



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**



**Conselho Nacional de Desenvolvimento  
Científico e Tecnológico**

## **VARIABILIDADE CLIMÁTICA E RECURSOS HÍDRICOS NA BACIA DO RIO PARAÍBA DO SUL**

Bruno Guerreiro Miranda

Relatório final de iniciação científica,  
orientada pelo Dr. Lincoln Muniz Alves.

INPE  
São José dos Campos  
2019

## RESUMO

O presente estudo tem por objetivo analisar as séries temporais de chuva e vazão dos postos hidrometeorológicos da Agência Nacional de Águas (ANA) no período de 1930 a 2017 localizados na bacia do Paraíba do Sul cuja finalidade é identificar a existência tendências em diferentes escalas temporais (mensal, sazonal e anual). Por meio do teste não paramétrico de Mann-Kendall foi possível identificar que as estações apresentam tendências positivas e negativas de precipitação, porém, as negativas demonstram ser mais significativas. Além da análise observacional, faz-se também análises das projeções de mudanças baseadas no Modelo Climático Regional RegCM4. Em relação as projeções futuras, para a escala anual, os resultados para a precipitação revelam redução da precipitação em até 10% dos totais anuais até 2100 em relação ao período base; no verão, projeta-se uma redução até meados de 2040, todavia para o final do século os modelos projeta-se um aumento de até 20%, revelando dessa forma as incertezas nas projeções. Em relação as projeções de temperatura, os resultados indicam um aumento gradativo ao longo do século XXI com aumento de até 5°C no final do século. Os resultados têm potencial de auxiliar os gestores no planejamento dos recursos hídricos da bacia considerando as observações recentes e os diferentes cenários de mudanças climáticas.

**Palavras-chave:** Bacia do rio Paraíba do Sul. Variabilidade Climática. Tendências. Projeções Futuras. Recursos Hídricos.

## LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
Figura 1: Estações pluviométricas da bacia do rio Paraíba do Sul.....	10
Figura 2: Estações fluviométricas da bacia do rio Paraíba do Sul.....	11
Figura 3: Série temporal de precipitação média anual na estação São Fidélis no período de 1891 a 2016 .....	14
Figura 4: Série temporal de precipitação média anual na estação Caçapava no período de 1960 a 2014 .....	15
Figura 5: Significância e tendência estatística para as estações pluviométricas no verão (DJF) .....	18
Figura 6: Significância e tendência estatística para as estações pluviométricas no outono (MAM).....	18
Figura 7: Significância e tendência estatística para as estações pluviométricas no inverno (JJA) .....	19
Figura 8: Significância e tendência estatística para as estações pluviométricas na primavera (SON) .....	19
Figura 9: Série temporal de precipitação média mensal na estação Carmo no período de 1960 a 2017 .....	20
Figura 10: Sazonalidade de precipitação na estação Carmo no período de 1960 a 2017 .....	20
Figura 11: Série temporal de precipitação média mensal na estação Guaratinguetá no período de 1930 a 2013.....	21
Figura 12: Série temporal de cota e vazão na estação Guaratinguetá no período de 1930 a 2013 .....	22
Figura 13: Projeções de precipitação anual para os diferentes modelos no período de 2020 a 2040 na bacia do rio Paraíba do Sul .....	24
Figura 14: Projeções de precipitação anual para os diferentes modelos no período de 2041 a 2070 na bacia do rio Paraíba do Sul .....	26
Figura 15: Projeções de precipitação anual para os diferentes modelos no período de 2071 a 2100 na bacia do rio Paraíba do Sul .....	28

Figura 16: Projeções de temperatura anual para os diferentes modelos no período de 2020 a 2040 na bacia do rio Paraíba do Sul .....	30
Figura 17: Projeções de temperatura anual para os diferentes modelos no período de 2041 a 2070 na bacia do rio Paraíba do Sul .....	32
Figura 18: Projeções de temperatura anual para os diferentes modelos no período de 2071 a 2100 na bacia do rio Paraíba do Sul .....	34

## LISTA DE TABELAS

**Pág.**

Tabela 1: Correlação linear entre os dados da ANA, GPCC e CRU para determinar a utilização de dados interpolados para as séries de precipitação	13
Tabela 2. Significância e tendência estatística para as estações pluviométricas da bacia do rio Paraíba do Sul .....	15

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ANA	Agência Nacional de Águas
KMNI	<i>Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut</i>
GPCC	<i>Global Precipitation Climate Research</i>
CRU	<i>Climate Research Unit</i>
DJF	Dezembro, janeiro e fevereiro
MAM	Março, abril e maio
JJA	Junho, julho e agosto
SON	Setembro, outubro e novembro
RegCM4- CLM- GFDL	<i>Regional Climate Model 4 – Community Land Model – Geophysical Fluid Dynamics Laboratory</i>
RegCM4- BATS- HadGEM2	<i>Regional Climate Model 4 - Biosphere-Atmosphere Transfer Scheme - Hadley Global Environment Model 2</i>
RegCM4- CLM- HadGEM2	<i>Regional Climate Model 4 - Community Land Model - Hadley Global Environment Model 2</i>
RegCM4- CLM-MPI	<i>Regional Climate Model 4 - Community Land Model - Max- Planck-Institut</i>

## SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
1 INTRODUÇÃO.....	9
2 MATERIAIS E MÉTODOS UTILIZADOS.....	9
3. ANÁLISES E RESULTADOS .....	12
3.1 DADOS BASE (ANA) E INTERPOLADOS (GPCC e CRU).....	12
3.2 ANÁLISE TEMPORAL (CLIMA PRESENTE) .....	14
3.2.1 PRECIPITAÇÃO ANUAL.....	14
3.2.2 PRECIPITAÇÃO MENSAL/SAZONAL .....	16
3.3 ANÁLISE TEMPORAL CLIMA FUTURO – PRECIPITAÇÃO .....	22
3.3.1 PRECIPITAÇÃO – ANUAL E SAZONAL.....	23
a. FUTURO 1 (2020 a 2040) .....	23
b. FUTURO 2 (2041 a 2070) .....	25
c. FUTURO 3 (2071 a 2100) .....	27
3.4 ANÁLISE TEMPORAL CLIMA FUTURO – TEMPERATURA.....	29
3.4.1 TEMPERATURA – ANUAL .....	29
a. FUTURO 1 (2020 a 2040) .....	29
b. FUTURO 2 (2040 a 2071) .....	31
c. FUTURO 3 (2071 a 2100) .....	33
4 CONCLUSÕES .....	35
APÊNDICES.....	38
APÊNDICE A – Dados ANA + GPCC + CRU: precipitação anual média para as estações pluviométricas .....	38
APÊNDICE B – Precipitação anual média para as estações pluviométricas ...	40
APÊNDICE C – Precipitação média mensal para as estações pluviométricas	42
APÊNDICE D – Sazonalidade de precipitação para as estações pluviométricas 44	
APÊNDICE E – Precipitação média mensal e linha de tendência para as estações pluviométricas .....	46
APÊNDICE F – Cota bacia do rio Paraíba do Sul para as estações fluviométricas .....	58

APÊNDICE G – Vazão bacia do rio Paraíba do Sul para as estações fluviométricas .....	59
APÊNDICE H – Clima futuro sazonal: projeção de precipitação para os diferentes modelos .....	59
APÊNDICE I – Clima futuro sazonal: projeção de temperatura para os diferentes modelos .....	67
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	74



## **1 INTRODUÇÃO**

A Bacia do Rio Paraíba do Sul, localizada no sudeste do Brasil, possui grande importância no cenário federal pois está inserida numa região que contribui com 53,7% do PIB nacional (IBGE, 2017), ou seja, uma área com alto desenvolvimento tecnológico, urbanização e demanda de recursos hídricos. Sendo assim, múltiplos aproveitamentos do curso do rio têm sido feitos, tais como a construção de hidrelétricas, a realização do controle de vazões por meio de barragens, irrigação para agropecuária, dentre outros.

A bacia se torna vital para a população pois abastece milhões de residências e indústrias em toda a sua porção nos estados de Minas Gerais, São Paulo e Rio de Janeiro, fazendo com que estudos e projeções sejam fundamentais para auxiliar na gestão da mesma. Além disto, os resultados do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) ressaltam que as mudanças climáticas devido a ação antrópica irão aumentar a vulnerabilidade de diversas regiões, em particular, devido a mudança na variabilidade climática e aumento na frequência dos extremos climáticos (enchentes e secas) com impacto direto nos corpos hídricos.

Nesse sentido, o presente projeto propõe a analisar as séries temporais de chuva e vazão dos postos hidrometeorológicos localizados na bacia do Paraíba do Sul com a finalidade de identificar a existência tendências. Além da análise observacional, faz-se também análises das projeções de mudanças do clima provenientes de modelos climáticos regionais sobre a Bacia que poderão subsidiar os tomadores de decisão no planejamento de medidas de mitigação e adaptação, visando evitar e minimizar as crises hídricas causadas por extremos climáticos.

## **2 MATERIAIS E MÉTODOS UTILIZADOS**

O acesso aos dados fluviométricos (vazão e cota) e pluviométricos de escala regional na Bacia do Rio Paraíba do Sul foram realizados através do portal *Hidroweb* (<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/apresentacao.jsf>) da

Agência Nacional de Águas (ANA), que é uma das ferramentas do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos do Brasil e serve de base para inúmeras aplicações de instituições públicas e privadas.

Para a obtenção dos mesmos, delimitou-se o trecho leste do Atlântico e o Rio Paraíba do Sul para todos os municípios em sua extensão. Após essa delimitação, os critérios adotados para a determinação das estações a serem utilizadas foram: porcentagem de dados faltantes e a distribuição espacial, visando selecionar pontos homoganeamente distribuídos ao longo do curso principal do rio e possuam o mínimo de falhas possíveis nas séries.

As Figuras 1 e 2 ilustram a distribuição espacial das estações pluviométricas e fluviométricas utilizadas, respectivamente. Com o auxílio do *GrADS* e *Excel*, realizou-se a manipulação dos dados para a caracterização climática da bacia através da determinação dos períodos chuvosos e secos, ciclo anual, médias mensais, sazonais e extremos foram analisados.

Figura 1: Estações pluviométricas da bacia do rio Paraíba do Sul

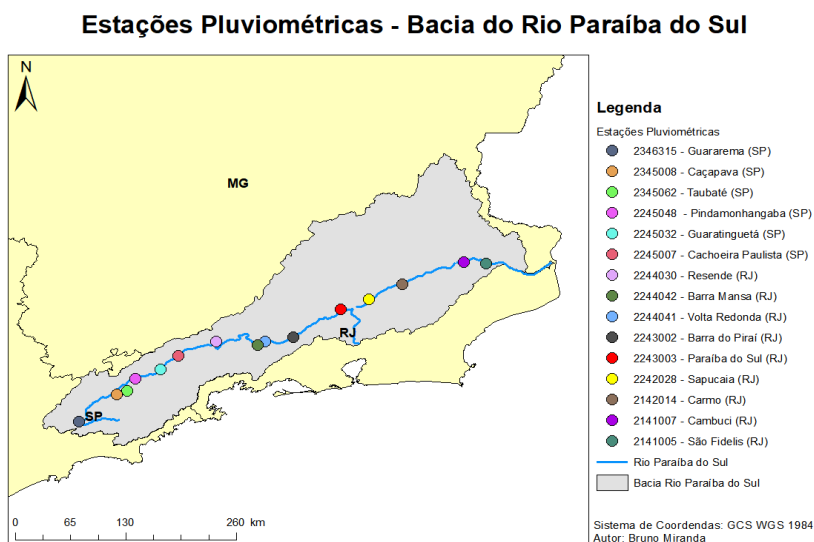
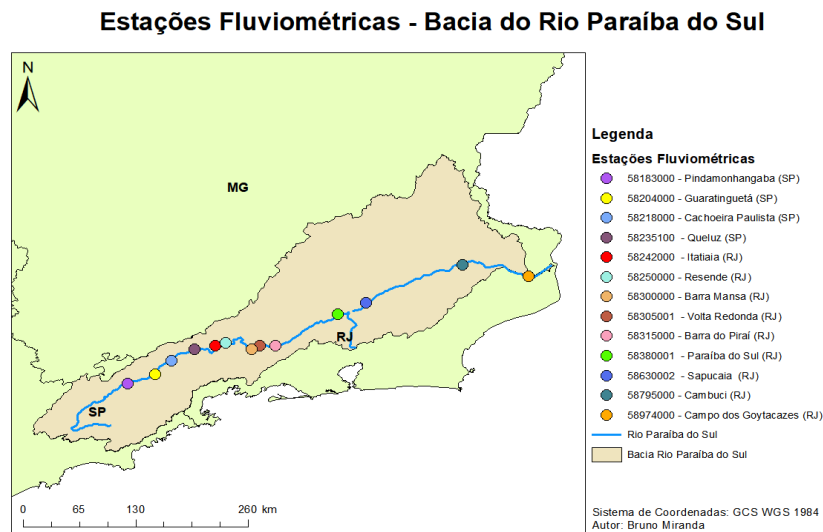


Figura 2: Estações fluviométricas da bacia do rio Paraíba do Sul



Dado a existência de um grande número de falhas nas séries temporais buscou-se como alternativa para o preenchimento dessas falhas utilizar dados interpolados com resolução espacial de  $0,5^\circ \times 0,5^\circ$  latitude e longitude do *Global Precipitation Climate Research* (GPCC, sigla em inglês) e do *Climate Research Unit* (CRU, sigla em inglês) obtidos no portal KNMI Climate Explorer (Instituto Meteorológico Real Holandês (KNMI, sigla em inglês) - <https://climexp.knmi.nl/>). As principais diferenças entre GPCC e CRU são os métodos de interpolação e período de dados que se iniciam, a partir de 1891 e 1901, respectivamente.

O processo de preenchimento de falhas, por vezes é uma tarefa complexa dado que a precipitação não é uma variável contínua no tempo e espaço. Com isto, inicialmente optou por uma análise subjetiva entre as séries da base da ANA e os dados do GPCC e CRU (ponto de grade mais próximo da estação) com o objetivo de verificar a aderência entre os dados e posteriormente aplicação de uma técnica de preenchimento de falhas.

A tendência e significância estatística das séries de chuva e vazões foram determinadas através do teste de Mann-Kendall que tem sido usado extensivamente em estudos de tendências hidrológicas (Dias de Paiva e Clarke 1995) por ser um método não paramétrico e não exigir a distribuição normal dos dados (Yue, et al., 2002), sendo este pouco influenciado por séries não

homogêneas ou mudanças repentinas dos dados, apenas possuindo requisito mínimo de que os dados sejam independentes e aleatórios (Neeti & Eastman, 2011).

Por fim, para estudar os possíveis impactos das mudanças climáticas que podem ocorrer no futuro foi analisado os resultados das projeções de mudanças climáticas na bacia feitas pelo Modelo Climático Regional do RegCM4 forçado com modelos globais CMIP5 e RCP8.5. As projeções futuras foram analisadas para diferentes períodos de tempo, a saber: futuro 1 (2020-40), futuro 2 (2041-70) e futuro 3 (2071-2100) na região da bacia, com foco na temperatura do ar e na precipitação.

### **3. ANÁLISES E RESULTADOS**

#### **3.1 DADOS BASE (ANA) E INTERPOLADOS (GPCC e CRU)**

Inicialmente, com base nos dados obtidos na base da ANA e do GPCC e CRU, analisou-se a existência de correlação entre os mesmos, para isto foi utilizado o método da correlação linear, que consiste em uma análise da relação estatística de dependência entre as séries medidas e as interpoladas, podendo esta ser nula, positiva ou negativa. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Correlação linear entre os dados da ANA, GPCC e CRU para determinar a utilização de dados interpolados para as séries de precipitação

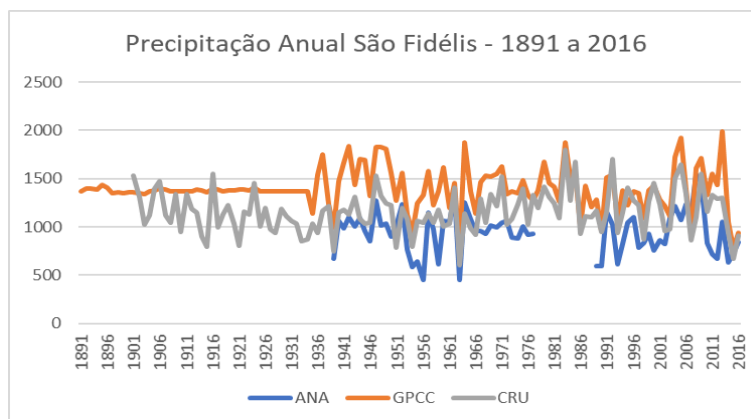
<b>CORRELAÇÃO LINEAR</b>		
<b>ESTAÇÕES</b>	<b>ANA e GPCC</b>	<b>ANA e CRU</b>
São Fidélis	0,586	0,441
Cambuci	0,477	0,294
Carmo	0,335	0,155
Sapucaia	0,599	0,498
Paraíba do Sul	0,349	0,335
Barra do Piraí	0,491	0,510
Volta Redonda	0,555	0,579
Barra Mansa	0,382	0,485
Resende	0,534	0,443
Cachoeira Paulista	0,553	0,474
Guaratinguetá	0,503	0,509
Pindamonhangaba	0,327	0,394
Taubaté	0,637	0,580
Caçapava	0,273	0,202
Guararema	0,364	0,291

Em geral, observa-se que os dados possuem correlação entre 0,5 – 0,7 e sua utilização ou até mesmo preenchimento das falhas dos dados regionais da base de dados da ANA não possa ser feita de maneira precisa, sem a aplicação de técnicas complexas o que a priori, está fora do escopo do trabalho. Além disso, dada a resolução espacial dos dados para algumas estações os pontos de grade da interpolação são os mesmos, fazendo com que os valores para diferentes postos hidrometeorológicos estudados sejam idênticos. Desta forma, optou-se por não utilizar os dados interpolados para o preenchimento das falhas e conseqüentemente aumento do tamanho da série temporal.

A Figura 3 ilustra a série temporal de precipitação da estação São Fidélis comparando a base de dados interpolados e os dados da ANA. Nota-se que os dados do CRU apresentam menor discrepância em relação a ANA. Além disso, os dados interpolados superestimam os valores observados da ANA, apesar de capturar razoavelmente bem a variabilidade (os picos dos maiores e

menores totais de chuva). Os gráficos comparativos entre as séries base e interpoladas para as demais estações são apresentados no Apêndice A.

Figura 3: Série temporal de precipitação média anual na estação São Fidélis no período de 1891 a 2016



### 3.2 ANÁLISE TEMPORAL (CLIMA PRESENTE)

As estações utilizadas para o estudo do clima presente possuem características climáticas semelhantes por estarem inseridas na região Sudeste, local onde se espera maiores índices de precipitação nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro (verão) e menores nos meses de junho, julho e agosto (inverno). As análises das séries históricas foram feitas em duas partes: anual e mensal/sazonal, com o objetivo de caracterizar o clima da bacia em diferentes escalas temporais, a identificação de tendências e a variabilidade do regime das chuvas representado pelos extremos máximos/mínimos e valores médios.

#### 3.2.1 PRECIPITAÇÃO ANUAL

A precipitação média anual na bacia, em sua maior parte, não apresentou grande significância e tendência estatística, como demonstrado na Tabela 2, porém, as estações Carmo e Guararema indicaram tendência negativa no regime de chuvas com significância estatística de 99% e Caçapava de 99,9% como pode ser visto na figura 4. Além da tendência negativa marcante na estação Caçapava, nota-se uma grande variabilidade interanual na qual se

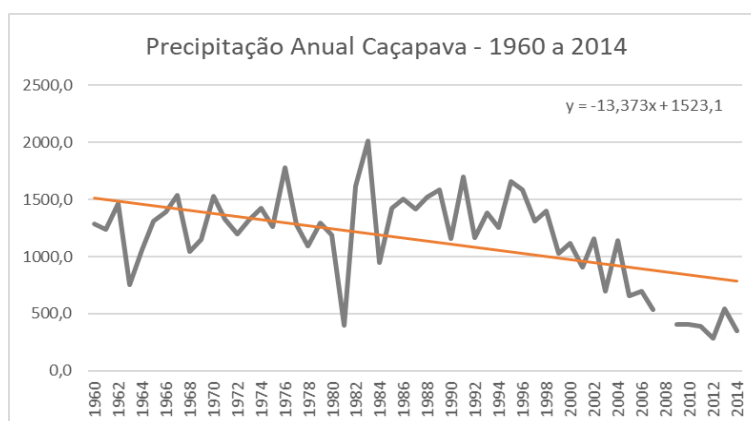
observa que o menor índice de precipitação foi registrado ano de 2012 e o maior no ano de 1983.

Tabela 2. Significância e tendência estatística para as estações pluviométricas da bacia do rio Paraíba do Sul

SIGNIFICÂNCIA E TENDÊNCIA - ANUAL			
Estação	Período	Parâmetro Mann-Kendall	Significância Estatística
São Fidélis	1939 - 2017	-1,000	NS
Cambuci	1944 - 2017	-0,055	NS
Carmo	1960 - 2017	-3,287	**
Sapucaia	1944 - 2017	-0,411	NS
Paraíba do Sul	1939 - 2017	-1,634	NS
Barra do Pirai	1944 - 2017	-1,952	+
Volta Redonda	1944 - 2017	0,439	NS
Barra Mansa	1941 - 2016	0,534	NS
Resende	1960 - 2017	-2,200	*
Cachoeira Paulista	1933 - 2006	-1,820	+
Guaratinguetá	1930 - 2013	0,831	NS
Pindamonhangaba	1932 - 2017	0,783	NS
Taubaté	1938 - 2017	0,058	NS
Caçapava	1960 - 2014	-3,402	***
Guararema	1960 - 2005	-2,594	**

Legenda: NS – não significativo; + - 90% de significância; \* - 95% de significância; \*\* - 99% de significância; \*\*\* - 99,9% de significância

Figura 4: Série temporal de precipitação média anual na estação Caçapava no período de 1960 a 2014



De maneira geral, analisando a variabilidade temporal da precipitação média anual das estações ao longo da bacia conclui-se que os totais acumulados de precipitação tem diminuído, já que das 15 estações analisadas 10

apresentaram tendência de decrescimento, sendo 6 com significância de pelo menos 90%, ou seja, revelando alteração nos valores médios ao longo dos anos e um possível impacto nos recursos hídricos da bacia.

Reitera-se a não homogeneidade das séries históricas, uma vez que os valores mínimos anuais observados para cada estação são variáveis, assim como os máximos, porém, com um destaque para o ano de 1983 que revela picos elevados de chuva para as estações Cambuci, Resende, Caçapava e Guararema, sendo estes entre 1746,5 e 2092,6 mm.

As figuras da precipitação média anual para todas as estações utilizadas no estudo são apresentadas no Apêndice B.

### **3.2.2 PRECIPITAÇÃO MENSAL/SAZONAL**

Para a precipitação mensal, a análise se torna mais ampla em relação à anual pelo fato de se levar em consideração a sazonalidade, no qual há diferença no regime de precipitação nas diferentes estações do ano e nos resultados de tendência. Foi possível identificar informações relevantes sobre as séries, tais como médias mensais, extremos climáticos acima e abaixo de critérios definidos (mais e menos um desvio padrão), meses de mais e menos chuva e a porcentagem de dados entorno da média.

Os dados não demonstraram ser homogêneos ao longo da bacia, uma vez que não há padrões para as diferentes estações, ou seja, os postos estudados não seguem tendências de crescimento e/ou decrescimento de forma homogênea, podendo estar relacionado a fatores como microclimas, precisão na coleta dos dados, extremos climáticos e outros.

De maneira geral, é importante citar que os meses de dezembro a fevereiro são fundamentais para a observação da influência da sazonalidade na bacia devido ao fato de que pelo menos cinco postos sofreram alterações significativas nos regimes de chuva, sendo estes todos negativos, como apresentado nas figuras 5 a 8 que demonstram os resultados do teste de Mann-Kendall.



Constata-se que no verão (DJF) de três a sete estações pluviométricas apresentaram tendência negativa e significância para as séries temporais. No outono (MAM) o mês de abril não apresentou mudanças, sendo maio o mês em que quatro estações demonstraram tendência e significância (todas positivas). No inverno (JJA) observa-se que nos três meses analisados há a ocorrência de tendência e significância, tanto positiva quanto negativa, porém, o mês de agosto apresentou o maior número de estações com esta característica (quatro); para a primavera (SON) o destaque vai para o mês de novembro, no qual há quatro estações com tendência e significância (duas positivas e duas negativas) e dentre estas Caçapava com 99,9%. Com isto, pode-se inferir que o verão é a estação que apresenta maior impacto no regime de chuvas para a bacia como esperado. Destaca-se que o aumento do índice de pluviosidade para o a escala mensal – contabilizado por meio das figuras citadas anteriormente - ocorreu em oito meses e apenas em quatro o decrescimento (maio, julho, setembro e novembro); já para a escala anual a Tabela 2 demonstra que dez estações de um total de quinze sofreram diminuição no nível médio de pluviosidade, o que reforça a importância de se estudar a influência da sazonalidade no regime de chuvas para melhor compreensão das séries.

Figura 5: Significância e tendência estatística para as estações pluviométricas no verão (DJF)

SIGNIFICÂNCIA E TENDÊNCIA - DEZEMBRO				SIGNIFICÂNCIA E TENDÊNCIA - JANEIRO				SIGNIFICÂNCIA E TENDÊNCIA - FEVEREIRO			
Estação	Período	Parâmetro Mann-Kendall	Significância Estatística	Estação	Período	Parâmetro Mann-Kendall	Significância Estatística	Estação	Período	Parâmetro Mann-Kendall	Significância Estatística
São Fidélis	1939 - 2017	0,000	NS	São Fidélis	1939 - 2017	-0,249	NS	São Fidélis	1939 - 2017	-0,557	NS
Cambuci	1944 - 2017	-0,481	NS	Cambuci	1944 - 2017	0,280	NS	Cambuci	1944 - 2017	-1,134	NS
Carmo	1960 - 2017	-1,618	NS	Carmo	1960 - 2017	-3,555	***	Carmo	1960 - 2017	-2,749	**
Sapucaia	1944 - 2017	-0,733	NS	Sapucaia	1944 - 2017	-0,415	NS	Sapucaia	1944 - 2017	-1,685	+
Paraíba do Sul	1939 - 2017	-1,795	+	Paraíba do Sul	1939 - 2017	-0,576	NS	Paraíba do Sul	1939 - 2017	-1,723	+
Barra do Pirai	1944 - 2017	-1,519	NS	Barra do Pirai	1944 - 2017	-0,413	NS	Barra do Pirai	1944 - 2017	-2,703	**
Volta Redonda	1944 - 2017	0,700	NS	Volta Redonda	1944 - 2017	0,557	NS	Volta Redonda	1944 - 2017	-1,559	NS
Barra Mansa	1941 - 2016	1,185	NS	Barra Mansa	1941 - 2016	-0,157	NS	Barra Mansa	1941 - 2016	-0,556	NS
Resende	1960 - 2017	-2,423	*	Resende	1960 - 2017	0,000	NS	Resende	1960 - 2017	-2,444	*
Cachoeira Paulista	1933 - 2006	-0,724	NS	Cachoeira Paulista	1933 - 2006	-1,064	NS	Cachoeira Paulista	1933 - 2006	-2,035	*
Guaratinguetá	1930 - 2013	-1,994	*	Guaratinguetá	1930 - 2013	0,558	NS	Guaratinguetá	1930 - 2013	-0,260	NS
Pindamonhangaba	1932 - 2017	0,140	NS	Pindamonhangaba	1932 - 2017	0,738	NS	Pindamonhangaba	1932 - 2017	-0,975	NS
Taubaté	1938 - 2017	0,046	NS	Taubaté	1938 - 2017	1,687	+	Taubaté	1938 - 2017	-1,853	+
Caçapava	1960 - 2014	-4,794	***	Caçapava	1960 - 2014	-1,686	+	Caçapava	1960 - 2014	-1,578	NS
Guararema	1960 - 2005	-2,165	*	Guararema	1960 - 2005	0,196	NS	Guararema	1960 - 2005	0,573	NS

Figura 6: Significância e tendência estatística para as estações pluviométricas no outono (MAM)

SIGNIFICÂNCIA E TENDÊNCIA - MARÇO				SIGNIFICÂNCIA E TENDÊNCIA - ABRIL				SIGNIFICÂNCIA E TENDÊNCIA - MAIO			
Estação	Período	Parâmetro Mann-Kendall	Significância Estatística	Estação	Período	Parâmetro Mann-Kendall	Significância Estatística	Estação	Período	Parâmetro Mann-Kendall	Significância Estatística
São Fidélis	1939 - 2017	0,189	NS	São Fidélis	1939 - 2017	-0,868	NS	São Fidélis	1939 - 2017	1,684	+
Cambuci	1944 - 2017	0,897	NS	Cambuci	1944 - 2017	-0,942	NS	Cambuci	1944 - 2017	1,231	NS
Carmo	1960 - 2017	-1,435	NS	Carmo	1960 - 2017	-1,274	NS	Carmo	1960 - 2017	-1,295	NS
Sapucaia	1944 - 2017	-0,112	NS	Sapucaia	1944 - 2017	-0,537	NS	Sapucaia	1944 - 2017	0,327	NS
Paraíba do Sul	1939 - 2017	-0,496	NS	Paraíba do Sul	1939 - 2017	0,275	NS	Paraíba do Sul	1939 - 2017	1,058	NS
Barra do Pirai	1944 - 2017	-1,301	NS	Barra do Pirai	1944 - 2017	-0,249	NS	Barra do Pirai	1944 - 2017	-0,061	NS
Volta Redonda	1944 - 2017	-0,695	NS	Volta Redonda	1944 - 2017	1,153	NS	Volta Redonda	1944 - 2017	1,343	NS
Barra Mansa	1941 - 2016	-0,681	NS	Barra Mansa	1941 - 2016	0,810	NS	Barra Mansa	1941 - 2016	1,624	NS
Resende	1960 - 2017	0,438	NS	Resende	1960 - 2017	-0,578	NS	Resende	1960 - 2017	1,177	NS
Cachoeira Paulista	1933 - 2006	-0,793	NS	Cachoeira Paulista	1933 - 2006	-1,423	NS	Cachoeira Paulista	1933 - 2006	0,829	NS
Guaratinguetá	1930 - 2013	0,283	NS	Guaratinguetá	1930 - 2013	-0,342	NS	Guaratinguetá	1930 - 2013	1,854	+
Pindamonhangaba	1932 - 2017	0,672	NS	Pindamonhangaba	1932 - 2017	-0,121	NS	Pindamonhangaba	1932 - 2017	2,615	**
Taubaté	1938 - 2017	0,457	NS	Taubaté	1938 - 2017	-0,440	NS	Taubaté	1938 - 2017	2,659	**
Caçapava	1960 - 2014	-2,671	**	Caçapava	1960 - 2014	-1,335	NS	Caçapava	1960 - 2014	1,358	NS
Guararema	1960 - 2005	1,403	NS	Guararema	1960 - 2005	0,544	NS	Guararema	1960 - 2005	0,975	NS

Legenda: NS – Não significativo; + - 90% de significância; \* - 95% de significância;  
 \*\* - 99% de significância; \*\*\* - 99,9% de significância

Figura 7: Significância e tendência estatística para as estações pluviométricas no inverno (JJA)

SIGNIFICÂNCIA E TENDÊNCIA - JUNHO				SIGNIFICÂNCIA E TENDÊNCIA - JULHO				SIGNIFICÂNCIA E TENDÊNCIA - AGOSTO			
Estação	Período	Parâmetro Mann-Kendall	Significância Estatística	Estação	Período	Parâmetro Mann-Kendall	Significância Estatística	Estação	Período	Parâmetro Mann-Kendall	Significância Estatística
São Fidélis	1939 - 2017	-0,213	NS	São Fidélis	1939 - 2017	-0,530	NS	São Fidélis	1939 - 2017	0,919	NS
Cambuci	1944 - 2017	-0,512	NS	Cambuci	1944 - 2017	0,549	NS	Cambuci	1944 - 2017	1,665	+
Carmo	1960 - 2017	-1,021	NS	Carmo	1960 - 2017	-1,916	+	Carmo	1960 - 2017	-2,675	**
Sapucaia	1944 - 2017	-0,542	NS	Sapucaia	1944 - 2017	0,595	NS	Sapucaia	1944 - 2017	-0,089	NS
Paraíba do Sul	1939 - 2017	0,322	NS	Paraíba do Sul	1939 - 2017	-	-	Paraíba do Sul	1939 - 2017	0,528	NS
Barra do Pirai	1944 - 2017	0,541	NS	Barra do Pirai	1944 - 2017	0,866	NS	Barra do Pirai	1944 - 2017	-0,202	NS
Volta Redonda	1944 - 2017	-0,047	NS	Volta Redonda	1944 - 2017	0,924	NS	Volta Redonda	1944 - 2017	0,387	NS
Barra Mansa	1941 - 2016	-0,224	NS	Barra Mansa	1941 - 2016	1,264	NS	Barra Mansa	1941 - 2016	-0,059	NS
Resende	1960 - 2017	-0,007	NS	Resende	1960 - 2017	1,493	NS	Resende	1960 - 2017	-0,842	NS
Cachoeira Paulista	1933 - 2006	-0,845	NS	Cachoeira Paulista	1933 - 2006	1,573	NS	Cachoeira Paulista	1933 - 2006	-0,393	NS
Guaratinguetá	1930 - 2013	-0,300	NS	Guaratinguetá	1930 - 2013	2,197	*	Guaratinguetá	1930 - 2013	-0,830	NS
Pindamonhangaba	1932 - 2017	1,236	NS	Pindamonhangaba	1932 - 2017	1,658	+	Pindamonhangaba	1932 - 2017	-0,334	NS
Taubaté	1938 - 2017	0,745	NS	Taubaté	1938 - 2017	0,564	NS	Taubaté	1938 - 2017	-0,054	NS
Caçapava	1960 - 2014	-2,026	*	Caçapava	1960 - 2014	1,135	NS	Caçapava	1960 - 2014	-2,758	**
Guararema	1960 - 2005	-0,272	NS	Guararema	1960 - 2005	0,206	NS	Guararema	1960 - 2005	-1,308	NS

Figura 8: Significância e tendência estatística para as estações pluviométricas na primavera (SON)

SIGNIFICÂNCIA E TENDÊNCIA - SETEMBRO				SIGNIFICÂNCIA E TENDÊNCIA - OUTUBRO				SIGNIFICÂNCIA E TENDÊNCIA - NOVEMBRO			
Estação	Período	Parâmetro Mann-Kendall	Significância Estatística	Estação	Período	Parâmetro Mann-Kendall	Significância Estatística	Estação	Período	Parâmetro Mann-Kendall	Significância Estatística
São Fidélis	1939 - 2017	0,567	NS	São Fidélis	1939 - 2017	-1,308	NS	São Fidélis	1939 - 2017	0,805	NS
Cambuci	1944 - 2017	1,428	NS	Cambuci	1944 - 2017	-1,427	NS	Cambuci	1944 - 2017	1,316	NS
Carmo	1960 - 2017	-2,215	*	Carmo	1960 - 2017	-3,880	***	Carmo	1960 - 2017	-1,900	+
Sapucaia	1944 - 2017	1,195	NS	Sapucaia	1944 - 2017	-0,509	NS	Sapucaia	1944 - 2017	1,456	NS
Paraíba do Sul	1939 - 2017	0,987	NS	Paraíba do Sul	1939 - 2017	-1,109	NS	Paraíba do Sul	1939 - 2017	0,969	NS
Barra do Pirai	1944 - 2017	1,050	NS	Barra do Pirai	1944 - 2017	-0,674	NS	Barra do Pirai	1944 - 2017	0,172	NS
Volta Redonda	1944 - 2017	1,600	NS	Volta Redonda	1944 - 2017	-0,686	NS	Volta Redonda	1944 - 2017	1,913	+
Barra Mansa	1941 - 2016	1,107	NS	Barra Mansa	1941 - 2016	-1,185	NS	Barra Mansa	1941 - 2016	1,890	+
Resende	1960 - 2017	0,297	NS	Resende	1960 - 2017	-2,269	*	Resende	1960 - 2017	-0,867	NS
Cachoeira Paulista	1933 - 2006	0,807	NS	Cachoeira Paulista	1933 - 2006	0,408	NS	Cachoeira Paulista	1933 - 2006	-0,867	NS
Guaratinguetá	1930 - 2013	0,157	NS	Guaratinguetá	1930 - 2013	0,625	NS	Guaratinguetá	1930 - 2013	1,420	NS
Pindamonhangaba	1932 - 2017	0,588	NS	Pindamonhangaba	1932 - 2017	-0,309	NS	Pindamonhangaba	1932 - 2017	1,044	NS
Taubaté	1938 - 2017	0,914	NS	Taubaté	1938 - 2017	-1,059	NS	Taubaté	1938 - 2017	-0,179	NS
Caçapava	1960 - 2014	-1,060	NS	Caçapava	1960 - 2014	-3,051	**	Caçapava	1960 - 2014	-3,330	***
Guararema	1960 - 2005	0,618	NS	Guararema	1960 - 2005	0,147	NS	Guararema	1960 - 2005	0,217	NS

Legenda: NS – Não significativo; + - 90% de significância; \* - 95% de significância;  
 \*\* - 99% de significância; \*\*\* - 99,9% de significância

A estação Carmo - única estação na qual todos os meses sofreram um decréscimo nos totais acumulados de precipitação média mensal – tem sua variabilidade representada na Figura 9 e demonstra que os meses de maior intensidade de chuva são os de dezembro e janeiro (verão) e os de menor junho, julho e agosto (inverno), condizendo com a Figura 10 que representa a sazonalidade, assim como para as demais estudadas (apresentadas nos Apêndices C e D), o que confirma o esperado para a região da bacia: verões mais chuvosos e invernos mais secos (MARENGO E ALVES, 2005).

Figura 9: Série temporal de precipitação média mensal na estação Carmo no período de 1960 a 2017

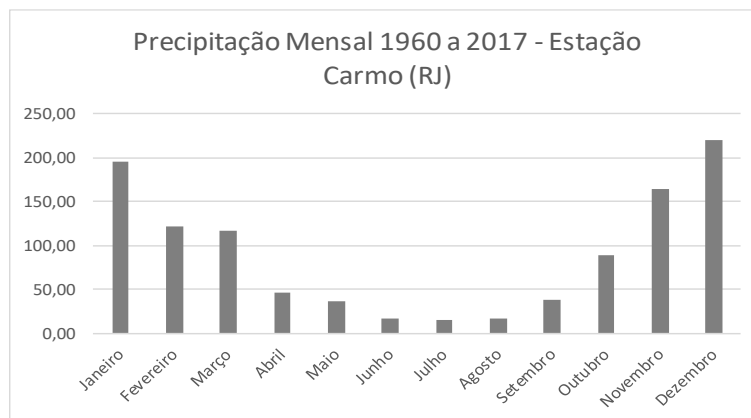
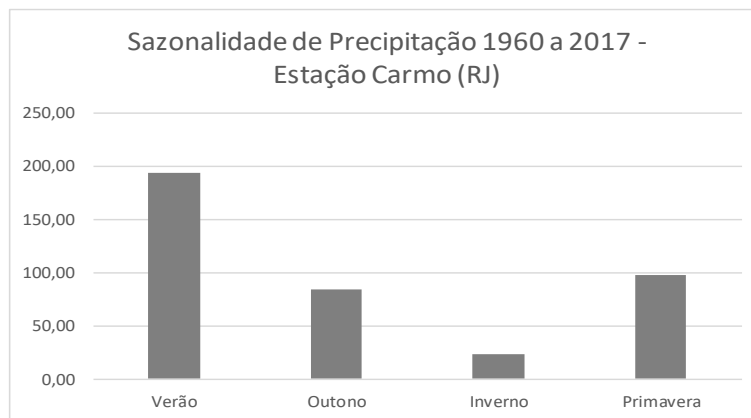


Figura 10: Sazonalidade de precipitação na estação Carmo no período de 1960 a 2017



A Figura 11 demonstra a estação Guaratinguetá nos meses de dezembro, maio, julho e outubro para que seja feita a comparação da sazonalidade com os dados de cota e vazão do rio Paraíba do Sul (as demais com todos os meses estão localizadas no apêndice E). Observa-se que considerando o início em maio

há um aumento nos valores médios ao longo das estações, sendo de 47,9 mm no outono e 208 mm no verão; outra constatação é que para os extremos climáticos - valores anormais de um estado climático médio - considera-se os dados que estão além dos limites de mais ou menos um desvio padrão, sendo que dezembro e outubro apresentaram os maiores valores com 23 e 25, respectivamente.

Em relação aos dados de cota e vazão (dispostos na Figura 12) pode se concluir que nos meses de verão há maior vazão (m³/s) e, conseqüentemente, maior cota (cm) provavelmente devido ao alto índice de pluviosidade, seguindo assim esta mesma tendência para as demais estações (apresentadas nos Apêndices F e G) de decaimento a partir de março até agosto e crescimento de outubro a fevereiro.

Figura 11: Série temporal de precipitação média mensal na estação Guaratinguetá no período de 1930 a 2013

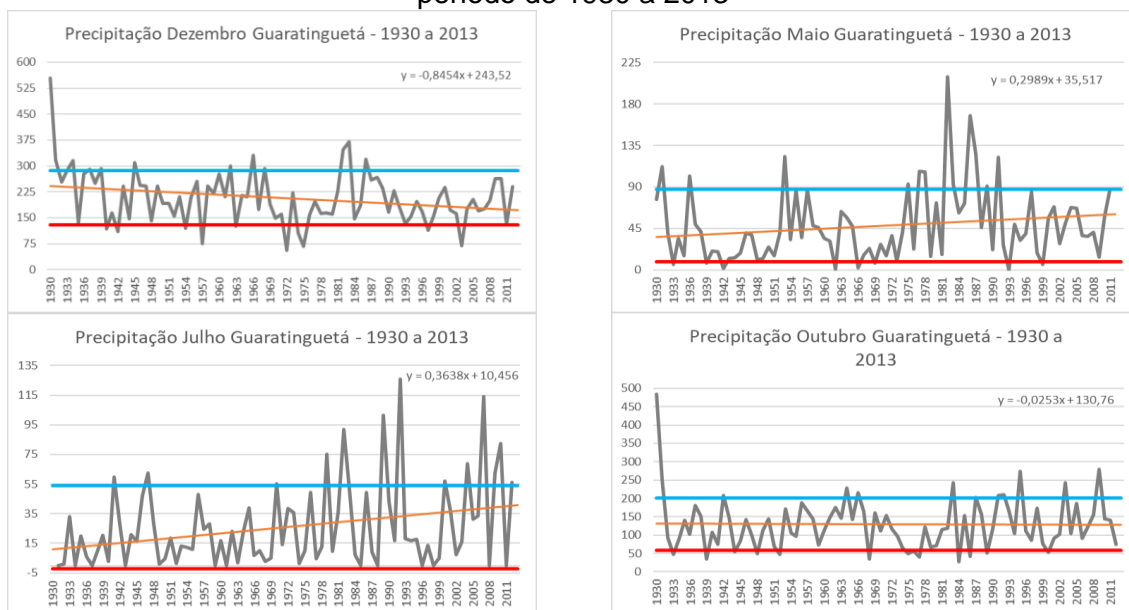
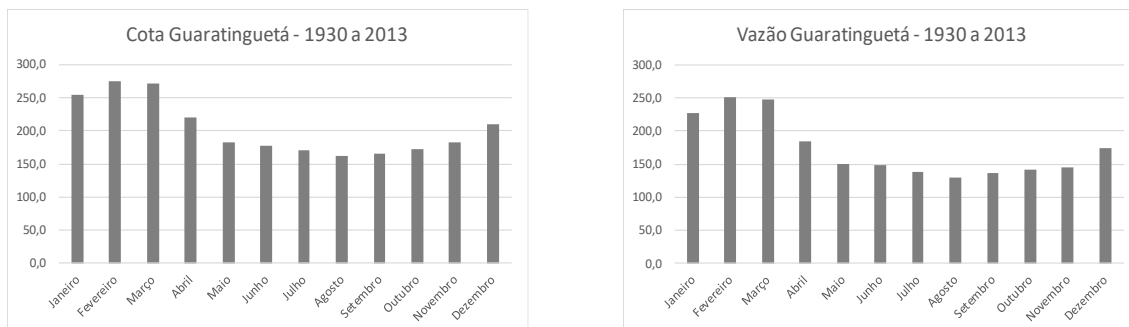


Figura 12: Série temporal de cota e vazão na estação Guaratinguetá no período de 1930 a 2013



Em resumo, pode se afirmar que os níveis de cota e vazão seguem o mesmo padrão que o regime de chuvas segundo o Teste de Mann-Kendall e os gráficos gerados, pois observa-se que o aumento dos mesmos têm início após o final do inverno (ou começo da primavera) e se estende até o final do verão (fevereiro) e começo do outono (março). Destaca-se que os níveis mais baixos observados para a bacia estão nos meses de menos chuva (JJA), como esperado para a região.

Por estarem diretamente relacionadas, espera-se que os extremos climáticos observados para a precipitação também afetem de maneira pontual os valores de cota e vazão, fazendo com que estudos integrados de mudanças climáticas e gestão de recursos hídricos para a bacia sejam necessários, visando o melhor funcionamento dos reservatórios e postos de abastecimento.

### 3.3 ANÁLISE TEMPORAL CLIMA FUTURO – PRECIPITAÇÃO

Para o estudo do clima futuro, toma-se como base o período de 1961 até 2005 e define-se três escalas de tempo diferentes: 2020 a 2040, 2041 a 2070 e 2071 a 2100, sendo divididos em anual, verão (DJF), outono (MAM), inverno (JJA) e primavera (SON) para a precipitação e a temperatura. O intuito desta etapa é observar as possíveis mudanças na precipitação e temperatura projetadas para a região da bacia do Paraíba do Sul que possa auxiliar no planejamento e organização das diversas atividades presentes no Vale do Paraíba, desde a agricultura até a urbanização.

As análises foram baseadas nos resultados do modelo RegCM4 configurado com diferentes modelos de superfície (CLM e BATS) e forçado com diferentes modelos globais, a saber: RegCM4-CLM-GFDL, RegCM4-BATS-HadGEM2, RegCM4-CLM-HadGEM2 e RegCM4-CLM-MPI, a partir do cenário de emissão dos gases de efeito estufa RCP8.5.

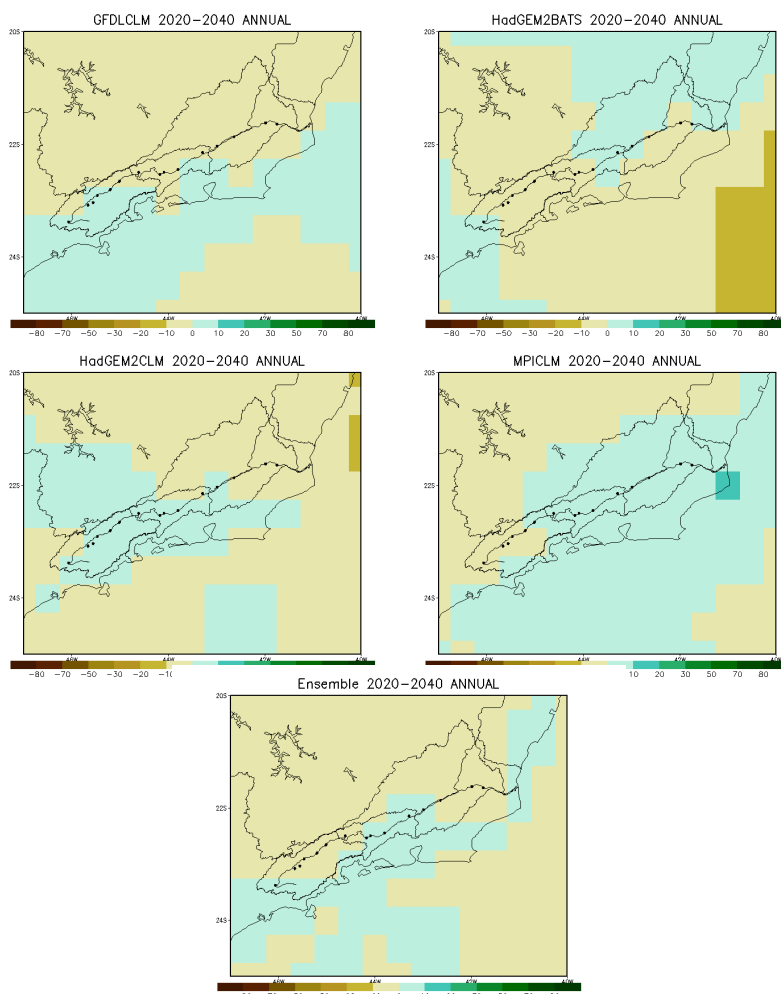
As figuras de projeção do clima futuro para a sazonalidade de precipitação e temperatura para os diferentes modelos são apresentadas nos Apêndices H e I.

### **3.3.1 PRECIPITAÇÃO – ANUAL E SAZONAL**

#### **a. FUTURO 1 (2020 a 2040)**

No período denominado futuro 1, a Figura 13 apresenta, para a precipitação anual, decréscimos e aumentos de mais e menos 10% ao longo da bacia, assim como para a média (*Ensemble*), sendo que os maiores valores são estão concentrados na porção central da bacia.

Figura 13: Projeções de precipitação anual para os diferentes modelos no período de 2020 a 2040 na bacia do rio Paraíba do Sul



Para o verão os modelos CLM-GFDL e BATS-HadGEM2 projetam um decréscimo de 10 a 20% nos valores de precipitação em quase toda a bacia, já o modelo CLM-HadGEM2 projeta mais e menos 10% para estes valores e o CLM-MPI projeta que em praticamente 100% da bacia acréscimos de 10 a 20% nos valores de precipitação. O *Ensemble* demonstra variações de mais e menos 10%, com o acréscimo sendo na porção fluminense.

Para o outono, os modelos CLM-GFDL, BATS-HadGEM2 e o CLM-HadGEM2 projetam decréscimos na porção leste e na maior parte acréscimos no oeste, diferentemente do CLM-MPI que aponta em quase toda a extensão da bacia ocorra um decréscimo de 10%. O *Ensemble* demonstra variações de



menos 20 a mais 10%, sendo o decréscimo na porção leste e o acréscimo na porção paulista.

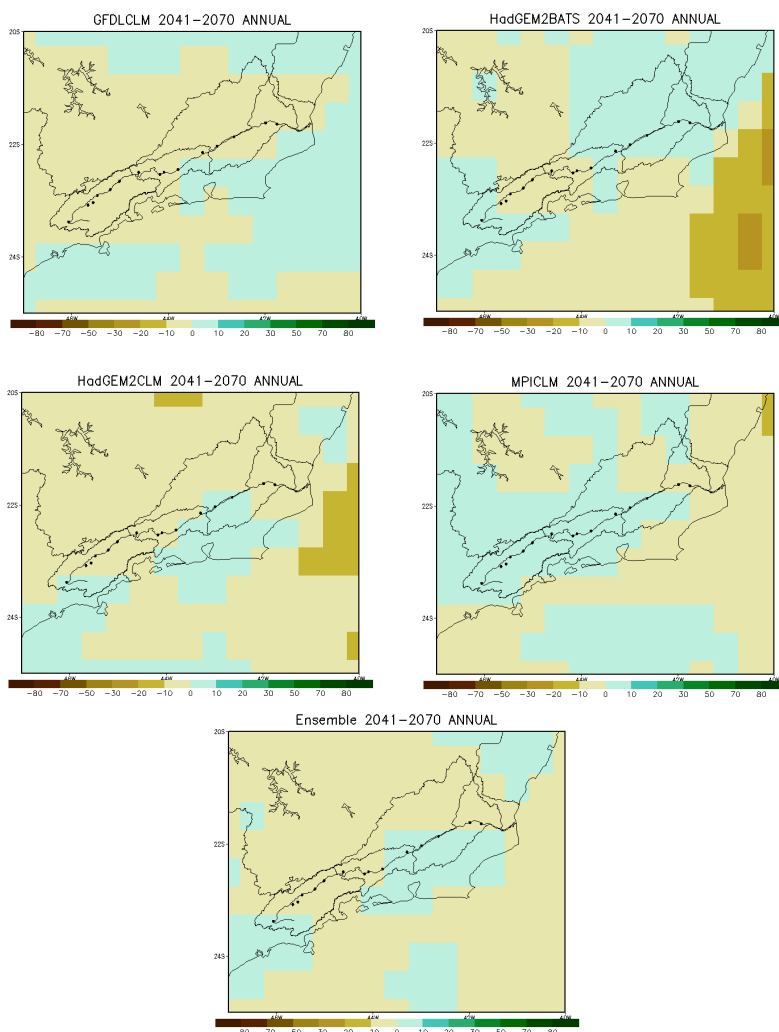
Para o inverno, o modelo CLM-GFDL projeta somente acréscimos de 10 a 50% na pluviosidade para a bacia, diferentemente dos modelos BATS-HadGEM2, CLM-HadGEM2 e CLM-MPI que projetam somente decréscimos de 10 a 30%. O *Ensemble* demonstra que há uma diminuição de 10% para quase toda a bacia.

Para a primavera, os modelos apresentados projetam acréscimos, sendo estes com valor mínimo de 10 e máximo de 30%. O *Ensemble* demonstra que se espera um acréscimo de 10% no nível de pluviosidade para praticamente toda a bacia.

#### **b. FUTURO 2 (2041 a 2070)**

No período denominado futuro 2, a Figura 14 demonstra, para a precipitação anual, que os modelos CLM-GFDL e BATS-HadGEM2 projetam acréscimos na porção leste e decréscimos na porção centro-oeste (mais e menos 10%), os modelos CLM-HadGEM2 e CLM-MPI projetam em quase 100% da bacia acréscimos de 10 a 20% nos valores de precipitação. O *Ensemble* demonstra que há predominância de acréscimo de 10% nos valores de precipitação na bacia, com uma pequena porção na parte paulista decaindo em 10%.

Figura 14: Projeções de precipitação anual para os diferentes modelos no período de 2041 a 2070 na bacia do rio Paraíba do Sul



Para o verão, os modelos CLM-GFDL e BATS-HadGEM2 projetam acréscimos na porção leste e decréscimos na porção centro-oeste, os modelos CLM-HadGEM2 e CLM-MPI projetam, em quase 100% da bacia, acréscimos de 10 a 20% nos valores de precipitação. O *Ensemble* demonstra que há predominância de acréscimo de 10% nos valores de precipitação na bacia, com uma pequena porção na parte paulista decaindo em 10%.

Para o outono, os modelos BATS-HadGEM2 e o CLM-HadGEM2 e CLM-MPI projetam decréscimos em quase toda a extensão da bacia, o CLM-GFDL apresenta um pequeno acréscimo de 10% no extremo oeste, com o restante da bacia seguindo o padrão dos modelos citados anteriormente. O *Ensemble* demonstra decréscimos de 10 e 20% para toda a bacia.

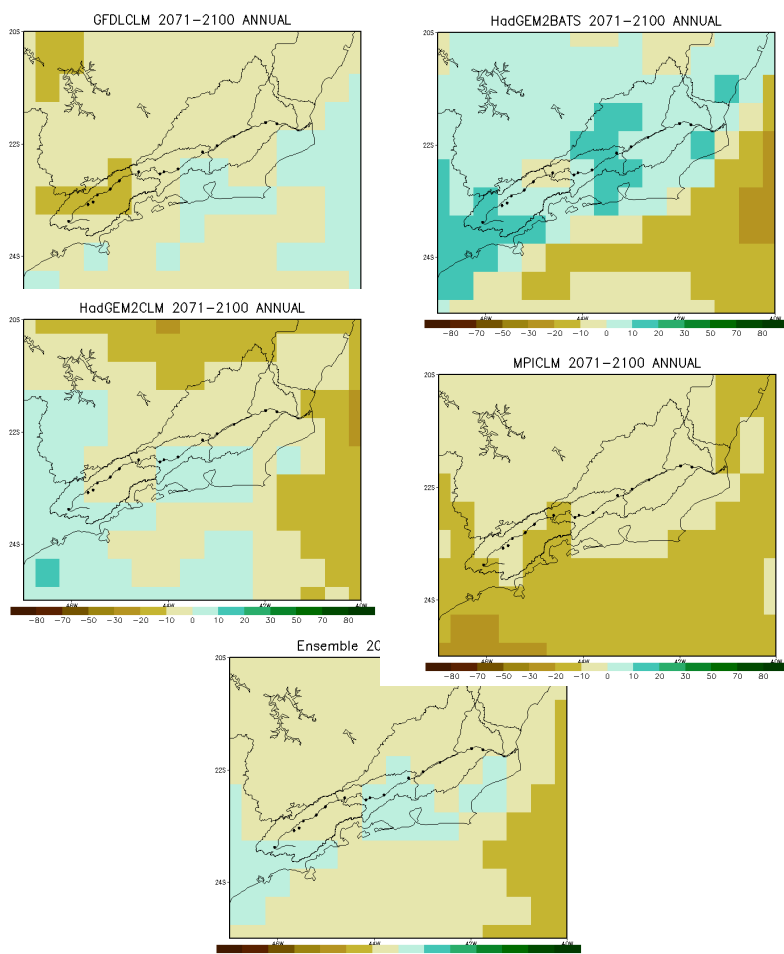
Para o inverno, os modelos CLM-GFDL, BATS-HadGEM2 e CLM-MPI projetam para quase toda a extensão da bacia diminuição de 10 a 30% nos valores de pluviosidade, já o CLM-HadGEM2 projeta que em grande parte da bacia poderá sofrer um acréscimo de 10% nestes valores. O *Ensemble* demonstra decréscimos de principalmente 10% para a bacia.

Para a primavera, os modelos CLM-GFDL e CLM-HadGEM2 projetam para a maior parte da bacia decréscimos de 10 e 20% nos valores de pluviosidade, já o BATS-HadGEM2 e o CLM-MPI projetam o oposto, ou seja, o acréscimo destes valores. O *Ensemble* demonstra que aproximadamente metade da extensão da bacia sofrerá diminuição de 10% e a outra metade aumento de 10% nos valores de precipitação.

### **c. FUTURO 3 (2071 a 2100)**

No período denominado futuro 3, a Figura 15 demonstra, para a precipitação anual, que os modelos BATS-HadGEM2 e CLM-HadGEM2 projetam em quase toda a extensão da bacia ocorram acréscimos de 10 a 30% nos valores de precipitação, no CLM-GFDL observa-se o acréscimo de 10 a 20% na porção centro-leste e decréscimo de 10% na porção paulista, o mesmo aplica-se ao CLM-MPI, porém, apenas com acréscimos de 10%. O *Ensemble* demonstra que há predominância de acréscimo de 10 a 20% nos valores de precipitação na bacia, com uma porção menor que no futuro 2 na parte paulista decaindo em 10%.

Figura 15: Projeções de precipitação anual para os diferentes modelos no período de 2071 a 2100 na bacia do rio Paraíba do Sul



Para o verão, os modelos BATS-HadGEM2 e CLM-HadGEM2 projetam, em quase toda a extensão da bacia, acréscimos de 10 a 30% nos valores de precipitação, no CLM-GFDL observa-se o acréscimo de 10 a 20% na porção centro-leste e decréscimo de 10% na porção paulista, o mesmo aplica-se ao CLM-MPI, porém, apenas com acréscimos de 10%. O *Ensemble* demonstra que há predominância de acréscimo de 10 a 20% nos valores de precipitação na bacia, com uma porção menor que no futuro 2 na parte paulista decaindo em 10%.

Para o outono, os modelos CLM-GFDL e BATS-HadGEM2 projetam decréscimos de 10 e 20% em toda a bacia, já o CLM-HadGEM2 e CLM-MPI decréscimos de 10 a 30%. O *Ensemble* demonstra diminuição de 10 e 20% para toda a bacia.

Para o inverno, os modelos CLM-GFDL, BATS-HadGEM2 e CLM-MPI projetam decréscimos de 10 a 30% na maior parte da bacia, já o CLM-HadGEM2 o oposto, mas com acréscimos de 10 e 20%. O *Ensemble* demonstra decréscimos de 10 e 20% para a maior parte da bacia.

Para a primavera, os modelos CLM-GFDL e CLM-MPI projetam decréscimos de 10 a 50% para toda a bacia, o CLM-HadGEM2 há predominância de diminuição dos valores de precipitação e o BATS-HadGEM2 projeta somente acréscimos de 10 a 50%. O *Ensemble* demonstra decréscimos de 10 para quase toda a extensão da bacia.

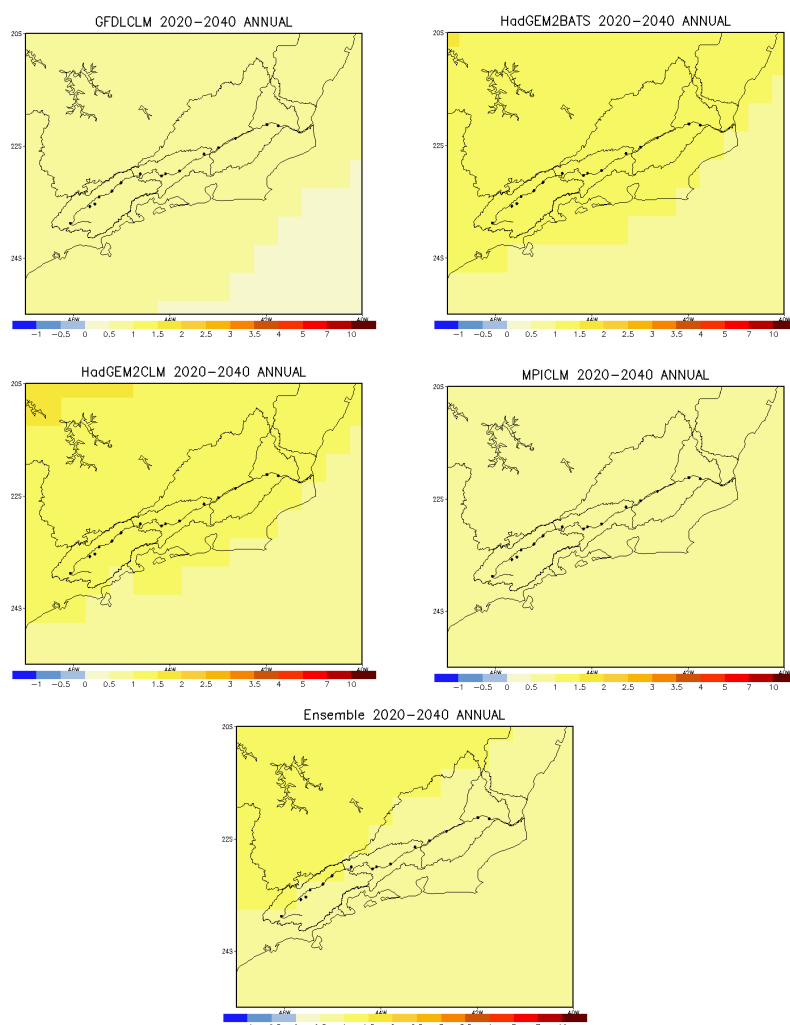
### **3.4 ANÁLISE TEMPORAL CLIMA FUTURO – TEMPERATURA**

#### **3.4.1 TEMPERATURA – ANUAL**

##### **a. FUTURO 1 (2020 a 2040)**

Para o futuro 1, a Figura 16 demonstra para a temperatura anual que os modelos CLM-GFDL e CLM-MPI projetam o aumento da temperatura de 1°C em toda a extensão da bacia, já os modelos BATS-HadGEM2 e CLM-HadGEM2 projetam um aumento de 1.5°C. O *Ensemble* aponta o aumento de 1°C para toda a extensão da bacia.

Figura 16: Projeções de temperatura anual para os diferentes modelos no período de 2020 a 2040 na bacia do rio Paraíba do Sul



Para o verão, os modelos CLM-GFDL e CLM-MPI projetam o aumento da temperatura de 1°C em toda a extensão da bacia, o BATS-HadGEM2 projeta o aumento de 1.5°C na porção paulista e 1°C no restante, o CLM-HadGEM2 projeta que quase toda a bacia sofrerá o aumento de 1.5°C. O *Ensemble* demonstra o aumento de 1°C para toda a extensão da bacia.

Para o outono, os modelos CLM-GFDL e CLM-MPI projetam o aumento da temperatura de 1°C em toda a extensão da bacia, o BATS-HadGEM2 e o CLM-HadGEM2 projetam um aumento de 1.5°C para toda a bacia. O *Ensemble* demonstra na maior parte da bacia o aumento de 1.5°C para toda a extensão da bacia

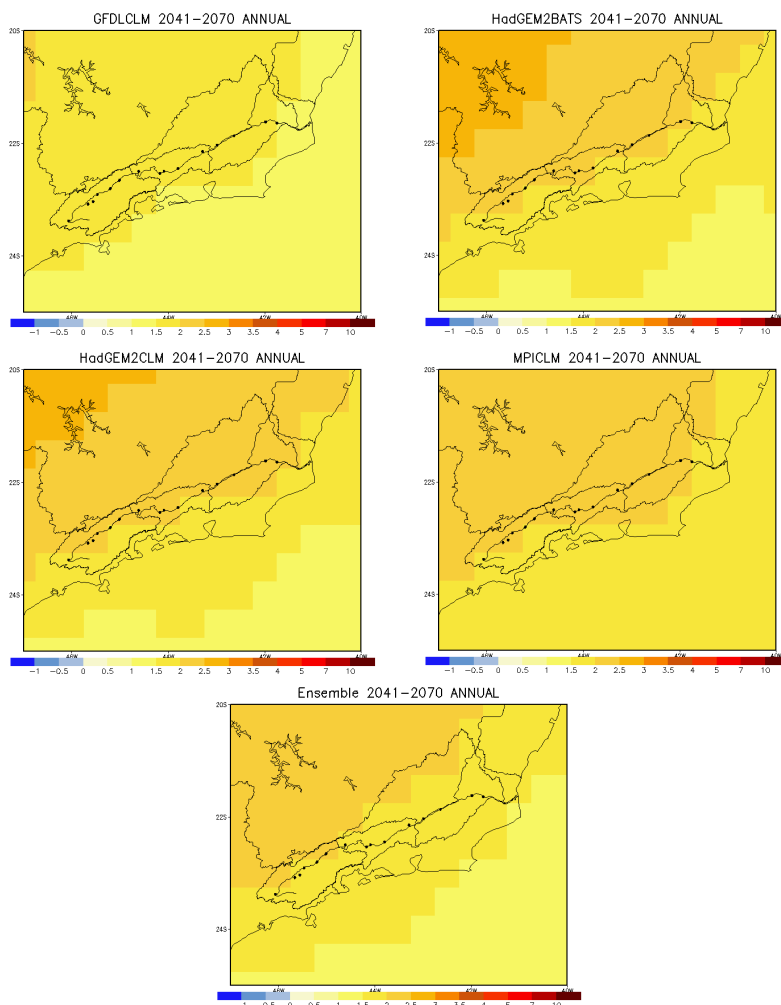
Para o inverno, os modelos CLM-GFDL e CLM-MPI projetam o aumento da temperatura de 1°C em toda a extensão da bacia, já os modelos BATS-HadGEM2 e CLM-HadGEM2 projetam um aumento de 1.5°C. O *Ensemble* aponta o aumento de 1°C para toda a extensão da bacia.

Para a primavera, o modelo CLM-GFDL projeta um aumento de 1°C na temperatura da região da bacia, o BATS-HadGEM2 e CLM-HadGEM2 projetam aumento de 1°C em aproximadamente metade da bacia e na outra parte 1.5°C e CLM-MPI projeta o aumento da temperatura de 1.5°C em toda a extensão da bacia. O *Ensemble* aponta o aumento de 1°C para quase toda a extensão da bacia.

#### **b. FUTURO 2 (2040 a 2071)**

Para o futuro 2, a Figura 17 demonstra para a temperatura anual que o modelo CLM-GFDL projeta na maior parte da bacia o aumento de 2°C e o restante no litoral aumentando 1.5°C, os modelos BATS-HadGEM2, CLM-HadGEM2 e CLM-MPI projetam aumento de 2.5°C do centro para o interior da bacia, sendo que a região litorânea sofre um aumento de 2°C. O *Ensemble* projeta o aumento de 2°C em quase toda a extensão da bacia, com pequenas porções ao norte apontando 2.5°C.

Figura 17: Projeções de temperatura anual para os diferentes modelos no período de 2041 a 2070 na bacia do rio Paraíba do Sul



Para o verão, os modelos CLM-GFDL e CLM-MPI projetam um aumento de 1.5°C na bacia, os modelos BATS-HadGEM2 e CLM-HadGEM2 são semelhantes, pois ambos apontam o aumento de 2 e 2.5°C. O *Ensemble* projeta um aumento de 1.5°C na bacia.

Para o outono, os modelos CLM-GFDL, CLM-HadGEM2 e CLM-MPI projetam um aumento de 2°C na bacia, já o modelo BATS-HadGEM2 projeta em quase toda a extensão da bacia um aumento de 2.5°C. O *Ensemble* projeta um aumento de 2°C na bacia.

Para o inverno, os modelos CLM-GFDL e CLM-MPI projetam um aumento de 1.5°C na bacia, os modelos BATS-HadGEM2 e CLM-HadGEM2 são



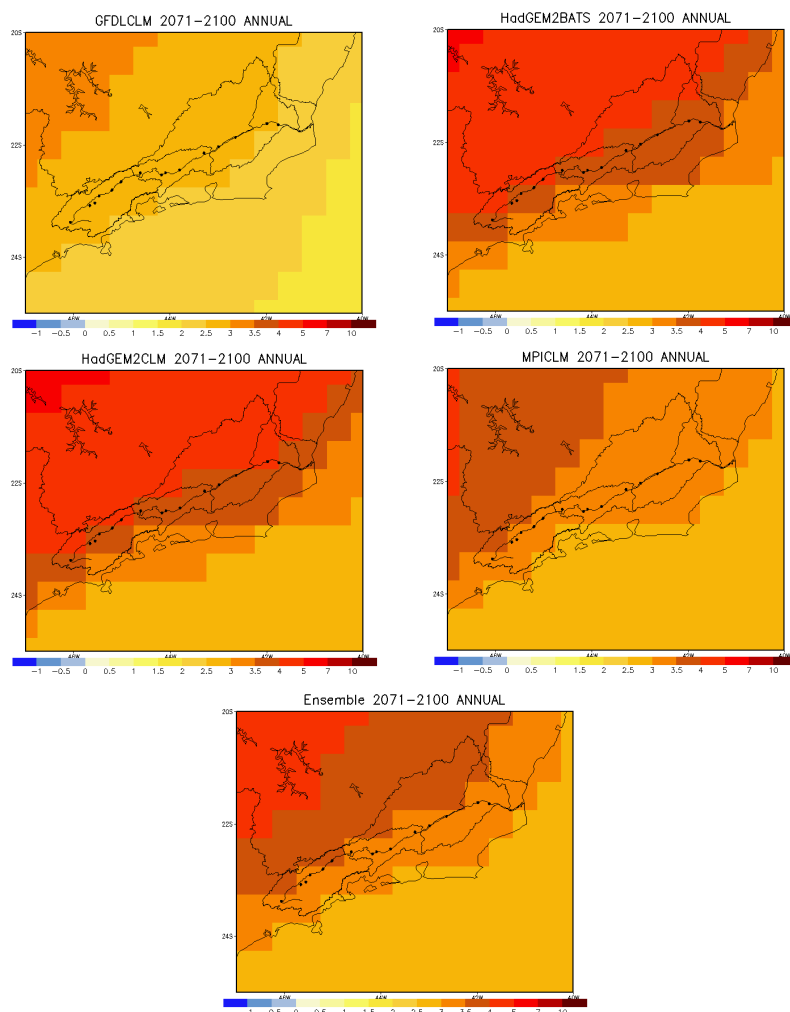
semelhantes, pois ambos apontam o aumento de 2 e 2.5°C. O *Ensemble* projeta um aumento de 1.5°C na bacia.

Para a primavera, os modelos CLM-GFDL, BATS-HadGEM2 e CLM-HadGEM2 projetam um aumento de 1.5 a 2°C para toda a extensão da bacia, o CLM-MPI projeta um aumento de 2 a 2.5°C. O *Ensemble* projeta um aumento de 1 a 1.5°C na bacia.

### **c. FUTURO 3 (2071 a 2100)**

Para o futuro 3, a Figura 18 demonstra para temperatura anual que o modelo CLM-GFDL projeta um aumento de 2.5°C, os modelos BATS-HadGEM2 e CLM-HadGEM2 projetam aumentos de 3.5°C no litoral até 5°C no interior da bacia, o modelo CLM-MPI projeta um aumento de 3.5°C para toda a extensão da bacia. O *Ensemble* projeta um aumento de 3.5°C no centro-litoral e 4°C nas partes mais ao norte (interior).

Figura 18: Projeções de temperatura anual para os diferentes modelos no período de 2071 a 2100 na bacia do rio Paraíba do Sul



Para o verão, o modelo CLM-GFDL projeta aumentos de 1.5°C em uma pequena parte e em quase toda a bacia de 2°C, os modelos BATS-HadGEM2 e CLM-HadGEM2 projetam aumentos de 3.5 e 4°C, o modelo CLM-MPI projeta um aumento de 3 e 3.5°C. O *Ensemble* projeta um aumento de 3°C na porção centro-litoral e 3.5°C na porção centro-interior.

Para o outono, o modelo CLM-GFDL projeta aumento de 1.5°C na porção leste e 1°C na porção paulista, o modelo BATS-HadGEM2 demonstra aumentos gradativos de 3.5, 4 e 5°C no do litoral pra o interior, o CLM-HadGEM2 também projeta estes aumentos gradativos mas na escala de 3.5 e 4°C, o modelo CLM-

MPI projeta um aumento de 2.5°C para a maior parte da bacia. O *Ensemble* projeta um aumento de 3°C para a maior parte da bacia.

Para o inverno, o modelo CLM-GFDL projeta um aumento de 2.5 e 3°C, os modelos BATS-HadGEM2 e CLM-HadGEM2 projetam aumentos de 4 e 5°C para toda a extensão da bacia, o modelo CLM-MPI projeta em quase toda a extensão um aumento de 3.5°C. O *Ensemble* projeta em quase toda a extensão da bacia um aumento de 3.5°C e em algumas partes 4°C.

Para a primavera, o modelo CLM-GFDL projeta um aumento de 2.5 a 4°C, o BATS-HadGEM2 projeta um aumento de 3.5 a 5°C, o CLM-HadGEM2 projeta um aumento de 4 a 7°C e CLM-MPI projeta um aumento de 4 a 5°C. O *Ensemble* projeta que o aumento fique de 3.5 a 5°C.

#### **4 CONCLUSÕES**

Em relação aos dados obtidos da base da ANA vale ressaltar que algumas estações possuem falhas de coleta de dados e/ou tiveram suas operações iniciadas recentemente, fazendo com que a precisão dos mesmos seja um pouco limitada, ainda que satisfatória. Com isto, nota-se que a coleta de dados regionais por meio de fontes confiáveis e de alta qualidade se torna de extrema importância para o presente estudo, visando gerar resultados cada vez mais precisos.

O regime de precipitação das estações estudadas demonstra que mesmo com a grande diferença na distribuição espacial dos dados, há um padrão nos gráficos gerados: de verões mais chuvosos, nos quais os meses de DJF são críticos para o abastecimento e os usos múltiplos de água, desempenhando um papel fundamental para a bacia do rio Paraíba do Sul pelo fato de estarem associados aos picos de cota e vazão; invernos mais secos, nos quais os meses de JJA apontam os menores valores de chuva, vazão e cota, fazendo com que se faça necessário o manejo e uso consciente da bacia para que não implique em problemas de abastecimento e escassez hídrica. Reitera-se a importância do uso sustentável dos recursos hídricos devido a presença de alguns extremos

climáticos como por exemplo os de meses em que a precipitação observada foi abaixo da média.

Reitera-se que há variabilidade climática na bacia, pois ainda que as estações possuam o padrão citado podem haver diferenças. Como exemplo, destaca-se o mês de janeiro em que a estação São Fidélis apresentou tendência de decréscimo nos valores de precipitação, Resende não demonstrou tendência e Taubaté apresentou tendência de crescimento. Esta relação pode ser explicada devido à existência dos microclimas, a urbanização não planejada, aos aspectos geográficos do município (geologia e pedologia) e outros.

Para as projeções do clima futuro para a precipitação na bacia, constata-se que para a escala anual de 2020 a 2100 na maior parte da bacia ocorre um decréscimo de 10% nestes valores e em algumas porções menores o acréscimo de 10%; para o verão há a ocorrência de um crescimento gradativo nos valores de precipitação até 2100, iniciando em 10% e terminando em 20%; para o outono há uma constância nos valores de precipitação entre diminuições de 10 e 20%; para o inverno percebe-se que os valores até 2100 ficam entre menos 10 e 20%; para a primavera nota-se uma queda gradativa nos valores de precipitação até 2040, ficando entre mais 10 e 20%, até 2070 mais e menos 10% e em 2100 praticamente só menos 10%.

Para a temperatura do clima futuro, projeta-se que para a escala anual ocorra um aumento gradativo iniciando em 1°C até 2040 e chegando em até 4°C no ano de 2100; para o verão ocorra um aumento iniciando em 1°C até 2040 e no máximo 3.5°C em 2100; para o outono há um acréscimo de até 2°C em 2070 e 3°C em 2100; para o inverno o crescimento entre 2071 e 2100 se torna muito superior ao de 2020 a 2070 (até 1.5°C), podendo chegar até a mais 4°C; para a primavera observa-se o um acréscimo máximo em 2100 em relação as outras escalas, sendo este de até 5°C, com início em 1°C até 2040.

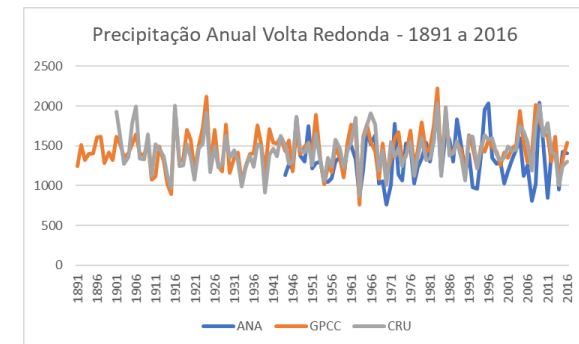
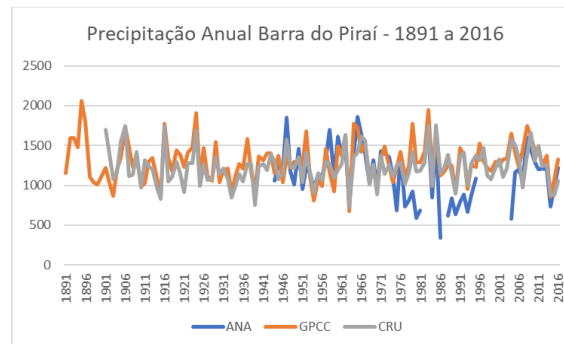
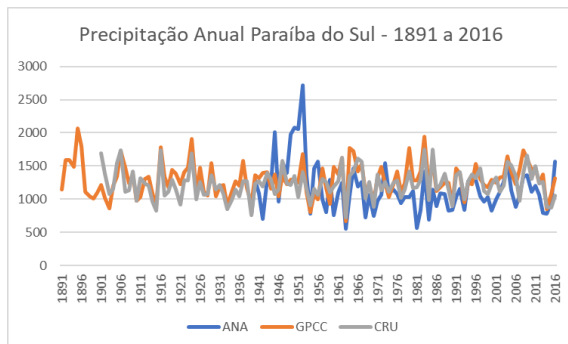
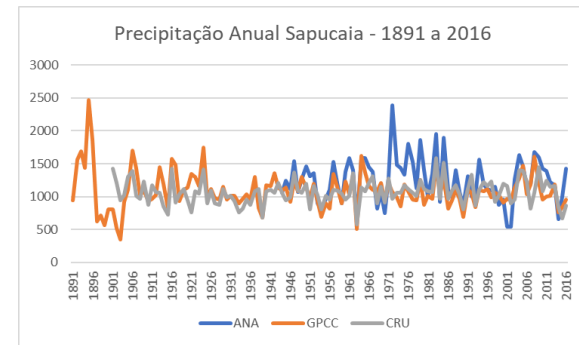
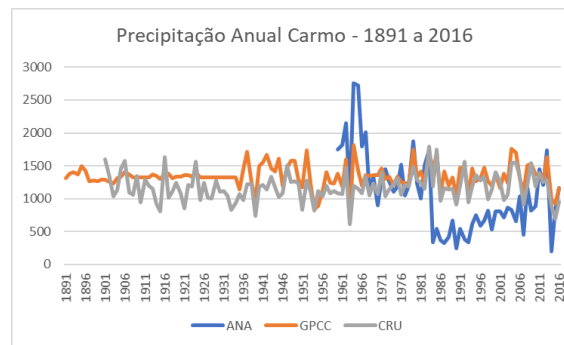
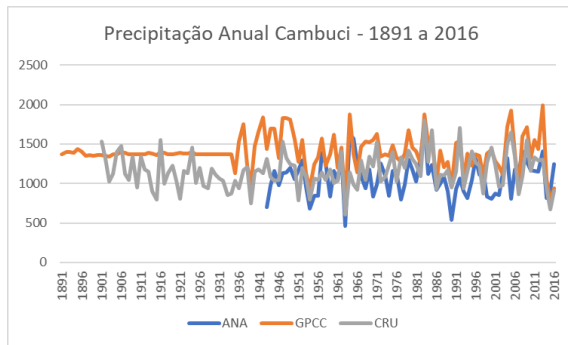
Os resultados deste trabalho demonstram cenários alarmantes devido as projeções de níveis mais baixos de chuva nas estações do outono, inverno e primavera, o que poderia causar sobrecarga nos reservatórios e, conseqüentemente, ocorrer o aumento da demanda hídrica, principalmente para

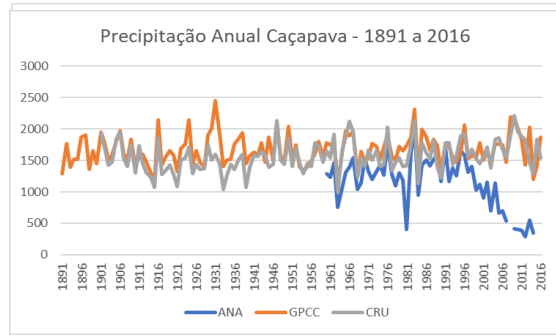
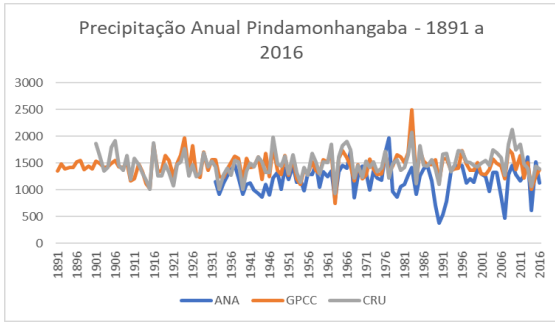
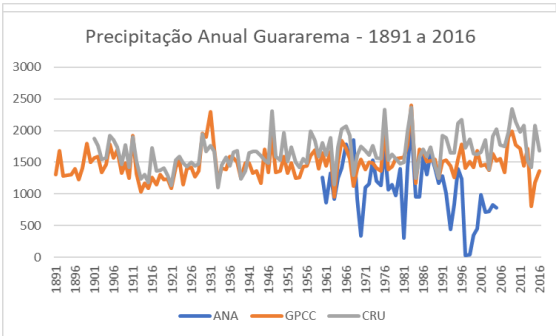
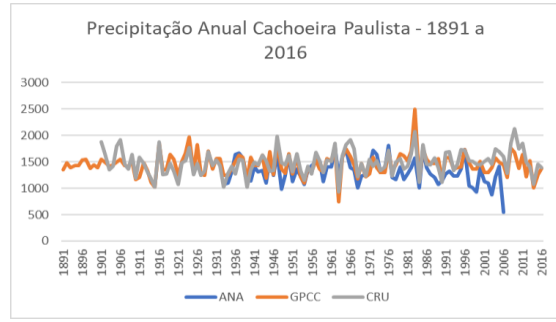
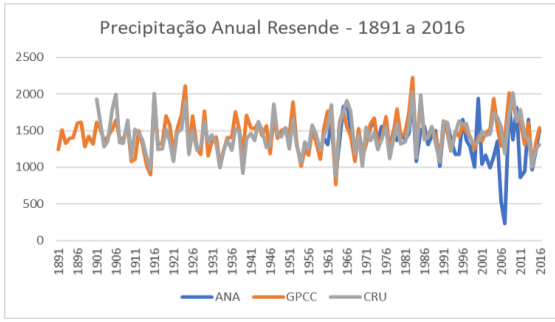
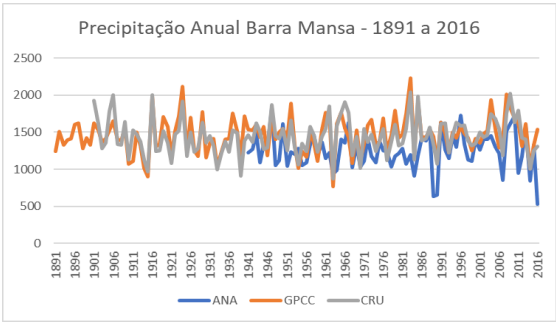
a agricultura e indústrias que estão entre os maiores consumidores. Para o verão, a projeção é que ocorra um aumento no índice de pluviosidade, portanto, deve-se planejar medidas visando a gestão correta dos recursos da bacia, com o intuito de suprir as necessidades ao longo das estações mais críticas e com extremos climáticos mais acentuados. Já para a temperatura, nota-se que um aumento de 1 a 5°C para a bacia pode gerar diversos problemas, uma vez que este aumento poderia acarretar em crises hídricas que afetariam grande parte da região em que a bacia está inserida, e principalmente o eixo São Paulo - Rio de Janeiro, que abriga uma das regiões mais populosas do Brasil.

Por fim, busca-se alertar sobre a importância de estudos sobre eventos climáticos extremos e projeções do clima visando o uso sustentável dos recursos naturais, tanto na bacia do rio Paraíba do Sul quanto na escala global.

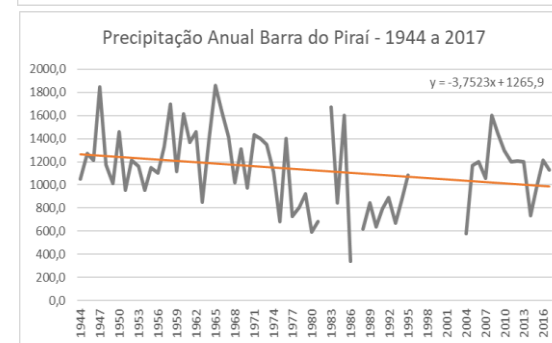
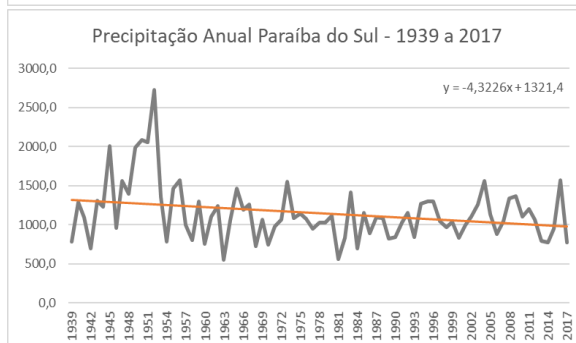
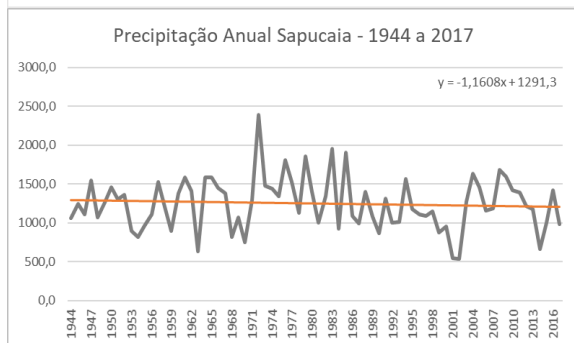
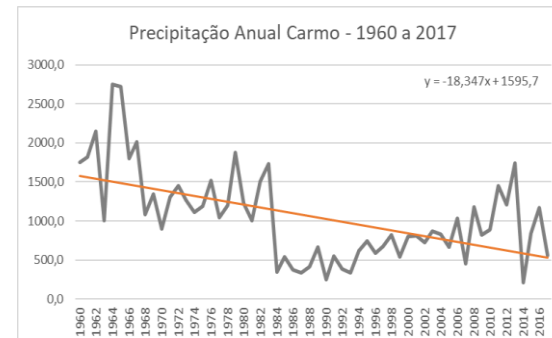
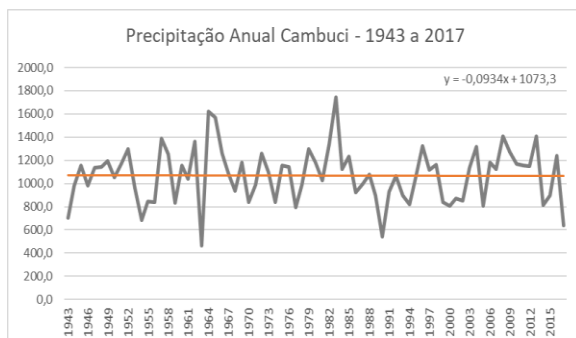
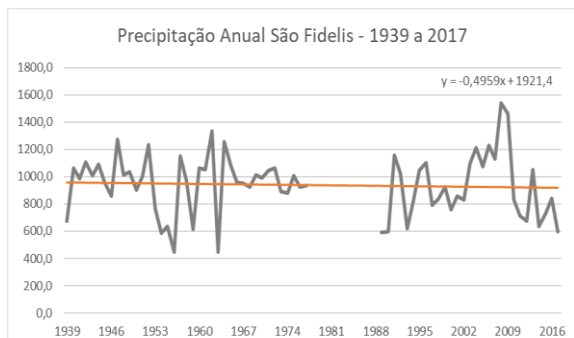
## APÊNDICES

### APÊNDICE A – Dados ANA + GPCC + CRU: precipitação anual média para as estações pluviométricas

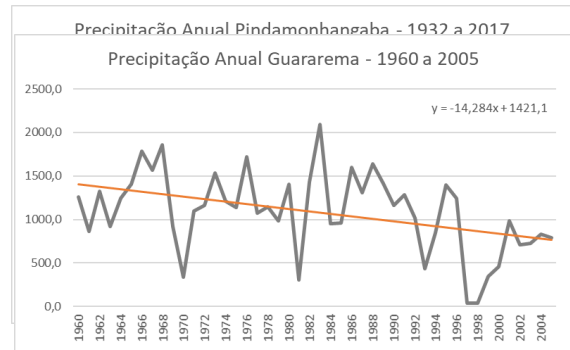
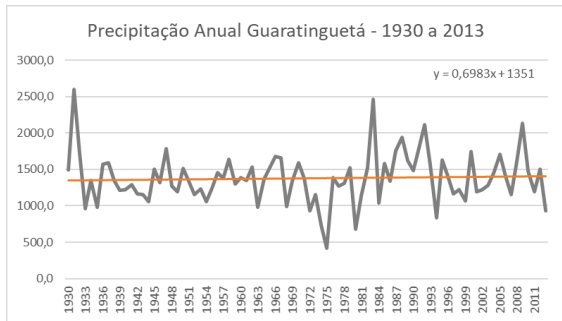
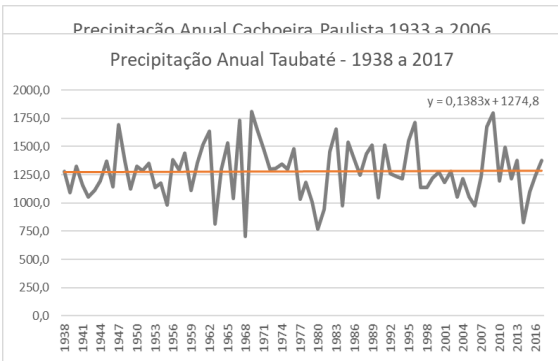
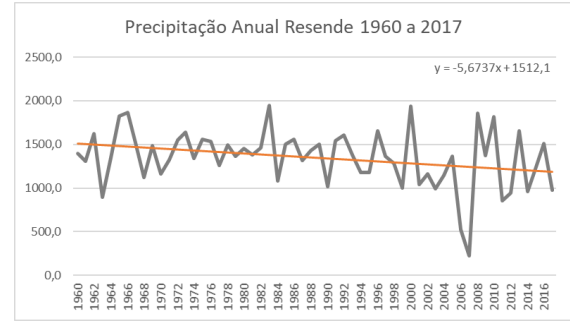
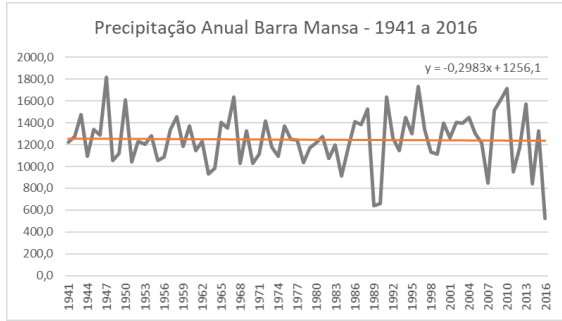
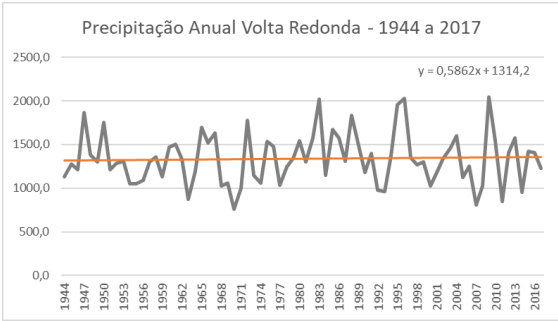




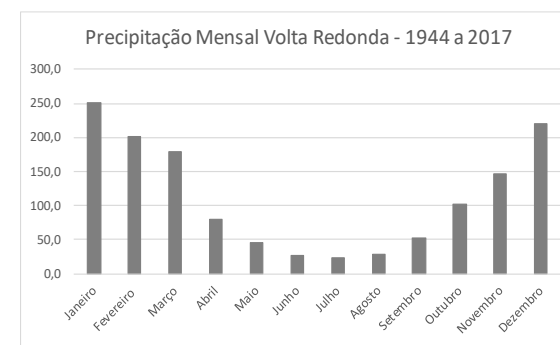
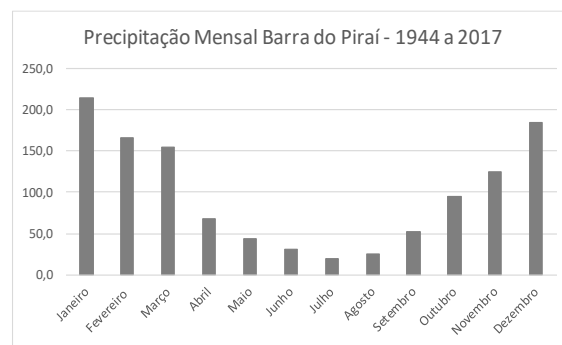
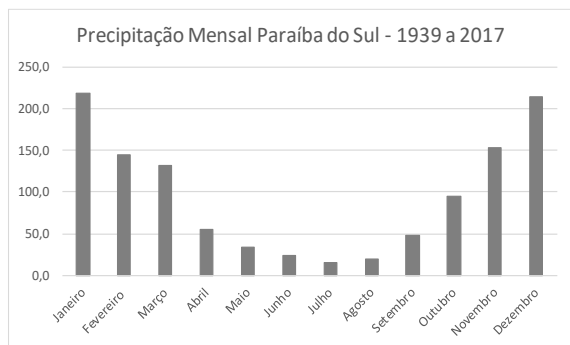
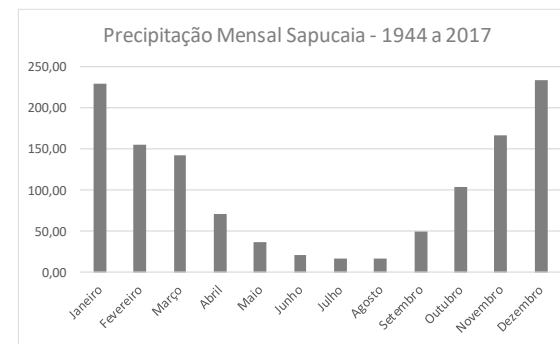
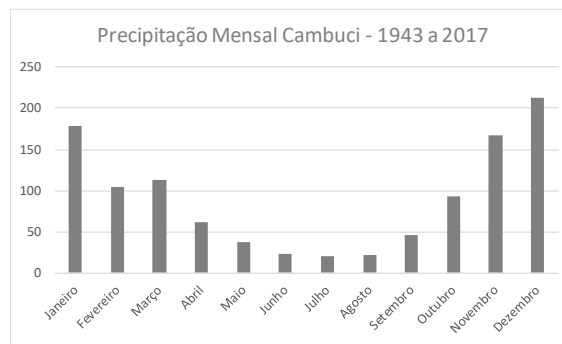
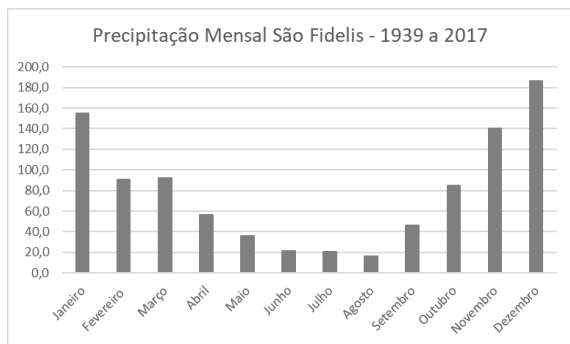
## APÊNDICE B – Precipitação anual média para as estações pluviométricas

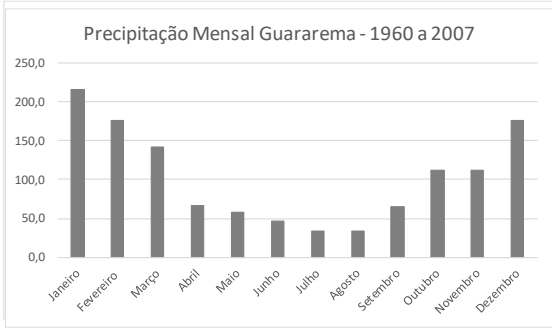
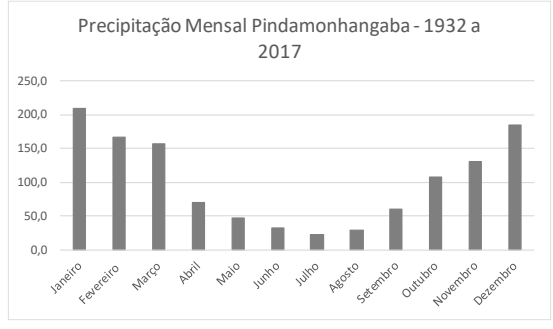
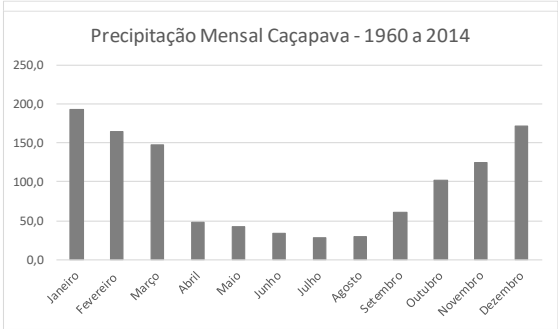
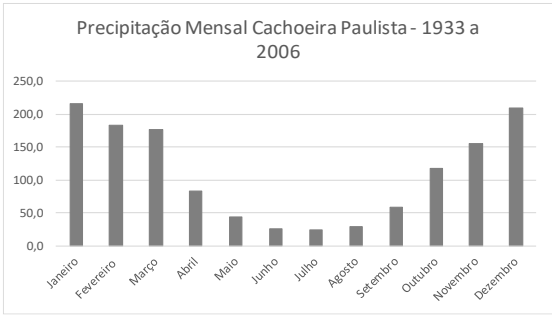
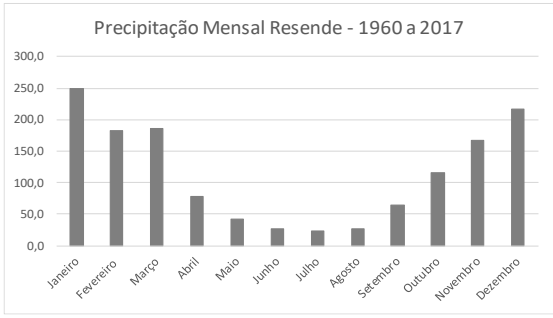
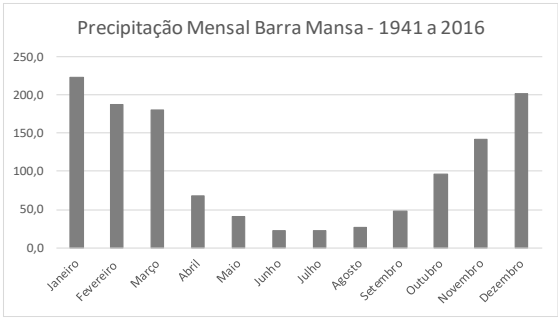




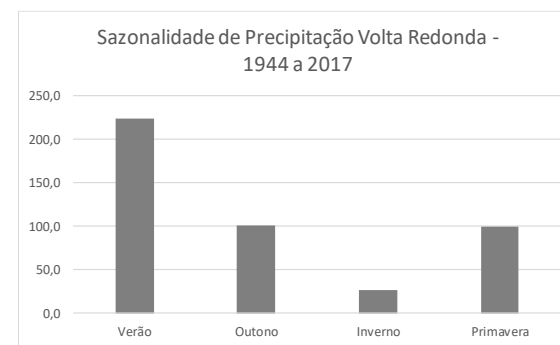
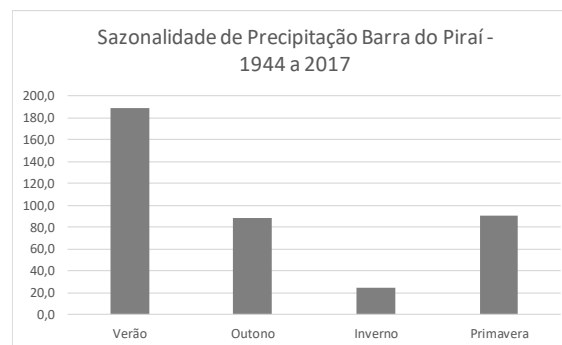
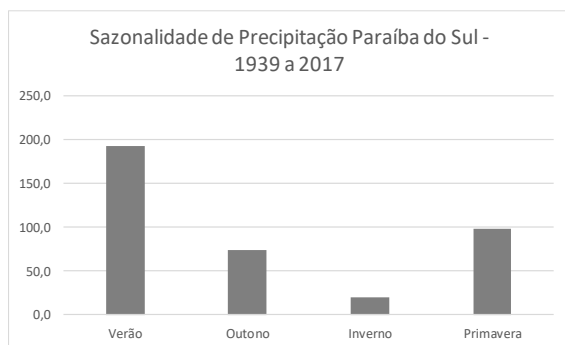
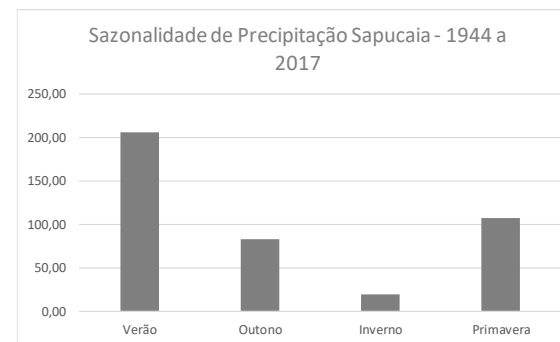
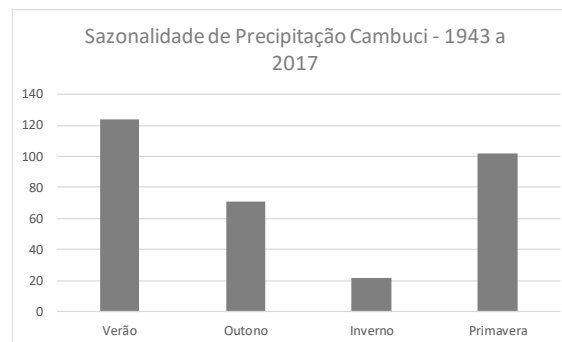
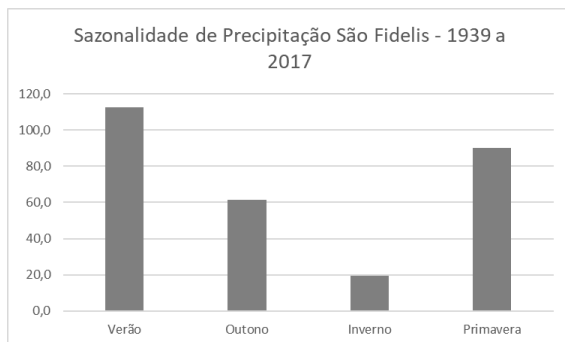


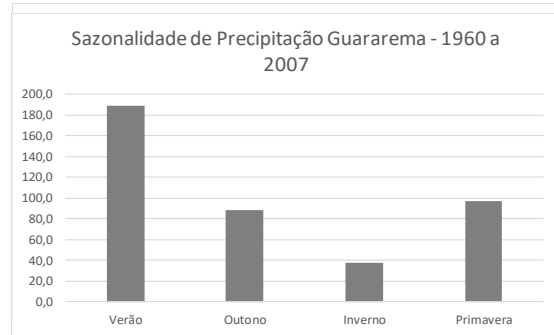
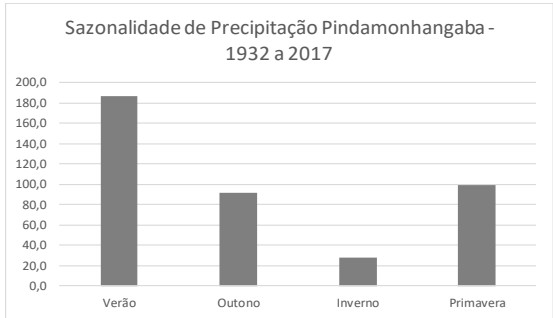
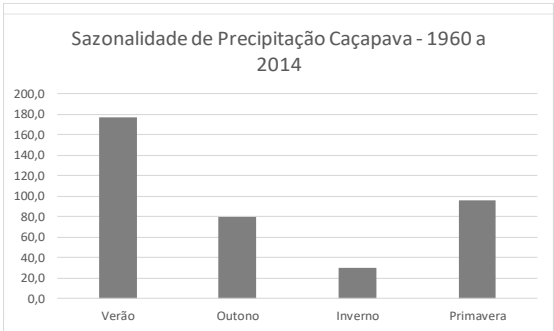
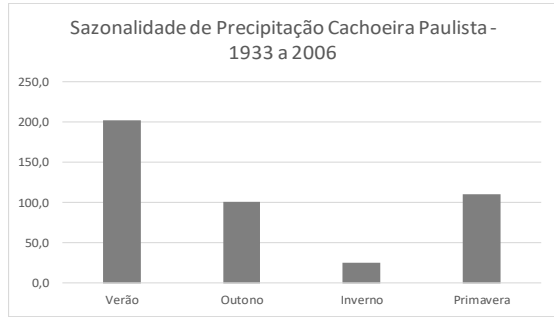
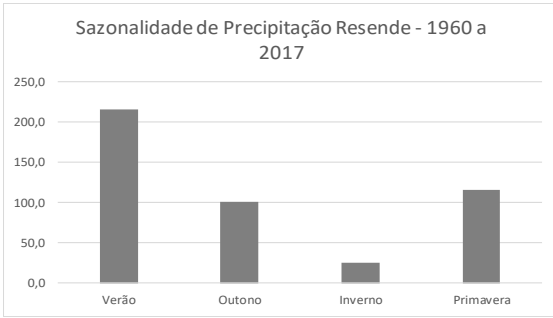
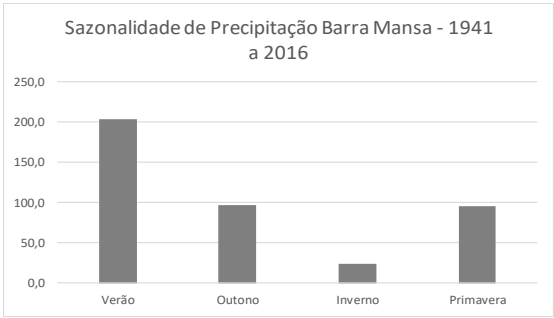
## APÊNDICE C – Precipitação média mensal para as estações pluviométricas



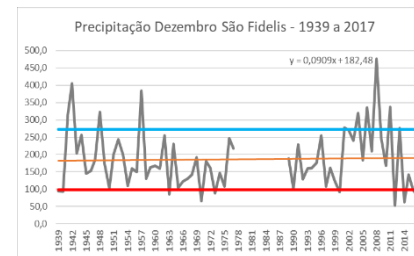
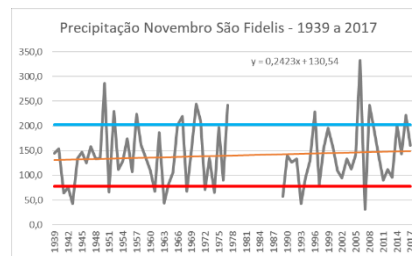
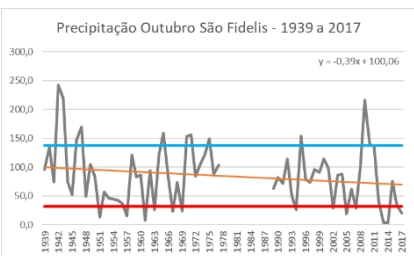
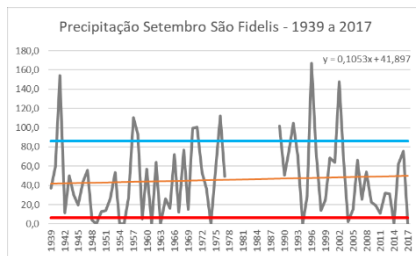
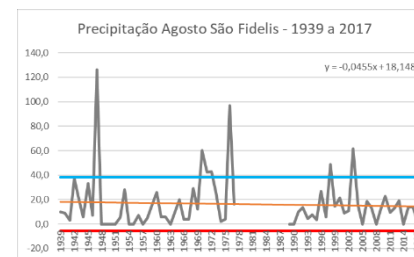
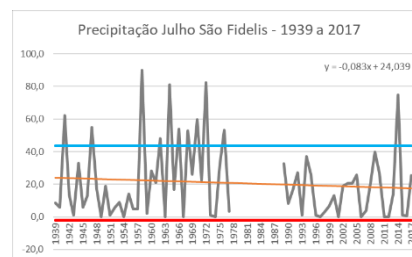
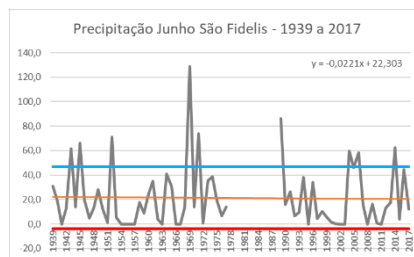
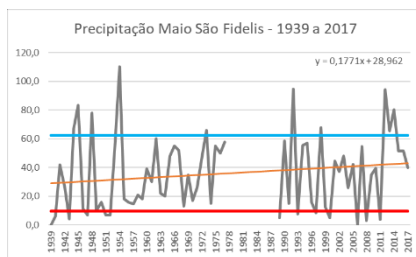
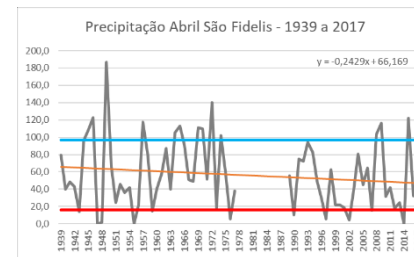
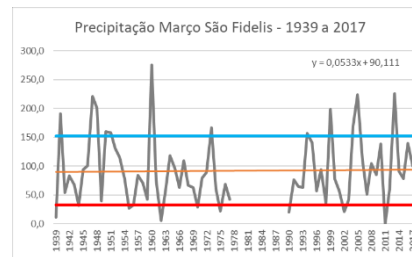
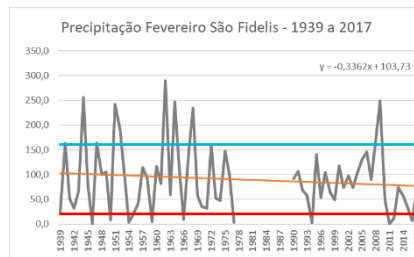
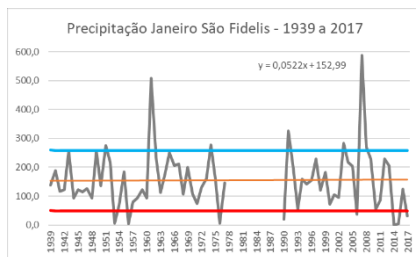


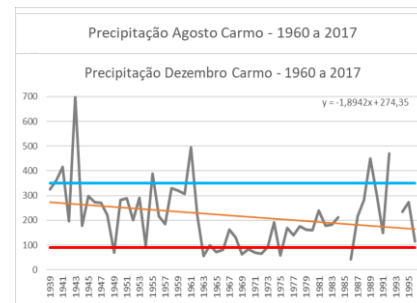
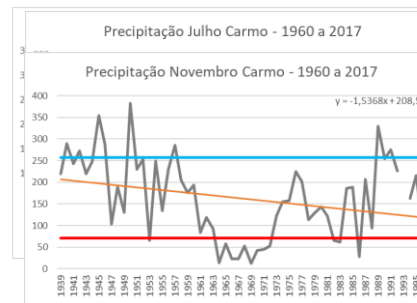
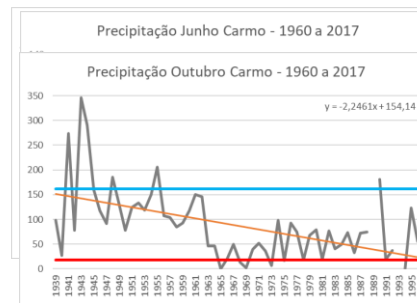
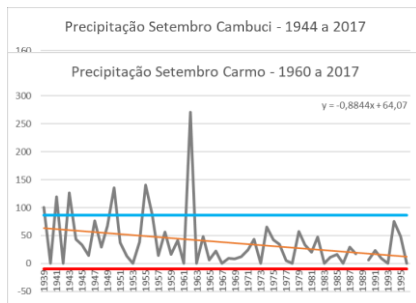
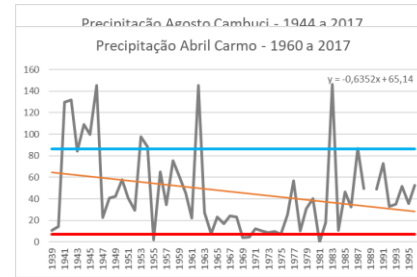
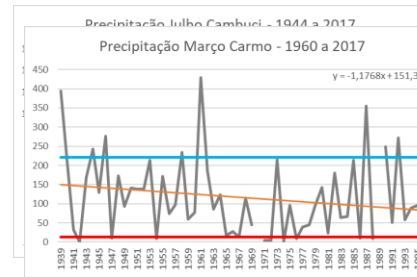
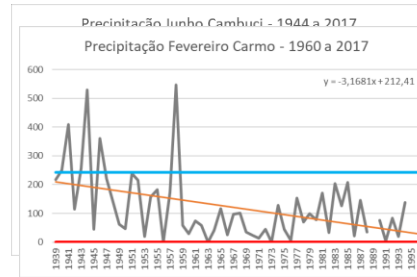
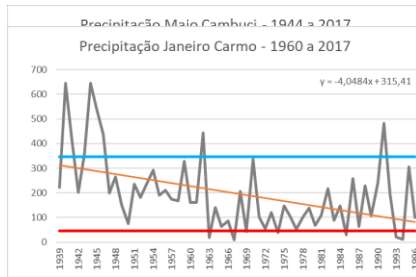
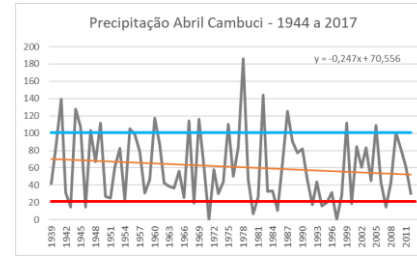
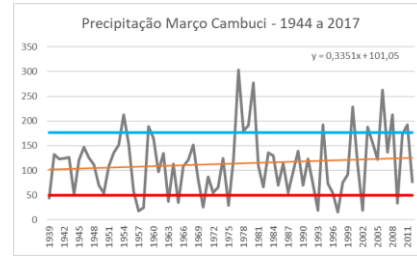
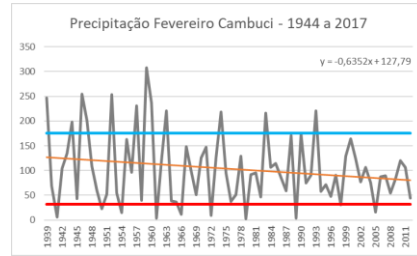
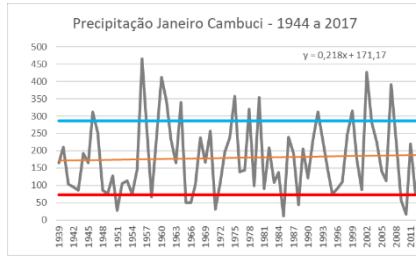
## APÊNDICE D – Sazonalidade de precipitação para as estações pluviométricas

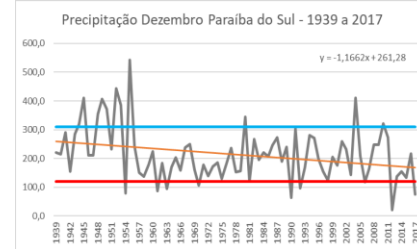
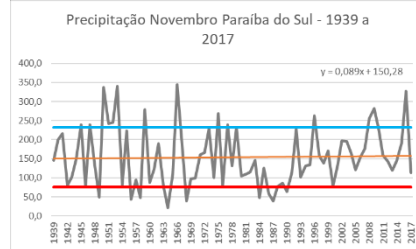
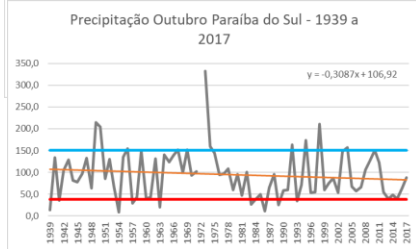
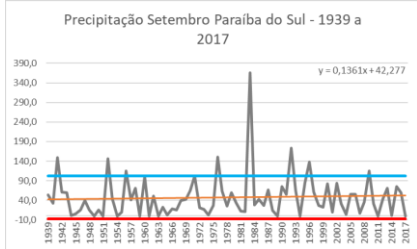
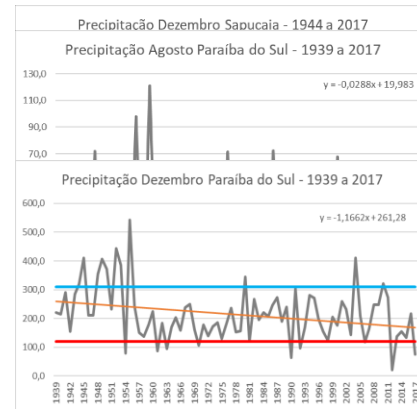
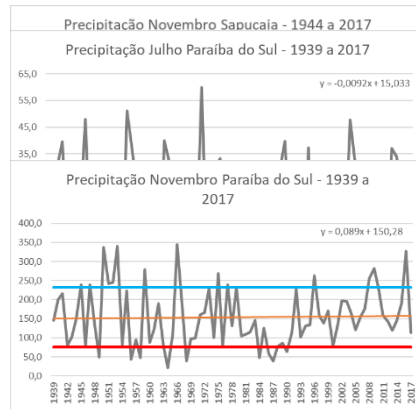
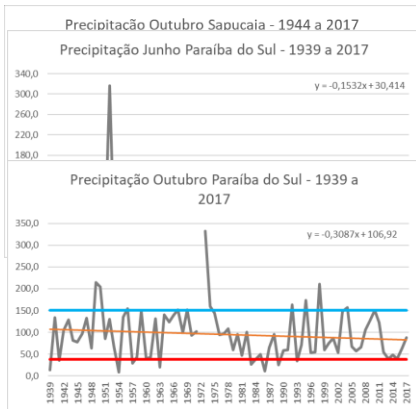
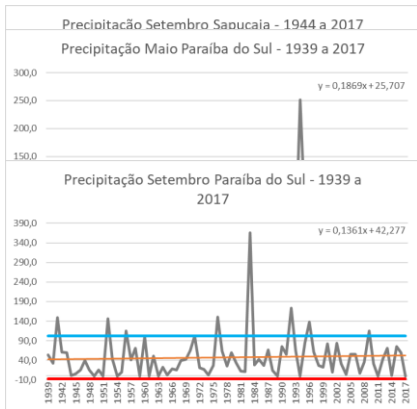
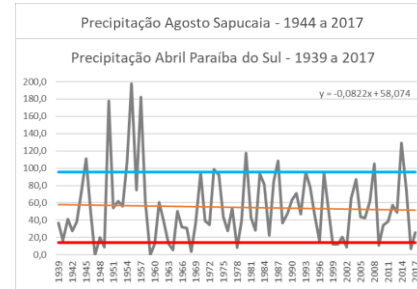
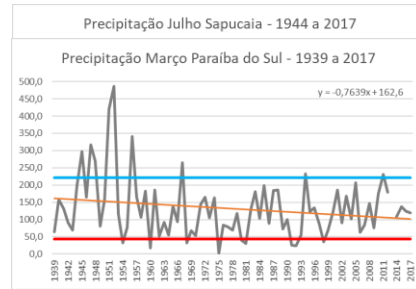
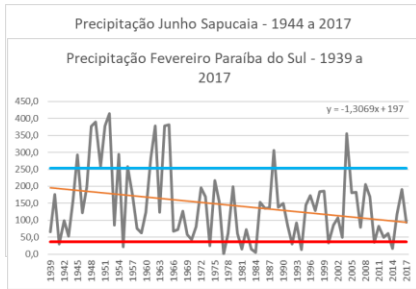
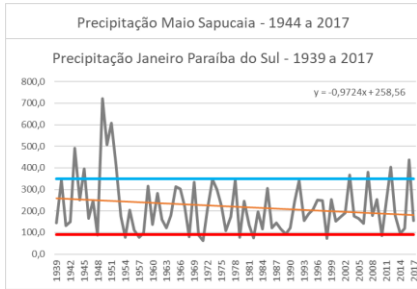
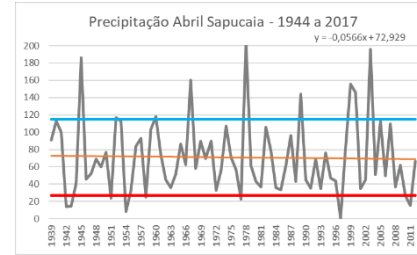
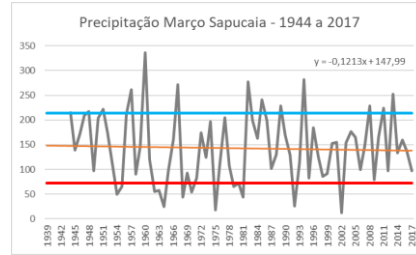
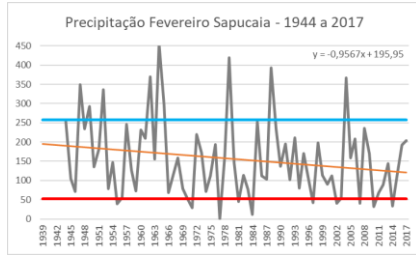
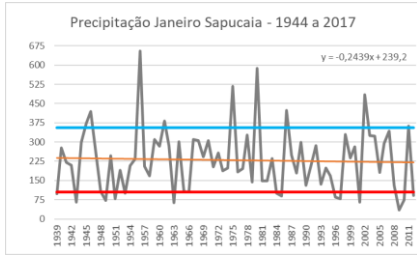




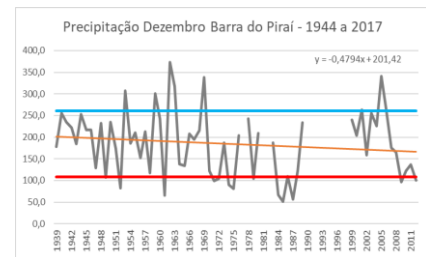
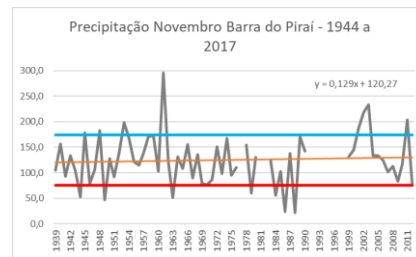
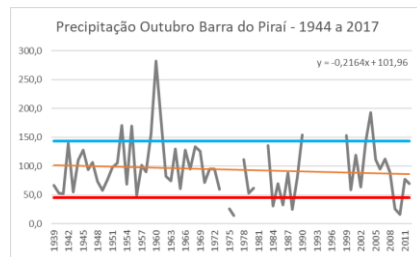
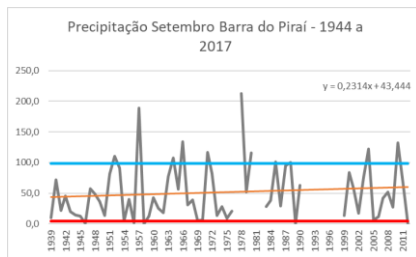
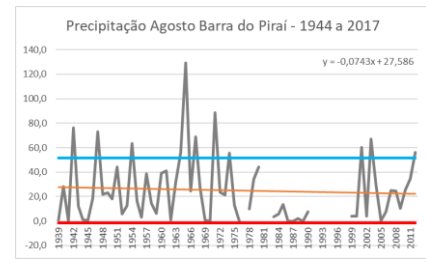
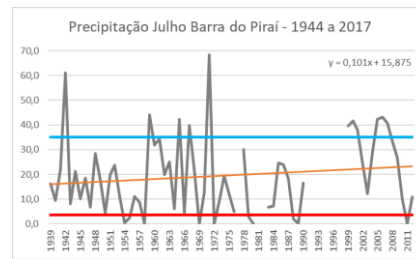
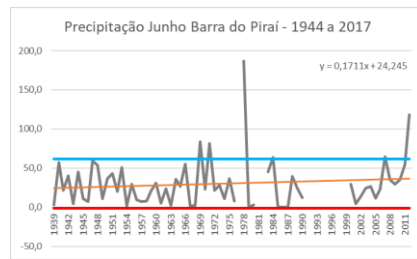
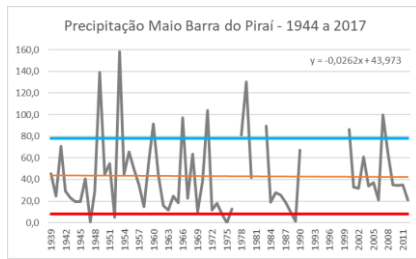
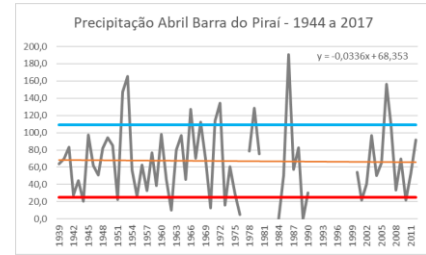
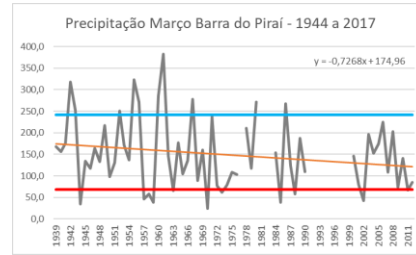
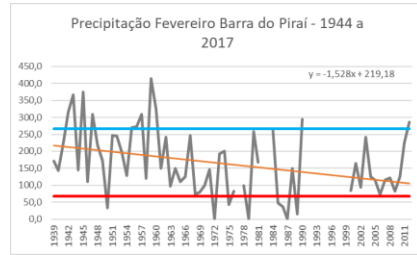
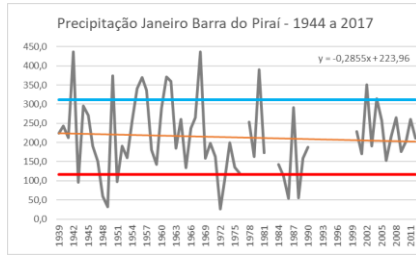
## APÊNDICE E – Precipitação média mensal e linha de tendência para as estações pluviométricas

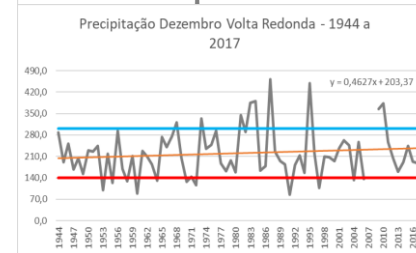
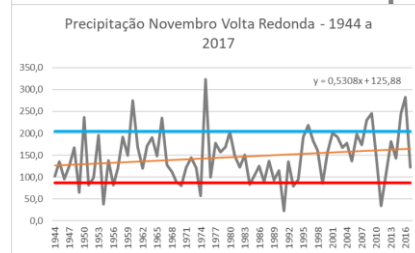
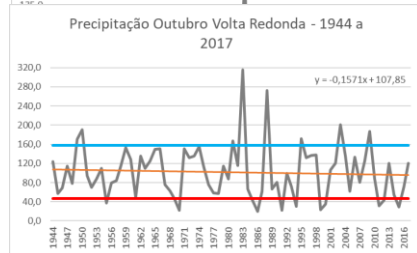
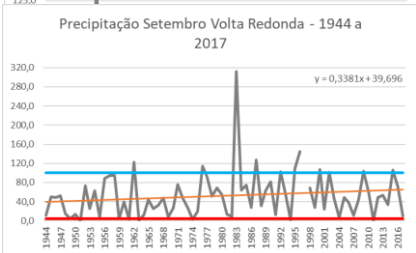
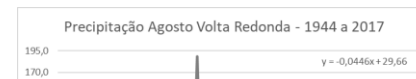
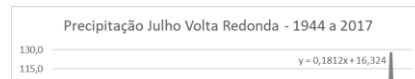
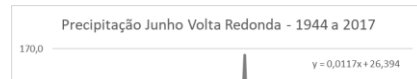
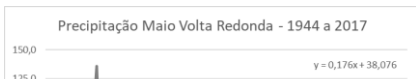
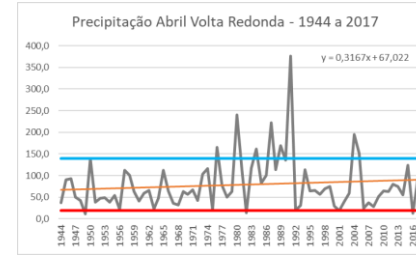
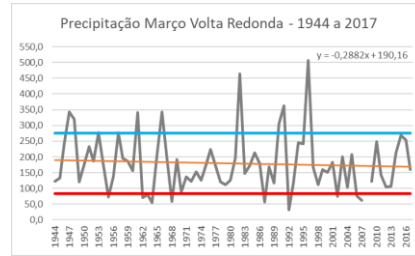
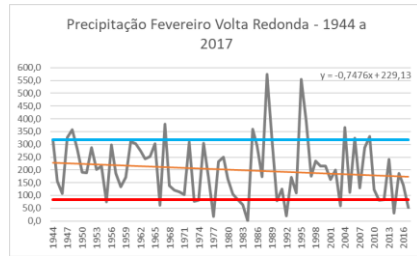
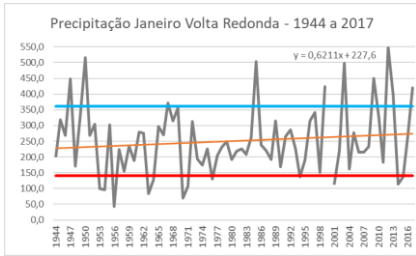


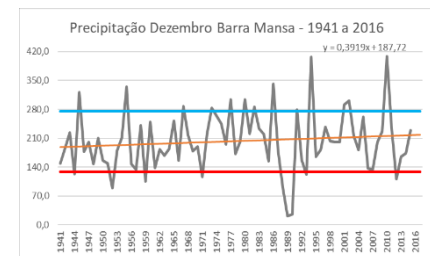
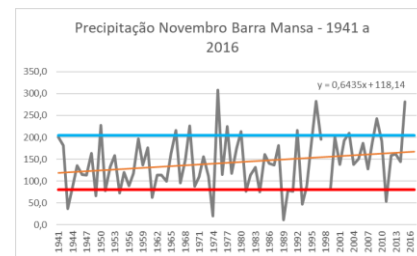
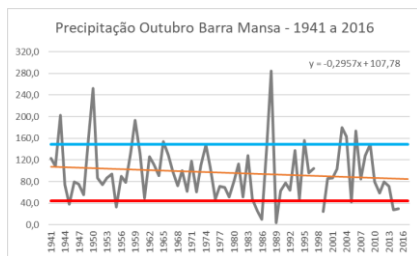
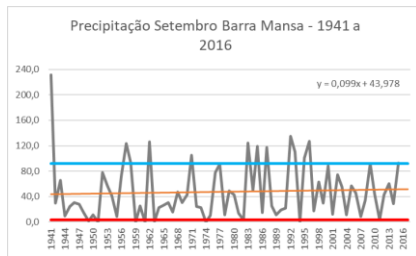
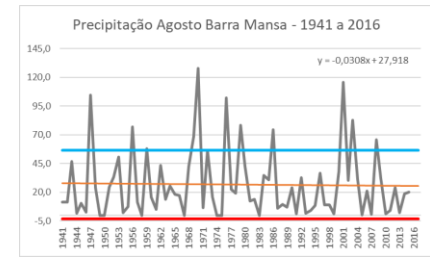
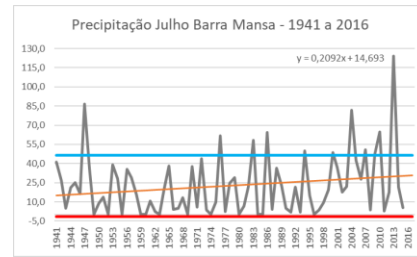
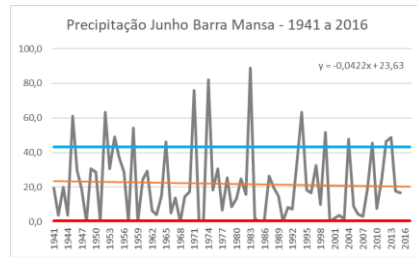
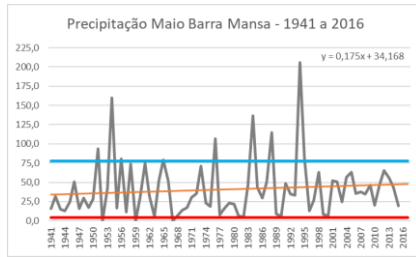
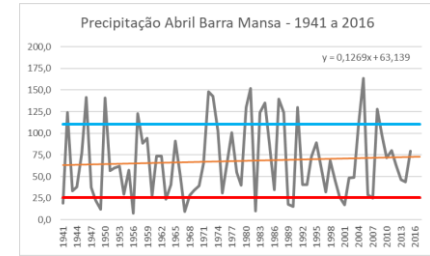
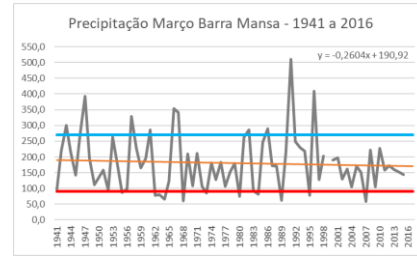
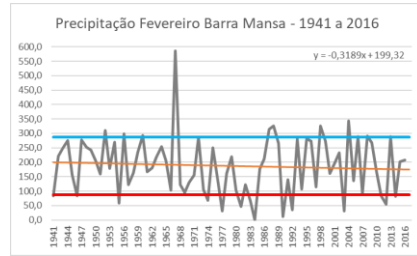
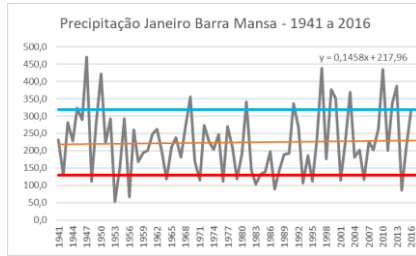


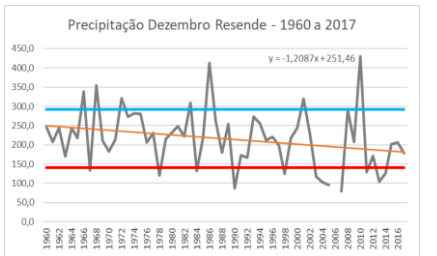
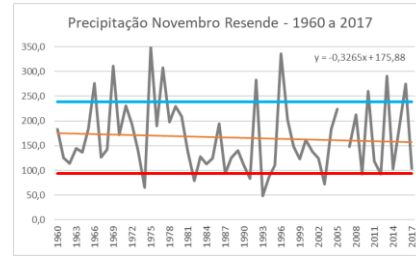
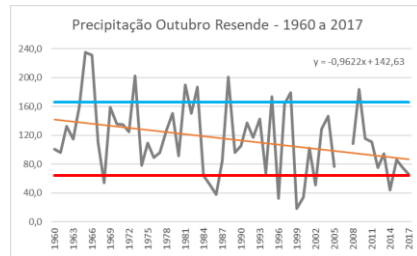
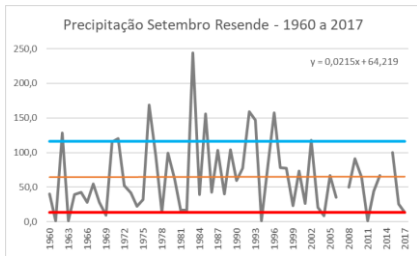
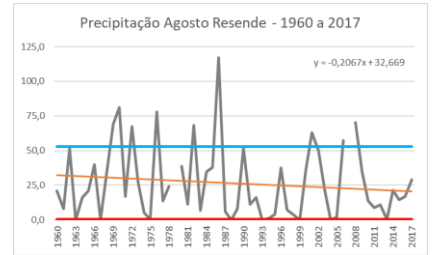
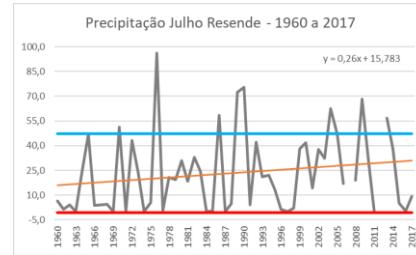
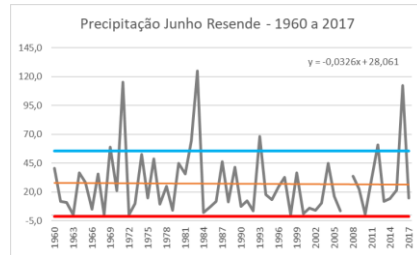
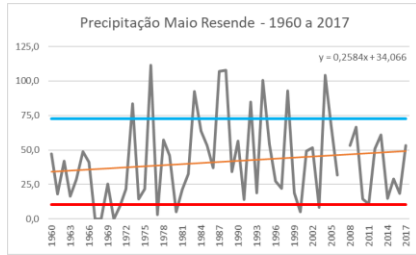
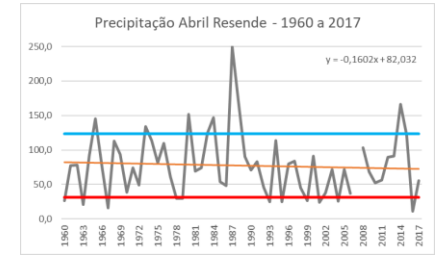
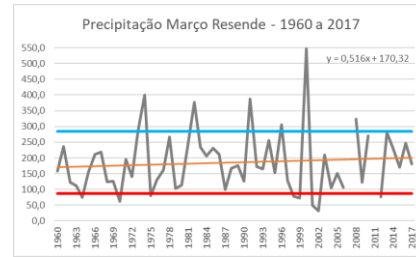
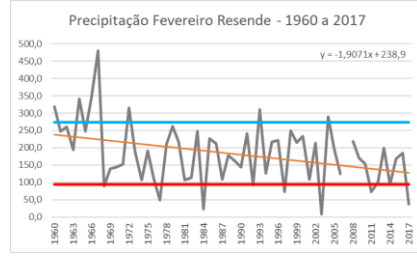
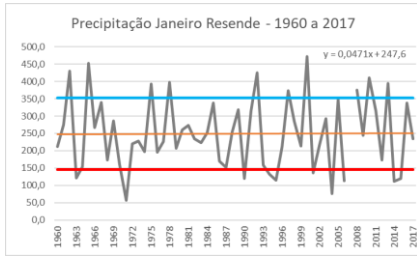


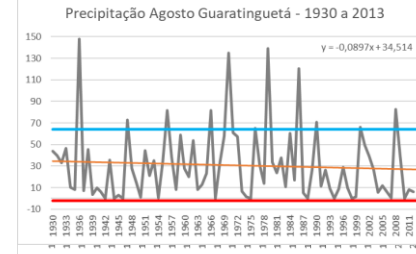
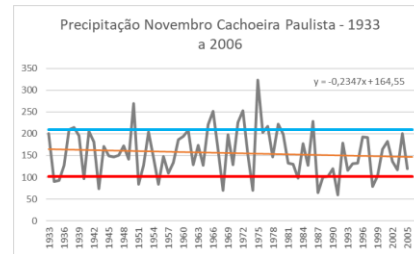
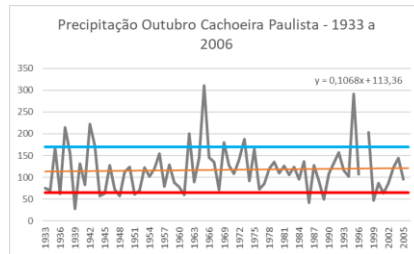
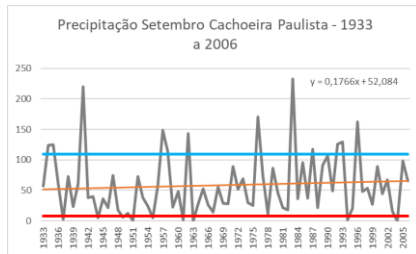
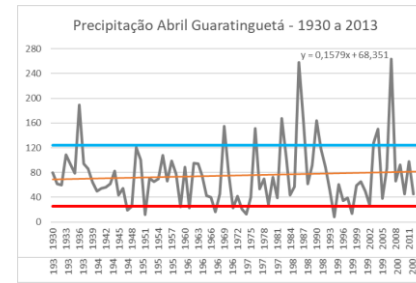
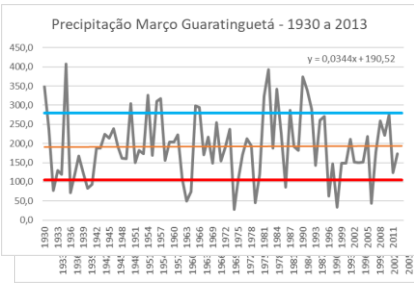
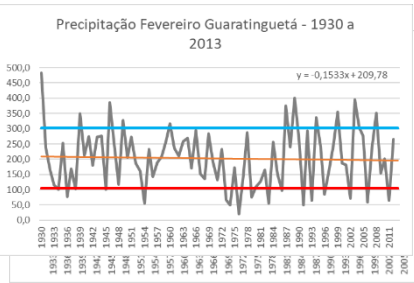
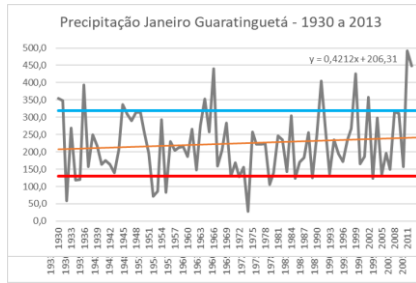
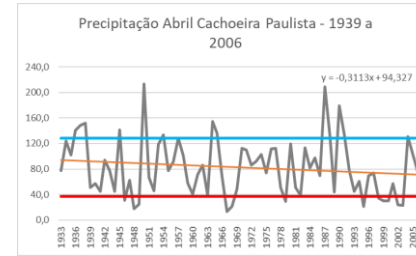
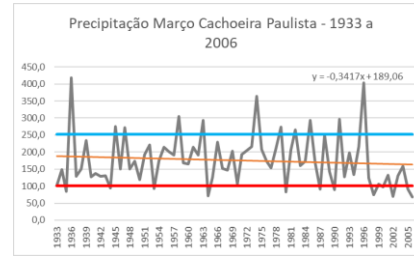
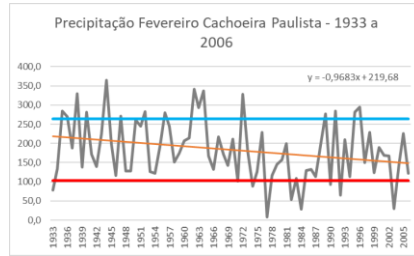
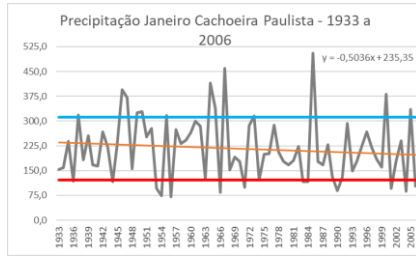


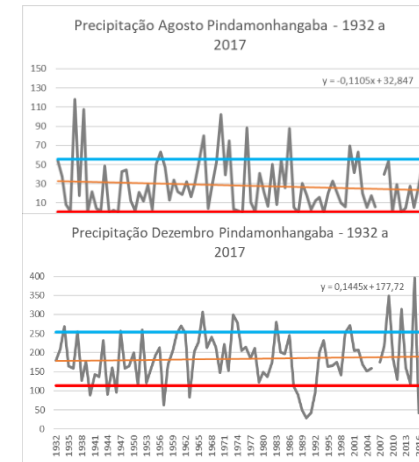
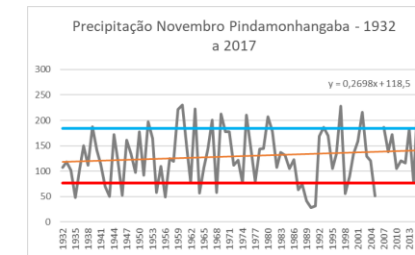
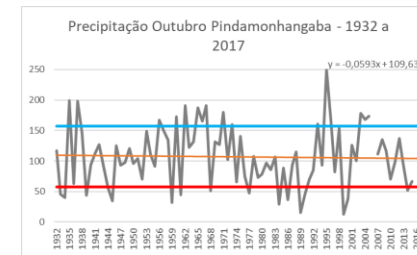
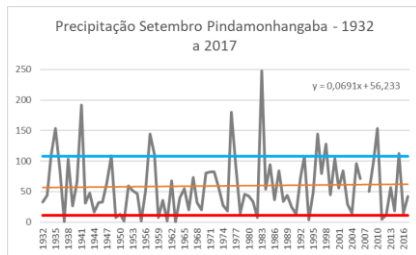
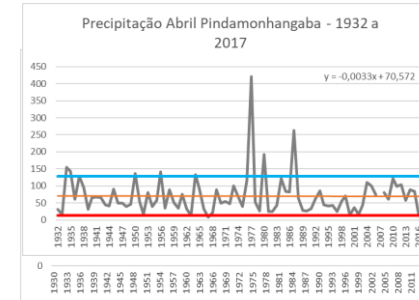
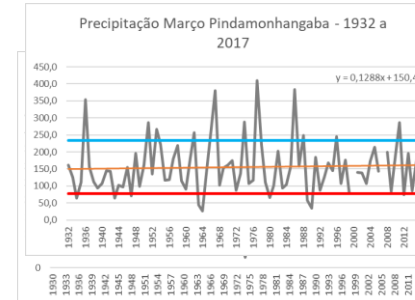
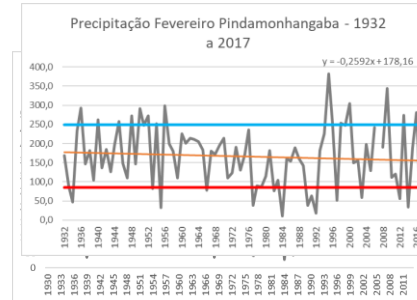
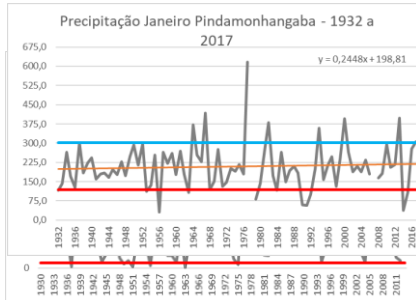
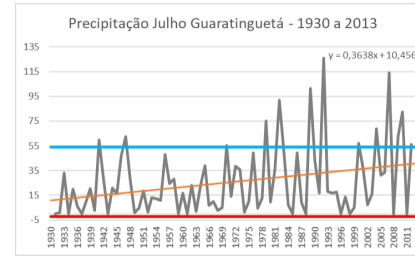
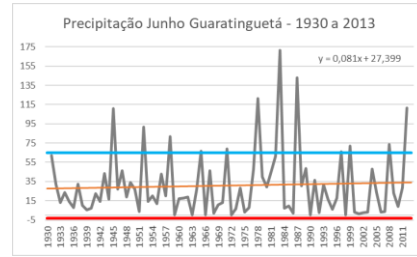
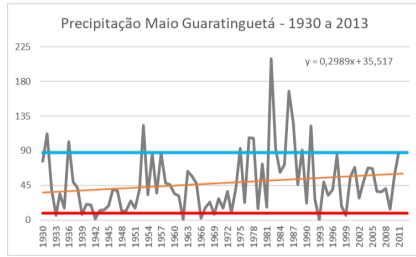


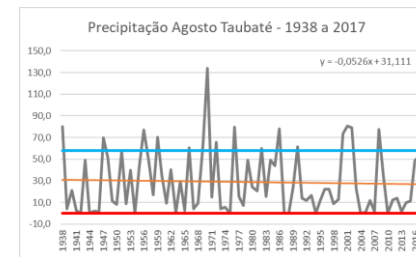
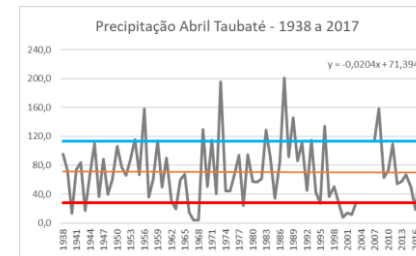
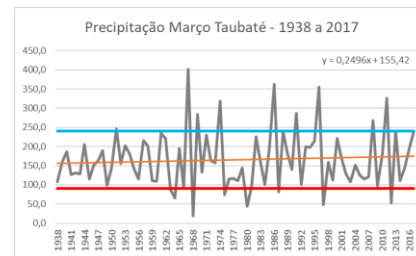
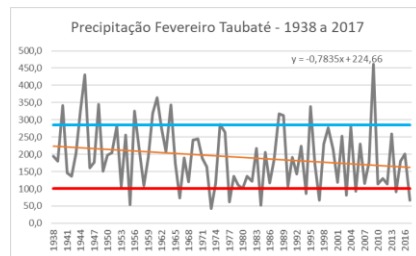
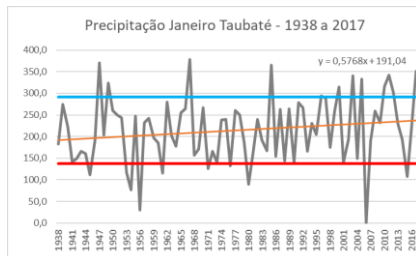
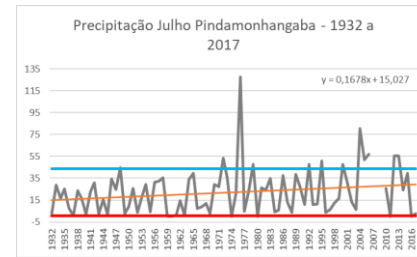
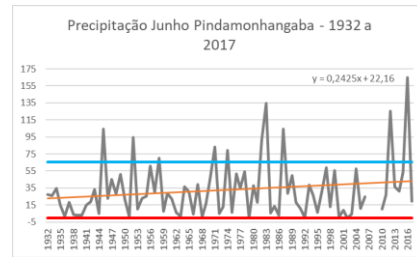
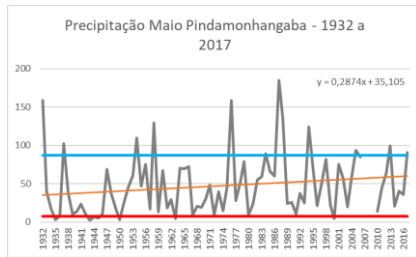


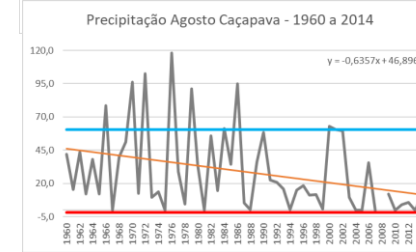
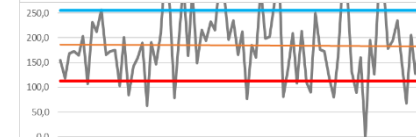
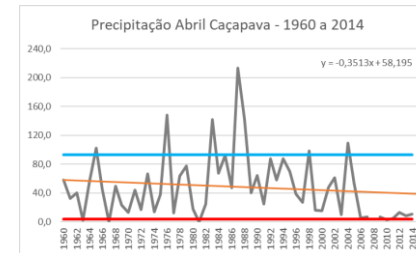
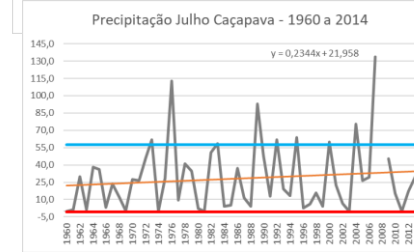
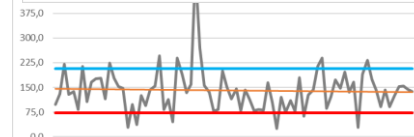
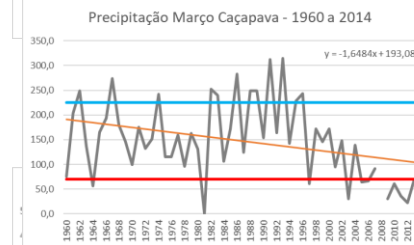
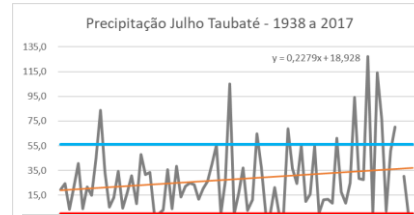
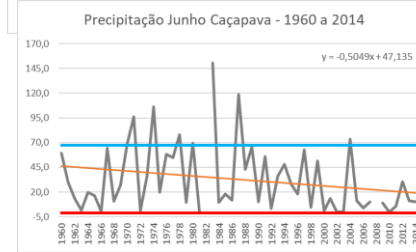
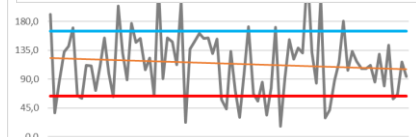
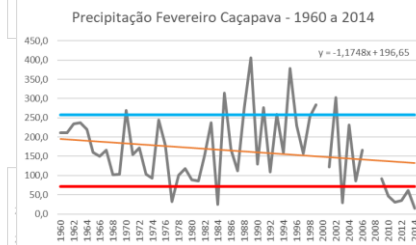
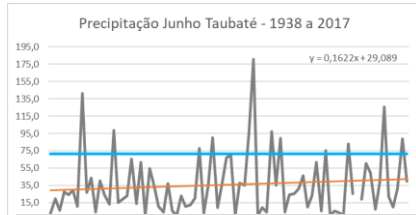
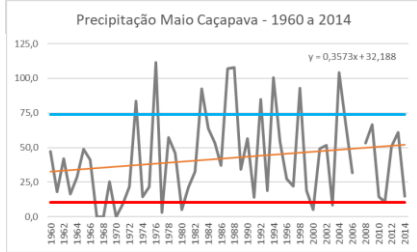
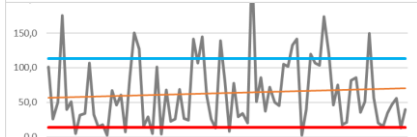
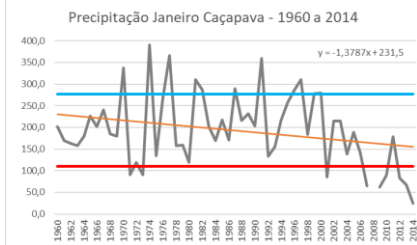
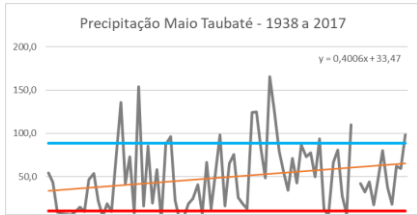




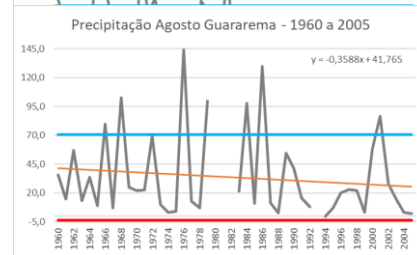
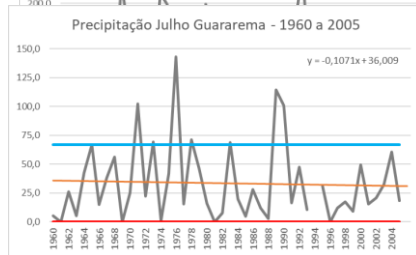
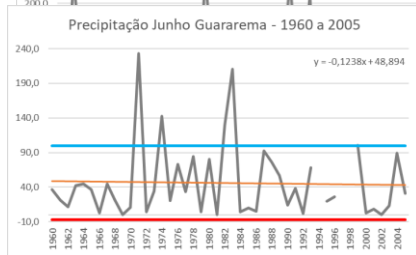
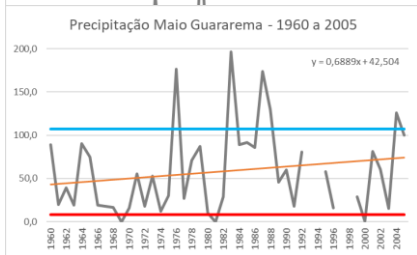
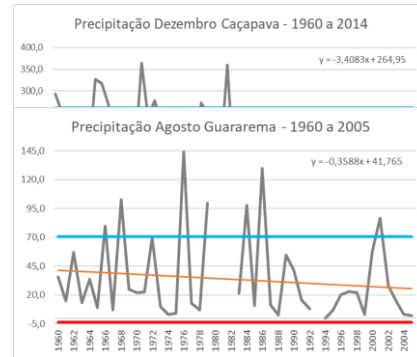
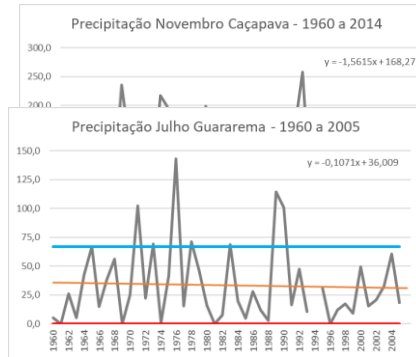
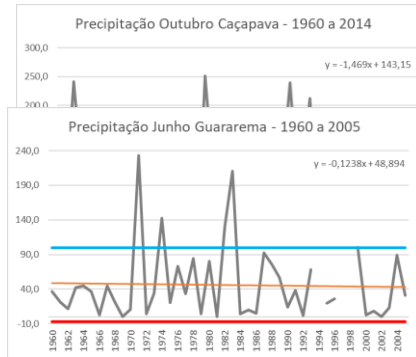
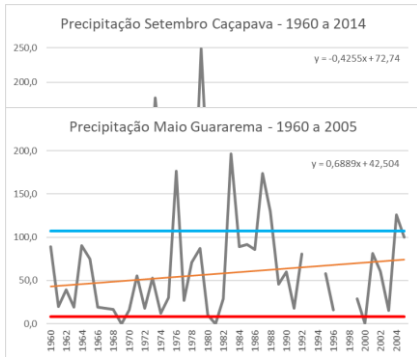
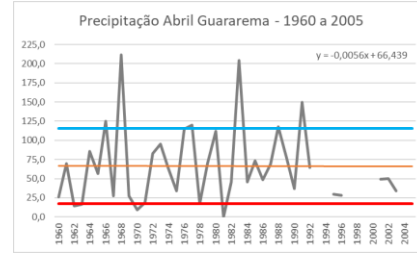
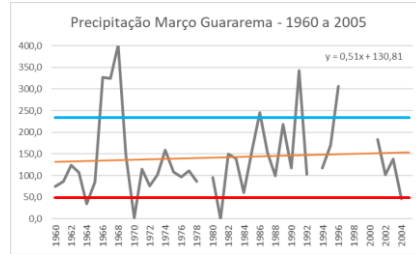
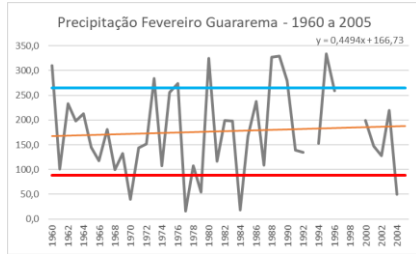
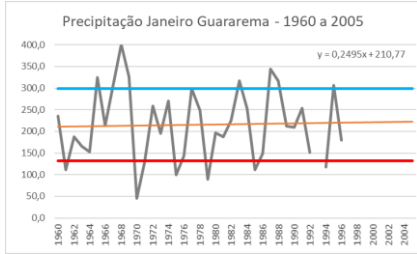




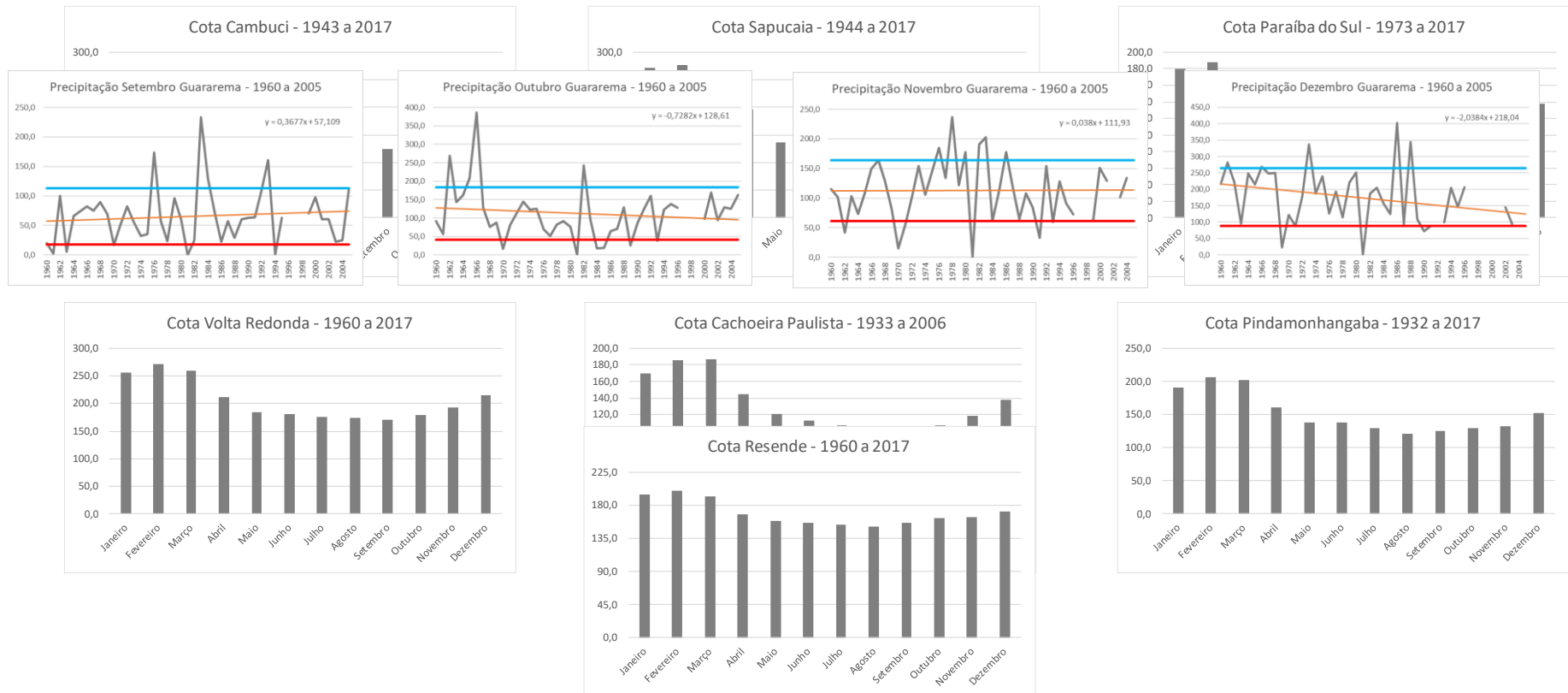




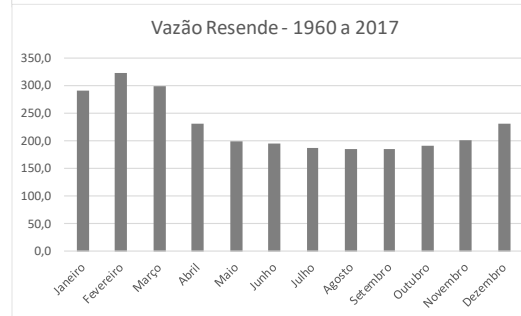
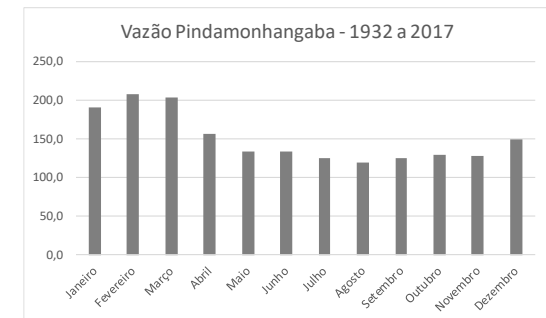
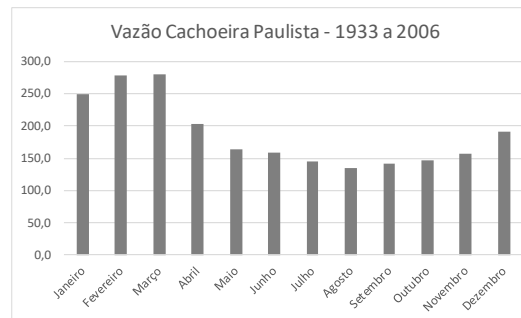
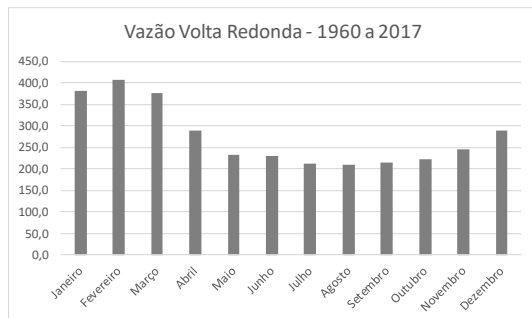
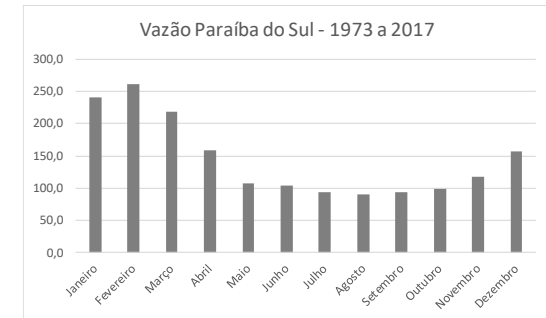
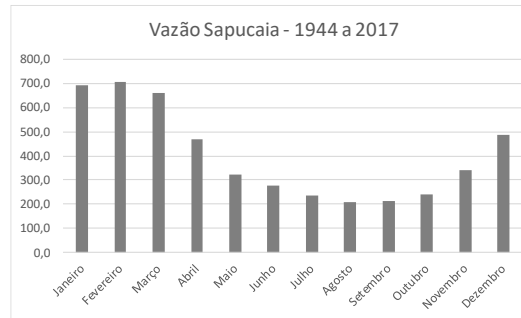
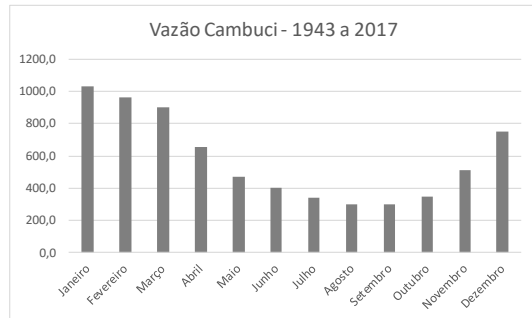




## APÊNDICE F – Cota bacia do rio Paraíba do Sul para as estações fluviométricas

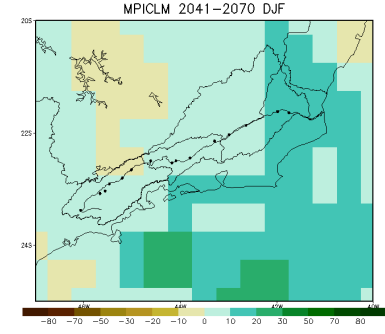
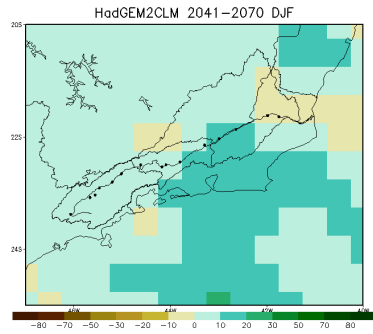
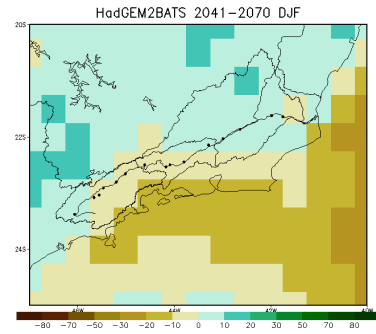
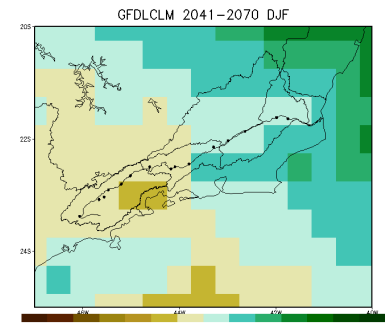
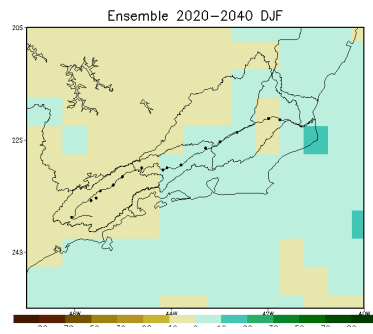
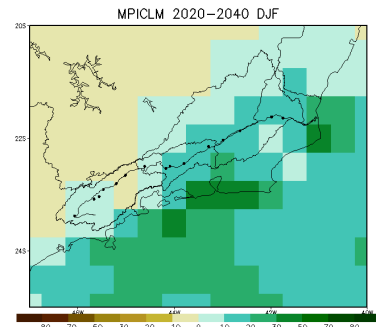
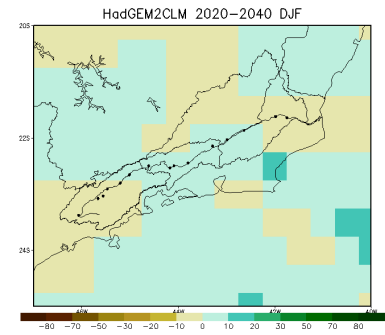
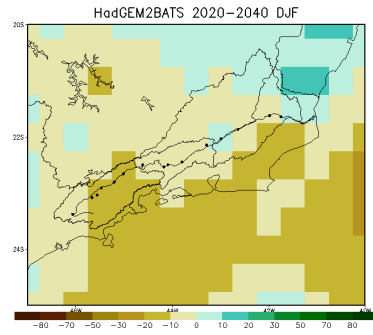
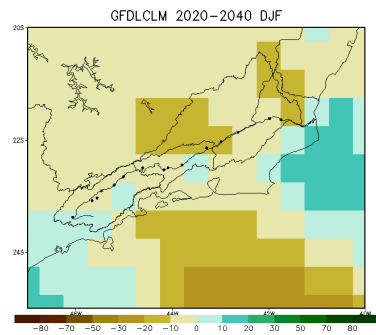


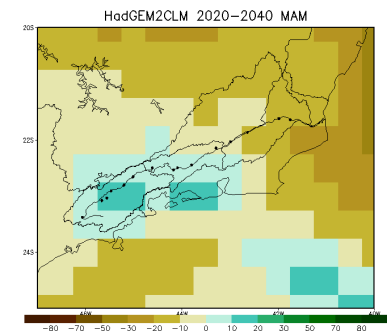
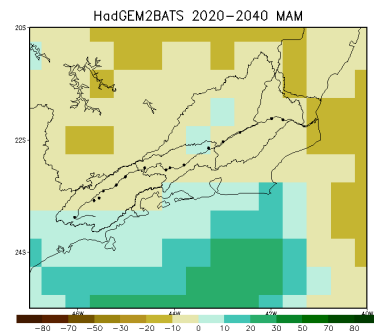
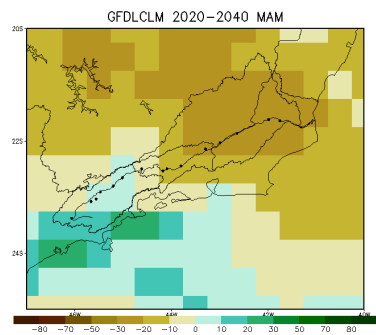
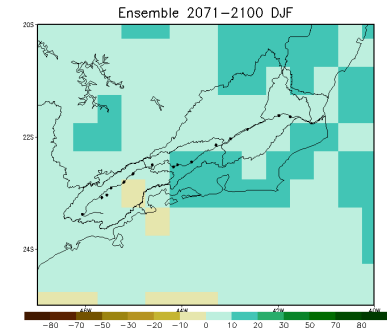
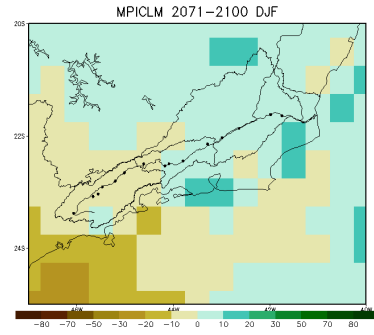
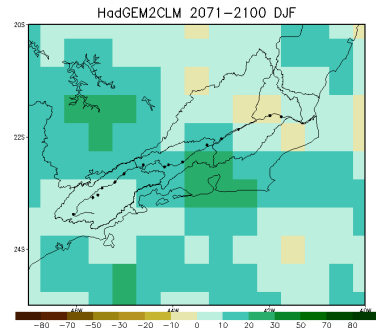
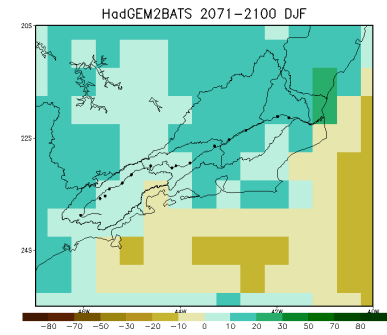
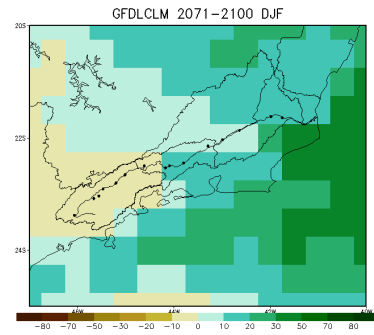
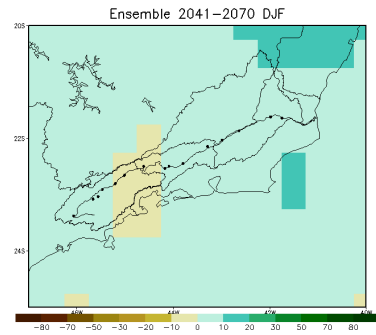
## APÊNDICE G – Vazão bacia do rio Paraíba do Sul para as estações fluviométricas

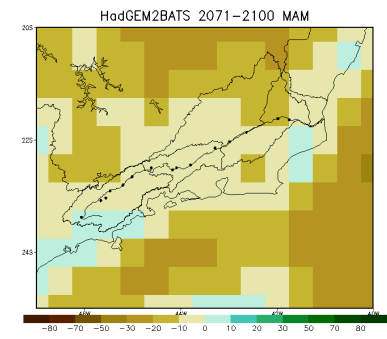
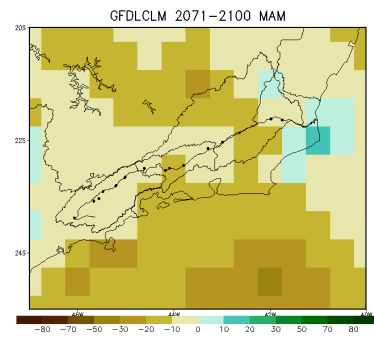
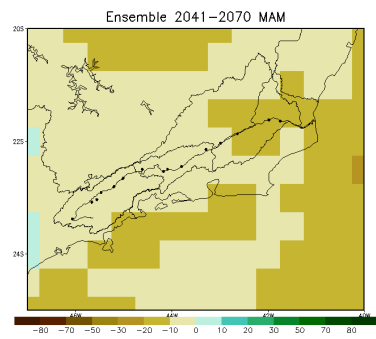
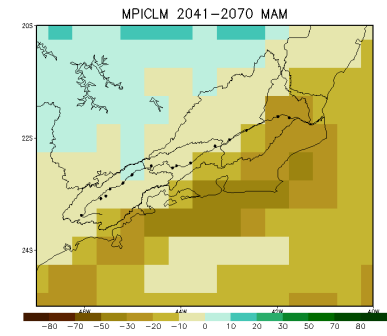
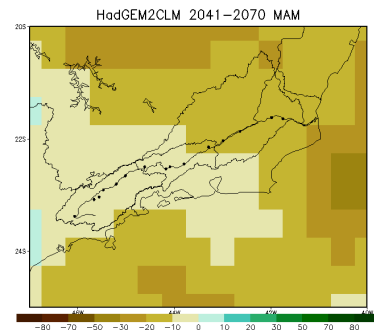
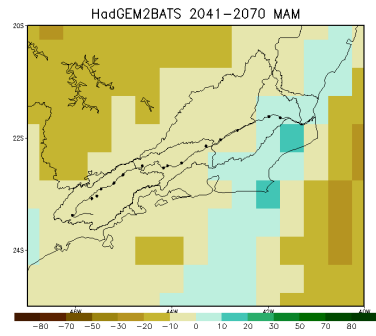
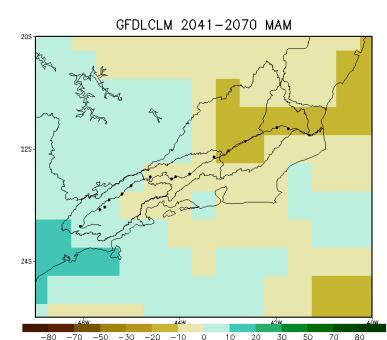
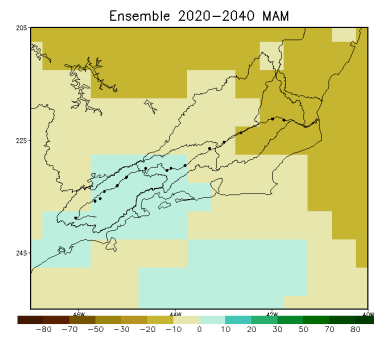
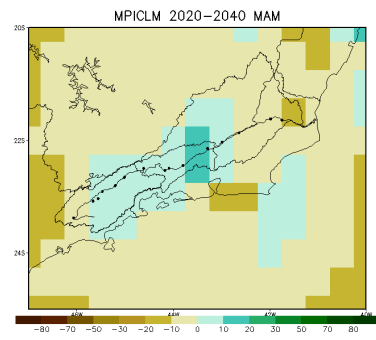


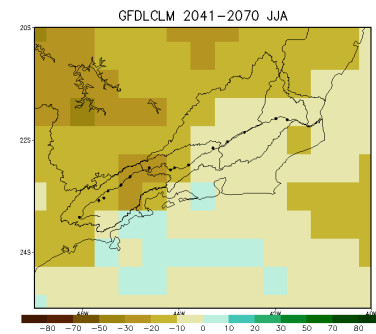
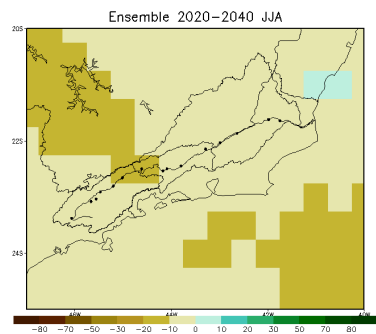
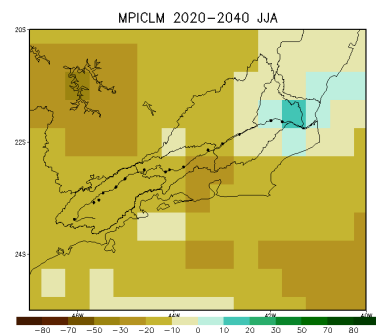
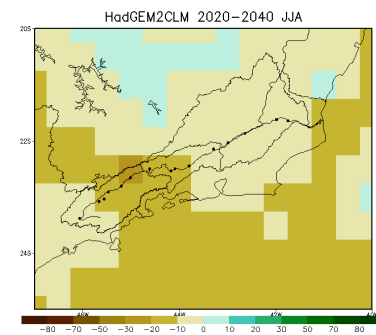
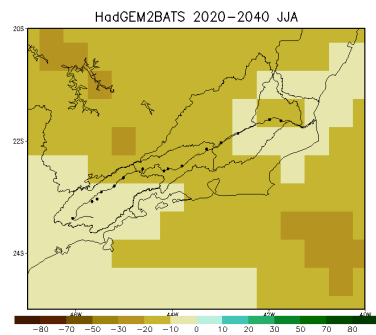
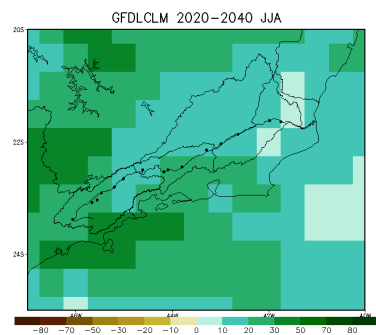
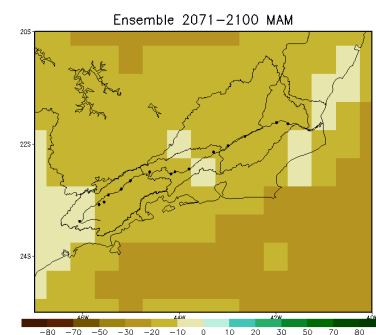
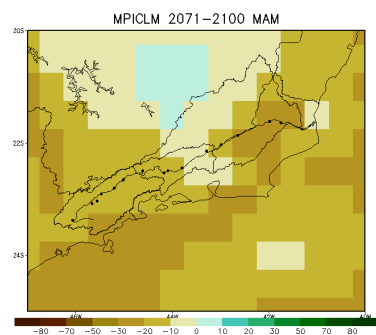
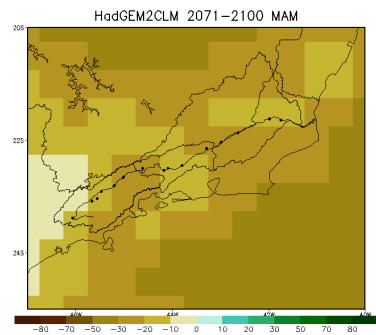
## APÊNDICE H – Clima futuro sazonal: diferentes modelos

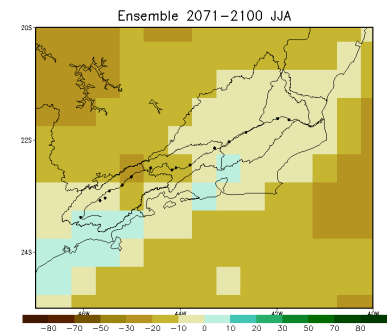
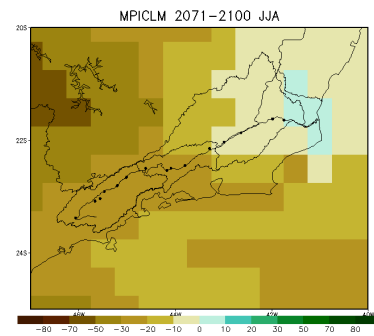
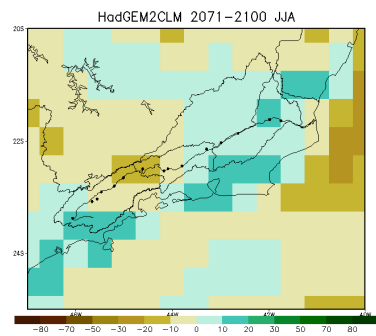
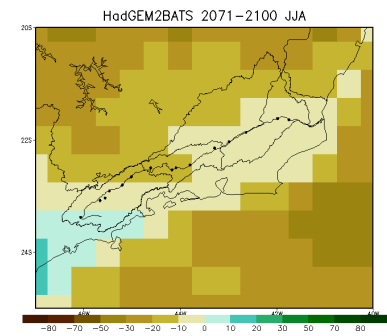
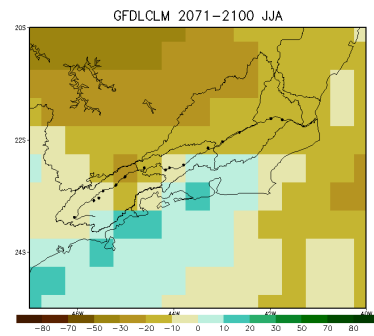
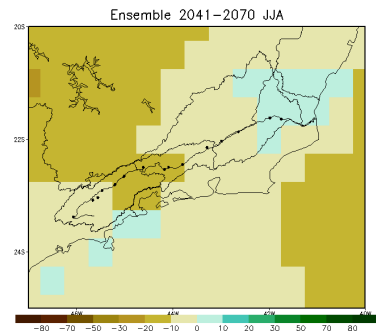
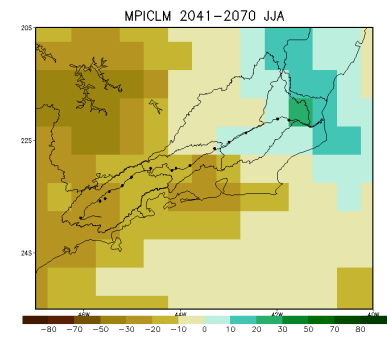
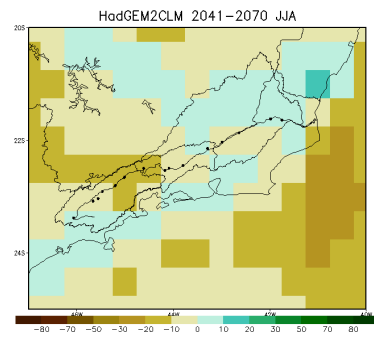
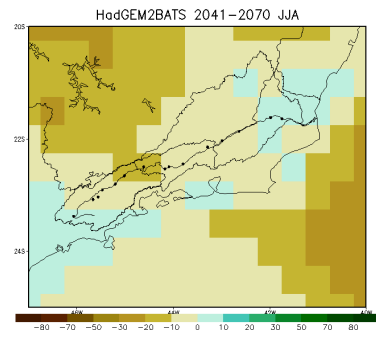
projeção de precipitação para os



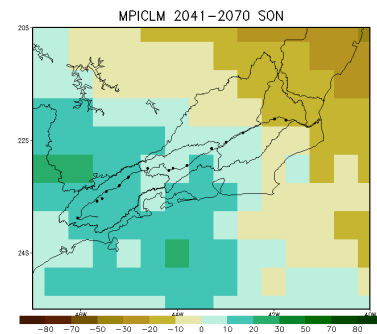
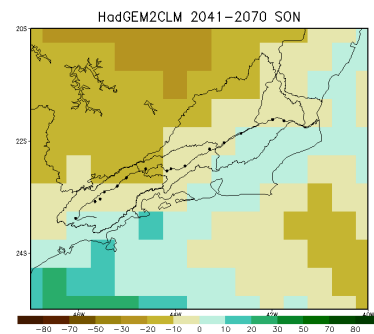
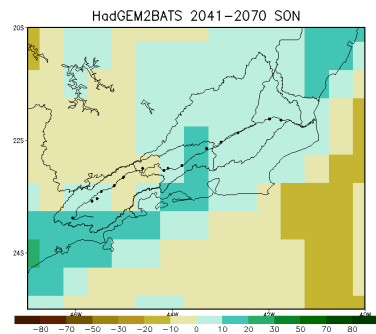
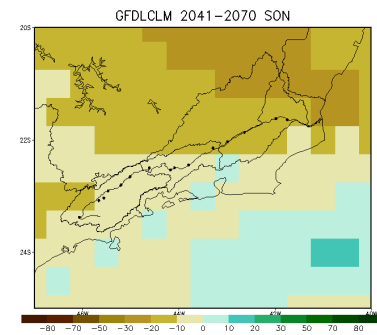
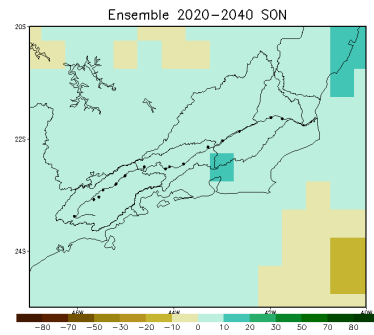
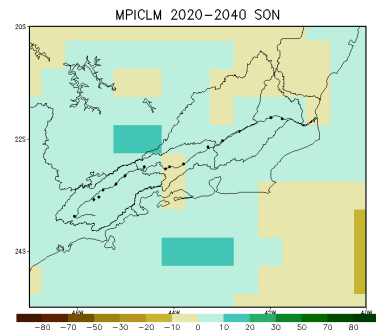
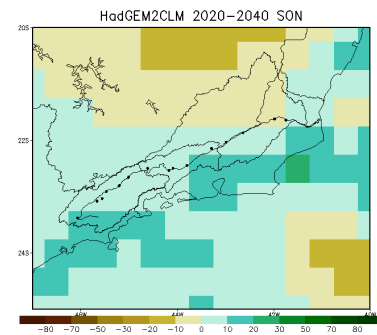
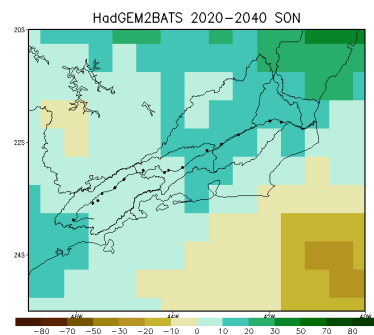
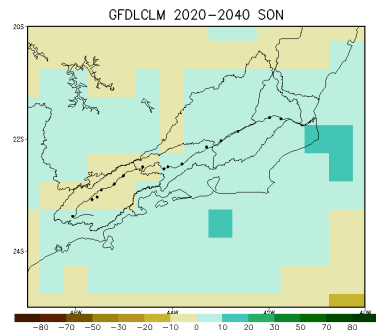


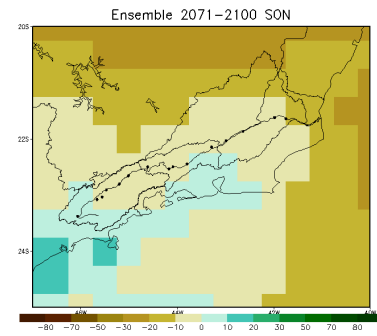
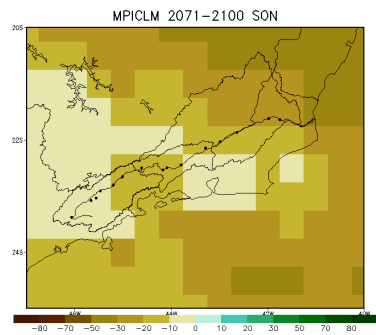
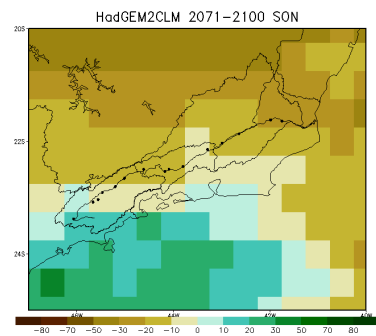
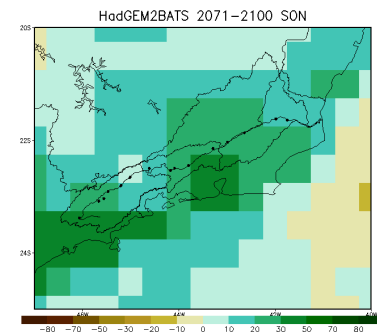
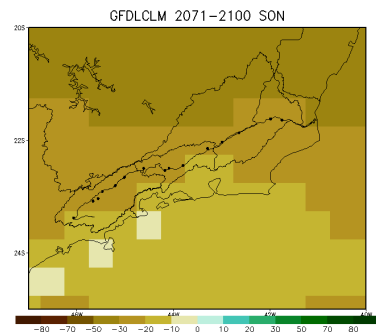
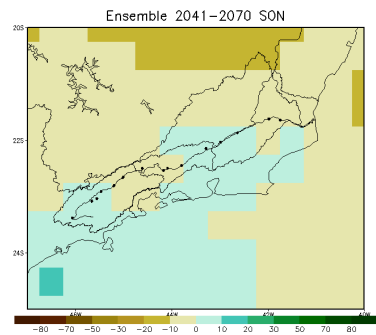




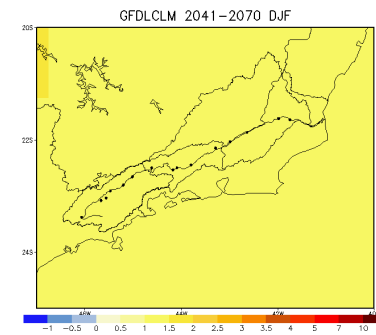
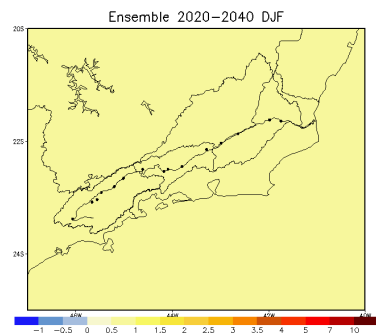
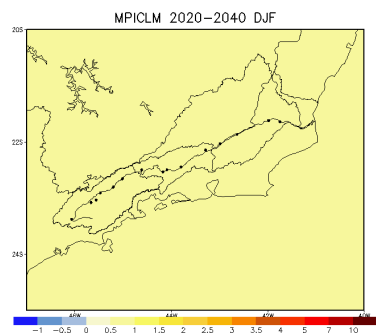
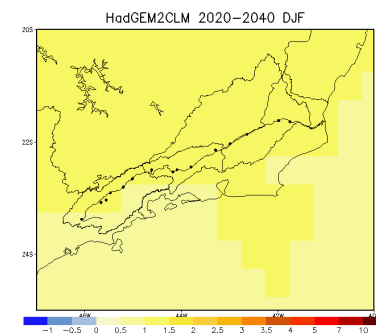
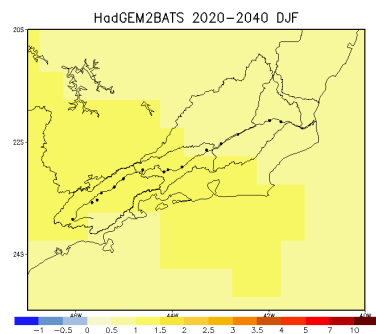
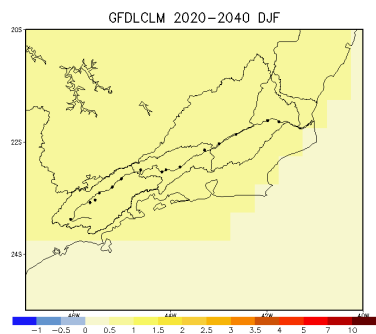


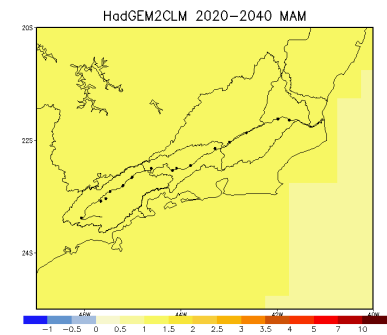
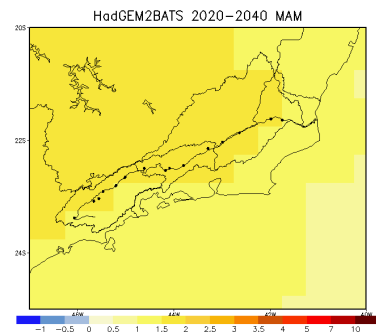
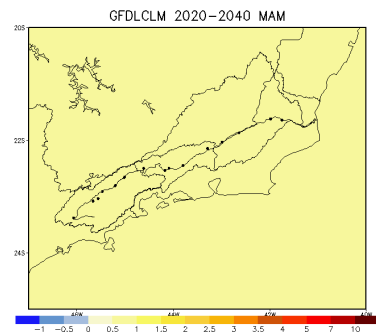
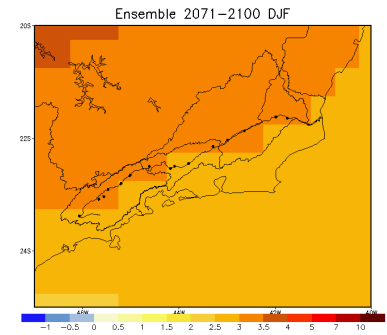
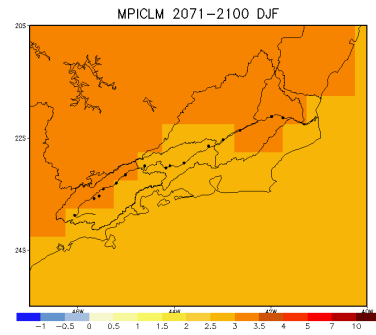
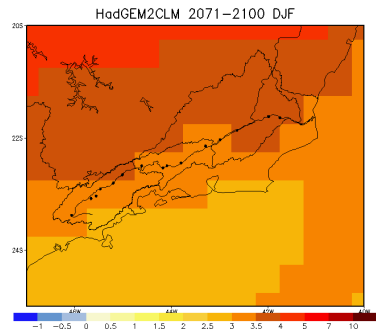
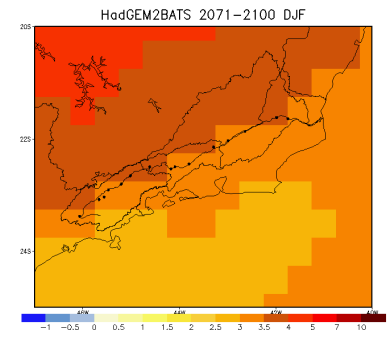
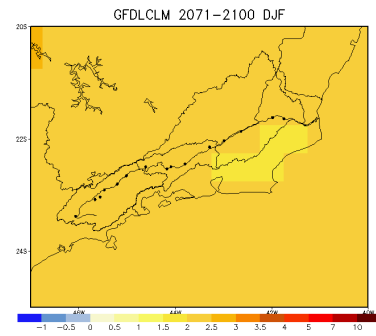
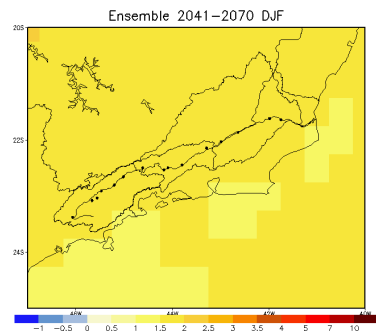


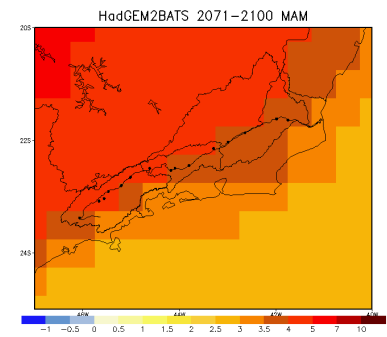
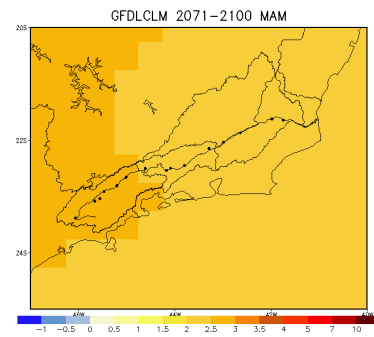
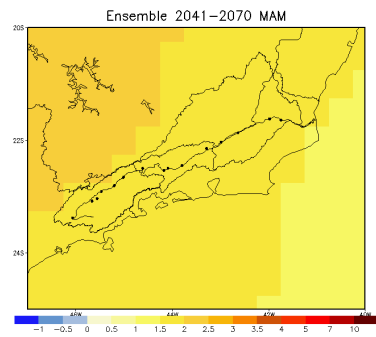
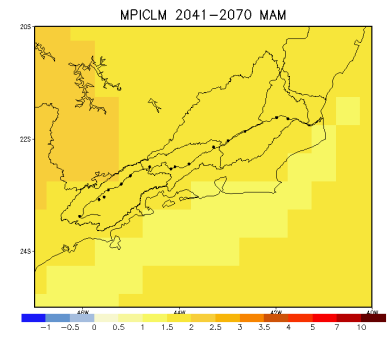
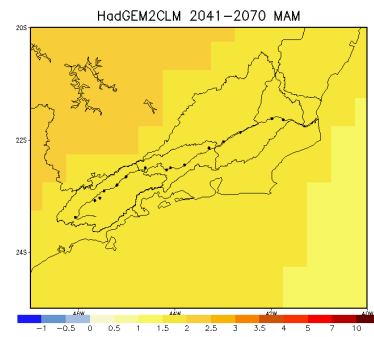
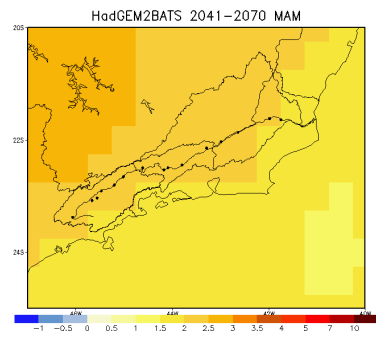
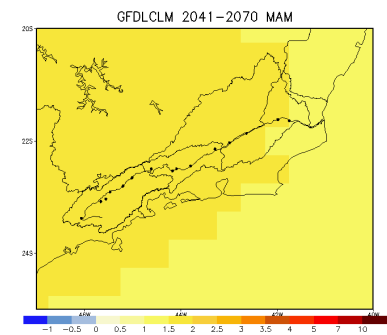
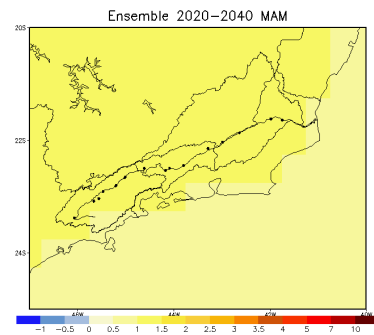
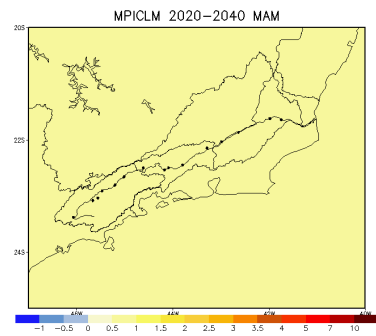


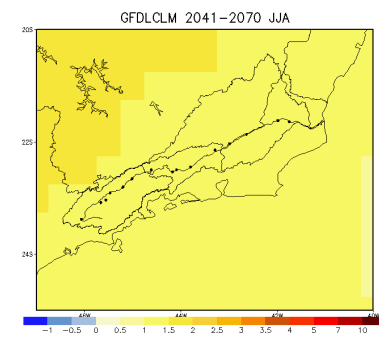
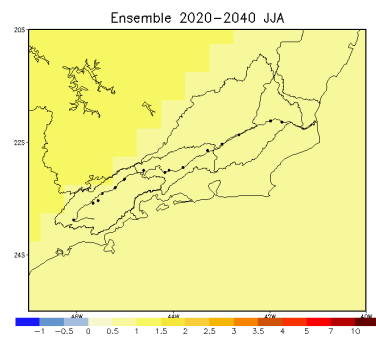
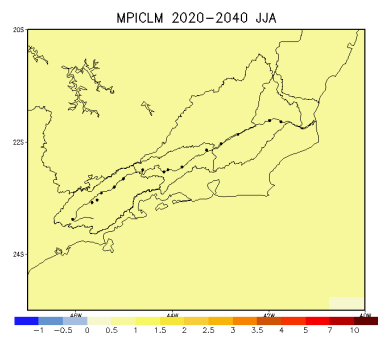
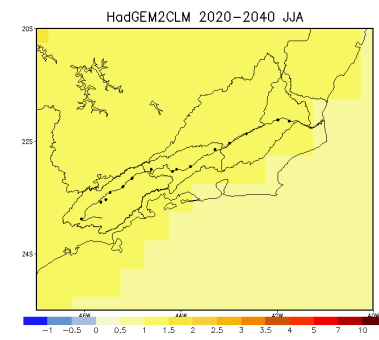
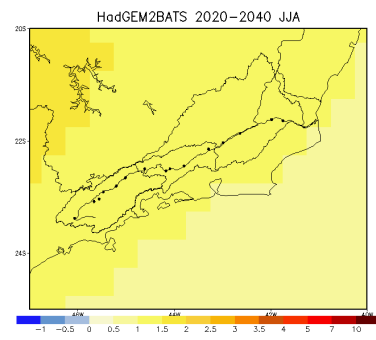
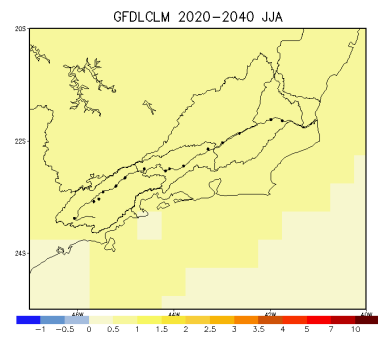
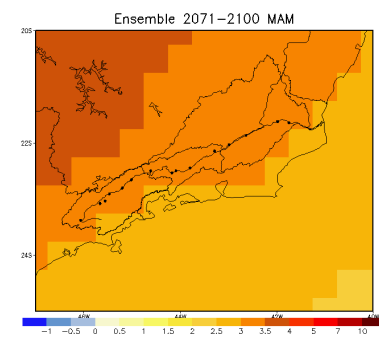
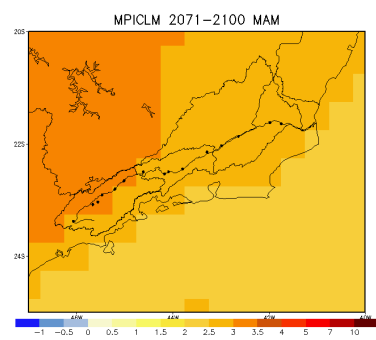
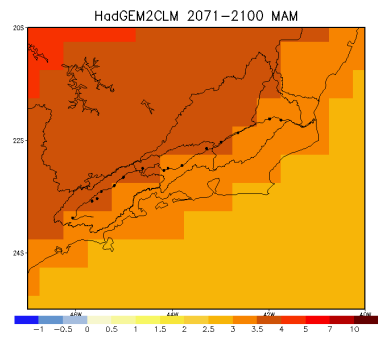


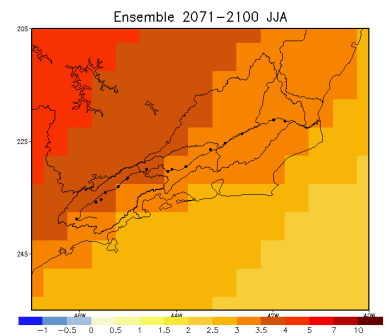
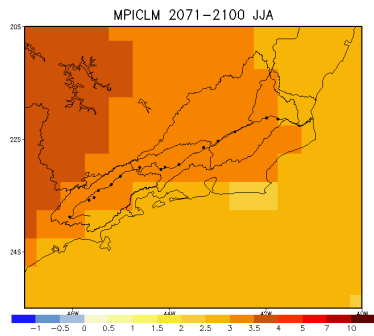
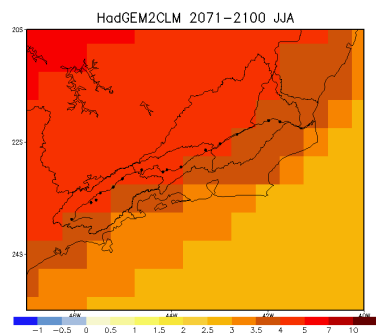
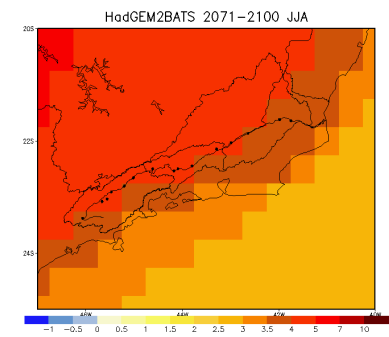
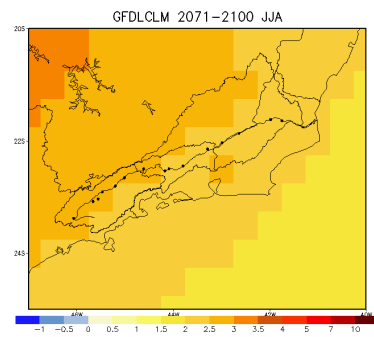
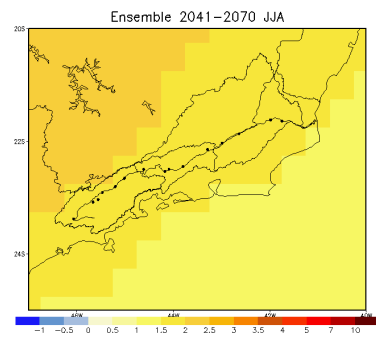
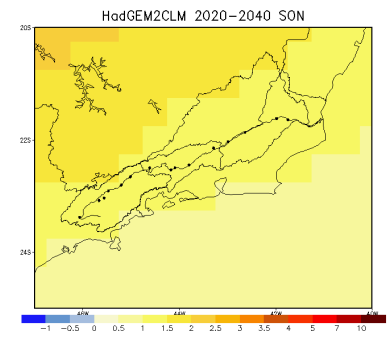
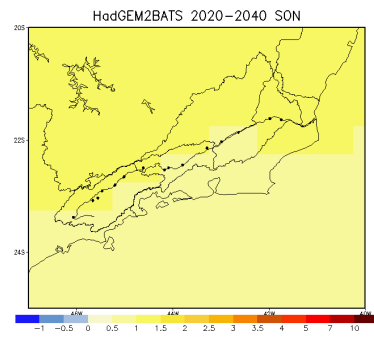
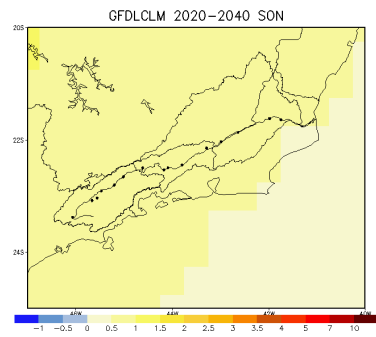
# APÊNDICE I – Clima futuro sazonal: projeção de temperatura para os diferentes modelos

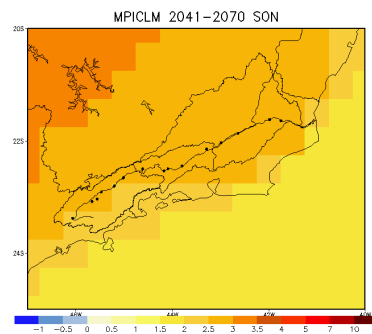
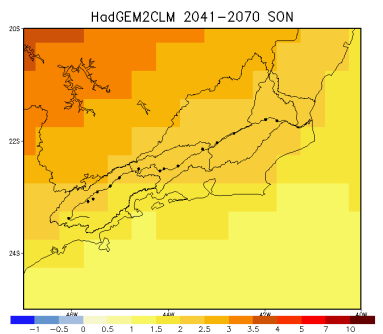
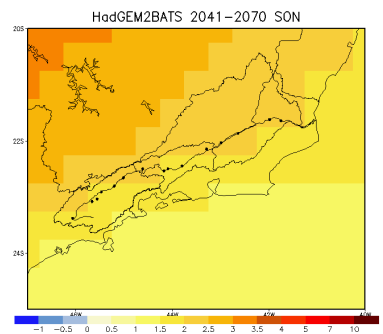
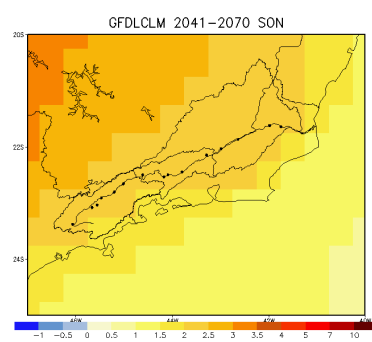
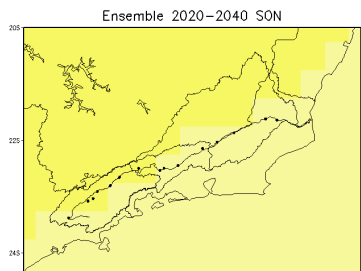
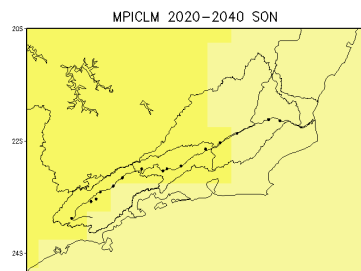




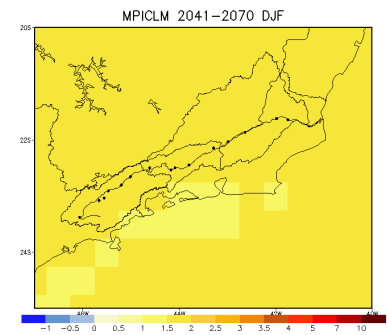
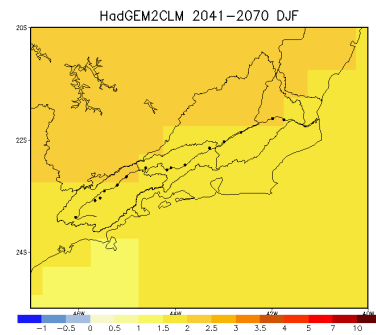
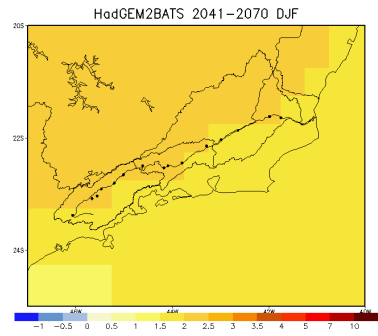
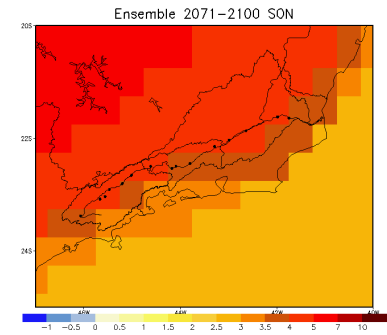
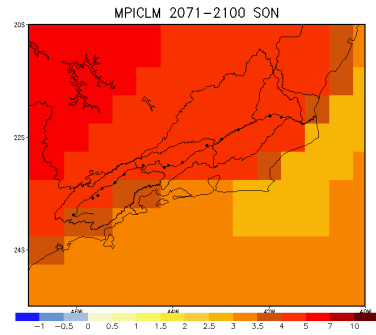
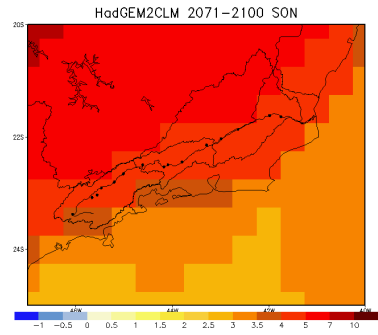
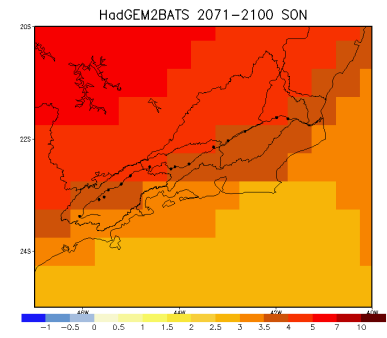
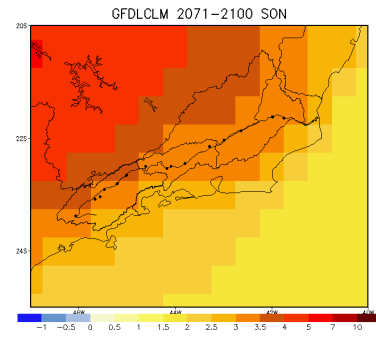
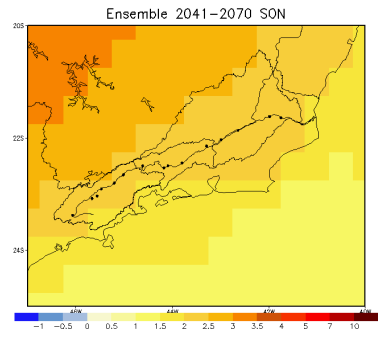












## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cardoso, A. O. e Silva Dias, P. L., 2004: Identificação de trimestres extremos no regime pluviométrico do sul e sudeste do Brasil e relação com anomalias da TSM. *Rev. Bras. Meteor.*, 19, 149-162
- Coelho, C.S., Oliveira, C., Ambrizzi, T., Reboita, M., Carpenedo, C., Campos, J., Tomaziello, A., Pampuch, L., Custodio, M.S., Dutra, L., Da Rocha, R. and Rehbein, A. (2016) The 2014 Southeast Brazil Austral Summer Drought: Regional Scale Mechanisms and Teleconnections. *Climate Dynamics*, 1-16.
- Dias de Paiva, E. M. C, and R. T. Clarke, 1995: Time trends in rainfall records in Amazônia. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 75, 579-583.
- IPCC, 2014: *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp
- Magrin, G.O., J.A. Marengo, J.-P. Boulanger, M.S. Buckeridge, E. Castellanos, G. Poveda, F.R. Scarano, and S. Vicuña, 2014: Central and South America. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Barros, V.R., C.B. Field, D.J. Dokken, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1499-1566.
- Press, W., B. Flannery, S. Teukolsky, and W. Vetterling, W., 1989: *Numerical Recipes. The arts of Scientific Computing. (Fortran version)*. Cambridge University Press. New York. 702 pp
- PINKAYAN, S. Conditional probabilities of occurrence of Wet and Dry Years Over a Large Continental Area. Colorado: State University, Boulder-Co, 1966.p. (Hidrology Papers, 12).
- Xavier, T. M. B. S e A. F. S. Xavier, 1987. Classificação e Monitoração de Períodos Secos ou Chuvosos e Cálculo de Índices Pluviométricos Para a Região Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia*. Vol 5, 2: 7 – 30.
- Xavier, T. M.; Xavier, A. F. S.; Alves, J. M. B. *Quantis e Eventos Extremos – Aplicações em Ciências da Terra e Ambientais*. RDS Editora, Livrarias Livro Técnico, p. 278, 2007