.2	20.4	29.5	20.7
6	39.57	-16.6	-32.1	-17.0	-32.0	16.2	5.7	16.1	5.6
7	11.54	-17.1	-28.5	-17.1	-28.2	11.8	4.2	11.6	4.4
8	12.13	-16.2	-29.7	-16.5	-29.6	15.4	5.3	15.1	5.3
9	20.64	-15.6	-33.1	-16.0	-32.8	19.3	10.8	18.3	10.1
10	-9.72	124.2	174.4	107.8	144.1	-18.9	-55.3	-40.8	-70.4
11	18.96	-5.1	-19.2	-5.0	-18.9	27.0	15.5	27.1	15.6
12	9.71	7.7	-4.4	6.9	-4.6	42.4	30.8	42.1	30.5
13	80.91	-18.4	-35.2	-18.9	-35.1	19.2	8.3	19.0	8.4
14	14.23	-16.4	-28.7	-16.6	-28.5	13.4	5.5	13.3	5.5
15	25.44	-1.6	-11.7	-1.9	-11.7	27.7	19.1	27.7	19.2
16	19.93	10.5	-0.2	9.3	-1.4	42.0	33.5	41.5	32.5
17	-16.22	-0.6	-10.4	-0.4	-10.1	30.0	21.3	30.3	21.6
18	18.1	4.1	-6.3	3.1	-7.0	37.8	28.8	36.9	28.1
19	39.7	-26.7	-33.3	-26.4	-34.8	5.3	-3.8	3.5	-4.1

Tabela 38: Variação por sub-bacia da vazão média (%) do período médio (2040-2069) para modelagens com predições climáticas e uso da terra de 2100, nos cenários de emissões intermediárias (RCP 4.5) e altas (RCP 8.5) em relação a ao histórico (1963-1990).

	Histórico (mm)	Eta-BES M 4.5	Eta-BES M 8.5	Eta-CanE SM2 4.5	Eta-CanE SM2 8.5	Eta-HadG EM2-EM 4.5	Eta-HadG EM2-EM 8.5	Eta-Miroc 5 4.5	Eta-Miroc 5 8.5
1	20.59	-2.6	-21.9	32.3	21.4	31.6	20.2	-21.0	-19.1
2	2.08	-16.9	-30.0	13.7	5.7	12.4	4.8	-34.6	-38.5
3	15.33	-19.6	-31.2	9.5	0.3	8.4	-0.3	-36.1	-39.5
4	13.78	2.1	-19.0	44.0	32.4	43.5	31.9	-21.2	-26.0
5	17.2	-1.2	-11.0	29.2	20.4	29.5	20.7	-15.7	-13.5
6	39.57	-17.0	-32.0	16.2	5.7	16.1	5.6	-33.9	-38.8
7	11.54	-17.1	-28.2	11.8	4.2	11.6	4.4	-32.3	-36.2
8	12.13	-16.5	-29.6	15.4	5.3	15.1	5.3	-31.3	-35.5
9	20.64	-16.0	-32.8	19.3	10.8	18.3	10.1	-33.1	-35.6
10	-9.72	107.8	144.1	-18.9	-55.3	-40.8	-70.4	68.3	106.7
11	18.96	-5.0	-18.9	27.0	15.5	27.1	15.6	-24.2	-26.4
12	9.71	6.9	-4.6	42.4	30.8	42.1	30.5	-12.2	-10.1
13	80.91	-18.9	-35.1	19.2	8.3	19.0	8.4	-31.5	-36.2
14	14.23	-16.6	-28.5	13.4	5.5	13.3	5.5	-30.8	-34.6
15	25.44	-1.9	-11.7	27.7	19.1	27.7	19.2	-15.9	-14.0
16	19.93	9.3	-1.4	42.0	33.5	41.5	32.5	-8.4	-2.1
17	-16.22	-0.4	-10.1	30.0	21.3	30.3	21.6	-15.1	-12.6
18	18.1	3.1	-7.0	37.8	28.8	36.9	28.1	-13.0	-12.2
19	39.7	-26.4	-34.8	5.3	-3.8	3.5	-4.1	-38.2	-44.8

## Anexo XVI

Tabela 39: Variação por sub-bacia da vazão média (%) do período médio (2040-2069) nos cenários de emissões intermediárias (RCP 4.5) e altas (RCP 8.5) em relação a ao histórico (1963-1990).

	Histórico (mm)	Eta-BES M 4.5	Eta-BES M 8.5	Eta-CanE SM2 4.5	Eta-CanE SM2 8.5	Eta-HadG EM2- EM 4.5	Eta-HadG EM2- EM 8.5	Eta-Miroc 5 4.5	Eta-Miroc 5 8.5
1	20.59	6	-42	42	-23	-22	-28	45	70
2	2.08	-14	-48	18	-37	-36	-48	8	28
3	15.33	-16	-50	13	-40	-37	-49	9	25
4	13.78	14	-41	56	-22	-24	-31	45	68
5	17.2	3	-28	41	-2	-16	-21	11	32
6	39.57	-12	-50	23	-38	-34	-47	14	30
7	11.54	-14	-47	19	-33	-33	-44	7	24
8	12.13	-11	-47	23	-33	-31	-44	11	27
9	20.64	-13	-52	25	-36	-32	-44	23	45
10	-9.72	155	170	-64	95	74	82	-130	-221
11	18.96	3	-37	34	-22	-24	-33	24	39
12	9.71	20	-25	52	-1	-14	-19	26	46
13	80.91	-15	-53	31	-36	-31	-43	13	33
14	14.23	-13	-46	22	-31	-31	-42	9	25
15	25.44	3	-29	39	-4	-16	-23	11	30
16	19.93	17	-19	55	11	-8	-12	22	46
17	-16.22	4	-27	43	-1	-15	-20	12	33
18	18.1	14	-26	49	-3	-15	-22	18	36
19	39.7	-18	-53	11	-43	-37	-55	2	15



Tabela 40: Variação por sub-bacia da vazão média (%) do período distante (2070-2100) para modelagens com predições climáticas e uso da terra de 2017, nos cenários de emissões intermediárias (RCP 4.5) e altas (RCP 8.5) em relação a ao histórico (1963-1990).

	Histórico (mm)	Eta-BES M 4.5	Eta-BES M 8.5	Eta-CanE SM2 4.5	Eta-CanE SM2 8.5	Eta-HadG EM2- EM 4.5	Eta-HadG EM2- EM 8.5	Eta-Miroc 5 4.5	Eta-Miroc 5 8.5
1	20.59	8.7	-40.4	5.6	-42.2	44.9	-20.8	41.3	-23.2
2	2.08	-10.9	-46.6	-13.0	-47.3	21.6	-34.1	19.1	-34.6
3	15.33	-13.6	-48.8	-15.2	-49.8	16.1	-38.0	13.6	-38.4
4	13.78	15.3	-40.4	12.9	-41.8	57.7	-21.1	55.3	-22.9
5	17.2	3.5	-27.4	2.9	-28.0	41.7	-2.1	40.9	-2.6
6	39.57	-10.4	-49.6	-11.6	-50.6	23.8	-36.6	22.6	-37.3
7	11.54	-12.1	-45.8	-13.2	-46.4	20.8	-31.9	19.7	-32.5
8	12.13	-10.8	-46.5	-11.9	-47.3	23.5	-33.0	22.2	-33.6
9	20.64	-10.9	-50.7	-12.0	-51.0	27.2	-34.4	24.7	-35.1
10	-9.72	144.6	162.1	136.6	159.6	-72.8	91.9	-65.8	99.6
11	18.96	3.5	-37.1	2.5	-38.1	34.1	-21.4	33.1	-22.1
12	9.71	20.7	-24.4	19.2	-25.8	53.1	0.4	51.4	-1.3
13	80.91	-14.0	-52.2	-16.0	-53.5	31.2	-35.1	29.0	-36.7
14	14.23	-11.8	-45.3	-12.9	-46.2	22.7	-30.0	21.3	-30.5
15	25.44	3.1	-28.6	2.1	-29.5	39.5	-3.9	38.6	-4.6
16	19.93	17.6	-18.6	15.2	-20.6	56.4	12.3	54.1	10.5
17	-16.22	4.4	-26.5	3.8	-27.1	42.7	-0.8	41.9	-1.2
18	18.1	15.5	-25.6	13.7	-26.9	50.6	-1.3	48.6	-2.7
19	39.7	-18.3	-51.6	-17.5	-52.8	10.7	-42.2	8.9	-43.0

Tabela 41: Variação por sub-bacia da vazão média (%) do período distante (2070-2100) para modelagens com predições climáticas e uso da terra de 2100, nos cenários de emissões intermediárias (RCP 4.5) e altas (RCP 8.5) em relação a ao histórico (1963-1990).

	Histórico (mm)	Eta-BES M 4.5	Eta-BES M 8.5	Eta-CanE SM2 4.5	Eta-CanE SM2 8.5	Eta-HadG EM2- EM 4.5	Eta-HadG EM2- EM 8.5	Eta-Miroc 5 4.5	Eta-Miroc 5 8.5
1	20.59	5.6	-42.2	44.9	-20.8	41.3	-23.2	-19.8	-26.3
2	2.08	-13.0	-47.3	21.6	-34.1	19.1	-34.6	-33.8	-45.6
3	15.33	-15.2	-49.8	16.1	-38.0	13.6	-38.4	-35.0	-47.6
4	13.78	12.9	-41.8	57.7	-21.1	55.3	-22.9	-22.4	-29.4
5	17.2	2.9	-28.0	41.7	-2.1	40.9	-2.6	-15.6	-21.1
6	39.57	-11.6	-50.6	23.8	-36.6	22.6	-37.3	-33.0	-46.3
7	11.54	-13.2	-46.4	20.8	-31.9	19.7	-32.5	-31.5	-43.0
8	12.13	-11.9	-47.3	23.5	-33.0	22.2	-33.6	-30.7	-43.3
9	20.64	-12.0	-51.0	27.2	-34.4	24.7	-35.1	-29.9	-42.8
10	-9.72	136.6	159.6	-72.8	91.9	-65.8	99.6	63.8	74.6
11	18.96	2.5	-38.1	34.1	-21.4	33.1	-22.1	-23.3	-32.4
12	9.71	19.2	-25.8	53.1	0.4	51.4	-1.3	-13.5	-18.1
13	80.91	-16.0	-53.5	31.2	-35.1	29.0	-36.7	-31.0	-43.0
14	14.23	-12.9	-46.2	22.7	-30.0	21.3	-30.5	-30.1	-41.6
15	25.44	2.1	-29.5	39.5	-3.9	38.6	-4.6	-16.0	-22.1
16	19.93	15.2	-20.6	56.4	12.3	54.1	10.5	-6.9	-10.6
17	-16.22	3.8	-27.1	42.7	-0.8	41.9	-1.2	-15.0	-20.2
18	18.1	13.7	-26.9	50.6	-1.3	48.6	-2.7	-13.5	-20.9
19	39.7	-17.5	-52.8	10.7	-42.2	8.9	-43.0	-36.0	-54.3