

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
CENTRO ESTADUAL DE PESQUISAS EM SENSORIAMENTO REMOTO E
METEOROLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO

**TENDÊNCIAS DE PRECIPITAÇÃO PLUVIAL DIÁRIA E PROJEÇÃO DE
CENÁRIOS APLICADOS À NOVA CURVA IDF PARA PORTO ALEGRE-RS**

Adriana Burin Weschenfelder

PORTO ALEGRE

2017

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
CENTRO ESTADUAL DE PESQUISAS EM SENSORIAMENTO REMOTO E
METEOROLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO

**TENDÊNCIAS DE PRECIPITAÇÃO PLUVIAL DIÁRIA E PROJEÇÃO DE
CENÁRIOS APLICADOS À NOVA CURVA IDF PARA PORTO ALEGRE**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto para obtenção do título de Mestre em Sensoriamento Remoto.

Área de Concentração: Ciências Atmosféricas.

Adriana Burin Weschenfelder

Orientadora: Eliana Veleda Klering

Co-Orientador: Éber José de Andrade Pinto

PORTO ALEGRE

2017

CIP - Catalogação na Publicação

Weschenfelder, Adriana Burin
TENDÊNCIAS DE PRECIPITAÇÃO PLUVIAL DIÁRIA E
PROJEÇÃO DE CENÁRIOS APLICADOS À NOVA CURVA IDF PARA
PORTO ALEGRE / Adriana Burin Weschenfelder. -- 2017.
150 f.

Orientadora: Eliana Veleda Klering.

Coorientador: Éber José de Andrade Pinto.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Porto Alegre, BR-RS, 2017.

1. análise de tendência. 2. cenários de projeção. 3. eventos extremos. I. Klering, Eliana Veleda, orient. II. Pinto, Éber José de Andrade, coorient. III. Título.

AGRADECIMENTOS

A minha mãe Marisa aos meus irmãos Rafael e Tarcísio e a Pamela pelo carinho e incentivo.

Ao meu marido Jair pelo incentivo, carinho e compreensão.

A minha orientadora Eliana e ao meu co-orientador Éber, pelas contribuições, esclarecimentos e estímulo contínuo.

À Ana, Bruno, Gabriel e Vinícius pelo apoio, disponibilidade e momentos de alegria.

Aos colegas de curso em especial a Adriana, Lucimara, Ludmila, Monique, Paola e Stanlei pelo apoio e parceria durante o curso.

A CPRM pelo apoio na realização do mestrado em especial a Karine pelo apoio e incentivo, e aos meus superiores, Márcia, Marcos e Andriotti pelo apoio.

Aos meus amigos e colegas de sala, Giane, Luciano, Rejane, Alessandro e Ronaldo, pela paciência e momentos de alegria.

Ao Dermeval pelo incentivo.

As Daniela's Bemfica e Ramos pela disponibilidade e pelo material de apoio.

Ao Giovanni pelas aulas de Física.

A Venice pelas conversas esclarecedoras.

Ao 8º DISME/INMET pela disponibilização dos dados meteorológicos representados pelo coordenador Solismar e pelo meteorologista Everton.

A CEEE, pela disponibilização dos dados pluviométricos, em especial ao técnico em hidrologia Vinícius.

Ao Pesquisador do *Rothamsted Research*, Mikhail Semenov por autorizar a utilização do LARS-WG e pelas contribuições via e-mail.

Aos professores do Sensoriamento Remoto, em especial a professora Rita por ter me incentivado a fazer o mestrado, a professora Denise e ao professor Ducati, por terem me aceito como aluna especial e pela inspiração.

Por fim, agradeço à banca examinadora pelas contribuições.

RESUMO

Neste estudo foram analisadas possíveis tendências de aumento da precipitação em nove estações pluviométricas na sub-bacia 87, incluindo Porto Alegre, no Estado do Rio Grande do Sul, para 50 anos de dados. Eventos extremos são responsáveis por muitos problemas, principalmente em áreas urbanas, e a frequência e a magnitude destes eventos podem aumentar com as alterações climáticas. No intuito de avaliar o impacto de alterações climáticas, em Porto Alegre, utilizou-se o modelo Long Ashton Research Station - Weather Generator (LARS-WG). O LARS-WG é um gerador estocástico capaz de simular cenários climáticos em escala local. Para cada série histórica das estações analisadas, na sub-bacia 87, foi aplicado o teste estatístico de Mann Kendall para identificar possíveis tendências nos dados anuais e trimestrais. Na estação de Porto Alegre também foi realizada pesquisa para identificar o aumento na frequência de ocorrência de alturas de precipitação em diferentes faixas e análise de tendência nos dados sub-diários. A geração de séries sintéticas de precipitação para diferentes cenários teve como base os dados pluviométricos da série de Porto Alegre, que consistiu na utilização do período de 1974 a 2014 na geração da linha de base para calibração do LARS-WG. Após a geração de séries sintéticas de precipitação para um clima atual, foi selecionado o máximo diário anual e este foi desagregado em dados sub-diários. Na sequência avaliou-se o impacto das alterações em três cenários do IPCC, A1B, A2 e B1. Em cada um dos arquivos de precipitação diária, geradas por projeção no LARS-WG, foi realizada a desagregação em precipitações sub-diárias. Os resultados da aplicação do teste de Mann Kendall indicam tendência no aumento do total anual e no número de dias chuvosos (NDC). O trimestre que mais contribuiu para este aumento corresponde à primavera. Entretanto nas estações de Porto Alegre e Sapucaia do Sul, na região metropolitana de Porto Alegre, São Lourenço no Litoral Sul e Renânia e Serra do Pinto numa região de relevo acidentado próximo ao Litoral Norte também se identificou tendência de aumento no verão e no outono. Em Porto Alegre não foi verificada tendência na precipitação diária máxima anual, permitindo a utilização do LARS-WG que assume que as séries de dados diários observados são estacionárias e gera séries sintéticas com características estatísticas semelhantes à série de dados observados. Uma análise comparativa dos resultados entre as IDF's projetadas com o LARS-WG e a IDF definida por Weschenfelder *et al.* (2015) indica aumento das precipitações intensas. No primeiro período de projeção no cenário A1B, os desvios ficaram na faixa de 8 a 16% para quatro dos modelos, no cenário A2 os desvios ficaram na faixa de 9 a 19% e no cenário B1 de 7 a 19% em cinco modelos. Para o segundo período de projeção apresentou uma grande variabilidade com desvios entre -3 e 40%. O caminho para reduzir as incertezas é o monitoramento continuado das variáveis meteorológicas, pois a modelagem do clima só pode ser aprimorada com a incorporação de dados reais aos modelos.

Palavras-chave: análise de tendência, cenários de projeção, eventos extremos.

ABSTRACT

This study analyzes possible trends of precipitation increase in nine rainfall stations in sub-basin 87, including Porto Alegre, in the State of Rio Grande do Sul, for 50 years of data. Extreme events are responsible for many problems, especially in urban areas, and the frequency and magnitude of these events may increase with climate change. In order to evaluate the impact of climate change in Porto Alegre, the Long Ashton Research Station - Weather Generator (LARS-WG) model was used. The LARS-WG is a stochastic generator capable of simulating local scale climate scenarios. The Mann Kendall's statistical test was applied for each historical series of the analyzed stations in sub-basin 87 in order to identify possible trends in annual and trimestral data. At the Porto Alegre station, research was also conducted to identify the increase in the frequency of occurrence of precipitation heights in different bands and trend analysis in the sub-diary data. The generation of synthetic precipitation series for different scenarios was based on the pluviometric data of the Porto Alegre series, which consisted of the use of the period from 1974 to 2014 in the generation of the baseline for LARS-WG calibration. After the generation of synthetic series of precipitation for a current climate, the maximum annual daily was selected and this was disaggregated in sub-diary data. The impact of the changes was then evaluated in three scenarios of the IPCC, A1B, A2 and B1. In each of the daily precipitation files generated by LARS-WG projection, disaggregation in sub-daily precipitation was conducted. The results of the Mann Kendall test indicate a trend in the annual total increase and in the number of rainy days (NDC). The trimester that contributed most to this increase is spring. However, in the Porto Alegre and Sapucaia do Sul stations, in the metropolitan area of Porto Alegre, São Lourenço in the South Coast and Renânia and Serra do Pinto, in an area of rugged relief near the North Coast, there was also a tendency to increase in summer and fall. In Porto Alegre, no trend was observed in the annual maximum daily precipitation, allowing the use of LARS-WG, which assumes that the observed daily data series are stationary and generates synthetic series with similar statistical characteristics to the data series observed. A comparative analysis of the results between the IDFs projected with the LARS-WG and the IDF defined by Weschenfelder et al. (2015) indicates an increase in intense precipitation.

Palavras-chave: Trend analysis, projection scenarios, extreme events.

Master of Science dissertation in Remote Sensing, Graduate Program in Remote Sensing, Federal University of Rio Grande do Sul, RS, Brazil, (150 p.). August 2017.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	ii
ABSTRACT	iii
SUMÁRIO	iv
LISTA DE FIGURAS	vi
LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	x
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1. Mudanças Climáticas Globais	4
2.2. Tendências Climáticas	5
2.3. Projeções de Mudanças	7
2.3.1. Modelos de circulação geral (MCG) e cenários projetados	7
2.3.2. Redução de escala.....	10
2.3.3. Geradores estocásticos.....	10
2.4. Processos meteorológicos relacionados à precipitação	13
2.5. Sazonalidade dos fenômenos.....	14
2.6. Influência das mudanças climáticas na drenagem urbana	16
2.7. Equação de Chuvas Intensas - Desagregação.....	18
3. MATERIAL E MÉTODOS	21
3.1. Área e período de estudo	21
3.2. Fluxograma com síntese da metodologia	23
3.3. Aquisição e tratamento dos dados	24
3.4. Análise de tendência.....	25
3.5. Geração da série sintética de dados – Simulação da linha de base.....	27

3.6.	Desagregação dos dados sintéticos gerados para linha de base de 100 anos	30
3.7.	Simulação de cenários de alterações climáticas projetados para dois períodos	32
3.8.	Desagregação das séries de dados sintéticos gerados para as diferentes trajetórias na obtenção de curvas IDF futuras.....	34
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
4.1	Análise das tendências de precipitação	37
4.3	Avaliação da capacidade do modelo simular a precipitação em Porto Alegre.....	47
4.4	IDF gerada com dados diários sintéticos da linha de base versus IDF de Weschenfelder et al. (2015)	50
4.5	IDF gerada com dados sintéticos das projeções versus IDF atual.....	58
5.	CONCLUSÕES	83
6.	REFERÊNCIAS	85
7.	APÊNDICES	92

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Concentração de CO ₂ atmosférico no observatório de Mauna Loa. Fonte: NOAA (2017).....	4
Figura 2. Estações pluviométricas utilizadas no estudo da análise de tendências e estação utilizada pluviográfica utilizada na projeção de cenários.	21
Figura 3. apresenta o fluxograma com sintetização da metodologia adotada no presente estudo para elaboração da dissertação. No fluxograma: Totais = ao totais anuais e trimestrais; NDC= número de dias de chuva, Imd= intensidade média diária; Pdma= precipitação diária máxima anual; e curva IDF = curva de intensidade duração e frequência.	23
Figura 4. Função Distribuição de Probabilidade (FDP). Fonte: Naghettini e Pinto, 2007.....	29
Figura 5. Função Acumulada de probabilidade (FAP). Fonte: Naghettini e Pinto, 2007.	29
Figura 6. Exemplo da perturbação climática sobre a linha de base de 1961-1990, considerando emissões de gases de efeito estufa , utilizando o modelo HADCM2 e o período de projeção de 2035-2064. Fonte: Semenov e Barrow (2002), Version 3.0, <i>User Manual</i> . ..	34
Figura 7. Tendência dos totais trimestrais na estação de Porto Alegre, nos trimestres que correspondem ao verão (DJF) (a), outono (MAM) (b), inverno (JJA) (c) e primavera (SON) (d) e totais anuais de precipitação (e) da estação de Porto Alegre.....	44
Figura 8. Tendência dos máximos trimestrais na estação de Porto Alegre, nos trimestres que correspondem ao verão (DJF) (a), outono (MAM) (b), inverno (JJA) (c) e primavera (SON) (d) e máximos anuais (e) da estação de Porto Alegre.	45
Figura 9. Tendência dos Números de Dias de Chuva (NDC) na estação de Porto Alegre, nos trimestres que correspondem ao verão (DJF), outono (MAM), inverno (JJA) e primavera (SON) e NDC anuais da estação de Porto Alegre.....	46
Figura 10. Quantis da IDF atual em preto e quantis IDF Desagregadas para duração de 15 minutos e as seis opções de sementes do LARS-WG.....	55
Figura 11. Quantis da IDF atual em preto e quantis IDF Desagregadas para duração de 45 minutos e as seis opções de sementes do LARS-WG.....	55
Figura 12. Quantis da IDF atual em preto e quantis IDF Desagregadas para duração de 2 horas e as seis opções de sementes do LARS-WG.....	56
Figura 13. Quantis da IDF atual em preto e quantis IDF Desagregadas para duração de 4 horas e as seis opções de sementes do LARS-WG.....	56
Figura 14. Quantis da IDF atual em preto e quantis IDF Desagregadas para duração de 8 horas e as seis opções de sementes do LARS-WG.....	57
Figura 15. Quantis da IDF atual em preto e quantis IDF Desagregadas para duração de 24 horas e as seis opções de sementes do LARS-WG.....	57
Figura 16. Desvio percentual em relação aos quantis da IDF atual.	59
Figura 17. Desvio percentual médio em relação aos quantis da IDF atual.	60
Figura 18. Desvio percentual médio absoluto em relação aos quantis da IDF atual.	61
Figura 19. Quantis da IDF atual em preto e quantis IDF Desagregadas para duração de 15 minutos, Cenário A1B, 1º Período, nos seis Modelos Climáticos do LARS-WG.....	68
Figura 20. Quantis da IDF atual em preto e quantis IDF Desagregadas para duração de 15 minutos, Cenário A2, 1º Período, nos seis Modelos Climáticos do LARS-WG.	68
Figura 21. Quantis da IDF atual em preto e quantis IDF Desagregadas para duração de 15 minutos, Cenário B1, 1º Período, nos seis Modelos Climáticos do LARS-WG.	69
Figura 22. Quantis da IDF atual em preto e quantis IDF Desagregadas para duração de 45 minutos, Cenário A1B, 1º Período, nos seis Modelos Climáticos do LARS-WG.....	69
Figura 23. Quantis da IDF atual em preto e quantis IDF Desagregadas para duração de 45 minutos, Cenário A2, 1º Período, nos seis Modelos Climáticos do LARS-WG.	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Estações pluviométricas com os respectivos períodos de dados utilizadas na identificação da análise de tendências de precipitação pluvial no âmbito da sub-bacia 87.	22
Tabela 2. Relações entre as alturas de chuvas de diferentes durações para estação de Porto Alegre. Fonte: Weschenfelder et al.(2015).	32
Tabela 3. Cenários de emissões do quarto relatório do <i>Intergovernmental Panel on Climate Changes</i> (IPCC). Fonte: modificado de Semenov (2010).	33
Tabela 4. Modelos climáticos disponíveis no LARS-WG, versão 5, com centros operacionais a que pertencem e a resolução espacial em latitude e longitude utilizados neste estudo... 33	33
Tabela 5. Resultados do teste de Mann Kendall para o total anual de precipitação (Total), precipitação diária máxima anual (Pd _{ma}), número de dias de chuva (NDC) anual e intensidade média diária (Imd) anual.	37
Tabela 6. Resultados da análise de tendência, utilizando o teste de Mann Kendall, para o total trimestral de precipitação (Total) nos trimestres de verão, outono, inverno e primavera; número de dias de chuva (NDC) nos trimestres e precipitação máxima nos trimestres.	38
Tabela 7. Resultados da análise de tendência, utilizando o teste de Mann Kendall, para os totais mensais de precipitação, nos meses de janeiro a dezembro.	40
Tabela 8. Resultados da análise de tendência, utilizando o teste de Mann Kendall, para as máximas mensais de precipitação nos meses de janeiro a dezembro.	41
Tabela 9. Resultados da análise de tendência, utilizando o teste de Mann Kendall para o número de dias com chuva (NDC) mensais nos meses de janeiro a dezembro.	41
Tabela 10. Resultados da análise de tendência, utilizando o teste de Mann Kendall, para os dados sub-diários, máximos anuais.	47
Tabela 11. Teste de Kolmogov-Smirnov para verificar o ajuste da série de precipitação diária ao período seco e chuvoso nos trimestres que correspondem ao verão (DJD), outono (MAM), inverno (JJA) e primavera (SON).	48
Tabela 12. Teste de Kolmogorov-Smirnov para verificar o ajuste da distribuição da série de precipitação diária aos dados mensais.	48
Tabela 13. Resultados do ajuste dos dados trimestrais ao período seco, obtidos para cada uma das sementes disponíveis no LARS.	49
Tabela 14. Resultados do ajuste dos dados trimestrais ao período chuvoso, obtidos para cada uma das sementes disponíveis no LARS-WG	49
Tabela 15. Resultados do ajuste dos dados diários obtidos para cada uma das sementes.	50
Tabela 16. Quantis série sintética comparados com os quantis da IDF atual, durações 5 a 45 minutos.	52
Tabela 17. Quantis série sintética comparados com os quantis da IDF atual, durações 1 a 4 horas.	53
Tabela 18. Quantis série sintética comparados com os quantis da IDF atual, durações 8 a 24 horas.	54
Tabela 19. Desvio percentual médio considerando o modelo climático utilizado, cenário A1B, para o período de 2046-2065.	62
Tabela 20. Desvio percentual médio considerando o modelo climático utilizado, cenário A2, período 2046-2065.	63
Tabela 21. Desvio percentual médio considerando o modelo climático utilizado, cenário B1, período 2046-2065.	64
Tabela 22. Desvio percentual médio considerando o modelo climático utilizado, cenário A1B, período 2080-2099.	65

Tabela 23. Desvio percentual médio considerando o modelo climático utilizado, cenário A2, período 2080-2099.	66
Tabela 24. Desvio percentual médio considerando o modelo climático utilizado, cenário B1, período 2080-2099.	67

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
CCSM	Modelo de Sistema Climático Comunitário
CCM	Complexo Convectivo de Mesoescala
CO ₂	Dióxido de carbono
CM	<i>Coupled Model</i>
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CH ₄	Metano
CPTEC	Centro de Previsão de tempo e Estudos Climáticos
COMAR	Comando Aéreo Regional
DISME	Distrito de Meteorologia
CRCCH	<i>Cooperative Research Center for Catchment Hydrology</i>
DPM	Desvio Percentual Médio
DPAM	Desvio Percentual Absoluto Médio
ENOS/ENSO	El Niño-Oscilação Sul/ <i>El Nino South Oscillation</i> .
ECHAM	<i>European Centre for Medium - Range Weather Forecasts Hamburg</i>
ECMWF	<i>European Centre for Medium- Range Weather Forecasts</i>
GOES	<i>Geostationary Environmental Operational Satellites</i>
GEE	Gases de Efeito Estufa
GFDL	<i>Geophysical Fluid Dynamics Laboratory</i>
HAD	<i>Hadley Centre</i>
IPCC/AR	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change/Assesment Report</i>
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IAPAR	Instituto Agrônômico do Paraná
IDF	Intensidade Duração e Frequência
IPSL	<i>Institut Pierre Simon Laplace</i>
INM	<i>Institute of Numerical Mathematics</i>
IMD	Intensidade Média Diária
IOS	Índice Oscilação Sul
JBN	Jatos de Baixos Níveis
LARS-WG	<i>Long Ashton Research Station - WeatherGenerator</i>
MCG	Modelos Climáticos Globais/Modelos Circulação Geral
MCR	Modelos Climáticos Regionais
NDC	Número de Dias de Chuva
NERC	<i>National Environment Research Council</i>
NOAA	<i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i>
NCCCSM	<i>National Center for Atmospheric Research - Communit Climate System Model</i>
N ₂ O	Óxido Nitroso
ODP/PDO	Oscilação Decadal Pacífico/ <i>Pacific Decadal Oscillation</i>
PPM	Partes Por Milhão
PDMA	Precipitação Diária Máxima Anual
SCM	Sistema Convectivo de Mesoescala
SGB	Serviço Geológico Brasileiro
SO ₂	Enxofre
PBMC	Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas
UCAR	<i>University Corporation for Atmospheric Research</i>
UMKO	<i>United Kingdom Met Office</i>
TSM	Temperatura da Superfície do mar

1. INTRODUÇÃO

De acordo com o quinto relatório do *Intergovernmental Panel on Climate Changes* - IPCC (2013), as mudanças climáticas globais estão associadas principalmente à liberação de gases de efeito estufa (GEE), majoritariamente o dióxido de carbono (CO₂), e aerossóis para a atmosfera. Secundariamente as mudanças estão associadas ao desmatamento, queimadas e alterações no uso do solo.

As alterações sejam naturais ou não afetam o balanço de energia terrestre, que provocam, entre outras modificações, alterações na temperatura e precipitação e, conseqüentemente aumentam a complexidade na gestão dos recursos hídricos e os efeitos sobre a infraestrutura hídrica.

O aumento na frequência de noites e dias quentes e, conseqüentemente, a diminuição de noites e dias frios contribuem para elevação da temperatura e aumento da capacidade do ar em reter vapor d'água, que pode contribuir com o aumento na intensidade dos eventos de precipitação e na frequência de dias com precipitações intensas no sudeste da América do Sul (Marengo, 2009).

Conforme descrito pelo Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC, 2014) no Brasil tem-se observando tendência de aumento de precipitação nas regiões sul e sudeste. No Estado do Rio Grande do Sul observou-se, além da tendência de aumento dos totais pluviométricos e do número de dias com precipitação pluvial, ao longo das últimas décadas, tanto no verão quanto nas estações de transição primavera e outono (Berlato e Cordeiro, 2017).

Esta tendência de aumento relacionada à maior intensidade e ao maior número de dias com precipitação em áreas urbanas leva a prejuízos tanto de ordem econômica como social, afetando sistemas básicos de atendimento a população, como fornecimento de água e energia e em muitos casos desalojando famílias e levando a condições de vulnerabilidade social. Em áreas mais susceptíveis a eventos extremos, como encostas de morros, margens de rios e áreas urbanas os efeitos das precipitações intensas ou de longa duração podem ser intensificados em função da exposição e da vulnerabilidade destes locais.

O aumento na intensidade da precipitação pluvial compromete a capacidade de armazenamento e a eficácia na suavização do fluxo pelos sistemas de controle urbanos existentes (Todeschini, 2012). Como maior parte da superfície urbana é impermeabilizada e há relação direta desta com o escoamento superficial das águas pluviais, uma melhor caracterização das tendências de precipitação, através da atualização da curva de Intensidade,

Duração e Frequência (IDF) permite o dimensionamento mais adequado de obras hidráulicas. Na maioria das vezes estas obras são feitas com o intuito de atender a demanda de ocupação urbana atual e a planejada para o futuro, com base em dados pré-existentes de precipitação. Entretanto, estas condições são alteradas ao longo do tempo com novos usos e ocupação do solo, não planejados, que promovem a impermeabilização de uma área maior da superfície do que o esperado. Além disso, as alterações climáticas são cada vez mais evidentes e o aumento na frequência de eventos extremos de precipitação pode levar a sobrecarga dos sistemas de escoamento. Dentro deste contexto, se torna essencial à utilização conjunta da curva IDF e da projeção de cenários climáticos futuros, a fim de melhorar e corrigir as obras hidráulicas existentes.

No presente trabalho a identificação de tendências utilizando dados observados, projeções de Modelos de Circulação Geral (MCGs) e *downscaling* estatístico permitirá a escolha de cenários futuros mais adequados ao município de Porto Alegre. A curva IDF definida por Weschenfelder et al. (2015), fornecerá as relações entre as precipitações de 24 horas obtidas com os registros pluviográficos e de um dia obtida a partir da precipitação acumulada no pluviômetro, bem como as relações entre a duração de 24 horas e durações menores. O *Long Ashton Research Station - Weather Generator* (LARS-WG) permitirá a geração de séries sintéticas de precipitação para diferentes cenários, tendo como base os dados pluviométricos utilizados. De posse das séries sintéticas de dados de precipitação e do coeficiente de relação entre as durações será possível a construção de curvas IDF para os cenários considerados.

Diante do exposto, a hipótese deste trabalho é de que existe tendência de aumento das precipitações pluviais em diferentes escalas temporais, no âmbito da sub-bacia 87, particularmente no município de Porto Alegre, RS e que estas alterações podem modificar a intensidade, duração e frequência desta variável, especialmente num cenário de alterações climáticas.

Partindo-se da hipótese formulada o objetivo geral deste trabalho é analisar a tendência de aumento das precipitações em Porto Alegre e seu entorno (sub-bacia 87) e avaliação do impacto das mudanças climáticas com a adequação de curvas IDF a cenários de projeções.

O presente estudo tem como objetivos específicos:

i) Determinar a tendência de acréscimo ou decréscimo de precipitação em Porto Alegre e demais estações inseridas na sub-bacia 87, no estado do Rio Grande do Sul;

iii) Avaliar a capacidade de representação das precipitações em Porto Alegre, utilizando o modelo LARS-WG;

iii) Desagregar os dados diários sintéticos de precipitação, obtidos com o modelo de LARS-WG para linha de base, em sub-diários, utilizando as relações de desagregação fornecidas pela IDF definida por Weschenfelder et al.(2015);

iv) Avaliar o impacto das de alterações climáticas através das projeções nos cenários A1B, A2 e B1 sobre as chuvas intensas de Porto Alegre, após a desagregação dos dados sintéticos diários obtidos para cada uma das projeções em dados sub-diários.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Mudanças Climáticas Globais

A Terra apresenta ciclos naturais de aquecimento e resfriamento ao longo da sua história, entretanto é fato documentado e observado que a atividade humana tem interferido no ciclo natural. As mudanças climáticas globais estão associadas principalmente à liberação de gases de efeito estufa (GEE) majoritariamente o CO₂ entre outras variáveis. Segundo Marengo (2009), durante os primeiros séculos da revolução industrial, entre os anos de 1760 e 1960 os níveis de concentração de CO₂ atmosférico aumentaram de 277 para 317 partes por milhão (ppm), ou seja, houve um aumento de 40 ppm. Durante as últimas décadas, entre 1960 e 2001, o acréscimo foi de 54 ppm, passando de 317 para 371 ppm. Atualmente, segundo dados do observatório de Mauna LOA no Havaí, disponíveis no sitio da NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*), estas concentrações encontram-se acima de 400 ppm.

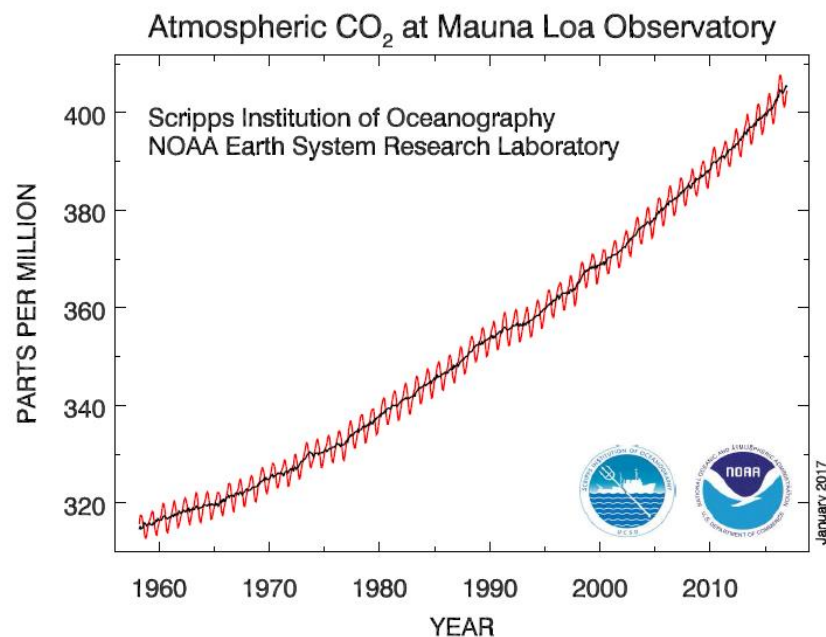


Figura 1. Concentração de CO₂ atmosférico no observatório de Mauna Loa. Fonte: NOAA (2017).

Segundo Goosse et al.(2010), o aquecimento global está associado a um aumento global da precipitação, devido à maior evaporação sobre o oceano e à maior capacidade de retenção de água da atmosfera. Em um mundo mais quente com previsões de aumento da

precipitação previsto em 2100 entre 1 e 8% em comparação com o final do século XX dependendo do modelo MCG utilizado na previsão.

Embora hajam fortes evidências de que grande parte do aquecimento global dos últimos 100 anos seja uma resposta ao aumento nas concentrações de GEE na atmosfera, a temperatura global apresenta flutuações tanto interanual, quanto decenal, assim como, de períodos mais longos. (Barry e Chorlei, 2013). Algumas destas oscilações estão associadas a eventos de ENOS (El Niño Oscilação Sul), em suas fases quente (El Niño) e fria (La Niña), Oscilação Decadal do Pacífico (ODP). Mudanças na circulação atmosférica, variabilidade solar e atividade vulcânica também estão entre as causas de alterações. E por fim as atividades antropogênicas.

2.2. Tendências Climáticas

Considerando o cenário de mudanças climáticas evidentes, cujas projeções indicam aumento de temperatura e precipitação pluvial em algumas regiões e diminuição em outras. Assim, na tentativa de alertar e amenizar os impactos causados pelas mudanças ao meio ambiente e, conseqüentemente, a vida humana vem-se observando o aumento do interesse em estudos de tendência dos comportamentos da temperatura e precipitação em diversas regiões do mundo. Alguns trabalhos publicados neste sentido são apresentados na sequência.

Silva & Guetter (2003) observaram que alguns municípios do estado do Paraná apresentaram aceleração do ciclo hidrológico, desde o início da década de 70, constatado através do aumento gradativo na frequência de precipitações intensas, do aumento de vazões médias e da ocorrência de estiagens com maior duração. Alguns municípios, como União da Vitória, apresentaram aumento gradativo na intensidade das precipitações diárias e aumento no período de estiagens desde meados da década de 70. Por outro lado o município de Piraraquara apresentou aumento no número de dias com precipitação, maior do que 40 mm, a partir de 1970. Os autores identificaram aumento das vazões no rio Paraná depois de 1971, sendo que em média observou-se aumento de 36% em relação ao período anterior a 1971. O aumento ocorreu em todos os trimestres do ano, com exceção do trimestre de janeiro a março.

Uguini et al. (2005) realizaram um levantamento de séries históricas de precipitação de (1931 a 2000) para 12 municípios distribuídos aleatoriamente pelo estado do Rio Grande do Sul, fazendo análise de regressão e organizando os dados por trimestre. Os resultados preliminares indicaram sinais de mudança no regime pluvial, mais especificamente no

trimestre janeiro-fevereiro e março, na parte oeste. No entanto na maior parte do Estado não foi possível identificar qualquer sinal de mudança no regime de precipitação pluvial.

Alexandre et al. (2010), aplicaram testes estatísticos para detecção de tendências e mudanças abruptas nas séries de precipitação da Região Metropolitana de Belo Horizonte, MG, utilizando o *software TREND desenvolvido pelo Cooperative Research Center for Catchment Hydrology (CRCCH)*. Os resultados encontrados pelos autores indicaram uma possível tendência de aumento na precipitação no período mais seco (entre abril e setembro) e tendência de diminuição no período de mais chuvoso (entre outubro e março), entretanto não chegaram a resultados conclusivos que evidenciem mudanças em suas séries.

Todeschini (2012) estudou a tendência de seis séries históricas de dados diários e a sua influência na drenagem pluvial de Lombardia, no norte da Itália, utilizando testes não paramétricos (*Mann Kendall, Sens Estimator Slope e Gibbs Sampling*). Neste trabalho, a precipitação diária foi dividida em classes e relacionada com sua significância em termos de escoamento superficial. Foram identificadas tendências de aumento significativas na maioria das estações. As alturas anuais de precipitação, assim com o número de dias chuvosos apresentaram tendência negativa para todo o período de estudo. Entretanto, o número médio de dias secos entre os dias chuvosos apresentou tendência de aumento.

Assis et al. (2012) avaliaram os índices de detecção de mudanças climáticas, utilizando séries de 45 anos de precipitação pluvial, na bacia do Capibaribe, Pernambuco. Foram identificados índices de precipitação total anual, dias secos consecutivos, dias com precipitação maior 10 mm e maior 50 mm, quantidade máxima de precipitação em um dia e cinco dias e índice simples de intensidade diária (precipitação/número de dias chuva). Os autores observaram mudanças locais na precipitação média da bacia, evidente diminuição da precipitação, aumento do número de dias secos consecutivos, diminuição anual do número de dias com precipitação maior que 10 e 50 mm e diminuição na quantidade máxima de precipitação em um e cinco dias.

Silva et al. (2015) analisaram tendências de extremos climáticos para 20 estações do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) com séries de 35 anos, no período de 1976 a 2010. Os indicadores de extremos climáticos foram calculados usando o programa RCLimDex. A avaliação de tendências foi realizada usando o teste estatístico não paramétrico de Mann-Kendall que analisa a significância de possíveis mudanças climáticas. Segundo os autores uma das vantagens deste método é não ser afetado por valores extremos (outliers), pelo fato do cálculo ser baseado no sinal das diferenças e não nos valores da variável. Os autores também utilizaram o método de Sen's para estimar a magnitude das tendências. Os resultados

indicadores de extremos climáticos associados à temperatura indicam um padrão de aquecimento no estado com significância estatística, já os resultados de indicadores de extremos climáticos para precipitação embora indiquem tendência de aumento não têm significância estatística.

Berlato & Cordeiro (2017) fizeram uma revisão de diversas publicações científicas, que tratam de tendências climáticas, no Estado do Rio Grande do Sul, por meio de análise de dados de precipitação pluvial, temperatura do ar, umidade do ar, insolação, nebulosidade, entre outros. Os autores concluíram que houve confluência dos resultados encontrados, indicando um quadro de aumento na temperatura mínima e de aumento das precipitações entre 20 e 50 mm no Estado.

2.3. Projeções de Mudanças

2.3.1. Modelos de circulação geral (MCG) e cenários projetados

Os modelos de circulação geral ou modelos climáticos globais, apesar das incertezas, ainda são as ferramentas mais aptas disponíveis para projeção de cenários de alterações climáticas. O conjunto de dados destes modelos de simulação é disponibilizado gratuitamente no centro de distribuição de dados do *Intergovernmental Panel on Climate Changes* (IPCC).

Segundo relatório do IPCC (2013), os MCGs do AR4 (IPCC 2007) já trabalhavam com uma resolução melhor do que os modelos anteriores, mas de acordo com o capítulo 9 (WG1AR5) do quinto relatório do IPCC que faz uma avaliação dos modelos climáticos a simulação de padrões de precipitação em larga escala melhorou um pouco desde o AR4, embora bem menos do que para a temperatura da superfície. A correlação do padrão espacial entre as variáveis modeladas e a precipitação média anual aumentou de 0,77 para os modelos disponíveis no AR4 para 0,82 para os modelos disponibilizados no AR5.

Ocorreram algumas mudanças nos cenários de emissões do relatório do IPCC AR4 e o último relatório AR5, no AR4 foram utilizados três cenários principais para projetar as mudanças climáticas futuras e no AR5 é adotado quatro novos cenários que não são diretamente comparáveis com os cenários anteriores. O AR5 considera além dos níveis de concentração dos gases de efeito estufa as forçantes climáticas que interferem nesta concentração.

De acordo com o capítulo final do AR5 os modelos são capazes de reproduzir muitos aspectos importantes do clima observado, sua variabilidade e mudança com uma série de

melhorias em relação à geração de modelos avaliados no AR4, embora para muitas quantidades climáticas, não tenha havido mudança significativa o que indica que o conjunto de múltiplos modelos do AR4 continua a ser útil para muitas aplicações.

O IPCC trabalha com modelos globais de diferentes centros operacionais espalhados pelo mundo. Alguns destes modelos referentes ao AR4 descritos na página do IPCC são apresentados de forma resumida na sequência.

Cabe salientar que, no AR4 em relação aos modelos anteriores, de acordo com o Capítulo 8 do relatório que faz uma avaliação dos modelos climáticos, os autores afirmam que eles apresentam uma maior resolução horizontal e vertical e progrediram na representação de alguns fenômenos climáticos, como ENOS, simulação de eventos extremos e períodos quentes e frios e frequência de ciclones tropicais e extratropicais, simulação de respostas climáticas relacionadas ao ciclo de carbono, efeitos diretos e indiretos de aerossóis

O Modelo de Sistema Climático Comunitário (CCSM) desenvolvido pela Corporação Universitária de Pesquisa Atmosférica (UCAR) tem acoplado quatro submodelos, um atmosférico, um modelo de superfície, um modelo do oceano e um modelo do gelo marinho. Este modelo assume um componente físico dinâmico do sistema climático e permite construir e testar vários modelos.

No ECHAM5 o EC vem da abreviação de ECMWF (*European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*) que é um centro de previsão meteorológico Europeu, e o HAM de Hamburgo, cidade onde foi desenvolvido. É um modelo de previsão alterado para pesquisas de clima. Sua configuração padrão permite resolver a atmosfera até 10hPa que corresponde ao limite superior da troposfera, mas pode configurado para estudar a estratosfera e a mesosfera.

O modelo IPSL-CM4 segundo informações na página do sítio *Institut Pierre Simon Laplace*, deu origem a sigla IPSL, combina quatro pares de componentes da dinâmica do sistema terrestre denominado *Coupled Model (CM)* ou modelo acoplado: atmosférica e física; oceânica; gelo marinho e termodinâmica; e superfície terrestre. As concentrações de aerossóis de sulfato são impostas externamente como forçantes diretas e indiretas de aerossóis.

O GFDL-CM2 ou *Geophysical Fluid Dynamics Laboratory* desenvolvido pela NOAA possui modelo acoplado atmosfera oceano com resolução que permite resolver os ciclones em latitude média. Este modelo tem a capacidade de representar o impacto de múltiplos gases de efeito estufa. Também permite representar os fluxos radiativos, misturas na camada limite atmosférica, impacto *stratus* e *cumulus*, arraste em ventos de nível superior e mudanças na distribuição espacial de ozônio.

O UMKO-HadCM3, do *United Kingdom Met Office* (UMKO) no *Hadley Centre* (Had) possui um modelo acoplado oceano atmosfera composto de um componente atmosférico HadAM3 e um oceânico HadOM3. Na componente atmosférica são considerados fluxos de calor, umidade e momento rodados para acumulados de um dia na interface oceano atmosfera na componente oceânica é rodado para um dia com o fluxo reverso acumulado.

INM-CM3.0, modelo do *Institute of Numerical Mathematics* (INM) da academia de ciência Russa assim como a maioria dos modelos citados anteriormente possui um modelo acoplado que tem uma componente atmosférica, oceânica e de gelo marinho, com informações de temperatura, precipitação, nível do mar, ventos e neve.

O uso direto de modelos de circulação global em escala local é limitado pela baixa resolução horizontal da malha destes modelos, como alternativa pode ser realizada redução da escala espacial da variável estudada, o denominado *downscaling*. Segundo Mendes e Marengo (2009) a redução da escala consiste em relacionar às variáveis de previsão atmosférica em larga escala simulada pelos MCGs para um determinado local ou estação.

O quinto relatório de avaliação do IPCC - AR5 (2013) no capítulo 7 que trata de nuvens e aerossóis coloca que os MCGs são geralmente pobres na simulação de extremos de precipitação, mas as previsões podem ser restringidas por relações observáveis no presente, tornando-se consistentes com a ideia de que a precipitação extrema aumenta por ° C de aquecimento.

Análises comparativas entre os modelos climáticos, utilizando cenários de emissões, permitem analisar impacto de mudanças futuras nas variáveis climáticas. O quarto relatório de avaliação do IPCC – AR4 (2007) tem disponíveis três cenários de emissão de gases de efeito estufa.

Goosse et al. (2010) afirma que os cenários fornecem estimativas de emissões futuras do principal gás de efeito estufa o CO₂ mas também de outros gases de efeito estufa como N₂O e CH₄ e de emissões de dióxido de enxofre (SO₂) que esta relacionada a produção de aerossóis de sulfato na atmosfera. De acordo com os autores, a média dos resultados dos Modelos de Circulação Geral (MCG's), para cada um dos cenários até 2100 é um aquecimento de cerca de 2 ° C para o cenário B1, um pouco menos de 3 ° C para o cenário A1B e cerca de 3,5 ° C para o cenário A2.

2.3.2. Redução de escala

Em áreas urbanas de acordo com Thielen et al. (2000) as superfícies artificiais e naturais variam relativamente em escala espacial, o que torna difícil definição de parâmetros representativos para os modelos de meso escala. Segundo o autor a complexidade do sistema aumenta quando a precipitação é considerada. A redução da escala global para regional ou local permite uma melhor caracterização do ambiente seja ele urbano ou rural. Na realização da redução de escala global para regional ou local são utilizadas técnicas de *downscaling* dinâmico ou estatístico.

O primeiro método consiste na utilização de aninhamento de modelos numéricos (Ramos, 2010). São modelos denominados regionais (MCRs) que permitem aumentar a resolução dos dados dos MCG, refinando os processos físicos de menor resolução. O segundo método de acordo com Wilks (1999) variam de muito simples a extremamente elaborado. Segundo o autor pode ser feito o ajuste direto, em registros históricos meteorológicos em um local, de acordo com alterações climáticas previstas, como o aumento da temperatura em 2°C e multiplicação das quantidades de precipitação observada por 1,10, até os mais elaborados com base em relações estatísticas entre a grande escala de padrões de circulação atmosférica e variáveis meteorológicas locais de superfície.

O método estatístico é dividido em sistemas de classificação de tempo, geradores estocásticos e métodos de regressão. O método utilizado neste trabalho é o do gerador estocástico.

2.3.3. Geradores estocásticos

São geradores de séries sintéticas e podem ser classificados em paramétricos, não paramétricos e semi-paramétricos. No primeiro os dados são ajustados a uma distribuição estatística teórica cujo modelo é conhecido ou previamente especificado. No segundo são utilizadas distribuições dadas pela frequência relativa das amostras dos dados sem especificação prévia do modelo. No terceiro a quantidade ou ocorrência do fenômeno são representadas por histogramas ajustados aos dados.

Os geradores estocásticos de precipitação são modelos computacionais que se destinam a produzir séries sintéticas com propriedades estatísticas semelhantes às observadas. Segundo Srikanthan e McMahon (2000) os métodos de geração de séries sintéticas são

divididos em quatro grupos: modelos bipartidos, matrizes de probabilidade de transição, modelos de reamostragem e modelos de séries temporais.

Os modelos bipartidos apresentam uma divisão clara entre a modelagem e a ocorrência de precipitação (chuva ou não chuva) e da quantidade de precipitação (altura precipitada). Outra característica própria deste tipo de modelo é sua essência paramétrica. Assim, para representar a variabilidade sazonal, geralmente, os parâmetros das duas partes deste modelo variam mensalmente.

O módulo de ocorrência de precipitação gera a sequência temporal de eventos chuvosos ou secos. Comumente a sequência é gerada de duas formas: cadeias Markovianas com dois estados (seco/chuvoso) e processos de alternância com renovação.

Nos modelos bipartidos, o módulo de quantidade precipitada estima a altura de chuva para o evento chuvoso. Neste módulo sorteia-se a partir de uma distribuição teórica de probabilidades adotada para produzir a quantidade precipitada de cada passo de tempo da série sintética. De acordo com Detzel (2009), frequentemente são aplicadas distribuições de probabilidades do tipo Gama, Exponencial e Exponencial Mista.

Os geradores de precipitação com matrizes de probabilidade de transição apresentam grande semelhança com os modelos bipartidos com cadeia de Markov. Nos modelos bipartidos as cadeias de Markov possuem estados múltiplos (superior a dois), nos quais apenas um estado é referente à ocorrência do dia seco e os demais são relativos a classes de altura de precipitação dos dias chuvosos.

Os modelos de reamostragem, segundo Haberlandt et al. (2011), são aqueles que fazem pequenas inferências sobre as propriedades de distribuição dos dados observados. Estes modelos geralmente empregam as técnicas de estimadores de núcleo (*kernel density estimators*), Rajagopalan et al. (1996) e técnicas do k-ésimo vizinho mais próximo (*k-nearest neighbor bootstrap*) como nos estudos de Lall e Sharma (1996), Buishand e Brandsma (2001) e Rajagopalan e Lall (1999) ou, como no caso de Lall et al. (1996).

Os modelos estocásticos de precipitação, que empregam técnicas de reamostragem, possuem uma boa capacidade de reproduzir as propriedades estatísticas das séries históricas nas séries sintéticas. Entretanto, Srikanthan e McMahon (2000) mencionam que os modelos de reamostragem apresentam duas principais limitações. A primeira refere-se à possibilidade de extrapolação nos valores observados e a segunda limitação diz respeito ao tamanho da amostra para este tipo de modelagem, a série de dados observados deve ser longa.

Os geradores estocásticos de variáveis climáticas, como a precipitação, de acordo com Wilks (1999), permitem modelar dados meteorológicos diários em um único local, e, podem ser considerados como caracterizações estatísticas do clima deste local.

A redução de escala dos diários usa a variabilidade observada nos registros de precipitação como um análogo para as alterações climáticas, considerando-se alternadamente coleções de estações mais secas e as mais úmidas como base e climas futuros. (Wilks, 1999).

É gerada uma série de clima sintética com as características estatísticas dos registros observados denominada linha de base que posteriormente permitirá refletir alterações climáticas pela perturbação dos parâmetros estatísticos desta série sintética de modo a refletir as alterações previstas nos MCGs.

Alguns trabalhos publicados aplicam diferentes geradores estocásticos com o objetivo de gerar séries sintéticas de precipitação. Na sequência são apresentados alguns destes trabalhos.

Semenov (2008) fez simulação de eventos extremos utilizando o LARS-WG. O autor testou a habilidade do gerador estocástico de tempo LARS-WG em simular eventos climáticos extremos em 20 locais, em diferentes países, com condições climáticas diversas. Foram utilizadas séries de 30 a 56 anos. As observações provenientes das séries de dados locais serviram de entrada ao LARS-WG e permitiram calcular um conjunto específico de parâmetros para cada local. Foram comparados os dados sintéticos e observados de precipitação máxima diária anual, temperatura máxima diária anual e máxima anual do comprimento de ondas de calor. As conclusões obtidas através do estudo foram de que a média dos máximos anuais de precipitação diária foi reproduzida com precisão em todos os locais. A média da temperatura máxima diária anual foi reproduzida com menor acurácia. Entretanto, os valores das máximas anuais do comprimento das ondas de calor foram bem reproduzidos onde estas ocorrem com maior frequência.

Detzel (2009) com base no modelo utilizado por Wilks (1998) alterou a estrutura deste modelo utilizando linguagem de programação em Matlab e, construiu e validou um modelo paramétrico de geração de séries sintéticas diárias de precipitação. O modelo utiliza um processo estocástico markoviano para determinar as ocorrências de precipitação. O modelo foi testado através de técnicas estatísticas e testes de significância e verificado pela sua aplicação a 11 estações pluviométricas na região Sul-Sudeste brasileira. O autor concluiu ser o modelo eficiente para geração de séries sintéticas de precipitação em regiões úmidas.

Semenov e Stratonovitch (2010) desenvolveram uma nova versão do gerador estocástico, denominada LARS-WG 5.0, que incorpora previsões climáticas de 15 modelos

climáticos globais obtidas a partir do Centro de Distribuição de Dados do IPCC. Os autores utilizaram técnicas de downscaling estatístico para criar cenários climáticos diários em escala local. Para gerar cenários climáticos para um período no futuro com emissões específicas, os parâmetros linha base LARS-WG, calculados a partir da série de dados observada foram ajustados pelas mudanças esperadas para este período. Os autores colocam que para cada MCG e combinações das emissões dos cenários em um período de tempo futuro, 300 anos de dados diários são gerados de acordo com cenários climáticos específicos de um local e usados pelo modelo em um processo para calcular estatísticas de impacto selecionadas. Foi analisada pelos autores a probabilidade de estresse térmico e estresse hídrico previsto pelo modelo HadCM3 para quatro locais na Europa e a avaliação de um provável impacto na floração e rendimento de grãos. Por fim, os autores salientam a necessidade do contínuo aperfeiçoamento dos modelos, bem como sua validação comparando os resultados com os dados observados.

Osman et al.(2014) utilizaram o gerador de tempo LARS-WG versão 5 para projetar mudanças de precipitação na região central do Iraque, Bagdá, para três períodos distintos (2011 a 2030, 2046 a 2065 e 2080 a 2089) com base em sete cenários de modelos de circulação geral (GCMs). Os autores utilizaram o teste estatístico de Kolmogorov-Smirnov (KS) para analisar a igualdade entre as distribuições de precipitação diária e distribuição de dias secos e chuvosos entre os dados observados e os dados obtidos pelo gerador de tempo. Os autores concluíram que o LARS-WG é um modelo eficiente para simular as precipitações diárias e extremas. Os resultados indicaram que nos período entre dezembro e fevereiro e entre setembro e novembro, há uma tendência de aumento na precipitação. No entanto, nos meses de março, abril e maio há uma tendência de diminuição da precipitação no futuro.

2.4. Processos meteorológicos relacionados à precipitação

A formação de nuvens e ocorrência da precipitação está relacionada com a dinâmica atmosférica e, os mecanismos envolvidos neste processo associado às mudanças climáticas são bastante complexos e uma fonte de incerteza nas simulações dos MCGs.

Segundo Barry & Chorley (2013) os processos envolvidos na formação de nuvens envolvem as mudanças adiabáticas na temperatura que ocorrem quando há deslocamento de ar para um ambiente com pressão menor, aumentando o volume, assim a transformação de energia reduz a temperatura e gera condensação, podendo levar a ocorrência de precipitação.

A forma como ocorre à ascensão do ar na atmosfera, influencia no tipo de nuvem e precipitação que irá ocorrer. As categorias agrupadas pelos autores são: ascensão gradual de ar sobre uma área ampla em associação com um sistema de baixa pressão; convecção térmica; ascensão por turbulência mecânica; ascensão sobre uma barreira topográfica.

O sistema de baixa pressão ou ciclone está associado à convergência de massas de ar contrastantes em relação à temperatura e cobre amplas áreas com extensão de 1500 a 3000 km. No encontro dessas massas de ar convergentes, há tendência de ascensão da massa de ar quente sobre a fria de forma lenta resultando em um resfriamento progressivo e lento e precipitações de longa duração e menor intensidade.

A convecção térmica ocorre em períodos quentes, o ar aquecido da superfície torna-se menos denso e sobe, fazendo com que seu resfriamento, especialmente na troposfera provoque instabilidade condicional ou convectiva, resultando em chuvas intensas de curta duração.

A ascensão por turbulência mecânica ocorre quando uma massa de ar quente fica presa sob uma camada de ar frio e o ambiente torna-se instável. A camada de ar mais pesada desce provocando ascensão violenta da massa de ar presa, provocando precipitações bastante fortes.

O ar aquecido ascende sobre uma barreira orográfica quando um obstáculo como um morro ou montanha, desvia-o, forçando a subir e assim resfriando e podendo resultar em ocorrência de precipitação.

2.5. Sazonalidade dos fenômenos

No Rio Grande do Sul a atuação dos sistemas atmosféricos varia sazonalmente, com alguns sistemas mais atuantes nas estações frias e outros mais atuantes nas estações quentes.

A precipitação resultante, de um modo geral, está relacionada à maior ou menor atuação de sistemas frontais e sistemas convectivos de mesoescala, entre outros como ocorrência de ciclones e circulação de brisa. Também há atuação de fenômenos de escala global como o ENOS (El Niño-Oscilação Sul) e ODP (Oscilação Decadal do Pacífico).

A passagem de frentes polares, relacionada ao deslocamento do sistema de alta pressão polar, segundo Cavalcanti & Kousky (2009) quando interagem com o ar úmido e quente tropical produzem fortes chuvas, causando precipitação excessiva. Segundo os autores a passagem de frentes frias ocorre durante todo o ano, mas são mais frequentes de junho a setembro.

A formação de frentes quentes é influenciada, principalmente, pelo centro de alta pressão sobre o oceano Atlântico Sul (anticiclone do Atlântico Sul) que atua durante todo o ano e é bastante úmido e quente. De acordo com Nimer (1989) este anticiclone hora se aproxima hora se afasta do continente associados às variações sazonais de temperatura. Segundo Grimm (2009), na região sul a penetração é maior no semestre quente e tem atuação reduzida no semestre frio.

No inverno e nas estações de transição (primavera e outono), conforme Grimm (2009), o fluxo de umidade é predominantemente do Atlântico Sul, já no verão parte do vapor disponível para os processos envolvidos na precipitação vem dos trópicos.

A intensidade das chuvas no verão, de acordo com Britto et al.(2008), depende da quantidade de umidade que está associada a atuação da Zona de Convergência do atlântico Sul (ZCAS) que segundo Kousky (1988) é uma banda de nebulosidade orientada de noroeste-sudeste.

Outro sistema importante de acordo com Grimm (2009) é o centro de baixa pressão intermitente ao noroeste da Argentina e Paraguai e ao sul da Bolívia, é um sistema quente, e ajuda a intensificar os ventos de baixos níveis que conectam os trópicos com a região sul. Este sistema é menos intenso no inverno.

No semestre quente, de outubro a abril, há intensificação de complexos convectivos resultante da interação entre ventos de baixos níveis úmidos quentes vindos do norte com os ventos (jatos) de altos níveis de origem subtropical, que de acordo com Grimm (2009) intensifica os complexos convectivos de mesoescala (CCM's).

Os CCM's de acordo com Reboita et al. (2012), são aglomerados de nuvens de forma circular e de tempo de vida curto. E, correspondem a uma categoria extrema de um sistema convectivo de mesoescala (SCM) relacionado a tempestades extremas (Silva Dias et al., 2009).

Cabe salientar que, segundo Reboita et al. 2012, os sistemas convectivos de mesoescala (SCM) é o nome dado ao conjunto de sistemas que compreende os Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM's), as Linhas de instabilidade (LI) e os sistemas alongados.

Os sistemas alongados são mais lineares e persistentes que os CCM's e podem se desenvolver pela confluência de sistemas convectivos menores (Jirak et al., 2003). As LI correspondem a bandas de precipitação compostas por um conjunto de nuvens cumulonimbus alinhados e com deslocamento uniforme durante horas ou dias. (Silva Dias, 1987).

Campos e Eichholz (2011) analisaram sistemas convectivos que ocorreram no Rio Grande do Sul no período de 2004 a 2008. Segundo os autores, a maior ocorrência de eventos foi no período mais quente do ano, quando a sua ocorrência favorecida pelas condições de umidade e temperatura. Entretanto, os autores reforçam que os sistemas maiores e mais longos foram associados à passagem de frentes frias que favorecem as condições de instabilidade.

Os ciclones subtropicais, segundo Ynoue et al. (2017) têm características tanto tropicais quanto extratropicais, com núcleo quente em baixos níveis similar aos ciclones tropicais e frio em altos níveis similar aos ciclones extratropicais. No atlântico sul a região propícia à formação deste tipo de ciclone segundo os autores vai da costa sul a sudeste, e ocorre principalmente no verão.

Segundo Allaby & Allaby (1999), no verão devido ao maior aquecimento da superfície terrestre em relação ao mar, forma-se um gradiente de pressão que produz células de convecção com movimento ascendente do ar quente em direção ao mar no final da tarde, promovendo a denominada brisa marinha e um fluxo reverso a noite com a superfície mais fria, promovendo a brisa terrestre. Os autores limitam a atuação típica das brisas a cerca de 40 km da costa, mas salientam que os movimentos de ar associados podem ser detectados em uma faixa costeira muito mais ampla.

No estado do Rio Grande do Sul, Berlato e Cordeiro (2005) relatam que o El Niño produz precipitação pluvial acima da média climatológica em quase todos os meses do ano, com período de maior influência na primavera e início do verão e o fenômeno La Niña ocasiona precipitação pluvial abaixo da média climatológica (estiagem), sendo o período de maior influência também na primavera e início do verão.

No Rio Grande do Sul a fase fria com índices positivos da ODP tem relação com anomalias positivas de precipitação e a fase quente com índices negativos da ODP tem relação com anomalias negativas de precipitação, segundo Rebello (2006).

2.6. Influência das mudanças climáticas na drenagem urbana

Relacionado às mudanças climáticas e/ou variabilidade climática está o aumento ou redução da precipitação, a maior ou menor incidência de precipitações intensas, o aumento ou redução do número de dias chuvosos entre outras.

Segundo Todeschini (2012) o aumento na intensidade da precipitação pluvial compromete a capacidade de armazenamento e a eficácia na suavização do fluxo pelos sistemas de controle urbanos existentes.

Thielen et al. (2000) coloca que no caso de chuvas intensas em áreas urbanas superfícies impermeáveis podem se transformar em lagos temporário, aumentando localmente a evaporação, por outro lado os sistemas de drenagem transportam grande parte da água da chuva, tornando-a indisponível para processos de evapotranspiração.

Shepard (2005) observou que em áreas urbanas os processos de camada limite são modificados de várias maneiras e um destes mecanismos de alteração é através da criação de uma ilha de calor urbano. Segundo o autor as superfícies urbanas promovem o aumento da temperatura e o efeito de ilha de calor urbano, fornece uma fonte de ar instável que à medida que sobe, esfria e forma nuvens que produzem chuva. Considerando que o aumento da temperatura previsto no PBMC (2014) para a região sul é de 0,5 a 3° C até 2100, podem se intensificar estes efeitos de ilha de calor.

Sandink et al. (2016) em publicação recente no Canadá, com o objetivo de auxiliar nos processos de tomada de decisão, desenvolveram uma ferramenta computadorizada para a construção de curvas IDF incorporando mudanças climáticas. Os autores destacam os impactos dos eventos extremos em vários municípios urbanos Canadenses. No Canadá assim como é feito no Brasil, as curvas IDF são utilizadas na gestão dos recursos hídricos, e desenvolvidas assumindo estacionariedade nos dados, o que não leva em conta as mudanças climáticas. De acordo com os autores a ferramenta computacional desenvolvida permite aos usuários escolher entre 567 estações pré-carregadas, contendo pelo menos 10 anos de dados históricos observados, também podem ser introduzidos dados atualizados na construção das curvas IDF para cenários de projeção de 22 CGM's do AR5 para períodos entre 2006 e 2100.

Soluções específicas ligadas a tipos específicos de ocorrências extremas, conforme Blakely (2007), podem revelarem-se ineficazes em suportar os efeitos negativos das alterações climáticas na maioria das cidades. Segundo o autor, embora as cidades tenham estruturas de mitigação, tais como reservatórios de controle de cheias, bacias de retenção de inundação e obras de proteção como diques entre outras, estas precauções não consideram os riscos potenciais que as tendências atuais de mudanças climáticas podem trazer para uma cidade.

Dentro deste contexto o estudo realizado por Ramos (2010), que propõe a construção de curvas de IDF considerando cenários de alteração climática, contribui para melhorar a eficácia das estruturas de mitigação.

2.7. Equação de Chuvas Intensas - Desagregação

No âmbito acadêmico, alguns trabalhos estabelecem a relação da precipitação e sua respectiva duração e intensidade de forma simples e direta, identificando basicamente os eventos ocorridos e as consequências destes. Entretanto, outros trabalhos caracterizam as precipitações intensas de um local, ou uma região, de forma mais detalhada, através de análises estatísticas que permitem estabelecer a relação entre a intensidade e a duração destes eventos e a probabilidade deles ocorrerem novamente.

Bertoni e Tucci (2004) colocam que para o dimensionamento de obras hidráulicas, entre elas, sistemas de drenagem, galerias pluviais e dimensionamento de bueiros é preciso conhecer intensidade duração e frequência das precipitações máximas.

A determinação de curvas de intensidade duração e frequência (IDF), por exemplo, tem como objetivo a determinação da denominada chuva de projeto, que esta relacionada ao período de retorno de uma chuva intensa em um determinado local, a ser utilizada como entrada em modelos de simulação chuva-vazão.

Pfaffstetter (1957) realizou um estudo pioneiro nesta área no Brasil que reuniu registros pluviográficos de 98 postos do Serviço de Meteorologia do Ministério da Agricultura (atual Instituto Nacional de Meteorologia). Este trabalho é utilizado como referência para projetos de dimensionamento de obras hidráulicas. Os registros gráficos utilizados na realização do trabalho foram provenientes de pluviógrafos convencionais, onde foram levantadas as precipitações que excediam um determinado limiar, registradas em intervalos com duração de 5, 15 e 30 minutos e de 1, 2, 4, 8, 14, 24 e 48 horas. O limiar foi estabelecido pelo autor de modo a considerar, em média, três eventos por ano para cada duração. Foi efetuada a análise de frequência dos eventos e ajuste de fórmulas empíricas, a qual se ajustou a distribuição estatística de Gumbel, que permitiu a representação através de curvas onde se tem as precipitações relacionadas a os tempos de recorrência.

Na construção de uma curva IDF, de acordo com Bertoni e Tucci (2004), é necessário ajustar uma distribuição estatística aos maiores valores da série. A construção de uma série pode ser feita pela seleção dos maiores valores anuais ou pela seleção dos maiores valores acima de um limiar pré-definido como sendo uma precipitação intensa para determinada duração considerada. Segundo os autores as curvas IDF, além da forma gráfica, podem ser expressas por equações genéricas como na equação (1) apresentada na sequência:

$$i = \frac{a \cdot T r^b}{(t+c)^d} \quad (1)$$

Sendo que: i é a intensidade da precipitação geralmente expressa em mm/h, T_r é o tempo de retorno em anos, t é a duração desta precipitação em minutos e a , b , c , d são os parâmetros da equação que serão determinados para cada local.

Bemfica (1999) determinou curvas IDF, para duas regiões distintas do município de Porto Alegre (região do Aeroporto Salgado Filho e região do Jardim Botânico), utilizando série de dados dos postos pluviométricos pertencentes respectivamente ao 5º Comando Aéreo Regional (COMAR) e 8º DISME/INMET, cabendo salientar que a estação do Aeroporto apresentou descontinuidade na série e imprecisão no traçado dos pluviogramas. A autora utilizou a série de dados do 8º DISME/INMET, no período de 1974 a 1998. Para tanto foram selecionados os maiores eventos anuais ocorridos nas durações de 5, 10, 15, 30, 60, 120, 240, 360, 720, 1080 e 1440 minutos. A distribuição estatística que melhor se adequou após o cálculo dos parâmetros das distribuições pelos métodos dos momentos e da máxima verossimilhança foi a de Gumbel. Cabe salientar que a equação de Bemfica é indicada para região sugerida pelo manual de drenagem urbana de Porto Alegre (2002).

Weschenfelder et al. (2015) definiu novas curvas IDF para Porto Alegre, os resultados foram publicados pelo SGB-CPRM dentro das atividades do Projeto Atlas Pluviométrico do Brasil. As equações correspondem a atualização da equação estabelecida por Bemfica (1999) e recomenda-se sua utilização nas regiões de Porto Alegre sugeridas no Plano Diretor de Drenagem Urbana do Município de Porto Alegre (Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2002). A série de dados do 8º DISME/INMET compreendeu o período de 1974 a 2014. Foram selecionados os maiores eventos anuais ocorridos nas durações de 5, 10, 15, 30, 45, 60, 120, 180, 240, 480, 840 e 1440 minutos. A distribuição de frequência ajustada aos dados foi a Exponencial, com os parâmetros calculados pelo método dos momentos-L.

Uma curva IDF é preferencialmente construída com registros contínuos de precipitação obtidos em equipamentos denominados pluviógrafos, sejam eles convencionais ou automáticos, o que permite levantar os eventos ocorridos nas mais variadas durações. Mas no caso de não existirem este tipo de registro podem ser utilizados os dados de pluviômetros que correspondem a dados acumulados diários. Neste último as curvas IDF são estabelecidas a partir da desagregação das precipitações máximas diárias utilizando as relações estabelecidas entre a precipitação de 24 horas e precipitação de durações inferiores.

Back et al.(2012) determinou relações de desagregação para diferentes locais no estado de Santa Catarina para durações entre 5min e 24 horas. O autor chegou a diferentes relações médias para as relações entre 24horas/1dia que variaram entre 1,11 e 1,24. Segundo revisão realizada pelo autor, Occhipinti & Santos (1966) utilizando séries de dados no período

de 1928 a 1965 em São Paulo observaram esta relação variando de 1,13 a 1,15 com média de 1,14, valor usado na maioria dos trabalhos, com desagregação de chuvas diárias e recomendado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB).

Um estudo realizado por Zuffo (2004) analisou a validade da equação IDF de Campinas determinada a partir de registros de uma série histórica antiga de 1946-1978, época em que a ocupação do solo e urbanização eram crescentes. O autor primeiramente realizou análise de tendência dos totais pluviométricos anuais de diferentes períodos e encontrou como resultado que no período de 1946 a 1978 havia uma tendência ascensional. Ao analisar todo o período de 1941 a 2003 verificou que a tendência ascensional se manteve, porém em menor grau. Por fim, ao analisar o período mais recente de 1970 a 2003 verificou-se que a tendência foi decrescente, mas pequena e praticamente estacionária, que conforme o autor pode indicar estabilização dos efeitos de crescimento urbano sobre as precipitações. Num segundo momento por desagregação das precipitações máximas diárias utilizando as relações estabelecidas entre a chuva de 24 horas e chuvas de durações inferiores, definiu duas curvas IDFs uma para todo o período e outra para período mais recente e comparou com a curva IDF existente que corresponde ao período de 1946-1978. Segundo o autor a equação atual de Campinas subestima, sistematicamente, as precipitações de projeto, o que implica em subdimensionamentos de obras hidráulicas e resultam em maior número de alagamentos, inundações e enchentes urbanas.

Ramos (2010) obteve curvas IDF para diferentes cenários, a autora primeiramente obteve uma curva IDF utilizando uma série de dados obtida a partir de registros gráficos de pluviógrafo, para tempos de retorno entre 2 e 100 anos, para a estação localizada no Aeroporto Internacional de Recife, no período de 1968 a 2007. Na sequência obteve as relações entre a precipitação de 24 horas e durações inferiores de 5, 10, 15 e 30 minutos e 1, 2, 4, 6, 12 e 18 horas, para obtenção dos coeficientes de relação. Considerando que estas relações são fixas estes coeficientes permitiram a desagregação de dados diários de precipitação fornecidos de forma sintética pelo gerador estocástico (LARS-WG) e a construção de curvas IDF para os diferentes cenários considerados.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Área e período de estudo

A área de estudo deste trabalho abrangeu a região da sub-bacia 87 (Figura 3). A região está localizada no estado do Rio Grande do Sul, aproximadamente entre as latitudes 29°05' e 32°13' Sul e longitudes 54°14' e 49°41' Oeste. A sub-bacia 87 insere-se na bacia número 8, denominada Bacia do Atlântico Sul – Trecho Sudeste, de acordo com a sub-divisão do Brasil em bacias, proposta pelo Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE), em fevereiro de 1972 (Galvan e Meneses 2005).

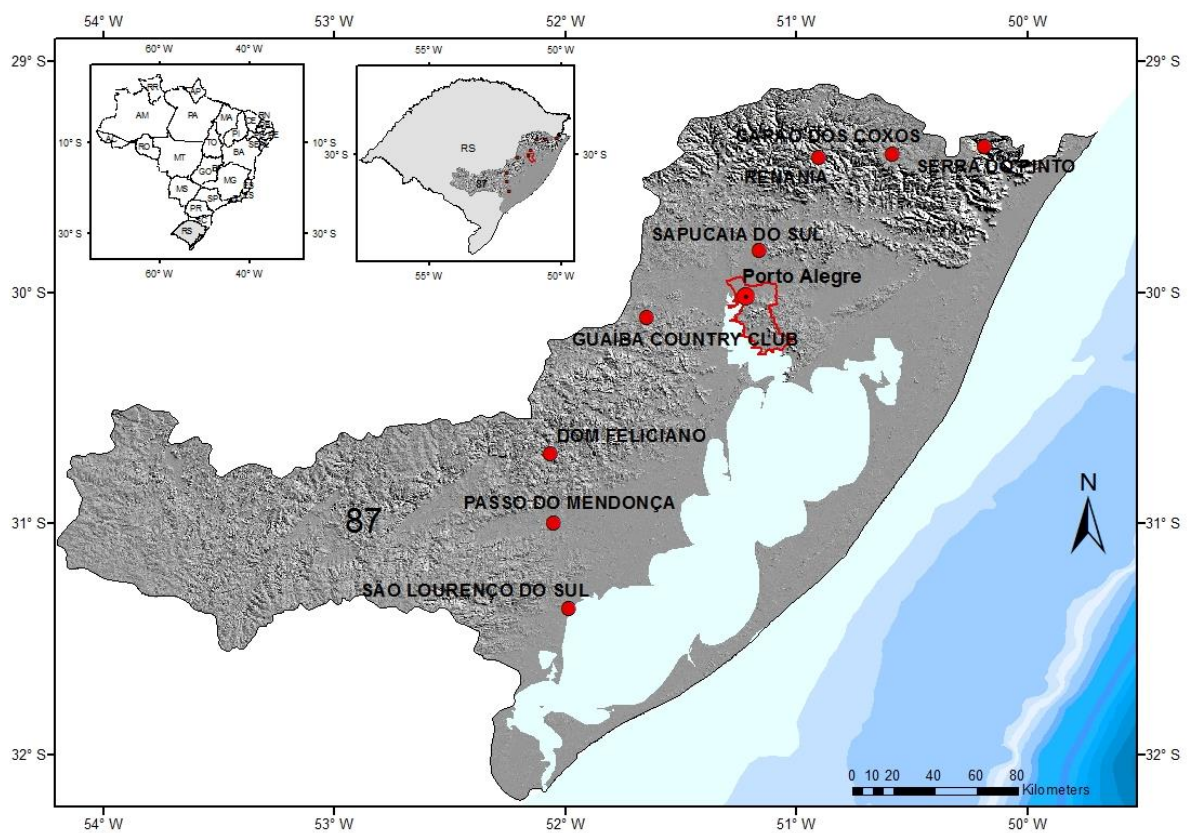


Figura 2. Estações pluviométricas utilizadas no estudo da análise de tendências e estação utilizada pluviográfica utilizada na projeção de cenários.

A superfície de drenagem da sub-bacia é da ordem de 58.415 km² e possui como corpo d'água principal a Laguna dos Patos. Seus principais formadores são as sub-bacias do Lago Guaíba e do Camaquã. O Lago Guaíba, por sua vez, recebe a contribuição das sub-bacias dos rios Gravataí, Caí, Sinos, e Baixo Jacuí. A sub-bacia Litoral Norte, também, se insere na sub-bacia 87, interligando-se com o Oceano Atlântico através da barra do rio Tramandaí. O clima da região é classificado, segundo Köppen, como zona climática fundamental temperada (C), tipo fundamental úmido (f) e variedade específica subtropical (Cfa) com precipitação pluvial

bem distribuída ao longo do ano e temperatura média do mês mais quente superior a 22°C (Moreno, 1961).

A projeção de cenários com base na curva IDF de Weschenfelder et al. (2015) foi efetuada para o município de Porto Alegre, capital do Estado do Rio Grande do Sul e, situa-se na Latitude 30°01'58" S e Longitude 51°13'48" W. O município apresenta área de 497 km² (IBGE, 2010) e localiza-se a uma altitude média de 10 metros.

No período de estudo, para a análise de tendências da precipitação pluvial, foram selecionadas as estações localizadas na sub-bacia 87, que apresentaram dados em um período superior a 50 anos, a exceção da estação de Guaíba Country Club que devido a falhas apresentava somente 45 anos de dados, mas foi mantida por ser próximo de Porto Alegre. Foram utilizadas estações pluviométricas da Agência Nacional de Águas (ANA), operadas pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), estações pertencentes à Companhia Estadual de Energia Elétrica do Rio Grande do Sul (CEEE-RS), e por fim dados da estação meteorológica de Porto Alegre, pertencente ao 8° Distrito de Meteorologia do Instituto Nacional de Meteorologia (DISME/INMET), situadas na sub-bacia 87. As estações utilizadas, o período correspondente e o órgão ao qual pertencem estão listadas na Tabela 1.

Tabela 1. Estações pluviométricas com os respectivos períodos de dados utilizadas na identificação da análise de tendências de precipitação pluvial no âmbito da sub-bacia 87.

CÓDIGO	NOME	MUNICÍPIO	PERÍODO	FUNTE
02950010	Capão dos Coxos	São Francisco de Paula	mai/47 dez/13	CEEE
03052004	Dom Feliciano	Dom Feliciano	jan/55 set/13	CEEE
03051005	Guaíba Country Club*	Guaíba	jan/66 dez/14	ANA
03152011	Passo do Mendonça	Cristal	jan/44 dez/14	ANA
03051011	Porto Alegre	Porto Alegre	jan/61 dez/14	INMET
02950026	Renânia	Gramado	ago/44 dez/13	CEEE
03151003	São Lourenço do Sul	São Lourenço do Sul	jan/43 dez/14	ANA
02951028	Sapucaia do Sul	Sapucaia do Sul	jan/64 dez/14	ANA
02950034	Serra do Pinto	Torres	jan/60 out/13	CEEE

*Estação com somente 45 anos de dados devido a falhas.

Para aplicação do gerador de séries sintéticas LARS-WG, foi utilizado como linha de base o período de 1974 a 2014, que compreendeu o intervalo de tempo da série de dados pluviográficos disponíveis da estação meteorológica de Porto Alegre, com o qual foi construído a IDF definida por Weschenfelder et al. (2015).

3.2. Fluxograma com síntese da metodologia

O fluxograma com sintetização da metodologia adotada no presente estudo (Figura 2) é detalhado nos itens de 3.3 a 3.6.

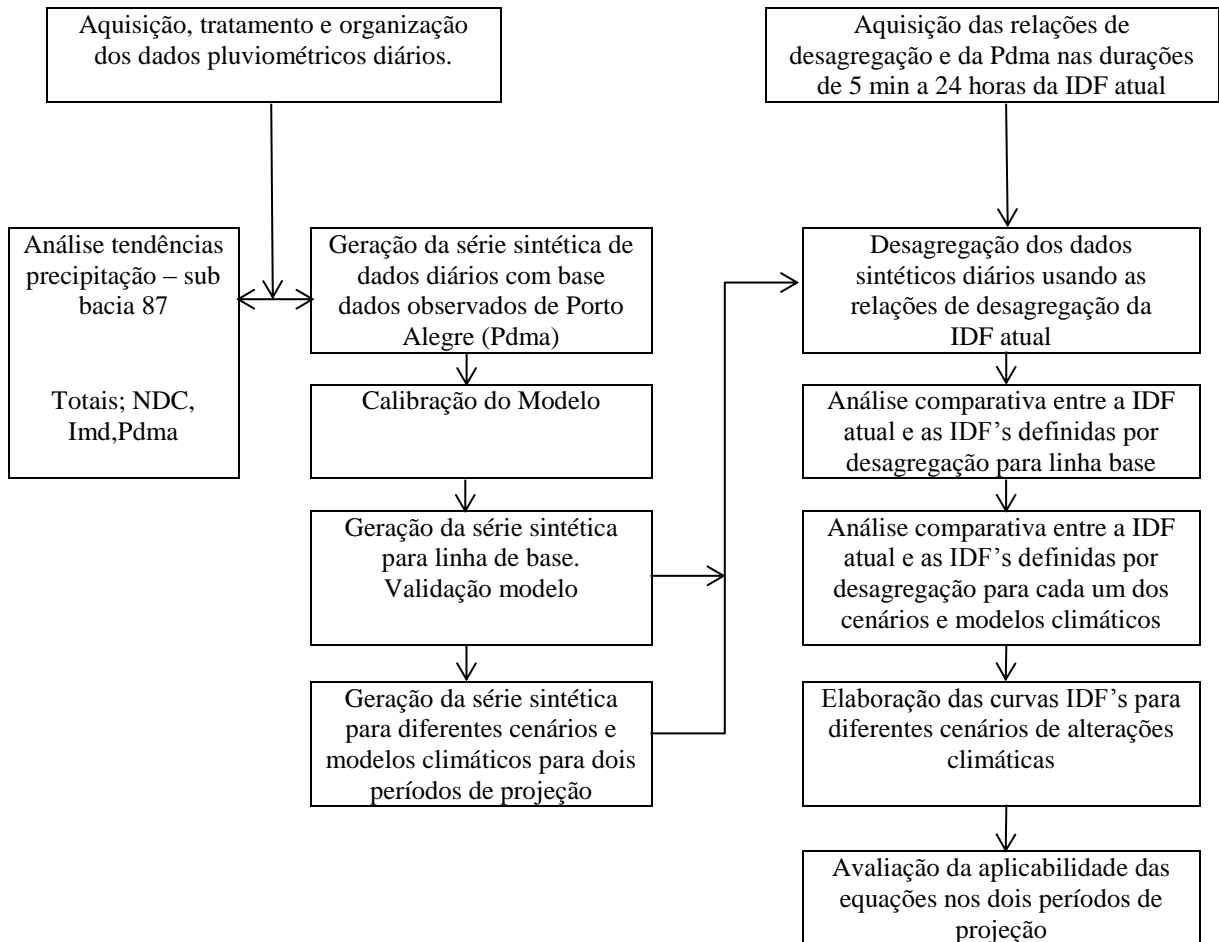


Figura 3. apresenta o fluxograma com sintetização da metodologia adotada no presente estudo para elaboração da dissertação. No fluxograma: Totais = ao totais anuais e trimestrais; NDC= número de dias de chuva, Imd= intensidade média diária; Pdma= precipitação diária máxima anual; e curva IDF = curva de intensidade duração e frequência.

3.3. Aquisição e tratamento dos dados

Primeiramente foi realizada a validação dos dados, visando descartar dados pluviométricos acumulados e errôneos. Na sequência foi feito o preenchimento de falhas. Ambos procedimentos foram efetuados no *software* de homogeneização de dados Hidroplu Versão Beta 4.1, desenvolvido pela ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica).

A validação consistiu em realizar análise comparativa dos totais e máximos mensais das estações analisadas com estações de apoio no entorno. As estações de apoio foram selecionadas com base nos coeficientes de correlação entre os dados mensais da série histórica da estação analisada e a série histórica das estações de apoio. Considerou-se, também, na análise a distância entre as estações e a altitude das mesmas.

Para escolha das estações de apoio utilizou-se, também, como ferramenta adicional as curvas duplo acumulativas. Para tanto plotou-se os totais de precipitação acumulada da estação analisada e os totais das estações de apoios. Se o resultado obtido foi uma reta, se considerou as estações de apoio adequadas. Caso o resultado obtido fosse diferente, ou seja, se houve qualquer mudança de declividade ou desvio na reta avaliou-se um possível problema nos dados e até mesmo a exclusão da estação como apoio.

O preenchimento de falhas foi efetuado após avaliação dos dados sugeridos pelo *software* Hidroplu, que considerou tanto os dados da série histórica para a estação analisada, quanto os dados das estações de apoio para um determinado mês. Salienta-se que não foi efetuado preenchimento nas falhas de dados diários, somente nos mensais, com no máximo três meses de falha, e nos anuais quando superior a três meses, sendo o dado considerado estimado.

A estação de Porto Alegre apresentou um período de falha de três anos, compreendido entre 1985 e 1987, nos dados disponíveis online. Para o preenchimento destas falhas obteve-se os dados originais junto à sede do 8° DISME/INMET.

3.4. Análise de tendência

Finalizada a etapa inicial foi executada a análise de tendência dos dados pluviométricos das estações, com pelo menos 50 anos de dados da sub-bacia 87, incluindo a estação pluviométrica de Porto Alegre.

Visando identificar tendências nas séries de precipitação pluvial foi utilizado o teste de Mann Kendall. Foram analisadas as tendências considerando-se índices anuais e sazonais. Os índices anuais considerados foram: Total anual, Precipitação diária máxima anual (Pd_{ma}), Número de dias chuvosos no ano (NDC), Intensidade média diária (Imd), que corresponde ao Total anual dividido pelo NDC anual. Na sequência a análise de tendência sazonal considerou os totais trimestrais e NDC trimestrais, considerando o trimestre astronômico. Além da análise das tendências em níveis anual e sazonal, também, analisou-se as tendências considerando o período mensal.

Este método testa se existe uma tendência nos dados de uma série temporal. É um teste não paramétrico. Os n valores de séries temporais ($X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$) são substituídos por suas classificações relativas ($R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$) (começando em 1 para o menor até n). (Helsel, 2002).

A estatística de teste (S) é:

$$S = \sum_i^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sinal}(x_j - x_i) \quad (2)$$

Onde o sinal de $(x_j - x_i)$ pode ser 1, 0 e -1. Será um (1) quando $(x_j - x_i)$ for maior do que zero(0); zero(0) quando $(x_j - x_i)$ for igual a 0; e menos um (-1) quando $(x_j - x_i)$ for menor do zero(0). Dado que x_j e x_i são os valores nos anos j e i respectivamente.

Se a hipótese nula H_0 é verdadeira, ou seja, a série não apresenta tendência, então S é aproximadamente normalmente distribuído com $\mu = 0$ e $\sigma = n(n-1)(2n+5)/18$.

A estatística z é, portanto, $z = |S| / \sigma^{0.5}$. Valores críticos da estatística de teste para vários níveis de significância podem ser obtidos a partir de tabelas de probabilidade normais. Um valor positivo de S indica que há uma tendência crescente e vice-versa.

Para definir se existe ou não tendência foi aplicado o teste de hipótese para Mann Kendall a um nível de significância de 5%. Assim, se p-valor é maior que 0,05 a hipótese nula (H_0), não existe tendência nos dados, é aceita e se o p-valor for $< 0,05$ H_0 é rejeitada e aceita a hipótese alternativa (H_1), ou seja há tendência nos dados.

A aplicação do teste de Mann Kendall usado na identificação de tendências em séries temporais permitiu a realização da correlação não-paramétrica entre o número de ordem dos

dados classificados e os dados de precipitação. Se uma tendência linear foi identificada é possível medir a força da relação monótona entre as variáveis, a partir na análise do Tau de Mann Kendal (Helsel, 2002). O Tau é o coeficiente de correlação de Kendall e é dado pela razão entre a estatística S e D, sendo que D corresponde ao máximo valor possível da estatística S. O Tau estabelece uma relação entre a diferença do número de pares concordantes e o números de pares discordantes pelo produto entre o tamanho da amostra e o tamanho da amostra-1, dividido por 2. Este procedimento é baseado em posição e é, por conseguinte, resistente ao efeito de um pequeno número de valores incomuns. A vantagem é que esta técnica é pouco afetada por erros de dados brutos, outliers ou falhas nos registros.

Os resultados do teste de Mann Kendall para todas as estações foram apresentados em tabelas com os valores de Tau e do p-valor. Um Tau positivo indica tendência de aumento e um Tau negativo indica tendência de diminuição. No entanto, a decisão final da existência ou não da tendência está relacionada ao teste de hipótese.

Para fins de visualização foram confeccionados gráficos dos totais trimestrais e anuais, máximas trimestrais e anuais e NDC trimestrais e anuais, aos quais foram adicionadas linhas de tendência linear para cada uma das estações analisadas. As escalas do eixo y que corresponde à precipitação foram fixadas para os totais trimestrais em todas as estações variando de 0 a 900 mm, para os máximos trimestrais em todas as estações variando de 0 a 200 mm e para os NDC variando de 0 a 100 dias. Nos totais anuais a escala foi fixada em 3000 mm e nos máximos anuais e NDC anual em 200 dias. A fixação da escala foi feita em função da ordem de grandeza da precipitação nos trimestres e no ano, e de forma a permitir a comparação entre as estações.

Para a estação de Porto Alegre, além das análises de tendência considerando os índices anuais, sazonais e mensais citados no item anterior, foi verificada a tendência em diferenças faixas de alturas de precipitação, visando identificar tendências em períodos de menores durações. Esta estação, além dos dados diários acumulados coletados em um pluviômetro convencional, também, dispõe de informações horárias em registros gráficos obtidos em um pluviógrafo, o que permitiu também análise na tendência de aumento dos máximos sub-diários para durações entre 5 minutos e 24 horas.

Neste estudo quando nos referimos à altura de precipitação corresponde à altura precipitada na forma líquida, precipitação pluvial dada em milímetros (mm). Salienta - se que os aparelhos utilizados para realização da medição direta da precipitação são denominados pluviômetros e pluviógrafos e para medição indireta radares e satélites.

Por convenção a altura de precipitação de 1 mm que cai em um metro quadrado de área equivale a um volume precipitado de 1 litro ou 1 dm^3 . De acordo com Irani et al. (2001) Pluviômetros geralmente tem área de captação de 400 cm^2 ou 500 cm^2 e permitem medir a lamina d'água de 1mm que correspondem a um volume de 40 cm^3 ou 50 cm^3 respectivamente. Os pluviógrafos cujos registros são contínuos, em um gráfico, permitem o estudo da relação intensidade duração-frequência geralmente possuem uma superfície receptora de 200 cm^2 podendo apresentar áreas de captação maiores.

3.5. Geração da série sintética de dados – Simulação da linha de base

Com base no período de dados utilizados na equação IDF, definida para Porto Alegre pelo Weschenfelder et al. (2015), foi gerada uma série de 100 anos de dados de precipitação diária adotada como linha de base. As séries sintéticas foram geradas considerando seis opções de semente. Para tanto, foi utilizado o gerador de séries de tempo LARS-WG.

A semente corresponde ao ponto de partida no qual o gerador começou a gerar a série sintética. De acordo com Detzel (2009), uma mesma semente resultará sempre em uma mesma sequência de números pseudo-aleatórios. No LARS-WG tem-se implementado as sementes: 541, 1223, 1987, 2741, 3571 e 4409, que deram início a geração da série sintética. Estas séries foram geradas com as mesmas características estatísticas dos dados observados, mas para cada opção de semente elas são diferentes em uma base dia-dia.

O LARS-WG, versão 5, foi desenvolvido pelo pesquisador Mikhail Semenov, do *Rothamsted Research*, e atualizado em agosto de 2015. Para a calibração do programa LARS-WG utiliza séries de dados climatológicos, diários observados, de um determinado local, para calcular um conjunto de parâmetros referentes às distribuições de probabilidade das variáveis observadas. Com base nos parâmetros armazenados foram geradas séries de dados sintéticos de comprimento arbitrário e para o clima atual. Este procedimento permitiu avaliar a capacidade do LARS em simular a precipitação através da análise comparativa entre as características estatísticas da série de dados observados e da série de dados sintéticos.

Os procedimentos realizados no LARS-WG para introdução dos dados de entrada e os arquivos de saída e processamento são apresentados no Apêndice B.

A entrada de dados no LARS-WG consiste de dois arquivos. O primeiro contendo, informações da estação utilizada (nome, latitude, longitude, altitude) e informações do arquivo de entrada de dados (nome e cabeçalho). O segundo arquivo contém informações dos dados observados diários, tais como, ano, dia juliano, temperaturas mínima e máxima,

precipitação e radiação solar, no período de 1974-2014. Os arquivos de saída dos dados sintéticos gerados, também, consistem em dois arquivos, um contendo as informações do arquivo de saída que a priori é a mesma do arquivo de entrada, e outro com as informações dos dados sintéticos gerados, similar a dos dados observados. No arquivo com as informações dos dados sintéticos, tem-se também o ano, dia juliano, temperaturas mínima e máxima, precipitação e radiação. Salienta-se que neste arquivo de dados sintéticos ao invés do ano real do evento, como 1974, por exemplo, para o caso dos dados observados, teremos o ano 1 correspondendo ao primeiro ano da série da linha de base de 100 anos e assim sucessivamente até o ano 100, último ano da série.

O valor e a ocorrência das variáveis climáticas no LARS-WG é dada por histogramas ajustados aos dados observados que consistem em uma distribuição semi-empírica. A distribuição semi-empírica após o cálculo da média, variância, desvios, coeficientes de assimetria e curtose permitem aproximar uma distribuição de probabilidade e o cálculo dos parâmetros para esta distribuição.

A distribuição semi-empírica, segundo Semenov e Stratonovitch (2010), é definida como uma função de distribuição de probabilidade acumulada ou função acumulada de probabilidade construída com base em um histograma com 23 intervalos fixos. Segundo os autores cada variável climática corresponde a uma probabilidade dada por:

$$v_i = \min\{v: P(v_{\text{obs}} \leq v) \geq p_i\} \quad i = 0, \dots, n \quad (3)$$

Onde P denota a probabilidade baseada nos dados observados v_{obs} . Para cada variável climática, 2 valores, p_0 e p_n são fixados como $p_0 = 0$ e $p_n = 1$ com valores correspondentes a $v_0 = \min\{v_{\text{obs}}\}$ e $v_n = \max\{v_{\text{obs}}\}$. Para uma aproximação mais precisa são atribuídas probabilidades próximas de zero (0) para valores extremamente baixos e probabilidades próximas de 1 para valores extremamente altos. Os demais valores de probabilidade são distribuídos uniformemente na escala de probabilidades.

Pinto e Naghettini (2007) afirmam que se a variável aleatória X , como é o caso das variáveis climáticas, pode assumir qualquer valor real, ela é do tipo contínuo e a probabilidade de ocorrência desta variável pode ser dada por $f_x(x)$ ou função de densidade de probabilidade (FDP). A área entre os limites a e b da função densidade de probabilidade (Figura 4) dá a probabilidade da variável aleatória X estar compreendida no intervalo considerado.

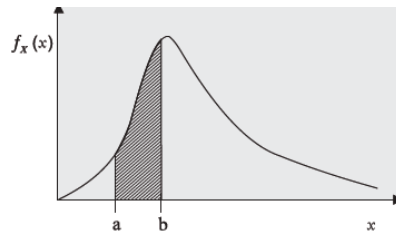


Figura 4. Função Distribuição de Probabilidade (FDP). Fonte: Naghettini e Pinto, 2007.

A função equivalente à função de distribuição de probabilidade que indica à probabilidade de X (variável aleatória contínua) ser menor ou igual a x (probabilidade de não superação) é dada pela função $F_x(x)$ que corresponde à função acumulada de probabilidade (FAP) ou função de distribuição de probabilidade acumulada (Figura 5).

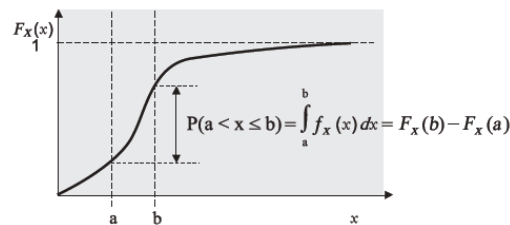


Figura 5. Função Acumulada de probabilidade (FAP). Fonte: Naghettini e Pinto, 2007.

A capacidade do LARS-WG representar os dados da estação de Porto Alegre, validação do modelo, foi realizada através do teste de KS. O teste verifica o ajuste entre a distribuição empírica, representada pelo o histograma dos dados observados de precipitações diárias e a distribuição dos dados sintéticos, representado pelo histograma dos dados sintéticos. Um valor de p , adotado no teste é usado para aceitar ou rejeitar a hipótese que os dois conjuntos de dados, observados e sintéticos sejam provenientes da mesma distribuição.

Um p -valor muito baixo indica que deve ser rejeitada a hipótese de que as séries sejam provenientes da mesma distribuição e, por consequência, o clima simulado pela série sintética não corresponda ao clima observado. O p -valor de 0,05 é o nível de significância comum utilizado na maioria das estatísticas, mas no LARS-WG o limite de significância de 0,01 é usado como aceitável.

Além do p -valor também deve ser avaliado o valor da estatística do teste de KS, cujo valor calculado deve ser menor que o valor tabelado. É definido na bibliografia que para uma série com $N=40$ a um nível de significância de 0,05 o valor tabelado é 0,21 e para um nível de significância de 0,01 o valor tabelado é 0,252 e no caso de séries com $N>40$ é dado por $1,36/\sqrt{N}$ para 0,05 e $1,63/\sqrt{N}$ para 0,01.

Foram atribuídas categorias aos resultados, obtidos com o LARS-WG, da mesma forma que Osman et al. (2014) que atribuiu diferentes categorias de avaliação a performance deste modelo em simular as distribuições de precipitação nos trimestres secos e chuvosos e nas precipitações diárias. As categorias de avaliação se basearam nos resultados obtidos para p-valor e para estatística do teste de KS variando de ajuste perfeito para um p-valor de 1 ou muito próximo de 1 e estatística de KS menor que 0,1 e ajuste pobre com p-valor de 0 ou próximo de zero e KS maior que 0,5.

As análises estatísticas realizadas no LARS-WG foram apresentadas juntamente com os resultados obtidos para linha de base no Apêndice B.

3.6. Desagregação dos dados sintéticos gerados para linha de base de 100 anos

A série sintética de precipitação consistiu de dados diários, gerados para diferentes sementes, entretanto, para este estudo foram necessários dados sub-diários. Assim, de posse das razões entre as alturas de chuvas de diferentes durações das relações IDF, obtidas da IDF atual definida por Weschenfelder et al. (2015), constantes na Tabela 2, foi adotada a metodologia de Pinto (2013). Através desta metodologia, por meio de uma função linear, transformaram-se as precipitações diárias em chuvas de 24 horas e na sequência, as precipitações de 24 horas foram desagregadas em alturas de chuva de menor duração, estabelecendo assim uma curva IDF.

As etapas da metodologia de Pinto (2013) consistiram em organizar os dados da série de precipitações máximas diárias observadas, neste caso para a série sintética de precipitações diárias, obtida para 100 anos no LARS-WG. Na sequência realizou-se a análise de frequência das precipitações diárias máximas anuais, a qual permitiu calcular os quantis de precipitações diárias associadas à diferentes tempos de retorno. Os quantis de precipitações diárias foram transformadas em precipitações de 24 horas e, em seguida, desagregadas em precipitações sub-diárias. Os quantis obtidos a partir da desagregação representam as relações Intensidade-Duração-Frequência da série sintética. Definida as relações Intensidade-Duração-Frequência da Linha de base foi realizada a análise comparativa com a IDF atual.

Um exemplo de todo o processo é apresentado em detalhe no Apêndice C. Resumidamente as etapas são as seguintes:

- i. Separação do máximo anual de cada ano, série de precipitações diárias máximas anuais (Pd_{ma});

- ii. Realização da análise de frequência e escolha da distribuição que melhor represente os dados gerados;
- iii. Desagregação da Pdma em diferentes durações;
- iv. Comparação entre os quantis desagregados e os quantis calculados para as diferentes durações, obtidos com os quantis da IDF atual, através da análise dos desvios percentuais, desvios percentuais médios, e desvios percentuais absoluto médio.

Na análise de frequência, segundo Naghettini e Pinto (2007), foi necessário avaliar se os dados da série são independentes, homogêneos e estacionários. Também foi necessário identificar a presença de *outliers*. Na sequência foi estimada a distribuição empírica, estimativa dos parâmetros e verificação da aderência da distribuição.

Neste estudo foi aplicada a metodologia proposta por Pinto (2013) que consistiu na aplicação dos testes de Grubbs e Beck para verificação de *outliers*, teste de NERC para verificação da aleatoriedade, teste de Wald e Wolfowitz para verificação da independência, teste de Mann e Whitney para verificação da homogeneidade e teste de Spearman para avaliação da estacionariedade.

Na estimação da distribuição empírica primeiramente ordenou-se de forma decrescente a série e calculou-se a posição de plotagem pela fórmula de Weibull, ou seja, $P(P > p) = m/(N + 1)$, sendo que m é número de ordem e N o tamanho de amostra.

Na sequência foram calculados os momentos-L amostrais das séries por duração e estimados os parâmetros das distribuições teóricas candidatas a representar a série.

Na escolha da distribuição teórica que melhor representa a distribuição empírica, além da análise visual no gráfico de probabilidade de Gumbel foi realizado o teste de aderência de KS.

Após escolher a distribuição teórica foram definidos os quantis ou valores associados a uma probabilidade de excedência para diferentes tempos de retorno. O maior tempo de retorno utilizado para estimar o quantil no caso dos dados sintéticos da linha de base, foi de 100 anos.

Concluída a análise de frequência da série sintética diária conforme demonstrado no Apêndice C, foi feita a desagregação propriamente dita, que visa à transformação dos dados diários em precipitações com duração de 24 horas e sub-diárias.

De posse dos quantis calculados para a distribuição exponencial, obteve-se a precipitação diária associada aos tempos de retorno de 1 a 100 anos, a transformação destes

quantis diários em 24 horas foi realizada utilizando a relação 24h/1dia de 1,14, valor médio recomendado pela CETESB.

Posteriormente as precipitações de 24 horas são desagregadas em alturas de chuva de menor duração, utilizando as relações de desagregação definidas para Porto Alegre por Weschenfelder et al. (2015). As relações de desagregação correspondem à mediana da razão entre alturas de precipitação para intervalos de durações menores/e a altura de precipitação em 24h e 1h calculadas para os tempos de retorno de 2 a 100 anos e são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Relações entre as alturas de chuvas de diferentes durações para estação de Porto Alegre. Fonte: Weschenfelder et al. (2015).

Relações de Desagregação								
14h/24h	8h/24	4h/24h	2h/24h	1h/24h	45min/1h	30min/1h	15min/1h	5min/1h
0,85	0,67	0,56	0,51	0,47	0,91	0,77	0,52	0,26

Uma demonstração detalhada do procedimento de desagregação dos quantis calculados com base nos sintéticos gerados para 100 anos, para a semente 2741, escolhida como exemplo, foi apresentada na sequência dos procedimentos realizados para análise de frequência do Apêndice C.

A análise comparativa, item iv, foi realizada pelo desvio percentual que expressa a diferença entre o valor da IDF atual e o valor da IDF da linha de base em percentagem, obtido para as diferentes sementes para cada uma das durações e diferentes tempos de retorno. A equação para o cálculo do desvio percentual (DP) é bem simples e expressa por:

$$DP = ((V_f - V_i)) / V_i * 100 \quad (4)$$

Onde V_f ou valor final é o valor do quantil da linha de base e V_i ou valor inicial o valor do quantil da IDF atual. O desvio absoluto percentual é o desvio percentual em módulo.

3.7. Simulação de cenários de alterações climáticas projetados para dois períodos

As simulações resultaram em um total de 216 trajetórias, os quais foram utilizados três cenários A2, A1B e B1 e dois períodos de projeção de 2046-2065 e de 2080-2099, detalhados na Tabela 3 e 6 modelos listados na Tabela 4, detalhados no item 2.3.1 da revisão bibliográfica, o que permitiu a análise comparativa entre os resultados. Um exemplo de como este procedimento foi realizado no LARS-WG é mostrado no Apêndice D.

Os cenários indicam o que pode ocorrer no futuro em diferentes condições de avanço tecnológico e social, aumento demográfico e emissões de GEE. Na Tabela 3 o cenário mais

pessimista é o cenário A2 com manutenção dos padrões de emissão dos GEE observados nas últimas décadas, o mais otimista o cenário B1 com estabilização das emissões e o A1B corresponde a um cenário intermediário.

Na Tabela 4 são apresentados os modelos selecionados, que estão implementados no LARS-WG 5, as informações da instituição que opera estes modelos, o país de origem destas instituições e a resolução espacial. Foram escolhidos estes modelos entre os outros disponíveis, por apresentarem os mesmos cenários de projeção, B1, A1B e A2 o que permite análise comparativa entre os resultados projetados.

Tabela 3. Cenários de emissões do quarto relatório do *Intergovernmental Panel on Climate Changes (IPCC)*. Fonte: modificado de Semenov (2010).

Cenário	Principais pressupostos	Concentração CO ₂ (ppm)	
		2046-2065	2081-2100
B1	Rápida mudança nas estruturas econômicas, com reduções da intensidade material e introdução de tecnologias limpas e eficientes. Esforço em soluções globais para a sustentabilidade econômica, social e ambiental. População cresce e estabiliza.	492	538
A1B	Descreve um rápido crescimento econômico e introdução rápida de tecnologias novas e eficientes. Convergência entre as regiões, a capacitação e o aumento das interações culturais e sociais, com uma redução das diferenças regionais na renda per capita. Equilíbrio entre o uso de combustíveis fósseis e as fontes energéticas não-fósseis.	541	674
A2	Mundo heterogêneo com improvável cooperação internacional, preservação das identidades locais e auto-suficiência. O desenvolvimento econômico é orientado primeiramente para a região e o crescimento econômico per capita e a mudança tecnológica são lentos. Crescimento contínuo da população global.	545	754

B1 cenário otimista; A1B cenário intermediário e A2 cenário pessimista.

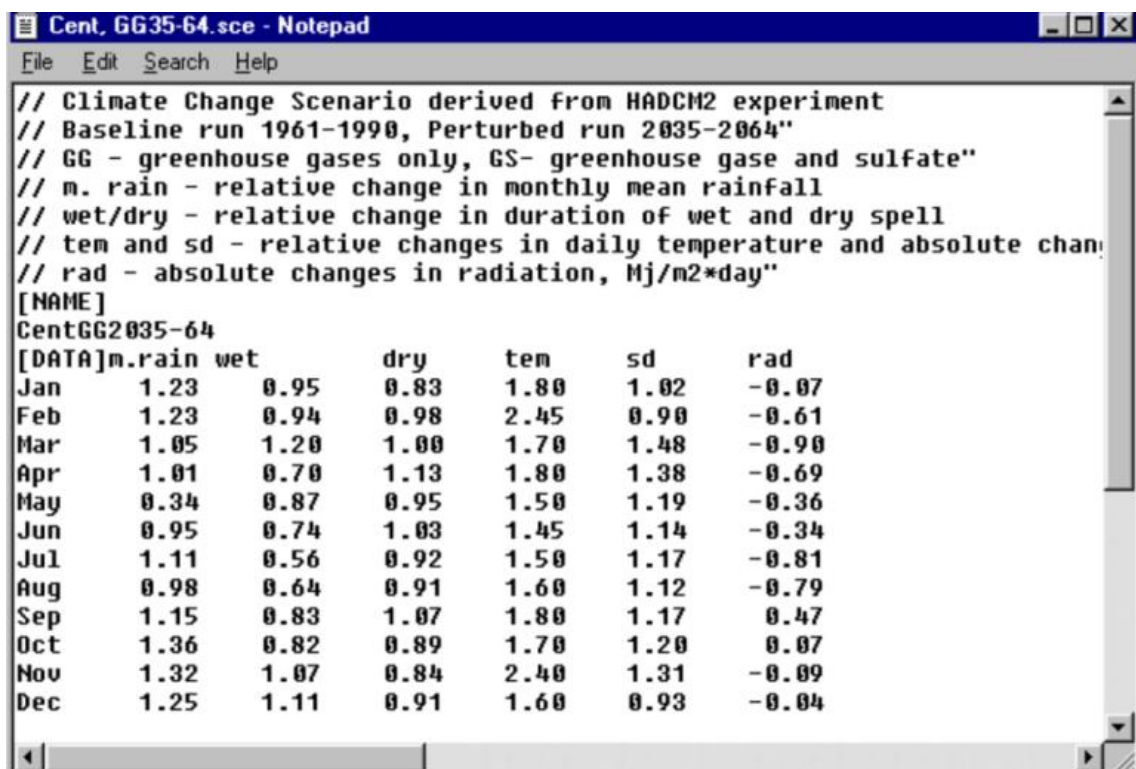
Tabela 4. Modelos climáticos disponíveis no LARS-WG, versão 5, com centros operacionais a que pertencem e a resolução espacial em latitude e longitude utilizados neste estudo.

LARS	MCG	Centro Operacional do Modelo	Resolução Espacial
NCCCSM	CCSM3	National Center for Atmospheric Research, USA	1,4 x 1,4
MPEH5	ECHAM5	Max Plank Institute for Meteorology, Germany	1,9 x 1,9
IPCM4	IPSL-CM4	Institut Pierre Simon Laplace, France	2,5 x 3,75
GFCM21	GFDL-CM2.1	Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, NOAA, USA	2,0 x 2,5
HADCM3	UMKO-HADCM3	Hadley Centre for Climate Prediction and Research, Met Office, UK	2,5 x 3,75
INCM3	INM-CM3.0	Institute of Numerical Mathematics, Russian Academy of Science, Russia	4,0 x 5,0

As informações de alterações climáticas previstas para determinado cenário, modelo e período, incorporadas no LARS-WG, consistem em um cenário perturbado que utiliza o

arquivo de parâmetros dos dados observados, armazenado na etapa de calibração do modelo (conforme exposto no item 3.5).

O exemplo extraído do manual do programa, versão 3.0 (Figura 6), apresenta um cenário que corresponde ao clima atual, representado pela linha de base com dados sintéticos gerados com base nos dados reais observados no período de 1961-1990 e um cenário perturbado de acordo com o modelo HADCM2 num período futuro que vai de 2035 a 2064. As mudanças previstas consideradas no cenário perturbado levam em conta as emissões de gases de efeito estufa e sulfato e as mudanças relativas na precipitação média e na duração do período seco e chuvoso entre outras variáveis como temperatura e radiação.



```

// Climate Change Scenario derived from HADCM2 experiment
// Baseline run 1961-1990, Perturbed run 2035-2064"
// GG - greenhouse gases only, GS- greenhouse gase and sulfate"
// m. rain - relative change in monthly mean rainfall
// wet/dry - relative change in duration of wet and dry spell
// tem and sd - relative changes in daily temperature and absolute chan
// rad - absolute changes in radiation, Mj/m2*day"
[NAME]
CentGG2035-64
[DATA]m.rain wet      dry      tem      sd      rad
Jan      1.23      0.95      0.83      1.80      1.02      -0.07
Feb      1.23      0.94      0.98      2.45      0.90      -0.61
Mar      1.05      1.20      1.00      1.70      1.48      -0.90
Apr      1.01      0.70      1.13      1.80      1.38      -0.69
May      0.34      0.87      0.95      1.50      1.19      -0.36
Jun      0.95      0.74      1.03      1.45      1.14      -0.34
Jul      1.11      0.56      0.92      1.50      1.17      -0.81
Aug      0.98      0.64      0.91      1.60      1.12      -0.79
Sep      1.15      0.83      1.07      1.80      1.17      0.47
Oct      1.36      0.82      0.89      1.70      1.20      0.07
Nov      1.32      1.07      0.84      2.40      1.31      -0.09
Dec      1.25      1.11      0.91      1.60      0.93      -0.04

```

Figura 6. Exemplo da perturbação climática sobre a linha de base de 1961-1990, considerando emissões de gases de efeito estufa, utilizando o modelo HADCM2 e o período de projeção de 2035-2064. Fonte: Semenov e Barrow (2002), Version 3.0, *User Manual*.

3.8. Desagregação das séries de dados sintéticos gerados para as diferentes trajetórias na obtenção de curvas IDF futuras

Considerando que a linha de base, série de 100 anos de dados diários desagregada, apresentou resultados similares a IDF atual, utilizando a metodologia adotada por Ramos (2010) que considerou que as relações entre as precipitações se mantêm fixas ao longo do tempo, foi estabelecida as relações IDF para cada trajetória gerada, através da desagregação dos dados diários da série sintética que foram obtidos no simulador LARS-WG.

A utilização do LARS-WG na geração de séries sintéticas de trajetórias futuras foi efetuada conforme os passos para obtenção da linha de base de 100 anos, mas com a introdução de alterações previstas pelos modelos do IPCC contidas na versão 5 do LARS-WG. A demonstração de como o procedimento foi realizado encontra-se no Apêndice D. Foram geradas séries sintéticas de 300 anos de dados, pois esta duração seria adequada conforme explicitado por Semenov e Barrow (2002) e por Semenov e Stratonovitch (2010). Na seleção dos máximos diários anuais sintéticos, a serem usados na geração das curvas IDF's pelo método da desagregação, para cada cenário, período e modelo foram selecionados apenas os últimos 40 anos da série. Desta forma, permitiu-se um bom afastamento da primeira geração ou primeiros sorteios realizados pelo modelo, o chamado aquecimento. Assim, será garantido que estes eventos são totalmente desvinculados dos primeiros valores gerados da série sintética, e, também se tem facilitada a análise comparativa com a IDF atual de Porto Alegre que foi construída com uma série de 40 anos de observações.

O procedimento para realizar a desagregação dos dados máximos sintéticos gerados para um determinado cenário de alteração climática seguiu exatamente os mesmos passos da desagregação dos dados sintéticos gerados na obtenção das relações IDF para linha de base, que foram apresentados no Apêndice C. Foi utilizada a metodologia proposta por Pinto (2013), na qual se efetuou a separação dos máximos na geração da Pdma, análise frequência, seleção da distribuição e desagregação dos dados diários. Também foram realizados os testes estatísticos, para avaliar a aleatoriedade, independência, homogeneidade e estacionariedade e aderência da distribuição estatística aos dados empíricos.

Salienta-se que devido ao grande volume de dados, considerando que temos 216 trajetórias na saída do LARS-WG, levou a optar pela realização dos passos de desagregação, antes executados Excel, utilizando *software* R.

Depois de carregados no R, os dados obtidos com a seleção dos máximos anuais (Pdma), carregaram-se também os “pacotes” ou funções específicas para realização dos testes de aleatoriedade, independência, homogeneidade e estacionariedade das séries. Foram carregadas, também, as funções para avaliar a aderência, utilizando o teste de KS.

Uma demonstração das funções e rotinas utilizadas para um dos possíveis cenários (B1) e período de projeção (2046-2065) é apresentada no Apêndice E.

A análise comparativa dos resultados obtidos para cada um dos três cenários e períodos de projeção 1 e 2 foi comparada com IDF atual e efetuada pelo desvio percentual (DP), desvio percentual médio (DPM) e desvio percentual absoluto médio (DPAM) .

O desvio percentual é a diferença em percentual, para diferentes tempos de retorno, entre o valor obtido para cada uma das durações da IDF atual e o valor obtido para IDF projetada. O desvio percentual médio é diferença entre o valor que corresponde à média dos valores que foram comparados com a IDF atual. A média pode ser a média dos valores obtido para as diferentes sementes por modelo, cenário e projeção ou ainda a média destes valores obtidos para cada modelo para cada cenário e período de projeção.

O gráfico do tipo box-plot fornece um resumo visual da estatística dos dados, como mediana, intervalo interquartil, assimetria e presença de valores atípicos. Segundo Helsel e Hirsch (2002) box-plots são muitas vezes colocados lado a lado para visualmente comparar e contrastar grupos de dados.

Neste estudo o diagrama box-plot, gerado no software R, consistiu em um retângulo na vertical, cujo topo corresponde ao primeiro quartil e a base ao terceiro quartil. A mediana fica em seu interior no sentido transversal. Conforme exemplificado em Naghettini e Pinto (2007) a identificação de valores atípicos os denominados *outliers* superior e inferior é determinada da seguinte forma: traça-se uma linha até o ponto que não exceda ($Q_3+1,5AIQ$), considerado o limite superior, onde Q_3 corresponde ao terceiro quartil e AIQ corresponde ao intervalo interquartil ($Q_3- Q_1$). De modo análogo traça-se outra linha a partir do lado inferior do retângulo até o limite inferior dado por ($Q_1-1,5AIQ$), com Q_1 correspondendo ao primeiro quartil e AIQ ao intervalo interquartil. As observações acima ou abaixo destes limites são consideradas os *outliers*.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise das tendências de precipitação

Os resultados das tendências obtidos após aplicação do teste de Mann Kendall aos dados anuais são apresentados na Tabela 5 e os trimestrais na Tabela 6.

Tabela 5. Resultados do teste de Mann Kendall para o total anual de precipitação (Total), precipitação diária máxima anual (Pdma), número de dias de chuva (NDC) anual e intensidade média diária (Imd) anual.

		ANUAL			
		Total	Pdma	NDC	Imd
Capão dos Coxos	p-valor	0,106	0,114	0,461	0,211
	Tau	0,106	0,103	0,009	0,071
Dom Feliciano	p-valor	0,095	0,228	0,002*	0,000*
	Tau	0,125	-0,071	0,402	-0,363
Guaíba Country Club	p-valor	0,141	0,267	0,003*	0,106
	Tau	0,107	0,077	0,300	-0,135
Passo do Mendonça	p-valor	0,075	0,209	0,003*	0,406
	Tau	0,141	0,082	0,512	-0,405
Porto Alegre	p-valor	0,010*	0,074	0,007*	0,105
	Tau	0,218	0,136	0,235	0,119
Renânia	p-valor	0,031*	0,323	0,460	0,061
	Tau	0,153	0,039	0,009	0,132
São Lourenço	p-valor	0,010*	0,319	0,025*	0,000*
	Tau	0,234	0,048	0,459	-0,364
Sapucaia do Sul	p-valor	0,020*	0,018*	0,000*	0,019*
	Tau	0,198	0,206	0,350	-0,210
Serra do Pinto	p-valor	0,044*	0,019*	0,308	0,002*
	Tau	0,163	0,198	-0,050	0,287

Tau corresponde ao coeficiente de Mann Kendall, *p-valor relacionado ao nível de significância de 0,05.

Foi identificada tendência de aumento estatisticamente significativa no total anual de precipitação, nas estações pluviométricas de Porto Alegre e Sapucaia do Sul na região metropolitana de Porto Alegre, São Lourenço no Litoral Sul e Renânia e Serra do Pinto próximo ao Litoral Norte.

Quanto ao número de dias de chuva (NDC) constatou-se que houve tendência de aumento estatisticamente significativa na maioria das estações analisadas, a exceção de Capão dos Coxos, Renânia e Serra do Pinto, as três no extremo norte da bacia.

Somente houve tendência de aumento com significância estatística na precipitação diária máxima anual (Pdma) nas estações de Sapucaia do Sul e Serra do Pinto.

Na maioria das estações houve tendência de redução na Imd (total anual/NDC), o que é coerente com o aumento do NDC, mas somente nas estações de Sapucaia do Sul, Dom Feliciano e São Lourenço esta tendência foi significativa.

Nas estações de Capão dos Coxos, Renânia e Serra do Pinto identificou-se indício de aumento na Imd, coerente com o fato de não ter se evidenciado aumento no NDC nestas estações, mas somente na estação de Serra do Pinto esta tendência foi significativa.

Na análise dos trimestres (Tabela 6), consistente com a tendência de aumento no total anual, o trimestre que mais contribuiu foi o da primavera (SON), apresentando tendência de aumento significativa no total trimestral nas estações de Porto Alegre, Sapucaia do Sul, São Lourenço e Renânia e também em Guaíba Country Club, embora o aumento de tendência trimestral nesta última, não tenha refletido no anual, o que pode ser resultado do fato de que esta estação apresenta muitas falhas e somente foi mantida na análise devido à proximidade com Porto Alegre.

Tabela 6. Resultados da análise de tendência, utilizando o teste de Mann Kendall, para o total trimestral de precipitação (Total) nos trimestres de verão, outono, inverno e primavera; número de dias de chuva (NDC) nos trimestres e precipitação máxima nos trimestres.

		VERÃO - DJF			OUTONO - MAM			INVERNO - JJA			PRIMAVERA - SON		
		Total	NDC	Máxima	Total	NDC	Máxima	Total	NDC	Máxima	Total	NDC	Máxima
Capão dos	p-valor	0,155	0,342	0,428	0,091	0,368	0,122	0,269	0,269	0,052	0,444	0,173	0,330
Coxos	Tau	0,087	0,036	0,016	0,114	-0,030	-0,101	0,053	-0,054	0,140	0,013	-0,082	0,039
Dom	p-valor	0,065	0,000*	0,469	0,181	0,001*	0,382	0,351	0,020*	0,285	0,111	0,000*	0,069
Feliciano	Tau	0,144	0,332	0,008	0,087	0,294	0,029	-0,037	0,199	-0,055	0,116	0,340	0,141
Guaíba	p-valor	0,366	0,077	0,257	0,235	0,145	0,240	0,442	0,012*	0,232	0,011*	0,009*	0,222
C.Club	Tau	0,036	0,152	0,072	0,078	0,116	0,083	0,017	0,244	-0,086	0,243	0,249	0,084
Passo do	p-valor	0,129	0,000*	0,169	0,455	0,084	0,365	0,490	0,002*	0,438	0,073	0,137	0,455
Mendonça	Tau	0,112	0,373	0,097	0,012	0,438	-0,035	0,003	0,293	0,016	0,143	0,426	0,012
Porto	p-valor	0,033*	0,143	0,135	0,062	0,003*	0,008*	0,208	0,075	0,108	0,018*	0,101	0,286
Alegre	Tau	0,175	0,146	0,078	0,200	0,104	0,264	0,139	0,124	0,105	0,228	0,118	0,181
Renânia	p-valor	0,422	0,250	0,107	0,077	0,369	0,170	0,124	0,354	0,095	0,045*	0,278	0,315
	Tau	-0,017	0,057	-0,104	0,119	0,029	0,080	0,096	-0,032	0,109	0,140	0,050	0,040
São	p-valor	0,058	0,000*	0,250	0,034	0,023*	0,395	0,214	0,021*	0,053	0,010*	0,000*	0,115
Lourenço	Tau	0,158	0,382	0,068	0,183	0,465	-0,028	-0,080	0,207	-0,162	0,232	0,387	0,121
Sapucaia	p-valor	0,487	0,062	0,209	0,323	0,005*	0,055	0,473	0,071	0,394	0,022*	0,005*	0,013
Sul	Tau	-0,004	0,156	0,081	0,046	0,263	0,157	-0,007	0,149	0,027	0,197	0,254	0,219
Serra do	p-valor	0,026*	0,234	0,026*	0,078	0,367	0,162	0,165	0,447	0,293	0,374	0,060	0,442
Pinto	Tau	0,185	0,071	0,184	0,135	-0,034	0,095	0,093	0,014	0,053	0,031	-0,150	-0,015

Tau corresponde ao coeficiente de Mann Kendall, *p-valor relacionado ao nível de significância de 0,05.

No trimestre de verão (DJF) só houve tendência de aumento no total trimestral em duas estações, Porto Alegre e Serra do Pinto, a primeira em uma área totalmente urbanizada e a segunda em uma região de Serra próxima ao litoral.

A localização pode ter contribuído para aumento do total precipitado. Porto Alegre está em uma área onde as superfícies como concreto e asfalto propiciam um maior aquecimento da superfície e formação de ilhas de calor. De acordo com Shepard (2005) os efeitos urbanos devido à superfície e outras variáveis levam a um aumento na precipitação nos meses de verão.

A estação de Serra do Pinto encontra-se numa condição de relevo diferenciada, numa encosta voltada para o mar a aproximadamente 35 km da linha de costa. De acordo com Reboita et al.(2010) o transporte de umidade pela brisa marinha durante o dia, no litoral pode fornecer umidade para outros sistemas atmosféricos o que provavelmente foi responsável pelo aumento do total precipitado, relacionado à circulação de brisa.

Em Porto Alegre, Sapucaia do Sul e São Lourenço no trimestre de outono (MAM), teve aumento significativo na tendência de NDC, mas que só refletiu no total precipitado na estação de São Lourenço. São Lourenço por localizar-se a margem da Lagoa dos Patos tem uma maior disponibilidade de umidade, que podem alimentar os processos envolvidos na precipitação e ter contribuído para o total precipitado mais representativo. Em regiões próximas a grandes corpos de água é favorecida a circulação de brisa. (Reboita et al. 2012).

No trimestre de inverno, que abrange os meses de junho, julho e agosto (JJA), as estações de Dom Feliciano, Passo do Mendonça e São Lourenço apresentaram tendência de aumento significativa no número de dias chuvosos, embora não tenha se refletido na tendência de aumento do total trimestral. Como estas estações estão mais próximas à região de entradas das frentes frias e neste período a maior atuação destas no estado, isto deve ter contribuído para o aumento do NDC, pois segundo Cavalcanti & Kousky (2009) elas são mais frequentes de junho a setembro. Embora as condições de umidade e temperatura encontradas, provavelmente não contribuíram para que totais precipitados fossem significativos a ponto de resultar em aumento de precipitação no trimestre.

Na estação de Porto Alegre de modo complementar foi verificada análise de tendência de aumento de frequência de altura de precipitação em diferentes faixas, ou seja, foi avaliado se teve aumento no NDC com determinado valor de precipitação. Por exemplo, tendência de aumento no NDC com 10 mm, 15 mm e assim sucessivamente por tentativa e erro. Os resultados para Porto Alegre indicaram que houve tendência de aumento na faixa de 15 a 78 mm.

Na tentativa de justificar este aumento foram analisados os resultados trimestrais e mensais obtidos para a estação. Nas Tabelas 7, 8 e 9 são explicitados os resultados das tendências obtidos após aplicação do teste de Mann Kendall aos dados mensais.

A tendência de aumento nesta faixa provavelmente está relacionada ao aumento de tendência dos totais dos trimestres de primavera (SON) e verão (DJF) (Tabela 6). Embora não tenha havido evidência de aumento nos máximos trimestrais destes dois trimestres, ao analisar-se individualmente a contribuição dos meses que compõem o trimestre que

corresponde à primavera (SON) houve tendência de aumento no máximo mensal dos meses de outubro e novembro (Tabela 7).

No trimestre que corresponde ao verão (DJF) o mês fevereiro apresentou tendência de aumento significativa no máximo mensal. No trimestre de outono (MAM), mesmo que aparentemente tenha havido tendência de aumento no total trimestral, ela não foi significativa. No entanto ficou caracterizada, com significância estatística, a tendência de aumento tanto no NDC como nos máximos mensais (Tabela 6) do trimestre, cujo mês que mais contribuiu para este aumento foi abril com uma tendência de aumento no total mensal (Tabela 7), máximo mensal (Tabela 8) e NDC mensal (Tabela 9).

A tendência de aumento nos máximos mensais dos meses outubro, novembro e fevereiro em Porto Alegre, possivelmente contribuíram para o aumento da precipitação na faixa de 15 a 78 mm quando é maior a ocorrência de CCM's, pois de acordo com Grimm (2009) no semestre quente que de vai de outubro a abril, os CCM's são mais frequentes e os que mais contribuem para a precipitação total.

Tabela 7. Resultados da análise de tendência, utilizando o teste de Mann Kendall, para os totais mensais de precipitação, nos meses de janeiro a dezembro.

		PRECIPITAÇÃO TOTAL MENSAL											
		JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Capão dos	p-valor	0,130	0,457	0,455	0,338	0,056	0,386	0,025*	0,459	0,172	0,455	0,076	0,248
Coxos	Tau	0,096	0,010	0,010	0,036	0,136	-0,025	0,166	-0,009	-0,081	0,010	0,122	0,058
Dom	p-valor	0,088	0,195	0,120	0,022*	0,024*	0,426	0,342	0,377	0,231	0,042*	0,272	0,403
Feliciano	Tau	0,128	0,082	-0,112	0,191	0,188	-0,018	0,039	-0,031	0,070	0,164	0,058	0,024
Guaíba	p-valor	0,205	0,420	0,363	0,132	0,436	0,393	0,416	0,347	0,059	0,002*	0,200	0,351
C. Club	Tau	-0,085	0,021	-0,037	0,116	0,018	-0,030	0,023	0,042	0,160	0,297	0,088	0,039
Passo do	p-valor	0,378	0,133	0,048*	0,071	0,056	0,452	0,432	0,500	0,103	0,065	0,276	0,434
Mendonça	Tau	0,032	0,111	-0,165	0,146	0,157	0,013	0,018	-0,001	0,124	0,149	0,059	0,017
Porto	p-valor	0,084	0,145	0,394	0,012*	0,066	0,228	0,039	0,488	0,235	0,111	0,078	0,198
Alegre	Tau	0,130	0,100	0,026	0,213	-0,142	0,071	0,166	-0,004	0,069	0,115	0,133	0,080
Renânia	p-valor	0,462	0,439	0,462	0,174	0,030*	0,234	0,042*	0,141	0,398	0,295	0,003*	0,392
	Tau	0,008	0,013	-0,008	0,078	0,157	-0,061	0,143	0,089	0,022	0,045	0,226	-0,023
São	p-valor	0,316	0,021*	0,422	0,018*	0,094	0,433	0,091	0,395	0,045*	0,008*	0,288	0,187
Lourenço	Tau	0,049	0,204	-0,020	0,209	0,132	0,018	-0,134	0,028	0,170	0,240	0,057	0,090
Sapucaia	p-valor	0,420	0,437	0,360	0,067	0,265	0,477	0,156	0,299	0,129	0,023*	0,249	0,221
Sul	Tau	0,020	0,016	-0,036	0,147	0,062	0,007	0,100	-0,052	0,111	0,195	0,067	-0,076
Serra do	p-valor	0,036*	0,255	0,345	0,057	0,042*	0,250	0,108	0,388	0,371	0,354	0,177	0,215
Pinto	Tau	0,171	0,063	-0,039	0,150	0,164	0,065	0,118	-0,028	-0,032	0,036	0,089	0,076

Tau corresponde ao coeficiente de Mann Kendall, *p-valor relacionado ao nível de significância de 0,05.

Tabela 8. Resultados da análise de tendência, utilizando o teste de Mann Kendall, para as máximas mensais de precipitação nos meses de janeiro a dezembro.

		PRECIPITAÇÃO MÁXIMA MENSAL											
		JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Capão dos	p-valor	0,234	0,219	0,450	0,466	0,033*	0,408	0,014*	0,493	0,114	0,038*	0,399	0,061
Coxos	Tau	0,064	0,068	0,011	-0,008	0,159	0,020	0,189	-0,002	-0,103	0,154	0,022	-0,134
Dom	p-valor	0,479	0,391	0,185	0,012*	0,107	0,224	0,374	0,356	0,233	0,259	0,485	0,371
Feliciano	Tau	0,006	-0,027	-0,086	0,024	0,119	-0,073	0,031	-0,036	0,070	0,063	0,004	0,032
Guaíba	p-valor	0,458	0,315	0,081	0,314	0,460	0,443	0,486	0,158	0,255	0,023*	0,455	0,500
C. Club	Tau	0,013	0,052	-0,151	0,055	-0,014	-0,018	-0,005	-0,113	0,071	0,218	0,013	0,000
Passo do	p-valor	0,348	0,048	0,050*	0,161	0,259	0,421	0,267	0,460	0,169	0,257	0,360	0,061
Mendonça	Tau	0,040	0,167	-0,165	0,099	0,065	0,020	0,062	0,011	0,097	0,065	-0,036	-0,155
Porto	p-valor	0,111	0,028*	0,244	0,016*	0,058	0,400	0,002	0,210	0,377	0,037*	0,041*	0,380
Alegre	Tau	0,115	0,180	-0,066	0,201	0,148	0,025	0,266	-0,076	0,030	0,168	0,164	0,029
Renânia	p-valor	0,306	0,286	0,387	0,282	0,016*	0,008*	0,015*	0,165	0,322	0,498	0,071	0,103
	Tau	-0,043	-0,048	0,024	0,048	0,179	-0,203	0,180	0,081	-0,038	0,001	0,121	-0,104
São	p-valor	0,230	0,072	0,042	0,046*	0,482	0,258	0,060	0,433	0,030*	0,135	0,465	0,103
Lourenço	Tau	-0,075	0,146	-0,176	0,168	-0,005	0,066	-0,156	0,018	0,189	0,111	-0,010	0,129
Sapucaia	p-valor	0,332	0,425	0,340	0,131	0,102	0,254	0,211	0,291	0,044*	0,017*	0,473	0,279
Sul	Tau	0,043	0,020	-0,042	0,110	0,125	-0,065	0,079	0,055	0,168	0,209	-0,007	-0,058
Serra do	p-valor	0,049*	0,500	0,199	0,123	0,019*	0,419	0,138	0,345	0,469	0,373	0,442	0,318
Pinto	Tau	0,158	0,001	-0,082	0,110	0,197	0,020	0,104	-0,039	-0,008	0,032	0,015	0,046

Tau corresponde ao coeficiente de Mann Kendall, *p-valor relacionado ao nível de significância de 0,05.

Tabela 9. Resultados da análise de tendência, utilizando o teste de Mann Kendall para o número de dias com chuva (NDC) mensais nos meses de janeiro a dezembro.

		NDC MENSAL											
		JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Capão dos	p-valor	0,475	0,477	0,137	0,361	0,106	0,148	0,399	0,390	0,008*	0,241	0,214	0,437
Coxos	Tau	-0,006	-0,006	-0,097	-0,032	0,112	-0,093	0,023	-0,025	-0,213	-0,063	0,071	0,015
Dom	p-valor	0,002	0,089	0,167	0,002*	0,003	0,091	0,209	0,019*	0,077	0,002*	0,005*	0,007*
Feliciano	Tau	0,276	0,133	0,096	0,285	0,275	0,133	0,080	0,204	0,117	0,288	0,255	0,246
Guaíba	p-valor	0,344	0,142	0,376	0,031*	0,353	0,009*	0,279	0,061	0,019*	0,013*	0,310	0,008*
C. Club	Tau	-0,044	0,114	-0,034	0,202	0,042	0,266	0,066	0,171	0,221	0,240	0,055	0,254
Passo do	p-valor	0,021*	0,002*	0,004*	0,000*	0,001*	0,000*	0,053	0,015*	0,001*	0,002*	0,011*	0,001*
Mendonça	Tau	0,210	0,292	0,274	0,348	0,328	0,338	0,166	0,221	0,311	0,284	0,234	0,326
Porto	p-valor	0,267	0,108	0,373	0,007*	0,004*	0,092	0,278	0,264	0,470	0,192	0,393	0,022*
Alegre	Tau	0,061	0,121	0,032	0,237	0,261	0,130	0,058	0,062	0,008	0,085	0,027	0,197
Renânia	p-valor	0,290	0,339	0,209	0,239	0,322	0,476	0,333	0,463	0,104	0,498	0,136	0,190
	Tau	0,048	0,036	-0,071	0,062	0,040	0,006	-0,038	0,008	-0,108	-0,001	0,094	0,076
São	p-valor	0,007*	0,004*	0,001*	0,000*	0,001*	0,032*	0,185	0,005*	0,001*	0,001*	0,035*	0,010*
Lourenço	Tau	0,254	0,276	0,324	0,395	0,332	0,193	0,093	0,269	0,318	0,331	0,191	0,241
Sapucaia	p-valor	0,270	0,085	0,146	0,001*	0,152	0,057	0,050	0,404	0,192	0,011*	0,041*	0,019*
Sul	Tau	0,063	0,142	0,110	0,333	0,104	0,163	0,168	0,026	0,090	0,233	0,178	0,214
Serra do	p-valor	0,382	0,319	0,375	0,231	0,319	0,075	0,472	0,146	0,033*	0,066	0,391	0,500
Pinto	Tau	0,030	0,047	-0,032	-0,073	0,047	0,143	0,008	-0,105	-0,181	-0,149	-0,028	0,000

Tau corresponde ao coeficiente de Mann Kendall, *p-valor relacionado ao nível de significância de 0,05.

A análise dos resultados obtidos para os dados mensais, para as demais estações são resumidas na sequência.

Capão dos Coxos apresentou tendência de aumento de no total mensal no mês de julho (Tabela 7), relacionada à tendência de aumento nos máximos mensais neste mês (Tabela 8). Embora tenha sido constatada tendência de aumento nos máximos mensais em maio e outubro (Tabela 8) não chegou a se refletir nos totais mensais. A tendência de aumento no NDC em setembro (Tabela 9) também não foi evidenciada no total mensal.

Dom Feliciano apresentou tendência de aumento nos totais mensais de abril, maio e outubro (Tabela 7), sendo que no mês de abril esta relacionada à tendência de aumento dos máximos mensais (Tabela 8) e ao NDC (Tabela 9), já no mês de outubro a relação é somente com o aumento do NDC. Embora tenha ocorrido tendência de aumento do NDC nos meses de agosto, novembro e dezembro (Tabela 9) não tiveram influência nos totais mensais.

Guaíba Country Club apresentou tendência de aumento no total mensal no mês de outubro (Tabela 7) relacionada tendência de aumento tanto no máximo mensal (Tabela 8) quanto no NDC (Tabela 9). Outros meses como abril, junho, setembro, outubro e dezembro apresentam tendência de aumento no NDC, mas que não refletiram no total mensal.

Passo do Mendonça apresentou tendência de aumento no total mensal no mês de março (Tabela 7), provavelmente relacionado à possível tendência de aumento no máximo mensal (Tabela 8) com p valor de 0,05 e no NDC (Tabela 9). Embora tenha havido tendência de aumento no NDC em praticamente todos os outros meses, não teve influência sobre os totais mensais.

Renânia apresentou tendência de aumento nos totais mensais de maio e novembro (Tabela 7) que está relacionada à tendência de aumento no máximo mensal nos meses de maio e julho (Tabela 8), mas em novembro esta relação não foi estatisticamente significativa em função de ser um pouco maior do que limiar de significância estatística estabelecido de 0,05. Já no mês de junho houve uma tendência de decréscimo no máximo mensal (Tabela 8), mas que não se refletiu no total mensal (Tabela 7). Não foi constatado nesta estação tendência significativo no NDC para nenhum dos meses.

São Lourenço apresentou tendência de aumento nos totais mensais de fevereiro, abril, setembro e outubro (Tabela 7). Nos meses de abril e setembro esta tendência tem relação tanto com a tendência de aumento nos máximos mensais (Tabela 8) quanto com a tendência de aumento no NDC, já nos meses fevereiro e outubro com a tendência de aumento nos totais mensais esta relacionada apenas com a tendência de aumento no NDC (Tabela 9). A exceção do mês de julho os demais meses (janeiro, março, maio, junho, agosto, novembro e

dezembro) apresentaram tendência de aumento no NDC (Tabela 9), mas que não chegou a influenciar no total mensal (Tabela 7) destes meses.

Sapucaia do Sul apresentou tendência de aumento no total mensal de outubro (Tabela 7), coerente tanto com a tendência de aumento no máximo mensal (Tabela 8) quanto ao aumento no NDC deste mês (Tabela 9). A tendência de aumento no NDC nos meses de abril, novembro e dezembro (Tabela 9), não chegou a se refletir no total mensal (Tabela 7). Assim como a tendência de aumento do máximo mensal do mês de setembro (Tabela 8) que não chegou a ser evidenciada no total mensal deste mês (Tabela 7).

A estação de Serra do Pinto apresentou tendência de aumento nos máximos mensais em janeiro e maio (Tabela 8), que levou a tendência de aumento nos totais mensais destes meses (Tabela 7). No mês de setembro embora tenha sido constatada tendência de aumento no NDC (Tabela 9) não influenciou no total mensal (Tabela 7).

Na sequência são apresentados os gráficos de tendência linear dos totais trimestral e anual, NDC trimestral e anual e máximo trimestral e anual da estação de Porto Alegre, na forma gráfica, somente para fins de visualização do comportamento dos dados, respectivamente Figuras 7, 8 e 9. A representação gráfica das tendências das demais estações é apresentada no Apêndice A.

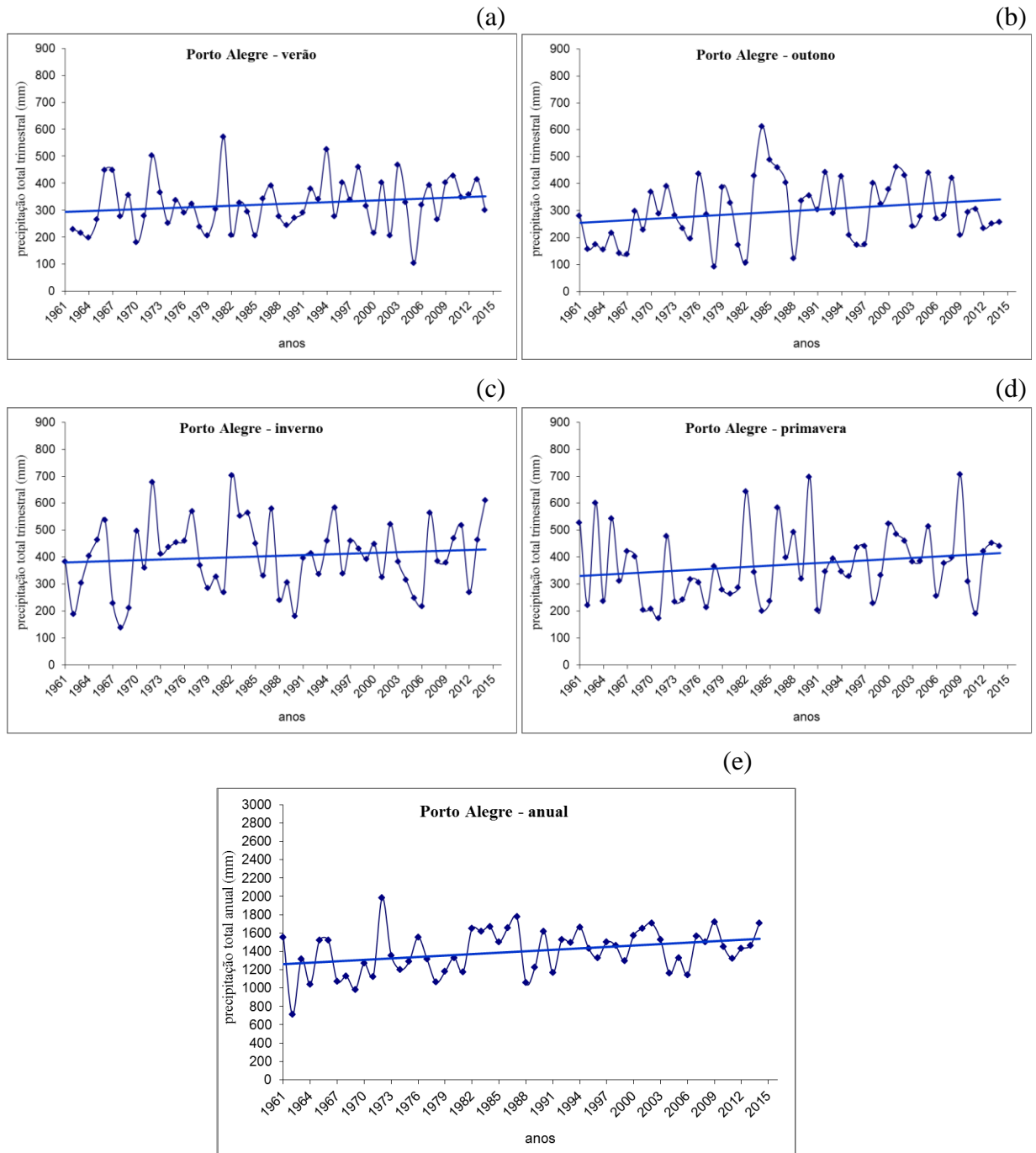


Figura 7. Tendência dos totais trimestrais na estação de Porto Alegre, nos trimestres que correspondem ao verão (DJF) (a), outono (MAM) (b), inverno (JJA) (c) e primavera (SON) (d) e totais anuais de precipitação (e) da estação de Porto Alegre.

Visualmente observa-se indicação de aumento de tendência no total de precipitação em todos os trimestres da estação de Porto Alegre, mas após aplicação do teste de Mann Kendall (Tabela 6) só foi efetivamente verificada com significância estatística, tendência de aumento nos trimestres de verão (DJF) e primavera (SON) e uma possível tendência de aumento em outono (MAM).

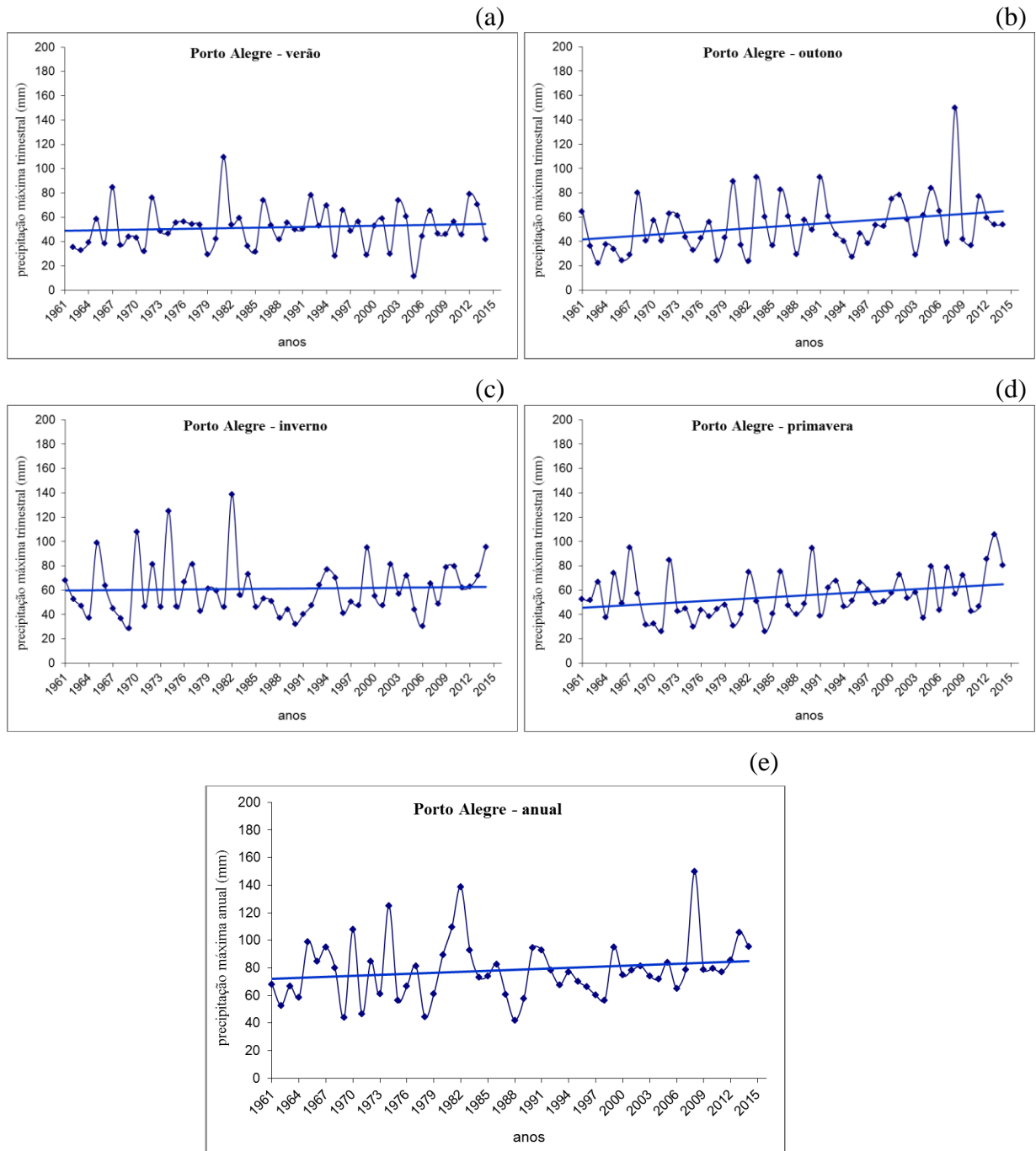


Figura 8. Tendência dos máximos trimestrais na estação de Porto Alegre, nos trimestres que correspondem ao verão (DJF) (a), outono (MAM) (b), inverno (JJA) (c) e primavera (SON) (d) e máximos anuais (e) da estação de Porto Alegre.

Os resultados encontrados para o período analisado de 1961 a 2014 corroboram o estudo realizado por Cordeiro (2010) para o período de 1950 a 2009, que indicaram tendência de aumento da precipitação, com significância estatística de 5%, anual e no outono e na primavera para o estado do Rio Grande do Sul. Embora o trabalho realizado por Cordeiro não tenha identificado tendência significativa de aumento no total precipitado no verão há de se considerar que, como já salientado anteriormente neste item, das estações analisadas na sub-

bacia 87, somente foram verificadas tendência de aumento no total trimestral no verão em duas estações, Porto Alegre e Serra do Pinto.

Os máximos mensais apresentaram visualmente tendência de aumento nos trimestres que correspondem ao outono e a primavera. Entretanto, quando aplicado o teste de Mann Kendall somente foi verificado tendência de aumento com significância estatística no trimestre de outono (MAM).

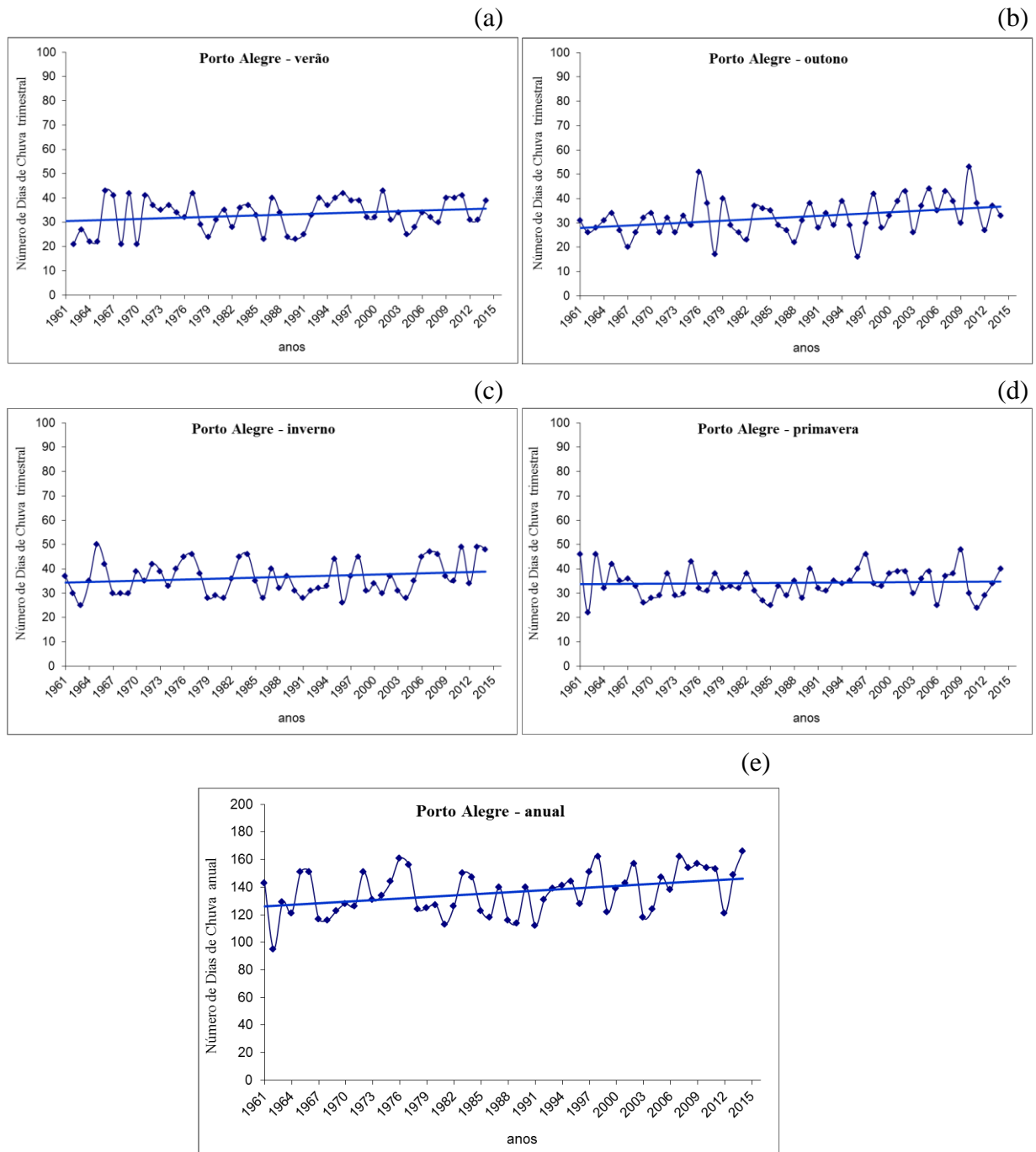


Figura 9. Tendência dos Números de Dias de Chuva (NDC) na estação de Porto Alegre, nos trimestres que correspondem ao verão (DJF), outono (MAM), inverno (JJA) e primavera (SON) e NDC anuais da estação de Porto Alegre.

Na análise visual do NDC há indicação de aumento de tendência nos trimestres que correspondem ao verão e ao outono, mas após aplicação do teste de Mann Kendall a tendência de aumento com significância estatística só ocorre no trimestre de outono (MAM).

Na Tabela 10 são apresentados os resultados da análise de tendência dos dados sub-diários da estação de Porto Alegre. A análise dos resultados permite identificar que a partir da duração de 3 horas o tau é positivo o que indicaria possível tendência de aumento. No entanto os resultados do p-valor são maiores que 0,05, assim não houve tendência de aumento significativamente estatística no período analisado.

Tabela 10. Resultados da análise de tendência, utilizando o teste de Mann Kendall, para os dados sub-diários, máximos anuais.

DADOS SUB-DIÁRIOS – PORTO ALEGRE		
	p-valor	tau
5 minutos	0,2762	-0,0667
10 minutos	0,2608	-0,0718
15 minutos	0,2762	-0,0667
30 minutos	0,4954	-0,0026
45 minutos	0,3765	-0,0359
1 hora	0,3765	-0,0359
2 horas	0,4316	-0,0410
3 horas	0,5000	0,0154
4 horas	0,1033	0,0282
8 horas	0,0650	0,1000
14 horas	0,2763	0,1380
24 horas	0,4336	0,0846

4.3 Avaliação da capacidade do modelo simular a precipitação em Porto Alegre

Os resultados obtidos após a calibração, que consistiu na realização de testes que avaliam a igualdade das distribuições estatísticas entre os dados observados e os dados sintéticos, são apresentados nas Tabelas 11 e 12.

A igualdade das distribuições estatísticas das séries chuvosas e secas e dos dados diários de precipitação observados e os dados sintéticos são apresentados no arquivo de saída automático (Apêndice B). Na Tabela 11 é apresentado o ajuste aos das séries secas e chuvosas para cada trimestre, os resultados foram de perfeito com p-valor igual ou muito próximo a 1 a muito bom com p-valor em torno de 0,8.

Tabela 11. Teste de Kolmogorov-Smirnov para verificar o ajuste da série de precipitação diária ao período seco e chuvoso nos trimestres que correspondem ao verão (DJF), outono (MAM), inverno (JJA) e primavera (SON).

Trimestre	Teste	Período Seco	Período Chuvoso	Ajuste
DJF	KS	0,044	0,055	Perfeito
	p-valor	1,000	1,000	
MAM	KS	0,036	0,054	Perfeito
	p-valor	1,000	1,000	
JJA	KS	0,077	0,137	Muito bom
	p-valor	1,000	0,972	
SON	KS	0,038	0,055	Perfeito
	p-valor	1,000	1,000	

Tabela 12. Teste de Kolmogorov-Smirnov para verificar o ajuste da distribuição da série de precipitação diária aos dados mensais.

Mês	Teste	Precipitação Diária	Ajuste
JANEIRO	KS	0,053	Perfeito
	p-valor	1,000	
FEVEREIRO	KS	0,048	Perfeito
	p-valor	1,000	
MARÇO	KS	0,053	Perfeito
	p-valor	1,000	
ABRIL	KS	0,007	Perfeito
	p-valor	1,000	
MAIO	KS	0,043	Perfeito
	p-valor	1,000	
JUNHO	KS	0,179	Muito bom
	p-valor	0,816	
JULHO	KS	0,090	Perfeito
	p-valor	1,000	
AGOSTO	KS	0,101	Perfeito
	p-valor	0,999	
SETEMBRO	KS	0,131	Muito bom
	p-valor	0,982	
OUTUBRO	KS	0,047	Perfeito
	p-valor	1,000	
NOVEMBRO	KS	0,104	Perfeito
	p-valor	0,999	
DEZEMBRO	KS	0,053	Perfeito
	p-valor	1,000	

A comparação entre a distribuição estatística da série sintética, gerada para linha de base de 100 anos, com a distribuição estatística dos dados observados introduzidos no modelo é apresentado na sequência nas Tabelas 13, 14 e 15. Nestas tabelas são apresentados o resumo

das estatísticas do teste de Kolmogov-Smirnov e o p-valor obtido para cada uma das seis opções de semente disponíveis no LARS-WG, 541, 1223, 1987, 2741, 3571 e 4409.

Tabela 13. Resultados do ajuste dos dados trimestrais ao período seco, obtidos para cada uma das sementes disponíveis no LARS.

		Período seco					
Trimestre	Teste	541	1223	1987	2741	3571	4409
DJF	KS	0,031	0,049	0,057	0,031	0,061	0,031
	p-valor	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
MAM	KS	0,044	0,044	0,052	0,067	0,078	0,071
	p-valor	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
JJA	KS	0,078	0,135	0,149	0,066	0,136	0,129
	p-valor	1,000	0,976	0,943	1,000	0,974	0,985
SON	KS	0,058	0,037	0,030	0,070	0,020	0,034
	p-valor	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

DJF corresponde ao trimestre entre dezembro e fevereiro, MAM ao trimestre entre março e abril, JJA ao trimestre entre junho e agosto e SON ao trimestre entre setembro e novembro.

Um exemplo do processamento realizado nesta etapa com os arquivos de entrada e de saída relacionado à série sintética gerada para linha de base de 100 anos e os respectivos resultados dos testes estatísticos é apresentada no Apêndice B, para os dados gerados com opção de semente 2741. Os resultados obtidos para as sementes, foram de ajuste perfeito com p-valor igual ou muito próximo a 1 a simplesmente bom com p-valor na faixa de 0,3.

Tabela 14. Resultados do ajuste dos dados trimestrais ao período chuvoso, obtidos para cada uma das sementes disponíveis no LARS-WG .

		Período chuvoso					
Trimestre	Teste	541	1223	1987	2741	3571	4409
DJF	KS	0,055	0,273	0,055	0,277	0,275	0,271
	p-valor	1,000	0,307	1,000	0,290	0,298	0,315
MAM	KS	0,054	0,059	0,048	0,055	0,038	0,044
	p-valor	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
JJA	KS	0,140	0,116	0,140	0,145	0,141	0,142
	p-valor	0,969	0,996	0,966	0,995	0,964	0,962
SON	KS	0,043	0,056	0,055	0,055	0,070	0,070
	p-valor	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

DJF corresponde ao trimestre entre dezembro e fevereiro, MAM ao trimestre entre março e abril, JJA ao trimestre entre junho e agosto e SON ao trimestre entre setembro e novembro.

Tabela 15. Resultados do ajuste dos dados diários obtidos para cada uma das sementes.

		Precipitação diária					
Mês	Teste	541	1223	1987	2741	3571	4409
JANEIRO	KS	0,048	0,049	0,049	0,047	0,047	0,049
	p-valor	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
FEVEREIRO	KS	0,013	0,025	0,060	0,030	0,081	0,048
	p-valor	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
MARÇO	KS	0,058	0,054	0,052	0,068	0,057	0,049
	p-valor	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
ABRIL	KS	0,046	0,061	0,006	0,050	0,046	0,046
	p-valor	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
MAIO	KS	0,042	0,042	0,048	0,046	0,042	0,045
	p-valor	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
JUNHO	KS	0,179	0,198	0,183	0,181	0,193	0,182
	p-valor	0,816	0,708	0,708	0,805	0,738	0,799
JULHO	KS	0,051	0,071	0,088	0,075	0,079	0,066
	p-valor	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
AGOSTO	KS	0,096	0,100	0,105	0,104	0,125	0,116
	p-valor	0,999	0,999	0,999	0,909	0,989	0,996
SETEMBRO	KS	0,124	0,123	0,126	0,132	0,115	0,119
	p-valor	0,990	0,991	0,991	0,981	0,996	0,994
OUTUBRO	KS	0,048	0,048	0,047	0,048	0,049	0,048
	p-valor	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
NOVEMBRO	KS	0,108	0,096	0,103	0,106	0,094	0,091
	p-valor	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	1,000
DEZEMBRO	KS	0,043	0,011	0,025	0,050	0,049	0,050
	p-valor	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

4.4 IDF gerada com dados diários sintéticos da linha de base versus IDF de Weschenfelder et al. (2015)

Considerando que não foi identificada tendência significativa de aumento da precipitação diária máxima anual (Pd_{ma}) para estação de Porto Alegre, e, também levando em conta que o modelo apresentou de modo geral bons resultados em simular os dados de precipitação, foi utilizado o LARS-WG na geração de séries sintéticas desta variável.

A série sintética permite a obtenção dos dados sintéticos de precipitação diária, obtidos para 100 anos, no LARS-WG, na sequência utilizando a metodologia de Pinto (2013) foi realizada a separação dos máximos na geração da Pd_{ma}, análise frequência, seleção da distribuição e desagregação, conforme passos apresentados no Apêndice C.

A seleção de um valor máximo para cada ano consiste na análise dados sintéticos gerados para 100 anos, que no exemplo apresentado no Apêndice C apresenta o resultado somente com a rodada da semente 2741.

Cabe salientar que, na execução deste estudo a seleção da Pdma foi realizada, nos arquivos de dados sintéticos gerados, para cada uma das seis opções de sementes de que dispõe o programa LARS-WG. Os resultados encontrados para a linha de base de 100 anos para cada uma das sementes encontram-se na sequência (Tabelas 16, 17 e 18).

Os valores dos quantis, obtidos após a desagregação da série sintética gerada pelo gerador estocástico não foram obviamente iguais aos valores obtidos com os dados originais observados, embora tenham apresentado se similares estatisticamente com a diferença em uma base dia a dia. As Tabelas 16, 17 e 18 permitiram a comparação dos quantis calculados, para cada uma das sementes para as diferentes durações, com os quantis da IDF atual e assim ter-se uma ideia da ordem de grandeza das precipitações.

Os desvios percentuais médios que correspondem à média dos desvios para os diferentes tempos de retorno e os desvios percentuais absoluto médio que correspondem à média dos desvios absolutos para os diferentes tempos de retorno, são apresentados nas duas últimas linhas das Tabelas 16, 17 e 18, para cada uma das durações geradas para as respectivas sementes.

Foi verificado que o desvio percentual absoluto médio para a maioria das sementes ficou abaixo de 10%, a exceção das rodadas para semente 1223 cujas diferenças ficaram entre 15 e 20% e 2741 cujas diferenças ficaram entre 10 e 15%.

Nas Figuras 10, 11, 12, 13, 14 e 15 para fins de visualização são apresentados os resultados gráficos para as durações de 15 e 45 minutos e 2, 4, 8 e 24 horas. Em uma análise visual rápida observou-se que existe uma variabilidade entre as precipitações obtidas para cada uma das sementes. Quando comparada com as precipitações máximas atuais as precipitações sintéticas ficaram em média maiores e com uma variabilidade de 15%. Cabe salientar que, nas durações de 15 minutos, 4 e 8 horas as precipitações ficaram um pouco menores nas rodadas realizadas utilizando as sementes 541 e 4409, mas cuja variabilidade ficou menor que 5%.

Tabela 16. Quantis série sintética comparados com os quantis da IDF atual, durações 5 a 45 minutos.

Tr Anos	5 minutos							15 minutos							30 minutos							45 minutos						
	IDF atual	541	1223	1987	2741	3571	4409	IDF atual	541	1223	1987	2741	3571	4409	IDF atual	541	1223	1987	2741	3571	4409	IDF atual	541	1223	1987	2741	3571	4409
2	9,4	10,8	10,2	10,2	10,3	10,2	10,3	17,9	21,6	20,5	20,4	20,6	20,4	20,6	25,7	32,0	30,3	30,3	30,5	30,3	30,6	30,0	37,8	35,9	35,8	36,0	35,8	36,1
5	12,0	13,0	13,6	13,0	13,3	13,1	12,9	23,5	26,1	27,2	26,1	26,7	26,2	25,9	34,1	38,6	40,3	38,6	39,5	38,8	38,3	40,1	45,6	47,6	45,6	46,7	45,9	45,3
10	14,0	14,7	16,1	15,2	15,7	15,3	15,0	27,7	29,4	32,2	30,4	31,4	30,5	29,9	40,5	43,6	47,7	45,0	46,4	45,2	44,3	47,6	51,5	56,3	53,1	54,9	53,4	52,3
15	15,2	15,7	17,6	16,4	17,0	16,5	16,1	30,2	31,4	35,2	32,9	34,1	33,1	32,2	44,2	46,5	52,1	48,7	50,4	49,0	47,7	52,1	55,0	61,5	57,5	59,6	57,9	56,4
20	16,1	16,4	18,6	17,3	18,0	17,4	17,0	31,9	32,8	37,2	34,6	36,0	34,8	33,9	46,8	48,6	55,1	51,3	53,3	51,6	50,2	55,2	57,4	65,2	60,6	63,0	61,0	59,3
25	16,7	16,9	19,4	18,0	18,7	18,1	17,6	33,3	33,9	38,8	36,0	37,4	36,2	35,2	48,9	50,1	57,5	53,4	55,4	53,7	52,1	57,7	59,2	68,0	63,1	65,5	63,4	61,6
30	17,2	17,4	20,1	18,6	19,3	18,7	18,1	34,4	34,8	40,2	37,2	38,7	37,4	36,2	50,5	51,5	59,5	55,1	57,3	55,4	53,7	59,6	60,9	70,3	65,1	67,7	65,4	63,4
35	17,7	17,8	20,6	19,1	19,9	19,2	18,6	35,4	35,5	41,3	38,2	39,7	38,4	37,1	51,9	52,6	61,1	56,5	58,8	56,8	55,0	61,4	62,2	72,3	66,8	69,5	67,2	65,0
40	18,1	18,1	21,1	19,5	20,3	19,6	19,0	36,2	36,2	42,3	38,9	40,6	39,2	37,9	53,2	53,6	62,6	57,7	60,1	58,1	56,1	62,8	63,3	74,0	68,2	71,1	68,6	66,3
45	18,4	18,4	21,6	19,8	20,7	20,0	19,3	36,9	36,8	43,2	39,7	41,4	39,9	38,6	54,2	54,4	63,9	58,8	61,3	59,1	57,1	64,1	64,3	75,5	69,4	72,4	69,9	67,5
50	18,7	18,6	21,9	20,2	21,1	20,3	19,6	37,5	37,2	43,9	40,4	42,1	40,6	39,2	55,2	55,1	65,0	59,8	62,4	60,1	58,1	65,3	65,2	76,8	70,6	73,7	71,1	68,6
55	19,0	18,9	22,3	20,5	21,4	20,6	19,9	38,1	37,8	44,6	40,9	42,7	41,2	39,8	56,1	55,9	66,0	60,6	63,3	61,0	58,9	66,3	66,1	78,0	71,6	74,8	72,1	69,6
60	19,2	19,1	22,6	20,7	21,7	20,9	20,1	38,7	38,2	45,2	41,4	43,3	41,8	40,2	56,9	56,5	67,0	61,4	64,1	61,8	59,6	67,2	66,8	79,2	72,5	75,8	73,1	70,4
65	19,5	19,3	22,9	21,0	21,9	21,1	20,4	39,1	38,5	45,8	42,0	43,8	42,2	40,7	57,6	57,1	67,8	62,1	64,9	62,5	60,3	68,1	67,4	80,2	73,4	76,7	73,9	71,3
70	19,7	19,4	23,2	21,2	22,2	21,4	20,6	39,6	38,9	46,3	42,4	44,4	42,7	41,1	58,3	57,6	68,6	62,8	65,7	63,3	60,9	68,9	68,1	81,1	74,3	77,6	74,8	72,0
75	19,9	19,6	23,4	21,4	22,4	21,6	20,8	40,0	39,2	46,9	42,8	44,8	43,2	41,5	58,9	58,1	69,4	63,4	66,4	63,9	61,5	69,7	68,6	82,0	75,0	78,4	75,5	72,7
80	20,1	19,8	23,7	21,6	22,6	21,8	21,0	40,4	39,6	47,3	43,2	45,2	43,5	42,0	59,5	58,6	70,1	64,0	67,0	64,4	62,1	70,4	69,3	82,8	75,6	79,2	76,2	73,4
85	20,2	19,9	23,9	21,8	22,8	22,0	21,1	40,8	39,8	47,7	43,6	45,6	43,9	42,3	60,1	59,0	70,7	64,6	67,5	65,1	62,6	71,0	69,7	83,5	76,3	79,8	76,9	74,0
90	20,4	20,1	24,1	22,0	23,0	22,1	21,3	41,1	40,1	48,2	44,0	46,0	44,3	42,6	60,6	59,4	71,3	65,1	68,1	65,5	63,1	71,7	70,3	84,3	77,0	80,5	77,4	74,5
95	20,6	20,2	24,3	22,2	23,2	22,3	21,5	41,5	40,4	48,6	44,4	46,4	44,6	42,9	61,1	59,8	71,9	65,7	68,7	66,1	63,5	72,3	70,7	85,0	77,6	81,2	78,1	75,1
100	20,7	20,3	24,5	22,3	23,4	22,5	21,6	41,8	40,7	48,9	44,6	46,7	44,9	43,2	61,5	60,2	72,5	66,1	69,2	66,5	64,0	72,8	71,2	85,6	78,1	81,8	78,6	75,6
Desv.%Médio		1,1	16,6	7,9	12,3	8,6	5,4		1,7	17,2	8,5	12,9	9,2	5,9		1,4	16,8	8,1	12,5	8,8	5,5		2,3	17,8	9,2	13,5	9,8	6,5
D.%Abs.Médio		2,3	16,6	7,9	12,3	8,6	5,4		3,2	17,2	8,5	12,9	9,2	5,9		3,3	16,8	8,1	12,5	8,8	5,5		3,6	17,8	9,2	13,5	9,8	6,5

Tabela 17. Quantis série sintética comparados com os quantis da IDF atual, durações 1 a 4 horas.

Tr Anos	1 hora							2 horas							3 horas							4 horas						
	IDF atual	541	1223	1987	2741	3571	4409	IDF atual	541	1223	1987	2741	3571	4409	IDF atual	541	1223	1987	2741	3571	4409	IDF atual	541	1223	1987	2741	3571	4409
2	32,2	41,5	39,4	39,3	39,6	39,3	39,7	38,2	45,2	42,8	42,6	43,0	42,8	43,0	42,6	46,8	44,4	44,4	44,7	44,4	44,7	46,0	49,6	47,2	46,8	47,2	46,8	47,2
5	43,4	50,1	52,3	50,1	51,3	50,4	49,8	49,6	54,4	56,8	54,4	55,8	54,8	54,2	53,4	56,4	58,8	56,7	57,9	56,7	56,1	57,6	59,6	62,4	60,0	61,2	60,0	59,6
10	51,9	56,6	61,9	58,4	60,3	58,7	57,5	58,0	61,4	67,2	63,4	65,4	63,8	62,4	61,5	63,9	69,9	66,0	68,1	66,3	64,8	66,4	67,6	74,0	69,6	72,0	70,0	68,4
15	56,9	60,4	67,6	63,2	65,5	63,6	62,0	63,0	65,6	73,4	68,6	71,0	69,0	67,4	66,3	68,1	76,2	71,4	73,8	71,7	69,9	71,2	72,0	80,4	75,2	78,0	76,0	74,0
20	60,4	63,1	71,6	66,6	69,2	67,0	65,2	66,6	68,4	77,8	72,4	75,2	72,8	70,8	69,9	71,1	80,7	75,3	78,0	75,6	73,5	75,2	75,2	85,2	79,6	82,4	80,0	77,6
25	63,1	65,1	74,7	69,3	72,0	69,7	67,7	69,4	70,8	81,2	75,2	78,2	75,6	73,6	72,3	73,5	84,3	78,3	81,3	78,6	76,5	78,0	77,6	89,2	82,8	86,0	83,2	80,8
30	65,4	66,9	77,3	71,5	74,4	71,9	69,7	71,6	72,6	83,8	77,6	80,8	78,0	75,6	74,7	75,3	87,0	80,7	83,7	81,0	78,6	80,0	79,6	92,0	85,2	88,8	85,6	83,2
35	67,3	68,3	79,4	73,4	76,4	73,8	71,4	73,4	74,2	86,2	79,6	83,0	80,2	77,6	76,5	77,1	89,4	82,8	86,1	83,1	80,7	82,0	81,6	94,8	87,6	91,2	88,0	85,2
40	68,9	69,6	81,3	74,9	78,1	75,4	72,9	75,2	75,6	88,2	81,4	84,8	81,8	79,2	78,0	78,3	91,5	84,6	87,9	84,9	82,2	83,6	82,8	96,8	89,2	93,2	90,0	86,8
45	70,3	70,7	83,0	76,3	79,6	76,8	74,2	76,6	76,8	90,0	82,8	86,4	83,4	80,6	79,5	79,8	93,6	86,1	89,7	86,7	83,7	85,2	84,4	98,8	90,8	94,8	91,6	88,4
50	71,6	71,6	84,4	77,6	81,0	78,1	75,4	77,8	77,8	91,6	84,2	88,0	84,8	81,8	80,7	80,7	95,1	87,6	91,2	87,9	84,9	86,4	85,2	100,8	92,4	96,4	93,2	90,0
55	72,8	72,6	85,7	78,7	82,2	79,2	76,5	79,0	78,8	93,0	85,4	89,2	86,0	83,0	81,9	81,9	96,6	88,8	92,7	89,4	86,1	87,6	86,4	102,0	94,0	98,0	94,4	91,2
60	73,9	73,4	87,0	79,7	83,3	80,3	77,4	80,2	79,6	94,4	86,6	90,4	87,2	84,0	82,8	82,8	98,1	90,0	93,9	90,6	87,3	88,8	87,6	103,6	95,2	99,2	95,6	92,4
65	74,8	74,1	88,1	80,7	84,3	81,2	78,3	81,2	80,4	95,6	87,6	91,6	88,2	85,0	83,7	83,7	99,3	90,9	95,1	91,5	88,5	90,0	88,4	104,8	96,4	100,4	96,8	93,6
70	75,8	74,8	89,1	81,6	85,3	82,2	79,1	82,0	81,2	96,8	88,6	92,6	89,2	86,0	84,6	84,3	100,5	92,1	96,0	92,7	89,4	90,8	89,2	106,4	97,2	101,6	98,0	94,4
75	76,6	75,4	90,1	82,4	86,2	83,0	79,9	82,8	82,0	97,8	89,4	93,6	90,0	86,8	85,5	85,2	101,4	93,0	97,2	93,6	90,0	91,6	90,0	107,2	98,4	102,8	98,8	95,2
80	77,4	76,1	91,0	83,1	87,0	83,7	80,7	83,6	82,6	98,8	90,2	94,4	90,8	87,6	86,1	85,8	102,6	93,9	98,1	94,5	90,9	92,4	90,8	108,4	99,2	103,6	99,6	96,0
85	78,1	76,6	91,8	83,9	87,7	84,5	81,3	84,4	83,2	99,8	91,0	95,2	91,6	88,2	87,0	86,4	103,5	94,5	99,0	95,1	91,5	93,2	91,2	109,6	100,0	104,8	100,8	96,8
90	78,8	77,2	92,6	84,6	88,5	85,1	81,9	85,2	83,8	100,6	91,8	96,0	92,4	89,0	87,6	87,0	104,4	95,4	99,9	96,0	92,4	94,0	92,0	110,4	100,8	105,6	101,6	97,6
95	79,5	77,7	93,4	85,3	89,2	85,8	82,5	85,8	84,4	101,4	92,6	96,8	93,2	89,6	88,2	87,6	105,3	96,0	100,5	96,6	93,0	94,8	92,8	111,2	101,6	106,4	102,4	98,4
100	80,1	78,2	94,1	85,8	89,9	86,4	83,1	86,4	84,8	102,2	93,2	97,6	93,8	90,2	88,8	88,2	106,2	96,9	101,4	97,5	93,6	95,2	93,2	112,0	102,4	107,2	103,2	99,2
D.%Médio	2,7	18,3	9,6	14,0	10,2	6,9			1,6	17,1	8,4	12,8	9,1	5,8		1,1	16,7	8,1	12,4	8,7	5,4		-0,4	14,9	6,4	10,7	7,0	3,8
D.%A.Médio	4,2	18,3	9,6	14,0	10,2	6,9			2,7	17,1	8,4	12,8	9,1	5,8		1,5	16,7	8,1	12,4	8,7	5,4		1,8	14,9	6,4	10,7	7,0	3,8

Tabela 18. Quantis série sintética comparados com os quantis da IDF atual, durações 8 a 24 horas.

Tr Anos	8 horas							14 horas							24 horas						
	IDF atual	541	1223	1987	2741	3571	4409	IDF atual	541	1223	1987	2741	3571	4409	IDF atual	541	1223	1987	2741	3571	4409
2	32,2	59,2	56,0	56,0	56,8	56,0	56,8	68,6	75,6	71,4	71,4	71,4	71,4	71,4	79,2	88,8	84,0	84,0	84,0	84,0	84,0
5	43,4	71,2	74,4	71,2	73,6	72,0	71,2	86,8	91,0	95,2	91,0	92,4	91,0	89,6	100,8	105,6	110,4	105,6	110,4	108,0	105,6
10	51,9	80,8	88,0	83,2	86,4	84,0	82,4	99,4	102,2	112,0	106,4	109,2	106,4	103,6	115,2	120,0	132,0	124,8	127,2	124,8	122,4
15	56,9	86,4	96,0	90,4	93,6	90,4	88,8	107,8	109,2	121,8	114,8	119,0	114,8	112,0	124,8	129,6	144,0	134,4	139,2	134,4	132,0
20	60,4	89,6	102,4	95,2	98,4	95,2	92,8	113,4	114,8	130,2	120,4	124,6	121,8	117,6	132,0	134,4	151,2	141,6	146,4	141,6	139,2
25	63,1	92,8	106,4	99,2	102,4	99,2	96,8	117,6	117,6	135,8	126,0	130,2	126,0	123,2	136,8	139,2	158,4	146,4	153,6	148,8	144,0
30	65,4	95,2	110,4	101,6	106,4	102,4	99,2	120,4	120,4	140,0	128,8	134,4	130,2	126,0	141,6	141,6	165,6	151,2	158,4	153,6	148,8
35	67,3	97,6	113,6	104,8	108,8	105,6	101,6	124,6	123,2	144,2	133,0	138,6	133,0	128,8	146,4	146,4	168,0	156,0	163,2	156,0	151,2
40	68,9	99,2	116,0	107,2	111,2	107,2	104,0	126,0	126,0	147,0	135,8	141,4	135,8	131,6	148,8	148,8	172,8	158,4	165,6	160,8	156,0
45	70,3	100,8	118,4	108,8	113,6	109,6	105,6	128,8	127,4	149,8	138,6	144,2	138,6	134,4	151,2	151,2	177,6	163,2	170,4	163,2	158,4
50	71,6	102,4	120,0	110,4	115,2	111,2	107,2	130,2	130,2	152,6	140,0	147,0	141,4	135,8	153,6	153,6	180,0	165,6	172,8	165,6	160,8
55	72,8	103,2	122,4	112,0	117,6	112,8	108,8	133,0	131,6	155,4	142,8	148,4	142,8	138,6	156,0	153,6	182,4	168,0	175,2	168,0	163,2
60	73,9	104,8	124,0	113,6	118,4	114,4	110,4	134,4	133,0	156,8	144,2	151,2	145,6	140,0	158,4	156,0	184,8	170,4	177,6	170,4	165,6
65	74,8	105,6	125,6	115,2	120,0	116,0	112,0	135,8	134,4	159,6	145,6	152,6	147,0	141,4	160,8	158,4	187,2	172,8	180,0	172,8	165,6
70	75,8	106,4	127,2	116,0	121,6	116,8	112,8	137,2	135,8	161,0	147,0	154,0	148,4	142,8	160,8	158,4	189,6	172,8	182,4	175,2	168,0
75	76,6	107,2	128,8	117,6	123,2	118,4	113,6	138,6	135,8	162,4	148,4	155,4	149,8	144,2	163,2	160,8	192,0	175,2	182,4	177,6	170,4
80	77,4	108,8	129,6	118,4	124,0	119,2	115,2	140,0	137,2	165,2	149,8	156,8	151,2	145,6	165,6	160,8	194,4	177,6	184,8	177,6	172,8
85	78,1	109,6	131,2	120,0	124,8	120,8	116,0	141,4	138,6	166,6	151,2	158,2	152,6	147,0	165,6	163,2	194,4	177,6	187,2	180,0	172,8
90	78,8	110,4	132,0	120,8	126,4	121,6	116,8	142,8	140,0	168,0	152,6	159,6	154,0	148,4	168,0	163,2	196,8	180,0	187,2	180,0	175,2
95	79,5	111,2	132,8	121,6	127,2	122,4	117,6	142,8	140,0	169,4	154,0	161,0	155,4	149,8	168,0	165,6	199,2	182,4	189,6	182,4	175,2
100	80,1	111,2	134,4	122,4	128,0	123,2	118,4	144,2	141,4	170,8	155,4	162,4	156,8	149,8	170,4	165,6	199,2	182,4	192,0	184,8	177,6
Desv.%Médio	-0,7	14,7	6,1	10,4	6,7	3,5			0,1	15,6	6,9	11,1	7,5	4,1		0,5	15,8	7,2	11,6	7,8	4,7
D.%Abs.Médio		1,1	14,9	6,4	10,6	7,0	3,6		1,8	15,6	6,9	11,1	7,5	4,1		2,3	15,8	7,2	11,6	7,8	4,7

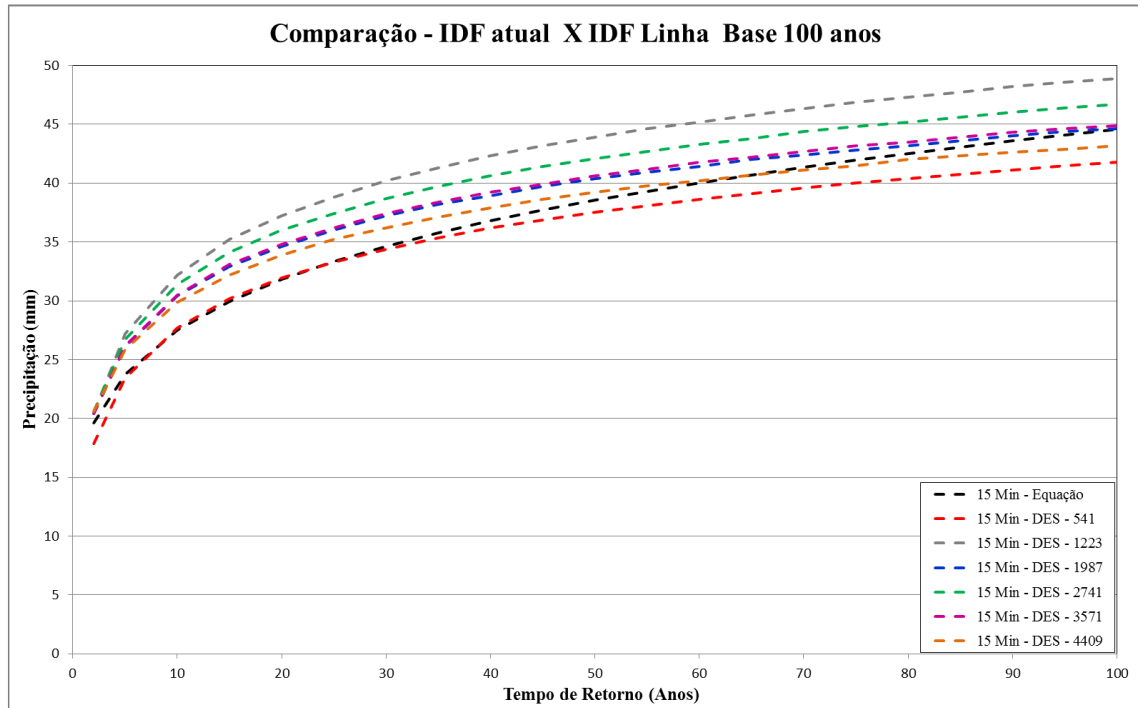


Figura 10. Quantis da IDF atual em preto e quantis IDF Desagregadas para duração de 15 minutos e as seis opções de sementes do LARS-WG.

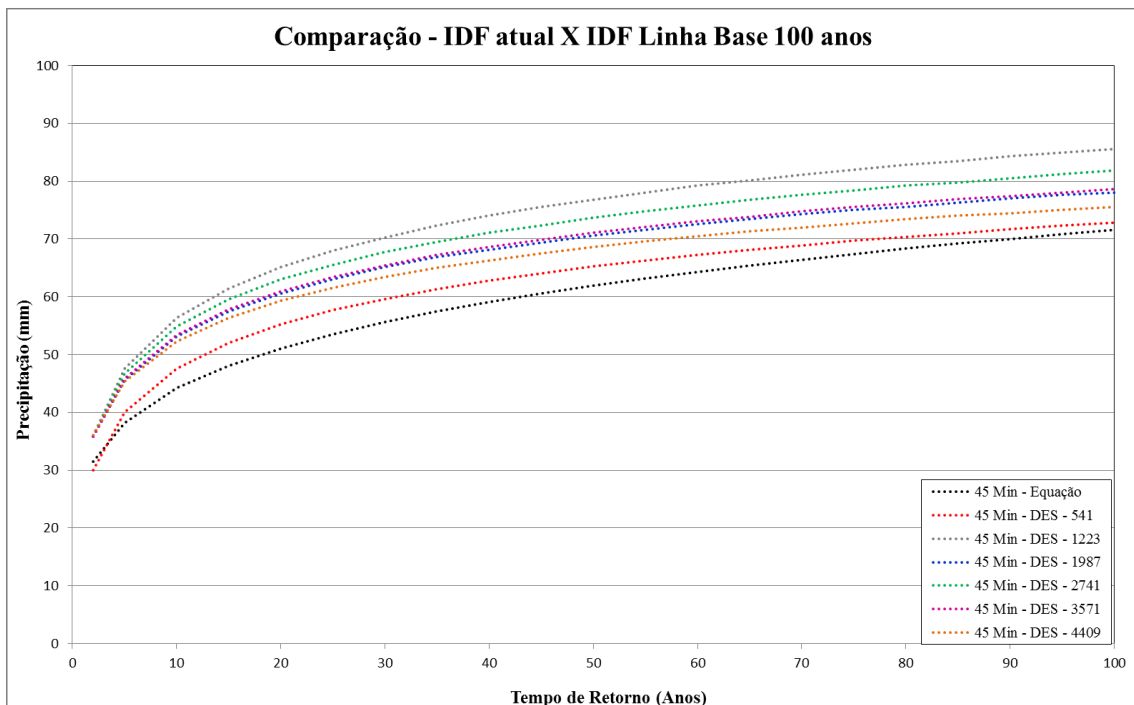


Figura 11. Quantis da IDF atual em preto e quantis IDF Desagregadas para duração de 45 minutos e as seis opções de sementes do LARS-WG.

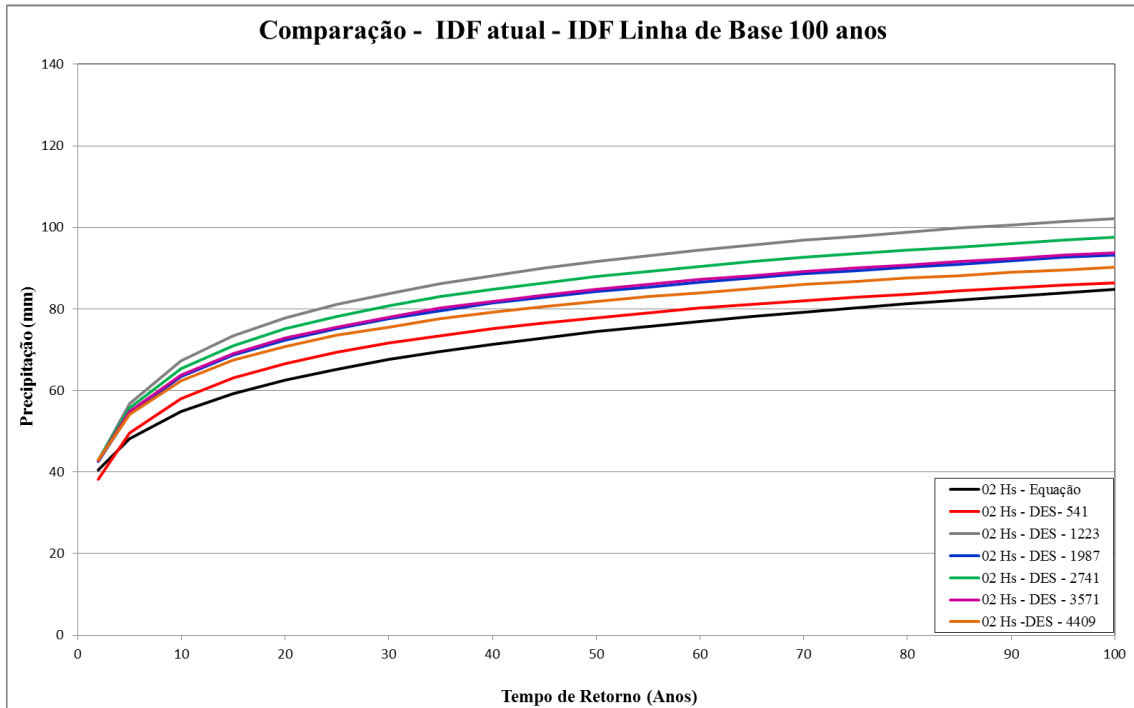


Figura 12. Quantis da IDF atual em preto e quantis IDF Desagregadas para duração de 2 horas e as seis opções de sementes do LARS-WG.

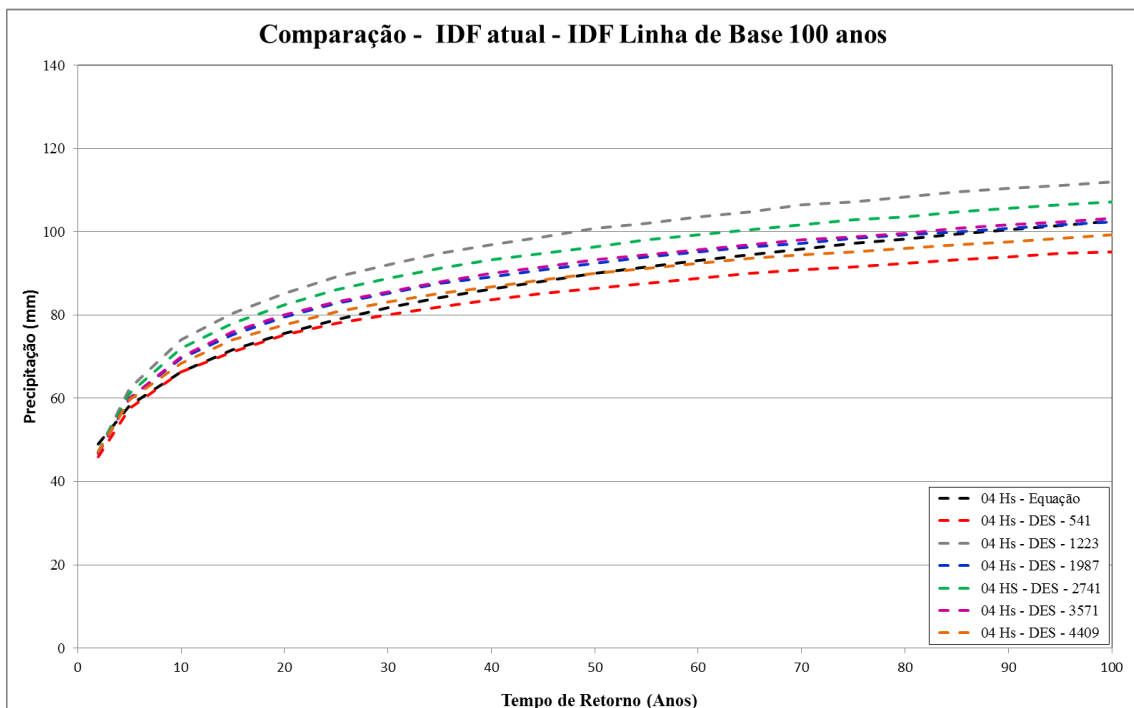


Figura 13. Quantis da IDF atual em preto e quantis IDF Desagregadas para duração de 4 horas e as seis opções de sementes do LARS-WG.

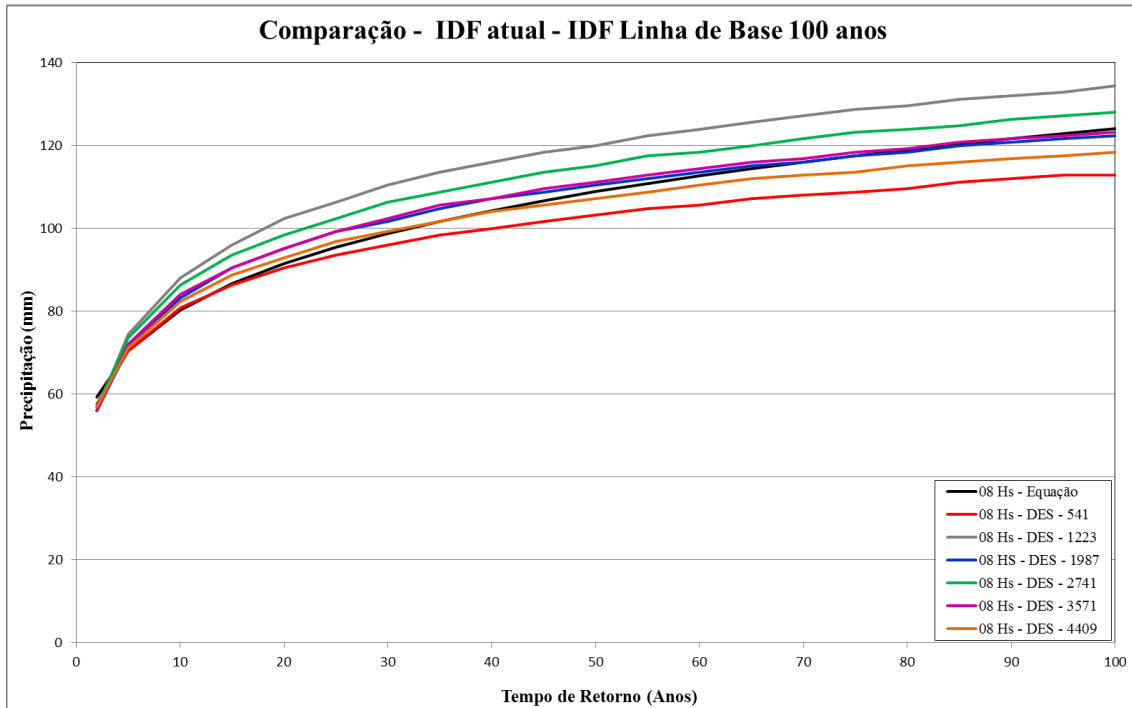


Figura 14. Quantis da IDF atual em preto e quantis IDF Desagregadas para duração de 8 horas e as seis opções de sementes do LARS-WG.

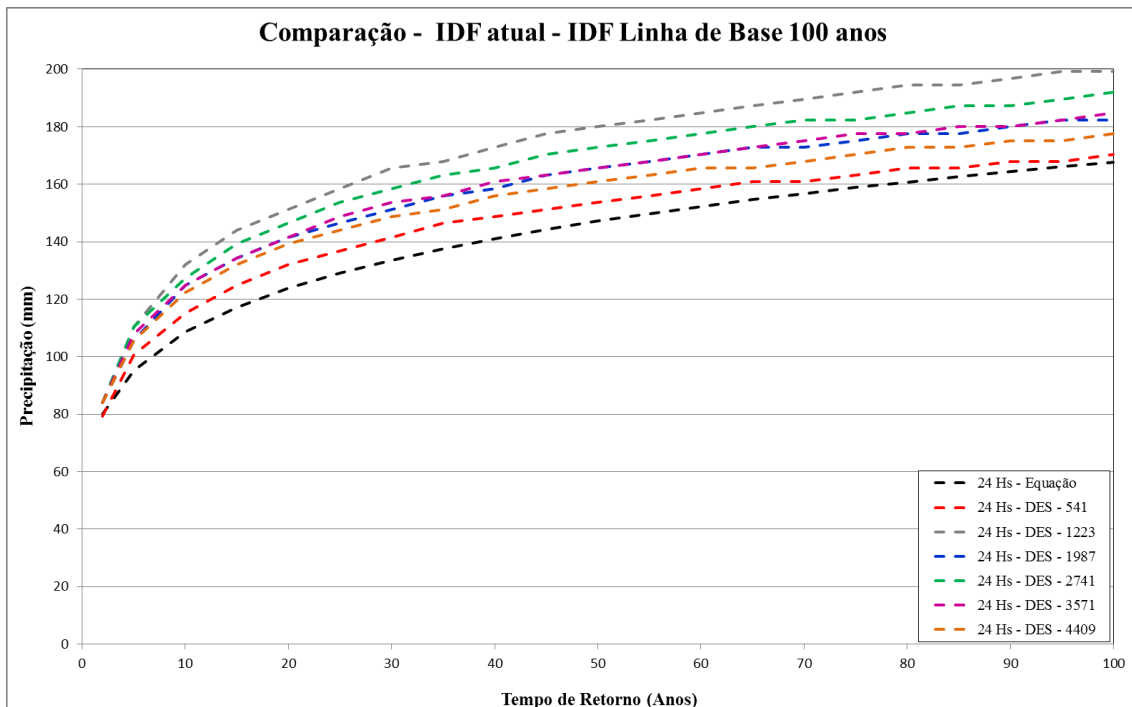


Figura 15. Quantis da IDF atual em preto e quantis IDF Desagregadas para duração de 24 horas e as seis opções de sementes do LARS-WG.

4.5 IDF gerada com dados sintéticos das projeções versus IDF atual

As séries sintéticas geradas para trajetórias futuras foram geradas conforme os passos da geração das séries sintéticas para linha de base, mas com a introdução de alterações previstas pelos modelos do IPCC-AR4 disponíveis no LARS-WG. Foram selecionados apenas os últimos 40 anos da série gerada de 300 anos de dados o que permite um bom afastamento da primeira geração ou dos primeiros sorteios realizados pelo modelo, o chamado aquecimento, que aumenta a probabilidade que os eventos gerados sejam totalmente aleatórios.

Os resultados encontrados para cada um dos três cenários considerados e os dois respectivos período de projeção independente da semente e modelo encontram-se na sequência em gráficos do tipo box-plot (Figuras 16,17 e 18). Foram comparados os quantis obtidos para as diferentes durações, após a desagregação dos dados diários sintéticos (IDFs projetadas), com os quantis da IDF atual de Porto Alegre. Na análise foram utilizados desvios (ou diferenças) percentuais (Figura 16), percentuais médios (Figura 17) e percentuais médios absolutos (Figura 18).

Na interpretação do conjunto de dados que corresponde aos valores de desvio dos quantis obtidos num cenário projetado em relação aos quantis atuais foram utilizados gráficos do tipo box-plot. Estes gráficos são divididos em quatro partes, onde 25% dos desvios são menores que o primeiro quartil, 50% são menores que o segundo quartil e 75% são menores que o terceiro quartil. E, a variabilidade dos dados é dada pela diferença entre quartis.

Ao comparar os quantis da IDF atual com os quantis das IDFs projetadas (Figuras 16, 17 e 18), os desvios percentuais, percentuais médios e percentuais médio absolutos apresentaram maior variabilidade para o segundo período projetado, em especial para o cenário A2, o mais pessimista, com variabilidade dos desvios na faixa de 20%. No primeiro período a variabilidade ficou na faixa de 10%.

Os desvios no segundo período de projeção (2080-2099) ficaram abaixo de 25% para 75% dos quantis, considerando os cenários A1B e B1. Já para o cenário mais pessimista A2, os desvios ficaram abaixo de 30%, o que indica uma grande sobrecarga no sistema de drenagem e a necessidade evidente de melhoria na capacidade de retenção e escoamento das águas pluviais para este período.

No primeiro período de projeção (2046-2065) os desvios percentuais médios e médios absolutos ficaram abaixo de 15% para 75% dos quantis no cenário mais otimista B1, e abaixo de 20% para os cenários A1B e A2. Embora os desvios no primeiro período entre os cenários

tenha sido menor do que o segundo período, ainda há indício de sobrecarga no sistema.

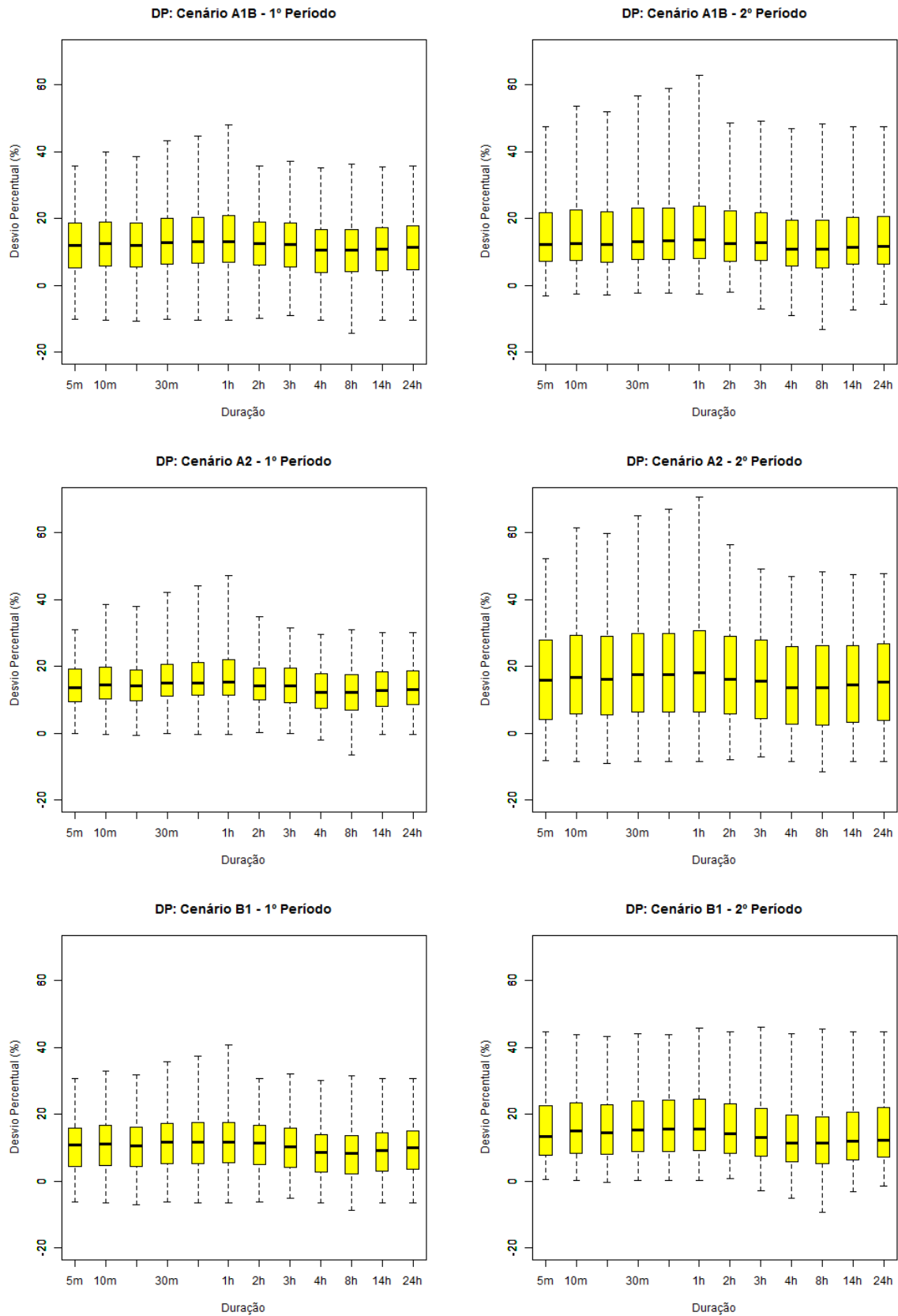


Figura 16. Desvio percentual em relação aos quantis da IDF atual.

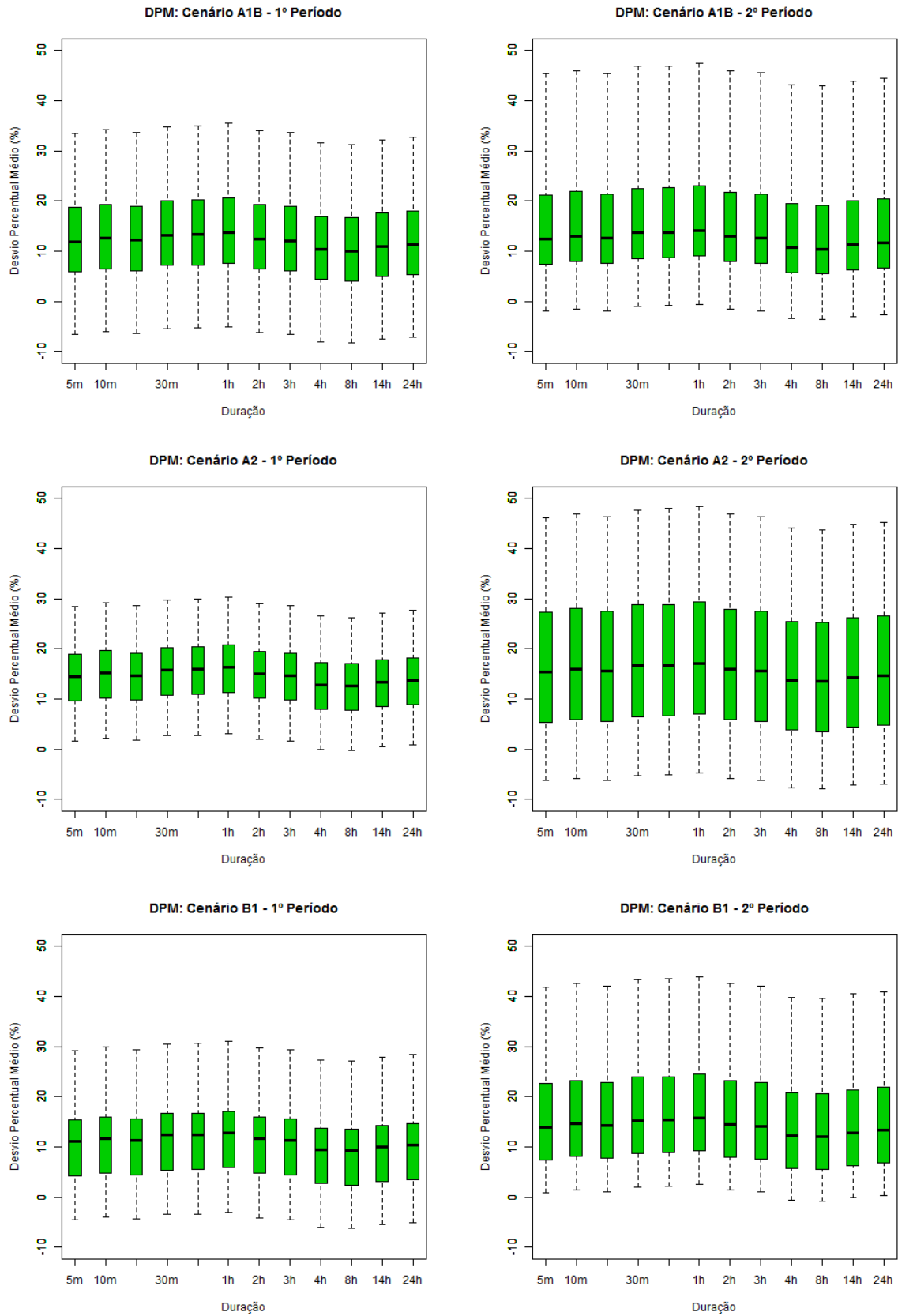


Figura 17. Desvio percentual médio em relação aos quantis da IDF atual.

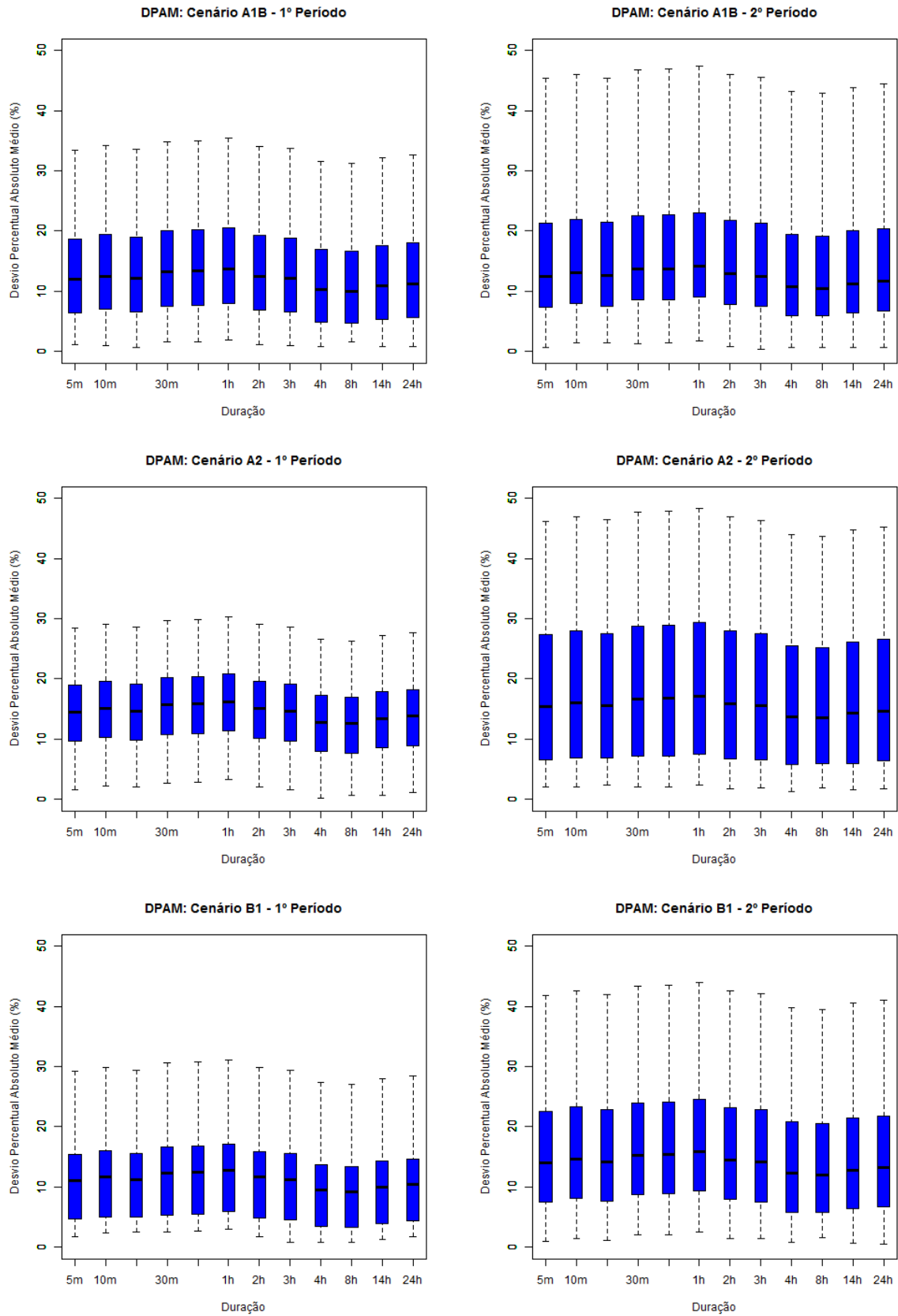


Figura 18. Desvio percentual médio absoluto em relação aos quantis da IDF atual.

Os valores dos quantis, obtidos após a desagregação da série sintética gerada pelo gerador estocástico, refletiram a variabilidade de um clima futuro em relação à curva IDF atual. De modo geral, os desvios foram positivos, o que indica aumento das precipitações em todas as durações.

Na sequência são apresentados os resultados obtidos, para cada um dos cenários e período de projeção, considerando os diferentes modelos utilizados na geração dos dados de precipitação diária, que foram desagregados nas durações menores. Nas Tabelas de 19 a 24 são apresentadas entre outras estatísticas, a média dos desvios percentuais médios e desvios percentuais absolutos médios para as várias opções de semente para cada modelo.

Tabela 19. Desvio percentual médio considerando o modelo climático utilizado, cenário A1B, para o período de 2046-2065.

	5m	10m	15m	30m	45m	1h	2h	3h	4h	8h	14h	24h
GFCM21												
Máximo	13	13	13	14	14	14	13	13	11	11	12	12
Quartil 3	11	11	11	12	12	12	11	11	9	9	10	10
Mediana	8	8	8	9	9	9	8	8	6	6	7	7
Média	7	7	7	8	8	8	7	7	5	5	5	6
Quartil 1	4	4	4	5	5	5	4	4	2	2	3	3
Mínimo	-1	-1	-1	0	0	0	-1	-1	-3	-3	-2	-2
HADCM3												
Máximo	19	19	19	20	20	21	19	19	17	17	18	18
Quartil 3	18	19	19	20	20	20	19	18	17	16	17	18
Mediana	16	16	16	17	17	18	16	16	14	14	15	15
Média	14	15	15	16	16	16	15	15	13	12	13	14
Quartil 1	12	12	12	13	13	14	12	12	10	10	11	11
Mínimo	6	7	7	8	8	8	7	7	5	5	5	6
INCM3												
Máximo	8	8	8	9	9	9	8	8	6	6	7	7
Quartil 3	4	5	4	5	5	6	5	4	2	2	3	3
Mediana	2	2	2	3	3	3	2	2	0	0	1	1
Média	1	2	1	2	3	3	2	1	0	0	0	1
Quartil 1	4	4	4	5	5	5	4	4	2	2	3	3
Mínimo	-7	-6	-6	-6	-5	-5	-6	-7	-8	-8	-8	-7
IPCM4												
Máximo	24	24	24	25	25	26	24	24	22	22	22	23
Quartil 3	20	20	20	21	21	22	20	20	18	18	19	19
Mediana	13	13	13	14	14	14	13	13	11	11	11	12
Média	15	15	15	16	16	16	15	15	13	13	14	14
Quartil 1	12	13	12	13	13	14	13	12	10	10	11	11
Mínimo	6	7	6	7	8	8	7	6	5	4	5	6
MPEH5												
Máximo	33	34	34	35	35	35	34	34	32	31	32	33
Quartil 3	31	31	31	32	32	33	31	31	29	29	29	30
Mediana	28	28	28	29	29	30	28	28	26	26	27	27
Média	27	28	27	28	28	29	27	27	25	25	26	26
Quartil 1	25	25	25	26	26	27	25	25	23	23	24	24
Mínimo	17	18	17	18	18	19	18	17	15	15	16	16
NCCSM												
Máximo	19	19	19	20	20	21	19	19	17	17	18	18
Quartil 3	13	14	14	15	15	15	14	13	12	11	12	13
Mediana	13	13	13	14	14	14	13	13	11	11	11	12
Média	12	13	13	14	14	14	13	13	11	10	11	12
Quartil 1	12	12	12	13	13	13	12	12	10	10	10	11
Mínimo	6	6	6	7	7	7	6	6	4	4	5	5

Considerando o cenário intermediário A1B e o primeiro período de projeção na Tabela 19, os modelos HADCM3, IPCM4 e NCCCSM apresentaram em média resultados semelhantes com desvios na faixa de 12 a 16%. O GFCM21 apresentou desvios menores que 8% e o INCM3 praticamente não apresentou alteração com a média dos desvios não ultrapassando os 3%. O MPEH5 apresentou resultados superiores a 25%.

Tabela 20. Desvio percentual médio considerando o modelo climático utilizado, cenário A2, período 2046-2065.

	5m	10m	15m	30m	45m	1h	2h	3h	4h	8h	14h	24h
GFCM21												
Máximo	18	19	19	20	20	20	19	19	17	16	17	18
Quartil 3	16	17	16	17	17	18	17	16	14	14	15	15
Mediana	13	14	14	15	15	15	14	14	12	12	12	13
Média	12	13	12	13	13	14	13	12	10	10	11	11
Quartil 1	8	9	8	9	9	10	9	8	6	6	7	7
Mínimo	4	4	4	5	5	5	4	4	2	2	3	3
HADCM3												
Máximo	15	16	15	16	16	17	16	15	13	13	14	14
Quartil 3	14	15	15	16	16	16	15	14	13	12	13	14
Mediana	11	11	11	12	12	12	11	11	9	9	10	10
Média	10	11	10	11	12	12	11	10	9	8	9	10
Quartil 1	7	8	8	9	9	9	8	8	6	6	6	7
Mínimo	3	4	3	4	4	5	3	3	1	1	2	2
INCM3												
Máximo	22	23	23	24	24	24	23	23	21	20	21	22
Quartil 3	12	13	12	14	14	14	13	12	11	10	11	12
Mediana	10	10	10	11	11	12	10	10	8	8	9	9
Média	11	12	12	13	13	13	12	12	10	10	10	11
Quartil 1	8	8	8	9	9	9	8	8	6	6	7	7
Mínimo	7	7	7	8	8	9	7	7	5	5	6	6
IPCM4												
Máximo	19	20	19	20	20	21	19	19	17	17	18	18
Quartil 3	16	17	16	17	17	18	17	16	14	14	15	15
Mediana	14	14	14	15	15	15	14	14	12	12	12	13
Média	13	13	13	14	14	14	13	13	11	11	12	12
Quartil 1	12	13	13	14	14	14	13	13	11	11	11	12
Mínimo	2	2	2	3	3	3	2	2	0	0	1	1
MPEH5												
Máximo	28	29	29	30	30	30	29	29	27	26	27	28
Quartil 3	25	26	26	27	27	27	26	26	24	23	24	25
Mediana	23	24	23	25	25	25	24	23	21	21	22	23
Média	22	22	22	23	23	24	22	22	20	20	20	21
Quartil 1	20	21	20	21	21	22	20	20	18	18	19	19
Mínimo	10	11	10	11	11	12	11	10	8	8	9	9
NCCCSM												
Máximo	25	26	25	27	27	27	26	25	23	23	24	24
Quartil 3	22	22	22	23	23	23	22	22	20	19	20	21
Mediana	19	20	20	21	21	21	20	20	18	17	18	19
Média	19	20	19	21	21	21	20	19	18	17	18	19
Quartil 1	17	18	17	19	19	19	18	17	16	15	16	17
Mínimo	13	14	13	14	14	15	14	13	11	11	12	12

No cenário mais pessimista A2 e primeiro período de projeção (Tabela 20), todos os modelos apresentaram, em média, resultados semelhantes com desvios na faixa de 9 a 14%.

No entanto, os modelos MPEH5 e NCCCSM apresentaram, em média, desvios superiores a 19%.

Tabela 21. Desvio percentual médio considerando o modelo climático utilizado, cenário B1, período 2046-2065.

	5m	10m	15m	30m	45m	1h	2h	3h	4h	8h	14h	24h
GFCM21												
Máximo	17	17	17	18	18	18	17	17	15	15	16	16
Quartil 3	14	15	14	15	16	16	15	14	13	12	13	14
Mediana	13	14	13	14	14	15	13	13	11	11	12	12
Média	11	12	11	12	12	13	11	11	9	9	10	10
Quartil 1	6	7	7	8	8	8	7	7	5	5	5	6
Mínimo	4	5	4	5	5	6	4	4	2	2	3	3
HADCM3												
Máximo	17	18	17	18	18	19	17	17	15	15	16	16
Quartil 3	13	13	13	14	14	15	13	13	11	11	12	12
Mediana	12	13	12	13	13	14	12	12	10	10	11	11
Média	12	13	12	13	13	14	13	12	10	10	11	11
Quartil 1	10	10	10	11	11	11	10	10	8	8	9	9
Mínimo	9	10	10	11	11	11	10	9	8	7	8	9
INCM3												
Máximo	6	7	6	7	7	8	6	6	4	4	5	5
Quartil 3	3	4	4	5	5	5	4	4	2	2	2	3
Mediana	2	2	2	3	3	4	2	2	0	0	1	1
Média	1	2	2	2	3	3	2	1	0	0	0	1
Quartil 1	0	0	0	1	1	1	0	0	-2	-2	-1	-1
Mínimo	-5	-4	-4	-3	-3	-3	-4	-4	-6	-6	-6	-5
IPCM4												
Máximo	11	12	12	13	13	13	12	11	10	9	10	11
Quartil 3	8	8	8	9	9	9	8	8	6	6	7	7
Mediana	6	6	6	7	7	8	6	6	4	4	5	5
Média	5	6	5	6	6	7	6	5	4	3	4	5
Quartil 1	2	3	2	3	3	4	3	2	0	0	1	1
Mínimo	-1	0	-1	0	0	1	0	-1	-2	-2	-2	-1
MPEH5												
Máximo	19	19	19	20	20	20	19	19	17	17	17	18
Quartil 3	17	17	17	18	18	18	17	17	15	15	15	16
Mediana	15	16	16	17	17	17	16	16	14	13	14	15
Média	13	14	13	14	15	15	14	13	12	11	12	13
Quartil 1	12	13	12	13	13	14	12	12	10	10	11	11
Mínimo	2	3	3	4	4	4	3	2	1	1	1	2
NCCCSM												
Máximo	29	30	29	31	31	31	30	29	27	27	28	28
Quartil 3	25	25	25	26	26	27	25	25	23	23	24	24
Mediana	22	23	22	23	23	24	22	22	20	20	21	21
Média	20	20	20	21	21	21	20	20	18	18	18	19
Quartil 1	14	14	14	15	15	16	14	14	12	12	13	13
Mínimo	8	8	8	9	9	9	8	8	6	6	7	7

O cenário mais otimista B1 e o primeiro período de projeção na Tabela 21, e os modelos GFCM21, HADCM3 e MPEH5 apresentaram em média resultados semelhantes com desvios na faixa de 9 a 15%. O INCM3 praticamente não apresentou alteração com desvios menores que 3%. No IPCM4 os desvios foram menores que 7%. O modelo NCCCSM apresentou em média desvios superiores a 19%.

No segundo período houve uma grande variabilidade entre os resultados dos modelos, para os cenários A1B intermediário e pessimista A2, com desvios variando de negativo na faixa de -3% praticamente sem alteração em relação a IDF atual, e desvios chegando a 40% indicando um cenário catastrófico, Tabelas 22 e 23.

Tabela 22. Desvio percentual médio considerando o modelo climático utilizado, cenário A1B, período 2080-2099.

	5m	10m	15m	30m	45m	1h	2h	3h	4h	8h	14h	24h
GFCM21												
Máximo	7	7	7	8	8	8	7	7	5	5	6	6
Quartil 3	1	2	2	2	3	3	2	2	0	0	0	1
Mediana	1	1	1	2	2	2	1	1	-1	-1	0	0
Média	1	1	1	2	2	2	1	1	-1	-1	0	0
Quartil 1	-1	-1	-1	0	0	0	-1	-1	-3	-3	-2	-2
Mínimo	-2	-2	-2	-1	-1	-1	-2	-2	-3	-4	-3	-3
HADCM3												
Máximo	20	21	20	21	21	22	21	20	18	18	19	19
Quartil 3	14	15	15	16	16	16	15	15	13	12	13	14
Mediana	13	14	13	14	15	15	14	13	12	11	12	12
Média	14	15	14	15	16	16	15	14	12	12	13	13
Quartil 1	12	13	12	13	14	14	13	12	11	10	11	12
Mínimo	12	12	12	13	13	13	12	12	10	10	10	11
INCM3												
Máximo	18	18	18	19	19	20	18	18	16	16	17	17
Quartil 3	11	12	11	12	12	13	12	11	9	9	10	10
Mediana	10	11	10	11	11	12	10	10	8	8	9	9
Média	9	10	9	10	10	11	10	9	7	7	8	8
Quartil 1	6	6	6	7	7	7	6	6	4	4	5	5
Mínimo	1	2	1	2	2	3	2	1	0	-1	0	0
IPCM4												
Máximo	19	20	20	21	21	21	20	20	18	17	18	19
Quartil 3	15	16	15	16	17	17	16	15	13	13	14	14
Mediana	12	12	12	13	13	14	12	12	10	10	11	11
Média	12	13	12	13	13	14	13	12	10	10	11	11
Quartil 1	8	9	9	10	10	10	9	9	7	7	7	8
Mínimo	6	6	6	7	7	7	6	6	4	4	5	5
MPEH5												
Máximo	45	46	45	47	47	47	46	46	43	43	44	44
Quartil 3	43	44	44	45	45	46	44	44	41	41	42	43
Mediana	40	41	40	42	42	42	41	40	38	38	39	39
Média	38	39	39	40	40	40	39	39	36	36	37	38
Quartil 1	38	39	38	40	40	40	39	38	36	36	37	37
Mínimo	23	23	23	24	24	24	23	23	21	20	21	22
NCCSM												
Máximo	32	32	32	33	33	34	32	32	30	30	31	31
Quartil 3	25	25	25	26	26	27	25	25	23	23	24	24
Mediana	19	20	19	20	21	21	20	19	17	17	18	18
Média	19	20	19	20	20	21	19	19	17	17	18	18
Quartil 1	11	12	12	13	13	13	12	11	10	9	10	11
Mínimo	8	9	8	9	9	10	9	8	7	6	7	7

Tabela 23. Desvio percentual médio considerando o modelo climático utilizado, cenário A2, período 2080-2099.

	5m	10m	15m	30m	45m	1h	2h	3h	4h	8h	14h	24h
GFCM21												
Máximo	2	3	3	4	4	4	3	3	1	1	1	2
Quartil 3	-2	-2	-2	-1	-1	-1	-2	-2	-4	-4	-3	-3
Mediana	-4	-3	-4	-3	-3	-2	-3	-4	-5	-6	-5	-5
Média	-3	-2	-3	-2	-2	-1	-3	-3	-4	-5	-4	-4
Quartil 1	-4	-4	-4	-3	-3	-3	-4	-4	-6	-6	-5	-5
Mínimo	-6	-6	-6	-5	-5	-5	-6	-6	-8	-8	-7	-7
HADCM3												
Máximo	13	14	13	14	14	15	14	13	11	11	12	12
Quartil 3	13	14	13	14	14	15	14	13	11	11	12	12
Mediana	13	14	13	14	14	15	14	13	11	11	12	12
Média	13	14	13	14	14	15	14	13	11	11	12	12
Quartil 1	13	14	13	14	14	15	14	13	11	11	12	12
Mínimo	13	14	13	14	14	15	14	13	11	11	12	12
INCM3												
Máximo	30	31	30	32	32	32	31	30	28	28	29	29
Quartil 3	23	24	23	24	25	25	24	23	21	21	22	22
Mediana	19	19	19	20	20	20	19	19	17	17	18	18
Média	19	20	19	20	21	21	20	19	17	17	18	18
Quartil 1	16	17	16	17	17	18	17	16	14	14	15	15
Mínimo	7	8	8	9	9	9	8	8	6	6	6	7
IPCM4												
Máximo	19	19	19	20	20	21	19	19	17	17	18	18
Quartil 3	15	15	15	16	16	16	15	15	13	13	14	14
Mediana	10	10	10	11	11	11	10	10	8	8	9	9
Média	9	10	9	10	10	11	10	9	8	7	8	8
Quartil 1	5	5	5	6	6	6	5	5	3	3	4	4
Mínimo	-3	-2	-3	-2	-2	-1	-2	-3	-4	-4	-4	-3
MPEH5												
Máximo	46	47	46	48	48	48	47	46	44	44	45	45
Quartil 3	44	45	44	46	46	46	45	44	42	42	43	43
Mediana	41	42	41	43	43	43	42	41	39	39	40	40
Média	39	39	39	40	40	41	39	39	36	36	37	38
Quartil 1	34	35	34	36	36	36	35	34	32	32	33	33
Mínimo	26	26	26	27	27	28	26	26	24	24	24	25
NCCCSM												
Máximo	36	36	36	37	37	38	36	36	34	33	34	35
Quartil 3	28	29	28	29	30	30	29	28	26	26	27	27
Mediana	22	22	22	23	23	24	22	22	20	20	21	21
Média	22	22	22	23	23	24	22	22	20	20	21	21
Quartil 1	14	14	14	15	15	16	14	14	12	12	13	13
Mínimo	10	11	10	11	12	12	11	10	8	8	9	9

Quando considerado o cenário B1, o mais otimista para o segundo período, Tabela 24, os desvios nos modelos GFCM2, HADCM3 e IPCM4 ficaram em média na faixa entre 6 e 14%. E, nos modelos INCM3 e NCCCSM entre 14 e 18%. Os maiores desvios ficaram por conta do MPEH5, em torno de 30%.

Tabela 24. Desvio percentual médio considerando o modelo climático utilizado, cenário B1, período 2080-2099.

	5m	10m	15m	30m	45m	1h	2h	3h	4h	8h	14h	24h
GFCM21												
Máximo	15	16	15	17	17	17	16	15	14	13	14	15
Quartil 3	10	11	10	11	11	12	11	10	8	8	9	9
Mediana	6	7	7	7	8	8	7	6	5	5	5	6
Média	7	7	7	8	8	9	7	7	5	5	6	6
Quartil 1	6	7	6	7	7	8	7	6	4	4	5	5
Mínimo	1	1	1	2	2	2	1	1	-1	-1	0	0
HADCM3												
Máximo	13	14	14	15	15	15	14	14	12	11	12	13
Quartil 3	12	12	12	13	13	14	12	12	10	10	11	11
Mediana	9	10	10	11	11	11	10	9	8	7	8	9
Média	10	10	10	11	11	12	10	10	8	8	9	9
Quartil 1	7	8	8	9	9	9	8	7	6	5	6	7
Mínimo	7	8	7	8	8	9	8	7	5	5	6	6
INCM3												
Máximo	30	30	30	31	31	32	30	30	28	28	29	29
Quartil 3	18	18	18	19	19	19	18	18	16	16	17	17
Mediana	14	14	14	15	15	16	14	14	12	12	13	13
Média	15	16	16	17	17	17	16	16	14	14	14	15
Quartil 1	11	11	11	12	12	12	11	11	9	9	9	10
Mínimo	7	8	7	8	8	9	7	7	5	5	6	6
IPCM4												
Máximo	18	18	18	19	19	19	18	18	16	16	16	17
Quartil 3	16	17	16	17	17	18	16	16	14	14	15	15
Mediana	13	14	13	14	14	15	14	13	11	11	12	12
Média	12	13	13	14	14	14	13	12	11	10	11	12
Quartil 1	12	13	13	14	14	14	13	12	11	10	11	12
Mínimo	4	4	4	5	5	6	4	4	2	2	3	3
MPEH5												
Máximo	42	43	42	43	44	44	43	42	40	40	41	41
Quartil 3	34	34	34	35	35	36	34	34	32	31	32	33
Mediana	32	32	32	33	33	34	32	32	30	29	30	31
Média	31	31	31	32	32	33	31	31	29	28	29	30
Quartil 1	29	30	29	31	31	31	30	29	27	27	28	28
Mínimo	15	16	16	17	17	17	16	16	14	13	14	15
NCCCSM												
Máximo	25	26	26	27	27	27	26	26	24	23	24	25
Quartil 3	23	24	23	24	25	25	24	23	21	21	22	22
Mediana	20	21	20	22	22	22	21	20	18	18	19	19
Média	16	17	17	18	18	18	17	17	15	14	15	16
Quartil 1	23	23	23	24	24	25	23	23	21	21	22	22
Mínimo	3	4	4	5	5	5	4	4	2	2	2	3

Observa-se ao analisar os resultados, das Tabelas de 19 a 24, que alguns modelos apresentaram variabilidade maior em relação aos demais, entretanto em maior ou menor proporção a maioria dos modelos indicou um aumento das precipitações sobre Porto Alegre. As incertezas são inerentes aos modelos matemáticos que representam o clima devido à complexidade entre as interações atmosféricas. De acordo com Valverde e Marengo (2010), as diferentes parametrizações, representativas dos processos físicos atmosféricos, tais como processos em superfície, convecção, camada limite, conteúdo de aerossóis, entre outros, a medida forem aprimoradas tenderão a reduzir as incertezas.

Na sequência é mostrada a comparação gráfica entre as curvas da IDF atual e as curvas IDF obtidas para os cenários A1B, A2 e B1, para cada um dos modelos considerando o primeiro cenário de projeção de 2046-2065 para durações de 15 e 45 minutos e 2, 8 e 24 horas (Figuras 19 a 33).

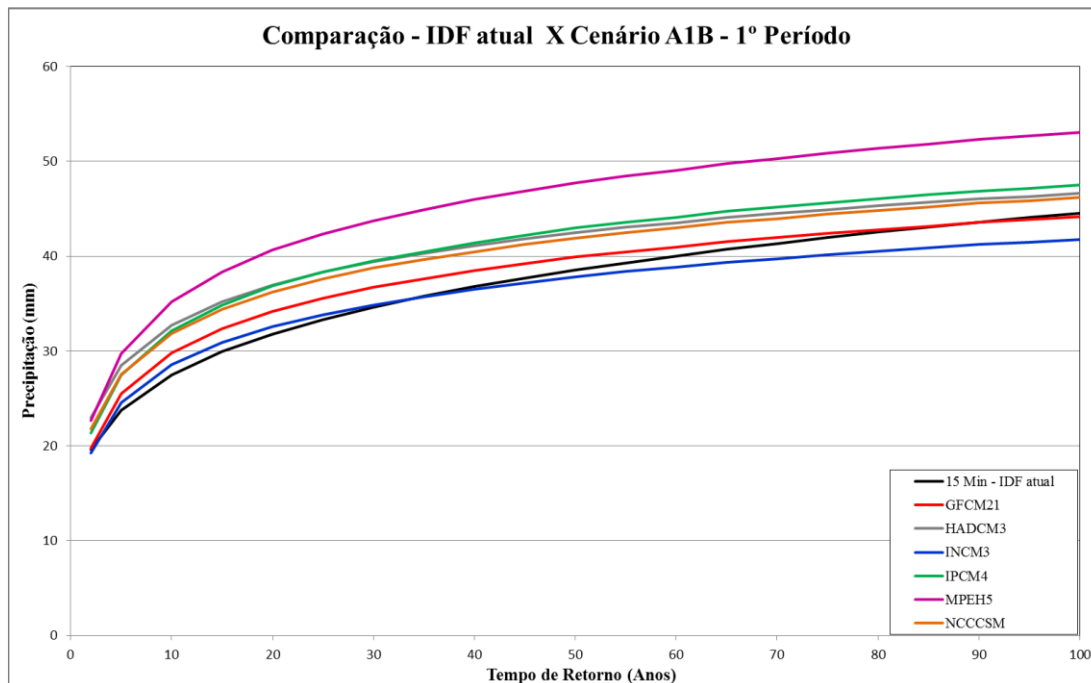


Figura 19. Quantis da IDF atual em preto e quantis IDF Desagregadas para duração de 15 minutos, Cenário A1B, 1º Período, nos seis Modelos Climáticos do LARS-WG.

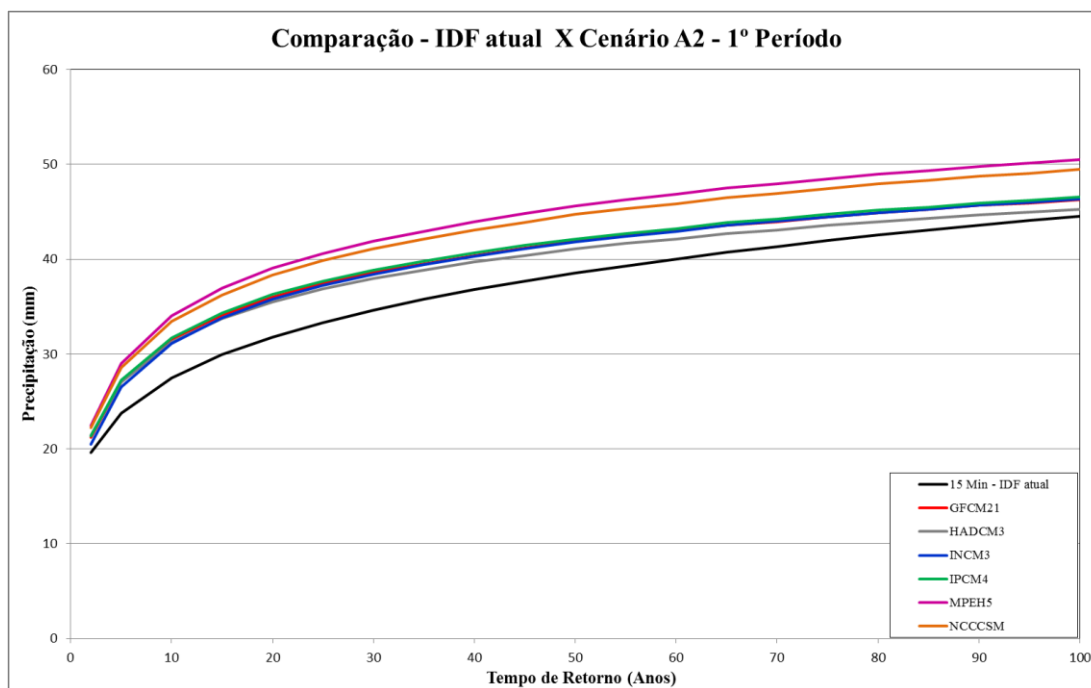


Figura 20. Quantis da IDF atual em preto e quantis IDF Desagregadas para duração de 15 minutos, Cenário A2, 1º Período, nos seis Modelos Climáticos do LARS-WG.

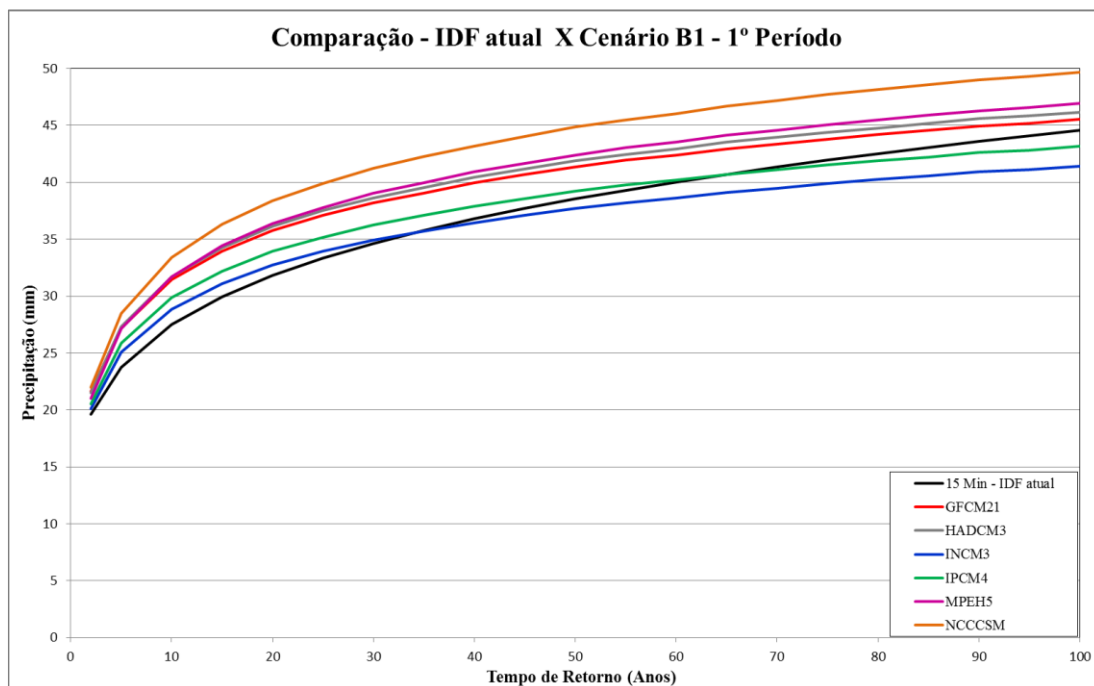


Figura 21. Quantis da IDF atual em preto e quantis IDF Desagregadas para duração de 15 minutos, Cenário B1, 1º Período, nos seis Modelos Climáticos do LARS-WG.

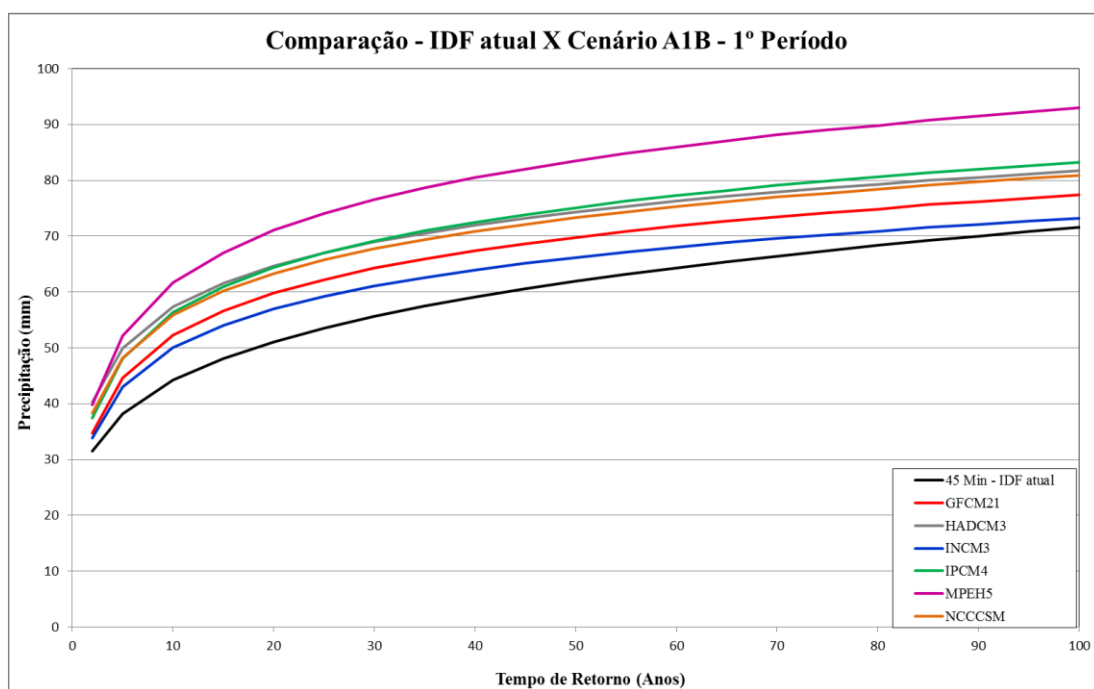


Figura 22. Quantis da IDF atual em preto e quantis IDF Desagregadas para duração de 45 minutos, Cenário A1B, 1º Período, nos seis Modelos Climáticos do LARS-WG.

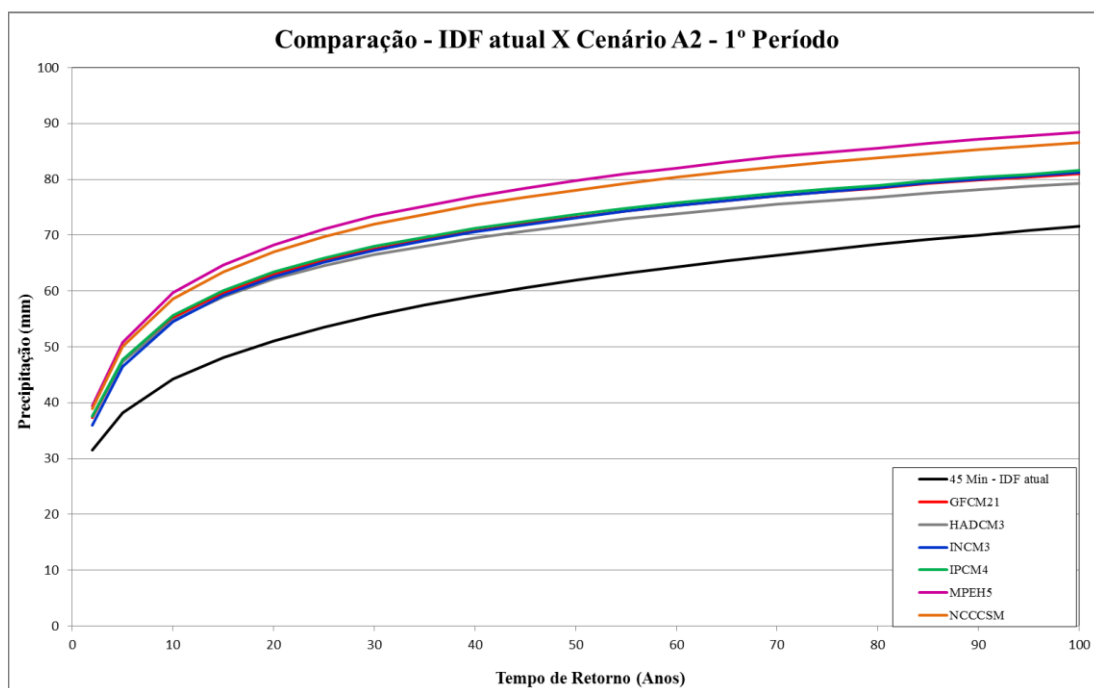


Figura 23. Quantis da IDF atual em preto e quantis IDF Desagregadas para duração de 45 minutos, Cenário A2, 1º Período, nos seis Modelos Climáticos do LARS-WG.

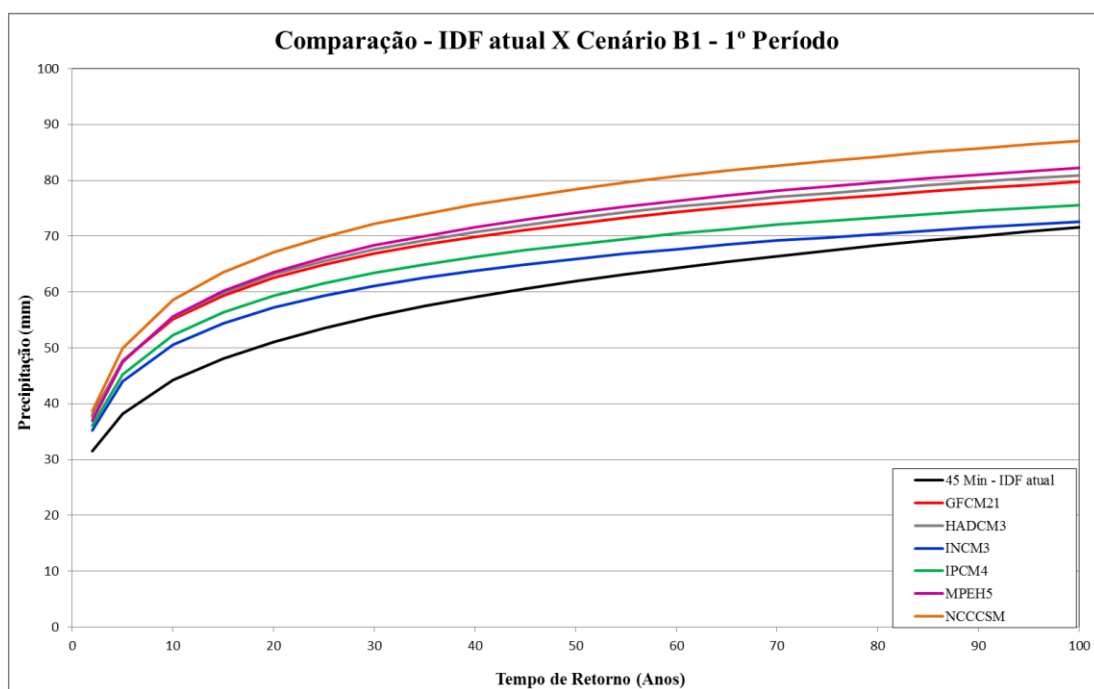


Figura 24. Quantis da IDF atual em preto e quantis IDF Desagregadas para duração de 45 minutos, Cenário B1, 1º Período, nos seis Modelos Climáticos do LARS-WG.

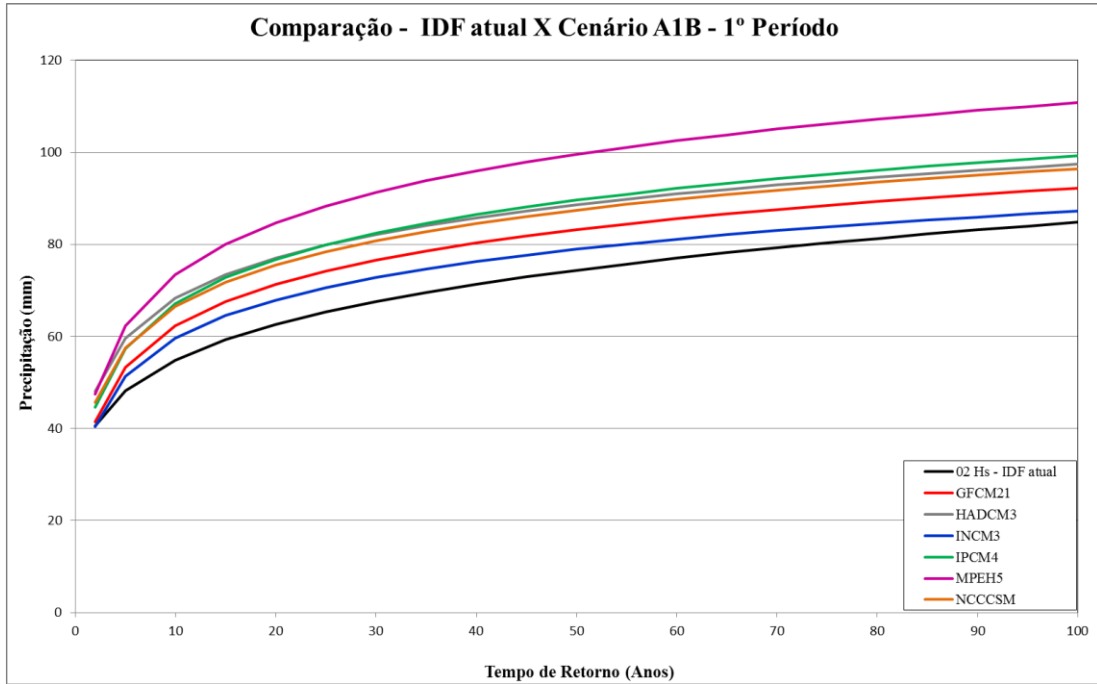


Figura 25. Quantis da IDF atual em preto e quantis IDF Desagregadas para duração de 2 horas, Cenário A1B, 1º Período, nos seis Modelos Climáticos do LARS-WG.

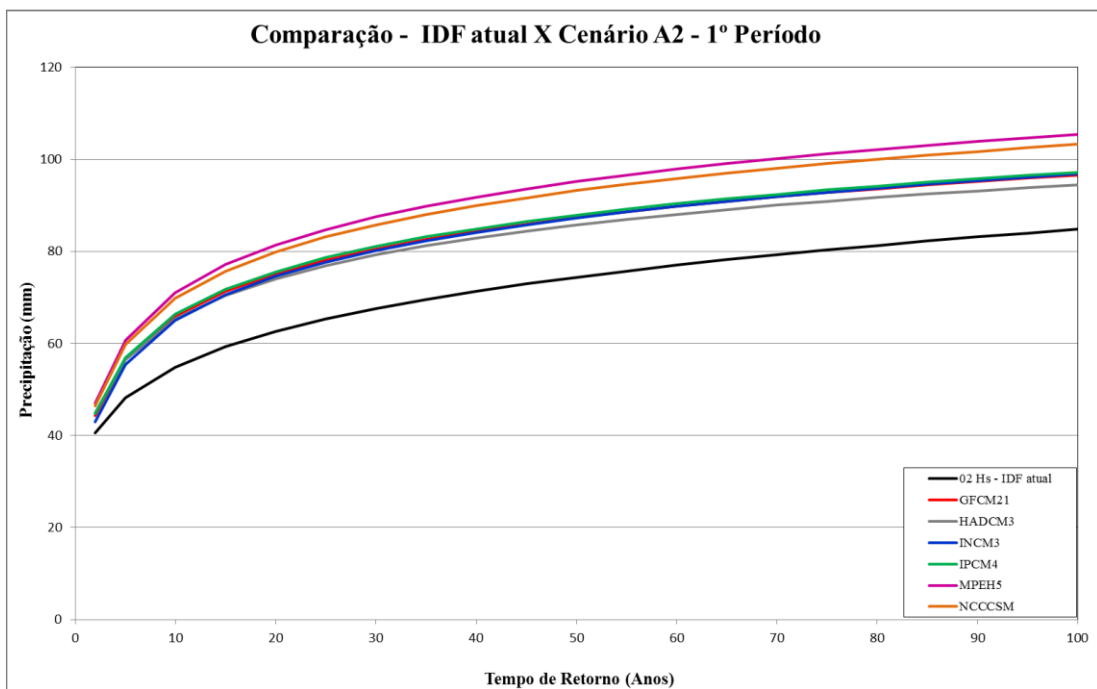


Figura 26. Quantis da IDF atual em preto e quantis IDF Desagregadas para duração de 2 horas, Cenário A2, 1º Período, nos seis Modelos Climáticos do LARS-WG

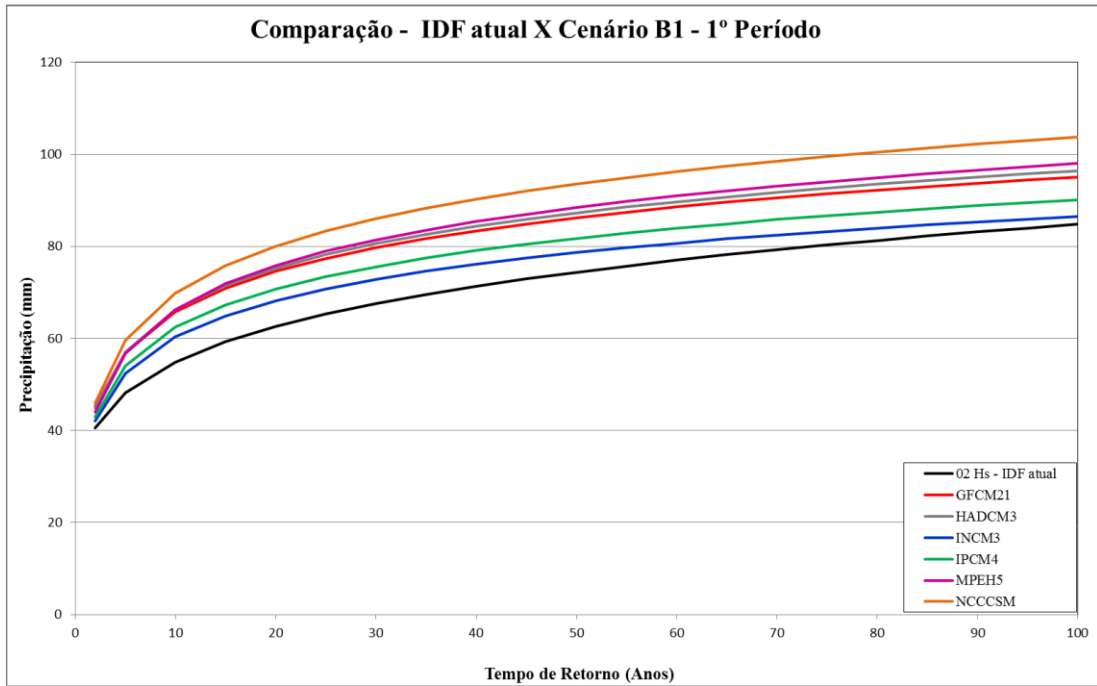


Figura 27. Quantis da IDF atual em preto e quantis IDF Desagregadas para duração de 2 horas, Cenário B1, 1º Período, nos seis Modelos Climáticos do LARS-WG.

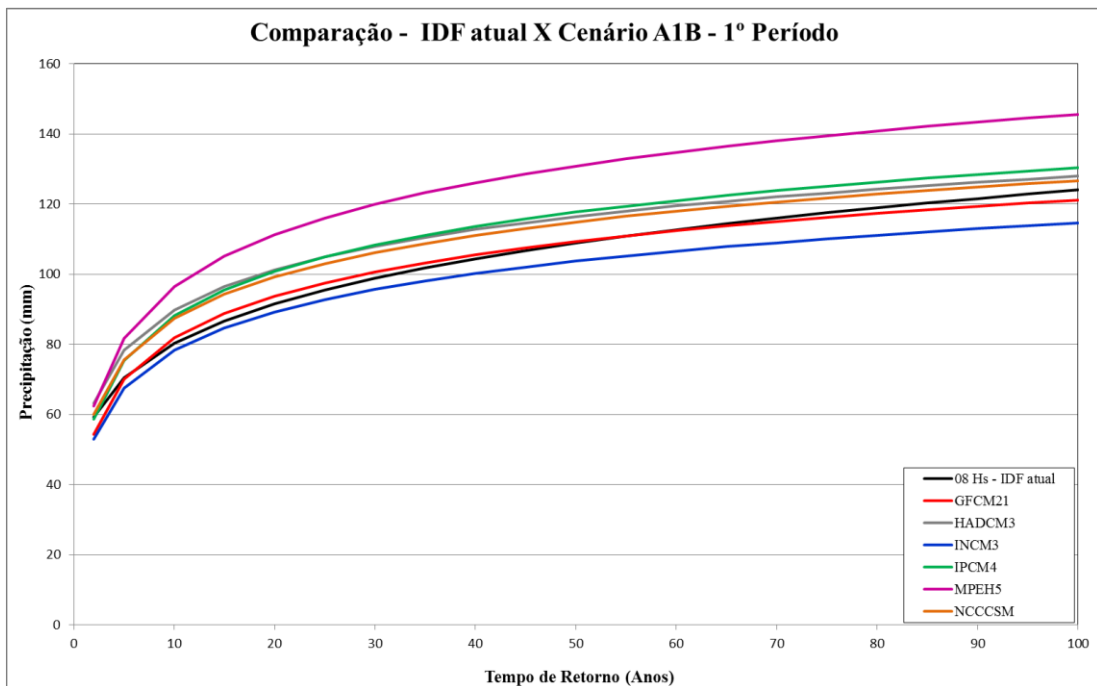


Figura 28. Quantis da IDF atual em preto e quantis IDF Desagregadas para duração de 8 horas, Cenário A1B, 1º Período, nos seis Modelos Climáticos do LARS-WG.

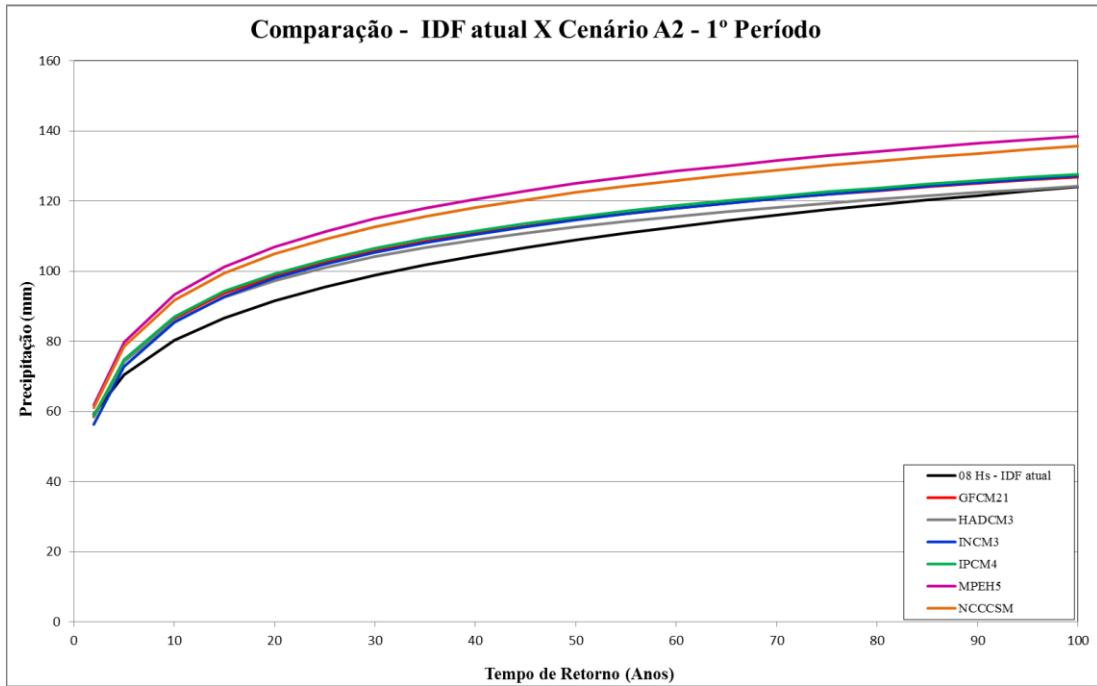


Figura 29. Quantis da IDF atual em preto e quantis IDF Desagregadas para duração de 8 horas, Cenário A2, 1º Período, nos seis Modelos Climáticos do LARS-WG.

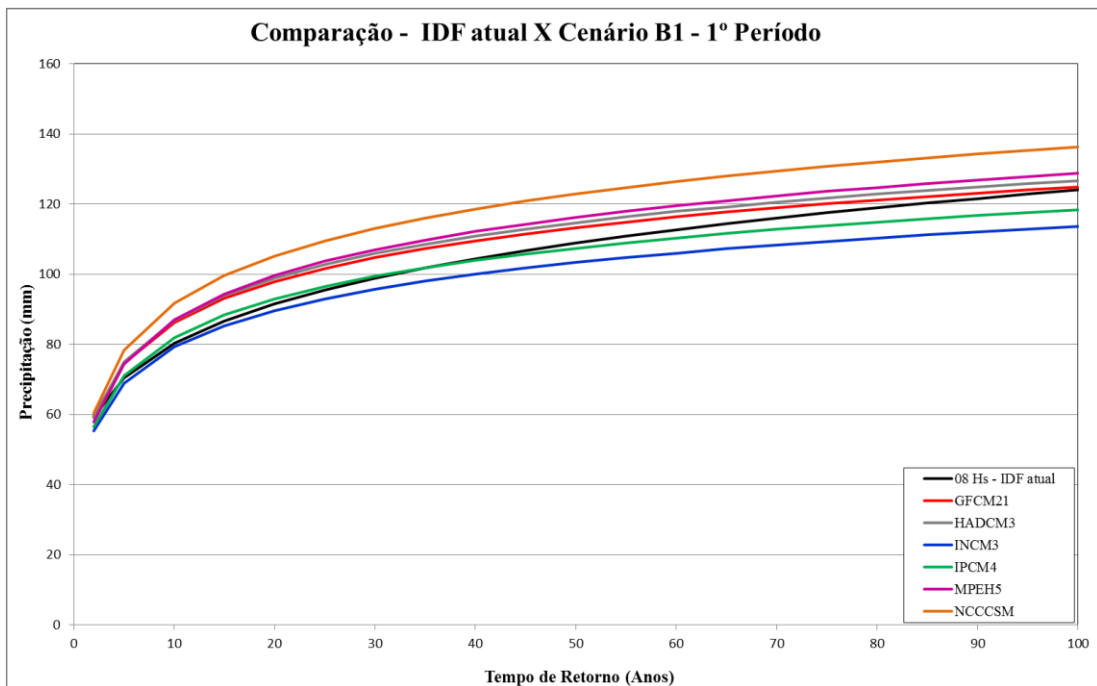


Figura 30. Quantis da IDF atual em preto e quantis IDF Desagregadas para duração de 8 horas, Cenário B1, 1º Período, nos seis Modelos Climáticos do LARS-WG.

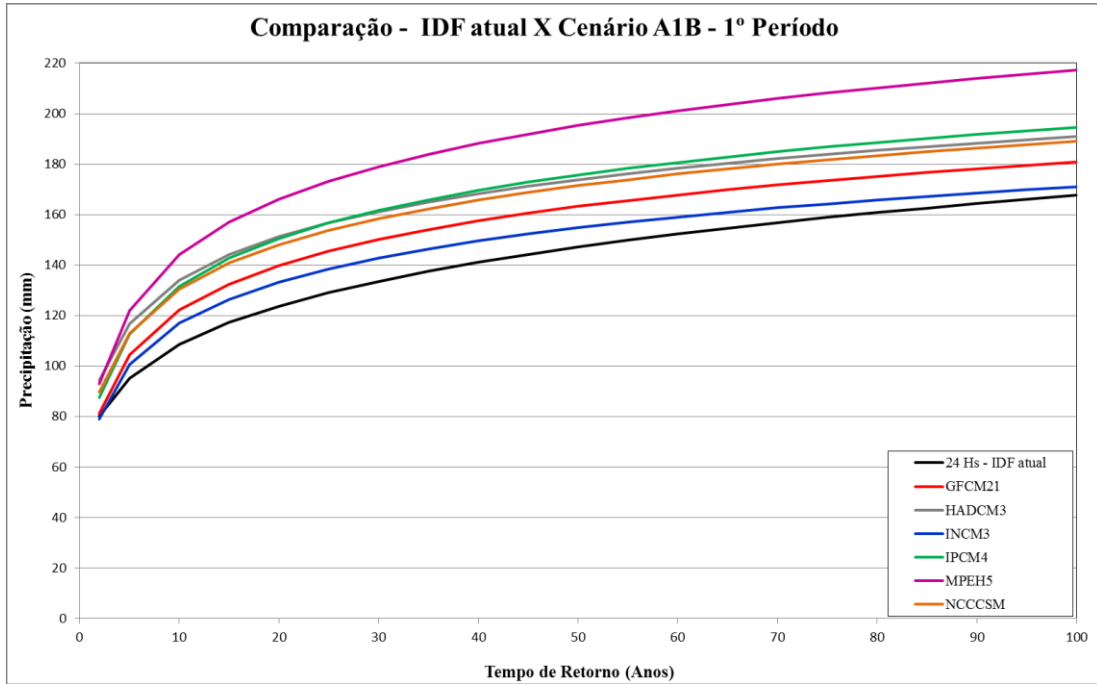


Figura 31. Quantis da IDF atual em preto e quantis IDF Desagregadas para duração de 24 horas, Cenário A1B, 1º Período, nos seis Modelos Climáticos do LARS-WG.

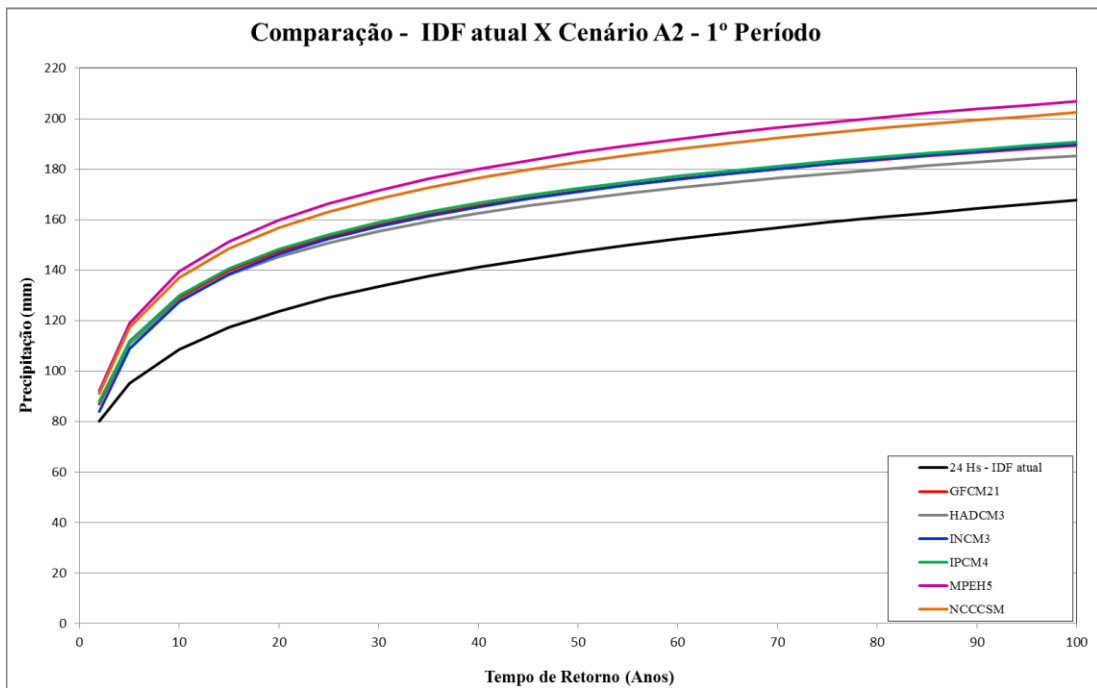


Figura 32. Quantis da IDF atual em preto e quantis IDF Desagregadas para duração de 24 horas, Cenário A2, 1º Período, nos seis Modelos Climáticos do LARS-WG.

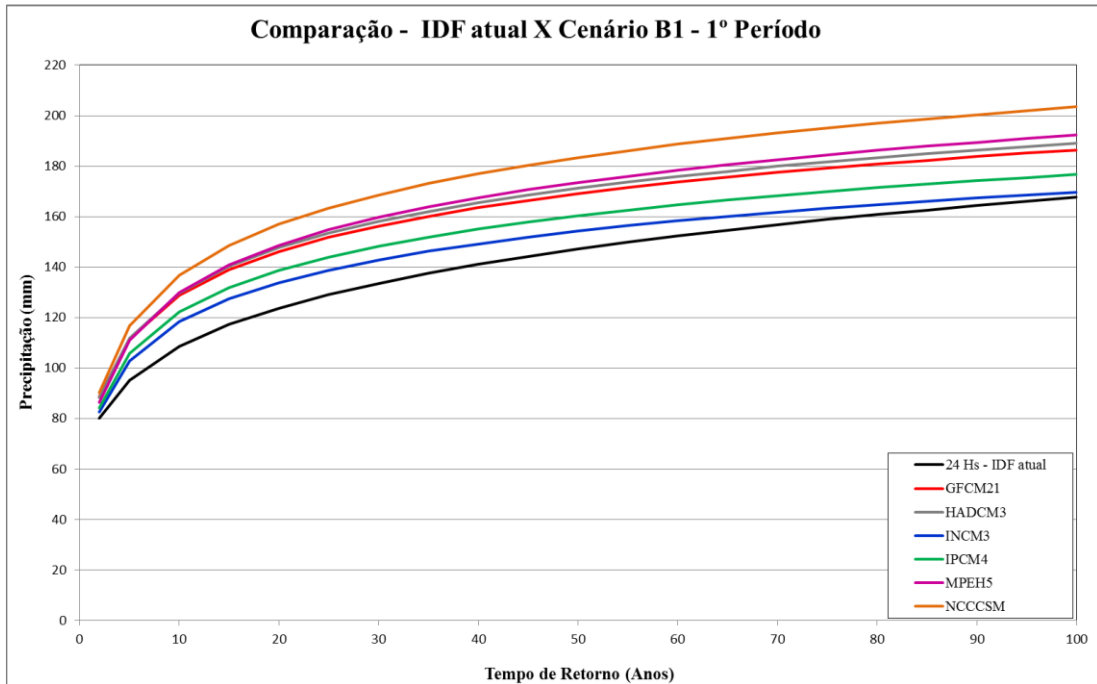


Figura 33. Quantis da IDF atual em preto e quantis IDF Desagregadas para duração de 24 horas, Cenário B1, 1º Período, nos seis Modelos Climáticos do LARS-WG.

A comparação gráfica entre as curvas da IDF atual e as curvas IDF obtidas para os cenários A1B, A2 e B1, para cada um dos modelos considerando o segundo cenário de projeção de 2080-2099 para durações de 15 e 45 minutos e 2, 8 e 24 horas é apresentada na sequência (Figuras de 34 a 48).

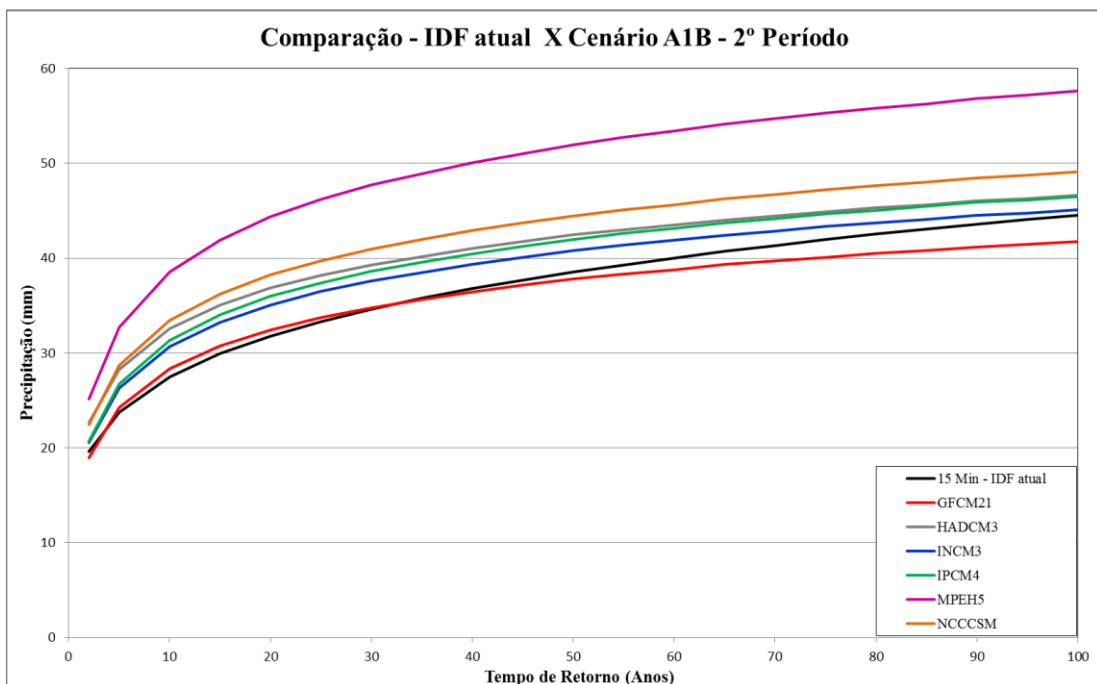


Figura 34. Quantis da IDF atual em preto e quantis IDF Desagregadas para duração de 15 minutos, Cenário A1B, 2º Período, nos seis Modelos Climáticos do LARS-WG.

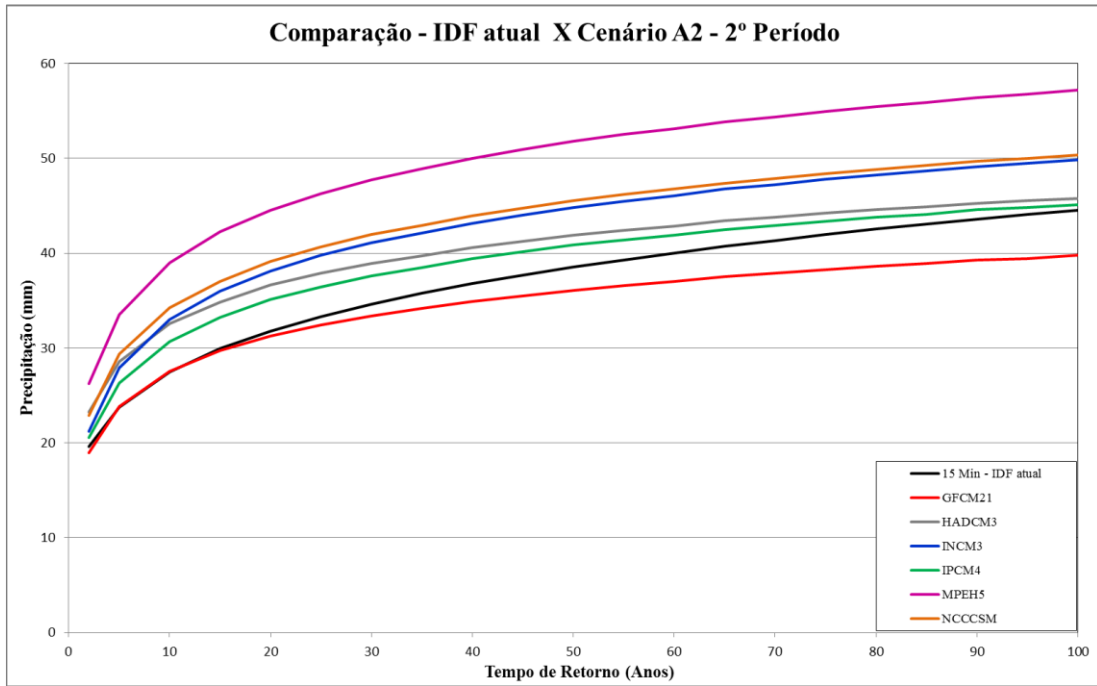


Figura 35. Quantis da IDF atual em preto e quantis IDF Desagregadas para duração de 15 minutos, Cenário A2, 2º Período, nos seis Modelos Climáticos do LARS-WG.

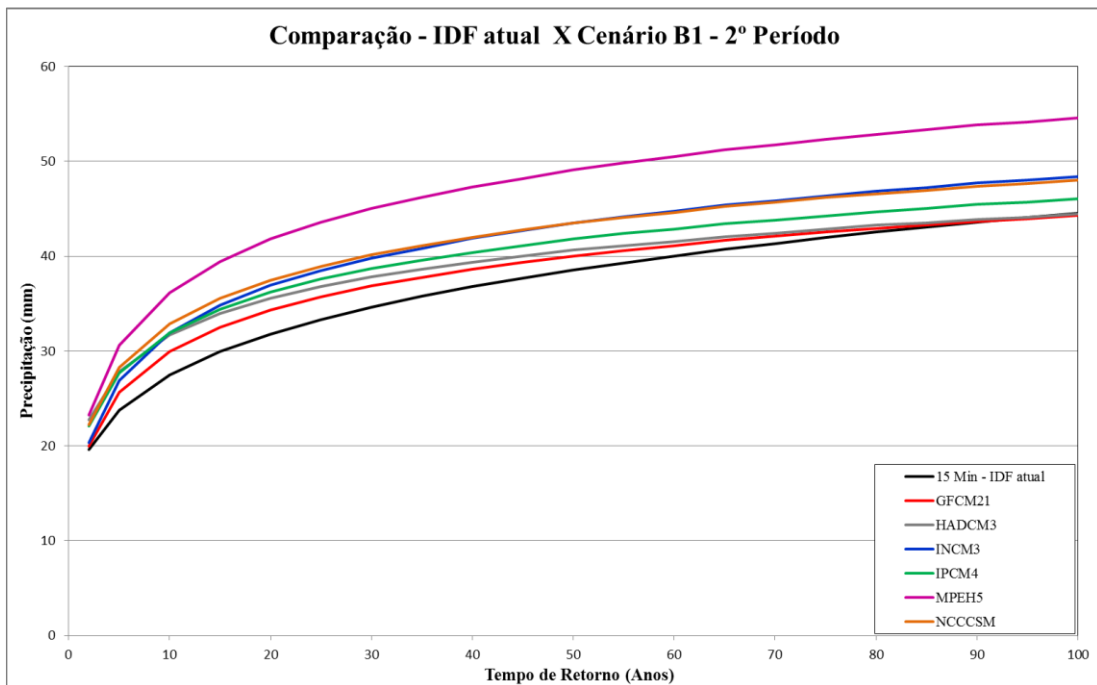


Figura 36. Quantis da IDF atual em preto e quantis IDF Desagregadas para duração de 15 minutos, Cenário B1, 2º Período, nos seis Modelos Climáticos do LARS-WG.

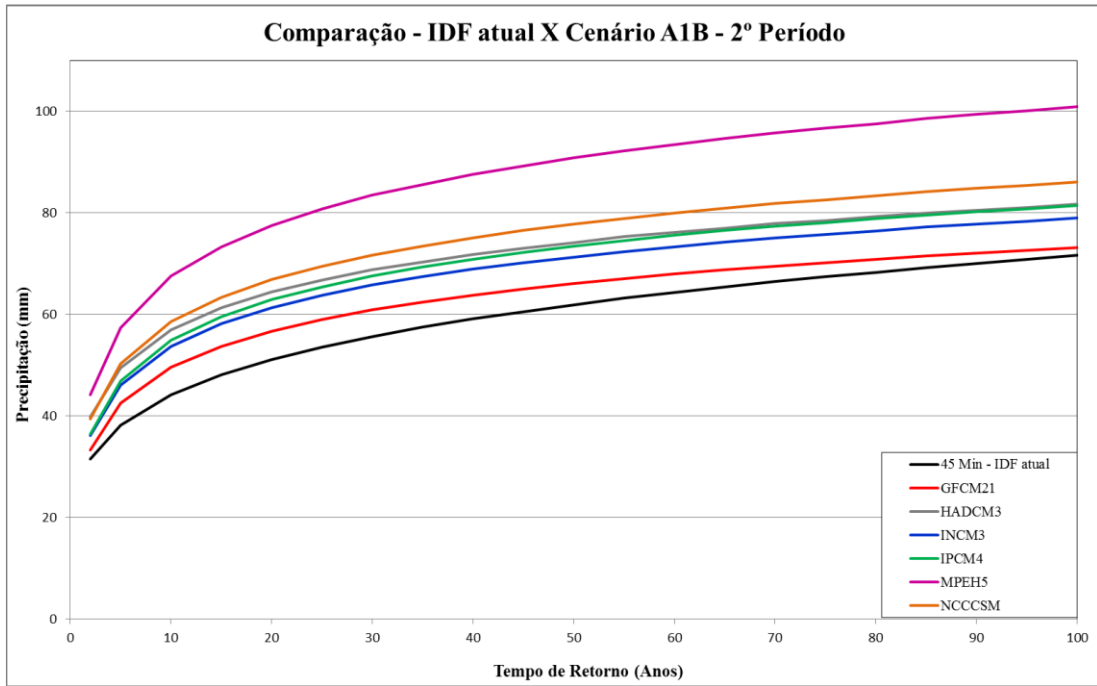


Figura 37. Quantis da IDF atual em preto e quantis IDF Desagregadas para duração de 45 minutos, Cenário A1B, 2º Período, nos seis Modelos Climáticos do LARS-WG.

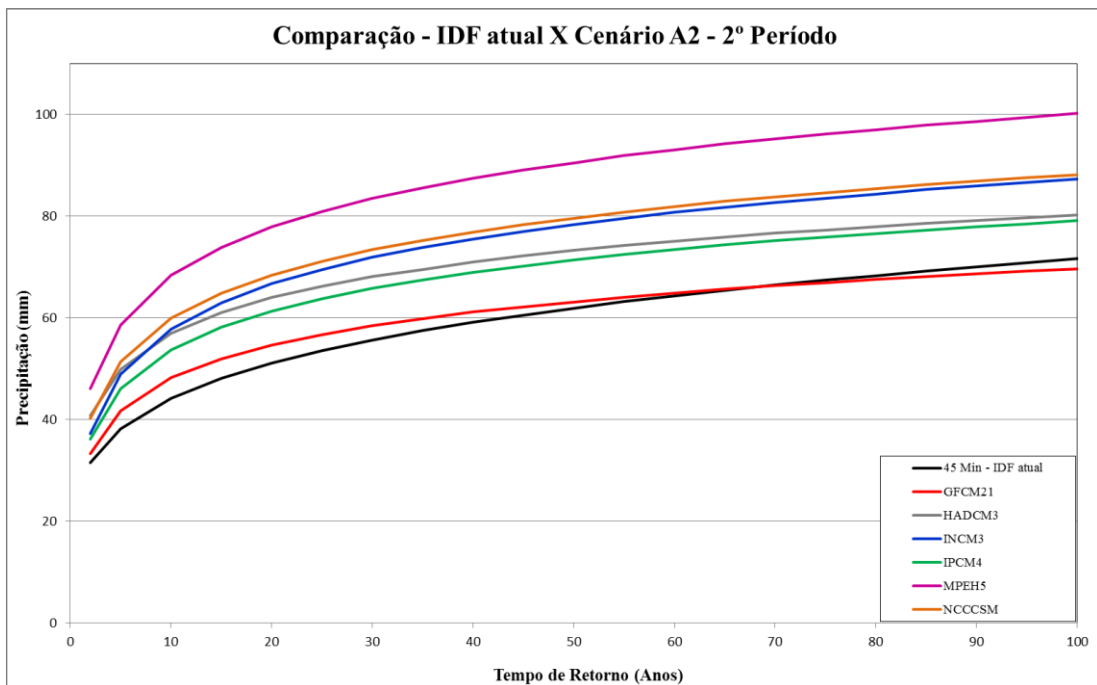


Figura 38. Quantis da IDF atual em preto e quantis IDF Desagregadas para duração de 45 minutos, Cenário A2, 2º Período, nos seis Modelos Climáticos do LARS-WG.

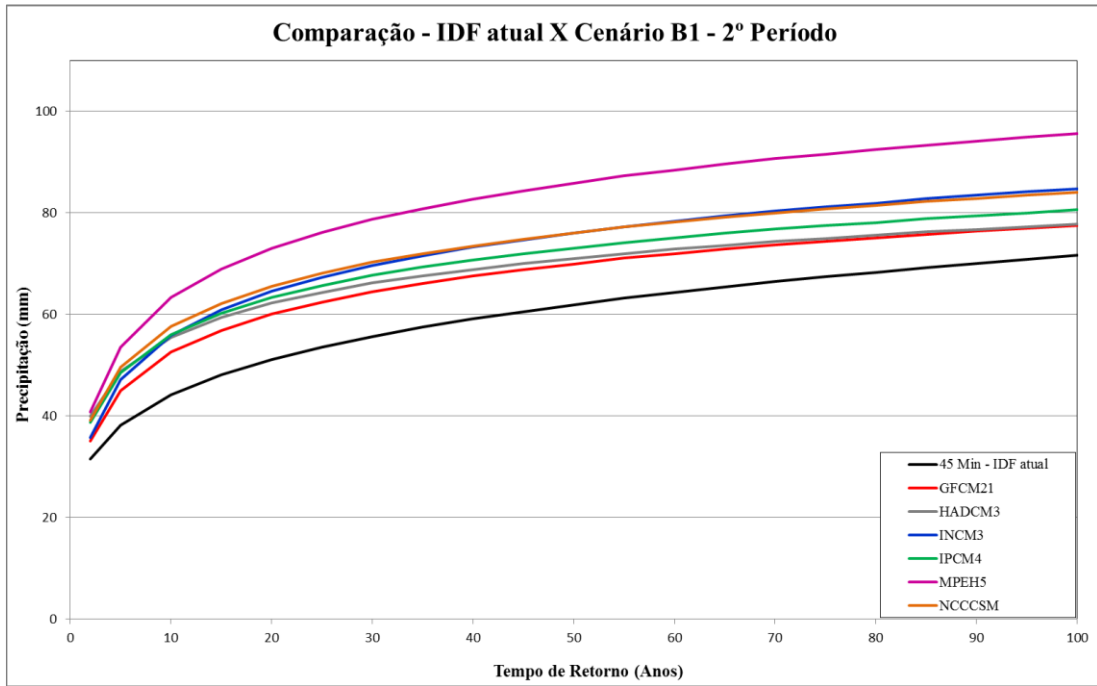


Figura 39. Quantis da IDF atual em preto e quantis IDF Desagregadas para duração de 45 minutos, Cenário B1, 2º Período, nos seis Modelos Climáticos do LARS-WG.

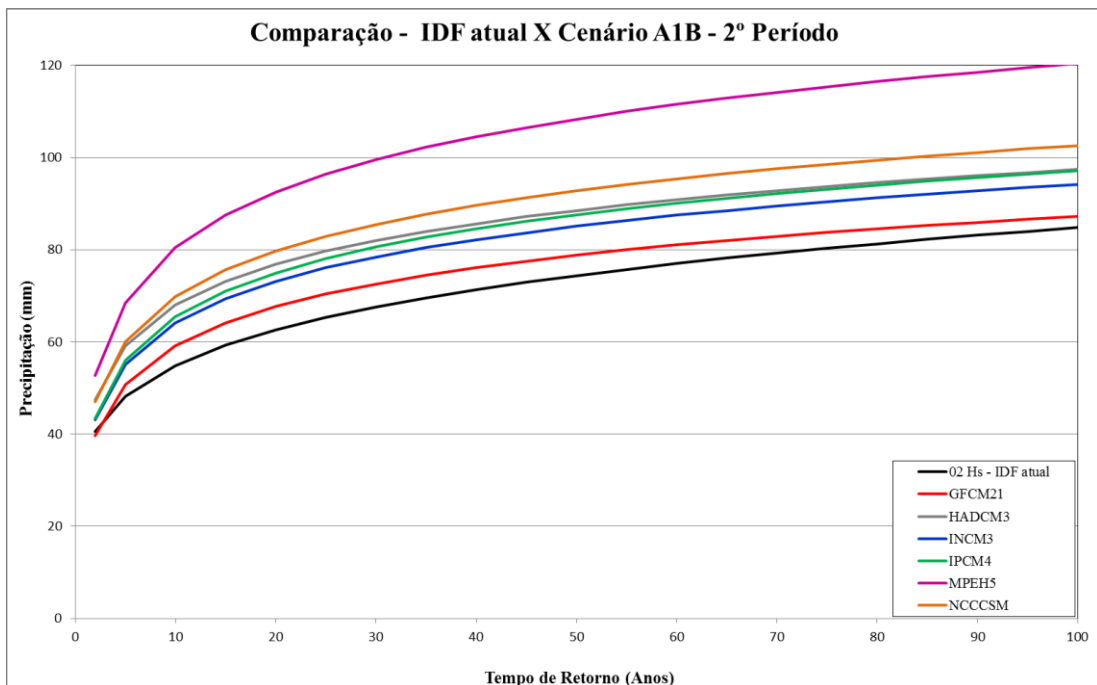


Figura 40. Quantis da IDF atual em preto e quantis IDF Desagregadas para duração de 2 horas, Cenário A1B, 2º Período, nos seis Modelos Climáticos do LARS-WG.

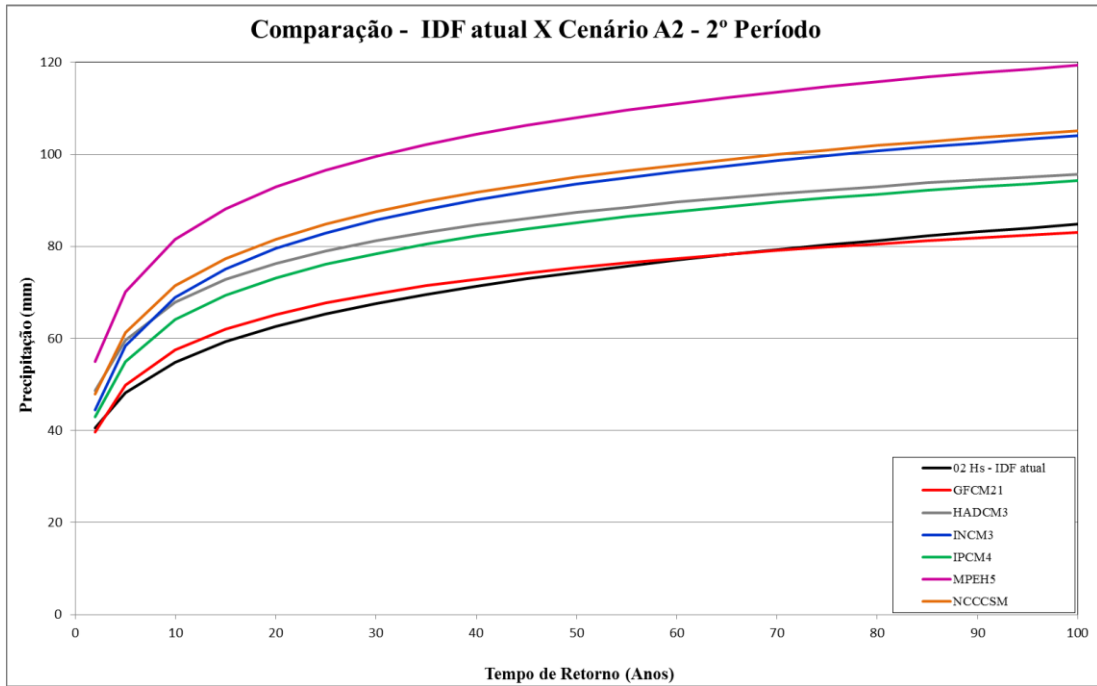


Figura 41. Quantis da IDF atual em preto e quantis IDF Desagregadas para duração de 2 horas, Cenário A2, 2º Período, nos seis Modelos Climáticos do LARS-WG.

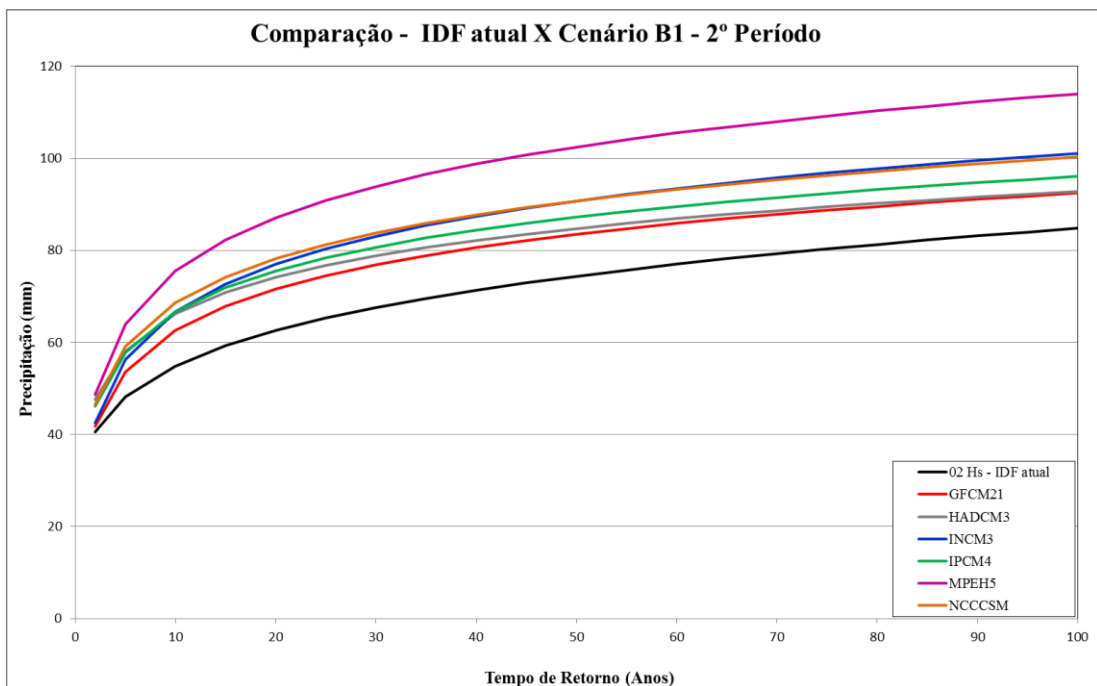


Figura 42. Quantis da IDF atual em preto e quantis IDF Desagregadas para duração de 2 horas, Cenário B1, 2º Período, nos seis Modelos Climáticos do LARS-WG.

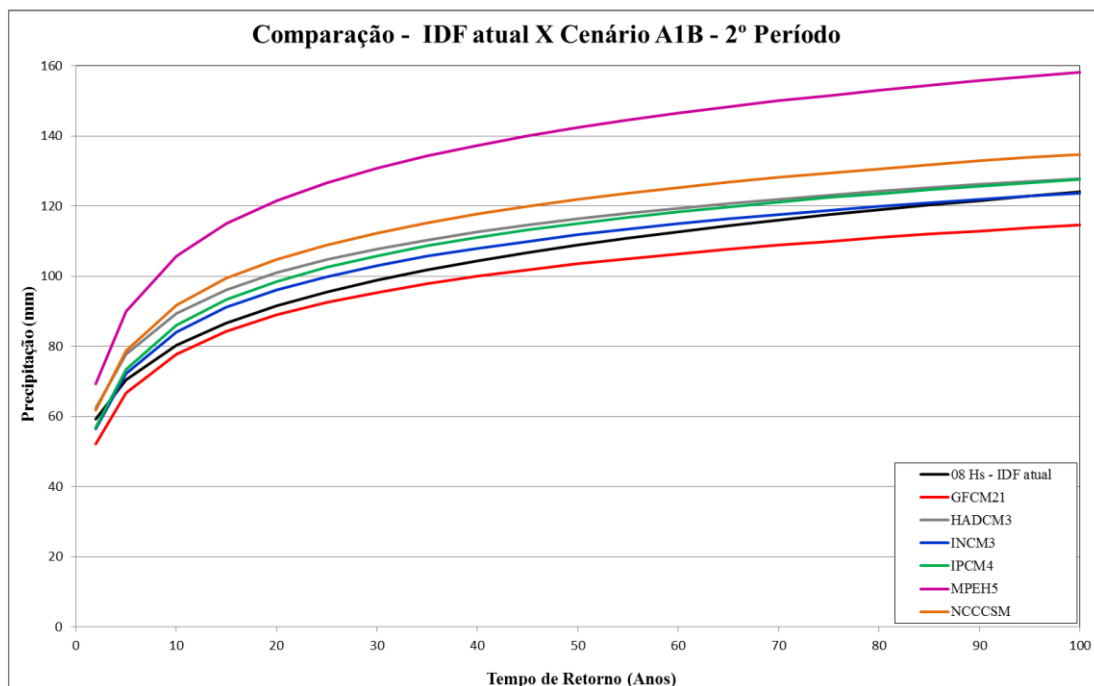


Figura 43. Quantis da IDF atual em preto e quantis IDF Desagregadas para duração de 8 horas, Cenário A1B, 2º Período, nos seis Modelos Climáticos do LARS-WG.

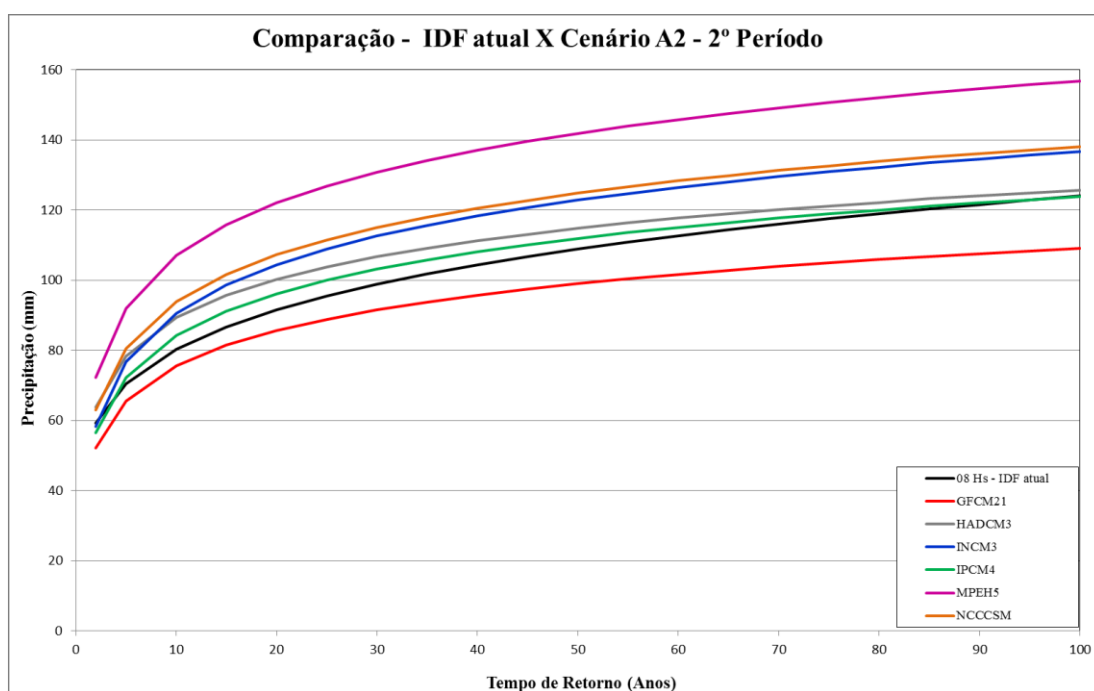


Figura 44. Quantis da IDF atual em preto e quantis IDF Desagregadas para duração de 8 horas, Cenário A2, 2º Período, nos seis Modelos Climáticos do LARS-WG.

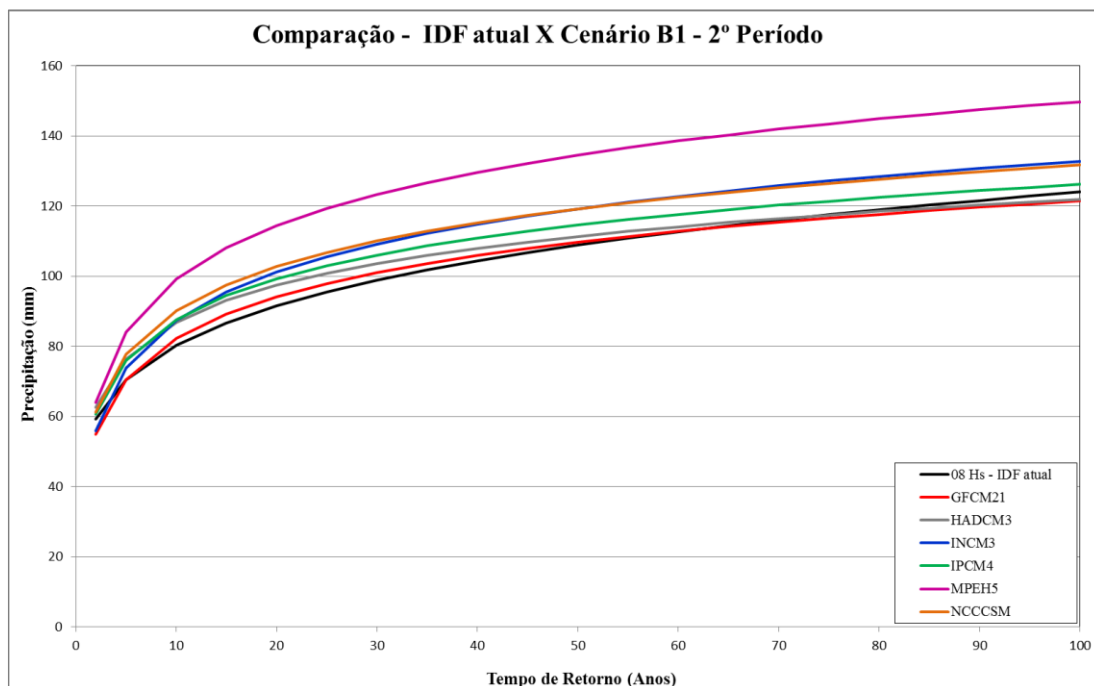


Figura 45. Quantis da IDF atual em preto e quantis IDF Desagregadas para duração de 8 horas, Cenário B1, 2º Período, nos seis Modelos Climáticos do LARS-WG.

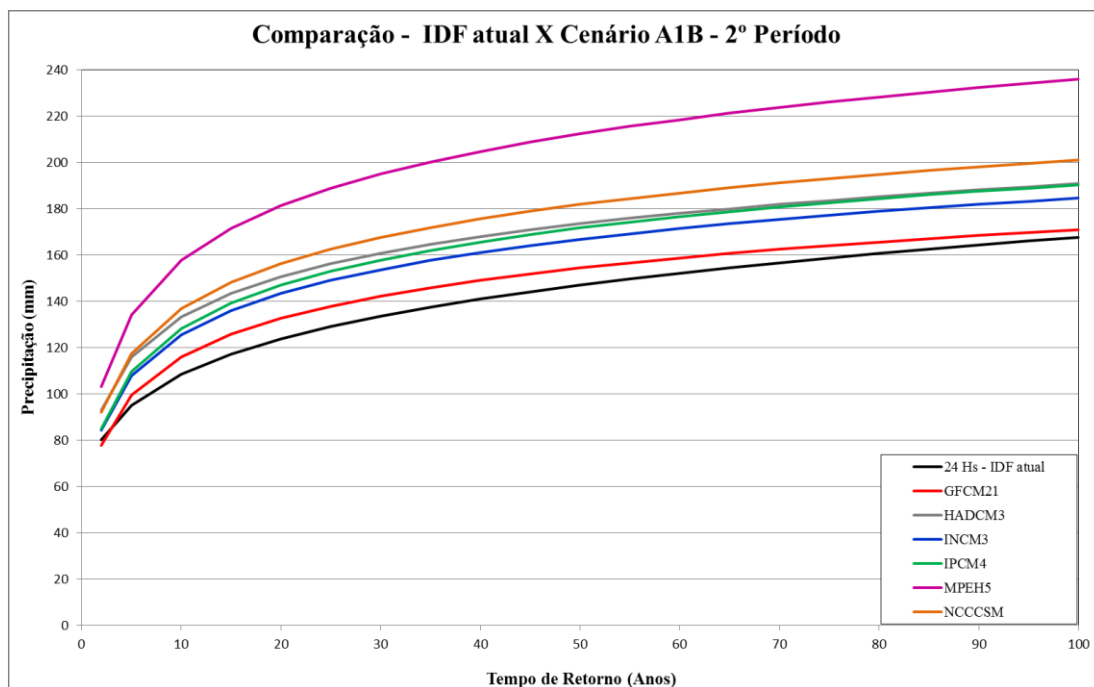


Figura 46. Quantis da IDF atual em preto e quantis IDF Desagregadas para duração de 24 horas, Cenário A1B, 2º Período, nos seis Modelos Climáticos do LARS-WG.

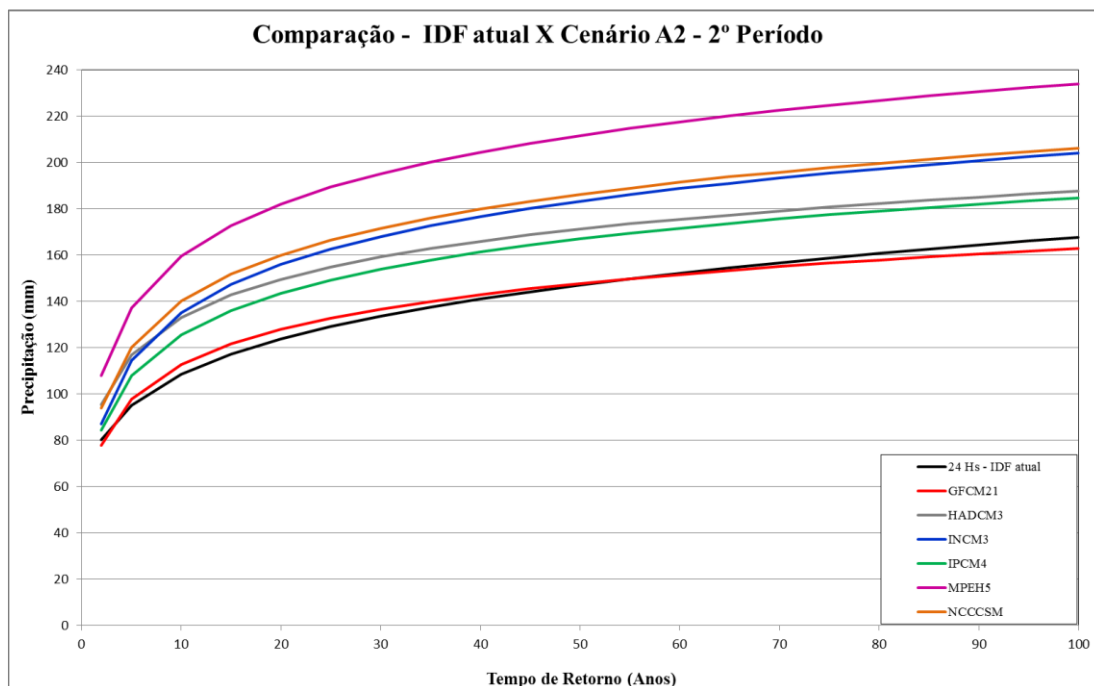


Figura 47. Quantis da IDF atual em preto e quantis IDF Desagregadas para duração de 24 horas, Cenário A2, 2º Período, nos seis Modelos Climáticos do LARS-WG.

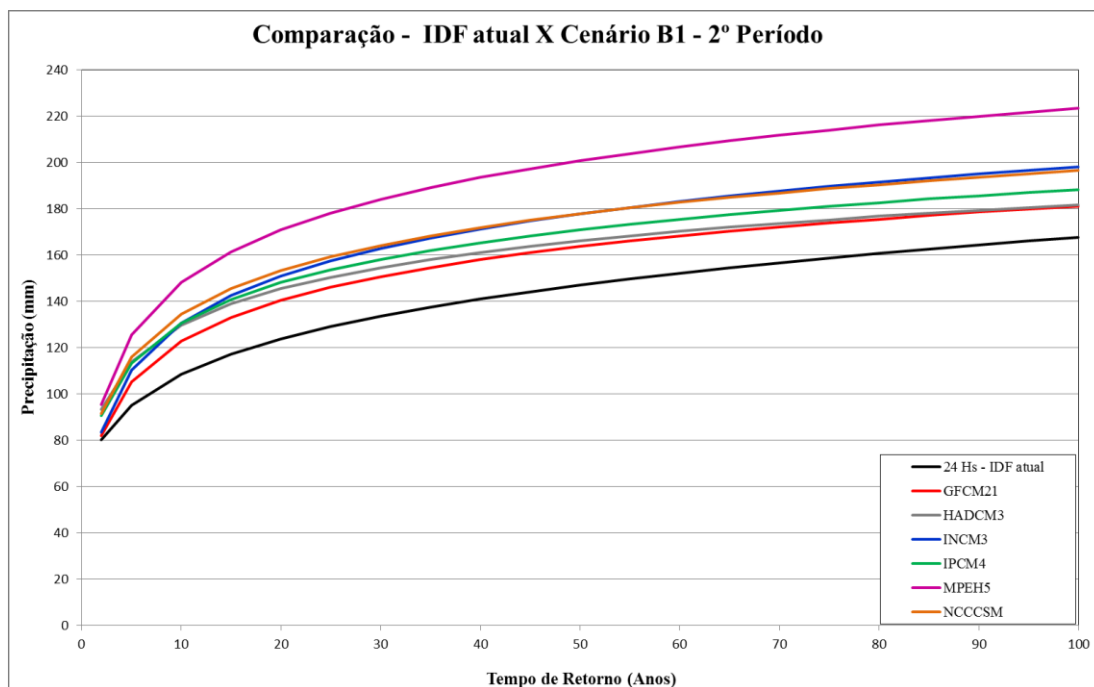


Figura 48. Quantis da IDF atual em preto e quantis IDF Desagregadas para duração de 24 horas, Cenário B1, 2º Período, nos seis Modelos Climáticos do LARS-WG.

5. CONCLUSÕES

Os resultados da análise de tendência indicam claramente uma tendência no aumento no total anual e no número de dias chuvosos (NDC) cujo trimestre que mais contribuiu para este aumento foi a primavera (SON), mas também o verão (DJF) e o outono (MAM).

A tendência de aumento da precipitação não foi verificada de forma homogênea em todas as estações da sub-bacia. Isto se deve, provavelmente, as características específicas de cada local que podem intensificar os fenômenos meteorológicos atuantes, como no caso de estações em áreas urbanizadas como Porto Alegre e em estações em regiões de relevo acidentado e/ou em áreas litorâneas como Serra do Pinto, Renânia e São Lourenço.

Em Porto Alegre foi identificada tendência de aumento na faixa de 15 a 78 mm de altura de precipitação. A tendência de aumento nesta faixa provavelmente está relacionada ao aumento de tendência dos totais dos trimestres de primavera e verão. Embora não tenha havido evidência de aumento nos máximos destes trimestres, ao analisar-se individualmente a contribuição dos meses os compõem, houve tendência de aumento no máximo mensal de outubro, novembro e fevereiro.

Outro fator que também pode ter contribuído para a tendência de aumento na faixa de 15 a 78 mm, foi trimestre de outono, no qual ficou caracterizada a tendência de aumento no NDC e nos máximos mensais. O mês que mais contribuiu para este aumento foi abril.

O modelo LARS-WG se mostrou eficiente em simular as precipitações diárias em Porto Alegre para um clima atual, funcionando bem tanto ao ajustar a distribuição do período seco quanto do período chuvoso. Também apresentaram bons ajustes os resultados na simulação da distribuição das chuvas diárias nos meses.

Na avaliação da possível influência dos três cenários de clima futuro, estabelecidos pelo IPCC, sobre as relações IDF de Porto Alegre observa-se comportamentos diferentes para o período de 2046 a 2065 e para o período de 2080 a 2099. Os resultados encontrados para as projeções no primeiro período indica que os resultados dos modelos são razoavelmente aplicáveis, sugerindo se a utilização da curva IDF atual com uma margem de 10 a 20% no dimensionamento de obras hidráulicas. Já para o segundo período de projeção em função da grande variabilidade nos resultados encontrados para os diferentes modelos não há confiança na aplicabilidade destas projeções.

As incertezas inerentes aos modelos levaram às divergências no resultado das projeções de alterações climáticas para períodos mais distantes do momento atual. A única

maneira de reduzir as incertezas é o monitoramento continuado das variáveis meteorológicas, pois a modelagem do clima só pode ser aprimorada com a incorporação dos dados reais aos modelos.

A incorporação de possíveis impactos das mudanças climáticas na construção de curvas de intensidade duração e frequência podem contribuir para melhoria na estrutura atual das obras de drenagem e sua adequação para o futuro.

Salienta-se que ao considerar os impactos previstos nos diferentes cenários de alteração climática deve-se considerar uma possível não estacionariedade das séries apresentadas pelos cenários do IPCC, o que pode levar a necessidade de descartar algumas projeções.

6. REFERÊNCIAS

- ALLABY, A.; ALLABY, M. **A Dictionary of Earth Sciences**. 2nd Edition: Oxford University Press. 1999
- ALEXANDRE, G.R.; BAPTISTA M. B.; NAGHETTINI, M. **Estudo para Identificação de Tendências do Regime Pluvial na Região Metropolitana de Belo Horizonte a Partir de Métodos Estatísticos**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, V15, p.115-126, 2010.
- ASSIS, J. M. O. ; LACERDA, F. F. ; SOBRAL, M. C. M. **Análise de Detecção de Tendências no Padrão Pluviométrico na Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe**. Revista Brasileira de Geografia Física, V2, p.320-331, 2012.
- BLAKELY E. J. **Urban Planning for Climate Change**. Lincoln Institute of Land Policy Working Paper, 25p, 2007.
- BACKY, A. J.; OLIVEIRA, J. L. R.; HENN, A.; **Relações entre precipitações intensas de diferentes durações para desagregação da chuva diária em Santa Catarina**. Revista Brasileira de Engenharia agrícola e Ambiental, V16, p.391-398, 2012
- BARRY, R.G., CHORLEY R.J., **Atmosfera, Tempo e Clima**. Tradução de Ronaldo Cataldo Costa e Revisão de Francisco Eliseu Aquino. Ed Bookman, Porto Alegre, 512 p.2013.
- BEMFICA, D. da C. **Análise da aplicabilidade de padrões de chuva de projeto a Porto Alegre**.1999. 109 f. Dissertação (Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental- Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.
- BEMFICA,J.;GOLDENFUM J.A.;SILVEIRA.A.L.L. **Análise da Aplicabilidade de Padrões de chuva de projeto a Porto Alegre**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, V5, p.5-16, 2000.
- BERLATO, M. A.; CORDEIRO, A. P. A. **Variabilidade climática e agricultura do Rio Grande do Sul**. In: Federação dos Clubes de Integração e Troca de Experiência - FEDERACITE. (Org.). As Estiagens e as Perdas na Agricultura: Fenômeno Natural ou Imprevidência?. 1ª ed. Porto Alegre: Ed Ideograf ,2005, V1, p. 43-59.
- BERLATO, A.M.; CORDEIRO A.P.; **Sinais de mudanças climáticas globais e regionais, projeções para o século XXI e as tendências observadas no Rio Grande do Sul: uma revisão**. Agrometeoros, v.25, n. 2, p.xx-xx, 2017. (em edição).
- BERTONI, J.C. & TUCCI, C.E.M. **Precipitação**, 3. Ed. In: TUCCI et al. (Orgs). Hidrologia: ciência e aplicação. Porto Alegre : Ed UFRGS/ABRH, 2004. p.177-241.
- BRITTO, F.P.; BARLETTA, R.; MENDONÇA, M. **Regionalização sazonal e mensal da precipitação pluvial máxima no estado do Rio Grande do Sul**. Revista Brasileira de Climatologia. V3, p.84-99, 2008

BUIHAND, T. A.; BRANDSMA, T. **Multisite simulation of daily precipitation and temperature in the Rhine basin by nearest-neighbor resampling.** Water Resources Research, Washington, DC, 37, 11, p. 2761-2776, 2001.

CAMPOS, C.R.J & EICHHOLZ, C.W. **Características Físicas dos Sistemas Convectivos de Mesoescala que afetaram o Rio Grande do Sul no período de 2004 a 2008.** Revista Brasileira de Geofísica, V29, n2 p. 331-345, 2011

CAVALCANTI, I. F. A. & KOUSKY, V. E. **Frente Frias sobre o Brasil.** In: CAVALCANTI et al. (Orgs). Tempo e Clima no Brasil. São Paulo: Ed Oficina de Textos, 2009. p.135-147.

CORDEIRO, A.P.A. **Tendências climáticas das variáveis meteorológicas originais estimadas e das derivadas do balanço hídrico seriado do Rio Grande do Sul.** 2010. 273 f. Dissertação (Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

CPTEC. Condições da Semana - 24/01/2017. Condições de neutralidade no Pacífico Equatorial. Disponível em: <http://enos.cptec.inpe.br/>

CPTEC. Imagens do canal IR do satélite GOES 8/10/12 sobre a América do Sul. Disponível em: <http://satelite.cptec.inpe.br/acervo/goes.formulario.logic>. Acesso em janeiro de 2017.

CPTEC. Boletim Técnico - Análise Sinótica - Imagem de Superfície. Disponível em: http://tempo.cptec.inpe.br/bol_tecnico.shtml

CUNNANE, C. **A note on the Poisson assumption in partial duration series models.** Water Resources Research, V.15, n. 2, p. 489-494, 1979.

DHN – Diretoria de Hidrografia e Navegação, Centro de Hidrografia da Marinha, Serviço Meteorológico Marinho. Disponível em: <https://www.mar.mil.br/dhn/chm/meteo/prev/cartas/cartas.htm>

DETZEL, D.H.M. **Geração de séries sintéticas de precipitação.** 2009. 197 f. Dissertação (Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

ESCOBAR, J. **Jatos de Altos Níveis.** In: CAVALCANTI et al. (Orgs). Tempo e Clima no Brasil. São Paulo: Ed Oficina de Textos, 2009. p.127-134.

ESCOBAR, G. C. J. & SELUCHI, M. E.; **Classificação sinótica dos campos de pressão atmosférica na América do Sul e sua relação com as Baixas do Chaco e do Noroeste Argentino.** Revista Brasileira de Meteorologia, V27, n.3, p. 365-375, 2012.

GALVÃO, W. S.; MENESES, P. R. **Avaliação dos sistemas de classificação e codificação das bacias hidrográficas brasileiras para fins de planejamento de redes hidrométricas.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12. (SBSR), 2005, Goiânia. Anais... São José dos Campos: INPE, 2005. p. 2511-2518. CD-ROM.

GOOSSE, H.; BARRIAT, P.Y.; LEFEBVRE, W.; LOUTRE, M.F. e ZUNZ, V. (2010). **Introduction to climate dynamics and climate modelling**. Livro online. Disponível em: <http://www.climate.betextbook>. Edition: Cambridge University Press. 2010

GRIMM, A.M. **Clima da Região Sul do Brasil**. In: CAVALCANTI et al. (Orgs). Tempo e Clima no Brasil. São Paulo: Ed Oficina de Textos, 2009. p. 259-275

HABERLANDT, U.; HUNDECHA, Y.; PAHLOW, M.; SCHUMANN, A. **Rainfall generators for application in flood studies**. In: Flood Risk Assessment and Management. Org. A. Schumann, ed. Springer, p.117-147, 2011.

HELSEL, D.R. & HIRSCH, R.M. **Statistical Methods in Water Resources**. Ed. USGS, United States, 510p. 2002

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010. **Cidades**. Disponível em: <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=4314902>

IPCL – Intituto Pierre Simon Laplace. **Models**. Disponível em: <http://icmc.ipsl.fr/index.php/icmc-models/icmc-ipsl-cm4>

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change, 2007: **The Physical Science Basis**. Agenda, V6, n. 07, p. 333, 2007.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change, 2013: **The Physical Science Basis**. Technical Summary. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2013

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. **Data Distribution Centre**. http://www.ipcc-data.org/sim/gcm_clim/SRES_AR4/index.html

JIRAK, I. L., W. R. COTTON, W. R., e R. L. MCANELLY. **Satellite and Radar Survey of Mesoscale Convective System Development**. Monthly Weather Review, V131, p. 2428-2449, 2003

KOUSKY, V.E. **Pentad outgoing longwave radiation climatology for the South American sector**. Revista Brasileira de Meteorologia, V3, p. 217-231, 1988.

LALL, U.; RAJAGOPALAN, B.; TARBOTON, D. G. **A non-parametric wet/dry spell model for resampling daily precipitation**. Water Resources Research, V32, n. 9, p. 2803-2893, 1996.

LALL, U.& SHARMA, A. **A nearest neighbor bootstrap for resampling hydrologic time series**. Water Resources Research, V32, n. 3, p. 679-693, 1996.

LARS-WG (2010). **Long Ashton Research Station - Weather Generator -LARS-WG**.

MANTUA, N. J.; HARE, S. R.; ZHANG, Y.; WALLACE, J.M.; FRANCIS, R.C; **A Pacific Interdecadal Climate Oscillation with Impacts on Salmon Production**, Bulletin of American Meteorological Society, V78, p.1069-1079, 1997.

- MARENGO, J.A. **Mudanças Climáticas: Detecção e cenários futuros para o Brasil até o final do século XXI.** In: CAVALCANTI et al. (Orgs). Tempo e Clima no Brasil. São Paulo: Ed Oficina de Textos, 2009. p.407-420.
- MARENGO, J.A.; AMBRIZZI, T.; SOARES, W.R. **Jatos de Baixos Níveis ao longo dos Andes.** In: CAVALCANTI et al. (Orgs). Tempo e Clima no Brasil. São Paulo: Ed Oficina de Textos, 2009. p.169-180.
- MENDES, D. & MARENGO, J.A.; **Métodos Meteorológicos de Downscaling com Modelos de Redes Neurais Artificiais:** Projeto América do Sul. Centro de Ciência do Sistema Terrestre – CST. Boletim nº 9. 2009.
- MOLION, L.C.B., 2005. **Aquecimento global, El Niños, manchas solares, vulcões e Oscilação Decadal do Pacífico.** Climanálise 8 (agosto), disponível em: http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/revista/pdf/Artigo_Aquecimento_0805.pdf
- MORENO, J.A. **Clima do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre. Secretaria da Agricultura. 42p. 1961.
- NAGHETTINI, M., PINTO, E. J. A. **Hidrologia Estatística.** Ed. CPRM, Belo Horizonte 552 p. 2007
- NIMER, E. Climatologia do Brasil. 2.ed. Rio de Janeiro: Fundação IBGE, 1989. 421p
- NOAA – National Oceanic & Atmosphere Administration, **Full Mauna Loa CO2 record** Disponível em <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/full.html>
- OSMAN, Y.; AL-ANSARI, N.; ABDELLATIF, M.; ALJAWAD, S.B.; KNUTSON, S. **Expected Future Precipitation in Central Iraq Using LARS-WG Stochastic.** Engineering, Scientific Research 2014, V6, p.948-959. Disponível em: <http://www.scirp.org/journal/PaperInformation.aspx?paperID=52327>
- PBMC - Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas, 2014. Disponível em: <http://www.pbmc.coppe.ufrj.br/pt/noticias/388-climate-changes-in-brazil-throug-2100>.
- PINTO, E. J. A. **Metodologia para definição das equações Intensidade-Duração-Frequência do Projeto Atlas Pluviométrico.** CPRM. Belo Horizonte. Mar, 2013. CD-ROM
- PPAFSTETTER, O. **Chuvas intensas no Brasil: relação entre precipitação, duração e frequência de chuvas em 98 postos com pluviógrafos.** DNOS, Rio de Janeiro, 419 p.1957.
- RAJAGOPALAN, B.& LALL, U. **A k-nearest-neighbosr simulator for daily precipitation and other weather variables.** Water Resources Research. V35, 3089-3101, 1999.
- RAJAGOPALAN, B.; LALL, U.; TORBOTON, D.G. **A non homogeneous Markov model for daily precipitation simulation.** Journal of Hydrologic Engineering 1(1), p. 33-40, 1996.
- RAMOS, A. M. **Influência das mudanças climáticas devido ao efeito estufa na drenagem urbana de uma grande cidade.** 2010. 160 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2010.

REBELLO E. R. G. **A oscilação decadal do pacífico e sua possível influência no regime de precipitação do Rio Grande do Sul.** In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 14, Florianópolis, 2006. Anais... Florianópolis, 2006.

REBOITA M.S.; GAN M.A.; DA ROCHA R. P.; AMBRIZZI T. **Regimes de precipitação na América do Sul: Uma revisão bibliográfica.** Revista Brasileira de Meteorologia, V25, n.2, p. 185-204, 2010.

REBOITA M.S.; KRUSKE N.; DA ROCHA R. P.; AMBRIZZI T. **Entendendo o Tempo e o Clima na América do Sul.** Terra e didática, V8, n.1, p. 34-50, 2012.

SANDINK, D.; SIMINOVIC, S.P.; SCHARDONG, A.; SRIVASTAV, R. (2016), **A decision support system for updating and incorporating climate change impacts into rainfall intensity-duration-frequency curves: Review of the stakeholder involvement process.** Environmental Modelling & Software, 84, 193-209.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2016.06.012>

SANCHES, N. D'A. ; FUJIMOTO, N. S. V. M. **Análise dos Eventos Chuvosos e os Processos de Inundação na Bacia do Arroio do Salso, município de Porto Alegre - RS .** In: Salão de Iniciação Científica UFRGS, 22, 2010, Porto Alegre, RS. Disponível em: http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/45613/Poster_5825.pdf?sequence=2

SANTOS, I.; FILL, H.D.; SUGAI, M.R.B.; BUBA, H.; KISHI R. T.; MARONE, E.; LAUTERT, L.F. **Hidrometria Aplicada.** Instituto de Tecnologia para o desenvolvimento, Curitiba, 372 p. 2001.

SEMENOV, M. A. **Simulation of extreme weather events by a stochastic weather generator.** Climate Research, V.41, p. 1-14, 2010. Disponível em: <http://www.int-res.com/articles/cr2007/35/c035p203.pdf>

SEMENOV, M. A. & BARROW, E.M. **LARS-WG: A stochastic weather generator for use in climate impact studies.** User manual version 3.0. 2002. <http://www.rothamsted.ac.uk/sites/default/files/groups/mas-models/download/LARS-WG-Manual.pdf>

SEMENOV, M. A. & STRATONOVITCH, P. **Use of multi-model ensembles from global climate models for assessment of climate change impacts.** Climate Research, V35, p. 203-212, 2008. Disponível em: <http://www.int-res.com/articles/cr2007/35/c035p203.pdf>

SILVA DIAS, M.A.F.; ROZANTE, J. R.; MACHADO, L. A. T. **Complexos Convectivos de Mesoescala na América do Sul.** In: CAVALCANTI et al. (Orgs). Tempo e Clima no Brasil. São Paulo: Ed Oficina de Textos, 2009. p.181-194.

SILVEIRA, A.L.L. Apostila do curso de Pós Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. **Séries temporais hidrológicas e ecológicas - Disciplina HIP-85,** UFRGS, Porto Alegre, 47 p. 2007.

SILVA, M. E.S. & GUETTER, A.K. **Mudanças climáticas regionais observadas no estado do Paraná.** Terra Livre, V1, n. 20, p. 111-126, 2003.

SILVA DIAS, M.A.F. **Sistemas de Mesoescala e Previsão de Tempo a Curto Prazo.** Revista Brasileira de Meteorologia, V2, p. 133-150, 1987.

SILVA, W. L.; DEREZYNSKI, C.; CHANG, M.; FREITAS, M.; MACHADO, B.J.; TRISTÃO, L. RUGGERI, J. **Tendências observadas em indicadores de extremos climáticos de temperatura e precipitação no estado do Paraná.** Revista Brasileira de Meteorologia, V30, n.2, p. 181-194, 2015.

SHEPHARD, J.M. **A Review of Current Investigations of Urban-Induced Rainfall and Recommendations for the Future.** Earth Interactions , V9, n. 12, Page 1, 2005

SRIKANTHAN, R. & MCMAHON, T. **Stochastic generation of climate data: a review.** Report 00/16, CRC for Catchment Hydrology, Monash University, Melbourne, 34 p, 2000.

THIELEN, J.; WOBROCH, W.; GADIAN, A.; MESTAYER, P.G.; CREUTIN, J.D. **The possible influence of urban surfaces on rainfall development: a sensitivity study in 2D in the meso-g-scale.** Atmospheric Research, V54, p. 15-39, 2000.

TODESCHINI, S. **Trends in long daily rainfall series of Lombardia (northern Italy) affecting urban stormwater control.** International Journal of Climatology, V32, p. 900-919, 2013.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. **Plano diretor de drenagem urbana: manual de drenagem urbana.** Porto Alegre: Prefeitura Municipal; Departamento de Esgotos Pluviais, 2002. V2, 184 p.

UGHINI, S.; PIRES, J. L. F.; CUNHA, G. R. da ; NICKNICK, F. ; HENNERICH, J. ; LUIZ, A. R. M.; PASINATO, A. **Sinais de mudanças no regime de chuvas no estado do Rio Grande do Sul durante o século 20.** In: XIV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 2005, Campinas, SP. Anais...Campinas, SP, 2005.

VALVERDE, M.C.; MARENGO, J.A. **Mudanças na Circulação Atmosférica sobre a América do Sul para Cenários Futuros de Clima Projetados pelos Modelos Globais do IPCC AR4.** Revista Brasileira de Meteorologia, V25, n.1 p.125-145, 2010.

ZUFFO, A. C. **Equações de chuvas são eternas?** In: XXI Congresso Latino Americano de Hidráulica, 2004, São Pedro SP. Anais...São Pedro SP, 2005.

YNOUE, R.Y.; REBOITA, M.S.; AMBRIZZI, T.; SILVA, G.A.M.; **Meteorologia – noções básicas.** Ed Oficina de Textos, São Paulo, 179 p. 2017.

WESCHENFELDER, A. B.; PICKBRENNER, K.; PINTO, E. J. A. Atlas Pluviométrico do Brasil. **Equações Intensidade-Duração-Frequência. Município: Porto Alegre, Estação Pluviográfica: Porto Alegre, Código 03051011.** CPRM/SGB. Porto Alegre. 2015.

WEYKAMP, F. V.; AMBRIZZI, T. **The role of the Low-Level Jet East of the Andes in extreme rainfall events over Southern South America.** In: International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography, 8, 2006, Foz do Iguaçu-PR. Proceedings...Foz Iguaçu: Amer. Meteor.Soc., 2006. P. 1231-1234.

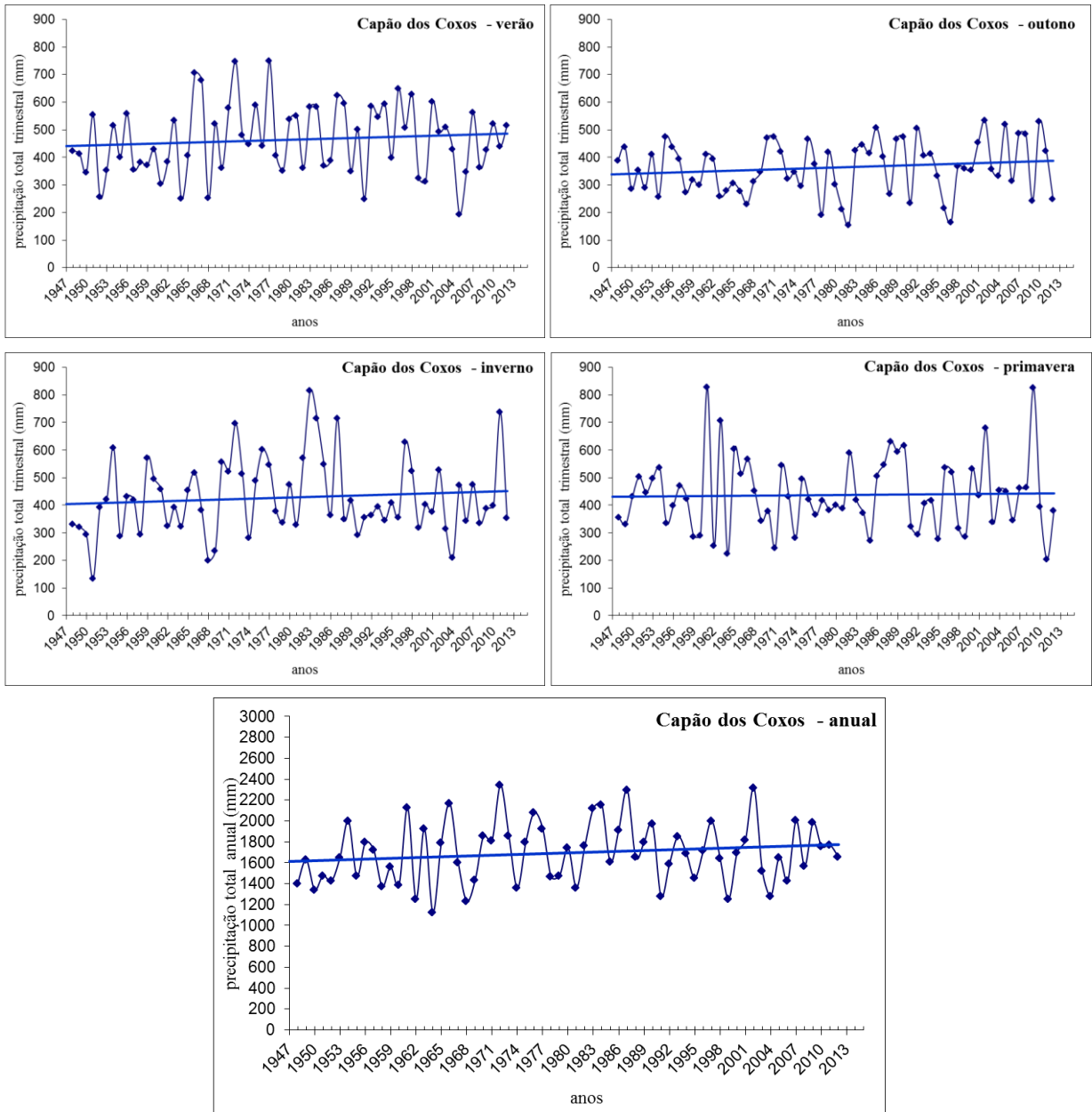
WILKS, D. S.; **Multisite downscaling of daily precipitation with a stochastic weather generator.** Climate Research, V11, p.125–136, 1999. Disponível em: <https://blogs.cornell.edu/cicca/files/2015/04/Multisite-downscaling-of-daily-precipitation-with-a-stochastic-weather-generator-1xm9swx.pdf>

7. APÊNDICES

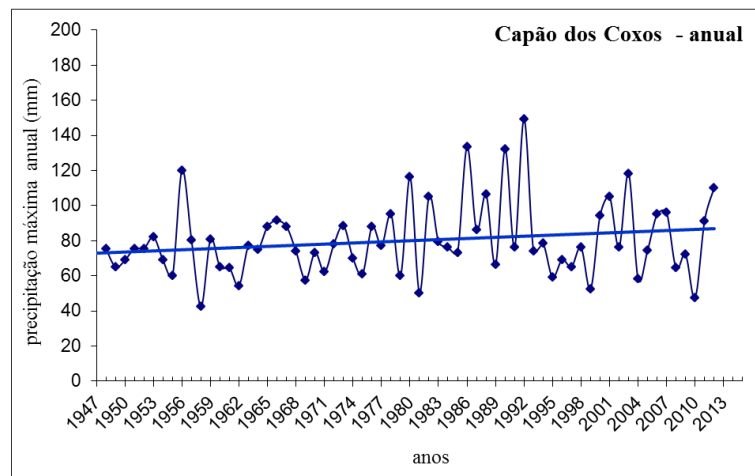
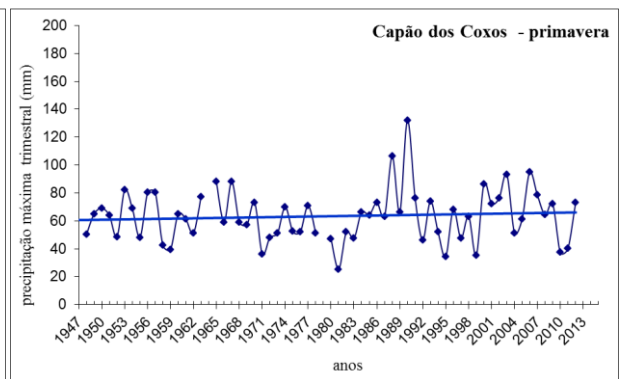
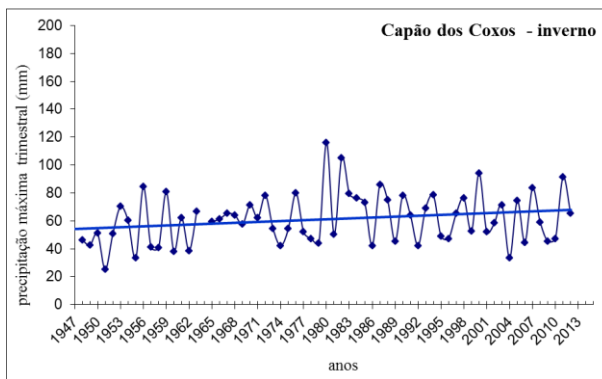
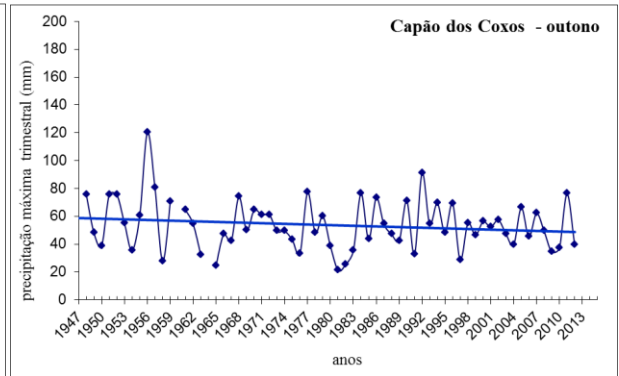
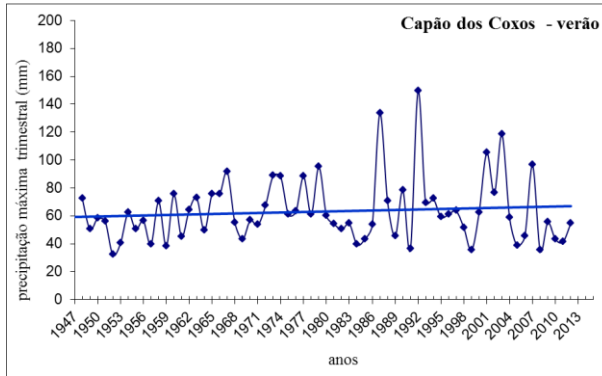
APÊNDICE A – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DA ANÁLISE DE TENDÊNCIA DAS ESTAÇÕES DA SUB-BACIA 87, NA SEGUINTE ORDEM:PRECIPITAÇÃO TOTAL, MÁXIMA E NDC, NOS TRIMESTRES QUE CORRESPONDEM AO VERÃO, OUTONO, INVERNO E PRIMAVERA

A1) Capão dos Coxos

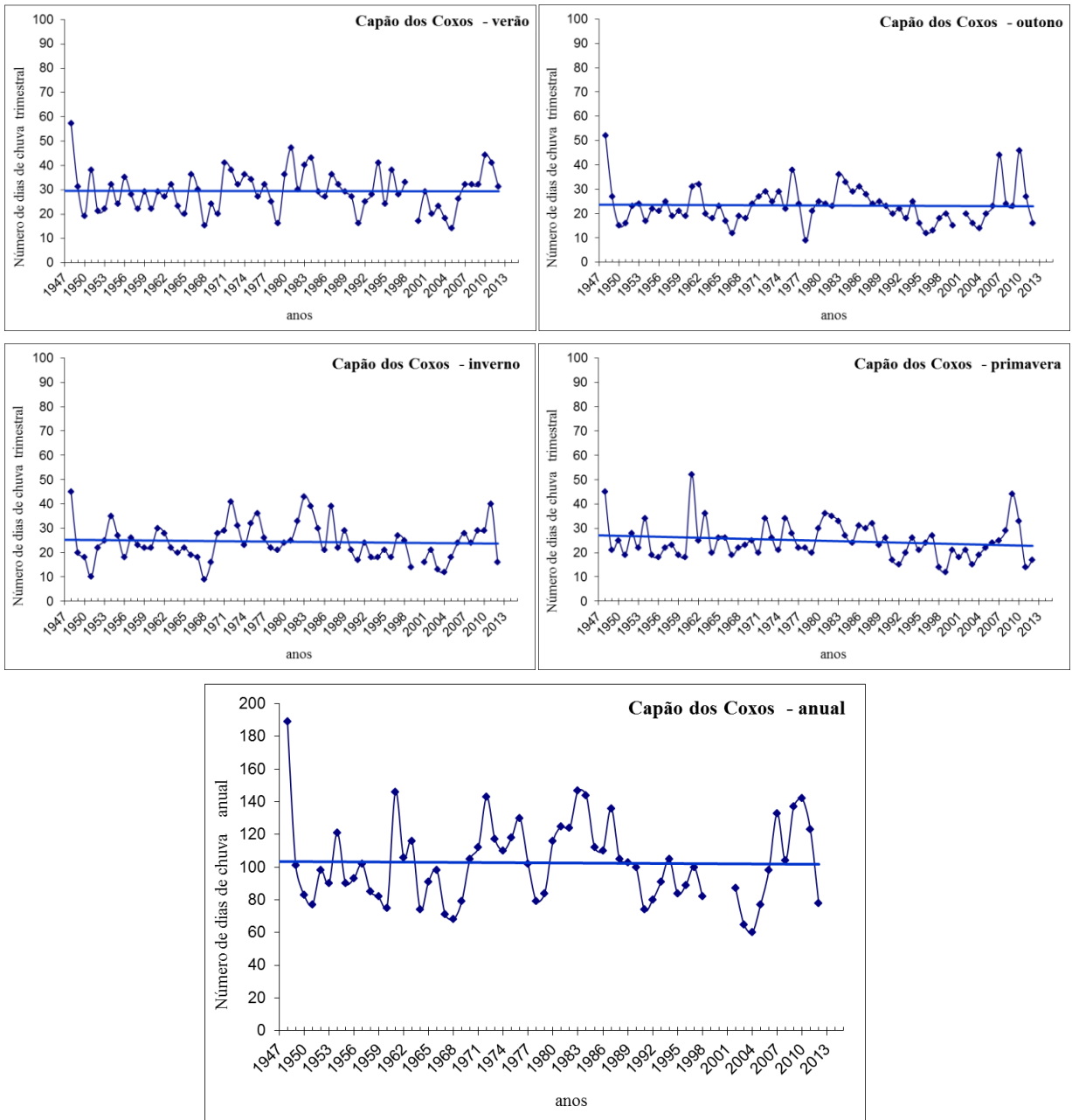
CAPAO DOS COXOS



CAPA DOS COXOS

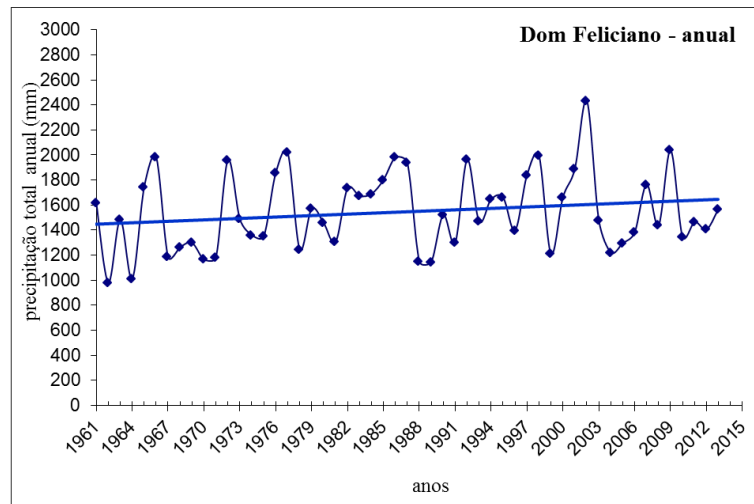
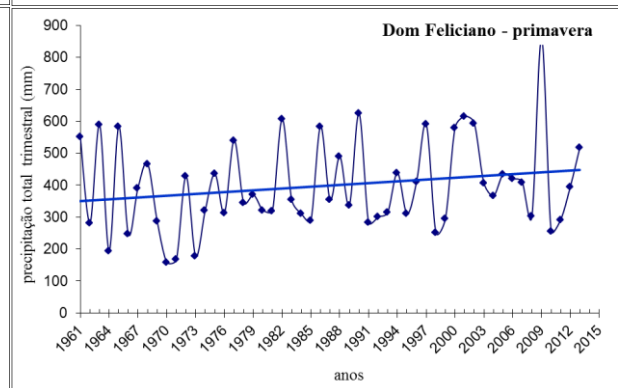
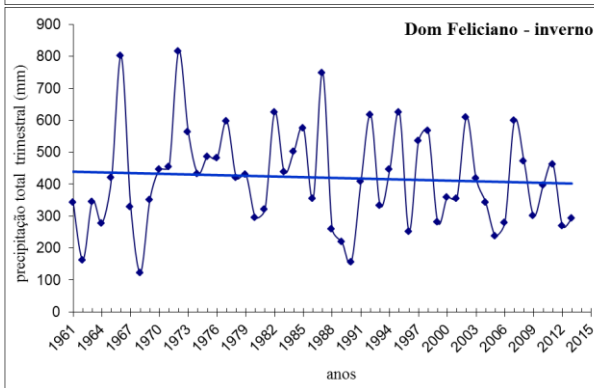
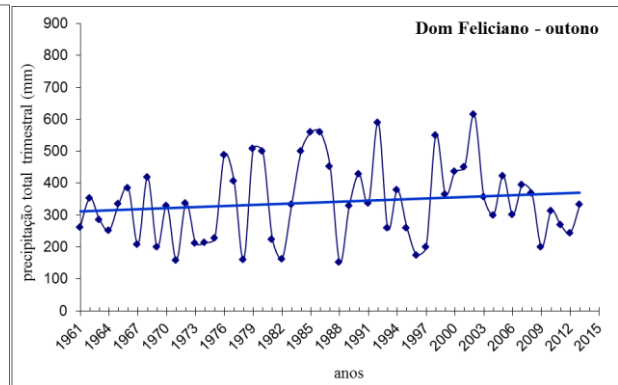
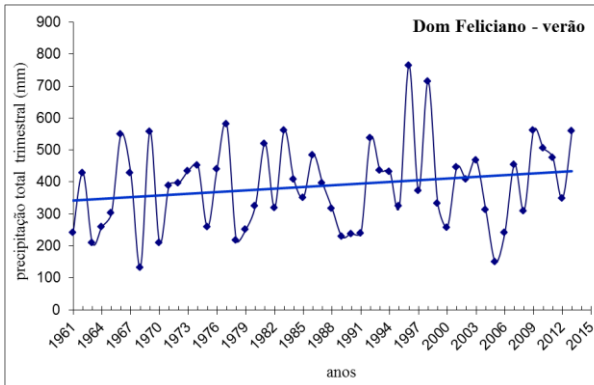


CAPA DOS COXOS

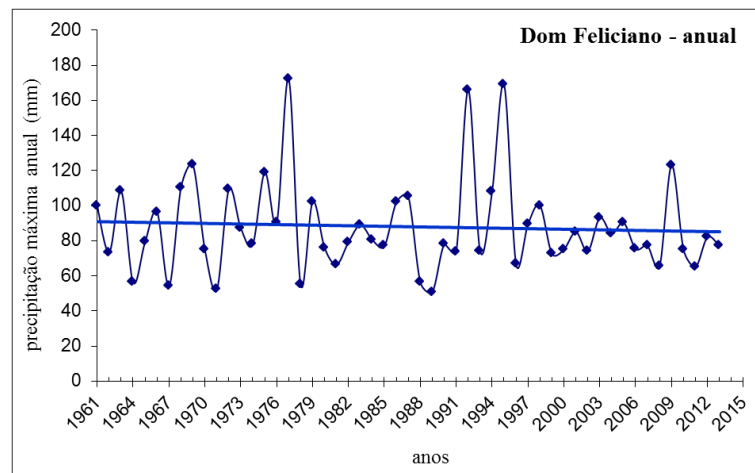
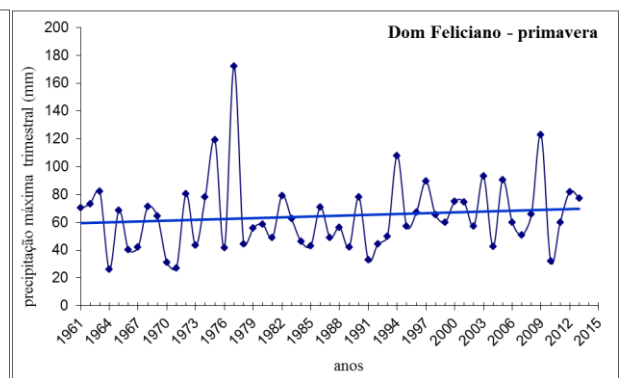
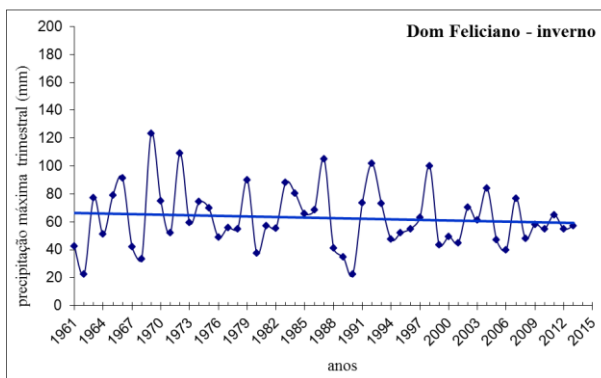
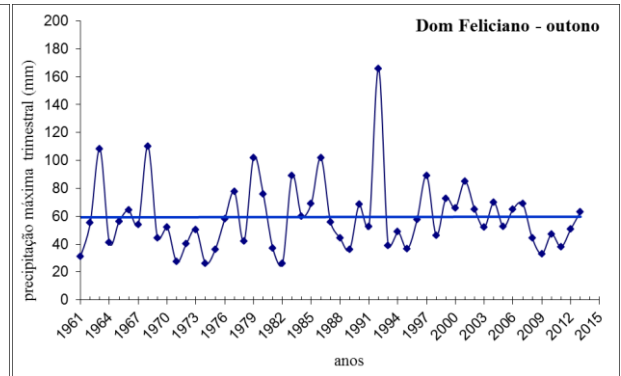
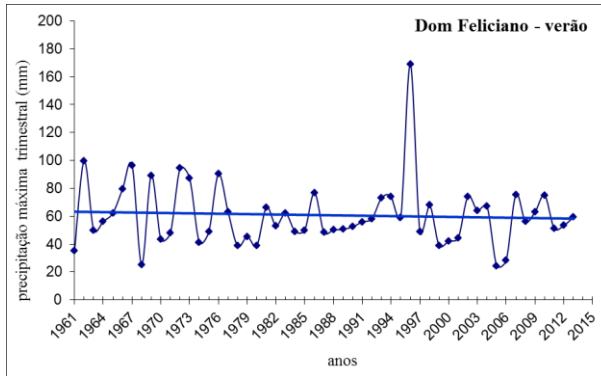


A2) Dom Feliciano

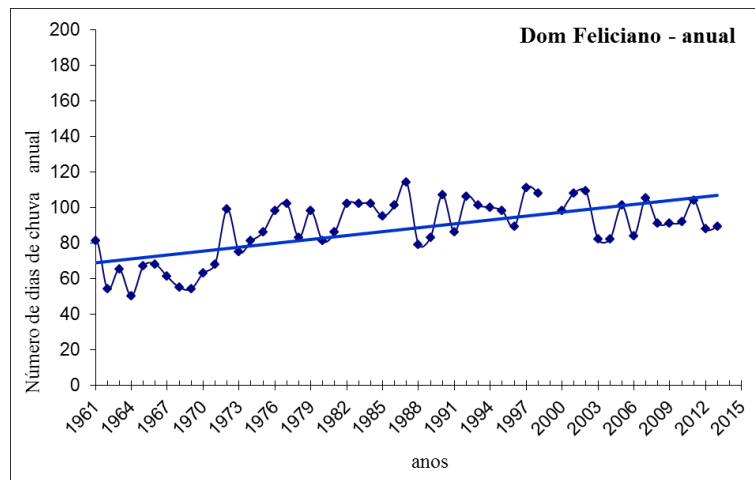
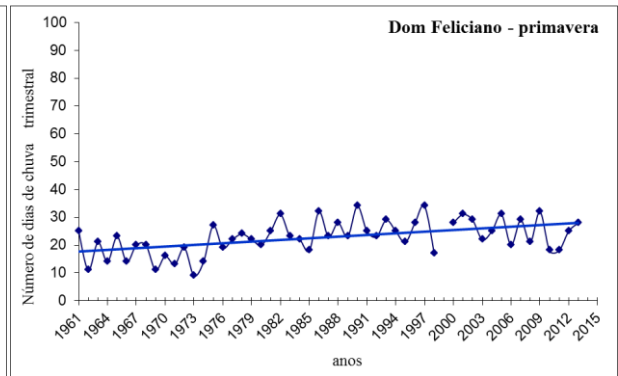
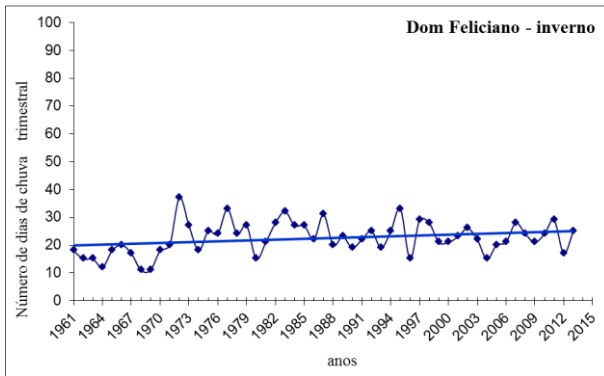
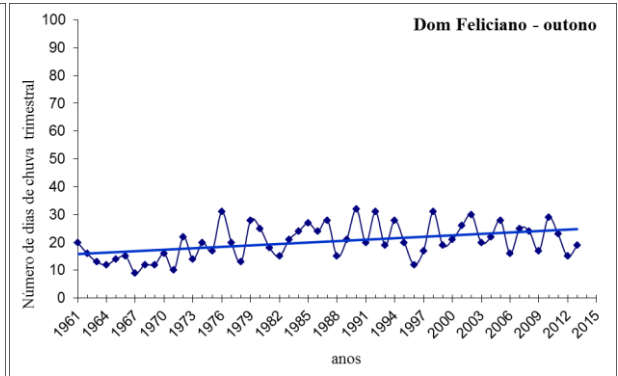
DOM FELICIANO



DOM FELICIANO

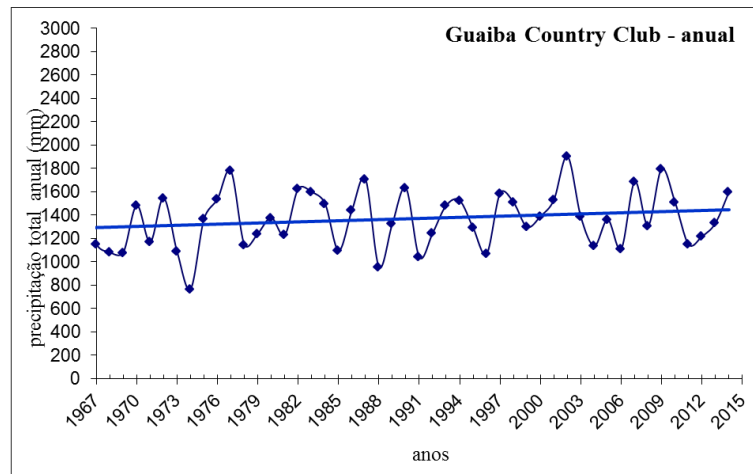
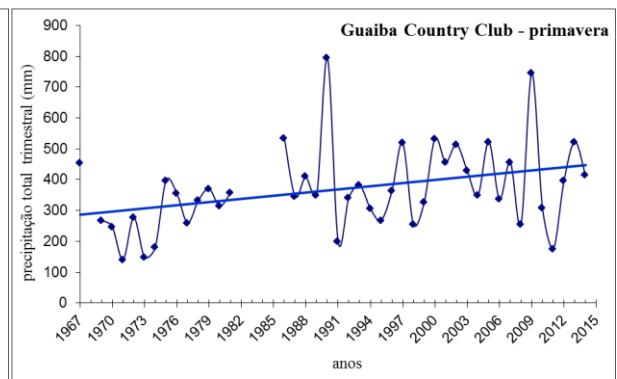
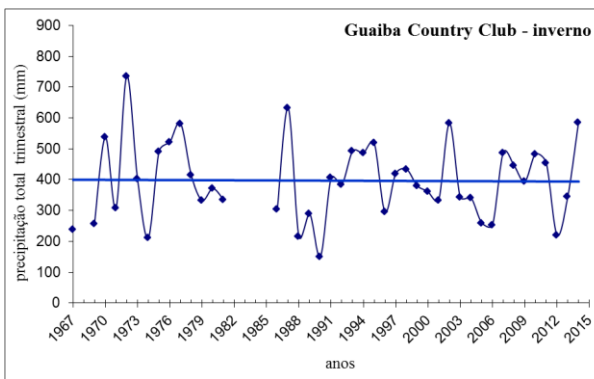
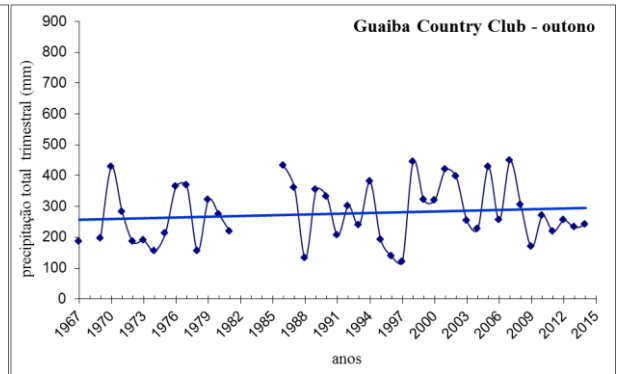
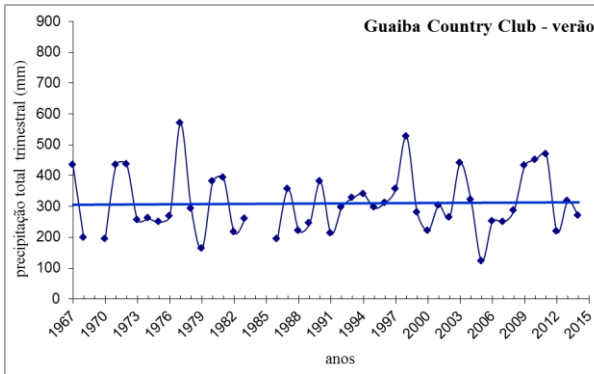


DOM FELICIANO

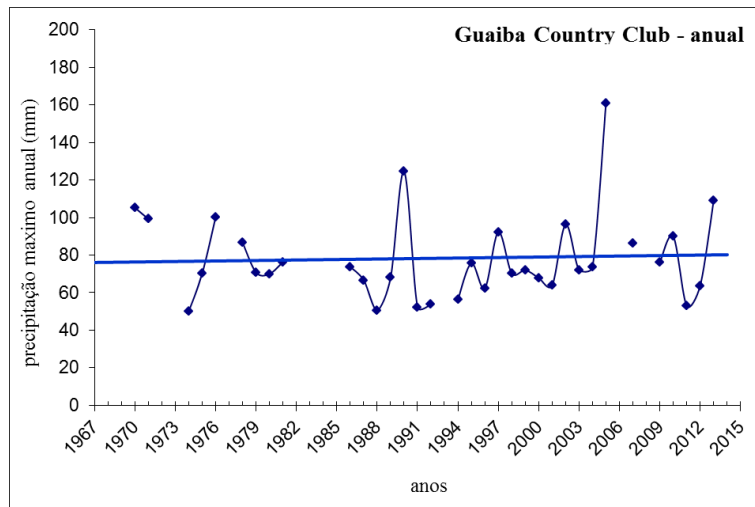
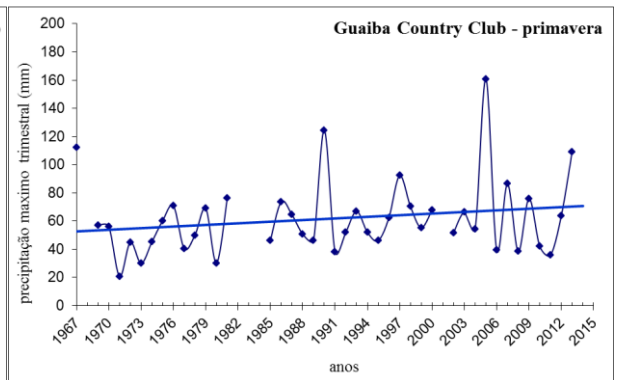
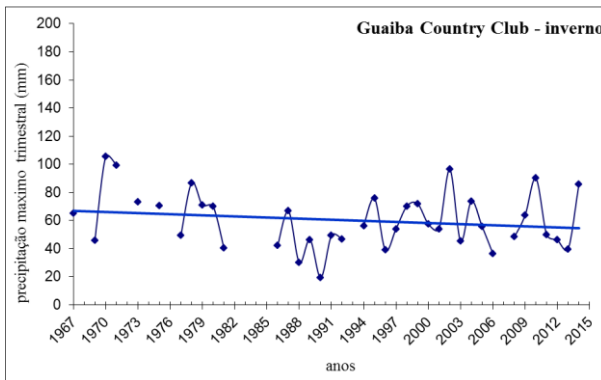
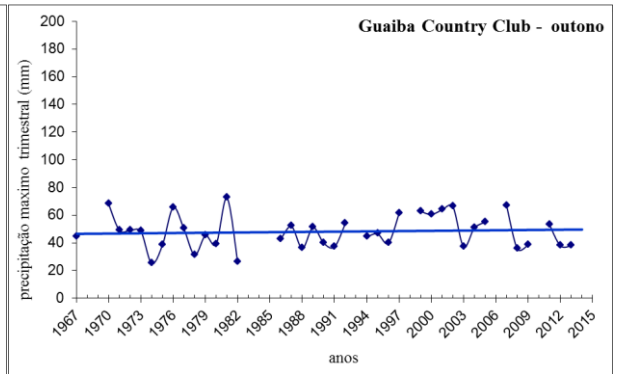
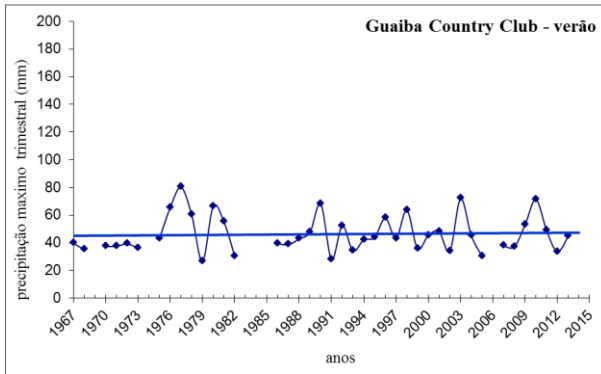


A3) Guaíba Country Club

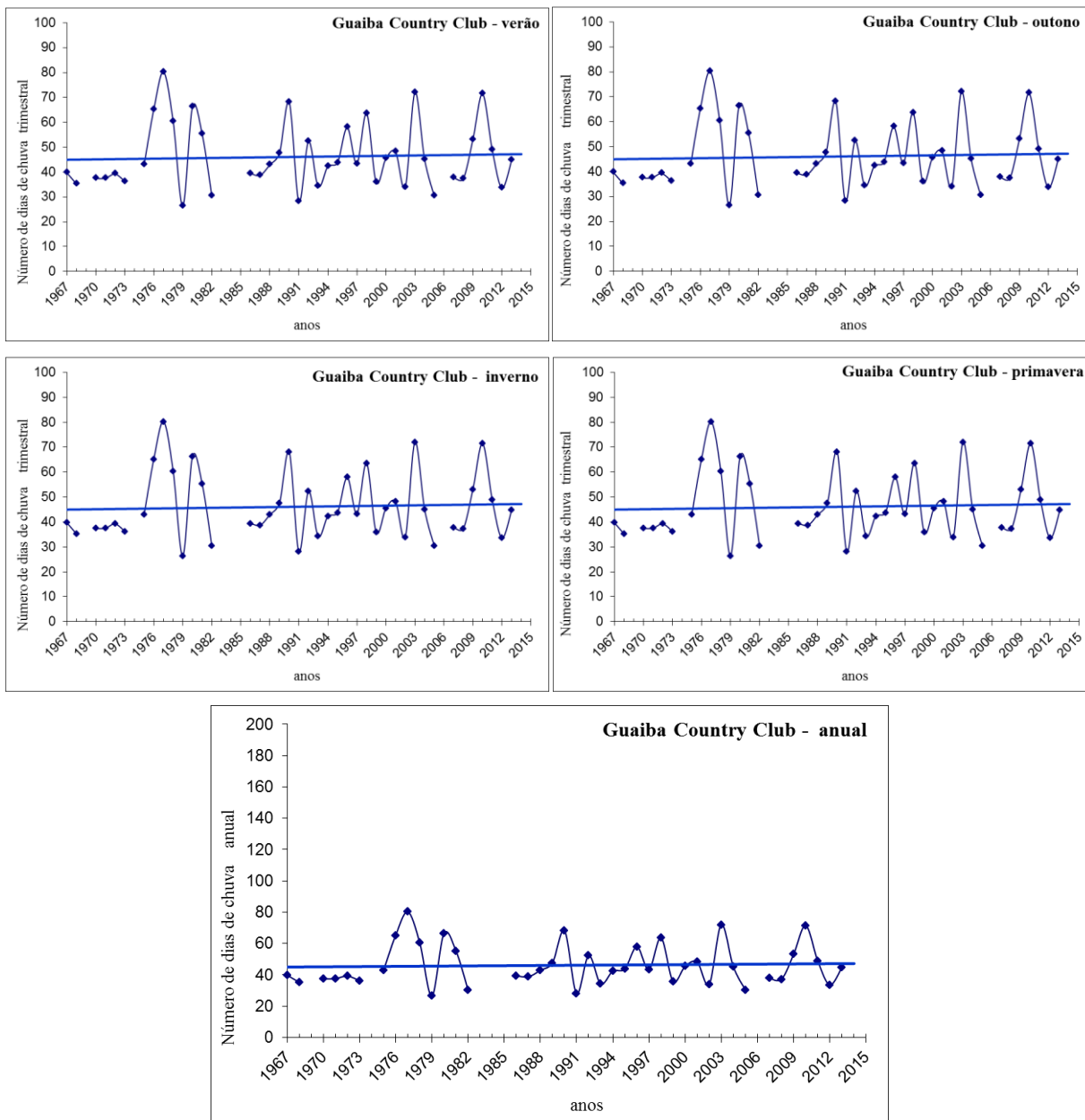
GUAIBA COUNTRY CLUB



GUAIBA COUNTRY CLUB

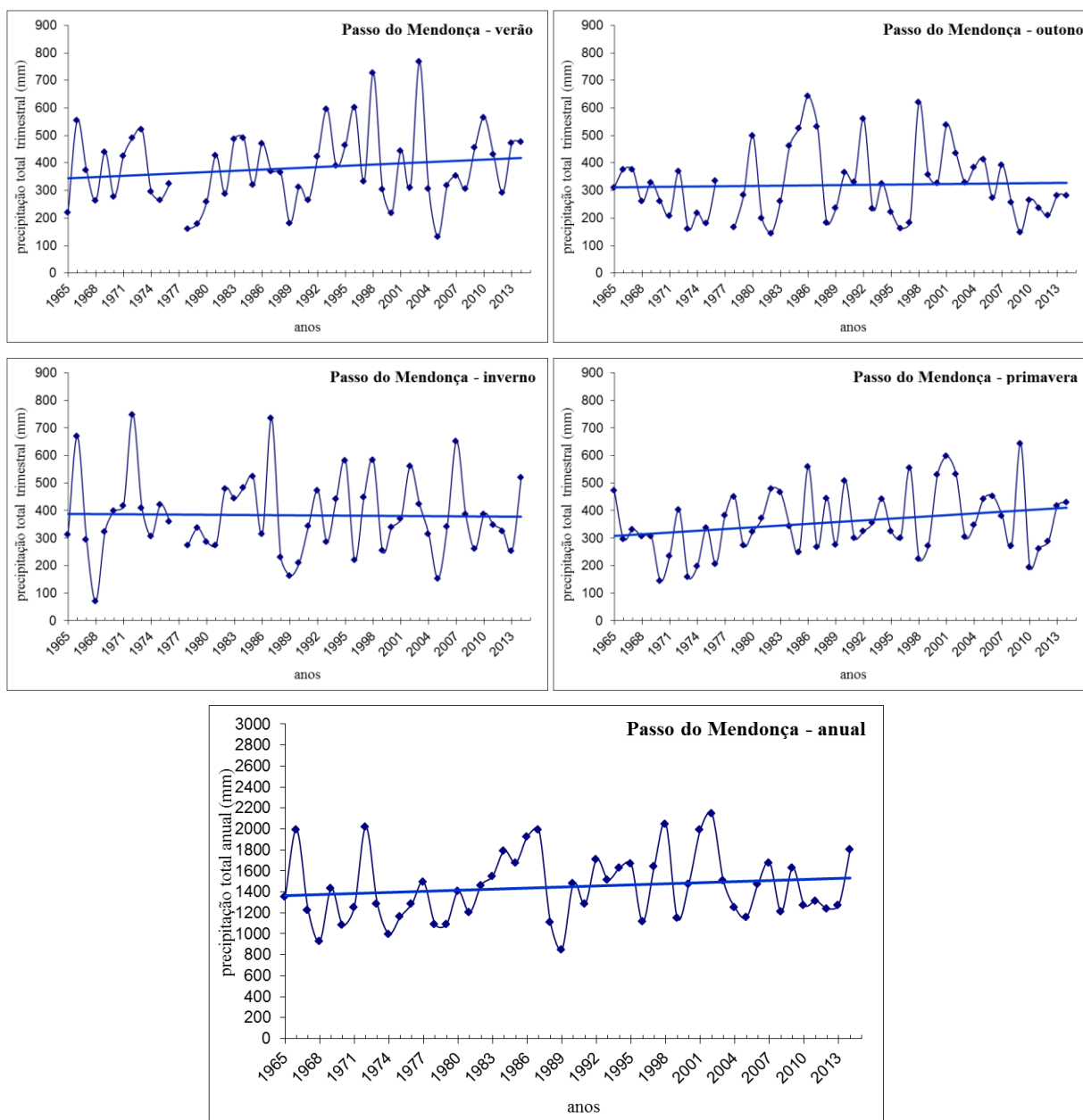


GUAIBA COUNTRY CLUB

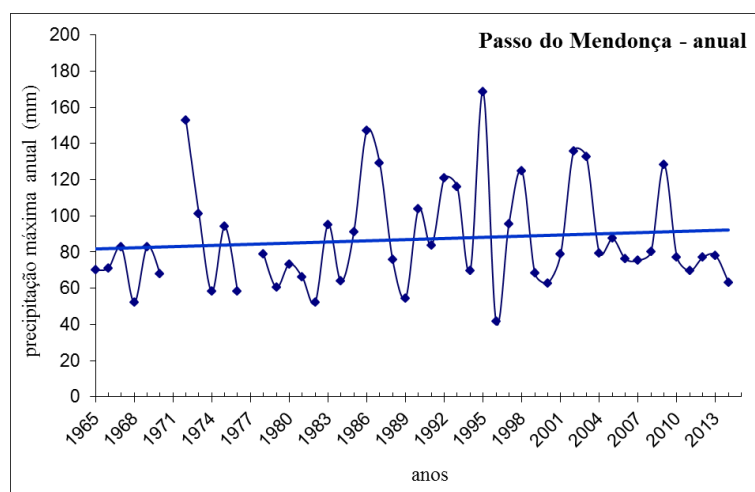
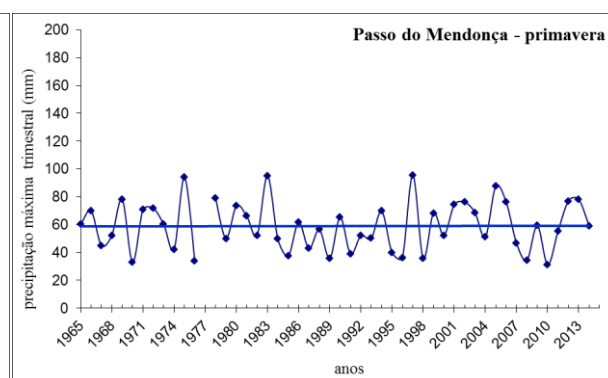
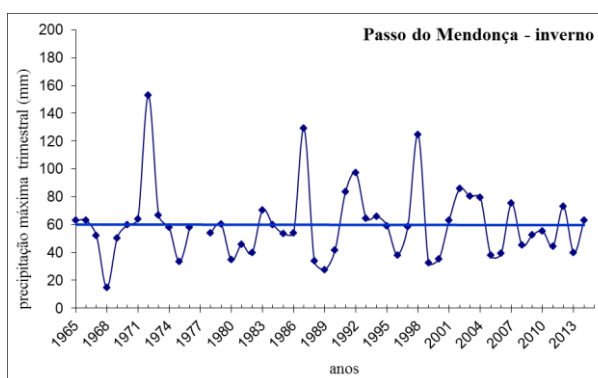
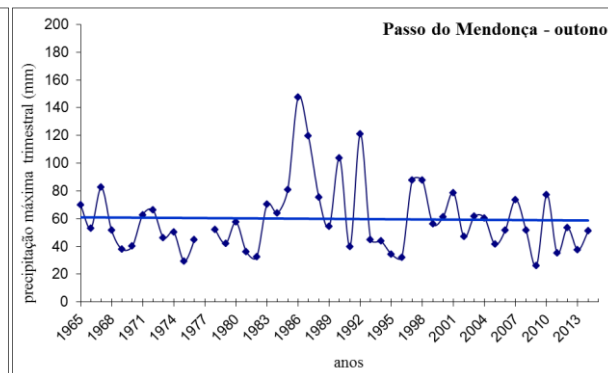
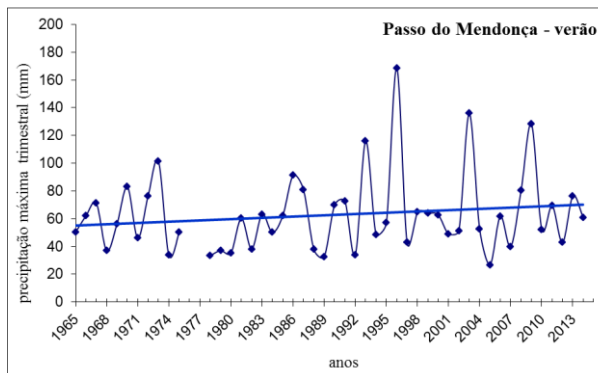


A4) Passo do Mendonça

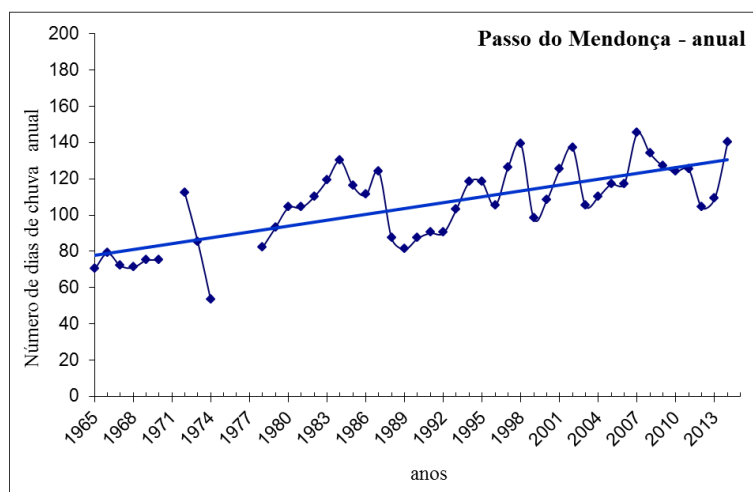
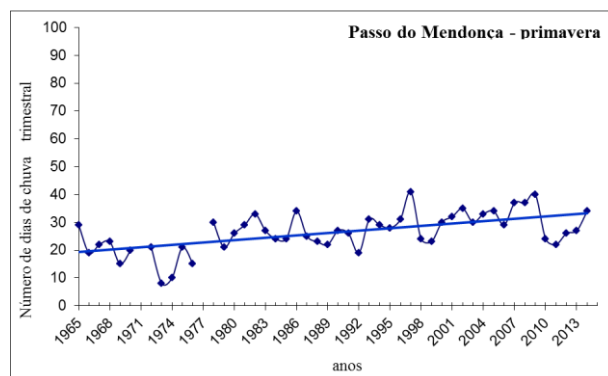
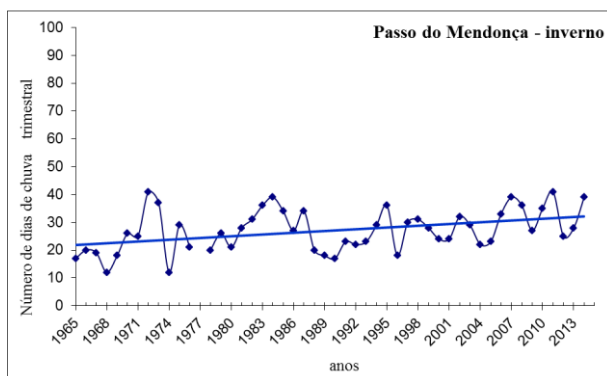
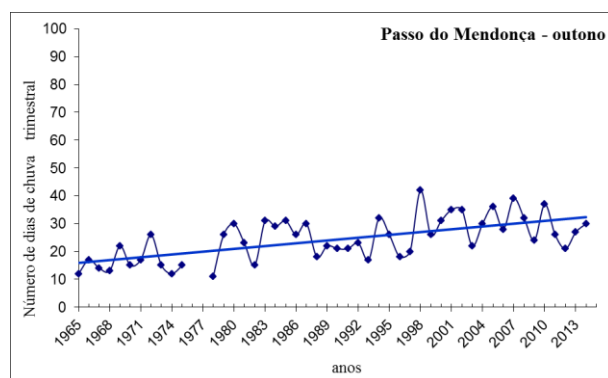
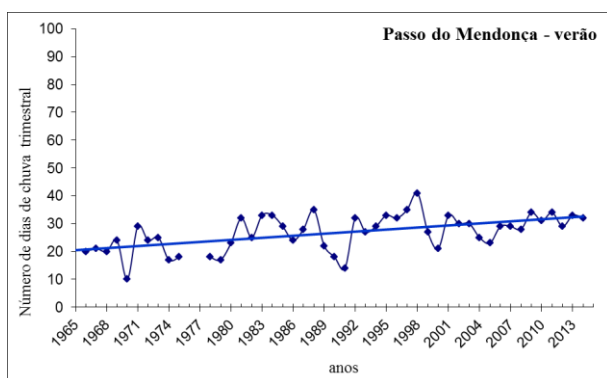
PASSO DO MENDONÇA



PASSO DO MENDONÇA

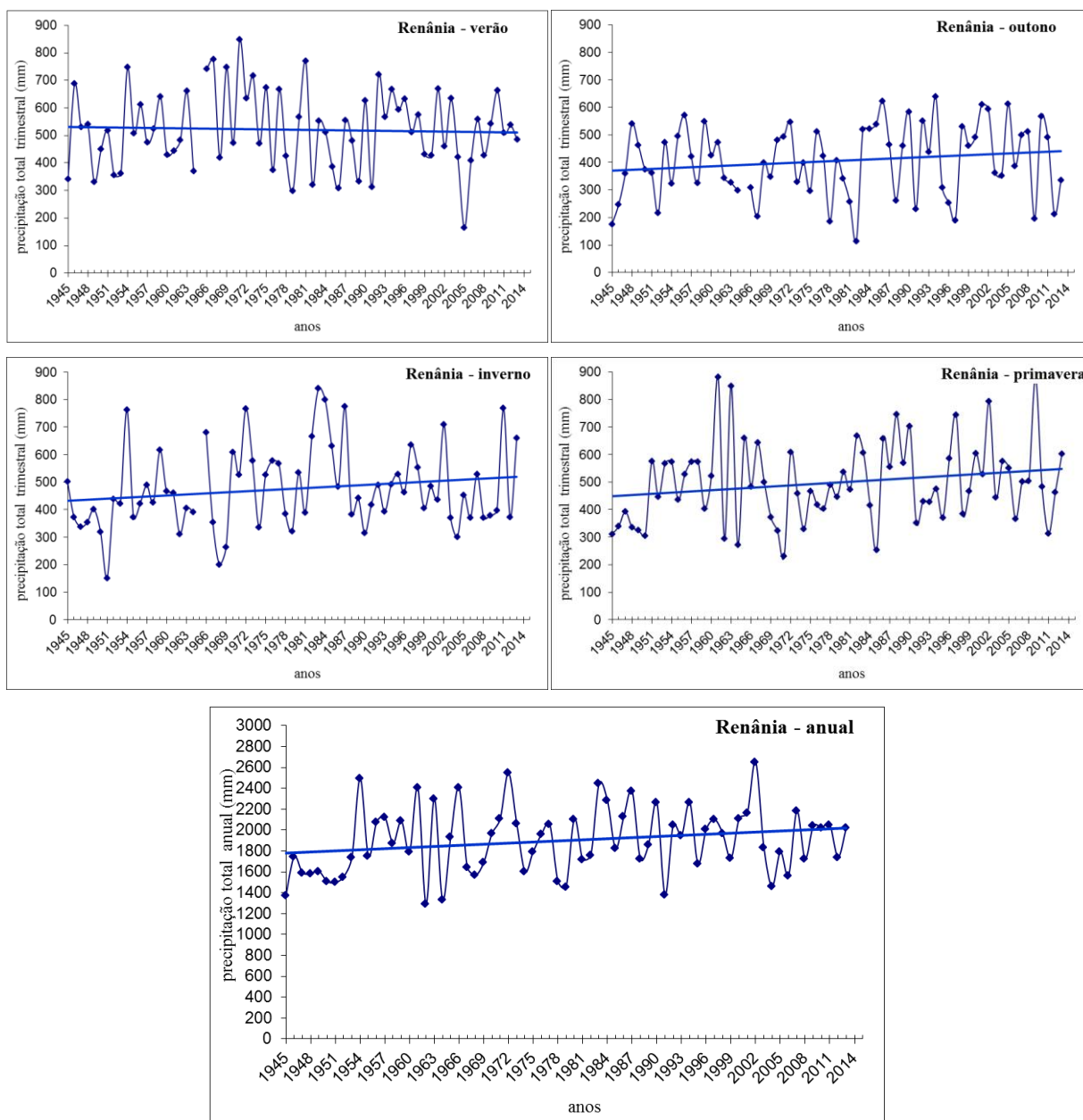


PASSO DO MENDONÇA

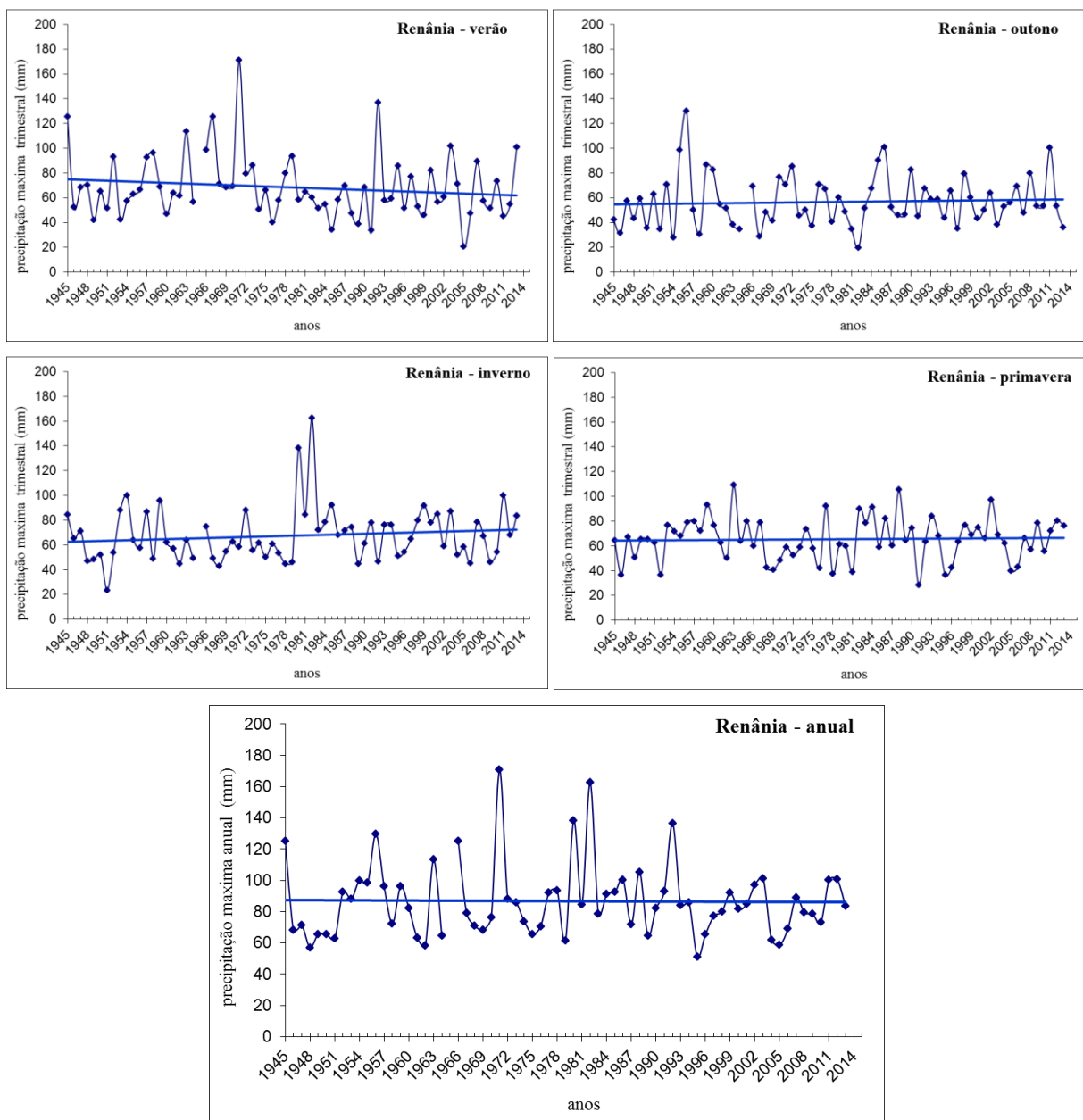


A5) Renânia

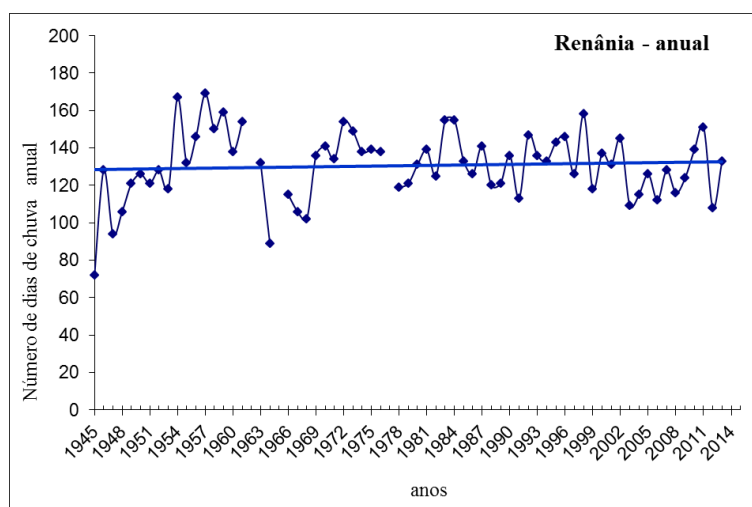
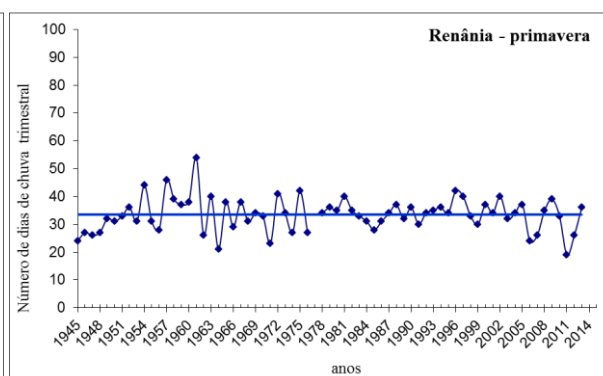
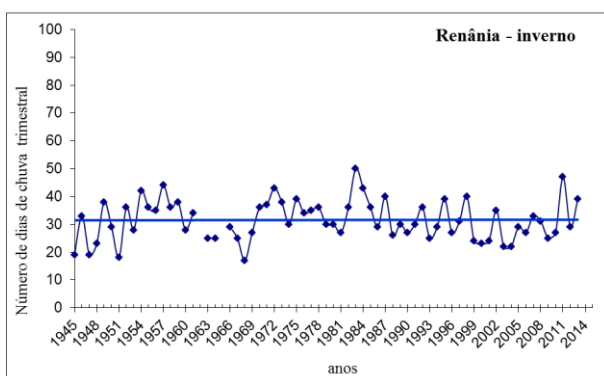
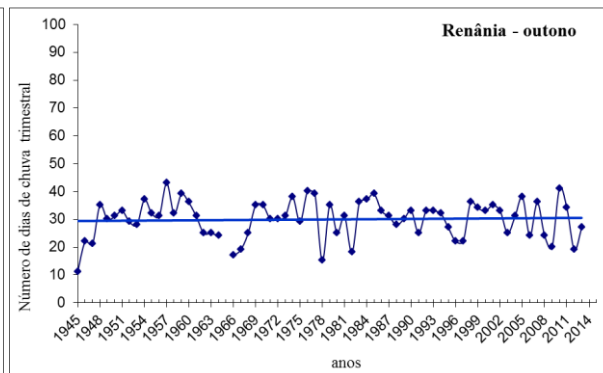
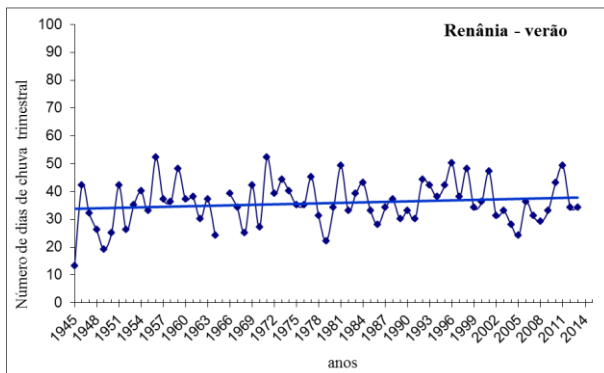
RENANIA



RENANIA

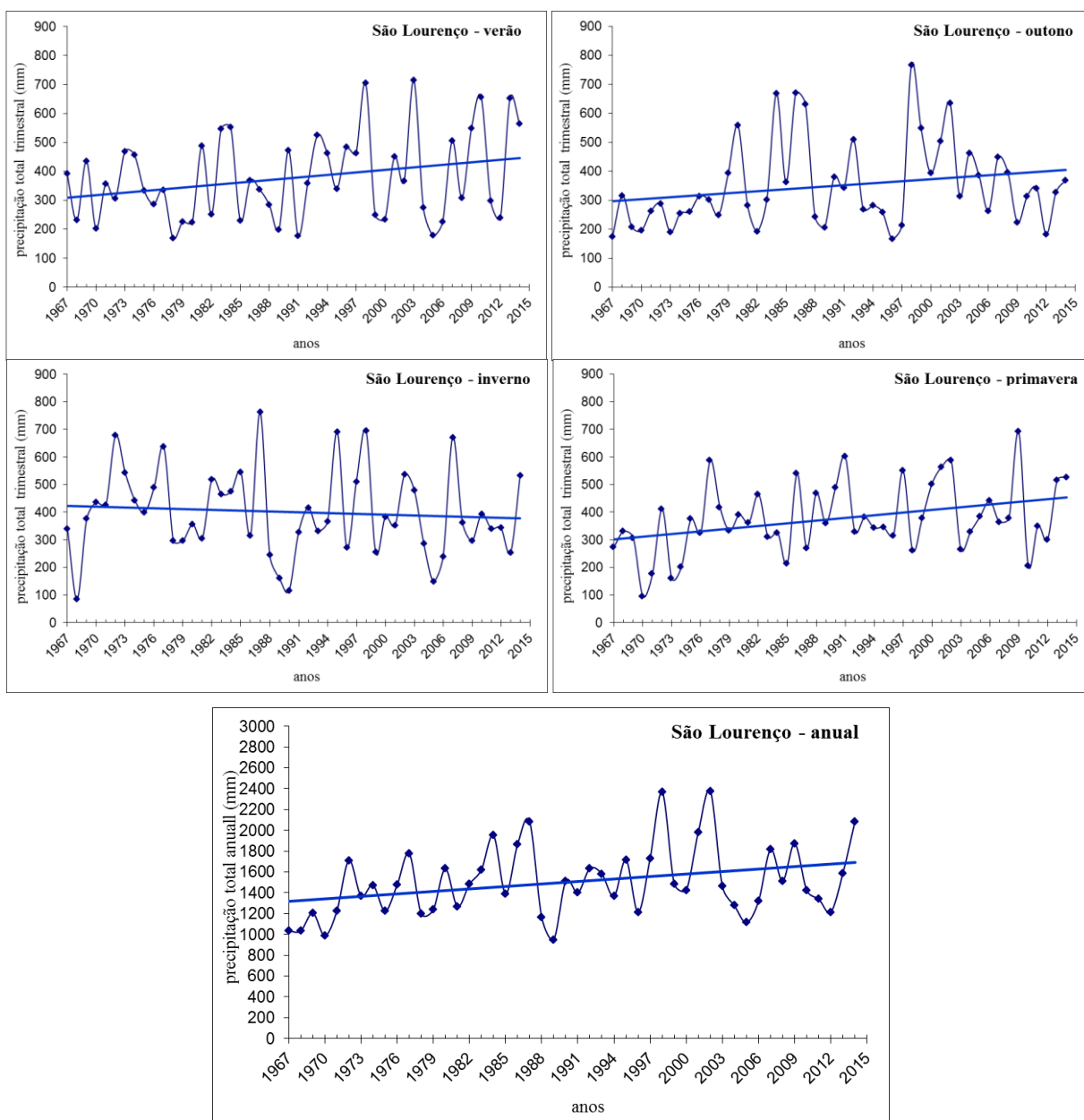


RENANIA

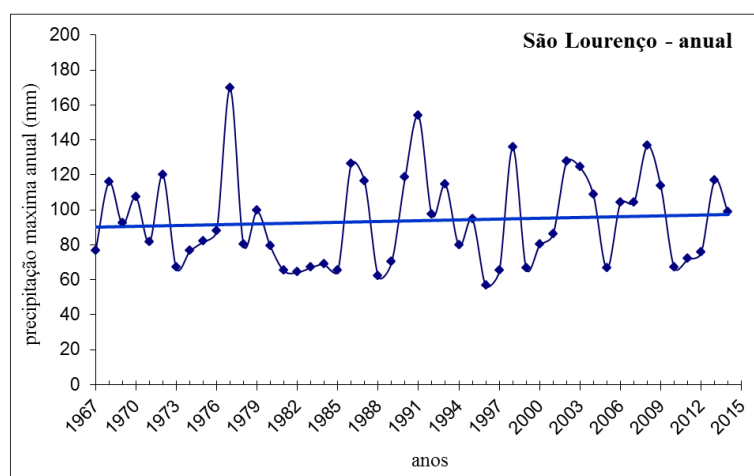
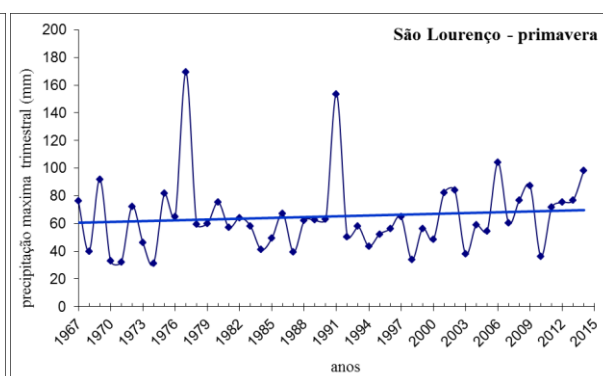
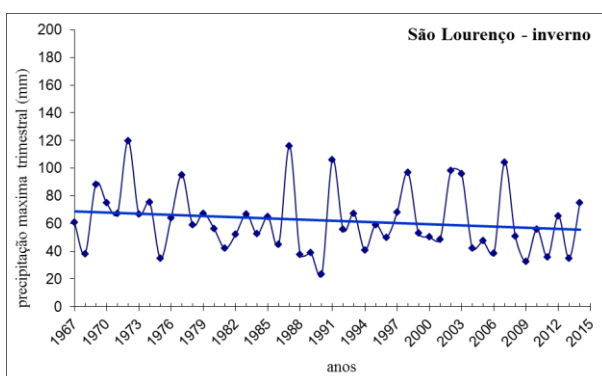
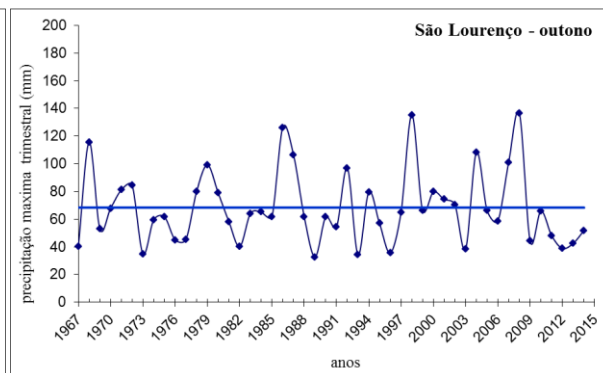
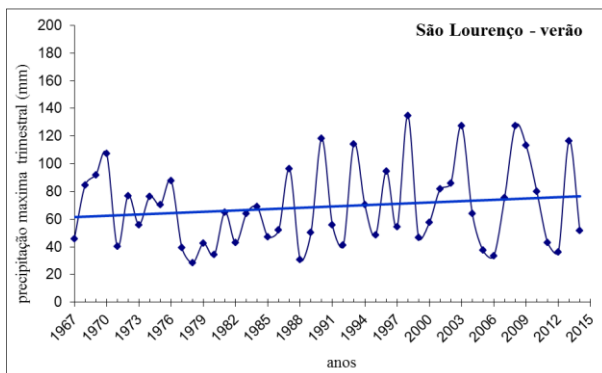


A6) São Lourenço

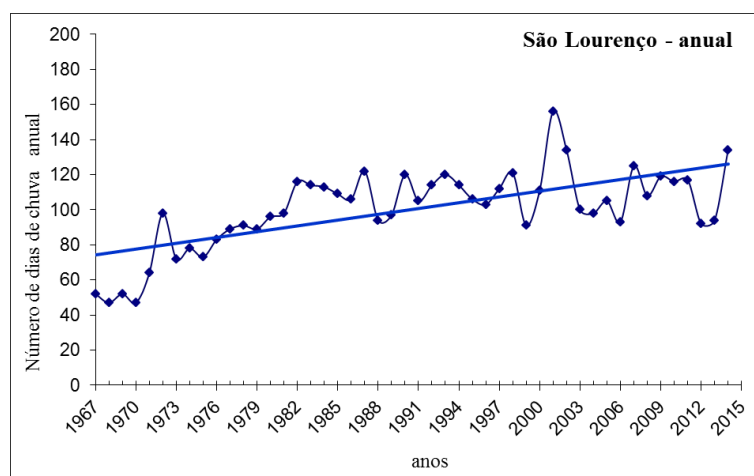
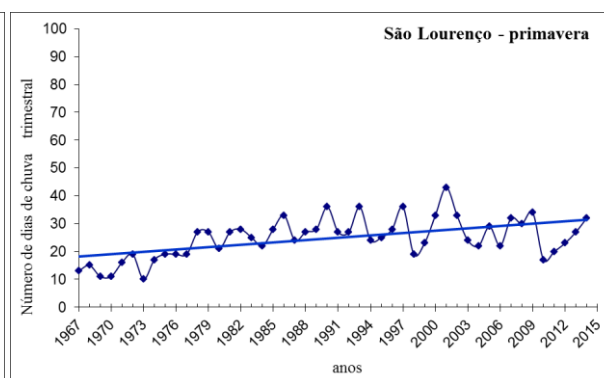
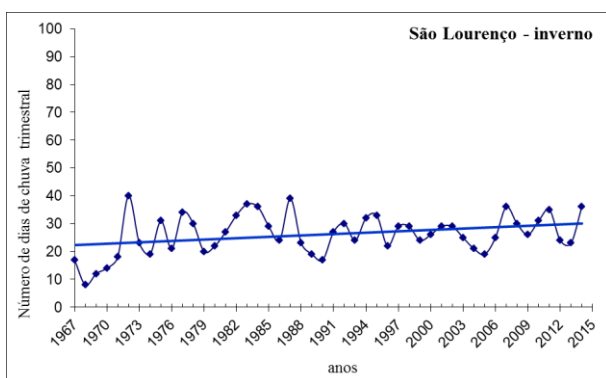
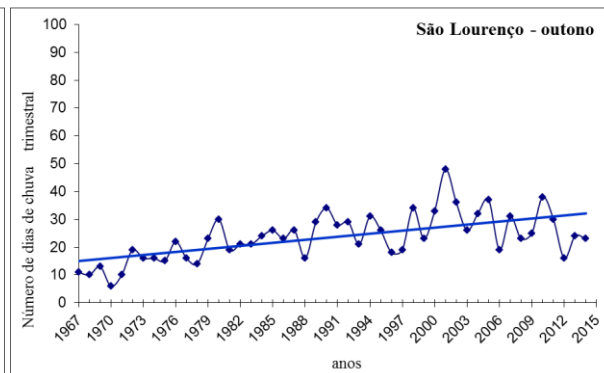
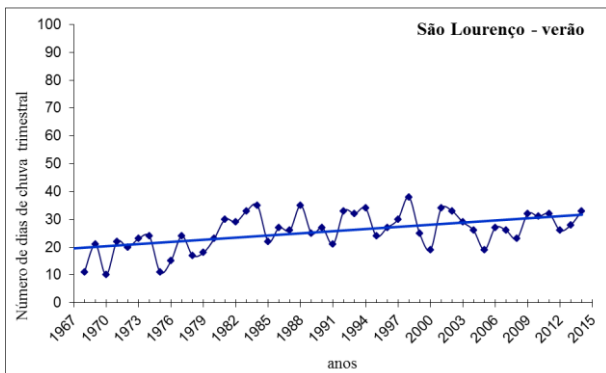
SÃO LOURENÇO



SÃO LOURENÇO

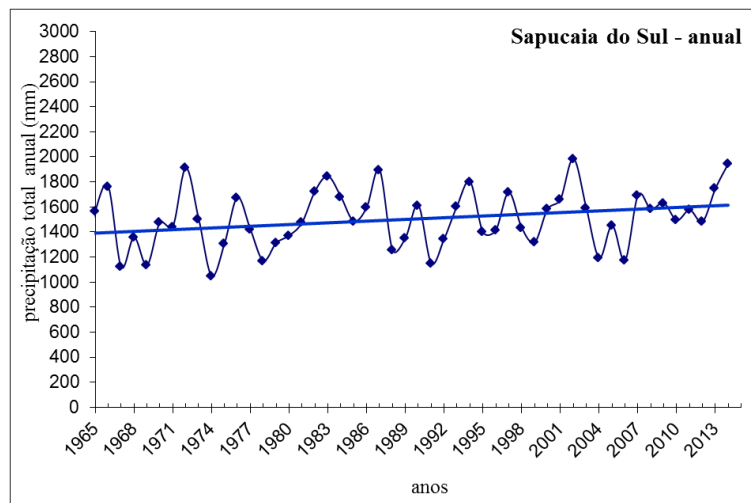
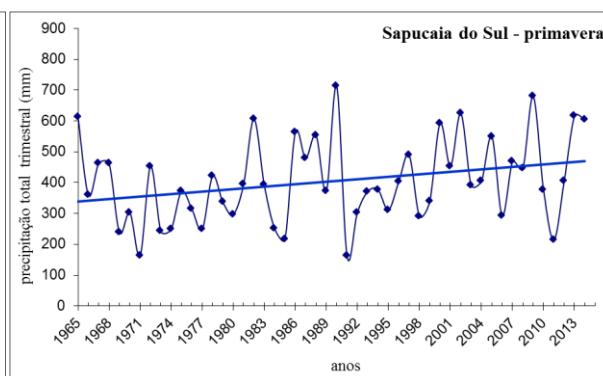
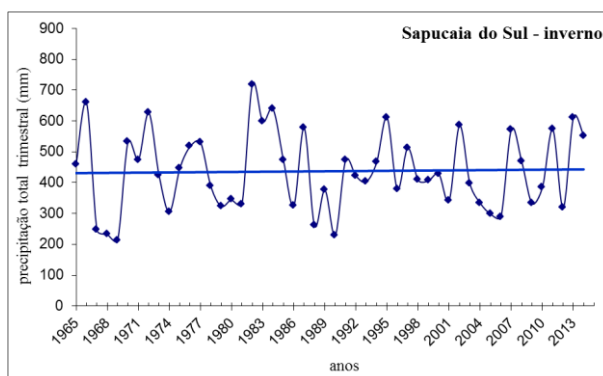
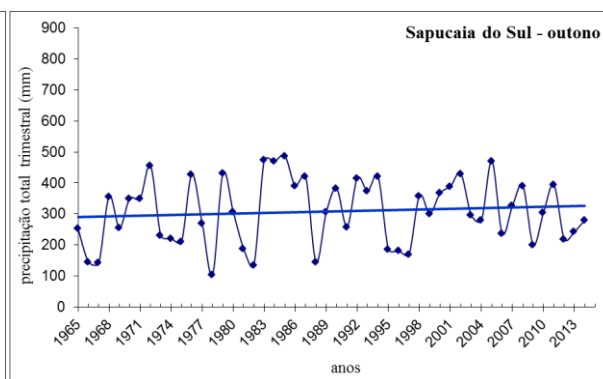
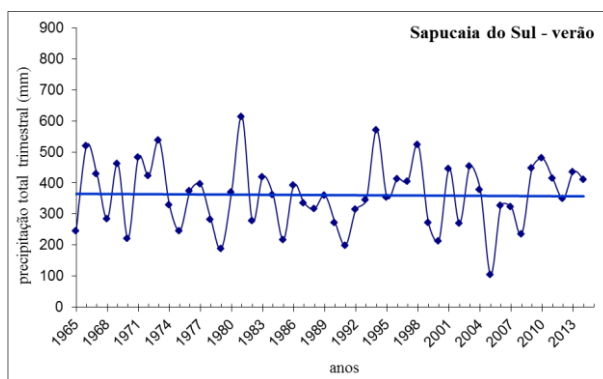


SÃO LOURENÇO

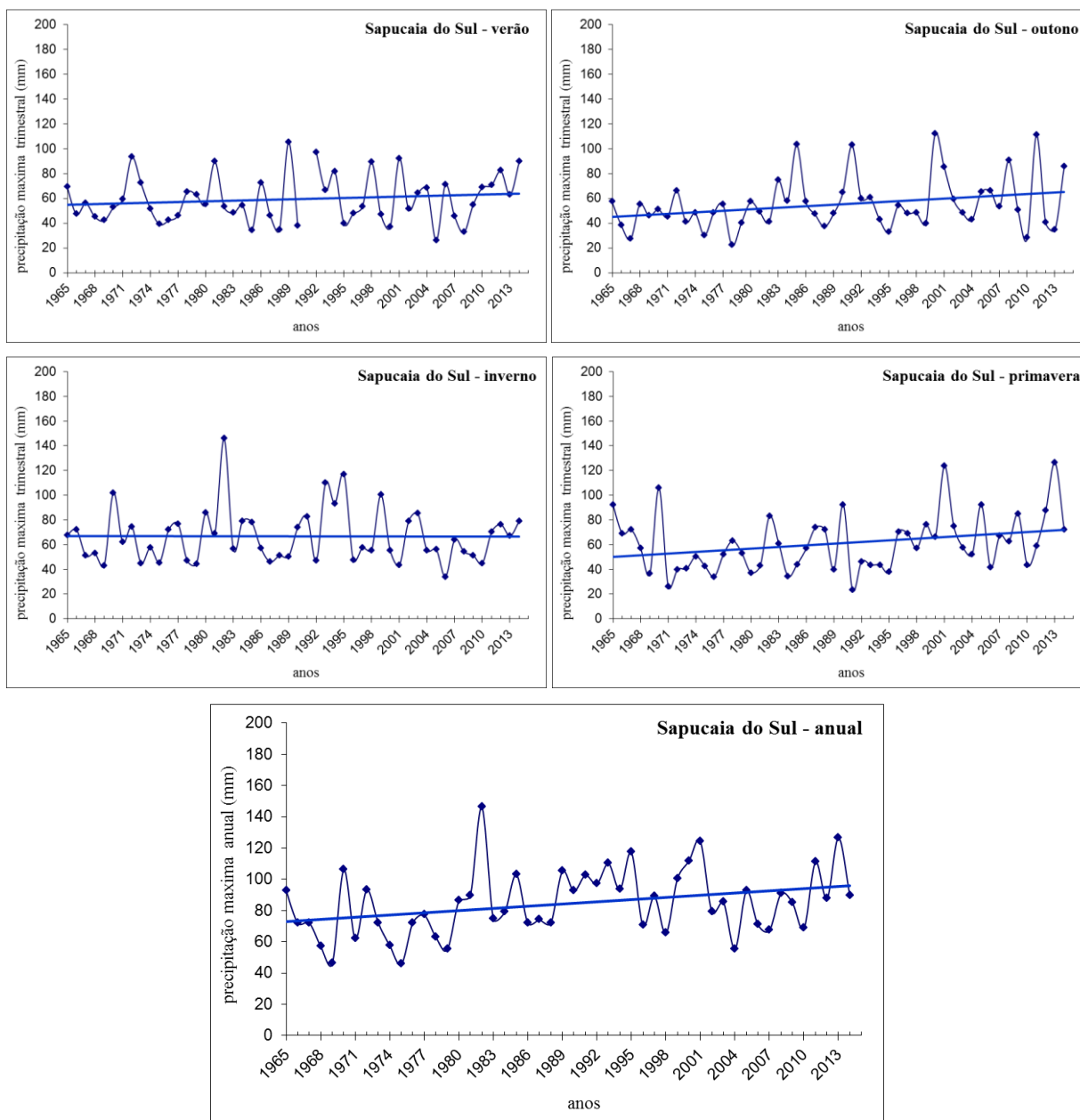


A7) Sapucaia do Sul

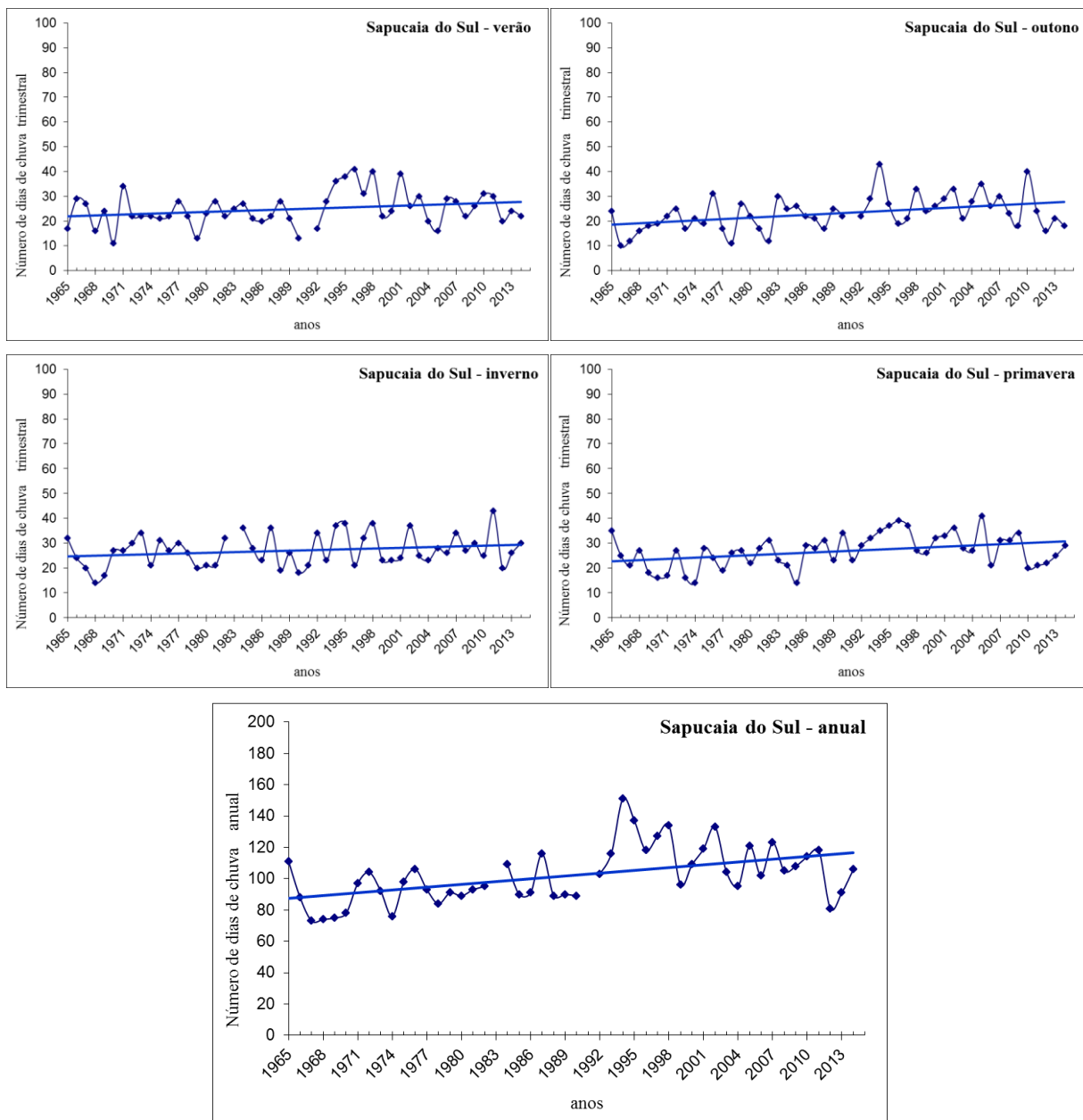
SAPUCAIA DO SUL



SAPUCAIA DO SUL

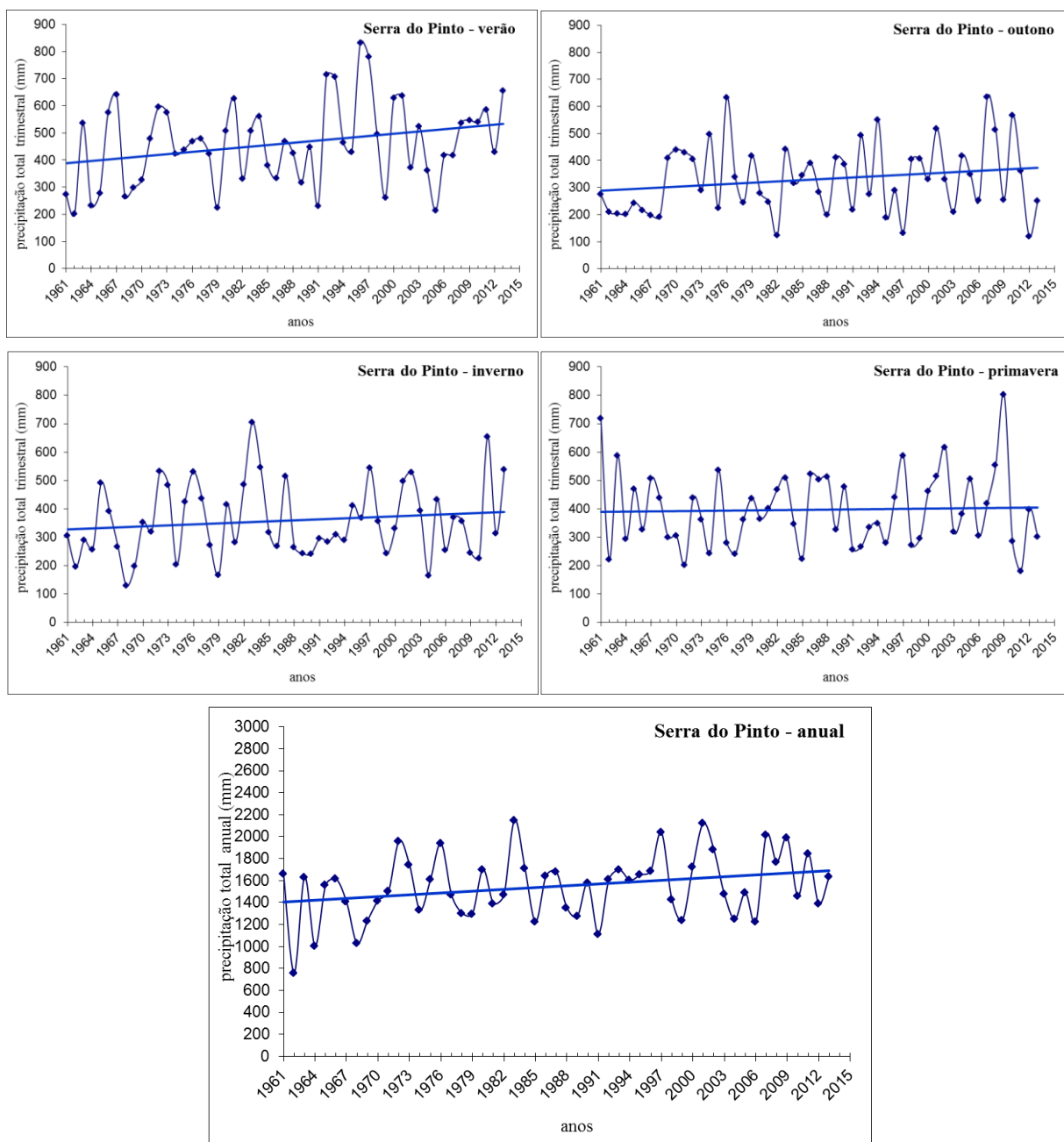


SAPUCAIA DO SUL

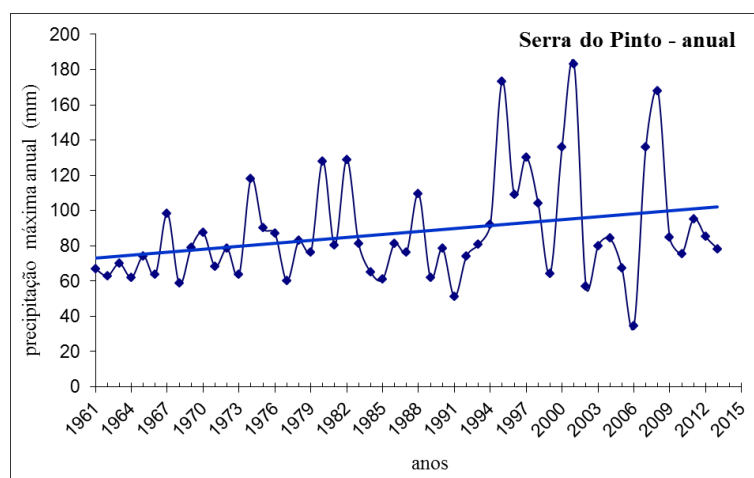
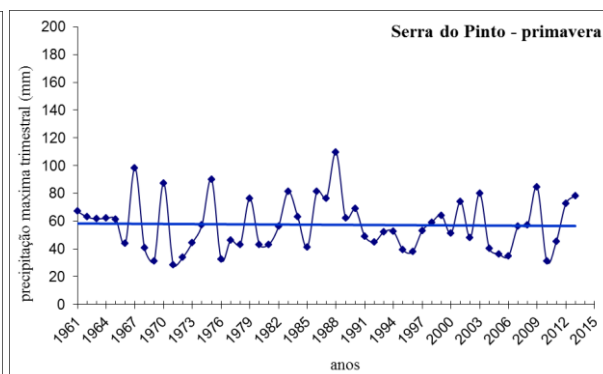
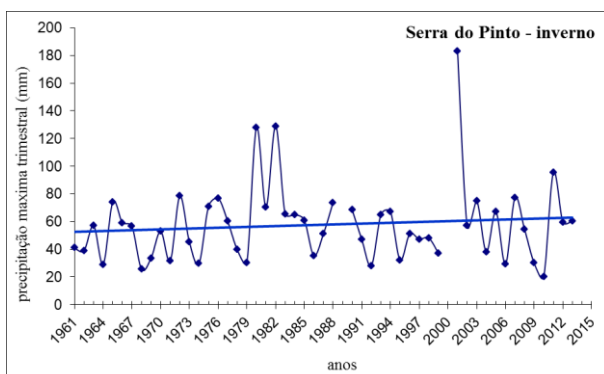
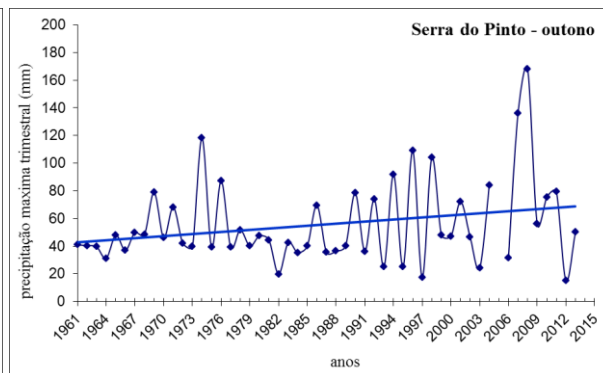
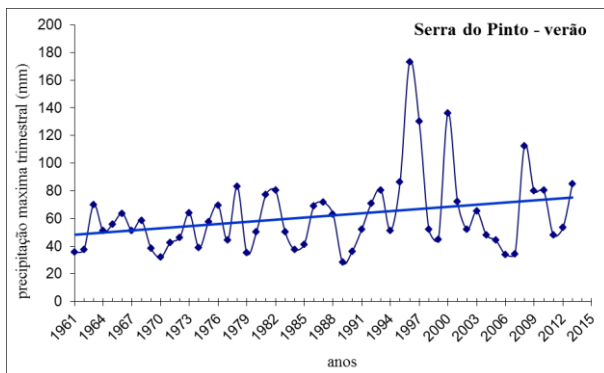


A8) Serra do Pinto

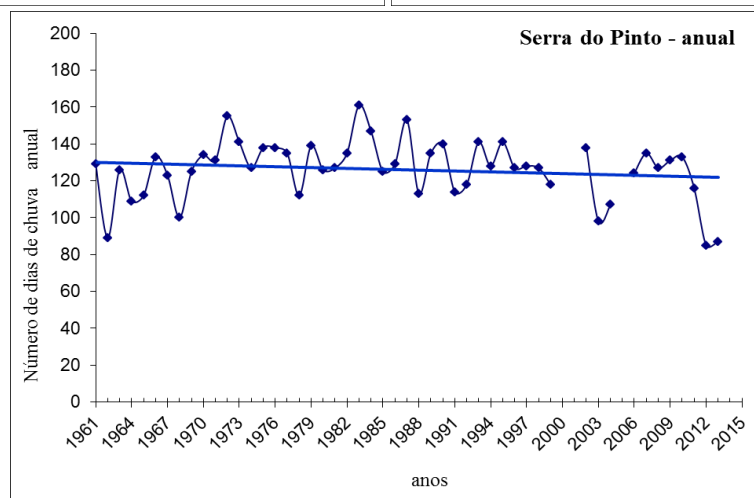
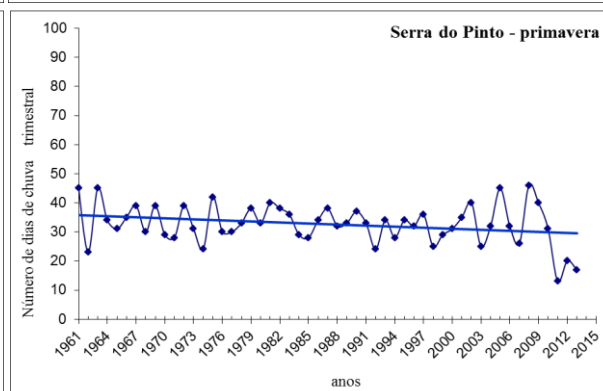
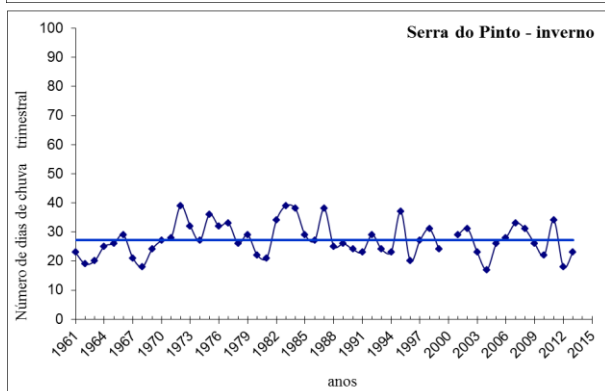
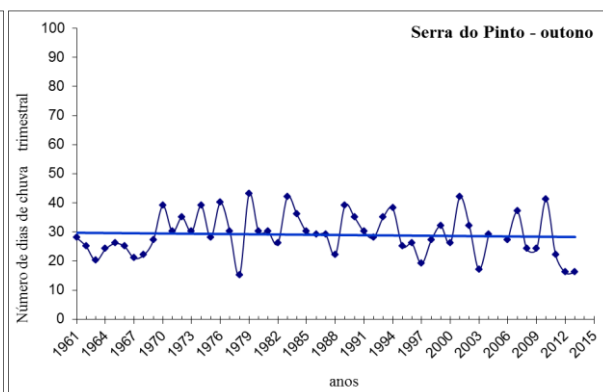
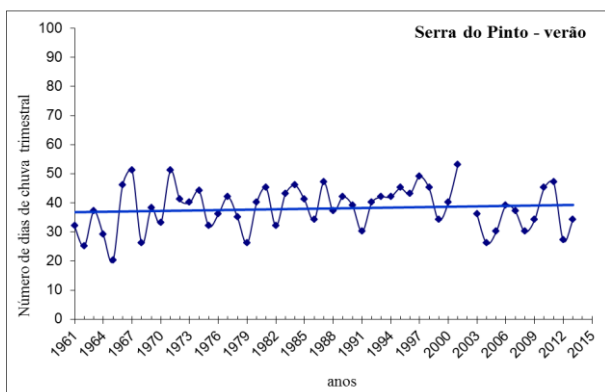
SERRA DO PINTO



SERRA DO PINTO



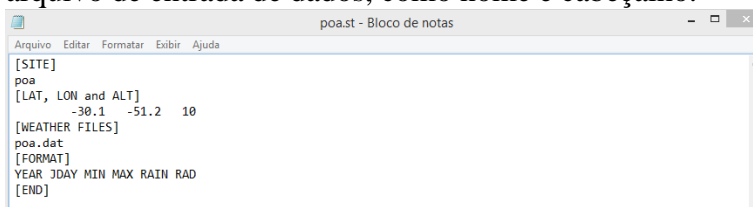
SERRA DO PINTO



APÊNDICE B – PROCESSAMENTO DE DADOS NO LARS-WG

Os arquivos de entrada de dados com as informações provenientes do INMET devem ser criados no bloco de notas da maneira como apresentado na sequência, poa.st e poa.dat.

poa.st com informações da estação, nome, latitude, longitude, altitude e informações do arquivo de entrada de dados, como nome e cabeçalho.

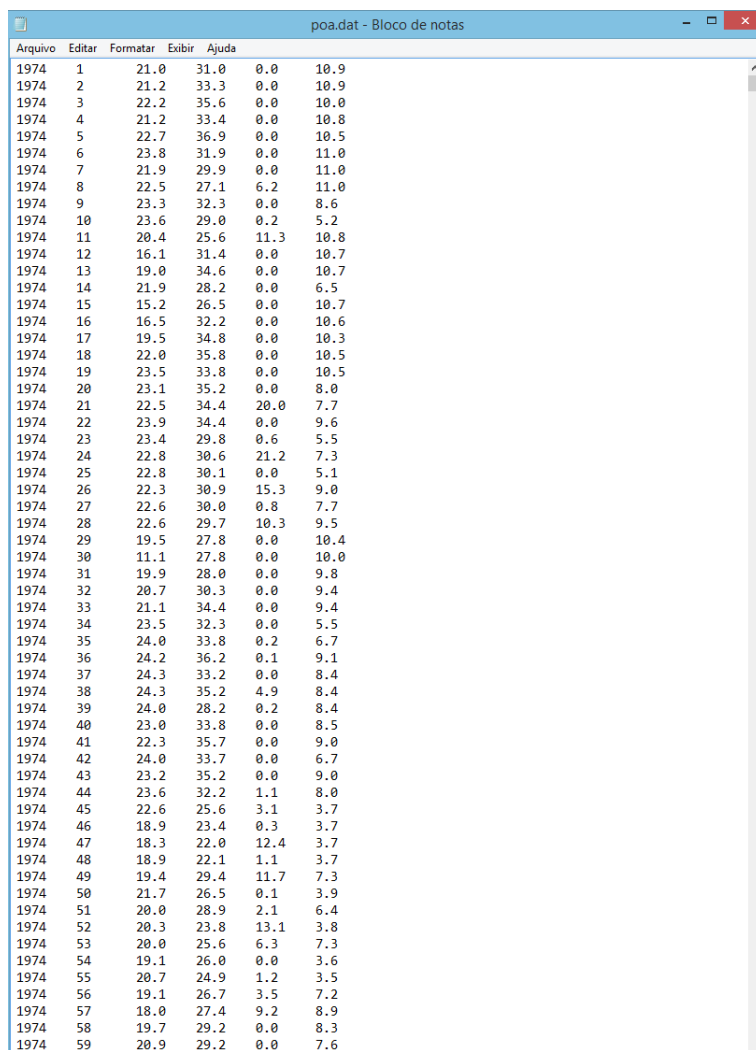


```

[SITE]
poa
[LAT, LON and ALT]
-30.1 -51.2 10
[WEATHER FILES]
poa.dat
[FORMAT]
YEAR JDAY MIN MAX RAIN RAD
[END]

```

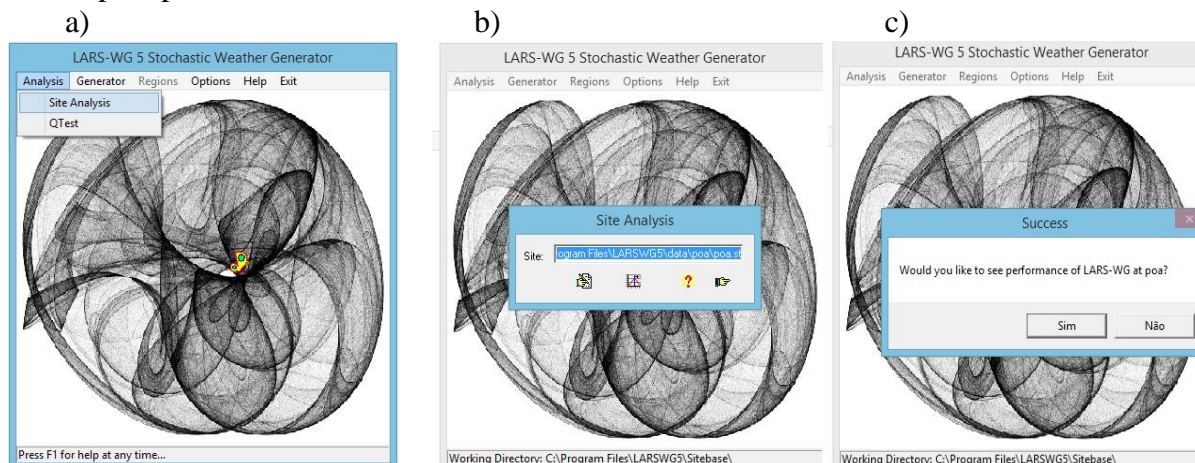
poa.dat com dados observados, ano, dia juliano, temperatura mínima e máxima, precipitação e radiação solar, no período de 1974-2014. O arquivo contém somente os primeiros dias ano a título de demonstração, por ser muito extenso, com 14.600 linhas (40 anos x 365 dias).



Arquivo	Editar	Formatar	Exibir	Ajuda	
1974	1	21.0	31.0	0.0	10.9
1974	2	21.2	33.3	0.0	10.9
1974	3	22.2	35.6	0.0	10.0
1974	4	21.2	33.4	0.0	10.8
1974	5	22.7	36.9	0.0	10.5
1974	6	23.8	31.9	0.0	11.0
1974	7	21.9	29.9	0.0	11.0
1974	8	22.5	27.1	6.2	11.0
1974	9	23.3	32.3	0.0	8.6
1974	10	23.6	29.0	0.2	5.2
1974	11	20.4	25.6	11.3	10.8
1974	12	16.1	31.4	0.0	10.7
1974	13	19.0	34.6	0.0	10.7
1974	14	21.9	28.2	0.0	6.5
1974	15	15.2	26.5	0.0	10.7
1974	16	16.5	32.2	0.0	10.6
1974	17	19.5	34.8	0.0	10.3
1974	18	22.0	35.8	0.0	10.5
1974	19	23.5	33.8	0.0	10.5
1974	20	23.1	35.2	0.0	8.0
1974	21	22.5	34.4	20.0	7.7
1974	22	23.9	34.4	0.0	9.6
1974	23	23.4	29.8	0.6	5.5
1974	24	22.8	30.6	21.2	7.3
1974	25	22.8	30.1	0.0	5.1
1974	26	22.3	30.9	15.3	9.0
1974	27	22.6	30.0	0.8	7.7
1974	28	22.6	29.7	10.3	9.5
1974	29	19.5	27.8	0.0	10.4
1974	30	11.1	27.8	0.0	10.0
1974	31	19.9	28.0	0.0	9.8
1974	32	20.7	30.3	0.0	9.4
1974	33	21.1	34.4	0.0	9.4
1974	34	23.5	32.3	0.0	5.5
1974	35	24.0	33.8	0.2	6.7
1974	36	24.2	36.2	0.1	9.1
1974	37	24.3	33.2	0.0	8.4
1974	38	24.3	35.2	4.9	8.4
1974	39	24.0	28.2	0.2	8.4
1974	40	23.0	33.8	0.0	8.5
1974	41	22.3	35.7	0.0	9.0
1974	42	24.0	33.7	0.0	6.7
1974	43	23.2	35.2	0.0	9.0
1974	44	23.6	32.2	1.1	8.0
1974	45	22.6	25.6	3.1	3.7
1974	46	18.9	23.4	0.3	3.7
1974	47	18.3	22.0	12.4	3.7
1974	48	18.9	22.1	1.1	3.7
1974	49	19.4	29.4	11.7	7.3
1974	50	21.7	26.5	0.1	3.9
1974	51	20.0	28.9	2.1	6.4
1974	52	20.3	23.8	13.1	3.8
1974	53	20.0	25.6	6.3	7.3
1974	54	19.1	26.0	0.0	3.6
1974	55	20.7	24.9	1.2	3.5
1974	56	19.1	26.7	3.5	7.2
1974	57	18.0	27.4	9.2	8.9
1974	58	19.7	29.2	0.0	8.3
1974	59	20.9	29.2	0.0	7.6

B1) Processamento dos arquivos de entrada

A entrada de dados no LARS é bem simples e apresentada com os *prints screen* da tela do LARS-WG abaixo. Na primeira tela (a) entro com o local que quero analisar (site analysis), na segunda (b) indico o endereço de onde esta localizado o arquivo com as informações do local no computador, neste caso em Arquivos de programa (ProgramFiles) → LARSWG5 data → poa → poa.st e na terceira(c) o programa pergunta se quero ver a performance do LARS para poa.



Um arquivo automático na etapa de calibração do modelo é gerado, compara a distribuição estatística da série sintética gerada e da série de dados observados de Porto Alegre inseridos no modelo, e também com informações estatísticas da série de dados observada.

```

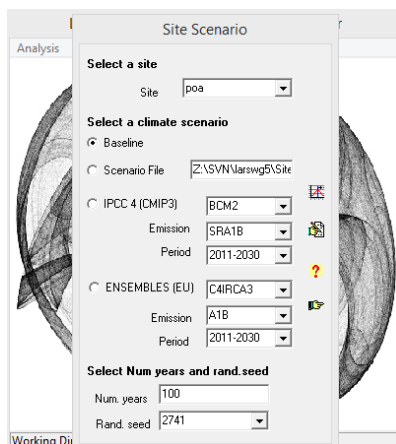
poauto.tst - Bloco de notas
Arquivo  Editar  Formatar  Exibir  Ajuda
[VERSION]
LARS-WG5.5
[NAME]
poa
[LAT, LON and ALT]
-30.10 -51.20 10.00
[KS-test for seasonal wet/dry SERIES distributions: Effective N, KS statistic and p-value]
DJF wet 12 0.055 1.0000
DJF dry 12 0.044 1.0000
MAM wet 12 0.054 1.0000
MAM dry 12 0.036 1.0000
JJA wet 12 0.137 0.9725
JJA dry 12 0.077 1.0000
SON wet 12 0.055 1.0000
SON dry 12 0.038 1.0000
[KS-test for daily RAIN distributions: Effective N, KS statistic and p-value]
J 12 0.053 1.0000
F 12 0.048 1.0000
M 12 0.053 1.0000
A 12 0.007 1.0000
M 12 0.043 1.0000
J 12 0.179 0.8159
J 12 0.090 1.0000
A 12 0.101 0.9995
S 12 0.131 0.9824
O 12 0.047 1.0000
N 12 0.104 0.9992
D 12 0.053 1.0000
[RAIN monthly mean & sd: obs mean & sd, gen mean & sd, t- and f- statistics with p-values]
108.73 108.95 98.27 110.47 108.22 137.88 144.95 132.25 139.66 123.77 115.79 111.79
52.213 47.791 47.825 64.781 61.503 75.018 63.360 67.186 65.849 66.344 63.713 51.142
104.66 106.01 99.79 125.77 121.84 144.56 137.03 107.13 132.26 140.20 122.25 95.47
55.642 53.344 47.347 54.835 66.191 60.186 68.526 47.748 57.867 70.136 62.712 44.824
0.357 0.274 -0.151 -1.220 -1.008 -0.471 0.567 2.080 0.570 -1.139 -0.485 1.622
0.722 0.785 0.880 0.226 0.316 0.639 0.572 0.040 0.570 0.258 0.629 0.108
1.136 1.246 1.020 1.396 1.158 1.554 1.170 1.980 1.295 1.118 1.032 1.302
0.683 0.477 0.939 0.265 0.636 0.142 0.613 0.023 0.387 0.722 0.909 0.377
[RAIN paired t-test for monthly means to detect bias: bias, t-statistic and p-value]
0.314 0.088 0.931
[RAIN daily maxima: obs and gen median, 95 percentile and maximum]
30.80 36.40 35.00 30.00 34.10 41.00 42.10 34.10 35.40 38.30 35.40 34.00
67.90 70.40 60.60 78.10 65.10 95.10 70.30 64.20 78.70 74.80 72.10 60.70
78.30 109.50 92.90 93.00 149.60 138.80 95.50 78.80 94.50 80.30 105.50 74.00
31.00 33.10 34.20 40.10 38.00 45.80 40.90 36.00 38.20 43.10 36.50 36.60
64.70 89.80 85.30 88.10 74.70 123.10 74.40 64.80 72.60 74.70 81.10 60.70
79.30 103.00 92.50 92.90 96.80 129.40 83.20 73.20 93.60 80.40 105.80 69.90

```

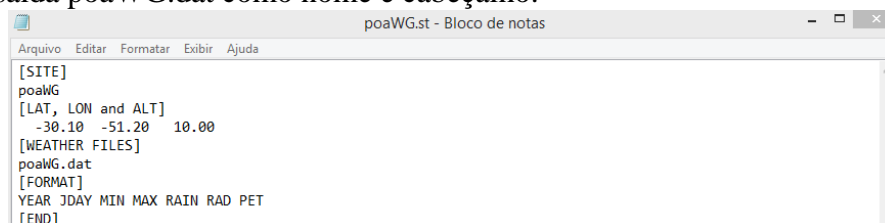
Na sequência são apresentados os dados sintéticos gerados para linha de base e as respectivas informações estatísticas.

B2) Processamento e Arquivos de saída

Para gerar o arquivo de dados sintéticos com as mesmas características estatísticas do arquivo de dados observados, apenas variando o dia base, devo selecionar a aba *Generator* e ira aparecer na tela site *scenario* na qual indico o local que quero analisar, poa e, seleciono a opção *baseline*, serão gerados os arquivos poa.WG.st e poa.WG.dat com dados sintéticos para linha de base de 100 anos e semente 2741, mostrado na sequência.



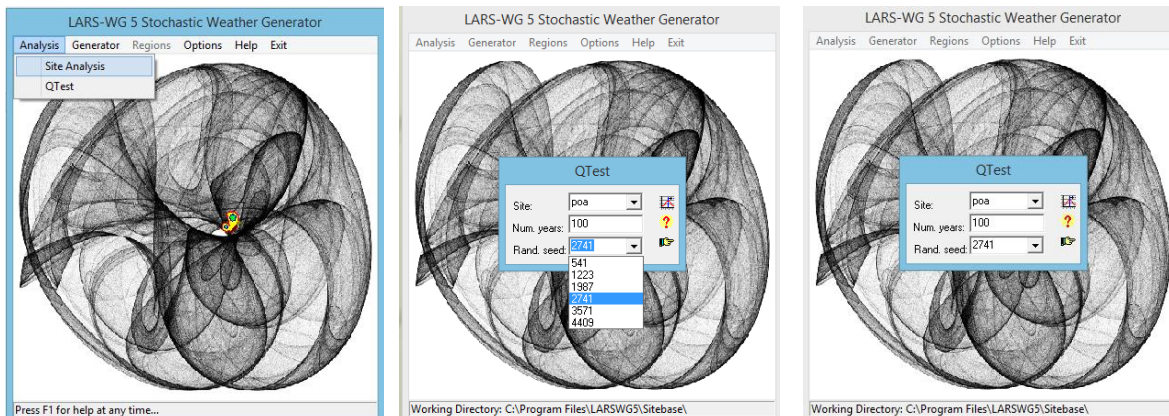
poa.WG.st com informações da estação, nome, latitude, longitude, altitude e informações do arquivo de saída poaWG.dat como nome e cabeçalho.



poaWG.dat com dados sintéticos gerados para linha de base de 100 anos, ano, dia juliano, temperatura mínima e máxima, precipitação e radiação solar. Um exemplo é apresentado na sequência com resultado obtido para os dados gerados com a semente 2741, somente para os primeiros 30 dias do ano 1(um) na demonstração, porque o arquivo é muito extenso e contém 36.500 linhas (100 anos x 365 dias).

Year	JDAY	MIN	MAX	RAIN	RAD	PET
1	1	19.6	34.1	0.0	8.11	2.10
1	2	21.2	33.1	0.0	9.06	2.36
1	3	20.9	36.7	0.0	6.90	1.81
1	4	18.9	33.7	0.0	10.75	2.80
1	5	20.7	27.0	8.8	6.94	1.71
1	6	20.6	28.8	0.6	10.06	2.56
1	7	20.3	26.8	0.0	6.84	1.68
1	8	17.4	33.3	0.0	11.66	3.01
1	9	18.8	30.7	0.0	10.37	2.64
1	10	21.5	27.7	16.5	11.69	2.98
1	11	20.3	33.9	0.0	8.64	2.25
1	12	20.4	31.6	9.4	5.44	1.35
1	13	16.7	28.7	0.0	4.84	1.14
1	14	19.6	29.1	0.0	8.79	2.21
1	15	21.1	30.9	0.0	11.85	3.08
1	16	20.1	33.7	7.3	11.60	3.05
1	17	19.7	33.5	0.0	11.54	3.02
1	18	18.7	33.4	24.6	9.27	2.39
1	19	21.0	34.0	0.0	10.07	2.65
1	20	23.8	37.3	0.0	7.87	2.12
1	21	23.3	33.1	0.0	8.03	2.11
1	22	21.7	34.3	0.0	5.43	1.39
1	23	20.0	24.4	0.2	4.90	1.14
1	24	21.3	29.0	13.0	8.54	2.17
1	25	21.5	27.0	9.2	5.41	1.32
1	26	18.8	28.5	0.0	9.76	2.44
1	27	19.9	30.4	0.0	6.58	1.64
1	28	21.3	26.0	11.6	5.03	1.21
1	29	22.1	29.0	0.9	7.74	1.96
1	30	22.9	23.1	1.7	5.98	1.44

Para avaliar a capacidade de representação dos dados a partir da baseline, é utilizado o teste estatístico de kolmogorov Smirnov, que permite comparar os dados sintéticos gerados com os dados observados, através da distribuição estatística dos dados, conforme telas abaixo, em Analysis escolho a opção Qtest, entro com o local que quero analisar poa, o número de anos da linha de base e a opção de semente, 2741 neste exemplo.



Foi gerado o arquivo **poa.tst**, entre outros testes estatísticos onde constam os resultados obtidos após a aplicação do teste de kolmogorov Smirnov

poa.tst

```

poa - Bloco de notas
Arquivo  Editar  Formatar  Exibir  Ajuda
[VERSION]
LARS-WG5.5
[NAME]
poa
[LAT, LON and ALT]
-30.10 -51.20 10.00
[KS-test for seasonal wet/dry SERIES distributions: Effective N, KS statistic and p-value]
DJF wet 12 0.277 0.2903
DJF dry 12 0.031 1.0000
MAM wet 12 0.055 1.0000
MAM dry 12 0.067 1.0000
JJA wet 12 0.145 0.9544
JJA dry 12 0.066 1.0000
SON wet 12 0.055 1.0000
SON dry 12 0.070 1.0000
[KS-test for daily RAIN distributions: Effective N, KS statistic and p-value]
J 12 0.047 1.0000
F 12 0.030 1.0000
M 12 0.068 1.0000
A 12 0.050 1.0000
M 12 0.046 1.0000
J 12 0.181 0.8052
J 12 0.075 1.0000
A 12 0.104 0.9992
S 12 0.132 0.9809
O 12 0.048 1.0000
N 12 0.106 0.9989
D 12 0.050 1.0000

```

APÊNDICE C – PROCEDIMENTOS PARA DESAGREGAÇÃO DE DADOS SINTÉTICOS DIÁRIOS

De posse da relação de dados sintéticos diários, gerados para linha de base de 100 anos para a semente 2741, por exemplo. Aqui apresentamos apenas os dados gerados para o ano 1(um) a título de exemplificação. Se passarmos o olho pela quinta coluna que corresponde a precipitação (RAIN) para o ano 1 (um) iremos verificar que o máximo valor corresponde a 76,7 com contorno em preto. Mas como tenho 100 anos de dados, para facilitar levamos estes dados para o excel e, usamos uma tabela dinâmica simples para levantamento dos máximos por ano, mostrada na sequência.

poaWG.dat - Bloco de notas							
Arquivo	Editar	Formatar	Exibir	Ajuda			
1	1	19.6	34.1	0.0	8.11	2.10	
1	2	21.2	33.1	0.0	9.06	2.36	
1	3	20.9	36.7	0.0	6.90	1.81	
1	4	18.9	33.7	0.0	10.75	2.80	
1	5	20.7	27.0	8.8	6.94	1.71	
1	6	20.6	28.8	0.6	10.06	2.56	
1	7	20.3	26.8	0.0	6.84	1.68	
1	8	17.4	33.3	0.0	11.66	3.01	
1	9	18.8	30.7	0.0	10.37	2.64	
1	10	21.5	27.7	16.5	11.69	2.98	
1	11	20.3	33.9	0.0	8.64	2.25	
1	12	20.4	31.6	9.4	5.44	1.35	
1	13	16.7	28.7	0.0	4.84	1.14	
1	14	19.6	29.1	0.0	8.79	2.21	
1	15	21.1	30.9	0.0	11.85	3.08	
1	16	20.1	33.7	7.3	11.60	3.05	
1	17	19.7	33.5	0.0	11.54	3.02	
1	18	18.7	33.4	24.6	9.27	2.39	
1	19	21.0	34.0	0.0	10.07	2.65	
1	20	23.8	37.3	0.0	7.87	2.12	
1	21	23.3	33.1	0.0	8.03	2.11	
1	22	21.7	34.3	0.0	5.43	1.39	
1	23	20.0	24.4	0.2	4.90	1.14	
1	24	21.3	29.0	13.0	8.54	2.17	
1	25	21.5	27.0	9.2	5.41	1.32	
1	26	18.8	28.5	0.0	9.76	2.44	
1	27	19.9	30.4	0.0	6.58	1.64	
1	28	21.3	26.0	11.6	5.03	1.21	
1	29	22.1	29.0	0.9	7.74	1.96	
1	30	22.9	23.1	1.7	5.98	1.44	
1	31	21.9	28.2	0.2	6.34	1.58	
1	32	19.9	34.8	0.0	10.49	2.76	
1	33	19.2	31.3	0.0	5.08	1.25	
1	34	17.8	29.5	0.7	4.29	1.01	
1	35	22.0	29.5	1.4	7.02	1.77	
1	36	21.1	28.0	4.3	4.38	1.05	
1	37	20.0	29.6	3.8	8.42	2.12	
1	38	19.3	29.8	0.0	8.11	2.03	
1	39	21.9	31.2	0.0	9.10	2.36	
1	40	20.7	35.1	0.0	9.19	2.42	
1	41	16.6	28.5	0.0	7.61	1.85	
1	42	19.9	28.2	0.0	8.17	2.04	
1	43	17.1	30.4	0.0	9.90	2.48	
1	44	18.8	33.0	0.0	9.37	2.41	
1	45	18.9	29.4	0.0	9.16	2.30	
1	46	19.9	27.8	0.0	6.87	1.69	
1	47	23.0	32.3	0.0	9.06	2.38	
1	48	27.0	34.0	0.0	8.20	2.21	
1	49	19.2	25.9	23.8	3.78	0.86	
1	50	18.8	29.2	19.3	7.10	1.75	
1	51	20.5	30.4	0.0	9.48	2.43	
1	52	21.6	30.2	0.0	7.16	1.82	
1	53	20.4	29.5	65.2	6.99	1.75	
1	54	21.7	31.7	0.5	3.69	0.89	
1	55	21.8	28.3	4.0	7.46	1.88	
1	56	21.2	28.3	1.6	8.63	2.18	
1	57	20.7	32.9	0.0	9.21	2.39	
1	58	22.4	29.9	0.0	8.04	2.06	
1	59	22.2	29.7	13.7	8.89	2.28	
1	60	22.2	26.4	0.0	8.97	2.26	
1	61	21.6	30.9	0.0	8.69	2.24	
1	62	20.6	34.1	0.0	6.70	1.72	
1	63	19.5	32.1	0.0	6.04	1.51	
1	64	20.0	30.8	0.0	6.77	1.70	
1	65	21.1	31.5	0.0	8.40	2.16	
1	66	21.3	31.3	0.0	8.04	2.06	
1	67	22.2	32.5	0.0	8.33	2.17	
1	68	20.5	34.8	0.0	7.85	2.05	
1	69	17.2	24.3	0.1	7.06	1.66	
1	70	19.5	27.8	0.1	4.11	0.96	
1	71	20.7	29.2	0.0	8.13	2.05	
1	72	22.0	24.5	0.0	7.62	1.87	

1	73	19.3	25.0	0.9	4.30	0.99
1	74	18.4	31.1	0.0	7.62	1.91
1	75	18.3	28.4	0.0	8.20	2.02
1	76	16.1	29.6	0.0	8.26	2.02
1	77	14.1	27.0	0.0	8.49	2.01
1	78	18.2	22.6	0.0	7.65	1.80
1	79	19.1	28.3	3.5	4.13	0.97
1	80	17.1	25.9	15.7	4.05	0.92
1	81	23.2	28.4	0.0	6.73	1.70
1	82	22.5	31.1	0.0	6.78	1.73
1	83	19.9	32.5	0.0	5.17	1.29
1	84	20.2	33.0	19.7	4.87	1.21
1	85	19.2	26.3	2.5	6.33	1.52
1	86	17.0	29.0	0.0	6.26	1.51
1	87	19.4	27.1	0.0	7.48	1.84
1	88	19.0	26.3	0.0	7.17	1.74
1	89	18.6	25.9	0.0	3.63	0.82
1	90	21.3	26.3	12.4	4.09	0.96
1	91	18.2	21.4	2.2	4.18	0.93
1	92	16.8	27.6	0.0	5.31	1.25
1	93	22.2	26.1	3.5	4.87	1.17
1	94	20.9	26.8	19.0	3.18	0.73
1	95	16.9	26.3	0.0	5.31	1.24
1	96	17.9	28.7	0.0	3.79	0.88
1	97	16.9	27.9	0.0	6.18	1.48
1	98	16.1	24.3	0.0	6.98	1.62
1	99	18.1	26.2	2.6	5.12	1.20
1	100	16.8	23.4	0.1	3.00	0.64
1	101	18.9	30.5	0.0	7.25	1.81
1	102	17.5	28.7	0.0	6.49	1.57
1	103	20.0	32.1	0.0	5.89	1.48
1	104	18.4	26.6	68.9	5.19	1.22
1	105	17.7	25.6	0.4	2.94	0.64
1	106	16.2	33.3	13.2	2.43	0.53
1	107	19.1	25.5	6.8	2.48	0.53
1	108	17.6	27.5	0.2	2.42	0.52
1	109	19.3	25.9	0.3	2.92	0.64
1	110	22.3	28.1	71.2	2.48	0.55
1	111	19.0	26.3	69.0	2.92	0.64
1	112	16.5	26.7	0.0	5.77	1.36
1	113	17.1	22.0	0.3	3.75	0.82
1	114	12.8	24.6	0.0	5.90	1.32
1	115	16.9	25.6	14.1	5.79	1.36
1	116	16.9	23.8	0.1	5.49	1.26
1	117	14.1	23.2	2.1	2.40	0.48
1	118	8.4	19.5	2.1	2.73	0.51
1	119	12.7	26.9	0.0	3.06	0.65
1	120	8.7	27.3	0.0	5.50	1.21
1	121	11.0	23.8	0.0	4.13	0.87
1	122	7.7	24.1	15.9	3.46	0.70
1	123	15.0	28.1	0.0	2.78	0.60
1	124	15.9	22.8	22.4	2.42	0.49
1	125	16.4	21.1	2.0	2.58	0.52
1	126	16.7	21.9	14.2	4.80	1.07
1	127	16.4	23.8	0.5	3.32	0.72
1	128	16.9	24.7	56.6	3.74	0.83
1	129	17.6	22.7	42.0	2.38	0.49
1	130	17.3	24.0	0.0	4.83	1.10
1	131	12.5	20.4	27.1	2.24	0.42
1	132	9.8	22.0	0.0	5.01	1.05
1	133	13.6	28.7	0.0	4.52	1.03
1	134	14.2	22.5	1.1	2.21	0.43
1	135	15.1	20.3	0.2	5.21	1.14
1	136	16.9	20.8	0.5	5.11	1.14
1	137	12.6	27.0	0.0	4.81	1.08
1	138	8.9	31.7	0.0	4.98	1.13
1	139	11.1	15.4	0.0	4.29	0.84
1	140	9.7	19.5	0.0	4.89	1.00
1	141	14.2	27.3	0.0	2.37	0.49
1	142	15.3	24.0	0.0	3.11	0.66
1	143	7.0	18.6	0.0	4.56	0.89
1	144	6.4	19.5	0.0	4.01	0.77
1	145	15.9	22.4	76.7	2.15	0.42
1	146	14.7	23.5	26.5	2.06	0.40
1	147	13.5	20.8	0.0	4.43	0.94
1	148	14.6	16.9	0.5	3.30	0.66
1	149	12.9	24.2	0.0	5.50	1.22
1	150	16.7	20.6	8.1	3.76	0.80
1	151	16.6	19.8	0.4	2.03	0.39
1	152	14.8	24.5	0.0	3.57	0.77
1	153	9.1	22.7	0.0	4.45	0.92
1	154	12.0	17.8	0.0	3.74	0.74
1	155	15.0	22.7	0.0	3.64	0.78
1	156	16.1	18.9	0.0	3.52	0.73
1	157	13.8	18.9	3.0	3.53	0.72
1	158	11.7	22.4	20.4	4.12	0.87
1	159	9.1	15.4	0.0	1.92	0.32
1	160	8.2	15.6	0.0	3.89	0.73
1	161	6.1	19.0	0.0	4.31	0.83
1	162	5.7	16.0	0.0	3.41	0.61
1	163	13.2	24.0	0.0	3.78	0.81
1	164	14.5	19.8	0.0	3.78	0.79
1	165	8.8	20.5	0.0	3.59	0.71
1	166	7.7	19.6	0.0	2.43	0.44
1	167	9.9	16.7	0.0	3.48	0.66
1	168	14.4	15.7	0.0	1.89	0.33
1	169	8.1	17.7	5.2	1.77	0.29
1	170	9.3	19.9	24.2	1.75	0.30

1	171	11.8	17.4	0.0	4.30	0.87
1	172	15.1	20.7	0.0	4.11	0.88
1	173	10.6	16.5	0.0	1.70	0.28
1	174	10.8	16.0	0.0	3.60	0.69
1	175	14.8	24.0	0.0	3.94	0.86
1	176	12.7	19.3	0.0	2.84	0.56
1	177	10.6	18.3	0.0	3.98	0.79
1	178	6.3	14.0	0.0	4.40	0.80
1	179	5.4	8.8	0.0	4.35	0.73
1	180	8.2	16.8	0.0	4.17	0.80
1	181	8.3	18.7	0.0	3.31	0.63
1	182	3.3	20.4	0.0	1.90	0.31
1	183	10.5	15.9	0.4	3.11	0.58
1	184	10.8	17.3	2.0	4.60	0.92
1	185	11.1	19.7	9.4	1.31	0.20
1	186	11.8	23.9	0.3	1.37	0.23
1	187	5.1	16.7	0.0	4.08	0.75
1	188	9.3	16.7	1.7	1.33	0.20
1	189	10.1	23.6	0.0	4.30	0.91
1	190	12.9	29.2	0.0	4.50	1.03
1	191	8.7	20.6	0.0	4.66	0.95
1	192	12.2	27.1	0.0	4.58	1.02
1	193	9.5	20.5	0.0	4.61	0.94
1	194	12.6	18.4	31.0	2.12	0.39
1	195	15.2	18.5	0.5	1.30	0.21
1	196	14.5	23.0	0.3	1.26	0.20
1	197	11.5	16.7	3.1	1.30	0.19
1	198	13.2	18.9	29.0	1.79	0.31
1	199	12.0	27.7	0.0	4.44	0.99
1	200	11.3	21.3	0.6	3.18	0.64
1	201	9.7	25.5	0.0	1.57	0.27
1	202	6.6	21.1	0.0	4.65	0.93
1	203	13.0	21.7	3.2	1.31	0.21
1	204	15.7	31.1	0.0	4.71	1.12
1	205	17.0	23.1	0.0	4.77	1.08
1	206	11.0	28.3	0.0	1.79	0.34
1	207	16.7	20.8	3.4	3.57	0.76
1	208	13.7	30.5	22.5	1.37	0.24
1	209	8.0	15.1	11.3	1.93	0.32
1	210	11.3	15.8	0.3	4.56	0.90
1	211	13.7	25.7	0.0	5.07	1.14
1	212	14.1	20.2	27.3	3.23	0.66
1	213	9.5	21.3	0.0	5.78	1.21
1	214	14.2	16.0	0.0	5.37	1.11
1	215	5.9	20.0	0.0	1.63	0.26
1	216	10.5	13.7	14.7	2.58	0.45
1	217	12.9	20.6	20.3	1.66	0.29
1	218	12.4	20.8	0.0	4.70	0.99
1	219	10.7	21.6	0.0	4.26	0.88
1	220	6.6	21.4	0.0	5.51	1.12
1	221	7.3	18.1	0.0	4.33	0.83
1	222	11.1	21.7	0.0	5.46	1.17
1	223	2.9	17.2	0.0	4.49	0.82
1	224	8.2	16.5	0.0	2.54	0.45
1	225	12.9	18.8	0.0	4.06	0.83
1	226	11.1	17.3	0.0	5.71	1.17
1	227	13.0	17.9	0.2	1.84	0.32
1	228	14.6	18.6	0.0	4.03	0.84
1	229	8.6	17.7	2.1	1.98	0.34
1	230	9.7	19.5	1.6	2.19	0.40
1	231	19.6	21.3	0.1	3.12	0.67
1	232	15.3	20.4	0.0	2.04	0.39
1	233	12.7	21.5	0.0	4.38	0.93
1	234	12.5	16.7	0.0	1.98	0.35
1	235	14.1	19.7	1.5	2.20	0.42
1	236	12.9	17.3	0.0	2.91	0.56
1	237	19.4	21.2	0.0	5.45	1.25
1	238	15.5	19.8	4.2	2.12	0.40
1	239	14.1	17.7	3.8	2.23	0.41
1	240	10.2	17.8	0.0	6.17	1.26
1	241	13.4	18.3	7.1	2.32	0.43
1	242	10.6	24.1	0.0	6.46	1.42
1	243	7.6	19.8	0.0	6.26	1.28
1	244	5.6	21.1	0.0	3.83	0.74
1	245	13.5	29.8	0.0	5.42	1.27
1	246	13.9	24.3	0.4	2.61	0.53
1	247	11.9	20.6	22.8	4.40	0.92
1	248	6.6	26.0	0.0	2.23	0.42
1	249	14.0	26.2	0.0	2.22	0.45
1	250	10.9	24.6	0.0	5.52	1.21
1	251	14.3	22.4	0.0	4.39	0.95
1	252	16.3	20.6	1.1	2.53	0.51
1	253	14.6	20.5	0.0	4.31	0.92
1	254	15.4	18.7	2.8	2.54	0.50
1	255	8.6	13.1	0.0	2.17	0.36
1	256	7.2	21.8	0.0	2.32	0.42
1	257	15.0	18.7	8.0	4.40	0.93
1	258	11.8	20.2	0.0	5.86	1.25
1	259	15.2	22.8	0.0	3.32	0.70
1	260	13.7	20.0	5.6	2.50	0.49
1	261	11.1	16.4	0.0	2.29	0.41
1	262	13.9	19.6	0.0	2.96	0.59
1	263	13.9	23.3	0.0	4.12	0.89
1	264	14.3	22.6	0.0	4.37	0.95
1	265	9.6	23.8	0.0	6.11	1.32
1	266	12.1	18.5	0.0	6.28	1.32
1	267	13.0	19.0	12.1	2.69	0.52
1	268	13.0	17.2	0.7	2.72	0.52
1	269	15.9	22.9	0.0	7.17	1.65
1	270	19.0	21.3	0.0	6.91	1.61
1	271	12.6	22.8	0.0	7.23	1.62
1	272	14.8	23.8	0.0	2.64	0.54
1	273	8.5	21.3	0.0	4.78	0.98
1	274	6.1	22.7	0.0	8.18	1.72
1	275	17.3	26.4	0.0	7.44	1.79

1	276	16.7	29.4	0.0	8.16	2.00
1	277	11.2	25.6	0.0	8.62	1.97
1	278	7.6	21.9	0.0	7.97	1.69
1	279	16.6	23.8	1.0	3.15	0.68
1	280	14.9	22.4	2.8	8.12	1.85
1	281	17.3	24.1	1.1	8.31	1.97
1	282	18.2	25.9	2.0	3.23	0.72
1	283	16.3	23.6	8.7	7.60	1.77
1	284	15.6	32.6	0.0	8.93	2.24
1	285	12.8	17.0	0.0	7.12	1.50
1	286	13.6	23.5	0.0	8.90	2.04
1	287	24.0	27.3	0.0	5.11	1.26
1	288	15.9	31.0	0.0	6.03	1.46
1	289	16.4	24.4	0.0	9.82	2.34
1	290	17.7	18.2	18.0	5.93	1.31
1	291	14.4	22.2	35.7	8.69	1.98
1	292	15.9	28.2	0.3	9.12	2.22
1	293	14.8	23.3	8.8	3.56	0.76
1	294	17.4	25.8	13.2	9.05	2.19
1	295	10.7	20.2	9.0	3.51	0.70
1	296	12.3	19.5	3.9	3.64	0.74
1	297	17.6	26.5	0.0	7.73	1.87
1	298	15.1	19.3	0.0	10.07	2.27
1	299	15.5	28.9	0.0	10.83	2.66
1	300	12.8	27.5	0.0	10.53	2.50
1	301	15.6	28.1	0.0	9.27	2.25
1	302	17.2	24.4	0.0	9.62	2.30
1	303	15.1	30.8	0.0	4.62	1.09
1	304	15.6	24.4	3.8	3.62	0.79
1	305	17.0	23.5	0.5	4.37	0.98
1	306	16.4	24.3	0.0	5.23	1.19
1	307	16.7	26.6	0.0	8.59	2.07
1	308	17.8	28.2	0.0	9.90	2.45
1	309	18.0	28.5	0.0	9.82	2.44
1	310	19.4	26.0	0.0	8.37	2.05
1	311	17.6	31.8	0.0	8.80	2.22
1	312	17.8	31.8	9.7	8.62	2.18
1	313	20.7	27.4	0.6	10.62	2.68
1	314	18.4	23.6	1.2	4.06	0.92
1	315	18.6	30.5	0.0	10.03	2.54
1	316	20.6	25.8	15.3	9.41	2.33
1	317	19.4	27.4	6.2	4.12	0.96
1	318	15.5	31.6	0.0	10.59	2.65
1	319	15.1	29.3	0.0	9.39	2.29
1	320	14.5	29.9	0.0	5.26	1.24
1	321	15.4	27.4	0.0	5.01	1.16
1	322	12.1	28.7	0.0	9.63	2.29
1	323	20.9	28.4	0.0	7.88	1.97
1	324	18.7	23.1	0.0	9.18	2.19
1	325	18.9	27.0	0.0	9.86	2.44
1	326	19.6	29.1	0.0	10.69	2.71
1	327	18.1	27.5	0.0	10.82	2.68
1	328	19.1	19.7	4.9	10.62	2.49
1	329	15.6	26.2	18.4	5.95	1.39
1	330	15.9	24.2	0.0	6.15	1.42
1	331	16.7	29.2	0.0	10.51	2.61
1	332	16.1	25.8	8.3	8.54	2.04
1	333	20.0	29.3	10.4	4.62	1.11
1	334	18.7	27.1	3.8	6.51	1.57
1	335	18.9	30.0	0.0	9.14	2.30
1	336	19.6	26.3	2.2	6.37	1.54
1	337	19.6	24.6	19.5	7.22	1.74
1	338	19.2	30.2	0.0	4.73	1.14
1	339	19.5	32.1	0.0	11.08	2.87
1	340	22.3	29.8	40.1	4.97	1.23
1	341	19.5	30.8	0.0	10.60	2.71
1	342	19.3	27.2	0.0	11.54	2.89
1	343	21.5	32.3	0.0	11.01	2.89
1	344	22.4	29.0	0.0	11.11	2.87
1	345	18.1	33.5	0.0	10.19	2.63
1	346	21.0	26.2	10.7	8.60	2.14
1	347	17.5	24.0	29.2	8.69	2.07
1	348	19.4	30.4	0.0	11.22	2.87
1	349	19.9	24.9	11.2	8.71	2.13
1	350	17.2	29.0	0.0	10.53	2.62
1	351	20.3	31.6	0.0	7.45	1.90
1	352	23.2	28.6	0.0	10.10	2.61
1	353	17.8	23.8	0.6	5.04	1.16
1	354	15.8	30.3	0.0	9.61	2.38
1	355	18.5	29.8	0.0	11.28	2.86
1	356	20.5	32.8	0.0	8.90	2.30
1	357	18.3	25.9	2.1	8.26	2.00
1	358	19.1	25.9	0.0	10.36	2.55
1	359	17.5	28.4	0.0	9.85	2.44
1	360	17.8	28.3	0.0	10.39	2.58
1	361	22.0	27.3	0.1	5.71	1.40
1	362	20.4	27.8	0.4	5.83	1.42
1	363	22.8	31.0	6.9	6.51	1.66
1	364	20.0	30.4	0.0	11.42	2.93
1	365	18.5	28.7	0.0	8.46	2.10

Uma tabela dinâmica no excel servirá de apoio para filtragem do máximo, e realizar a seleção da altura máxima de precipitação (Máx de RAIN) para cada ano da série de dados sintéticos (1 a 100) gerados no LARS-WG (poaWG.dat) com a semente 2741(passo anterior). Onde aparece Total corresponde ao máximo de cada ano e onde aparece Total geral corresponde ao máximo da série.

The image displays two screenshots of Microsoft Excel, illustrating the setup of dynamic tables for data analysis.

Left Screenshot: Máx de RAIN

ANO	Total
1	76,7
2	149,6
3	80,7
4	57,2
5	77,2
6	125,6
7	91
8	54,3
9	54,3
10	92,2
11	55,6
12	59,2
13	67,1
14	82,9
15	81,3
16	81,8
17	62
18	91,9
19	59,1
20	92,9
21	103,1
22	142,4
23	55,8
24	84,4
25	75,2
26	79,6
27	73,8
28	74,2
29	109,1
30	82,1
31	76,8
32	67,8
33	79,3
34	54,5
35	122,3
36	99,1
37	62,6
38	55,4
39	70,3
40	61,1
41	68,3
42	76,9
43	73,5
44	116,9
45	70,3
46	92,7
47	81,8
48	88,1
49	78,1
50	56,4
51	56,4
52	56,4

Right Screenshot: Total Geral

ANO	Total Geral
53	105,8
54	93,6
55	83,5
56	52,7
57	100,7
58	57,3
59	115,1
60	81,3
61	92,9
62	66,1
63	57,7
64	61,2
65	92,9
66	136,5
67	77,2
68	75,8
69	80,3
70	118,2
71	77,6
72	78,6
73	64,6
74	93
75	80,1
76	59,2
77	132
78	102,7
79	48,1
80	92,4
81	66,2
82	68,4
83	59,8
84	90,8
85	85,2
86	68,6
87	94
88	117,4
89	66,5
90	70,2
91	149,6
92	71,3
93	68,3
94	80,3
95	73,8
96	59,4
97	76,7
98	95,7
99	62,9
100	74,3
101	67,2
102	52,8
103	149,6
104	

Os próximos passos consistem em realizar a análise de frequência local das alturas máximas de precipitação sintética anual (semente 1987), adaptando a metodologia de Pinto (2013), aplicada a dados observados, mas que neste estudo foi aplicada para os dados sintéticos gerados no LARS-WG.

A realização da análise de frequência local segue os passos descritos em Naghettini e Pinto (2007), resumidos em Pinto (2013) que consiste nos passos descritos a seguir:

C1) Aplicação de testes para identificação de outliers (valores atípicos)

Para verificar a presença de outlier aplicando o teste de Grubbs e Beck que segundo Naghettini e Pinto (2007) consiste em definir um limite inferior e superior aos quais não devem ser ultrapassados. Os eventos anuais são organizados na forma decrescente (coluna 2) e é adotado um número de ordem correspondente (coluna 1), depois calculado o Ln de cada evento (coluna 3), conforme exemplo abaixo. Para aplicação do teste são calculados a média e desvio padrão do Ln dos eventos e o k a um nível de significância de 10%. Onde k é dado por :

$$k_{N,\alpha=0,10} = -3,62201 + 6,28446 N^{1/4} - 2,49835 N^{1/2} + 0,491436 N^{3/4} - 0,037911 N$$

Que corresponde a uma aproximação da estatística do teste (proposta por Pilon et al. (1985))

C	D	E	C	D	E
m	Série	Ln (Série)	51	77,2	4,3464
1	149,6	5,0080	52	76,9	4,3425
2	149,6	5,0080	53	76,8	4,3412
3	142,4	4,9586	54	76,7	4,3400
4	136,5	4,9163	55	76,7	4,3399
5	132,0	4,8828	56	75,8	4,3281
6	125,6	4,8331	57	75,2	4,3202
7	122,3	4,8065	58	74,3	4,3081
8	118,2	4,7724	59	74,2	4,3068
9	117,4	4,7656	60	73,8	4,3015
10	116,9	4,7613	61	73,8	4,3014
11	115,1	4,7458	62	73,5	4,2973
12	109,1	4,6923	63	71,3	4,2669
13	105,8	4,6616	64	70,3	4,2529
14	103,1	4,6357	65	70,3	4,2528
15	102,7	4,6318	66	70,2	4,2513
16	100,7	4,6121	67	68,6	4,2283
17	99,1	4,5961	68	68,4	4,2254
18	95,7	4,5612	69	68,3	4,2241
19	94,0	4,5433	70	68,3	4,2239
20	93,6	4,5390	71	67,8	4,2166
21	93,0	4,5326	72	67,2	4,2077
22	92,9	4,5317	73	67,1	4,2062
23	92,9	4,5316	74	66,5	4,1972
24	92,9	4,5315	75	66,2	4,1927
25	92,7	4,5294	76	66,1	4,1912
26	92,4	4,5261	77	64,6	4,1682
27	92,2	4,5240	78	62,9	4,1415
28	91,9	4,5207	79	62,6	4,1368
29	91,0	4,5109	80	62,0	4,1271
30	90,8	4,5087	81	61,2	4,1141
31	88,1	4,4785	82	61,1	4,1125
32	85,2	4,4450	83	59,8	4,0910
33	84,4	4,4356	84	59,4	4,0843
34	83,5	4,4248	85	59,2	4,0811
35	82,9	4,4176	86	59,2	4,0809
36	82,1	4,4079	87	59,1	4,0792
37	81,8	4,4044	88	57,7	4,0553
38	81,8	4,4043	89	57,3	4,0483
39	81,3	4,3983	90	57,2	4,0466
40	81,3	4,3981	91	56,4	4,0325
41	80,7	4,3907	92	55,8	4,0218
42	80,3	4,3859	93	55,6	4,0182
43	80,3	4,3858	94	55,4	4,0146
44	80,1	4,3833	95	54,5	3,9982
45	79,6	4,3770	96	54,3	3,9947
46	79,3	4,3732	97	54,3	3,9945
47	78,6	4,3644	98	52,8	3,9665
48	78,1	4,3580	99	52,7	3,9646
49	77,6	4,3516	100	48,1	3,8733

Os limites inferior e superior são definidos por:

$$x_S = \exp(\bar{x} + k_{N,\alpha} s_X) \quad x_I = \exp(\bar{x} - k_{N,\alpha} s_X)$$

Onde \bar{x} e s_X são a média e o desvio padrão do Ln da série, dados por 4,3637 e 0,254560912 e o k para a série de 100 anos é 3,017168306 e os limites calculados: inferior 36,44 e superior 169,31. O mínimo e o máximo da série são respectivamente 48,1 e 149,6 e não ultrapassam o limite inferior ou superior da série, portanto não tem outlier, no caso de haver tem de se tomar a decisão de remover ou mantê-lo.

C2) Testes para avaliar a aleatoriedade (NERC), independência (Wald e Wolfowitz), homogeneidade (Mann e Whitney) e estacionariedade (Spearman) da série

Todos os testes estão descritos em Naghettini e Pinto (2007), nas páginas 263 a 267. Na aplicação dos testes a rejeição da hipótese H_0 , considera a estatística de teste T onde para nível de significância $\alpha=0,05$ $z=1,960$; para $\alpha=0,025$ $z=2,241$ e para $\alpha=0,015$ $z=2,432$.

Abaixo planilha com os dados da amostra com $N=100$ eventos anuais para realização dos testes de acordo com a metodologia de Pinto (2013) e um breve comentário sobre cada teste.

Índice	Ano	X_i	$X_i - X_{\text{médio}}$	$(X_i - X_{\text{médio}})^*$ $(X_{i+1} - X_{\text{médio}})$	$(X_i - X_{\text{médio}})^2$	$(X_i - X_{\text{médio}})^4$	Ordem	Sub-Amostras	$(\text{Ordem-Índice})^2$
(T_i)							(m_i)		$(m_i - T_i)^2$
1	1	76,71	-4,5014	-307,889458	20,26260196	410,5730382	47	1	2116
2	2	149,61	68,3986	-34,97904404	4678,368482	21887131,65	100	1	9604
3	3	80,7	-0,5114	12,27942996	0,26152996	0,06839792	60	1	3249
4	4	57,2	-24,0114	96,07921596	576,54733	332406,8237	11	1	49
5	5	77,21	-4,0014	-177,616544	16,01120196	256,3585882	51	1	2116
6	6	125,6	44,3886	434,50225	1970,34781	3882270,492	95	1	7921
7	7	91	9,7886	-263,327044	95,81668996	9180,838075	72	1	4225
8	8	54,31	-26,9014	723,954336	723,685322	523720,4452	5	1	9
9	9	54,3	-26,9114	-295,71861	724,22345	524499,6055	4	1	25
10	10	92,2	10,9886	-281,43343	120,74933	14580,40069	74	1	4096
11	11	55,6	-25,6114	563,486656	655,94381	430262,2818	8	1	9
12	12	59,21	-22,0014	310,470556	484,061602	234315,6345	16	1	16
13	13	67,1	-14,1114	-23,82851004	199,13161	39653,39809	28	1	225
14	14	82,9	1,6886	0,16649596	2,85136996	8,130310649	66	1	2704
15	15	81,31	0,0986	0,05902196	0,00972196	9,45165E-05	62	1	2209
16	16	81,81	0,5986	-11,49994404	0,35832196	0,128394627	64	1	2304
17	17	62	-19,2114	-205,34297	369,07789	136218,4889	21	1	16
18	18	91,9	10,6886	-236,33991	114,24617	13052,18735	73	1	3025
19	19	59,1	-22,1114	-258,893538	488,91401	239036,9091	14	1	25
20	20	92,92	11,7086	256,284862	137,091314	18794,02836	79	1	3481
21	21	103,1	21,8886	1339,33279	479,11081	229547,1682	87	1	4356
22	22	142,4	61,1886	-1554,88799	3744,04477	14017871,24	98	1	5776
23	23	55,8	-25,4114	-81,02679004	645,73925	416979,1789	9	1	196
24	24	84,4	3,1886	-19,16795004	10,16716996	103,371345	68	1	1936
25	25	75,2	-6,0114	9,68676996	36,13692996	1305,877707	44	1	361
26	26	79,6	-1,6114	11,92661596	2,59660996	6,742383284	56	1	900
27	27	73,81	-7,4014	51,89417596	54,78072196	3000,927498	41	1	196
28	28	74,2	-7,0114	-195,53813	49,15972996	2416,67905	42	1	196
29	29	109,1	27,8886	24,78180996	777,77401	604932,4106	89	1	3600
30	30	82,1	0,8886	-3,91997004	0,78960996	0,623483889	65	1	1225
31	31	76,8	-4,4114	59,16304996	19,46044996	378,7091126	48	1	289
32	32	67,8	-13,4114	25,63454996	179,86565	32351,65204	30	1	4
33	33	79,3	-1,9114	51,05616996	3,65344996	13,34769661	55	1	484
34	34	54,5	-26,7114	-1097,53403	713,49889	509080,666	6	1	784
35	35	122,3	41,0886	735,01753	1688,27305	2850265,891	94	1	3481
36	36	99,1	17,8886	-332,93189	320,00201	102401,2864	84	1	2304
37	37	62,6	-18,6114	480,38629	346,38421	119982,0209	22	1	225
38	38	55,4	-25,8114	281,380396	666,22837	443860,2409	7	1	961
39	39	70,31	-10,9014	219,242416	118,840522	14123,06966	37	1	4
40	40	61,1	-20,1114	259,465216	404,46841	163594,6947	19	1	441
41	41	68,31	-12,9014	55,62309596	166,446122	27704,31152	32	1	81
42	42	76,9	-4,3114	33,24692996	18,58816996	345,5200625	49	1	49
43	43	73,5	-7,7114	-275,20907	59,46568996	3536,168282	39	1	16
44	44	116,9	35,6886	-389,41259	1273,67617	1622250,986	91	1	2209
45	45	70,3	-10,9114	-125,35671	119,05865	14174,96213	36	1	81
46	46	92,7	11,4886	6,76218996	131,98793	17420,81366	76	1	900
47	47	81,8	0,5886	4,05462996	0,34644996	0,120027575	63	1	256
48	48	88,1	6,8886	-21,43319004	47,45280996	2251,769173	70	1	484
49	49	78,1	-3,1114	77,19818996	9,68080996	93,71808148	53	1	16
50	50	56,4	-24,8114	-610,07759	615,60557	378970,2178	10	1	1600
51	51	105,8	24,5886	304,61833	604,59925	365540,2531	88	2	1369
52	52	93,6	12,3886	28,35254996	153,47741	23555,31537	81	2	841
53	53	83,5	2,2886	-65,25119004	5,23768996	27,43339612	67	2	196
54	54	52,7	-28,5114	-555,64727	812,89993	660806,2961	2	2	2704
55	55	100,7	19,4886	-465,99971	379,80553	144252,2406	85	2	900
56	56	57,3	-23,9114	-810,32387	571,75505	326903,8372	12	2	1936

57	57	115,1	33,8886	3,00252996	1148,43721	1318908,025	90	2	1089
58	58	81,3	0,0886	1,03649596	0,00784996	6,16219E-05	61	2	9
59	59	92,91	11,6986	-176,782224	136,857242	18729,90468	78	2	361
60	60	66,1	-15,1114	355,29017	228,35441	52145,73655	25	2	1225
61	61	57,7	-23,5114	470,49603	552,78593	305572,2844	13	2	2304
62	62	61,2	-20,0114	-233,90525	400,45613	160365,112	20	2	1764
63	63	92,9	11,6886	646,24633	136,62337	18665,94522	77	2	196
64	64	136,5	55,2886	-221,78469	3056,82929	9344205,308	97	2	1089
65	65	77,2	-4,0114	21,70728996	16,09132996	258,9308999	50	2	225
66	66	75,8	-5,4114	4,87783596	29,28324996	857,5087282	45	2	441
67	67	80,31	-0,9014	-33,34152404	0,81252196	0,660191935	59	2	64
68	68	118,2	36,9886	-133,58063	1368,15653	1871852,29	93	2	625
69	69	77,6	-3,6114	9,43080996	13,04220996	170,0992406	52	2	289
70	70	78,6	-2,6114	43,37900996	6,81940996	46,5043522	54	2	256
71	71	64,6	-16,6114	-195,82515	275,93861	76142,11647	24	2	2209
72	72	93	11,7886	-13,10185004	128,97109	19312,96384	80	2	64
73	73	80,1	-1,1114	24,46346996	1,23520996	1,525743645	57	2	256
74	74	59,2	-22,0114	-1117,92819	484,50173	234741,9263	15	2	3481
75	75	132	50,7886	1091,37591	2579,48189	6653726,821	96	2	441
76	76	102,7	21,4886	-711,51763	461,73993	213222,2329	86	2	100
77	77	48,1	-33,1114	-370,47021	1096,36481	1202015,797	1	2	5776
78	78	92,4	11,1886	-167,95655	125,18477	15671,22663	75	2	9
79	79	66,2	-15,0114	192,31705	225,34213	50779,07553	26	2	2809
80	80	68,4	-12,8114	274,31001	164,13197	26939,30356	33	2	2209
81	81	59,8	-21,4114	-205,30535	458,44805	210174,6145	18	2	3969
82	82	90,8	9,5886	38,24508996	91,94124996	8453,193444	71	2	121
83	83	85,2	3,9886	-50,30183004	15,90892996	253,0940525	69	2	196
84	84	68,6	-12,6114	-161,28215	159,04741	25296,07861	34	2	2500
85	85	94	12,7886	462,80153	163,54829	26748,04315	82	2	9
86	86	117,4	36,1886	-532,38497	1309,61477	1715090,846	92	2	36
87	87	66,5	-14,7114	161,99311	216,42529	46839,90613	27	2	3600
88	88	70,2	-11,0114	-753,05423	121,25093	14701,78802	35	2	2809
89	89	149,6	68,3886	-677,82677	4677,00061	21874334,71	99	2	100
90	90	71,3	-9,9114	127,97005	98,23584996	9650,282217	38	2	2704
91	91	68,3	-12,9114	11,76744996	166,70425	27790,30695	31	2	3600
92	92	80,3	-0,9114	6,75474996	0,83064996	0,689979356	58	2	1156
93	93	73,8	-7,4114	161,65301	54,92884996	3017,178558	40	2	2809
94	94	59,4	-21,8114	98,39994996	475,73717	226325,8549	17	2	5929
95	95	76,7	-4,5114	-65,36387004	20,35272996	414,2336168	46	2	2401
96	96	95,7	14,4886	-265,30655	209,91953	44066,20906	83	2	169
97	97	62,9	-18,3114	126,55741	335,30737	112431,0323	23	2	5476
98	98	74,3	-6,9114	96,83838996	47,76744996	2281,729276	43	2	3025
99	99	67,2	-14,0114	398,08349	196,31933	38541,27932	29	2	4900
100	100	52,8	-28,4114		807,20765	651584,1902	3	2	9409
		81,2114		-3502,502872	488,829826	980081,7476			170990
		Média X		(Xi-Xmédio)*	∑(Xi-	∑(Xi-			∑(m_i -
				(Xi+1	médio)²/N	médio)⁴/N			T_i)²
				Xmédio)					
					m₂	m₄			

A hipótese de aleatoriedade sugere que as flutuações na série são de origem natural. Um número grande ou pequeno de inflexões que destoam do padrão observado pode indicar não aleatoriedade Para amostras com $N > 30$ como no caso deste estudo a variável p (picos e/ ou vales) pode seguir uma distribuição normal e a estatística de teste consiste em provar que a hipótese nula do teste dada por

$$T = \frac{p - E[p]}{\sqrt{\text{Var}[p]}}$$

$|T| > z$ rejeitar a hipótese.

Dados que

$$E[p] = \frac{2(N-2)}{3}$$

$$\text{Var}[p] = \frac{16N - 29}{90}$$

$$E[p] = 65,33333$$

$$\text{Var}[p] = 17,45556$$

$$T = \frac{p - 65,33333}{\sqrt{17,45556}}$$

Como modulo de T é menor que z para os níveis de significância estabelecido a hipótese não foi rejeitada e as observações são consideradas aleatórias.

A hipótese da independência, parte do princípio que a ocorrência de um evento da amostra não tenha influência sobre a ocorrência de qualquer outro evento nesta mesma amostra.

A estatística do teste é R dada pelo somatório das diferenças entre os eventos de precipitação anuais e o valor médio dos eventos

$$R = \sum_{i=1}^{N-1} X_i' X_{i+1}' + X_1' X_N'$$

X_i' = diferença entre os eventos de precipitação anual e o valor médio dos eventos.

X_1' = diferença entre o primeiro evento o valor médio dos eventos

X_N' = diferença entre o ultimo evento o valor médio dos eventos

$$R = -3502,502872 + 127,891076 = -3374,611796$$

Para demonstrar que a estatística segue uma distribuição normal de média $E[R]$ e a variância $\text{Var}[R]$ é necessário calcular os momentos amostrais s e m.

$$s_r = Nm_r' \quad m_r' = \sum_{i=1}^N (X_i')^r / N$$

$$m_2 = 488,829826 \quad m_4 = 980081,7476$$

$$s_2 = N * m_2 = 48882,9826 \quad s_4 = N * m_4 = 98008174,76$$

$$E[R] = -\frac{s_2}{N-1} \quad E[R] = -493,7675011$$

$$\text{Var}[R] = \frac{s_2^2 - s_4}{N-1} + \frac{s_2^2 - 2s_4}{(N-1)(N-2)} - \frac{s_2^2}{(N-1)^2} \quad \text{Var}[R] = 23129130,72$$

O teste pressupõe que se os dados são independentes devem seguir uma distribuição normal, a hipótese nula do teste é dada por

$$T = \frac{R - E[R]}{\sqrt{\text{Var}[R]}}$$

$|T| > z$ rejeitar a hipótese.

$$T = \frac{(-3374,611796) - (-493,7675011)}{\sqrt{23129130,72}} = -0,5990$$

como modulo de T é menor que z para os níveis de significância estabelecido a hipótese não foi rejeitada e as observações são consideradas independentes.

A hipótese da homogeneidade estabelece que para ser homogênea os elementos da amostra devem ser provenientes de uma mesma população, que na prática são relacionadas com condições especiais, no caso da precipitação com períodos de *la liña* ou *el niño* prolongados, mas difícil de ser detectado.

Para realização do teste divido a amostra em duas sub amostras (1 e 2 na tabela indicando de qual sub amostra o evento provem) e indico a ordem de classificação crescente de cada evento, sendo o maior evento 149,6 com ordem 100 e o menor 48,1 com ordem 1.

A estatística do teste é dada pelo menor valor entre as quantidades V.

$$V_1 = N_1 N_2 + \frac{N_1(N_1+1)}{2} - R_1 \quad V_2 = N_1 N_2 - V_1$$

$$E[V] = \frac{N_1 N_2}{2}$$

R_1 = a soma das ordens de classificação dos eventos da primeira sub-amostra.

Na sub amostra 1 $R_1 = 2470$

Para a nossa amostra com $N=100$, $N_1=50$ e $N_2=50$

Calculados $V_1 = 1305$ e $V_2 = 1195$ com V é o menor valor $V = 1195$

O teste pressupõe que se os dados são homogêneos devem seguir uma distribuição normal, a hipótese nula do teste é dada por

$$T = \frac{V - E[V]}{\sqrt{\text{Var}[V]}}$$

$|T| > z$ rejeitar a hipótese.

Dado que $E[V] = 1250,00$ e $\text{Var}[V] = 21041,667$ calculados,

$$T = \frac{(1195) - (1250,00)}{\sqrt{21041,667}} = -0,3792$$

O modulo de T é menor que z para os níveis de significância estabelecidos a hipótese não foi rejeitada e as observações são consideradas homogêneas.

A hipótese da estacionariedade considera que as observações da amostra são invariantes quanto a cronologia das ocorrências, no caso da precipitação alterações climáticas de longo período por exemplo que são de difícil detecção. As alterações ao longo do tempo podem ser detectadas pela correlação entre a série e o índice de tempo

A estatística do teste tem como base o coeficiente r_s dado por:

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum_{t=1}^N (m_t - T_t)^2}{N^3 - N}$$

Dado que $\sum_{t=1}^N (m_t - T_t)^2 = 170990$

$$r_s = -0,02604$$

Se a amostra não apresenta tendências ao longo do tempo a estatística do teste pressupõe que segue uma distribuição normal e $T = \frac{r_s}{\sqrt{\text{Var}[r_s]}}$

$$E[r_s] = 0$$

$$\text{Var}[r_s] = \frac{1}{N-1} = 0,0101$$

$$T = \frac{-0,02604}{\sqrt{0,0101}} = -0,2591$$

O módulo de T é menor que z para os níveis de significância estabelecidos a hipótese não foi rejeitada e as observações são consideradas estacionárias.

C3) Estimativa da distribuição empírica

Com a série aprovada nos testes deve ser estimada a distribuição empírica. A estimativa da distribuição empírica nada mais é que a plotagem dos eventos anuais da série e a probabilidade de excedência em um gráfico e o ajuste de uma distribuição aos dados da série. Segundo Naghettini e Pinto (2007) para uma população de valores máximos o maior valor terá uma posição de plotagem no gráfico igual a 0 e o maior valor terá uma posição igual a 1. Mas como no caso deste estudo a série de dados é uma amostra as posições 0 e 1 devem ser evitadas já que é impossível ter certeza que amostra contenha o maior e o menor valor da população.

Classificada a série de máximos em ordem decrescente, a estimativa da posição de plotagem em papel de Gumbel, detalhada em Naghettini e Pinto (2007) representa a probabilidade (empírica) da variável X ser maior ou igual a um certo quantil x. O cálculo da posição de plotagem é demonstrado abaixo para série de dados utilizada como exemplo.

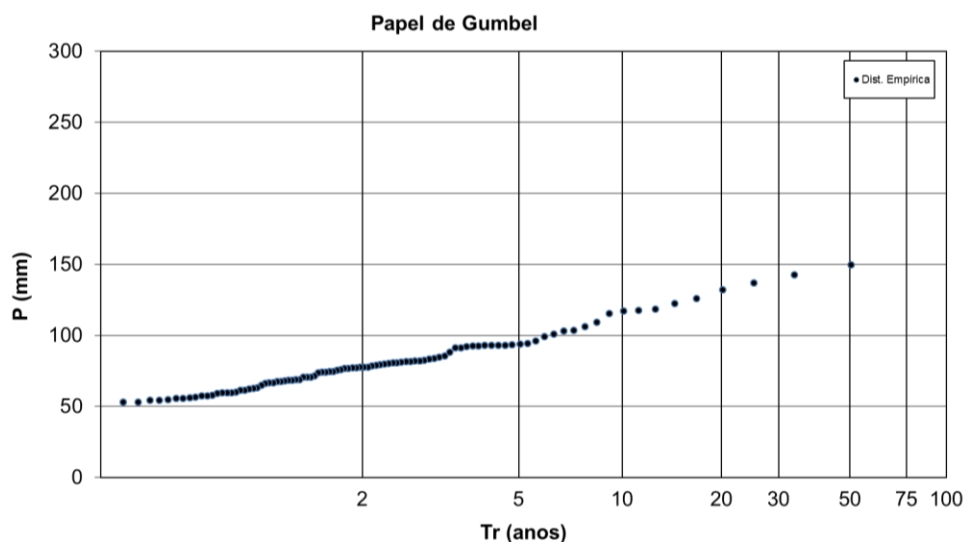
Há várias fórmulas para estimar a posição de plotagem, a utilizada aqui foi a de Weibull que considera probabilidades de excedência não enviesadas para quaisquer distribuição.

O tempo de retorno é dado pelo inverso da probabilidade de excedência.

		Posição de Plotagem	Tempo de Retorno	Variável Reduzida de Gumbel
m (ordem)	Série	$P_p = m/(N + 1)$	$(1/P_p)$	$U = -\ln(-\ln(1-1/Tr))$
1	149,6	0,0099	101,0000	4,610149477
2	149,6	0,0198	50,5000	3,911989671
3	142,4	0,0297	33,6667	3,501469592
4	136,5	0,0396	25,2500	3,208689424
5	132,0	0,0495	20,2000	2,980403849
6	125,6	0,0594	16,8333	2,792895513
7	122,3	0,0693	14,4286	2,633512447
8	118,2	0,0792	12,6250	2,494702186
9	117,4	0,0891	11,2222	2,371592895
10	116,9	0,0990	10,1000	2,260857809
11	115,1	0,1089	9,1818	2,160123784
12	109,1	0,1188	8,4167	2,067638298
13	105,8	0,1287	7,7692	1,982070198
14	103,1	0,1386	7,2143	1,902384497
15	102,7	0,1485	6,7333	1,827760475
16	100,7	0,1584	6,3125	1,757536259
17	99,1	0,1683	5,9412	1,691170241
18	95,7	0,1782	5,6111	1,628213531
19	94,0	0,1881	5,3158	1,568289877
20	93,6	0,1980	5,0500	1,511080733
21	93,0	0,2079	4,8095	1,456313979
22	92,9	0,2178	4,5909	1,403755262
23	92,9	0,2277	4,3913	1,353201268
24	92,9	0,2376	4,2083	1,304474421
25	92,7	0,2475	4,0400	1,257418672
26	92,4	0,2574	3,8846	1,2118961
27	92,2	0,2673	3,7407	1,167784172
28	91,9	0,2772	3,6071	1,124973485
29	91,0	0,2871	3,4828	1,083365914
30	90,8	0,2970	3,3667	1,042873069
31	88,1	0,3069	3,2581	1,003415002
32	85,2	0,3168	3,1563	0,964919127
33	84,4	0,3267	3,0606	0,927319294
34	83,5	0,3366	2,9706	0,890555011
35	82,9	0,3465	2,8857	0,854570769
36	82,1	0,3564	2,8056	0,819315469
37	81,8	0,3663	2,7297	0,784741918
38	81,8	0,3762	2,6579	0,750806399
39	81,3	0,3861	2,5897	0,717468292
40	81,3	0,3960	2,5250	0,68468974
41	80,7	0,4059	2,4634	0,652435359
42	80,3	0,4158	2,4048	0,620671977
43	80,3	0,4257	2,3488	0,589368404
44	80,1	0,4356	2,2955	0,55849523
45	79,6	0,4455	2,2444	0,528024639
46	79,3	0,4554	2,1957	0,497930242
47	78,6	0,4653	2,1489	0,468186928
48	78,1	0,4752	2,1042	0,438770729
49	77,6	0,4851	2,0612	0,409658692
50	77,2	0,4950	2,0200	0,380828764
51	77,2	0,5050	1,9804	0,352259689
52	76,9	0,5149	1,9423	0,323930903
53	76,8	0,5248	1,9057	0,295822441
54	76,7	0,5347	1,8704	0,267914851
55	76,7	0,5446	1,8364	0,240189104
56	75,8	0,5545	1,8036	0,212626516
57	75,2	0,5644	1,7719	0,185208661
58	74,3	0,5743	1,7414	0,157917297
59	74,2	0,5842	1,7119	0,130734281
60	73,8	0,5941	1,6833	0,103641494

61	73,8	0,6040	1,6557	0,076620751
62	73,5	0,6139	1,6290	0,049653723
63	71,3	0,6238	1,6032	0,02272184
64	70,3	0,6337	1,5781	-0,004193798
65	70,3	0,6436	1,5538	-0,031112525
66	70,2	0,6535	1,5303	-0,05805422
67	68,6	0,6634	1,5075	-0,085039427
68	68,4	0,6733	1,4853	-0,112089485
69	68,3	0,6832	1,4638	-0,139226681
70	68,3	0,6931	1,4429	-0,166474412
71	67,8	0,7030	1,4225	-0,193857375
72	67,2	0,7129	1,4028	-0,221401785
73	67,1	0,7228	1,3836	-0,249135617
74	66,5	0,7327	1,3649	-0,277088901
75	66,2	0,7426	1,3467	-0,305294051
76	66,1	0,7525	1,3289	-0,33378627
77	64,6	0,7624	1,3117	-0,362604013
78	62,9	0,7723	1,2949	-0,391789557
79	62,6	0,7822	1,2785	-0,421389679
80	62,0	0,7921	1,2625	-0,451456489
81	61,2	0,8020	1,2469	-0,48204845
82	61,1	0,8119	1,2317	-0,51323165
83	59,8	0,8218	1,2169	-0,545081393
84	59,4	0,8317	1,2024	-0,577684236
85	59,2	0,8416	1,1882	-0,611140601
86	59,2	0,8515	1,1744	-0,645568198
87	59,1	0,8614	1,1609	-0,681106576
88	57,7	0,8713	1,1477	-0,717923282
89	57,3	0,8812	1,1348	-0,756222382
90	57,2	0,8911	1,1222	-0,796256524
91	56,4	0,9010	1,1099	-0,838344509
92	55,8	0,9109	1,0978	-0,882897715
93	55,6	0,9208	1,0860	-0,930461441
94	55,4	0,9307	1,0745	-0,981782686
95	54,5	0,9406	1,0632	-1,037928036
96	54,3	0,9505	1,0521	-1,100504698
97	54,3	0,9604	1,0412	-1,172118652
98	52,8	0,9703	1,0306	-1,257468517
99	52,7	0,9802	1,0202	-1,366594929
100	48,1	0,9901	1,0100	-1,529337982

Abaixo os eventos que correspondem a distribuição empírica plotados em papel de Gumbel.



C4) Estimativa dos parâmetros

Estimada a distribuição empírica a estimativa dos parâmetros das distribuições que melhor representam a série de precipitações foi realizada pelo método dos momentos-L a partir de uma amostra finita de tamanho n , que segundo Naghettini e Pinto (2007) inicia com a ordenação dos eventos em ordem crescente e, o estimador não enviesado do MPP β_r , pode ser escrito como:

$$b_r = \hat{\beta}_r = \frac{1}{n} \sum_{j=r+1}^n \frac{(j-1)(j-2)\dots(j-r)}{(n-1)(n-2)\dots(n-r)} x_{j:n} \quad \text{os estimadores são dados por:}$$

$$b_0 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_{j:n} \quad b_1 = \frac{1}{n} \sum_{j=2}^n \frac{(j-1)}{(n-1)} x_{j:n} \quad b_2 = \frac{1}{n} \sum_{j=3}^n \frac{(j-1)(j-2)}{(n-1)(n-2)} x_{j:n}$$

Na sequência tabela para o cálculo dos estimadores b_0, b_1, b_2 e momentos-L, L_1, L_2, L_3 e L_4

Ordem	variável	A	B	C	D	E	b1	b2	b3
j	X	(j-1)/(n-1)	(j-2)/(n-2)	(j-3)/(n-3)	(j-4)/(n-4)	(j-5)/(n-5)	A*X	A*B*X	A*B*C*X
1	48,1								
2	52,7	0,010101					0,5323232		
3	52,8	0,020202	0,01020408				1,0666667	0,010884	
4	54,3	0,030303	0,02040816	0,01030928			1,6454545	0,033581	0,00034619
5	54,31	0,040404	0,03061224	0,02061856	0,0104167		2,1943434	0,067174	0,00138503
6	54,5	0,0505051	0,04081633	0,03092784	0,0208333	0,0105263	2,7525253	0,112348	0,00347468
7	55,4	0,0606061	0,05102041	0,04123711	0,03125	0,0210526	3,3575758	0,171305	0,00706412
8	55,6	0,0707071	0,06122449	0,05154639	0,0416667	0,0315789	3,9313131	0,240693	0,01240684
9	55,8	0,0808081	0,07142857	0,06185567	0,0520833	0,0421053	4,5090909	0,322078	0,01992235
10	56,4	0,0909091	0,08163265	0,07216495	0,0625	0,0526316	5,1272727	0,418553	0,03020485
11	57,2	0,1010101	0,09183673	0,08247423	0,0729167	0,0631579	5,7777778	0,530612	0,04376183
12	57,3	0,1111111	0,10204082	0,09278351	0,0833333	0,0736842	6,3666667	0,64966	0,06027772
13	57,7	0,1212121	0,1122449	0,10309278	0,09375	0,0842105	6,9939394	0,785034	0,08093134
14	59,1	0,1313131	0,12244898	0,11340206	0,1041667	0,0947368	7,7606061	0,950278	0,10776352
15	59,2	0,1414141	0,13265306	0,12371134	0,1145833	0,1052632	8,3717172	1,110534	0,13738564
16	59,21	0,1515152	0,14285714	0,13402062	0,125	0,1157895	8,9712121	1,281602	0,17176106
17	59,4	0,1616162	0,15306122	0,1443299	0,1354167	0,1263158	9,6	1,469388	0,21207658
18	59,8	0,1717172	0,16326531	0,15463918	0,1458333	0,1368421	10,268667	1,67652	0,25925572
19	61,1	0,1818182	0,17346939	0,16494845	0,15625	0,1473684	11,109091	1,927087	0,31787005
20	61,2	0,1919192	0,18367347	0,17525773	0,1666667	0,1578947	11,745455	2,157328	0,37808848
21	62	0,2020202	0,19387755	0,18556701	0,1770833	0,1684211	12,525253	2,428365	0,45062449
22	62,6	0,2121212	0,20408163	0,19587629	0,1875	0,1789474	13,278788	2,709957	0,53081626
23	62,9	0,2222222	0,21428571	0,20618557	0,1979167	0,1894737	13,977778	2,995238	0,61757486
24	64,6	0,2323232	0,2244898	0,21649485	0,2083333	0,2	15,008081	3,369161	0,72940599
25	66,1	0,2424242	0,23469388	0,22680412	0,21875	0,2105263	16,024242	3,760792	0,85296304
26	66,2	0,2525253	0,24489796	0,2371134	0,2291667	0,2210526	16,717172	4,094001	0,97074256
27	66,5	0,2626263	0,25510204	0,24742268	0,2395833	0,2315789	17,464646	4,455267	1,10233409
28	67,1	0,2727273	0,26530612	0,25773196	0,25	0,2421053	18,3	4,855102	1,25131496
29	67,2	0,2828283	0,2755102	0,26804124	0,2604167	0,2526316	19,006061	5,236364	1,40356139
30	67,8	0,2929293	0,28571429	0,27835052	0,2708333	0,2631579	19,860606	5,674459	1,57948855
31	68,3	0,3030303	0,29591837	0,28865979	0,28125	0,2736842	20,69697	6,124613	1,76792966
32	68,31	0,3131313	0,30612245	0,29896907	0,2916667	0,2842105	21,39	6,547959	1,95763728
33	68,4	0,3232323	0,31632653	0,30927835	0,3020833	0,2947368	22,109091	6,993692	2,16299753
34	68,6	0,3333333	0,32653061	0,31958763	0,3125	0,3052632	22,866667	7,466667	2,3862543
35	70,2	0,3434343	0,33673469	0,32989691	0,3229167	0,3157895	24,109091	8,118367	2,67822428
36	70,3	0,3535354	0,34693878	0,34020619	0,3333333	0,3263158	24,853535	8,622655	2,93348061
37	70,31	0,3636364	0,35714286	0,35051546	0,34375	0,3368421	25,567273	9,131169	3,20061588
38	71,3	0,3737374	0,36734694	0,36082474	0,3541667	0,3473684	26,647475	9,788868	3,53206587
39	73,5	0,3838384	0,37755102	0,37113402	0,3645833	0,3578947	28,212121	10,65152	3,95313964
40	73,8	0,3939394	0,3877551	0,3814433	0,375	0,3684211	29,072727	11,2731	4,30004782
41	73,81	0,4040404	0,39795918	0,39175258	0,3854167	0,3789474	29,822222	11,86803	4,64933025
42	74,2	0,4141414	0,40816327	0,40206186	0,3958333	0,3894737	30,729293	12,54257	5,04288838
43	74,3	0,4242424	0,41836735	0,41237113	0,40625	0,4	31,521212	13,18745	5,43812202
44	75,2	0,4343434	0,42857143	0,42268041	0,4166667	0,4105263	32,662626	13,99827	5,91679386

45	75,8	0,4444444	0,43877551	0,43298969	0,4270833	0,4210526	33,688889	14,78186	6,40039273
46	76,7	0,4545455	0,44897959	0,44329897	0,4375	0,4315789	34,863636	15,65306	6,9389859
47	76,71	0,4646465	0,45918367	0,45360825	0,4479167	0,4421053	35,64303	16,3667	7,42406901
48	76,8	0,4747475	0,46938776	0,46391753	0,4583333	0,4526316	36,460606	17,11416	7,9395597
49	76,9	0,4848485	0,47959184	0,4742268	0,46875	0,4631579	37,284848	17,88151	8,47989085
50	77,2	0,4949495	0,48979592	0,48453608	0,4791667	0,4736842	38,210101	18,71515	9,0681662
51	77,21	0,5050505	0,5	0,49484536	0,4895833	0,4842105	38,994949	19,49747	9,64823493
52	77,6	0,5151515	0,51020408	0,50515464	0,5	0,4947368	39,975758	20,39579	10,3030303
53	78,1	0,5252525	0,52040816	0,51546392	0,5104167	0,5052632	41,022222	21,3483	11,004278
54	78,6	0,5353535	0,53061224	0,5257732	0,5208333	0,5157895	42,078788	22,32752	11,7392116
55	79,3	0,5454545	0,54081633	0,53608247	0,53125	0,5263158	43,254545	23,39276	12,540451
56	79,6	0,5555556	0,55102041	0,54639175	0,5416667	0,5368421	44,222222	24,36735	13,3141174
57	80,1	0,5656566	0,56122449	0,55670103	0,5520833	0,5473684	45,309091	25,42857	14,1561119
58	80,3	0,5757576	0,57142857	0,56701031	0,5625	0,5578947	46,233333	26,41905	14,9798724
59	80,31	0,5858586	0,58163265	0,57731959	0,5729167	0,5684211	47,050303	27,36599	15,7989236
60	80,7	0,5959596	0,59183673	0,58762887	0,5833333	0,5789474	48,093939	28,46376	16,726127
61	81,3	0,6060606	0,60204082	0,59793814	0,59375	0,5894737	49,272727	29,66419	17,7373525
62	81,31	0,6161616	0,6122449	0,60824742	0,6041667	0,6	50,100101	30,67353	18,6570963
63	81,8	0,6262626	0,62244898	0,6185567	0,6145833	0,6105263	51,228283	31,88699	19,7239128
64	81,81	0,6363636	0,63265306	0,62886598	0,625	0,6210526	52,060909	32,93649	20,7126402
65	82,1	0,6464646	0,64285714	0,63917526	0,6354167	0,6315789	53,074747	34,11948	21,8083278
66	82,9	0,6565657	0,65306122	0,64948454	0,6458333	0,6421053	54,429293	35,54566	23,0863569
67	83,5	0,6666667	0,66326531	0,65979381	0,65625	0,6526316	55,666667	36,92177	24,3607546
68	84,4	0,6767677	0,67346939	0,67010309	0,6666667	0,6631579	57,119192	38,46803	25,777544
69	85,2	0,6868687	0,68367347	0,68041237	0,6770833	0,6736842	58,521212	40,0094	27,2228908
70	88,1	0,6969697	0,69387755	0,69072165	0,6875	0,6842105	61,40303	42,60618	29,4290139
71	90,8	0,7070707	0,70408163	0,70103093	0,6979167	0,6947368	64,20202	45,20346	31,6890258
72	91	0,7171717	0,71428571	0,71134021	0,7083333	0,7052632	65,262626	46,61616	33,15995
73	91,9	0,7272727	0,7244898	0,72164948	0,71875	0,7157895	66,836364	48,42226	34,9439015
74	92,2	0,7373737	0,73469388	0,73195876	0,7291667	0,7263158	67,985859	49,94879	36,5604575
75	92,4	0,7474747	0,74489796	0,74226804	0,7395833	0,7368421	69,066667	51,44762	38,1879234
76	92,7	0,7575758	0,75510204	0,75257732	0,75	0,7473684	70,227273	53,02876	39,9082398
77	92,9	0,7676768	0,76530612	0,7628866	0,7604167	0,7578947	71,317172	54,57947	41,6379448
78	92,91	0,7777778	0,7755102	0,77319588	0,7708333	0,7684211	72,263333	56,04095	43,3306333
79	92,92	0,7878788	0,78571429	0,78350515	0,78125	0,7789474	73,209697	57,5219	45,0687089
80	93	0,7979798	0,79591837	0,79381443	0,7916667	0,7894737	74,212121	59,06679	46,8880707
81	93,6	0,8080808	0,80612245	0,80412371	0,8020833	0,8	75,636364	60,97217	49,0291682
82	94	0,8181818	0,81632653	0,81443299	0,8125	0,8105263	76,909091	62,78293	51,1324905
83	95,7	0,8282828	0,82653061	0,82474227	0,8229167	0,8210526	79,266667	65,51633	54,0340837
84	99,1	0,8383838	0,83673469	0,83505155	0,8333333	0,8315789	83,083838	69,51913	58,0520571
85	100,7	0,8484848	0,84693878	0,84536082	0,84375	0,8421053	85,442424	72,3645	61,1741152
86	102,7	0,8585859	0,85714286	0,8556701	0,8541667	0,8526316	88,176768	75,58009	64,6716205
87	103,1	0,8686869	0,86734694	0,86597938	0,8645833	0,8631579	89,561616	77,68099	67,2701388
88	105,8	0,8787879	0,87755102	0,87628866	0,875	0,8736842	92,975758	81,59097	71,4972426
89	109,1	0,8888889	0,8877551	0,88659794	0,8854167	0,8842105	96,977778	86,09252	76,3294481
90	115,1	0,8989899	0,89795918	0,89690722	0,8958333	0,8947368	103,47374	92,91519	83,3363069
91	116,9	0,9090909	0,90816327	0,90721649	0,90625	0,9052632	106,27273	96,51299	87,5581738
92	117,4	0,9191919	0,91836735	0,91752577	0,9166667	0,9157895	107,91313	99,1039	90,9303789
93	118,2	0,9292929	0,92857143	0,92783505	0,9270833	0,9263158	109,84242	101,9965	94,635962
94	122,3	0,9393939	0,93877551	0,93814433	0,9375	0,9368421	114,88788	107,8539	101,18255
95	125,6	0,9494949	0,94897959	0,94845361	0,9479167	0,9473684	119,25657	113,172	107,338436
96	132	0,9595956	0,95918367	0,95876289	0,9583333	0,9578947	126,66667	121,4966	116,48643
97	136,5	0,9696967	0,96938776	0,96907216	0,96875	0,9684211	132,36364	128,3117	124,343286
98	142,4	0,9797978	0,97959184	0,97938144	0,9791667	0,9789474	139,52323	136,6758	133,857761
99	149,6	0,9898989	0,98979592	0,98969072	0,9895833	0,9894737	148,08889	146,5778	145,066667
100	149,61	1	1	1	1	1	149,61	149,61	149,61
Σ / n	81,2114						46,60279394	33,50361297	26,45140813

Os momentos L1, L2, L3 e L4 e razões T2, T3, T4 (valor esperado, variância, coeficiente de variação, coeficiente de assimetria, coeficiente de curtose, função geratriz) são apresentados.

$$L_1 = b_0 = 81,2114$$

$$L_2 = 2*b_1 - b_0 = 11,9942$$

$$L_3 = 6*b_2 - 6*b_1 + b_0 = 2,616314162$$

$$L_4 = 20*b_3 - 30*b_2 + 12*b_1 - b_0 = 1,941900934$$

$$T_2 = L_1/L_2 = 0,1477$$

$$T_3 = L_2/L_3 = 0,2181$$

$$T_4 = L_2/L_4 = 0,1619$$

Definidos os momentos L e razões L da série os parâmetros das distribuições candidatas são calculados com base nestes momentos.

Na tabela abaixo apresentamos os parâmetros das distribuições candidatas.

	Localção ξ	Escala α	Forma κ
Pareto	53,82007122	35,1627	0,2837
GEV	70,66	16,0832	-0,0740
Logística	77,01	11,0772	-0,2181
Gama (h, q)	14,24	5,7018	
Gumbel (b, a)	71,22	17,304	
Exponencial (x, a)	57,2230	23,9884	

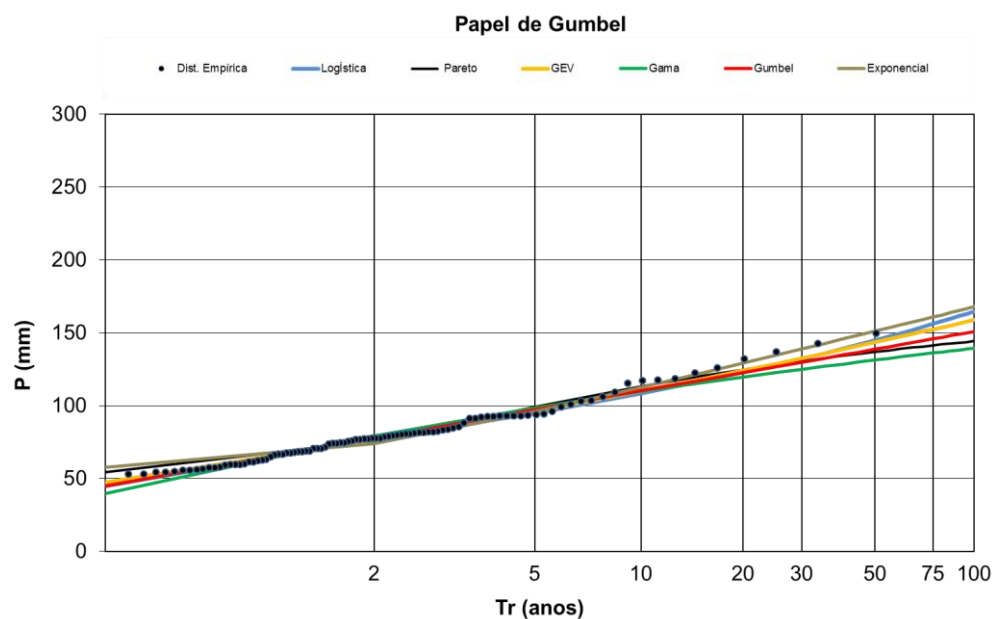
Os parâmetros calculados para a distribuição exponencial que foi a escolhida para representar a série, são mostrados abaixo.

$$F(x) = 1 - \exp\left(-\frac{(x - \xi)}{\alpha}\right)$$

$$\alpha = 2*L_2 = 23,9883758$$

$$\xi = L_1 - \alpha = 57,22302$$

As distribuições candidatas plotadas em gráfico de probabilidade de Gumbel permitem a análise visual que pode ajudar na seleção da distribuição de probabilidade mais apropriada.



C5) Verificação da Aderência

Escolhida a distribuição teórica (exponencial) deve ser verificada a aderência desta à distribuição empírica aplicando o teste de Kolmogorov-Smirnov. O teste se baseia na diferença entre a função de probabilidade acumulada empírica e a função de probabilidade acumulada teórica, das variáveis aleatórias contínuas. Considerando que a precipitação é uma variável aleatória contínua da qual se extrai a amostra de 100 observações (neste caso 100 observações geradas de forma sintética). A hipótese nula a ser testada é: $H_0: P(X < x) = F_x(x)$, Com $F_x(x)$ supostamente conhecida.

Na tabela abaixo os eventos organizados em ordem crescente e classificação dos eventos. O cálculo da distribuição empírica é dado pelos valores que não excedem o valor de ordem m :

$$F_N(x_m) = \frac{m}{N}$$

e a probabilidade teórica (exponencial) dada por

$$F(x) = 1 - \exp\left(-\frac{(x-\xi)}{\alpha}\right)$$

A estatística do teste é dada por $D_N = \sup |F_N(x) - F_x(x)| = 0,1168$

que corresponde a maior diferença entre as probabilidades empíricas e teóricas.

m	Série	FN = m/N	Exponencial	FN - Exponencial
1	48,1	0,0100	0,000	0,0100
2	52,7	0,0200	0,000	0,0200
3	52,8	0,0300	0,000	0,0300
4	54,3	0,0400	0,000	0,0400
5	54,3	0,0500	0,000	0,0500
6	54,5	0,0600	0,000	0,0600
7	55,4	0,0700	0,000	0,0700
8	55,6	0,0800	0,000	0,0800
9	55,8	0,0900	0,000	0,0900
10	56,4	0,1000	0,000	0,1000
11	57,2	0,1100	0,000	0,1100
12	57,3	0,1200	0,003	0,1168
13	57,7	0,1300	0,020	0,1103
14	59,1	0,1400	0,075	0,0647
15	59,2	0,1500	0,079	0,0709
16	59,2	0,1600	0,079	0,0805
17	59,4	0,1700	0,087	0,0832
18	59,8	0,1800	0,102	0,0781
19	61,1	0,1900	0,149	0,0408
20	61,2	0,2000	0,153	0,0472
21	62,0	0,2100	0,181	0,0294
22	62,6	0,2200	0,201	0,0192
23	62,9	0,2300	0,211	0,0193
24	64,6	0,2400	0,265	0,0247
25	66,1	0,2500	0,309	0,0593
26	66,2	0,2600	0,312	0,0522
27	66,5	0,2700	0,321	0,0507
28	67,1	0,2800	0,338	0,0575
29	67,2	0,2900	0,340	0,0503
30	67,8	0,3000	0,357	0,0566
31	68,3	0,3100	0,370	0,0598
32	68,3	0,3200	0,370	0,0501
33	68,4	0,3300	0,372	0,0425
34	68,6	0,3400	0,378	0,0377
35	70,2	0,3500	0,418	0,0678
36	70,3	0,3600	0,420	0,0602
37	70,3	0,3700	0,420	0,0505
38	71,3	0,3800	0,444	0,0639
39	73,5	0,3900	0,493	0,1026

40	73,8	0,4000	0,499	0,0989
41	73,8	0,4100	0,499	0,0892
42	74,2	0,4200	0,507	0,0872
43	74,3	0,4300	0,509	0,0793
44	75,2	0,4400	0,527	0,0874
45	75,8	0,4500	0,539	0,0890
46	76,7	0,4600	0,556	0,0960
47	76,7	0,4700	0,556	0,0862
48	76,8	0,4800	0,558	0,0778
49	76,9	0,4900	0,560	0,0697
50	77,2	0,5000	0,565	0,0652
51	77,2	0,5100	0,565	0,0553
52	77,6	0,5200	0,572	0,0524
53	78,1	0,5300	0,581	0,0512
54	78,6	0,5400	0,590	0,0498
55	79,3	0,5500	0,602	0,0516
56	79,6	0,5600	0,607	0,0466
57	80,1	0,5700	0,615	0,0447
58	80,3	0,5800	0,618	0,0379
59	80,3	0,5900	0,618	0,0280
60	80,7	0,6000	0,624	0,0242
61	81,3	0,6100	0,633	0,0235
62	81,3	0,6200	0,634	0,0136
63	81,8	0,6300	0,641	0,0110
64	81,8	0,6400	0,641	0,0012
65	82,1	0,6500	0,645	0,0045
66	82,9	0,6600	0,657	0,0029
67	83,5	0,6700	0,666	0,0044
68	84,4	0,6800	0,678	0,0021
69	85,2	0,6900	0,688	0,0015
70	88,1	0,7000	0,724	0,0239
71	90,8	0,7100	0,753	0,0433
72	91,0	0,7200	0,755	0,0354
73	91,9	0,7300	0,764	0,0344
74	92,2	0,7400	0,767	0,0273
75	92,4	0,7500	0,769	0,0192
76	92,7	0,7600	0,772	0,0121
77	92,9	0,7700	0,774	0,0040
78	92,9	0,7800	0,774	0,0059
79	92,9	0,7900	0,774	0,0158
80	93,0	0,8000	0,775	0,0251
81	93,6	0,8100	0,781	0,0295
82	94,0	0,8200	0,784	0,0359
83	95,7	0,8300	0,799	0,0311
84	99,1	0,8400	0,825	0,0145
85	100,7	0,8500	0,837	0,0133
86	102,7	0,8600	0,850	0,0102
87	103,1	0,8700	0,852	0,0177
88	105,8	0,8800	0,868	0,0120
89	109,1	0,8900	0,885	0,0050
90	115,1	0,9000	0,910	0,0104
91	116,9	0,9100	0,917	0,0069
92	117,4	0,9200	0,919	0,0014
93	118,2	0,9300	0,921	0,0087
94	122,3	0,9400	0,934	0,0063
95	125,6	0,9500	0,942	0,0078
96	132,0	0,9600	0,956	0,0043
97	136,5	0,9700	0,963	0,0067
98	142,4	0,9800	0,971	0,0087
99	149,6	0,9900	0,979	0,0113
100	149,6	1,0000	0,979	0,0213

N=100			
α	0,05	0,02	0,01
D_{tabelado}	0,136	0,152	0,163
D_{cal}	0,1168	0,1168	0,1168
Teste	Aceitar H0	Aceitar H0	Aceitar H0
H0	A VA pode ser modelada	A VA pode ser modelada	A VA pode ser modelada

D tabelado para diferentes níveis de significância

N	$D_{N, 0,10}$	$D_{N, 0,05}$	$D_{N, 0,02}$	$D_{N, 0,01}$
10	0,369	0,409	0,457	0,489
11	0,352	0,391	0,437	0,468
12	0,338	0,375	0,419	0,449
13	0,325	0,361	0,404	0,432
14	0,314	0,349	0,39	0,418
15	0,304	0,338	0,377	0,404
16	0,295	0,327	0,366	0,392
17	0,286	0,318	0,355	0,381
18	0,279	0,309	0,346	0,371
19	0,271	0,301	0,337	0,361
20	0,265	0,294	0,329	0,352
21	0,259	0,287	0,321	0,344
22	0,253	0,281	0,314	0,337
23	0,247	0,275	0,307	0,33
24	0,242	0,269	0,301	0,323
25	0,238	0,264	0,295	0,317
26	0,233	0,259	0,29	0,311
27	0,229	0,254	0,284	0,305
28	0,225	0,25	0,279	0,3
29	0,221	0,246	0,275	0,295
30	0,218	0,242	0,27	0,29
31	0,214	0,238	0,266	0,285
32	0,211	0,234	0,262	0,281
33	0,208	0,231	0,258	0,277
34	0,205	0,227	0,254	0,273
35	0,202	0,224	0,251	0,269
36	0,199	0,221	0,247	0,265
37	0,196	0,218	0,244	0,262
38	0,194	0,215	0,241	0,258
39	0,191	0,213	0,238	0,255
40	0,189	0,21	0,235	0,252
>40	$1,22/\sqrt{N}$	$1,36/\sqrt{N}$	$1,52/\sqrt{N}$	$1,63/\sqrt{N}$
100	0,122	0,136	0,152	0,163

C6) Cálculo dos quantis

Definidos os parâmetros calcula-se os quantis associados a diferentes tempos de retorno a partir da inversa da FAP dos modelos candidatos, que para Distribuição exponencial é dado por:

$$x(T) = \xi - \alpha [\ln(1 - 1/T)]$$

Dados $\xi = 57,22302$ $\alpha = 23,988375$

Na sequência tabela com quantis calculados para Distribuição exponencial

Tr	$1 - 1/Tr$	$U = -\ln(-\ln(1-1/Tr))$	X (Tr)
1,01	0,00990099	-1,529337982	57,5
2	0,5	0,366512921	73,9
5	0,8	1,499939987	95,8
10	0,9	2,250367327	112,5
15	0,93333333	2,673752092	122,2
20	0,95	2,970195249	129,1
25	0,96	3,198534261	134,4
30	0,96666667	3,384294493	138,8
35	0,97142857	3,540889304	142,5
40	0,975	3,676247258	145,7
45	0,97777778	3,795447105	148,5
50	0,98	3,901938658	151,1
55	0,98181818	3,998172645	153,4
60	0,98333333	4,085952773	155,4
65	0,98461538	4,166645192	157,4
70	0,98571429	4,2413095	159,1
75	0,98666667	4,310784111	160,8
80	0,9875	4,375743836	162,3
85	0,98823529	4,436739863	163,8
90	0,98888889	4,494228222	165,2
95	0,98947368	4,548590503	166,5
100	0,99	4,600149227	167,7
250	0,996	5,519457577	189,7
500	0,998	6,213607264	206,3
750	0,99866667	6,619406169	216,0
1000	0,999	6,907255071	222,9

Concluída a análise de frequência dos dados sintéticos diários parte-se para desagregação propriamente dita, que visa à transformação dos dados diários em dados horários.

C7) Desagregação dos quantis diários

Os quantis diários foram desagregados em quantis de 24 horas utilizando a relação entre os dados de 24 horas/1dia de 1,14.

Tr (Anos)	Exponencial	P diária (mm)*1,14
	P diária (mm)	P 24 Horas (mm)
2	73,9	84,2
5	95,8	109,2
10	112,5	128,3
15	122,2	139,3
20	129,1	147,2
25	134,4	153,2
30	138,8	158,2
35	142,5	162,5
40	145,7	166,1
45	148,5	169,3
50	151,1	172,3
55	153,4	174,9
60	155,4	177,2
65	157,4	179,4
70	159,1	181,4
75	160,8	183,3
80	162,3	185
85	163,8	186,7
90	165,2	188,3
95	166,5	189,8
100	167,7	191,2

C8) Desagregação das precipitações de 24 horas em durações menores

Foram utilizadas as relações definidas por CPRM/SGB (2015)

Relação 14h/24h	Relação 8/24h	Relação 4h/24h	Relação 3h/24h	Relação 2h/24h	Relação 1h/24h	Relação 45 min/1h	Relação 30 min/1h	Relação 15 min/1h	Relação 10 min/1h	Relação 5 min/1h
0,85	0,67	0,56	0,53	0,51	0,47	0,91	0,77	0,52	0,41	0,26
P 14 Horas (mm) (P 24 horas*0,85)	P 8 Horas (mm) (P 24 horas*0,67)	P 4 Horas (mm) (P 24 horas*0,56)	P 3 Horas (mm) (P 24 horas*0,53)	P 2 Horas (mm) (P 24 horas*0,51)	P 1 Hora (mm) (P 24 horas*0,47)	P 45 min (mm) (P 1 hora *0,91)	P 30 min (mm) (P 1 hora *0,77)	P 15 min (mm) (P 1 hora *0,52)	P 10 min (mm) (P 1 hora *0,41)	P 05 min (mm) (P 1 hora *0,26)
71,6	56,4	47,2	44,6	42,9	39,6	36	30,5	20,6	16,2	10,3
92,8	73,2	61,2	57,9	55,7	51,3	46,7	39,5	26,7	21	13,3
109,1	86	71,8	68	65,4	60,3	54,9	46,4	31,4	24,7	15,7
118,4	93,3	78	73,8	71	65,5	59,6	50,4	34,1	26,9	17
125,1	98,6	82,4	78	75,1	69,2	63	53,3	36	28,4	18
130,2	102,6	85,8	81,2	78,1	72	65,5	55,4	37,4	29,5	18,7
134,5	106	88,6	83,8	80,7	74,4	67,7	57,3	38,7	30,5	19,3
138,1	108,9	91	86,1	82,9	76,4	69,5	58,8	39,7	31,3	19,9
141,2	111,3	93	88	84,7	78,1	71,1	60,1	40,6	32	20,3
143,9	113,4	94,8	89,7	86,3	79,6	72,4	61,3	41,4	32,6	20,7
146,5	115,4	96,5	91,3	87,9	81	73,7	62,4	42,1	33,2	21,1
148,7	117,2	97,9	92,7	89,2	82,2	74,8	63,3	42,7	33,7	21,4
150,6	118,7	99,2	93,9	90,4	83,3	75,8	64,1	43,3	34,2	21,7
152,5	120,2	100,5	95,1	91,5	84,3	76,7	64,9	43,8	34,6	21,9
154,2	121,5	101,6	96,1	92,5	85,3	77,6	65,7	44,4	35	22,2
155,8	122,8	102,6	97,1	93,5	86,2	78,4	66,4	44,8	35,3	22,4
157,3	124	103,6	98,1	94,4	87	79,2	67	45,2	35,7	22,6
158,7	125,1	104,6	99	95,2	87,7	79,8	67,5	45,6	36	22,8
160,1	126,2	105,4	99,8	96	88,5	80,5	68,1	46	36,3	23
161,3	127,2	106,3	100,6	96,8	89,2	81,2	68,7	46,4	36,6	23,2
162,5	128,1	107,1	101,3	97,5	89,9	81,8	69,2	46,7	36,9	23,4

APÊNDICE D – PROCESSAMENTO NO LARS-WG PARA APLICAÇÃO DOS CENÁRIOS, PERÍODOS E MODELOS CLIMÁTICOS

O processamento é bem similar ao executado para linha de base, só que agora é escolhido um cenário já disponibilizado no LARS-WG, onde escolho o modelo, o cenário e o período para o qual quero gerar a série sintética como o exemplo mostrado na sequência.

The screenshot shows the 'Site Scenario' dialog box with the following settings:

- Select a site:** Site: poa
- Select a climate scenario:**
 - Baseline
 - Scenario File: Z:\SVN\larswg5\Site
 - IPCC 4 (CMIP3):
 - Model: HADCM3
 - Emission: SRB1
 - Period: 2046-2065
 - ENSEMBLES (EU):
 - Model: C4IRCA3
 - Emission: A1B
 - Period: 2011-2030
- Select Num years and rand.seed:**
 - Num. years: 300
 - Rand. seed: 541

Neste exemplo foi apresentada a tela onde foi escolhido as projeções do IPCC 4, representado pelo modelo HADCM3, cenário B1, período de 2046-2065, com a semente 541. A saída é um arquivo txt com 300 anos de dados sintéticos.

Dos 300 anos gerados, conforme descrito na metodologia, foram selecionados apenas os últimos 40 anos que se estende do ano 261 ao ano 300.

Para desagregação dos dados sintéticos, em função do grande volume de dados gerados para as 216 trajetórias optou-se por realizar os procedimentos de desagregação no software R (Anexo E), que antes foram realizados no excel para linha de base (anexo C). Isto foi feito com a introdução de rotinas para entrada com os dados de saída de cada modelo, provenientes do LARS-WG, instalação de pacotes e rotinas para realização dos testes estatísticos.

APÊNDICE E – ROTINAS E FUNÇÕES INTRODUZIDAS NO R

As rotinas forma introduzidas no R para aplicação dos testes estatísticos na série de dados máximos anuais (Pdma) selecionados a partir do arquivo de saída do LARS-WG

E1) Pacotes instalados

```
### Instalando Pacotes
#install.packages("pspearman")
#library(pspearman)
#require(pspearman)
#install.packages("Kendall")
#library(Kendall)
#require(Kendall)
#install.packages("lmon")
#library(lmon)
#require(lmon)
```

E2) Funções para executar os testes estatísticos para verificar a aleatoriedade, independência, homogeneidade e estacionariedade da série sintética gerada (só últimos 40 anos).

```
##### Teste de hipóteses
### Função para Teste da Hipótese de Aleatoriedade. Hidrologia Estatística, pag 263, Naghettini e Pinto (2007)
tAleatoriedade <- function(Amostra, alfa = 0.05) {
  # plot(cbind(1:nrow(Amostra),Amostra),type="l", xlab="N", ylab="Valor")
  p <- 0
  N <- nrow(Amostra) - 1
  for (i in 2:N) {
    if (((Amostra[i,1] > Amostra[i-1,1]) && (Amostra[i,1] > Amostra[i+1,1])) || ((Amostra[i,1] < Amostra[i-1,1]) &&
    (Amostra[i,1] < Amostra[i+1,1]))) {
      p <- p + 1
    }
  }
  p <- p + 2
  N <- nrow(Amostra)
  E.p <- 2*(N-2)/3
  Var.p <- (16*N - 29)/90
  T <- abs((p-E.p)/sqrt(Var.p))
  z <- qnorm(1-alfa/2,0,1)
  p.value <- 1 - pnorm(T)
  #if (z < T) {
```

```

# print("Rejeitar H0, ou seja, Série Não Aleatória com 5% de Nível de significância")
#} else {
# print("Nao rejeitar H0, ou seja, Série Aleatória com 5% de Nível de significância")
#}
return(p.value)
}

### Função para Teste da Hipótese de Independência. Hidrologia Estatística, pag 264, Naghettini e Pinto (2007)
# https://comofaznor.wordpress.com/2013/04/26/teste-de-wald-wolfowitz/
#Teste de Sequencias de Wald-Wolfowitz.
#Recebe um vetor X e retorna o valor-p do teste
#O valor-p do teste é calculado usando a aproximação para distribuição Normal
#portanto o teste só é válido se n1 ou n2 for maior que 20.
waldwolf <- function(x){
  m = median(x)
  N = length(x)
  S <- array(dim = N)
  n1 = 0; n2 = 0
  for (i in 1:N)
  {
    if(x[i] >= m)
      {S[i] = "A"; n1 = n1+1}
    else
      {S[i] = "B"; n2 = n2+1}
  }
  t = 1
  for (i in 2:N)
  {
    if(S[i] != S[i-1])
      t = t + 1
  }
  mu <- 2*n1*n2/N + 1
  s <- sqrt(2*n1*n2*(2*n1*n2-N)/(N^2*(N-1)))
  pvalue <- pnorm(t, mean = mu, sd = s)
  return(pvalue)
}

### Teste de hipótese de homogeneidade
# http://www.r-tutor.com/elementary-statistics/non-parametric-methods/mann-whitney-wilcoxon-test
# Two data samples are independent if they come from distinct populations and the samples do not affect each other.

```

```
# Using the Mann-Whitney-Wilcoxon Test, we can decide whether the population distributions are identical
without assuming them to follow the normal distribution.
```

```
# Função wilcox.test(A,B)
```

```
### Teste de hipótese de Estacionareidade
```

```
# https://cran.r-project.org/web/packages/pspearman/pspearman.pdf
```

```
# Instalar o pacote "pspearman"
```

```
# Spearman's rank correlation test with precomputed exact null distribution for n <= 22
```

```
# Utilizar a Função spearman.test(A,B)
```

```
### Teste de hipótese de Estacionareidade. Mann-Kendall
```

```
# Instalar o pacote "Kendall"
```

```
# Utilizar a função MannKendall(x)
```

E3) Funções para executar o teste de aderência de kolmogorov Smirnov

```
##### Função para teste de Aderência de Kolmogorov-Smirnov para a distribuição exponencial. Hidrologia
Estatística, pag 275, Naghettini e Pinto (2007)
```

```
KS_Exp <- function(Amostra, a, b) {
```

```
  #Teste de Kolmogorov-Smirnov
```

```
  # "a" é o parâmetro epon e "b" é o parâmetro alfa
```

```
  Amostra.ordem <- sort(Amostra[,1])
```

```
  Freq.empirica <- 1:nrow(Amostra)/nrow(Amostra)
```

```
  Freq.teorica <- cdfexp(Amostra.ordem, para = c(a, b))
```

```
  DN <- max(abs(Freq.empirica-Freq.teorica))
```

```
  DN.alfa <- 1.36/sqrt(nrow(Amostra)) #Tabela 7.5, pag. 277
```

```
  #return(DN)
```

```
  #return(DN.alfa)
```

```
  resp1 <- print(round(DN,4))
```

```
  resp2 <- print(round(DN.alfa,4))
```

```
  if (DN < DN.alfa) {
```

```
    resp <- print("Nao rejeitar H0 - Os dados da série são Exponencialmente Distribuídos - NS = 5%")
```

```
  } else {
```

```
    resp <- print("Rejeitar H0 - A Distribuição não é a exponencial - NS = 5%")
```

```
  }
```

```
  c(resp1,resp2,resp)
```

```
}
```

```
##### Função para teste de Aderência de Kolmogorov-Smirnov para a distribuição de Gumbel. Hidrologia
Estatística, pag 275, Naghettini e Pinto (2007)
```

```
KS_Gum <- function(Amostra, a, b) {
```

```
  #Teste de Kolmogorov-Smirnov
```

```
  # "a" é o parâmetro de posição beta e "b" é o parâmetro de forma alfa
```

```

Amostra.ordem <- sort(Amostra[,1])
Freq.empirica <- 1:nrow(Amostra)/nrow(Amostra)
Freq.teorica <- cdfgum(Amostra.ordem, para = c(a, b))
DN <- max(abs(Freq.empirica-Freq.teorica))
DN.alfa <- 1.36/sqrt(nrow(Amostra)) #Tabela 7.5, pag. 277
#return(DN)
#return(DN.alfa)
resp1 <- print(round(DN,4))
resp2 <- print(round(DN.alfa,4))
if (DN < DN.alfa) {
  resp <- print("Nao rejeitar H0 - Os dados da série se distribui como uma Gumbel - NS = 5%")
} else {
  resp <- print("Rejeitar H0 - A Distribuição não é a Gumbel - NS = 5%")
}
c(resp1,resp2,resp)
}

##### Função para teste de Aderência de Kolmogorov-Smirnov para a distribuição Gama. Hidrologia Estatística,
pag 275, Nãghettini e Pinto (2007)
KS_Gam <- function(Amostra, a, b) {
  #Teste de Kolmogorov-Smirnov
  # "a" é o parâmetro Eta e "b" é o parâmetro teta
  Amostra.ordem <- sort(Amostra[,1])
  Freq.empirica <- 1:nrow(Amostra)/nrow(Amostra)
  Freq.teorica <- cdfgam(Amostra.ordem, para = c(a, b))
  DN <- max(abs(Freq.empirica-Freq.teorica))
  DN.alfa <- 1.36/sqrt(nrow(Amostra)) #Tabela 7.5, pag. 277
  #return(DN)
  #return(DN.alfa)
  resp1 <- print(round(DN,4))
  resp2 <- print(round(DN.alfa,4))
  if (DN < DN.alfa) {
    resp <- print("Nao rejeitar H0 - Os dados da série se distribui como uma Gama - NS = 5%")
  } else {
    resp <- print("Rejeitar H0 - A Distribuição não é a Gama - NS = 5%")
  }
  c(resp1,resp2,resp)
}

##### Função para teste de Aderência de Kolmogorov-Smirnov para a distribuição GEV. Hidrologia Estatística,
pag 275, Nãghettini e Pinto (2007)
KS_GEV <- function(Amostra, a, b, c) {

```

```

#Teste de Kolmogorov-Smirnov
# "a" é o parâmetro de posição Xi e "b" é o parâmetro de escala alfa e "c" é o parâmetro de forma K
Amostra.ordem <- sort(Amostra[,1])
Freq.empirica <- 1:nrow(Amostra)/nrow(Amostra)
Freq.teorica <- cdfgev(Amostra.ordem, para = c(a, b, c))
DN <- max(abs(Freq.empirica-Freq.teorica))
DN.alfa <- 1.36/sqrt(nrow(Amostra)) #Tabela 7.5, pag. 277
#return(DN)
#return(DN.alfa)
resp1 <- print(round(DN,4))
resp2 <- print(round(DN.alfa,4))
if (DN < DN.alfa) {
  resp <- print("Nao rejeitar H0 - Os dados da série se distribui como uma GEV - NS = 5%")
} else {
  resp <- print("Rejeitar H0 - A Distribuição não é a GEV - NS = 5%")
}
c(resp1,resp2,resp)
}

##### Função para teste de Aderência de Kolmogorov-Smirnov para a distribuição Generalizada Logística.
Hidrologia Estatística, pag 275, Naghettini e Pinto (2007)
KS_GLO <- function(Amostra, a, b, c) {
  #Teste de Kolmogorov-Smirnov
  # "a" é o parâmetro de posição Xi e "b" é o parâmetro de escala alfa e "c" é o parâmetro de forma K
  Amostra.ordem <- sort(Amostra[,1])
  Freq.empirica <- 1:nrow(Amostra)/nrow(Amostra)
  Freq.teorica <- cdfglo(Amostra.ordem, para = c(a, b, c))
  DN <- max(abs(Freq.empirica-Freq.teorica))
  DN.alfa <- 1.36/sqrt(nrow(Amostra)) #Tabela 7.5, pag. 277
  #return(DN)
  #return(DN.alfa)
  resp1 <- print(round(DN,4))
  resp2 <- print(round(DN.alfa,4))
  if (DN < DN.alfa) {
    resp <- print("Nao rejeitar H0 - Os dados da série se distribui como uma Generalizada Logística - NS = 5%")
  } else {
    resp <- print("Rejeitar H0 - A Distribuição não é a Generalizada Logística - NS = 5%")
  }
  c(resp1,resp2,resp)
}





































```

Função para teste de Aderência de Kolmogorov-Smirnov para a distribuição Generalizada de Pareto. Hidrologia Estatística, pag 275, Naghettini e Pinto (2007)

```
KS_GPA <- function(Amostra, a, b, c) {
  #Teste de Kolmogorov-Smirnov
  # "a" é o parâmetro de posição Xi e "b" é o parâmetro de escala alfa e "c" é o parâmetro de forma K
  Amostra.ordem <- sort(Amostra[,1])
  Freq.empirica <- 1:nrow(Amostra)/nrow(Amostra)
  Freq.teorica <- cdfgpa(Amostra.ordem, para = c(a, b, c))
  DN <- max(abs(Freq.empirica-Freq.teorica))
  DN.alfa <- 1.36/sqrt(nrow(Amostra)) #Tabela 7.5, pag. 277
  #return(DN)
  #return(DN.alfa)
  resp1 <- print(round(DN,4))
  resp2 <- print(round(DN.alfa,4))
  if (DN < DN.alfa) {
    resp <- print("Nao rejeitar H0 - Os dados da série se distribui como a Generalizada de Pareto - NS = 5%")
  } else {
    resp <- print("Rejeitar H0 - A Distribuição não é a Generalizada de Pareto - NS = 5%")
  }
  c(resp1,resp2,resp)
}
```

E4) Entrada e análise dos dados de saída do gerador estocástico (LARS-WG)

Foi mostrada aqui para trajetória que corresponde ao cenário B1, período de 2046-2065, para os diferentes modelos e diferentes opções de semente (print screen dos txt's gerados na saída do LARS-WG)

 poa_GFCM21[poa,SRB1,2046-2065]WG-541.dat	 poa_HADCM3[poa,SRB1,2046-2065]WG-541.dat	 poa_INCM3[poa,SRB1,2046-2065]WG-541.dat
 poa_GFCM21[poa,SRB1,2046-2065]WG-1223.dat	 poa_HADCM3[poa,SRB1,2046-2065]WG-1223.dat	 poa_INCM3[poa,SRB1,2046-2065]WG-1223.dat
 poa_GFCM21[poa,SRB1,2046-2065]WG-1987.dat	 poa_HADCM3[poa,SRB1,2046-2065]WG-1987.dat	 poa_INCM3[poa,SRB1,2046-2065]WG-1987.dat
 poa_GFCM21[poa,SRB1,2046-2065]WG-2741.dat	 poa_HADCM3[poa,SRB1,2046-2065]WG-2741.dat	 poa_INCM3[poa,SRB1,2046-2065]WG-2741.dat
 poa_GFCM21[poa,SRB1,2046-2065]WG-3571.dat	 poa_HADCM3[poa,SRB1,2046-2065]WG-3571.dat	 poa_INCM3[poa,SRB1,2046-2065]WG-3571.dat
 poa_GFCM21[poa,SRB1,2046-2065]WG-4409.dat	 poa_HADCM3[poa,SRB1,2046-2065]WG-4409.dat	 poa_INCM3[poa,SRB1,2046-2065]WG-4409.dat
 poa_IPCM4[poa,SRB1,2046-2065]WG-541.dat	 poa_MPEH5[poa,SRB1,2046-2065]WG-541.dat	 poa_NCCCSM[poa,SRB1,2046-2065]WG-541.dat
 poa_IPCM4[poa,SRB1,2046-2065]WG-1223.dat	 poa_MPEH5[poa,SRB1,2046-2065]WG-1223.dat	 poa_NCCCSM[poa,SRB1,2046-2065]WG-1223.dat
 poa_IPCM4[poa,SRB1,2046-2065]WG-1987.dat	 poa_MPEH5[poa,SRB1,2046-2065]WG-1987.dat	 poa_NCCCSM[poa,SRB1,2046-2065]WG-1987.dat
 poa_IPCM4[poa,SRB1,2046-2065]WG-2741.dat	 poa_MPEH5[poa,SRB1,2046-2065]WG-2741.dat	 poa_NCCCSM[poa,SRB1,2046-2065]WG-2741.dat
 poa_IPCM4[poa,SRB1,2046-2065]WG-3571.dat	 poa_MPEH5[poa,SRB1,2046-2065]WG-3571.dat	 poa_NCCCSM[poa,SRB1,2046-2065]WG-3571.dat
 poa_IPCM4[poa,SRB1,2046-2065]WG-4409.dat	 poa_MPEH5[poa,SRB1,2046-2065]WG-4409.dat	 poa_NCCCSM[poa,SRB1,2046-2065]WG-4409.dat

Leitura dos arquivos com trajetórias , levantamento dos máximos (Pdma) e estimativa da distribuição empírica (plotagem dos eventos anuais da série x probabilidade de excedência)

Leitura dos Nomes dos Arquivos com as séries geradas (trajetórias)

nomes.arquivos deve ter o nome dos arquivos com as séries geradas por exemplo "cb1-1P.csv"

Arqui <-read.table(nomes.arquivos,header=FALSE)


```

#Arqui
#str(Arqui)
Arquivo <- as.vector(Arqui$V1)
Arquivo
n <- length(Arquivo)
#n
# str(Arquivo)

#Arquivo[6]
Pini <- 261 # Posição no vetor para leitura dos dados de Pdma. A série terá o tamanho de (300 - Pini + 1)
Est_arquivos <- matrix("0",n,14)
aux <- c(1:n)
#aux
Dados_Pdma <- matrix(0,n,(300-Pini+1))
parametros.exp <- matrix(0,n,2)

#####
for (i in 1:n) {

### Leitura dos Dados da série gerada
Dados <- read.table(Arquivo[i],header=FALSE,sep="")
#str(Dados)
# Grava no objeto Pdma o valor máximo da precipitação (mm) diária gerada (PLUC$V5) por ano (PLUC$V1)
Pdma <- aggregate(Dados$V5, by = list(Dados$V1), FUN = "max", na.rm=T)
#Pdma
#str(Pdma)
# Grava no objeto x os valores máximos da precipitação (mm) diária gerada por ano (Pdma) em coluna
x<-cbind(Pdma$x[Pini:300])
#x
#str(x)
estat <- summary(x)
#str(estat)
estatf <- as.vector(estat)
#estatf

Realização dos testes estatísticos
#### Execução dos testes de hipóteses
## #Executando o Teste de Aleatoriedade

```

```

tAlea <- tAleatoriedade(x, alfa = 0.05)
# ##Executando o Teste de Independência
tIndep <- waldwolf(x)
## Dividindo a a séries em duas sub-séries para aplicação dos testes
A <- x[1:(nrow(x)/2),1]
#A
B <- x[((nrow(x)/2)+1):nrow(x),1]
#B
# ##Executando o Teste de Homogeneidade
thomogeneidade <- wilcox.test(A,B)
### Executando o Teste de Estacionareidade1
testacionareidade1 <- spearman.test(A,B)
# ##Teste de hipótese de Estacionareidade. Mann-Kendall
testacionareidade2 <- MannKendall(x)
## #Armazena no objeto testes os P-valores dos testes executados
## Ordem do vetor: Aleatoriedade, Independencia, Homogeneidade, Estacionareidade (Spearman) e
Estacionareidade (Mann-Kendall)
## testacionareidade2$sl é do tipo atomic. Por isso a conversão para numérico.
testes <- c(tAlea, tIndep, thomogeneidade$p.value, testacionareidade1$p.value,
as.numeric(testacionareidade2$sl))
#testes

```

Cálculo dos momentos L e parâmetros das distribuições candidatas (só exponencial)

```

#### Cálculo dos Momentos-L e dos Parâmetros das distribuições
# Para cálculo dos momentos-L utilizar a função .samlmumu
# A função .samlmumu calcula L1, L2, t3 e t4
lmom <- .samlmumu(x, nmom=4)
#lmom
# Parâmetros da Exponencial: ordem do vetor [1] Posição (Epson) [2] Escala (Alfa)
para.exp <- pelexp(lmom)
parametros.exp[i,] <- as.numeric(para.exp)
#para.exp

```

Teste de aderência da distribuição candidata (só exponencial)

```

#### Execução dos testes de Aderência
tAder_Exp <- KS_Exp(x,para.exp[1],para.exp[2])
#str(tAder_Exp)

```

```

#tAder_Exp[3]
#####
# Est_arquivos <-matrix("0",n,12)
#Est_arquivos
#for (i in 1:n) {
aux[i] <- Arquivo[i]
Séries <- c(testes,lmom,as.numeric(para.exp),tAder_Exp)
Est_arquivos[i,] <- as.character(Séries)
#Séries
#}
#Est_arquivos
Dados_Pdma[i,] <- x
} # Fim for
aux
rownames(Est_arquivos) <- aux
aux2<- c("pvalue_Alea","pvalue-lnd","pvalue-homog","pvalue-est","pvalue-MK","L1","L2","t3","t4","Param-
xi_Exp","Param-alfa_Exp","KS.alfa.serie","KS.alfa.ref","t-Aderen-KS")
#aux2
colnames(Est_arquivos) <- aux2
#Est_arquivos
rownames(Dados_Pdma) <- aux
#Dados_Pdma
rownames(parametros.exp) <- aux
#parametros.exp

```