

ANÁLISE DA PRECIPITAÇÃO DE MODELOS DE CLIMA DO
CMIP5 NA BACIA DO RIO ITAJAÍ

Maria Fernanda Rodrigues Pereima

Maria Fernanda Rodrigues Pereira

**ANÁLISE DA PRECIPITAÇÃO DE MODELOS DE CLIMA DO
CMIP5 NA BACIA DO RIO ITAJAÍ**

Trabalho apresentado à Universidade Federal de Santa Catarina para a Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Luiz Borges Chaffe

Coorientador: Dr. Pablo Borges de Amorim

Florianópolis
2018

Maria Fernanda Rodrigues Pereira

ANÁLISE DA PRECIPITAÇÃO DE MODELOS DE CLIMA DO CMIP5 NA BACIA DO RIO ITAJAÍ

Trabalho submetido à Banca Examinadora como parte dos requisitos para Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental – TCC II.

Florianópolis, de junho de 2018.



Prof. Dr. Pedro Luiz Borges Chaffe
Orientador



Dr. Pablo Borges de Amorim
Coorientador

Banca Examinadora:



Prof. Dr. Leonardo Hoinaski
Membro da banca



Prof. Dr. Nádia Bernardi Bonumá
Membro da banca

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Pereira, Maria Fernanda Rodrigues
ANÁLISE DA PRECIPITAÇÃO DE MODELOS DE CLIMA DO
CMIP5 NA BACIA DO RIO ITAJAÍ / Maria Fernanda
Rodrigues Pereira ; orientador, Pedro Luiz Borges
Chaffe, coorientador, Pablo Borges de Amorim, 2018.
117 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro
Tecnológico, Graduação em Engenharia Sanitária e
Ambiental, Florianópolis, 2018.

Inclui referências.

1. Engenharia Sanitária e Ambiental. 2. CMIP5.
3. Quantile Mapping. 4. bacia do rio Itajaí. I.
Chaffe, Pedro Luiz Borges. II. de Amorim, Pablo
Borges. III. Universidade Federal de Santa
Catarina. Graduação em Engenharia Sanitária e
Ambiental. IV. Título.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Santa Catarina, por me proporcionar uma educação pública e de qualidade.

Aos meus orientadores, Prof. Pedro e Dr. Pablo, pela dedicação e interesse com o meu trabalho, pela confiança, pela paciência e por me incentivarem a procurar sempre o melhor de mim. Foi um privilégio enorme poder trabalhar com vocês. Muito obrigada!

Aos membros da banca, Prof^a Nadia e Prof. Leonardo, pela contribuição com este trabalho e com minha formação.

À minha família, por terem dado todos os subsídios financeiros e emocionais para que eu concluísse minha educação da melhor forma possível. À minha mãe por não me deixar esquecer que minha educação deve sempre servir o bem maior e nunca meus propósitos individuais. Ao meu pai, por desde cedo incentivar minha curiosidade e me ensinar através do exemplo a ética profissional e o amor pelo conhecimento. Ao meu irmão, pelo constante incentivo, por ser meu primeiro e melhor amigo.

Ao meu namorado, Luiz Ricardo, por me acompanhar durante todos esses anos de graduação, por ter me apoiado, me incentivado e compreendido minha ausência em certos momentos.

Aos amigos que encontrei dentro do LabHidro, por me acolherem desde o primeiro dia. Trabalhar com pessoas tão dedicadas e competentes é um constante incentivo para meu próprio crescimento. Por terem mantido meu dia a dia muito mais leve e, com certeza, muito mais divertido.

Aos amigos que fiz na UFSC, que me acompanham desde o primeiro dia. Obrigada por terem dividido os pesos e alegrias dessa jornada comigo.

Finalmente, às minhas amigas de infância, que apesar dos diferentes caminhos que nos foram reservados, continuam sendo a família que eu escolhi para mim.

RESUMO

Modelos Climáticos Globais (GCM) são as principais ferramentas disponíveis para compreender o sistema climático em mudança e como ele se comportará no futuro. GCM apresentam erros sistemáticos e tem uma resolução espacial muito grosseira para medidas de planejamento e mitigação. Para solucionar a discrepância de escala entre os modelos de clima e suas aplicações locais pode ser resolvida através de métodos de correção por Downscaling e correção de viés. Este trabalho tem por objetivo a análise da precipitação dos modelos de clima do CMIP5 na bacia do rio Itajaí. A área de estudo escolhida dada sua atividade portuária e industrial, bem como pelo seu histórico de inundações. A bacia tem área de aproximadamente 15000 km². Os GCM da quinta fase do *Coupled Model Intercomparison Project* (CMIP5) foram comparados à 11 estações pluviométricas na área de estudo. Os dados dos modelos de clima foram corrigidos pelo método de correção de viés chamado *Quantile Mapping*, que calibra uma função de transferência (FT) entre as funções de distribuição acumulada (CDF) da precipitação dos modelos de clima e da observação e então aplica esta função no período futuro. Duas abordagens deste método foram utilizadas: a Anual, que calibra uma FT para todo o período e a Mensal, que discrimina a série em 12 meses. De forma a quantificar este desempenho, índices de aspectos temporais e marginais foram estabelecidos. Para quantificar o desempenho do método em representar os aspectos temporais, foram utilizados o Ciclo Anual e a Sazonalidade. Para os aspectos marginais, foi aplicado o Teste de Aderência de Kolmogorov-Smirnov (teste K-S); estabelecidas médias, desvios padrão e coeficientes de variação da precipitação total anual; foi analisada a distribuição de precipitação máxima mensal. Na análise dos aspectos temporais, a correção mensal se mostrou superior à anual. Dentre os aspectos marginais, o teste K-S verificou uma melhoria dos resultados dos modelos corrigidos quando comparados aos modelos sem correção. Na análise de precipitação total anual, a correção diminui a variabilidade da precipitação, mas também diminui a ocorrência de magnitudes na cauda superior da distribuição. O mesmo ocorre para as precipitações máximas mensais, que aumentam a ocorrência de médias intensidades e diminuem a ocorrência de grandes intensidades. Concluiu-se que o método de correção deve ser utilizado com cautela, especialmente no que tange à eventos extremos de precipitação.

Palavras-chave: CMIP5, Quantile Mapping, bacia do rio Itajaí

ABSTRACT

Global Climate Models (GCM) are the primary tool available to understand the climate system and how it may behave in a changing climate. GCM have systematic errors and a resolution too coarse for planning and mitigation measures. To access this scale mismatch, correction methods have been developed. The goal of this study is to analyse the CMIP5 climate models precipitation in the Itajaí river basin. The chosen study area is the Itajaí river basin, given its port and industrial activities, as well as its history of flooding. The basin has an area of approximately 15000 km². The CMIP5 GCM were compared to 11 different rain gauges within the study area. The climate models were bias corrected with Quantile Mapping algorithm, that calibrates a transfer function (FT) between the model and observed CDF and then applies this FT to the future period. Two approaches to this method were tested: an annual one, that calibrates one FT to the whole period; and a monthly one, that discriminates the time series in 12 months. In order to quantify the bias correction method skill, indexes from temporal and marginal aspects were established. In order to quantify the skill of the method in represent the temporal aspects, seasonality and graphic inspection of the annual cycle were used. For the marginal aspects, Kolmogorov-Smirnov test (K-S test) was applied; annual precipitation's mean, standard deviation and variance coefficient established; and the monthly maximum distribution considered. The monthly correction method was superior compared to the annual correction in representing the annual cycle. Considering the marginal aspects, the K-S test showed an increase in the skill of corrected models. In the annual precipitation analysis, a decrease in variability were noticed for corrected models, as well as a decrease in the occurrence of high precipitation. The same was verified in the monthly maximum statistics, in which the correction was not able to adequately represent the tail of the distribution Therefore, care should be taken when using this particular bias correction method, especially in the study of extremes.

Keywords: CMIP5, Quantile Mapping, Itajaí river basin.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –Modelos Climáticos Globais com uma descrição resumida dos processos físicos que acontecem neles	31
Figura 2- Modelos de clima do período de controle (pré-industrial) do CMIP3 e CMIP5 (marcado com asteriscos) representados em um dendograma. Modelos que pertencem a uma mesma instituição ou com similaridades óbvias são marcados com a mesma cor. A descrição dos modelos desta figura pode ser vista no Apêndice E.	33
Figura 3 - Incertezas na modelagem hidrológica a partir de modelos de clima. As etapas desatadas são as que serão discutidas neste trabalho..	35
Figura 4 - Representação do método de correção de viés por <i>Quantile Mapping</i> , que iguala a CDF do modelo à CDF da observação.	39
Figura 5- Árvore de Decisão do Método de Validação. Os aspectos abordados neste trabalho serão temporais e marginais.....	41
Figura 6 - Localização da Área de Estudo. As estações pluviométricas selecionadas estão representadas pelos círculos pretos e o restante das estações pluviométricas estão representadas pelas cruzes.....	43
Figura 7 - Vetores que descrevem a precipitação média mensal na abordagem de Markham.	49
Figura 8 - Teste de homogeneidade SNHT para a estação 2649010, localizada no município de Blumenau	51
Figura 9 - Frequência de dias secos consecutivos para os modelos de clima com Drizzle Effect (barras laranjas), sem Drizzle Effect (barras azuis) e observação (barras cinzas) na estação 2649010, localizada no município de Blumenau.....	52
Figura 10 - Método de QM Anual para todas as estações no período de calibração para a estação 2649010, localizada no município de Blumenau. Os círculos em laranja são os quantis dos modelos não corrigidos e os azuis claros dos quantis corrigidos. A linha preta simboliza a linha 1:1	53
Figura 11 - Método de QM Mensal para a estação 2649010, localizada no município de Blumenau, no período de calibração. Os círculos em laranja são os quantis dos modelos não corrigidos e os azuis claros dos quantis corrigidos. A linha preta simboliza a linha 1:1.	54
Figura 12 - Método de QM Anual para a estação 2649010, localizada no município de Blumenau, no período de validação. Os círculos em vermelho são os quantis dos modelos não corrigidos e os azuis dos quantis corrigidos. A linha preta simboliza a linha 1:1	55

Figura 13 - Método de QM Mensal para a estação 2649010, localizada no município de Blumenau, no período de validação. Os círculos em vermelho são os quantis dos modelos não corrigidos e os azuis dos quantis corrigidos. A linha preta simboliza a linha 1:1	56
Figura 14- Ciclo Anual dos modelos não corrigidos (linhas cinzas), dos modelos corrigidos pelo QM Anual (linhas chumbo) e pelo QM Mensal (linhas pretas) e da observação (linhas azuis) para a estação 2649002, localizada no município de Blumenau para o período de calibração. ...	57
Figura 15 - Ciclo Anual dos modelos não corrigidos (linhas cinzas), dos modelos corrigidos pelo QM Anual (linhas chumbo) e pelo QM Mensal (linhas pretas) e da observação (linhas azuis) para a estação 2649002, localizada no município de Blumenau para o período de validação.	58
Figura 16 - Sazonalidade dos modelos não corrigidos (círculos cinzas), dos modelos corrigidos (círculos pretos) e da observação (linha tracejada azul) para a estação 2649010, localizada no município de Blumenau no período de calibração	60
Figura 17 - Sazonalidade dos modelos não corrigidos (círculos cinzas), dos modelos corrigidos (círculos pretos) e da observação (linha tracejada azul) para a estação 2649010, localizada no município de Blumenau no período de validação.	61
Figura 18 - CDF dos modelos não corrigidos (linhas cinzas), dos modelos corrigidos (linhas pretas) e da observação (linhas azuis) para o período de calibração para a estação 2649010, localizada no município de Blumenau.	62
Figura 19 - CDF dos modelos não corrigidos (linhas cinzas), dos modelos corrigidos (linhas pretas) e da observação (linhas azuis) para o período de validação para a estação 2649010, localizada no município de Blumenau.	64
Figura 20 - Distribuição da Precipitação Total Anual para o MME dos modelos não corrigidos (linhas cinzas), o MME dos modelos corrigidos (linhas pretas) e observação (linhas azuis) para os períodos de calibração (A) e validação (B).....	67
Figura 21- Função de Distribuição Acumulada da Precipitação Máxima Mensal dos modelos não corrigidos (linhas cinzas), dos modelos corrigidos por QM Mensal (linhas pretas) e da observação (linhas azuis). A estação utilizada como exemplo é a 2649010, localizada no município de Blumenau. O período descrito é o de calibração.	68
Figura 22 -Função de Distribuição Acumulada da Precipitação Máxima Mensal dos modelos não corrigidos (linhas cinzas), dos modelos corrigidos por QM Mensal (linhas pretas) e da observação (linhas azuis).	

A estação utilizada como exemplo é a 2649010, localizada no município de Blumenau. O período descrito é o de validação	69
Figura 23 - Função de densidade de probabilidade das Precipitações Máximas do MME dos modelos não corrigidos pelo QM Mensal (linha cinza), do MME dos modelos corrigidos (linha preta) e da observação (linha azul). Este gráfico representa a Bacia do Rio Itajaí como um todo, para os períodos de Calibração (A) e Validação (B).	70
Figura 24 - Método de QM Anual o restante das estações, no período de calibração. O código pluviométrico da estação está indicado em cima de seu respectivo gráfico. Os círculos em laranja são os quantis dos modelos não corrigidos e os azuis claros dos quantis corrigidos. A linha preta simboliza a linha 1:1.....	79
Figura 25- Método de QM Mensal para a estação 2649002, localizada no município de Pomerode, no período de calibração. Os círculos em laranja são os quantis dos modelos não corrigidos e os azuis claros dos quantis corrigidos. A linha preta simboliza a linha 1:1	80
Figura 26 - Método de QM Mensal para a estação 2649004, localizada no município de Timbó, no período de calibração. Os círculos em laranja são os quantis dos modelos não corrigidos e os azuis claros dos quantis corrigidos. A linha preta simboliza a linha 1:1.	81
Figura 27- Método de QM Mensal para a estação 2649008, localizada no município de Rio dos Cedros, no período de calibração. Os círculos em laranja são os quantis dos modelos não corrigidos e os azuis claros dos quantis corrigidos. A linha preta simboliza a linha 1:1.....	82
Figura 28 - Método de QM Mensal para a estação 2649017, localizada no município de Doutor Pedrinho, no período de calibração. Os círculos em laranja são os quantis dos modelos não corrigidos e os azuis claros dos quantis corrigidos. A linha preta simboliza a linha 1:1.....	83
Figura 29 - Método de QM Mensal para a estação 2749000, localizada no município de Apiúna, no período de calibração. Os círculos em laranja são os quantis dos modelos não corrigidos e os azuis claros dos quantis corrigidos. A linha preta simboliza a linha 1:1.	84
Figura 30- Método de QM Mensal para a estação 2749005, localizada no município de Ibirama, no período de calibração. Os círculos em laranja são os quantis dos modelos não corrigidos e os azuis claros dos quantis corrigidos. A linha preta simboliza a linha 1:1.	85
Figura 31 - Método de QM Mensal para a estação 2749006, localizada no município de Pouso Redondo, no período de calibração. Os círculos em laranja são os quantis dos modelos não corrigidos e os azuis claros dos quantis corrigidos. A linha preta simboliza a linha 1:1.....	86

Figura 32 - Método de QM Mensal para a estação 2749006, localizada no município de Alfredo Wagner, no período de calibração. Os círculos em laranja são os quantis dos modelos não corrigidos e os azuis claros dos quantis corrigidos. A linha preta simboliza a linha 1:1.	87
Figura 33 - Método de QM Mensal para a estação 2749013, localizada no município de Trombudo Central, no período de calibração. Os círculos em laranja são os quantis dos modelos não corrigidos e os azuis claros dos quantis corrigidos. A linha preta simboliza a linha 1:1.	88
Figura 34 - Método de QM Mensal para a estação 2749016, localizada no município de Apiúna, no período de calibração. Os círculos em laranja são os quantis dos modelos não corrigidos e os azuis claros dos quantis corrigidos. A linha preta simboliza a linha 1:1.	89
Figura 35 - Método de QM Anual para o restante das estações, no período de validação. O código pluviométrico da estação está indicado em cima de seu respectivo gráfico. Os círculos em vermelho são os quantis dos modelos não corrigidos e os azuis dos quantis corrigidos. A linha preta simboliza a linha 1:1.	90
Figura 36 - Método de QM Mensal para a estação 2649002, localizada no município de Pomerode, no período de validação. Os círculos em vermelho são os quantis dos modelos não corrigidos e os azuis dos quantis corrigidos. A linha preta simboliza a linha 1:1.	91
Figura 37 - Método de QM Mensal para a estação 2649004, localizada no município de Timbó, no período de validação. Os círculos em vermelho são os quantis dos modelos não corrigidos e os azuis dos quantis corrigidos. A linha preta simboliza a linha 1:1.	92
Figura 38 - Método de QM Mensal para a estação 2649008, localizada no município de Rio dos Cedros, no período de validação. Os círculos em vermelho são os quantis dos modelos não corrigidos e os azuis dos quantis corrigidos. A linha preta simboliza a linha 1:1.	93
Figura 39 - Método de QM Mensal para a estação 2649017, localizada no município de Doutor Pedrinho, no período de validação. Os círculos em vermelho são os quantis dos modelos não corrigidos e os azuis dos quantis corrigidos. A linha preta simboliza a linha 1:1.	94
Figura 40 - Método de QM Mensal para a estação 2749000, localizada no município de Apiúna, no período de validação. Os círculos em vermelho são os quantis dos modelos não corrigidos e os azuis dos quantis corrigidos. A linha preta simboliza a linha 1:1.	95
Figura 41 - Método de QM Mensal para a estação 2749005, localizada no município de Ibirama, no período de validação. Os círculos em vermelho são os quantis dos modelos não corrigidos e os azuis dos quantis corrigidos. A linha preta simboliza a linha 1:1.	96

Figura 42 - Método de QM Mensal para a estação 2749006, localizada no município de Pouso Redondo, no período de validação. Os círculos em vermelho são os quantis dos modelos não corrigidos e os azuis dos quantis corrigidos. A linha preta simboliza a linha 1:1	97
Figura 43 - Método de QM Mensal para a estação 2749007, localizada no município de Alfredo Wagner, no período de validação. Os círculos em vermelho são os quantis dos modelos não corrigidos e os azuis dos quantis corrigidos. A linha preta simboliza a linha 1:1	98
Figura 44 - Método de QM Mensal para a estação 2749013, localizada no município de Trombudo Central, no período de validação. Os círculos em vermelho são os quantis dos modelos não corrigidos e os azuis dos quantis corrigidos. A linha preta simboliza a linha 1:1	99
Figura 45 - Método de QM Mensal para a estação 2749017, localizada no município de Apiúna, no período de validação. Os círculos em vermelho são os quantis dos modelos não corrigidos e os azuis dos quantis corrigidos. A linha preta simboliza a linha 1:1	100
Figura 46 - Sazonalidade dos modelos de clima sem correção (círculos cinzas), dos modelos corrigidos (círculos pretos) e da observação (linha tracejada azul) para o período de Calibração. Os modelos (eixo das abscissas) estão ordenados por semelhança em relação à observação. A estação descrita é 2749016, localizada no município de Apiúna	101
Figura 47 - Sazonalidade dos modelos de clima sem correção (círculos cinzas), dos modelos corrigidos (círculos pretos) e da observação (linha tracejada azul) para o período de calibração. Os modelos (eixo das abscissas) estão ordenados por semelhança em relação à observação. As estações descritas são 2649002, localizada no município de Pomerode; 2649004, localizada no município de Timbó e 2649008, localizada no município de Rio dos Cedros.	102
Figura 48 - Sazonalidade dos modelos de clima sem correção (círculos cinzas), dos modelos corrigidos (círculos pretos) e da observação (linha tracejada azul) para o período de calibração. Os modelos (eixo das abscissas) estão ordenados por semelhança em relação à observação. As estações descritas 2649017, localizada no município de Doutor Pedrinho e 2749000, localizada no município de Apuína e 2749005, localizada no município de Ibirama.....	103
Figura 49 - Sazonalidade dos modelos de clima sem correção (círculos cinzas), dos modelos corrigidos (círculos pretos) e da observação (linha tracejada azul) para o período de calibração. Os modelos (eixo das abscissas) estão ordenados por semelhança em relação à observação. As estações descritas são 2749006, localizada no município de Pouso	

Redondo; 2749007, localizada no município de Alfredo Wagner e 2749013, localizada no município de Trombudo Central.	104
Figura 50 - Sazonalidade dos modelos de clima sem correção (círculos cinzas), dos modelos corrigidos (círculos pretos) e da observação (linha tracejada azul) para o período de calibração. Os modelos (eixo das abscissas) estão ordenados por semelhança em relação à observação. A estação descrita é 2749016, localizada no município de Apiúna	105
Figura 51- Sazonalidade dos modelos de clima sem correção (círculos cinzas), dos modelos corrigidos (círculos pretos) e da observação (linha tracejada azul) para o período de validação. Os modelos (eixo das abscissas) estão ordenados por semelhança em relação à observação. As estações descritas são 2649002, localizada no município de Pomerode; 2649004, localizada no município de Timbó e 2649008, localizada no município de Rio dos Cedros-	106
Figura 52 - Sazonalidade dos modelos de clima sem correção (círculos cinzas), dos modelos corrigidos (círculos pretos) e da observação (linha tracejada azul) para o período de validação. Os modelos (eixo das abscissas) estão ordenados por semelhança em relação à observação. As estações descritas 2649017, localizada no município de Doutor Pedrinho e 2749000, localizada no município de Apuína e 2749005, localizada no município de Ibirama.	107
Figura 53 - Sazonalidade dos modelos de clima sem correção (círculos cinzas), dos modelos corrigidos (círculos pretos) e da observação (linha tracejada azul) para o período de validação. Os modelos (eixo das abscissas) estão ordenados por semelhança em relação à observação. As estações descritas são 2749006, localizada no município de Pouso Redondo; 2749007, localizada no município de Alfredo Wagner e 2749013, localizada no município de Trombudo Central.	108
Figura 54 –Frequência de dias secos consecutivos na observação (barras cinzas), para os modelos não corrigidos (barras laranjas) e modelos corrigidos (barras azuis) para o restante das estações pluviométricas. O código pluviométrico das estações está descrito acima do seu respectivo gráfico.	109
Figura 55 - Ciclo Anual dos modelos não corrigidos (linhas cinzas), dos modelos corrigidos pelo QM Anual (linhas chumbo) e pelo QM Mensal (linhas pretas) e da observação (linhas azuis) para o restante das estações. O número da estação está descrito acima de cada par de gráficos respectivos, que representam o ciclo anual antes da correção (gráficos superiores) e depois das correções (gráficos inferiores) para o período de calibração.	111

Figura 56 - Ciclo Anual dos modelos não corrigidos (linhas cinzas), dos modelos corrigidos pelo QM Anual (linhas chumbo) e pelo QM Mensal (linhas pretas) e da observação (linhas azuis) para o restante das estações. O número da estação está descrito acima de cada trio de gráficos respectivos.	112
Figura 57 - CDF dos modelos não corrigidos (linhas cinzas), dos modelos corrigidos (linhas pretas) e da observação (linhas azuis) para o período de calibração para o restante das estações. O código pluviométrico das estações está descrito acima do seu respectivo gráfico	113
Figura 58 - CDF dos modelos não corrigidos (linhas cinzas), dos modelos corrigidos (linhas pretas) e da observação (linhas azuis) para o período de validação para o restante das estações. O código pluviométrico das estações está descrito acima do seu respectivo gráfico	114
Figura 59 - CDF dos modelos não corrigidos (linhas cinzas), dos modelos corrigidos (linhas pretas) e da observação (linhas azuis) para o período de calibração para o restante das estações. O código pluviométrico das estações está descrito acima do seu respectivo gráfico	115

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Estações pluviométricas utilizadas.....	44
Tabela 2 - Modelos de clima do CMIP5 utilizados neste trabalho, organizados por instituição responsável. A sigla do ensemble diz respeito à qual parâmetro o modelo descreve (e.g. realização 1, inicialização 1 e físico 1 – r1i1p1)	45
Tabela 3 - Comparativo entre os índices de sazonalidade da observação, do índice de sazonalidade médio dos modelos não corrigidos e do índice de sazonalidade médio dos modelos corrigidos, para os períodos de calibração e validação.	59
Tabela 4- Resultado do teste K-S no período de calibração (segunda coluna) e validação (terceira coluna) para todas as simulações	63
Tabela 5 - Estatísticas básicas da Precipitação Total Anual para as observações, modelos não corrigidos e modelos corrigidos pelo QM Mensal no período de calibração.....	65
Tabela 6 - Estatísticas básicas da Precipitação Total Anual para as observações, modelos não corrigidos e modelos corrigidos pelo QM Mensal no período de validação.....	65
Tabela 7 - Estações com os respectivos modelos que melhor representam sua Precipitação Total Anual antes e depois da correção no período de calibração.....	66
Tabela 8 - Estações com os respectivos modelos que melhor representam sua Precipitação Total Anual antes e depois da correção no período de validação.....	66
Tabela 9 - Modelos de clima do CMIP3 e CMIP5	117

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	27
1.1. OBJETIVO GERAL.....	28
1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	28
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	29
2.2 MUDANÇAS CLIMÁTICAS	29
2.3 MODELOS CLIMÁTICOS GLOBAIS	29
2.4 A IMPORTÂNCIA DOS MODELOS DE CLIMA PARA AVALIAÇÕES DE IMPACTO HIDROLÓGICO.....	33
2.5 METODOS DE DOWNSCALING.....	35
2.5.1 Downscaling Estatístico.....	36
2.5.1.1 Prognóstico Perfeito.....	36
2.5.1.2 Model Output Statisticis.....	36
2.5.2 Downscaling Dinâmico	37
2.6 CORREÇÃO DE VIÉS DE MODELOS DE CLIMA.....	37
2.7 VALIDAÇÃO DAS TÉCNICAS DE DOWNSCALING E CORREÇÃO DE VIÉS	39
3 MATERIAIS E MÉTODOS	43
3.2 ÁREA DE ESTUDO	43
3.3 SÉRIES HISTÓRICAS DE PRECIPITAÇÃO.....	44
3.4 DADOS DE MODELOS DE CLIMA DO CMIP5	44
3.5 TESTE DE HOMOGENEIDADE DAS SÉRIES HISTÓRICAS	46
3.6 CORREÇÃO DE VIÉS POR <i>QUANTILE MAPPING</i>	47
3.7 PROCESSO DE VALIDAÇÃO	47
3.7.1 Aspecto Temporal.....	48
3.7.1.1 Ciclo Anual	48
3.7.1.2 Sazonalidade	48
3.7.2 Aspecto Marginal.....	50

3.7.2.1	Distribuição Estatística: Teste de Aderência de Kolmogorov-Smirnov	50
3.7.2.2	Análise de Precipitação Total Anual.....	50
3.7.2.3	Análise de Precipitação Máxima	50
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	51
4.1	TESTE DE HOMOGENEIDADE DAS SERIES HISTORICAS	51
4.2	ANALISE DE DRIZZLE EFFECT.....	52
4.3	METODO DE CORREÇÃO DE VIES.....	53
4.4	VALIDAÇÃO: ASPECTO TEMPORAL	57
4.4.1	Ciclo Anual.....	57
4.4.2	Sazonalidade	59
4.5	VALIDAÇÃO: ASPECTO MARGINAL	61
4.5.1.	Teste de Aderência de Kolmogorov-Smirnov	61
4.5.2.	Precipitação Total Anual	64
4.5.3.	Precipitação Máxima Mensal	67
5	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	71
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73
	APÊNDICE A – Método de correção de viés por Quantile Mapping	79
	APÊNDICE B – Sazonalidade dos Modelos de Clima antes e depois da correção	101
	APÊNDICE C – Análise de Drizzle Effect: Frequência de dias secos consecutivos	109
	APÊNDICE D – Ciclo Anual.....	111
	APÊNDICE E – CDF Precipitação Diária.....	113
	APÊNDICE F – CDF de Precipitação Máxima Mensal	115
	APÊNDICE G – Modelos de clima do CMIP3 e CMIP5	117

1. INTRODUÇÃO

Espera-se que com o aumento da temperatura média da terra, o ciclo hidrológico se intensifique e que o regime de inundações mude (BLÖSCHL et al., 2017). O entendimento de como o ciclo sazonal pode mudar frente às mudanças climáticas é essencial para o planejamento e mitigação de possíveis impactos hidrológicos (YUAN; WOOD; MA, 2015).

De forma a compreender o sistema terrestre e quais as implicações da ação antropogênica, o *Coupled Model Intercomparison Project* (CMIP) coordena experimentos desenvolvidos por diversas instituições na elaboração de Modelos Climáticos Globais (GCM). GCM representam processos físicos, químicos e biológicos entre os diferentes componentes do globo (i.e. sistema terrestre, criosfera, atmosfera e oceanos), bem como fluxos de energia e massa (MARAUN et al., 2010). GCM funcionam sob diferentes condições de contorno estabelecidas a partir de diferentes concentrações dos componentes da atmosfera. As condições de contorno são baseadas especialmente na concentração dos gases do efeito estufa e aerossóis na atmosfera, e são divididos em quatro cenários possíveis. Esses cenários de concentração (*Representative Concentration Pathways* - RCP) são descrições de possíveis futuros, considerando evoluções no uso do solo, dependência energética e desenvolvimento tecnológico (VAN VUUREN et al., 2011).

Os GCM representam possíveis alterações no sistema climático na larga escala e não são representativos o suficiente para conceber informações úteis ao planejamento e adaptação à essas alterações na escala local (MARAUN; WIDMANN, 2018). Em geral, os GCM possuem erros sistemáticos. Sua escala espacial (e.g. 100km por grade) não é compatível com as ações locais de planejamento e adaptação à mudança do clima (i.e. hidrologia, agricultura, infra estrutura). No caso da precipitação, a ineficiência dos GCM de reproduzir a variável na escala local se dá por vieses sistemáticos dos próprios modelos e por erros na parametrização de fenômenos de pequena escala (e.g. processos convectivos), bem como por causa da resolução grosseira que incapacita a representação da topografia local (EDEN et al., 2012).

Afim de buscar uma solução para a discrepância de escala entre os modelos de clima e os modelos de impacto (e.g. modelos hidrológicos), técnicas de correção foram desenvolvidas. Técnicas de correção podem ser técnicas de *Downscaling*, que exploram as dependências sistemáticas entre fenômenos climáticos na grande escala e seus efeitos meteorológicos na escala local (BENESTAD, 2016) ou técnicas mais

simples de correção de viés. Métodos de correção de viés são métodos que estabelecem uma função de transformação empírica entre variáveis de modelos de clima e sua respectiva observação (MARAUN et al., 2017). Neste trabalho foi aplicado o método de correção de viés por *Quantile Mapping*.

Dada a importância da bacia do rio Itajaí para o Estado de Santa Catarina, bem como seu longo histórico de inundações, este trabalho buscou analisar o desempenho dos modelos de clima em reproduzir a precipitação da bacia do Rio Itajaí.

1.1. OBJETIVO GERAL

O objetivo geral do presente trabalho é analisar o desempenho dos modelos de clima do CMIP5 em representar a precipitação na bacia do rio Itajaí.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

O presente trabalho tem como objetivos específicos:

- i. Avaliar o desempenho dos modelos de clima sem correção em reproduzir a-precipitação da área de estudo;
- ii. Avaliar o desempenho dos modelos de clima corrigidos em reproduzir a-precipitação da área de estudo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.2 MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Entre os desafios que as mudanças climáticas trarão à nossa sociedade, estão alterações na disponibilidade e na demanda dos recursos hídricos (MAURER; PIERCE, 2014). Com o provável aumento da temperatura nas próximas décadas, acredita-se em um possível aumento na evaporação e em uma intensificação do ciclo hidrológico, levando a um clima mais árido nas regiões tropicais ao mesmo tempo que leva a um aumento da umidade em altas latitudes (SCHIERMEIER, 2010). Mudanças no regime de precipitação tendem a uma variabilidade espacial grande. Existe uma alta confiança que o contraste entre estações e localidades secas e chuvosas tende a aumentar (COLLINS et al., 2013).

Mudanças no sistema climático são processos naturais e esperados, que ocorrem desde os primórdios, de forma cíclica ou não. A variabilidade natural pode ser devido às alterações nos parâmetros da órbita terrestre (i.e. ciclo de Milankovitch); às atividades vulcânicas, que liberam grandes quantidades de aerossóis para a atmosfera terrestre e por variabilidades internas como o fenômeno de El Niño Oscilação Sul (ENSO) e Oscilação Decadal do Pacífico (PDO). Mudanças climáticas de origem antropogênica recebem atenção especial por sua escala temporal curta (desde a revolução industrial, aproximadamente em 1840). Impactos antropogênicos estão especialmente ligados ao aumento da concentração de gases do efeito estufa, mas também à injeção de aerossóis provenientes de combustíveis fósseis e de haletos orgânicos como o CFC.

2.3 MODELOS CLIMÁTICOS GLOBAIS

Modelos Climáticos Globais (GCM) ou Modelos de Circulação Geral, Modelos Acoplados Atmosfera-Oceano de Circulação Global (AOGCM) ou, ainda, Modelos do Sistema Terrestre (ESM) são representações do sistema climático terrestre baseados em leis de conservação de massa, energia e momento e leis da termodinâmica e de radiação (MARAUN et al., 2017). Tais modelos serão descritos, neste trabalho, como simplesmente GCM.

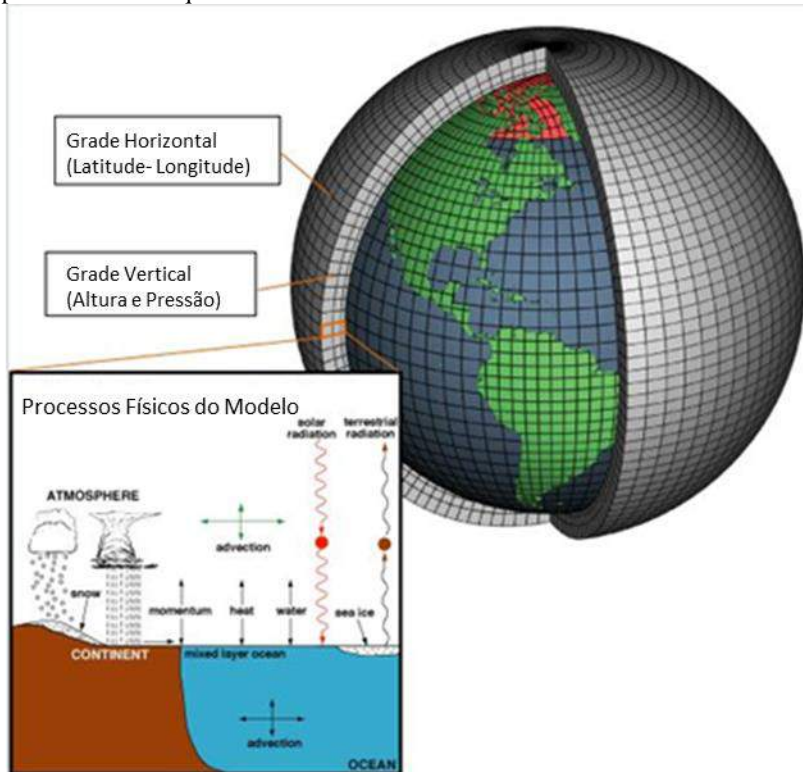
Os GCM, representados na Figura 1, simulam fluxos de energia e massa em larga escala e, portanto, representam de forma satisfatória características desta escala (e.g. El Niño, Oscilação do Atlântico Norte, células de Hadley). No entanto não têm a habilidade de calcular detalhes locais para variáveis meteorológicas como precipitações (BENESTAD,

2016). Fenômenos que não conseguem ser descritos por essas equações ou que se dão em uma escala menor são parametrizados (e.g. nuvens, transferência de calor latente).

GCM atuais são desenvolvidos a partir de diferentes cenários de concentração de gases do efeito e aerossóis estabelecidos pelo IPCC no seu Quinto Relatório de Impacto (AR5) (i.e. RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0, RCP8.5), bem como a partir do cenário histórico de concentrações pré-industriais traduzidos em forçante radioativa em W/m^2 . Existem quatro cenários diferentes, sendo seu número a forçante radiativa do sistema até o fim do século XXI (em W/m^2). Cada RCP cobre o intervalo de tempo entre 1850 e 2100 (VAN VUUREN et al., 2011)

Os modelos de clima são desenvolvidos por diferentes instituições ao redor do mundo de forma coordenada pelo CMIP. O CMIP5 foi estabelecido a partir de uma reunião entre grupos de modelagem climática, bem como o *Working Group on Coupled Modelling* (Grupo de Trabalho em Modelagem Acoplada, WGCM) do *World Climate Research Programme's* (Programa de Pesquisa Climática Mundial, WCRP), e o *Integration and Modeling of the Earth System* (Projeto Integração e Modelagem do Sistema Terrestre, AIMES) com o objetivo de coordenar os esforços de diversas instituições ao redor do mundo no desenvolvimento dos GCM. Os modelos do CMIP5 se baseiam na fase anterior, o CMIP3.(TAYLOR; STOUFFER; MEEHL, 2012).

Figura 1 –Modelos Climáticos Globais com uma descrição resumida dos processos físicos que acontecem neles



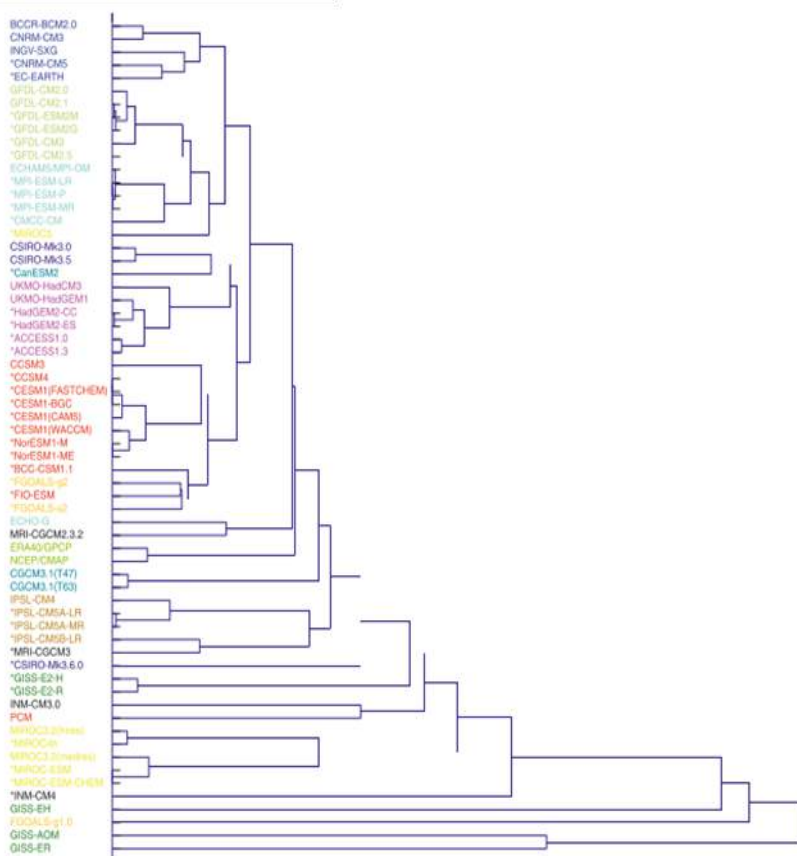
Fonte: NOAA, 2017

Os GCM do CMIP5 se dividem em simulações do período histórico e futuro. As simulações do período histórico terminam, no geral, em 2005. As simulações futuras são divididas em quatro cenários de concentração de gases do efeito estufa e aerossóis descritos pelo IPCC em seu AR5, traduzidos em forçantes radioativas (RCP). Além disso, cada modelo pode conter um número distinto de estruturas em diferentes condições iniciais (*ensemble*) sendo eles realização (r), inicialização (i) e física (p), variando de acordo com cada instituição responsável pelo modelo, mas em geral sendo a primeira condição numerada 1, a segunda 2, e assim por diante. A criação dos *ensembles* se dá através de perturbação nas condições do modelo, sendo usualmente considerados um *ensemble* de oportunidades (HAUGHTON et al., 2014). A premissa

de quantas estruturas serão utilizadas (e.g. r1i1p1, r2i1p1), no entanto, é de prerrogativa da instituição responsável pelo modelo.

É importante considerar que pode haver troca de códigos entre instituições no desenvolvimento dos modelos e que a maioria dos modelos do CMIP5 são atualizações dos modelos do CMIP3, o que significa que os modelos do CMIP5 não são independentes entre si e nem entre eles e seus predecessores e que podem apresentar vieses semelhantes (Figura 2) (KNUTTI; MASSON; GETTELMAN, 2013). Embora seja relevante compreender a origem dos modelos (e seus respectivos vieses semelhantes), esta questão não será abordada neste estudo.

Figura 2- Modelos de clima do período de controle (pré-industrial) do CMIP3 e CMIP5 (marcado com asteriscos) representados em um dendrograma. Modelos que pertencem a uma mesma instituição ou com similaridades óbvias são marcados com a mesma cor. A descrição dos modelos desta figura pode ser vista no Apêndice E.



Fonte: KNUTTI; MASSON; GETTELMAN, 2013

2.4 A IMPORTÂNCIA DOS MODELOS DE CLIMA PARA AVALIAÇÕES DE IMPACTO HIDROLÓGICO

Recursos hídricos são amplamente sensíveis à variabilidade climática e, portanto, é de grande importância a caracterização das incertezas dos fenômenos decorrentes de mudanças climáticas antropogênicas (CLARK et al., 2016). Estudos de impacto podem

precisar de dados de entrada climáticos em uma resolução maior que dos GCM (WONG et al., 2014). Um exemplo do problema de escala entre a escala global (i.e. GCM) e a escala local (i.e. impacto hidrológico) é o *Drizzle Effect*. Quando o GCM é interpolado para a escala local, ele produz muitos dias úmidos com precipitações abaixo de 1mm. Este fenômeno ocorre porque a precipitação dos GCM é uma média em área da grade – o que significa que chuvas pouco intensas são distribuídas por toda a grade e dias não chuvosos são subrepresentados.

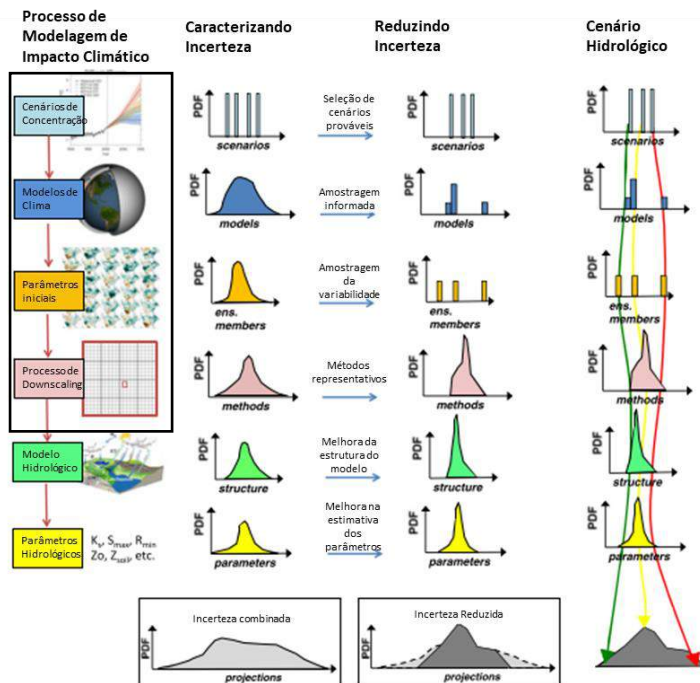
Projeções de climas futuros definitivas são impossíveis. Projeções são incertas pela sua dependência das condições iniciais de contorno (i.e. GCM utilizado), pela falta de compreensão do sistema climático e pela existência de variabilidade climática interna (COLLINS et al., 2013). Considerando esses fatos, os GCM não são recomendados para estudos regionais de impacto na escala de bacias hidrográficas e necessitam passar por um método de correção. Métodos de correção de viés são mais simples que métodos de *Downscaling* e espera-se que sejam priorizados na correção de modelos de clima. Uma vez constatada a eventual ineficiência do método de correção de viés, parte-se para uma abordagem mais sofisticada (i.e. técnicas de *Downscaling*) juntamente ou não com um método de pós-processamento (i.e. correção de viés no fim da análise). Uma forma de garantir que as incertezas de todos os modelos de clima utilizados sejam quantificadas é a abordagem chamada de *multi-model ensemble* (MME) – a utilização de modelos estruturalmente diferentes que apresentem uma ou mais condições iniciais diferentes (i.e. *ensemble*) (TEBALDI; KNUTTI, 2007). *Ensembles* são atingidos perturbando as condições iniciais dos modelos em diferentes aspectos, divididos em realização, inicialização e processos físicos.

Uma vez devidamente transformados para a escala do estudo a ser realizado, os modelos de clima podem servir como entrada para modelos de impacto. Isto é especialmente importante em um clima em mudança, uma vez que os parâmetros utilizados para a construção de obras de infraestrutura (e.g. tempo de retorno, $Q_{7,10}$, curva IDF) podem não permanecer constantes.

De forma a se ter uma abordagem responsável das variáveis resultantes de uma modelagem hidrológica a partir de modelos de clima, é essencial que a incerteza de todo o processo de modelagem seja levada em consideração. O processo de modelagem específico à modelos de clima, sua correção e aplicação pode ser visto na Figura 3 Incertezas acontecem em todas as etapas do processo de modelagem, desde incertezas nos cenários de concentração de gases do efeito estufa e aerossóis, passando pelos GCM utilizados, pelas condições iniciais

utilizadas, pela técnica de Downscaling escolhida e pelo modelo hidrológico utilizado. Neste trabalho, serão discutidas as etapas dos modelos de clima até sua correção.

Figura 3 - Incertezas na modelagem hidrológica a partir de modelos de clima. As etapas desatadas são as que serão discutidas neste trabalho



Fonte: CLARK et al., 2016

2.5 MÉTODOS DE DOWNSCALING

Downscaling procura solucionar a discrepância de escala entre GCM e a escala local, estabelecendo relações entre fenômenos na escala global (preditores) e local (preditante) (MARAUN et al., 2010). Em métodos de Downscaling, dada variável local é função das condições de contorno na escala global, dos efeitos da topografia local e da variabilidade interna do próprio método. O resultado do método de Downscaling é mais informativo que a simulação do GCM, sendo uma soma de informações (BENESTAD, 2016). De uma forma geral, os métodos de downscaling podem ser descritos pela equação a seguir.

$$y(r) = f(X, g(r)) + n(r) \quad (1)$$

onde $y(r)$ é o resultado do método de *Downscaling* no local r , X é a simulação proveniente do GCM, $g(r)$ é a componente da geografia local e $n(r)$ é a variabilidade interna.

2.5.1 *Downscaling* Estatístico

Downscaling Estatístico estabelecem uma relação estatística onde o estado meteorológico local está condicionado à escala global (BENESTAD, 2016). Técnicas de *Downscaling* Estatístico não são computacionalmente intensivas, o que permite sua aplicação no modo MME, além de permitir a obtenção de informações na escala pontual. Sua principal desvantagem é que a relação estatística estabelecida entre escalas é estacionária, uma limitação que também se aplica a métodos dinâmicos (WILBY et al., 2004). Diferentes abordagens de *Downscaling* Estatístico foram estabelecidas, entre elas o Prognóstico Perfeito, *Weather Generators* e *Model Output Statistics*.

2.5.1.1 Prognóstico Perfeito

Abordagens do tipo Prognóstico Perfeito (PP) utilizam preditores simulados que representem o clima de forma realista e sem nenhum tipo de viés (MARAUN et al., 2010). A relação estatística que liga preditores de larga escala à preditantes na escala local é calibrada a partir de observações e o modelo é então aplicado à projeções futuras (MARAUN; WIDMANN, 2018).

2.5.1.2 Model Output Statistics

Model Output Statistics (MOS) estabelece relações estatísticas entre variáveis simuladas pelos modelos climáticos e as observações locais de forma a corrigir os erros sistemáticos dos GCM. Precipitações simuladas pelos modelos climáticos não são verossímeis e representam médias em termos de área na grade ao invés de valores locais, mas podem conter informações sobre a precipitação real (MARAUN et al., 2010). Métodos do tipo MOS podem ser divididos em MOS homogêneo, onde o a mesma variável é considerada tanto como preditor (escala global) quanto para preditante (escala local) e MOS não homogêneos, onde uma mais de uma variável na escala global condiciona uma variável na escala local (MARAUN; WIDMANN, 2018). Métodos de correção de viés, portanto, podem ser descritos como um tipo de MOS (i.e. MOS

homogêneo). A principal diferença entre métodos do tipo PP e MOS, portanto, é que o primeiro utiliza preditores de simulações e o último utiliza preditores observados.

2.5.2 Downscaling Dinâmico

Métodos de *Downscaling* Dinâmico consistem em modelos computacionais semelhantes à GCM, aplicados à uma área menor, chamados de Modelos Climáticos Regionais (RCM). Métodos simulam estados futuros sem que haja a utilização de dados históricos no processo. Estes métodos, no entanto, acabam muitas vezes por produzir simulações que diferem dos dados observados - o que faz com que uma correção dessa diferença seja necessária (PIERCE; CAYAN, 2016). RCM levam em consideração efeitos de mesoescala e a topografia local (AMENGUAL et al., 2012). Métodos desse tipo, portanto, são mais pesados e exigem um maior poder computacional.

2.6 CORREÇÃO DE VIÉS DE MODELOS DE CLIMA

Métodos de correção de viés são formas mais comuns do método estatístico do tipo MOS, onde existe uma relação entre uma variável do modelo de clima na escala global e sua respectiva observação na escala local (i.e. MOS homogêneo) (MARAUN; WIDMANN, 2018). Maraun et al., (2017) definem viés como sendo a diferença sistemática entre a variável modelada e observada. Métodos de correção de viés calibram uma função de transferência empírica entre a distribuição estatística simulada e observada para aplicar essa função no período futuro (MARAUN et al., 2017).

Diferentes formas de corrigir o viés de modelos de clima quando comparados à dados observados foram estabelecidos. Técnicas de correção de viés do tipo *Delta Change* (DC) estabelecem perturbações nas séries observadas a partir do sinal de mudanças climáticas (i.e. média da série RCP futura do modelo de clima), considerando que os modelos de clima utilizados representam de forma realista a área de estudo (MARAUN; WIDMANN, 2018). A relação empregada pelo DC pode ser verificada na Equação 2.

$$y_{i+T}^f = x_{obs,i}^p \frac{y_{mod}^{-f}}{x_{mod}^{-p}} \quad (2)$$

onde y_{i+T}^f é a precipitação simulada no tempo $i+T$, $x_{obs,i}^p$ é a precipitação observada no tempo i , y_{mod}^{-f} é a precipitação média do modelo de clima

e x_{mod}^{-p} é a precipitação observada média do período de controle (MARAUN; WIDMANN, 2018).

Um segundo exemplo de abordagens do tipo correção de viés é a correção aditiva ou proporcional. Esta abordagem estabelece uma relação simples entre as precipitações médias simuladas e as observadas. Este tipo de abordagem corrige somente a média e assume que a variância é corretamente representada pelos modelos de clima (MARAUN; WIDMANN, 2018).

Um terceiro método de correção de viés pode ser o método de *Quantile Mapping* (QM). Métodos de correção por QM corrigem vieses sistemáticos em variáveis simuladas por modelos de clima. O método de QM tende a corromper resultados nas caudas das distribuições, representando melhor valores centrais (CANNON; SOBIE; MURDOCK, 2015).

Algoritmos do tipo QM encontram uma função de transferência (FT) que iguala as curvas de frequência acumulada (CDF) da variável simulada (e.g. precipitação do GCM ou precipitação produto de uma técnica de *Downscaling*) à CDF observada (Figura 4) (PIANI et al., 2010). A FT obtida é então aplicada à variável, de forma que:

$$P_o = FT(P_m) \quad (3)$$

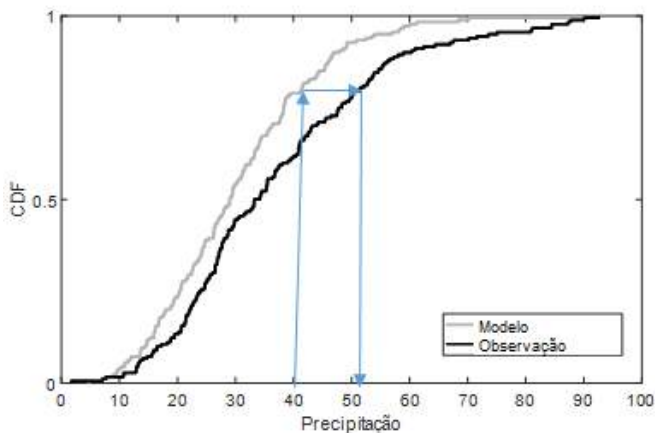
Onde P_o é a precipitação observada e P_m a precipitação modelada (GUDMUNDSSON et al., 2012).

O método de correção de viés por QM tem sido largamente estudado (e.g. ADDOR et al., 2016; CANNON; SOBIE; MURDOCK, 2015; PIERCE et al., 2015; WETTERHALL et al., 2012), e suas limitações definidas. De uma forma abrangente, qualquer método de correção de viés deve ser aplicado com o auxílio de extensiva compreensão dos processos físicos a serem estudados, bem como da capacidade dos modelos de clima em representar tais fenômenos.

Uma limitação deste método de correção de viés está na sua incapacidade de representar corretamente variáveis com magnitudes maiores que as constatadas no período de calibração. Este método pode, portanto, considerar sinais de mudanças climáticas como anomalias e falhar na sua representação (quando o sinal é maior do que o captado no período de calibração). Além de sua limitação nas caudas da distribuição, este método tem a capacidade de modificar a tendência dos modelos de clima, afetando tendências médias e de extremos (MARAUN; WIDMANN, 2018). Esta forma de correção de viés estabelece uma relação estacionária entre os modelos de clima e as observações, o que

pode ser considerado uma limitação uma vez que essa premissa não necessariamente é verdadeira.

Figura 4 - Representação do método de correção de viés por *Quantile Mapping*, que iguala a CDF do modelo à CDF da observação.



2.7 VALIDAÇÃO DAS TÉCNICAS DE DOWNSCALING E CORREÇÃO DE VIÉS

Medidas de adaptação às mudanças climáticas que utilizam métodos de correção de modelos de clima geram resultados mais robustos que àquelas que não levam em consideração esse tipo de informação. As perguntas a serem feitas na escolha do método de correção (i.e. *Downscaling* ou correção de viés) são, portanto: 1) Qual é o problema e 2) Qual variável será simulada e em qual local (MARAUN et al., 2014).

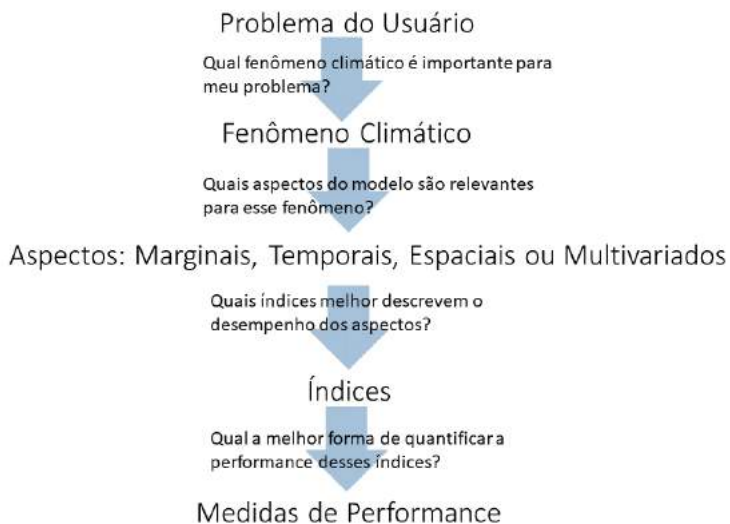
A utilização de modelos de clima no processo de modelagem hidrológico deve levar em consideração as fontes de incertezas dos modelos. Incertezas dos modelos de clima podem estar associadas à diferentes combinações dos parâmetros iniciais (*ensembles*) ou à incorreta representação do sistema climático (STAINFORTH et al., 2007). No contexto das técnicas de correção de modelos climáticos, o desempenho das projeções climáticas pode ser determinado através o quão bem o GCM simula a variável utilizada na projeção de clima local; qual o desempenho da técnica de *Downscaling* em melhorar o resultado inicial (MARAUN et al., 2014). Estas perguntas precisam ser consideradas na avaliação de desempenho dos modelos e das técnicas de *Downscaling* e/ou correção de viés aplicadas.

Métodos de validação são importantes em estabelecer a qualidade do resultado de modelagem (BENESTAD, 2016). Além disso, é importante que o método de validação seja integrado à discussão dos erros acima listados, de forma a garantir a consistência física e estatística do método de *Downscaling* e/ou correção de viés escolhido para as variáveis consideradas, na área de estudo com o horizonte de tempo estabelecido. A correta representação de todas as variáveis do sistema climático simultaneamente não é possível por nenhum método de *Downscaling* ou correção de viés, portanto, a escolha da variável a ser simulada indica qual parte do sistema é relevante (MARAUN et al., 2014).

De forma a auxiliar na seleção de índices relevantes para o problema a ser estudado, a iniciativa europeia *European Union Cooperation in Science and Technology (EU COST) Action ES1102 VALUE*, procura estabelecer processos padrões de validação de modelos. Maraun et. al (2014) desenvolveram uma árvore de decisão para os processos de validação, que pode ser vista na Figura 5. Inicialmente, é preciso que se escolha a variável estudada e em seguida considerar o sistema climático como uma distribuição multivariada com aspectos temporais, marginais e espaciais. A partir da seleção desses aspectos, os índices são determinados de forma a quantificá-los. Por fim, é feita a seleção das medidas de desempenho, de forma a comparar os produtos do procedimento de correção com os valores de referência observados (MARAUN et al., 2014).

Variáveis apresentam dependências temporais, especialmente devido à mecanismos de feedback (MARAUN; WIDMANN, 2018). Aspectos temporais incluem métricas como ciclo anual, interanual ou decadal; tendências (MARAUN et al., 2010), bem como índices mais específicos à certas regiões, como sazonalidade. Aspectos marginais incluem intensidades e extremos de precipitação (MARAUN et al., 2014) bem como médias e desvios padrão de distribuições. (GUTIÉRREZ et al., 2018). Aspectos espaciais abordam a dependência espacial sistemática. Aspectos multivariados exploram a relação entre diferentes variáveis meteorológicas (e.g. duração média de insolação e ocorrência de precipitação estão correlacionadas de forma inversa) (MARAUN; WIDMANN, 2018).

Figura 5- Árvore de Decisão do Método de Validação. Os aspectos abordados neste trabalho serão temporais e marginais.



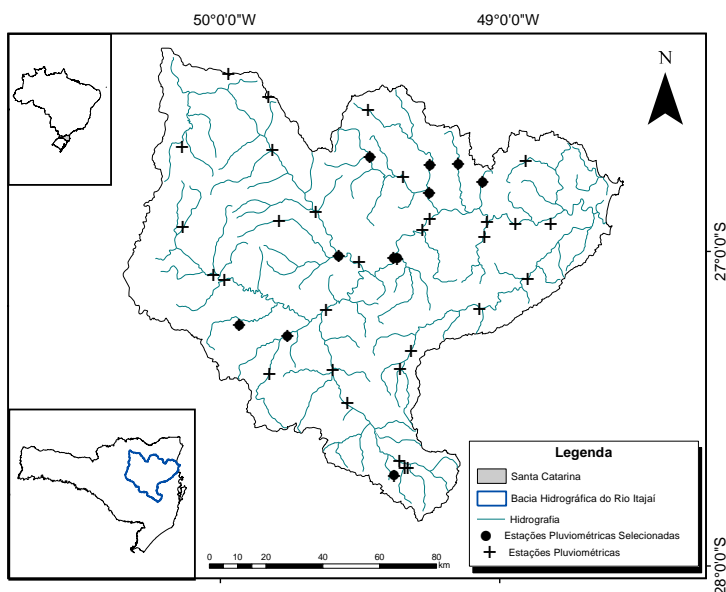
Fonte: - Adaptado de Maraun et al., (2015)

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.2 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo escolhida para o desenvolvimento deste trabalho é a bacia do Rio Itajaí (Figura 6), localizada na porção centro norte do estado de Santa Catarina, com uma área total de aproximadamente 15000km². A região é especialmente importante em termos de eventos extremos – estima-se que entre 1980 e 2010 houve um prejuízo de R\$464,3 milhões decorrentes de inundações bruscas (HERRMANN et al., 2014). A área em questão foi escolhida pela sua importância regional, sendo a maior Bacia Hidrográfica de Vertente Atlântica do Estado, e tendo grande importância, portanto, na manutenção da qualidade das zonas costeiras da região. Além de sua importância ecológica, a bacia do Rio Itajaí também demonstra sua importância na economia a nível estadual e federativo devido à sua atividade portuária, pesqueira e industrial.

Figura 6 - Localização da Área de Estudo. As estações pluviométricas selecionadas estão representadas pelos círculos pretos e o restante das estações pluviométricas estão representadas pelas cruzes.



3.3 SÉRIES HISTÓRICAS DE PRECIPITAÇÃO

De forma a quantificar a realidade pluviométrica da área de estudo, serão utilizados os dados disponibilizados pela Agência Nacional de Águas (ANA) através do seu portal HidroWeb. As estações pluviométricas escolhidas podem ser verificadas no mapa apresentado na Figura 6.

Os critérios de seleção das estações pluviométricas utilizadas neste trabalho são não apresentar mais de 20% de falhas anuais e serem homogêneas. O período de estudo escolhido foi de 1975 a 2004, separado igualmente entre calibração (1975-1989) e validação (1990-2004). Tal período foi escolhido por ter o maior número possível de estações com 30 anos consecutivos de dados que se enquadrem nos critérios de seleção.

Em sua totalidade, existem 72 Estações Pluviométricas no interior da área de estudo, porém somente 11 se enquadram nos critérios citados. Todas as estações são de responsabilidade da ANA e operação da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (Epagri/SC). As estações utilizadas podem ser vistas na Tabela 1.

Tabela 1- Estações pluviométricas utilizadas

Código Pluviométrico	Nome da Estação	Município	Latitude (°N)	Longitude (°E)
2649002	Pomerode	Pomerode	-26.74	310.83
2649004	Timbó Novo	Timbó	-26.83	310.73
2649008	Arroazeira	Rio dos Cedros	-26.74	310.73
2649010	Itoupava Central	Blumenau	-26.79	310.92
2649017	Doutor Pedrinho	Doutor Pedrinho	-26.72	310.52
2749000	Apiuna - Régua Nova	Apiúna	-27.04	310.46
2749005	Nova Bremen Dalbergia	Ibirama	-27.03	310.58
2749006	Pouso Redondo	Pouso Redondo	-27.26	310.06
2749007	Lomba Alta	Alfredo Wagner	-27.73	310.62
2749013	Trombudo Central	Trombudo Central	-27.29	310.23
2749016	Neisse Central	Apiúna	-27.04	310.62

3.4 DADOS DE MODELOS DE CLIMA DO CMIP5

De forma a obter-se a maior abrangência possíveis das incertezas relacionadas aos modelos de clima, este estudo utilizou 29 modelos de clima (Tabela 2). Certos modelos apresentam mais de um *ensemble*, cada uma com diferentes combinações de parâmetros iniciais (i.e. inicialização, parâmetros de realização e parâmetros físicos). Ao todo, portanto, foram utilizadas 41 simulações diferentes neste trabalho.

Tabela 2 - Modelos de clima do CMIP5 utilizados neste trabalho, organizados por instituição responsável. A sigla do ensemble diz respeito à qual parâmetro o modelo descreve (e.g. realização 1, inicialização 1 e físico 1 – r1i1p1)

Acronônimo	Instituição Responsável	País de origem	Ensemble	Tamanho do Grd (graus)
ACCESS1-0	CSIRO	Austrália	r1i1p1	1.875°x1.25°
ACCESS1-3	CSIRO	Austrália	r1i1p1	1.875°x1.25°
BNU-ESM	GCESS,BNU	China	r1i1p1	2.812°x2.79°
CMCC-CMS	CMCC	Itália	r1i1p1	1.25°x0.942°
CMCC-CM	CMCC	Itália	r1i1p1	0.75°x0.75°
CCSM4	NCAR	EUA	r6i1p1	1.25°x0.942°
CNRM-CM5	CNRM ,CERFACS	França	r1i1p1	1.406°x1.400°
CSIRO-Mk3-6-0	CSIRO, QCCCE	Austrália	r1i1p1	1.875°x1.865°
CanESM2	CCCma	Canada	r1i1p1, r2i1p1, r3i1p1, r4i1p1,	2.812°x2.79°
FGOALS-g2	IAP,THU	China	r1i1p1	2.812°x2.79°
GFDL-CM3	NOAA	EUA	r1i1p1	2.5°x2°
GFDL-ESM2G	NOAA	EUA	r1i1p1	2.5°x2.02°
GFDL-ESM2M	NOAA	EUA	r1i1p1	2.5°x2.02°
HadGEM2-CC	Met Office Hadley Centre	Reino Unido	r1i1p1, r2i1p1, r3i1p1	1.875°x1.25°
MIROC-ESM-CHEM	JAMSTEC, AORI, NIES	Japão	r1i1p1	2.812°x2.79°
MIROC-ESM	JAMSTEC, AORI, NIES	Japão	r1i1p1	2.812°x2.79°
MIROC4h	JAMSTEC, AORI, NIES	Japão	r1i1p1	0.562°x0.562°
MIROC5	JAMSTEC, AORI, NIES	Japão	r1i1p1, r2i1p1, r3i1p1	1.406°x1.400°
MPI-ESM-LR	Max Planck Institute for Meteorology	Alemanha	r1i1p1, r2i1p1, r3i1p1	1.875°x1.865°
MPI-ESM-MR	Max Planck Institute for Meteorology	Alemanha	r1i1p1, r2i1p1, r3i1p1	1.875°x1.865°
MRI-CGCM3	MRI	Japão	r1i1p1	1.125°x1.121°
MRI-ESM1	MRI	Japão	r1i1p1	1.125°x1.121°
NorESM1-M	NCC	Noruega	r1i1p1	2.5°x1.895°
BCC-CSM-1-1M	BCC	China	r1i1p1	1.125°x1.121°
BCC-CSM-1-1	BCC	China	r1i1p1	2.812°x2.79°
INMCM4	INM	Russia	r1i1p1	2°x1.5°
CCSM4	NCAR	EUA	r6i1p1	1.25°x0.942°
GISS-E2-R	NASA/GISS	EUA	r6i1p1, r6i1p3	2.5°x2°
GISS-E2-H	NASA/GISS	EUA	r6i1p3	2.5°x2°

3.5 TESTE DE HOMOGENEIDADE DAS SÉRIES HISTÓRICAS

Para qualquer tipo de análise é preciso garantir que os dados observados utilizados são homogêneos e independentes, isto é, que todas as observações tenham sido extraídas da mesma população. De forma prática, testes de homogeneidade garantem que a série histórica de certa estação pluviométrica não apresente descontinuidades ocasionais ou sistêmicas (e.g. erros de medição, alteração do uso do solo, alteração física da estação).

Os testes de homogeneidade utilizados foram o *Standard Normal Homogeneity Test* (SNHT), o Teste de Pettit, o Teste de Buishand e o Teste de von Neumann, através do Software XLStat. Os testes foram realizados na escala temporal anual.

O SNHT, descrito por Alexandersson em 1986, testa a hipótese de homogeneidade através de uma sequência de razões Q_i entre os valores a serem testados Y e um valor de referência Y_i . O cálculo leva em consideração a correlação ρ_j entre a série testada e a qual ela está sendo comparada X_{ij} .

$$Q_i = Y_i - \{ \sum \rho_j^2 [X_{ji} - X_j + Y] / \sum \rho_j^2 \} \quad (4)$$

Os valores devem ser normalizados Z_i , e esta técnica é utilizada para encontrar valores críticos que deem um indicativo de homogeneidade ou não-homogeneidade da série.

$$Z_i = \frac{Q_i - Q_m}{\sigma_Q} \quad (5)$$

onde Q_m é a média das razões Q_i e σ_Q o desvio padrão. O teste aceita a hipótese nula H_0 que os dados são homogêneos se Z_i estiver entre 0 e 1. (ALEXANDERSSON; MOBERG, 1997)

O Teste de Pettit consiste em um teste não paramétrico que não exige conhecimento prévio da distribuição. O teste estabelece se duas séries vem da mesma distribuição estatística (PETTITT et al., 1978). A hipótese nula (que as duas amostras vem de uma mesma população, isto é, a série é homogênea) é testada através do parâmetro K_t .

$$K_t = \max_{1 < i < T} |U_{i,T}| \quad (6)$$

onde $U_{i,T}$ é dado por:

$$U_{i,T} = \sum_{j=1}^t \sum_{j=i+1}^T Dij \quad (7)$$

onde t é o primeiro intervalo de tempo analisado (X_1, \dots, X_t) e T é o segundo período analisado (X_{t+1}, \dots, X_T). Dij é equivalente ao teste não paramétrico de Mann-Whitney, que compara valores X da série analisada.

$$Dij = \text{sng}(X_i - X_j) \quad (8)$$

O Teste de von Neumann estabelece razões (N) de somatórios de diferenças quadráticas entre pares da série testada (Y), a fim de estabelecer descontinuidades nos valores testados (BUISHAND, 1982).

$$N = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} (Y_i - Y_{i+1})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - Y_m)^2} \quad (9)$$

onde o índice i estabelece o passo de tempo, n o número de valores e Y_m a média da série. O teste não aceita a hipótese nula de que a série é homogênea caso $N < 2$.

O Teste de Buishand tem a premissa de que os valores testados seguem uma distribuição normal e são independentes. O teste pode, no entanto, ser aplicado às variáveis que destoem levemente da distribuição normal. O teste consiste em uma análise de desvios Δ da média μ para estabelecer a homogeneidade da série Y (BUISHAND, 1982)

$$E(Y_i) = \begin{cases} \mu, & i = 1, \dots, m \\ \mu + \Delta, & i = m + 1, \dots, n \end{cases} \quad (10)$$

Onde μ é a média da série, Δ o desvio da média, m o primeiro passo de tempo e n o último.

3.6 CORREÇÃO DE VIÉS POR QUANTILE MAPPING

Duas formas do método de correção por QM foram testadas: um método aqui chamado de “anual” (QM Anual), que estabelece uma única função de transformação para toda a série e um método aqui chamado de “mensal” (QM Mensal), que discrimina a série em 12 meses e calcula uma função de transformação para cada mês.

3.7 PROCESSO DE VALIDAÇÃO

Este trabalho optou por analisar duas classes de aspectos: temporais e marginais (ver Figura 5). O índice utilizado para a quantificar do aspecto temporal neste trabalho é o Índice de Sazonalidade de Markham, que será descrito a seguir, bem como a análise gráfica do ciclo anual. Aqui, os índices utilizados para quantificar os aspectos marginais são o teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov, análise de precipitação máxima mensal bem como estatísticas básicas (i.e. média, desvio padrão e coeficiente de variância) da precipitação total anual.

3.7.1 Aspecto Temporal

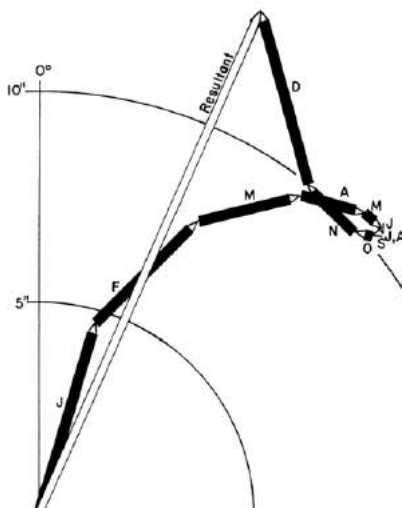
3.7.1.1 Ciclo Anual

O ciclo Anual descreve visualmente a variabilidade intraanual da precipitação, sendo uma inspeção visual da sazonalidade (discutida abaixo). O ciclo anual é uma forma gráfica simples de analisar o desempenho dos modelos de clima corrigidos e não corrigidos em representar a sazonalidade observada.

3.7.1.2 Sazonalidade

Sazonalidade pode ser definida como a distribuição temporal de um certo fenômeno em um certo período. Uma forma de descrever a sazonalidade de precipitação é através do Índice de Sazonalidade de Markham (Is). O índice pode variar de 0 a 1, sendo quanto mais perto de 1, maior a concentração de precipitação em um certo mês. No Is, a precipitação média mensal é descrita como um vetor, onde a magnitude é a precipitação e a direção é o mês do ano expresso em unidade angular. O vetor de precipitação anual é a soma dos doze vetores respectivos à cada mês do ano e descreve a sazonalidade do período, onde a direção, o período sazonal e a magnitude a expressão do quão sazonal o período é (MARKHAM; 1970). A descrição do índice pode ser explicada graficamente através da Figura 7.

Figura 7 - Vetores que descrevem a precipitação média mensal na abordagem de Markham.



Fonte: Markham, 1970

O valor de precipitação anual pode ser descrito como a hipotenusa do cálculo mensal (Pr). Onde:

$$Sp = \sum_{m=1}^{12} P_m \text{sen}(\Phi_m) \quad (11)$$

$$Cp = \sum_{m=1}^{12} P_m \text{cos}(\Phi_m) \quad (12)$$

Em que P_m é a precipitação total mensal, e Φ é a angulação que representa o mês em questão.

O índice pode então ser calculado como a razão entre a precipitação anual e a somatória das precipitações mensais:

$$Is = \frac{Pr}{\sum_{m=1}^{12} P_m} \quad (13)$$

3.7.2 Aspecto Marginal

3.7.2.1 Distribuição Estatística: Teste de Aderência de Kolmogorov-Smirnov

De forma a testar as distribuições resultantes dos modelos de clima corrigidos ou não, o teste escolhido é o Teste de Aderência de Kolmogorov-Smirnov (K-S teste). Trata-se de um teste não paramétrico, que tem como base a diferença máxima entre as funções de probabilidades acumuladas (CDF) de variáveis aleatórias contínuas.

$$KS = \max |F(x_1) - F(x_2)| \quad (14)$$

Onde KS é o resultado do teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov, $F(x_1)$ e $F(x_2)$ são as funções de densidade acumulada das duas distribuições a serem testadas.

3.7.2.2 Análise de Precipitação Total Anual

Um dos aspectos marginais escolhidos para a verificação do desempenho do método de correção em aproximar a simulação à realidade foi a Precipitação Total Anual. Este aspecto desconsidera a variabilidade intraanual. Serão abordados como índices a precipitação total anual média, seu desvio padrão bem como o coeficiente de variação.

3.7.2.3 Análise de Precipitação Máxima

A análise de precipitação máxima mensal será feita através das distribuições estatísticas de precipitação máxima antes e depois da correção. Será utilizada a análise das CDF de todas as estações bem como a análise de função de densidade de probabilidade (PDF) da bacia como um todo (i.e. MME).

A análise de precipitação máxima mensal é especialmente importante devido à área de estudo escolhida (extenso histórico de inundações). Igualmente, a de precipitação máxima é importante para analisar o desempenho do método em corretamente representar as caudas da distribuição de precipitação.

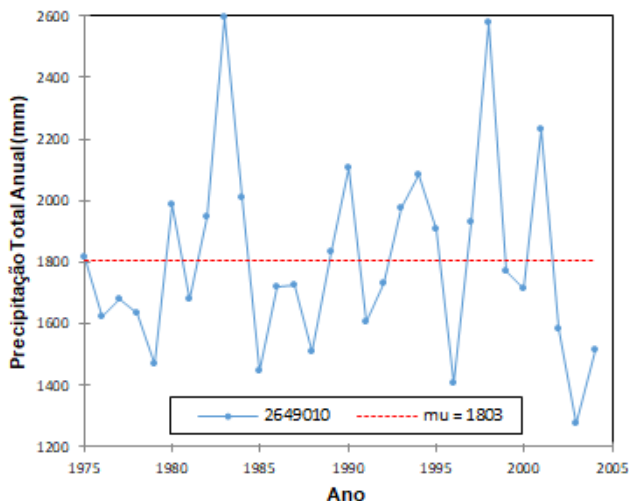
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Todas as análises foram empregadas para as estações pluviométricas estabelecidas no tópico 3.2. No entanto, de forma a garantir uma discussão mais clara, somente a estação 2649010, localizada no município de Blumenau será exemplificada nesta sessão. O restante das estações pluviométricas pode ser visto nos apêndices.

4.1 TESTE DE HOMOGENEIDADE DAS SÉRIES HISTÓRICAS

Todas as estações escolhidas se mostraram homogêneas em todos os testes. Os testes foram realizados a partir da série de precipitação total anual no período de completo (1975-2004). Não foi encontrada nenhuma descontinuidade nas séries históricas utilizadas como base para as análises de correção de viés dos modelos de clima. A hipótese de homogeneidade das séries históricas deve ser cumprida de forma a não propagar efeitos de mudanças bruscas nas correções dos modelos de clima. Uma ilustração do teste de homogeneidade pode ser verificada na Figura 8, que ilustra o teste SNHT para a estação 2649010 para todo o período estudado.

Figura 8 - Teste de homogeneidade SNHT para a estação 2649010, localizada no município de Blumenau



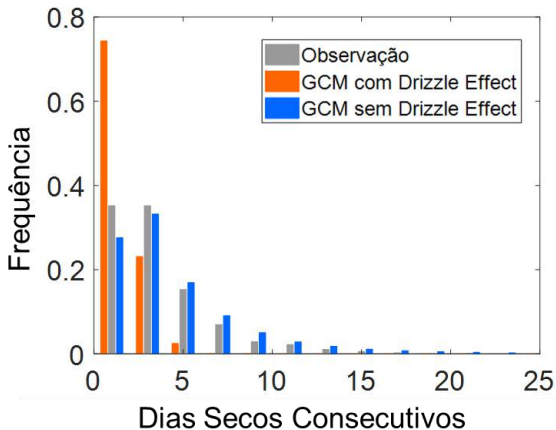
4.2 ANÁLISE DE DRIZZLE EFFECT

Precipitações em modelos de clima são representadas através da média da grade de resolução do modelo e tendem a aumentar o número de dias secos e aumentar dias com precipitações muito baixas (abaixo de 1 mm).

É possível verificar que os modelos de clima que apresentam o *Drizzle Effect* amplificam a ocorrência de número de dias secos consecutivos baixos (de 1 a 5 dias) e diminuem ocorrências maiores, indicando que a ocorrência de dias secos é baixa.

De forma a corrigir este efeito, um limite mínimo de 1mm/dia de precipitação foi estabelecido, conforme executado por Maraun et al. (2010) (Figura 9). Após o estabelecimento deste limite, a distribuição de dias secos consecutivos se aproxima da realidade (em comparação aos modelos que apresentam o *Drizzle Effect*), embora ainda haja uma superestimava da ocorrência de dias secos consecutivos, em especial para eventos longos de períodos não chuvosos (acima de 20 dias - não demonstrado na figura).

Figura 9 - Frequência de dias secos consecutivos para os modelos de clima com *Drizzle Effect* (barras laranjas), sem *Drizzle Effect* (barras azuis) e observação (barras cinzas) na estação 2649010, localizada no município de Blumenau.



4.3 MÉTODO DE CORREÇÃO DE VIÉS

Duas formas do método de correção por QM foram testadas o QM Anual, que estabelece uma única função de transformação para toda a série e o QM Mensal, que discrimina a série em 12 meses e calcula uma função de transformação para cada mês.

É possível constatar que os modelos de clima não corrigidos, de uma forma geral, tendem a superestimar os quantis de precipitação. Isto ocorre tanto nos quantis não corrigidos do método QM Anual quanto no método QM Mensal. De uma forma geral, independentemente da forma de implementação do método de QM, a premissa básica é atendida: a função de transformação iguala a distribuição observada e a simulada no período de calibração (Figura 10 e Figura 11). Para o período de validação, é possível constatar que os quantis corrigidos se aproximam da realidade quando comparados às suas formas não corrigidas.

Figura 10 - Método de QM Anual para todas as estações no período de calibração para a estação 2649010, localizada no município de Blumenau. Os círculos em laranja são os quantis dos modelos não corrigidos e os azuis claros dos quantis corrigidos. A linha preta simboliza a linha 1:1

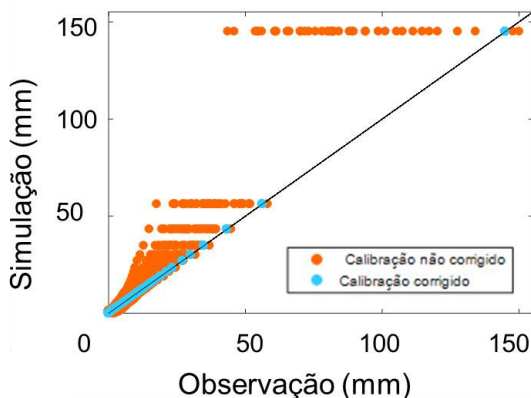
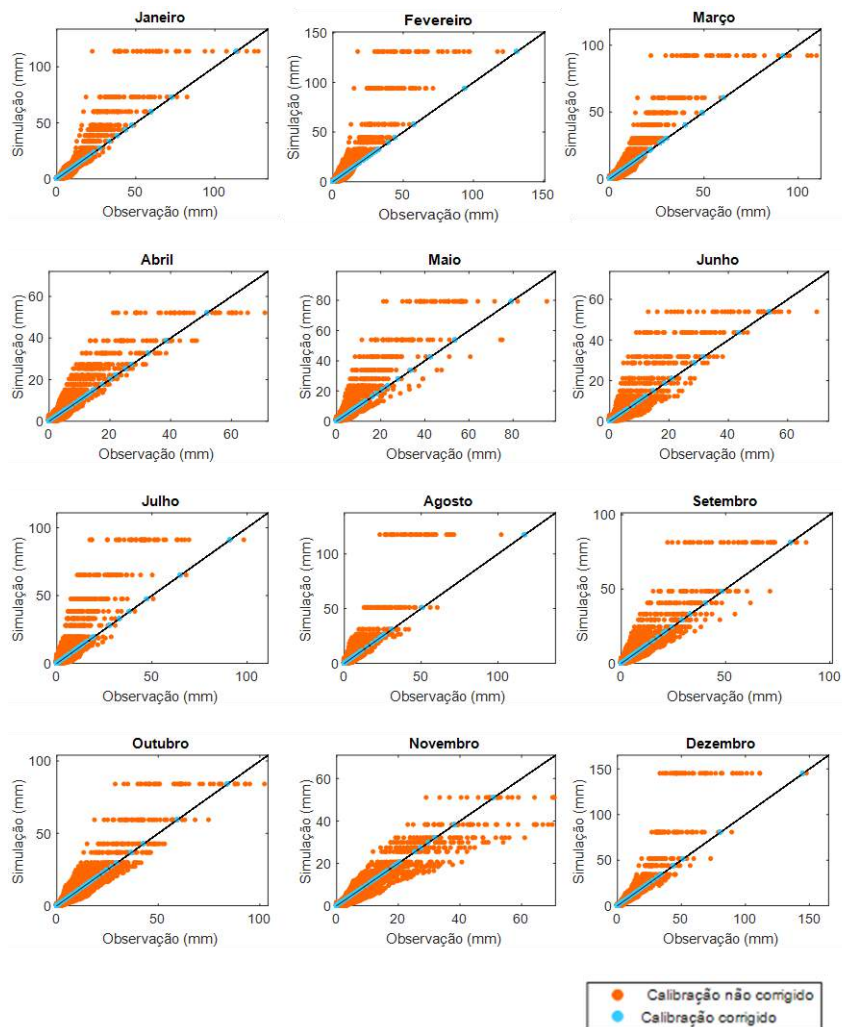


Figura 11 - Método de QM Mensal para a estação 2649010, localizada no município de Blumenau, no período de calibração. Os círculos em laranja são os quantis dos modelos não corrigidos e os azuis claros dos quantis corrigidos. A linha preta simboliza a linha 1:1.



Para o período de validação, no que tange à distribuição dos quantis, o método QM Anual aparenta corrigir mais satisfatoriamente os quantis (Figura 12). Isto se dá pelo método tender, em modelos onde a

variabilidade climática é grande, a diminuir a variabilidade em todas as escalas temporais (PIERCE et al., 2015). O método QM Anual, portanto, diminui a variabilidade da série anual como um todo. Para o método QM Mensal (Figura 13), onde não há uma variabilidade tão grande, a validação diminui a distância entre os quantis da simulação e a observação. Enquanto o QM Anual tende a superestimar os quantis, o mesmo não ocorre no método QM Mensal, que por vezes subestima os quantis, especialmente os médios. O método de correção de viés, como já discutido, não deve ser utilizado sem um entendimento dos fenômenos físicos estudados. A avaliação do desempenho do método, então, não deve ser determinada somente pela distribuição marginal da precipitação (i.e. quantis). Como forma de avaliação do melhor método de correção (i.e. QM Anual ou QM Mensal) será utilizado o aspecto marginal Ciclo Anual.

Figura 12 - Método de QM Anual para a estação 2649010, localizada no município de Blumenau, no período de validação. Os círculos em vermelho são os quantis dos modelos não corrigidos e os azuis dos quantis corrigidos. A linha preta simboliza a linha 1:1

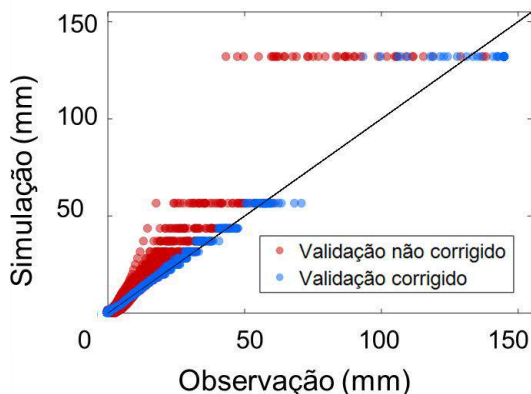
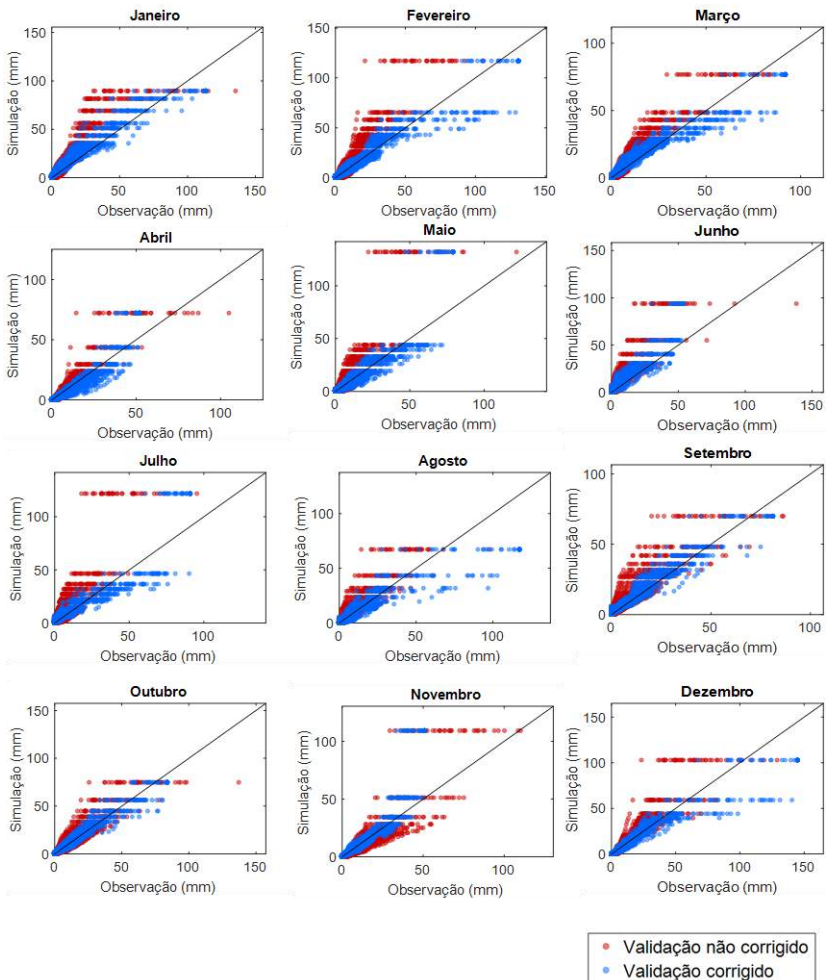


Figura 13 - Método de QM Mensal para a estação 2649010, localizada no município de Blumenau, no período de validação. Os círculos em vermelho são os quantis dos modelos não corrigidos e os azuis dos quantis corrigidos. A linha preta simboliza a linha 1:1

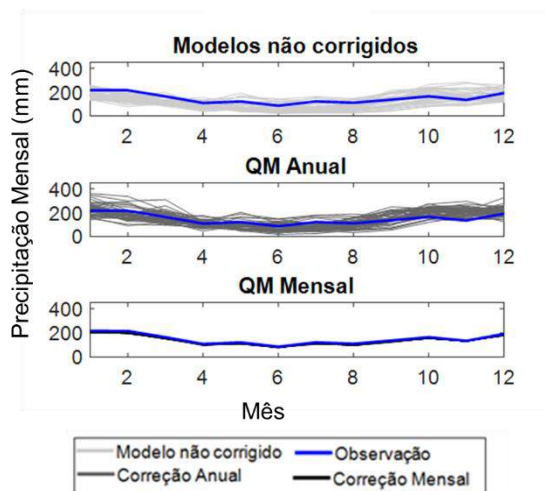


4.4 VALIDAÇÃO: ASPECTO TEMPORAL

4.4.1 Ciclo Anual

O ciclo anual descreve a distribuição da precipitação ao longo do ano hidrológico, que para os propósitos deste trabalho, coincide com o calendário gregoriano. O método QM Mensal se mostra mais adequado do que o QM Anual, chegando a valores muito próximos à realidade no período de calibração (Figura 14). Isto se dá pelo fato do método mensal contar com uma função de transferência para cada mês, respeitando a amplitude pluviométrica de cada mês. O método QM Mensal, portanto, diminui a variabilidade mensal de precipitação consideravelmente quando comparado à sua contrapartida anual.

Figura 14- Ciclo Anual dos modelos não corrigidos (linhas cinzas), dos modelos corrigidos pelo QM Anual (linhas chumbo) e pelo QM Mensal (linhas pretas) e da observação (linhas azuis) para a estação 2649002, localizada no município de Blumenau para o período de calibração.

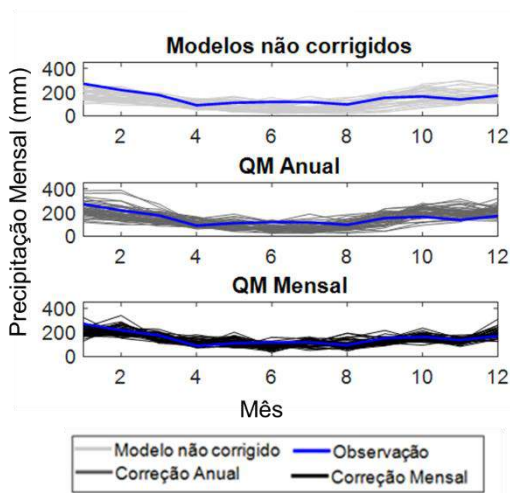


Para o período de validação o método QM Mensal continua se mostrando superior ao QM Anual, embora seu desempenho tenha diminuindo em relação ao período de calibração (Figura 15). Isto se dá pela natureza não estacionária do sistema climático. Pode-se inferir, portanto, que a relação entre a simulação e a observação seja também não-

estacionária – que implicaria em inferir que a premissa do método (que a relação entre simulação e observação é estacionária) pode não ser confiável.

Considerando as diferenças quanto ao ciclo anual, a partir deste ponto as análises serão feitas somente a partir do método mais representativo da realidade, isto é, somente a partir do método QM Mensal.

Figura 15 - Ciclo Anual dos modelos não corrigidos (linhas cinzas), dos modelos corrigidos pelo QM Anual (linhas chumbo) e pelo QM Mensal (linhas pretas) e da observação (linhas azuis) para a estação 2649002, localizada no município de Blumenau para o período de validação.



4.4.2 Sazonalidade

A análise de Sazonalidade pode ser feita de forma paralela à análise do ciclo anual. Portanto, os resultados de sazonalidade seguem o mesmo raciocínio que o utilizado na seção anterior. Inicialmente, foi estabelecido o Índice de Sazonalidade de Markham para cada estação utilizado como referência para comparação. Em princípio, quanto mais perto de 1 o índice de sazonalidade de Markham, mais a chuva está concentrada em um único mês e quanto mais perto de 0 mais a chuva está igualmente distribuída pelos meses. Os resultados obtidos para as estações pluviométricas demonstram um resultado de sazonalidade muito baixos, tanto no período de calibração quanto para o período de validação (Tabela 3), indicando que a chuva na região é bem distribuída pelo ano. O período de validação se mostra levemente mais sazonal que o período de calibração. Embora a sazonalidade dos modelos não corrigidos não seja alta, ainda é maior do que a da observação. Após a correção, a sazonalidade média das 41 simulações se aproxima consideravelmente à realidade.

Tabela 3 - Comparativo entre os índices de sazonalidade da observação, do índice de sazonalidade médio dos modelos não corrigidos e do índice de sazonalidade médio dos modelos corrigidos, para os períodos de calibração e validação.

Estação	Calibração			Validação		
	Observação	Modelos não corrigidos	Modelos corrigidos	Observação	Modelos não corrigidos	Modelos corrigidos
2649002	0.18	0.21	0.18	0.19	0.22	0.19
2649004	0.16	0.21	0.17	0.16	0.22	0.17
2649008	0.16	0.22	0.17	0.17	0.22	0.17
2649010	0.17	0.21	0.18	0.18	0.21	0.18
2649017	0.15	0.22	0.15	0.16	0.23	0.16
2749000	0.12	0.20	0.13	0.14	0.20	0.13
2749005	0.07	0.21	0.07	0.13	0.22	0.08
2749006	0.11	0.22	0.12	0.14	0.22	0.12
2749007	0.09	0.18	0.09	0.12	0.18	0.09
2749013	0.11	0.21	0.12	0.12	0.22	0.11
2749016	0.13	0.21	0.13	0.14	0.21	0.14

De uma maneira geral, os modelos não corrigidos superestimam a sazonalidade na área de estudo. Este efeito, no entanto, é reduzindo após o processo de correção, que faz com que a sazonalidade se torne mais próxima da realidade, na maioria dos casos.

Para o período de calibração, todos os modelos corrigidos demonstram uma concordância com a realidade. Para o período de validação (Figura 17), de uma forma geral, os modelos corrigidos se aproximaram da realidade, embora alguns modelos tenham demonstrado um desempenho pior que os não corrigidos no período de calibração (Figura 16). Os modelos que mais se aproximaram da realidade foram aqueles das instituições CSIRO, CCma, *Max Planck Institute*, NOAA, JAMSTEC conjuntamente com AORI e o NIES, NASA/GISS e *Met Office*.

Figura 16 - Sazonalidade dos modelos não corrigidos (círculos cinzas), dos modelos corrigidos (círculos pretos) e da observação (linha tracejada azul) para a estação 2649010, localizada no município de Blumenau no período de calibração

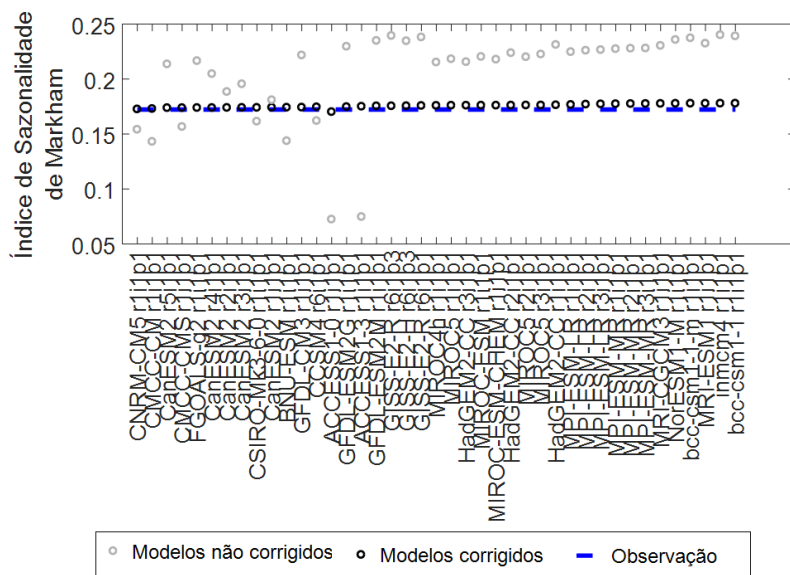
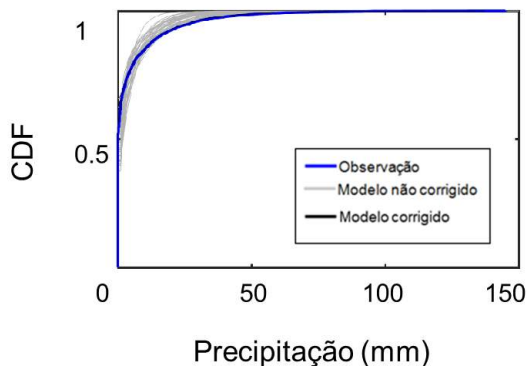


Figura 18 - CDF dos modelos não corrigidos (linhas cinzas), dos modelos corrigidos (linhas pretas) e da observação (linhas azuis) para o período de calibração para a estação 2649010, localizada no município de Blumenau.



Dentre os modelos, aqueles que apresentaram melhor desempenho após a correção, isto é, aqueles em que após a correção aceitaram a hipótese nula em todas as estações foram os modelos CCSM4, CNRM-CM5 e HadGEM-CC (Tabela 4) O modelo que teve o pior desempenho, com aceitação da hipótese nula somente em uma estação foi o modelo GFDL-ESM2M. Seguindo este modelo, com aceitação somente em 3 estações estão os modelos CSIRO-Mk3-6-0 e o modelo MIROC5, sob responsabilidade do JAMSTEC.

Tabela 4- Resultado do teste K-S no período de calibração (segunda coluna) e validação (terceira coluna) para todas as simulações

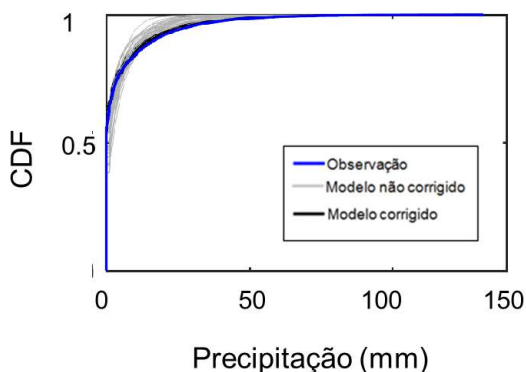
Acrônimo	Número de estações que aceitam a hipótese nula na calibração	Número de estações que aceitam a hipótese nula na validação
ACCESS1-3 r1ilp1	10	4
CNRM-CM5 r1ilp1	11	4
HadGEM2-CC r1ilp1	10	4
HadGEM2-CC r2ilp1	11	4
BNU-ESM r1ilp1	8	3
CCSM4 r6ilp1	11	3
CanESM2 r2ilp1	10	3
FGOALS-g2 r1ilp1	10	3
NorESM1-M r1ilp1	6	3
bcc-csm1-1-m r1ilp1	9	3
CanESM2 r3ilp1	10	2
CanESM2 r4ilp1	10	2
CanESM2 r5ilp1	10	2
MIROC4h r1ilp1	10	2
MIROC5 r2ilp1	7	2
MIROC5 r3ilp1	7	2
MRI-CGCM3 r1ilp1	6	2
MRI-ESM1 r1ilp1	6	2
ACCESS1-0 r1ilp1	8	1
CMCC-CM r1ilp1	6	1
CSIRO-Mk3-6-0 r1ilp1	3	1
CanESM2 r1ilp1	10	1
GFDL-ESM2G r1ilp1	5	1
GISS-E2-R r6ilp1	7	1
MIROC-ESM-CHEM r1ilp1	5	1
MIROC-ESM r1ilp1	6	1
MIROC5 r1ilp1	7	1
MPI-ESM-LR r1ilp1	3	1
MPI-ESM-MR r3ilp1	5	1
bcc-csm1-1 r1ilp1	5	1
inmcm4 r1ilp1	6	1
CMCC-CMS r1ilp1	6	0
GFDL-CM3 r1ilp1	8	0
GFDL-ESM2M r1ilp1	1	0
GISS-E2-H r6ilp3	6	0
GISS-E2-R r6ilp3	8	0
HadGEM2-CC r3ilp1	11	0
MPI-ESM-LR r2ilp1	5	0
MPI-ESM-LR r3ilp1	5	0
MPI-ESM-MR r1ilp1	5	0
MPI-ESM-MR r2ilp1	5	0

Quanto ao período de validação (Figura 19), os modelos não corrigidos não aceitam a hipótese nula. Após passar pelo método de

correção, o número de modelos que aceitaram a hipótese nula não aumentou da mesma forma que no período de calibração. Os modelos com melhor desempenho apresentaram somente 4 aceites dentre as 11 estações, resultando em aproximadamente 36% de melhoria frente aos modelos sem correção (nas melhores performances).

Os modelos com melhor performance foram ACCESS1-3, HadGEM-CC e CNRM-CM5. Quanto aos modelos com o pior desempenho, onde não foi aceita a hipótese nula em nenhuma estação, estão os modelos CMCC-CMS, GFDL-CM3, GFDL-ESM2M, GISS-E2-H, GISS-E2-R, MPI-ESM-LR e MPI-ESM-MR (Tabela 3).

Figura 19 - CDF dos modelos não corrigidos (linhas cinzas), dos modelos corrigidos (linhas pretas) e da observação (linhas azuis) para o período de validação para a estação 2649010, localizada no município de Blumenau.



4.5.2. Precipitação Total Anual

O segundo aspecto marginal analisado por este trabalho é a Precipitação Total Anual. O comparativo entre as estatísticas básicas da observação, dos modelos não corrigidos e dos modelos corrigidos podem ser vistos na Tabela 5 para o período de calibração e na Tabela 6 para o período de validação. O período de calibração apresenta uma precipitação anual levemente menor do que o período de validação – o que pode indicar uma maior ocorrência de eventos de precipitação mais intensos. Os modelos não corrigidos subrepresentam a precipitação total anual, chegando a uma subrepresentação de na ordem de 500 mm/ano em casos como o da estação 2649002 (localizada no município de Pomerode) no

período de validação. Os modelos corrigidos, por sua vez, tem uma melhor representatividade da área de estudo.

Tabela 5 - Estatísticas básicas da Precipitação Total Anual para as observações, modelos não corrigidos e modelos corrigidos pelo QM Mensal no período de calibração

Estação	CALIBRAÇÃO								
	Precipitação total média (mm)			Desvio padrão médio (mm)			Coeficiente de variação (-)		
	Observação	Modelo não corrigido	Modelo corrigido	Observação	Modelo não corrigido	Modelo corrigido	Observação	Modelo não corrigido	Modelo corrigido
2649002	1908.30	1498.19	1820.61	395.08	216.10	301.97	0.21	0.14	0.17
2649004	1712.78	1507.40	1642.28	376.78	216.70	287.73	0.22	0.14	0.18
2649008	1749.94	1508.79	1668.32	382.42	216.74	310.11	0.22	0.14	0.19
2649010	1782.43	1486.11	1700.29	295.76	215.56	295.45	0.17	0.15	0.17
2649017	1724.67	1527.97	1647.01	404.66	217.84	290.47	0.23	0.14	0.18
2749000	1578.55	1490.32	1509.87	415.66	216.95	265.61	0.26	0.15	0.18
2749005	1339.25	1517.61	1289.87	350.17	217.94	239.31	0.26	0.14	0.19
2749006	1494.81	1534.73	1426.42	377.74	217.36	253.72	0.25	0.14	0.18
2749007	1533.51	1476.27	1469.98	389.70	210.80	254.11	0.25	0.14	0.17
2749013	1445.71	1526.76	1378.58	340.44	216.97	243.74	0.24	0.14	0.18
2749016	1553.45	1513.70	1477.49	433.12	217.76	261.54	0.28	0.14	0.18

Tabela 6 - Estatísticas básicas da Precipitação Total Anual para as observações, modelos não corrigidos e modelos corrigidos pelo QM Mensal no período de validação

Estação	VALIDAÇÃO								
	Precipitação total média (mm)			Desvio padrão médio (mm)			Coeficiente de variação (-)		
	Observação	Modelo não corrigido	Modelo corrigido	Observação	Modelo não corrigido	Modelo corrigido	Observação	Modelo não corrigido	Modelo corrigido
2649002	2001.62	1502.13	1865.61	336.85	220.23	310.38	0.17	0.15	0.17
2649004	1773.91	1511.14	1686.72	301.42	220.07	293.72	0.17	0.15	0.17
2649008	1809.94	1512.85	1716.81	324.16	220.27	316.29	0.18	0.15	0.18
2649010	1827.97	1489.55	1744.37	340.33	219.92	304.22	0.19	0.15	0.17
2649017	1816.44	1532.39	1689.23	340.50	220.67	292.78	0.19	0.14	0.17
2749000	1656.33	1493.20	1551.33	272.20	220.18	273.89	0.16	0.15	0.18
2749005	1588.68	1521.22	1326.70	306.66	220.53	248.28	0.19	0.14	0.19
2749006	1631.64	1538.87	1462.19	279.46	221.95	258.74	0.17	0.14	0.18
2749007	1598.30	1478.01	1497.93	222.49	214.01	261.92	0.14	0.14	0.17
2749013	1594.79	1530.52	1412.26	310.33	220.91	251.61	0.19	0.14	0.18
2749016	1600.21	1517.15	1517.27	275.70	220.40	271.58	0.17	0.15	0.18

Os modelos que melhor representaram a área de estudo antes e depois da correção podem ser vistos na Tabela 7 para o período de calibração e Tabela 8 para a validação. Nota-se que somente no caso das estações 2649002, localizada em Pomerode e 2649010, localizada em Blumenau o modelo com maior desempenho antes da correção manteve-se nesta posição após a correção. Em ambas as estações, o modelo foi o CanESM2, embora com diferentes parâmetros iniciais (*ensembles*). Para a validação, o mesmo ocorre somente na estação 2749007, localizada no município de Alfredo Wagner. O modelo com maior desempenho neste caso foi o HadGEM2-CC.

Tabela 7 - Estações com os respectivos modelos que melhor representam sua Precipitação Total Anual antes e depois da correção no período de calibração.

CALIBRAÇÃO		
Código Pluviométrico	Modelo não corrigido com menor erro	Modelo corrigido com menor erro
2649002	CanESM2, r1ilp1	CanESM2, r2ilp1
2649004	CCSM4, r6ilp1	ACCESS1-3, r1ilp1
2649008	HadGEM2-CC, r2ilp1	MIROC5, r1ilp1
2649010	CanESM2, r4ilp1	CanESM2, r2ilp1
2649017	CCSM4, r6ilp1	CanESM2, r2ilp1
2749000	bcc-csm1-1-m, r1ilp1	CanESM2, r2ilp1
2749005	MPI-ESM-MR, r2ilp1	MIROC5, r1ilp1
2749006	CMCC-CMS, r1ilp1	MPI-ESM-MR, r1ilp1
2749007	bcc-csm1-1-m, r1ilp1	GFDL-CM3, r1ilp1
2749013	CMCC-CMS, r1ilp1	CanESM2, r2ilp1
2749016	ACCESS1-0, r1ilp1	MRI-ESM1, r1ilp1

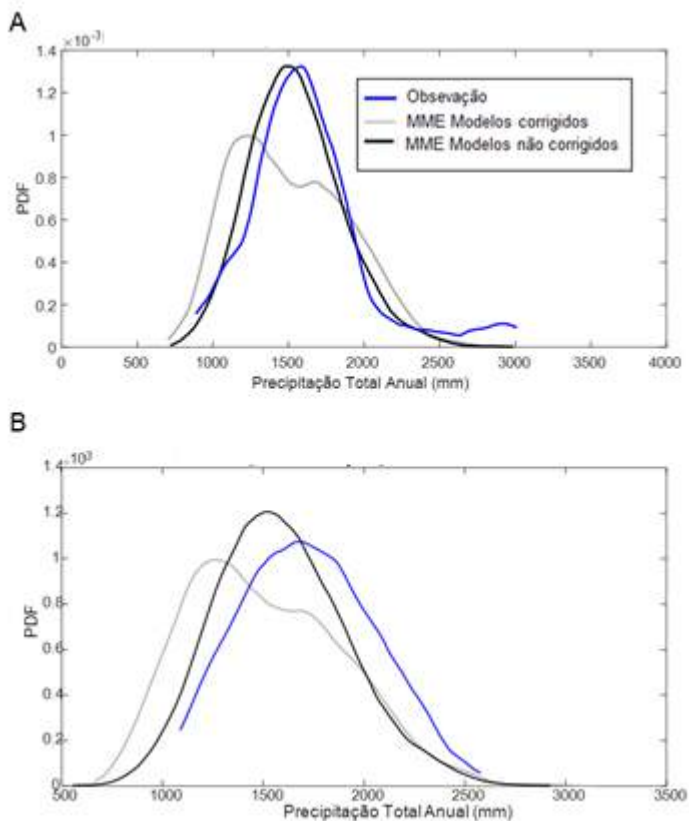
Tabela 8 - Estações com os respectivos modelos que melhor representam sua Precipitação Total Anual antes e depois da correção no período de validação

VALIDAÇÃO		
Código Pluviométrico	Modelo não corrigido com menor erro	Modelo corrigido com menor erro
2649002	CanESM2, r5ilp1	MPI-ESM-LR, r1ilp1
2649004	HadGEM2-CC, r1ilp1	CanESM2, r5ilp1
2649008	HadGEM2-CC, r3ilp1	MPI-ESM-MR, r2ilp1
2649010	CanESM2, r1ilp1	MIROC4h, r1ilp1
2649017	HadGEM2-CC, r1ilp1	CanESM2, r5ilp1
2749000	MRI-ESM1, r1ilp1	FGOALS-g2, r1ilp1
2749005	ACCESS1-0, r1ilp1	MPI-ESM-LR, r1ilp1
2749006	ACCESS1-0, r1ilp1	CNRM-CM5, r1ilp1
2749007	HadGEM2-CC, r3ilp1	HadGEM2-CC, r1ilp1
2749013	ACCESS1-0, r1ilp1	CNRM-CM5, r1ilp1
2749016	ACCESS1-0, r1ilp1	MRI-ESM1, r1ilp1

Os modelos de clima não corrigidos tendem a diminuir as precipitações totais anuais, tendo um pico em torno de 1000 mm/ano para os períodos de calibração e validação. Quanto ao período de calibração (Figura 20A), a correção chegou muito próxima à observação, havendo ainda uma leve subrepresentação da precipitação total anual (pico dos modelos corrigidos levemente à esquerda do pico das observações, indicando precipitações totais anuais levemente menores que as observadas). No período de validação (Figura 20B), os modelos corrigidos continuam a diminuir o pico de precipitação total anual (aproximadamente 1500 mm/ano nos modelos corrigidos contra

aproximadamente 2000 mm/ano na observação), embora tenham aumentado a ocorrência de precipitações anuais menores em relação à observação

Figura 20 - Distribuição da Precipitação Total Anual para o MME dos modelos não corrigidos (linhas cinzas), o MME dos modelos corrigidos (linhas pretas) e observação (linhas azuis) para os períodos de calibração (A) e validação (B)



4.5.3. Precipitação Máxima Mensal

O segundo aspecto marginal escolhido foi a distribuição estatística da precipitação máxima mensal (maior precipitação diária no mês). Um ponto fraco comum a maioria dos métodos de correção de viés

é a representação adequada de extremos (MARAUN et al., 2017), e com o método aqui aplicado não é diferente..

É possível constatar que, em termos de CDF, o método de correção aproxima a curva da CDF de precipitações máximas observadas, tanto para o período de calibração (Figura 21), quanto para o período de validação (Figura 22). Os GCM não corrigidos apresentam CDF mais inclinadas, indicando uma maior representação de precipitações máximas mensais menos intensas que a realidade. A correção QM Mensal suaviza esta inclinação, fazendo com que a CDF do modelo corrigido chegue perto da CDF observada.

Figura 21- Função de Distribuição Acumulada da Precipitação Máxima Mensal dos modelos não corrigidos (linhas cinzas), dos modelos corrigidos por QM Mensal (linhas pretas) e da observação (linhas azuis). A estação utilizada como exemplo é a 2649010, localizada no município de Blumenau. O período descrito é o de calibração.

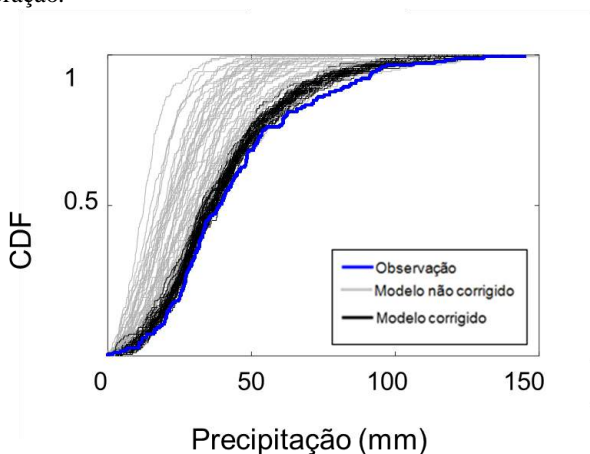
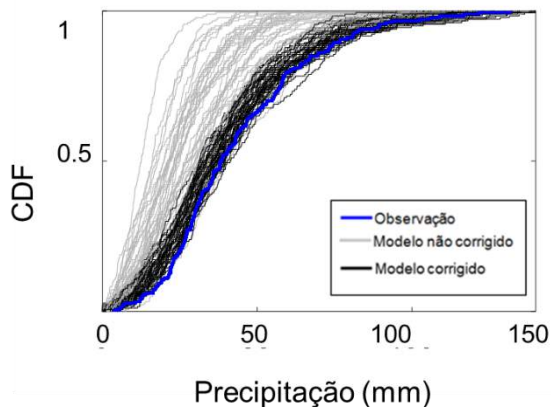
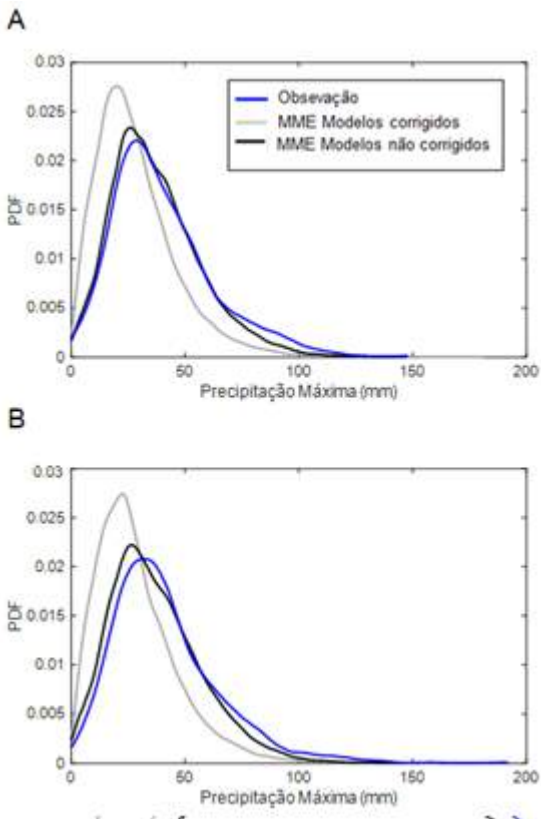


Figura 22 -Função de Distribuição Acumulada da Precipitação Máxima Mensal dos modelos não corrigidos (linhas cinzas), dos modelos corrigidos por QM Mensal (linhas pretas) e da observação (linhas azuis). A estação utilizada como exemplo é a 2649010, localizada no município de Blumenau. O período descrito é o de validação



No entanto, em especial para precipitações altas, a correção continua subestimando a ocorrência desses eventos (Figura 22). Eventos de precipitações maiores que 150 mm/dia, por exemplo, não conseguem ser representadas na correção no período de validação porque não ocorreram no período de calibração (Figura 23B).

Figura 23 - Função de densidade de probabilidade das Precipitações Máximas do MME dos modelos não corrigidos pelo QM Mensal (linha cinza), do MME dos modelos corrigidos (linha preta) e da observação (linha azul). Este gráfico representa a Bacia do Rio Itajaí como um todo, para os períodos de Calibração (A) e Validação (B).



5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este trabalho teve como objetivo analisar a precipitação dos modelos de clima do CMIP5 na bacia do rio Itajaí. Para que os modelos de clima sejam aplicados a modelos de impacto hidrológico, recomenda-se que eles passem por alguma forma de correção, tendo em vista sua resolução grosseira e erros sistemáticos. O método de correção de viés aplicado neste trabalho foi o *Quantile Mapping*, que encontra uma função de transferência que iguala a CDF do modelo de clima à CDF da observação.

A metodologia de correção foi aplicada de duas maneiras: o QM Anual, que encontra uma única função de transferência para toda a série, e o QM Mensal, que discretiza a série em 12 meses e encontra uma função de transferência para cada mês. Apesar de ambas as formas de implementação do método terem sido satisfatórias na correção da CDF, quando comparadas ao ciclo anual observado foi evidente a superioridade do método QM Mensal. Dois aspectos foram utilizados para avaliar o desempenho da correção: temporais e marginais. O método de correção melhorou o desempenho dos modelos de clima em representar a realidade para todos os aspectos analisados.

Na representação do ciclo anual, o método foi adequado no período de calibração, fazendo com que o modelo corrigido fique muito semelhante à observação. Já no período de validação, a melhoria não foi tão evidente quanto na calibração. Isto se dá pelo fato do método de correção escolhido ser um método determinístico, onde os valores do produto estão fortemente ligados aos valores da observação no período de calibração. Esta melhoria em respeito ao Ciclo Anual se reflete na análise da Sazonalidade. De forma análoga, para o período de calibração, os modelos corrigidos apresentaram uma sazonalidade muito próxima da realidade. No período de validação, a diferença entre a sazonalidade dos modelos e da observação diminuiu após passar pelo processo de correção, fazendo com que os modelos chegassem muito próximos à sazonalidade observada.

Na aplicação do teste K-S, nenhum modelo de clima antes da correção aceitou a hipótese nula de que o modelo e a observação são duas amostras da mesma distribuição. Após a correção, para o período de calibração, a maioria dos modelos em todas as estações aceitaram a hipótese nula, salvo a estação do município de Pomerode. Para o período de validação, poucos modelos aceitaram a hipótese nula.

Para a precipitação total anual, o método de correção diminuiu a erro em relação à observação, embora tenha melhorado o aspecto como um todo. Já na análise de precipitação máxima mensal, é possível constatar a

ineficiência do método em representar precipitações que estejam nas caudas da distribuição, em especial na cauda superior. O método tem a tendência de aumentar a ocorrência de precipitações máximas que estejam nos quantis médios da distribuição e subrepresentam as precipitações máximas de grandes intensidades.

O método de correção de viés por QM deve ser utilizado com cautela, em especial para aplicações onde a representação de eventos extremos seja importante (e.g. planejamento urbano e infraestrutura). Estudos de impacto hidrológico que utilizem produtos de correção de modelos de clima como condição inicial (e.g. modelos chuva-vazão) devem levar em consideração as limitações dos produtos utilizados. Quando a aplicação é dependente da distribuição estatística dos eventos de precipitação, no entanto, o método demonstra uma melhoria nos resultados, quando comparados aos modelos não corrigidos.

Para melhorar a aplicabilidade de métodos de correção de viés e a credibilidade desses resultados, recomenda-se que a credibilidade inicial dos modelos de clima seja levada em consideração, previamente à correção. Desta forma, modelos que não são plausíveis inicialmente já poderiam ser descartados. Além disso, uma análise da interdependência dos modelos de clima deve ser realizada (e.g. ABRAMOWITZ; BISHOP, 2015; HERGER et al., 2017).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAMOWITZ, G.; BISHOP, C. H. Climate model dependence and the ensemble dependence transformation of CMIP projections. **Journal of Climate**, v. 28, n. 6, p. 2332–2348, 2015.
- ADDOR, N.; ROHRER, M.; FURRER, R.; SEIBERT, J. Propagation of biases in climate models from the synoptic to the regional scale: Implications for bias adjustment. **Journal of Geophysical Research**, v. 121, n. 5, p. 2075–2089, 2016.
- ALEXANDERSSON, H. A homogeneity test applied to precipitation data. **Journal of Climatology**, v. 6, n. 6, p. 661–675, 1986.
- ALEXANDERSSON, H.; MOBERG, A. Homogenization of Swedish Temperature Data. Part I: Homogeneity Test for Linear Trends. **International Journal of Climatology**, v. 17, n. 1, p. 25–34, 1997.
- AMENGUAL, A.; HOMAR, V.; ROMERO, R.; ALONSO, S.; RAMIS, C. A statistical adjustment of regional climate model outputs to local scales: Application to Platja de Palma, Spain. **Journal of Climate**, v. 25, n. 3, p. 939–957, 2012.
- BENESTAD, R.. **Oxford Research Encyclopedia of Climate Science: Downscaling Climate Information**. Oxford University Press, 2016. 34 p.
- BLÖSCHL, G.; HALL, J.; PARAJKA, J.; PERDIGÃO, R. A. P.; MERZ, B.; ARHEIMER, B.; ARONICA, G. T.; BILIBASHI, A.; BONACCI, O.; BORGA, M.; ČANJEVAC, I.; CASTELLARIN, A.; CHIRICO, G. B.; CLAPS, P.; FIALA, K.; FROLOVA, N.; GORBACHOVA, L.; GÜL, A.; HANNAFORD, J.; HARRIGAN, S.; KIREEVA, M.; KISS, A.; KJELDSSEN, T. R.; KOHNOVÁ, S.; KOSKELA, J. J.; LEDVINKA, O.; MACDONALD, N.; MAVROVA-GUIRGUINOVA, M.; MEDIERO, L.; MERZ, R.; MOLNAR, P.; MONTANARI, A.; MURPHY, C.; OSUCH, M.; OVCHARUK, V.; RADEVSKI, I.; ROGGER, M.; SALINAS, J. L.; SAUQUET, E.; ŠRAJ, M.; SZOLGAY, J.; VIGLIONE, A.; VOLPI, E.; WILSON, D.; ZAIMI, K.; ŽIVKOVIĆ, N. Changing climate shifts timing of European floods. **Science**, v. 357, n. 6351, p. 588–590, 2017.
- BUIHAND, T. A. Some methods for testing the homogeneity of rainfall records. **Journal of Hydrology**, v. 58, n. 1–2, p. 11–27, 1982.
- BÜRGER, G. Comment on “bias correction, quantile mapping, and

downscaling: Revisiting the inflation issue”. **Journal of Climate**, v. 27, n. 4, p. 1819–1820, 2014.

CANNON, A. J.; SOBIE, S. R.; MURDOCK, T. Q. Bias correction of GCM precipitation by quantile mapping: How well do methods preserve changes in quantiles and extremes? **Journal of Climate**, v. 28, n. 17, p. 6938–6959, 2015.

CLARK, M. P.; WILBY, R. L.; GUTMANN, E. D.; VANO, J. A.; GANGOPADHYAY, S.; WOOD, A. W.; FOWLER, H. J.; PRUDHOMME, C.; ARNOLD, J. R.; BREKKE, L. D. Characterizing Uncertainty of the Hydrologic Impacts of Climate Change. **Current Climate Change Reports**, v. 2, n. 2, p. 55–64, 2016.

COLLINS, M.; KNUTTI, R.; ARBLASTER, J.; DUFRESNE, J.-L.; FICHEFET, T.; FRIEDLINGSTEIN, P.; GAO, X.; GUTOWSKI, W. J.; JOHNS, T.; KRINNER, G.; SHONGWE, M.; TEBALDI, C.; WEAVER, A. J.; WEHNER, M. Long-term Climate Change: Projections, Commitments and Irreversibility. **Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**, p. 1029–1136, 2013.

DE, M. L.; ORGANIZADORA, P. H.; HERRMANN, P. **Governo Do Estado De Santa Catarina Secretaria De Segurança Pública Atlas De Desastres Naturais Do Estado De Santa Catarina Programa De Pós-Graduação Em Geografia -Ppgg Atlas De Desastres Naturais Do Estado De Santa Catarina: Período De 1980 a 2010.** [s.l: s.n.].

EDEN, J. M.; WIDMANN, M.; GRAWE, D.; RAST, S. Skill, correction, and downscaling of GCM-simulated precipitation. **Journal of Climate**, v. 25, n. 11, p. 3970–3984, 2012.

GUDMUNDSSON, L.; BREMNES, J. B.; HAUGEN, J. E.; ENGEN-SKAUGEN, T. Technical Note: Downscaling RCM precipitation to the station scale using statistical transformations – A comparison of methods. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 16, n. 9, p. 3383–3390, 2012.

GUTIÉRREZ, J. M.; MARAUN, D.; WIDMANN, M.; HUTH, R.; HERTIG, E.; BENESTAD, R.; ROESSLER, O.; WIBIG, J.; WILCKE, R.; KOTLARSKI, S.; SAN MARTÍN, D.; HERRERA, S.; BEDIA, J.; CASANUEVA, A.; MANZANAS, R.; ITURBIDE, M.; VRAC, M.; DUBROVSKY, M.; RIBALAYGUA, J.; PÓRTOLES, J.; RÄTY, O.;

RÄISÄNEN, J.; HINGRAY, B.; RAYNAUD, D.; CASADO, M. J.; RAMOS, P.; ZERENNER, T.; TURCO, M.; BOSSHARD, T.; ŠTĚPÁNEK, P.; BARTHOLY, J.; PONGRACZ, R.; KELLER, D. E.; FISCHER, A. M.; CARDOSO, R. M.; SOARES, P. M. M.; CZERNECKI, B.; PAGÉ, C. An intercomparison of a large ensemble of statistical downscaling methods over Europe: Results from the VALUE perfect predictor cross-validation experiment. **International Journal of Climatology**, n. January, p. 1–36, 2018.

HAUGHTON, N.; ABRAMOWITZ, G.; PITMAN, A.; PHIPPS, S. J. On the generation of climate model ensembles. **Climate Dynamics**, v. 43, n. 7–8, p. 2297–2308, 2014.

HERGER, N.; ABRAMOWITZ, G.; KNUTTI, R.; ANGÉLIL, O.; LEHMANN, K.; SANDERSON, B. M. Selecting a climate model subset to optimise key ensemble properties. **Earth System Dynamics Discussions**, n. April, p. 1–24, 2017.

KNUTTI, R.; MASSON, D.; GETTELMAN, A. Climate model genealogy: Generation CMIP5 and how we got there. **Geophysical Research Letters**, v. 40, n. 6, p. 1194–1199, 2013.

MARAUN, D.; WETTERHALL, F.; CHANDLER, R. E.; KENDON, E. J.; WIDMANN, M.; BRIENEN, S.; RUST, H. W.; SAUTER, T.; THEMESSEL, M.; VENEMA, V. K. C.; CHUN, K. P.; GOODESS, C. M.; JONES, R. G.; ONOF, C.; VRAC, M.; THIELE-EICH, I. Precipitation downscaling under climate change: Recent developments to bridge the gap between dynamical models and the end user. **Reviews of Geophysics**, v. 48, n. 2009RG000314, p. 1–38, 2010.

MARAUN, D.; WIDMANN, M.; GUTIÉRREZ, J. M.; KOTLARSKI, S.; CHANDLER, R. E.; HERTIG, E.; WIBIG, J.; HUTH, R.; WILCKE, R. A. I. Earth's Future. p. 1–14, 2014.

MARAUN, Douglas; WIDMANN, Marin. **Statistical Downscaling and Bias Correction for Climate Research**. Cambridge: Cambridge University Press, 2018. 347 p

MARAUN, D.; SHEPHERD, T. G.; WIDMANN, M.; ZAPPA, G.; WALTON, D.; GUTIÉRREZ, J. M.; HAGEMANN, S.; RICHTER, I.; SOARES, P. M. M.; HALL, A.; MEARNES, L. O. Towards process-informed bias correction of climate change simulations. **Nature Climate**

Change, v. 7, n. 11, p. 764–773, 2017.

MARKHAM, C. G. Seasonality of precipitation in the United States. **Annals of the Association of American Geographers**, v. 60, n. 3, p. 593–597, 1970.

MAURER, E. P.; PIERCE, D. W. Bias correction can modify climate model simulated precipitation changes without adverse effect on the ensemble mean. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 18, n. 3, 2014.

NOAA (Eua). **A Model Based on Ocean and Atmosphere Interactions**. 2017. Disponível em: <https://celebrating200years.noaa.gov/breakthroughs/climate_model/welcome.html#model>. Acesso em: 16 jun. 2018.

PETTITT, A. A. N.; JOURNAL, S.; STATISTICAL, R.; SERIES, S.; STATISTICS, C. A. A Non-Parametric Approach to the Change-Point Problem Published by: Wiley for the Royal Statistical Society Stable URL : <http://www.jstor.org/stable/2346729> A Non-parametric Approach to the Change-point Problem. v. 28, n. 2, p. 126–135, 2016.

PIANI, C.; WEEDON, G. P.; BEST, M.; GOMES, S. M.; VITERBO, P.; HAGEMANN, S.; HAERTER, J. O. Statistical bias correction of global simulated daily precipitation and temperature for the application of hydrological models. **Journal of Hydrology**, v. 395, n. 3–4, p. 199–215, 2010.

PIERCE, D. W.; CAYAN, D. R.; MAURER, E. P.; ABATZOGLOU, J. T.; HEGEWISCH, K. C. Improved Bias Correction Techniques for Hydrological Simulations of Climate Change*. **Journal of Hydrometeorology**, v. 16, n. 6, p. 2421–2442, 2015.

PIERCE, D. W.; CAYAN, D. R. Downscaling humidity with Localized Constructed Analogs (LOCA) over the conterminous United States. **Climate Dynamics**, v. 47, n. 1–2, p. 411–431, 2016.

SCHIERMEIER, Q. The real holes in climate science. **Nature**, v. 463, n. 7279, p. 284–287, 2010.

STAINFORTH, D. .; ALLEN, M. .; TREDGER, E. .; SMITH, L. . Confidence, uncertainty and decision-support relevance in climate predictions. **Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences**, v. 365, n. 1857, p.

2145–2161, 2007.

TAYLOR, K. E.; STOUFFER, R. J.; MEEHL, G. A. An overview of CMIP5 and the experiment design. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 93, n. 4, p. 485–498, 2012.

TEBALDI, C.; KNUTTI, R. The use of the multi-model ensemble in probabilistic climate projections. **Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences**, v. 365, n. 1857, p. 2053–2075, 2007.

THRASHER, B.; MAURER, E. P.; MCKELLAR, C.; DUFFY, P. B. Technical Note: Bias correcting climate model simulated daily temperature extremes with quantile mapping. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 16, n. 9, p. 3309–3314, 2012.

VAN VUUREN, D. P.; EDMONDS, J.; KAINUMA, M.; RIAHI, K.; THOMSON, A.; HIBBARD, K.; HURTT, G. C.; KRAM, T.; KREY, V.; LAMARQUE, J. F.; MASUI, T.; MEINSHAUSEN, M.; NAKICENOVIC, N.; SMITH, S. J.; ROSE, S. K. The representative concentration pathways: An overview. **Climatic Change**, v. 109, n. 1, p. 5–31, 2011.

WETTERHALL, F.; PAPPENBERGER, F.; HE, Y.; FREER, J.; CLOKE, H. L. Conditioning model output statistics of regional climate model precipitation on circulation patterns. **Nonlinear Processes in Geophysics**, v. 19, n. 6, p. 623–633, 2012.

WONG, G.; MARAUN, D.; VRAC, M.; WIDMANN, M.; EDEN, J. M.; KENT, T. Stochastic model output statistics for bias correcting and downscaling precipitation including extremes. **Journal of Climate**, v. 27, n. 18, p. 6940–6959, 2014.

YUAN, X.; WOOD, E. F.; MA, Z. A review on climate-model-based seasonal hydrologic forecasting: physical understanding and system development. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Water**, v. 2, n. 5, p. 523–536, 2015.

APÊNDICE A – Método de correção de viés por Quantile Mapping

Figura 24 - Método de QM Anual o restante das estações, no período de calibração. O código pluviométrico da estação está indicado em cima de seu respectivo gráfico. Os círculos em laranja são os quantis dos modelos não corrigidos e os azuis claros dos quantis corrigidos. A linha preta simboliza a linha 1:1

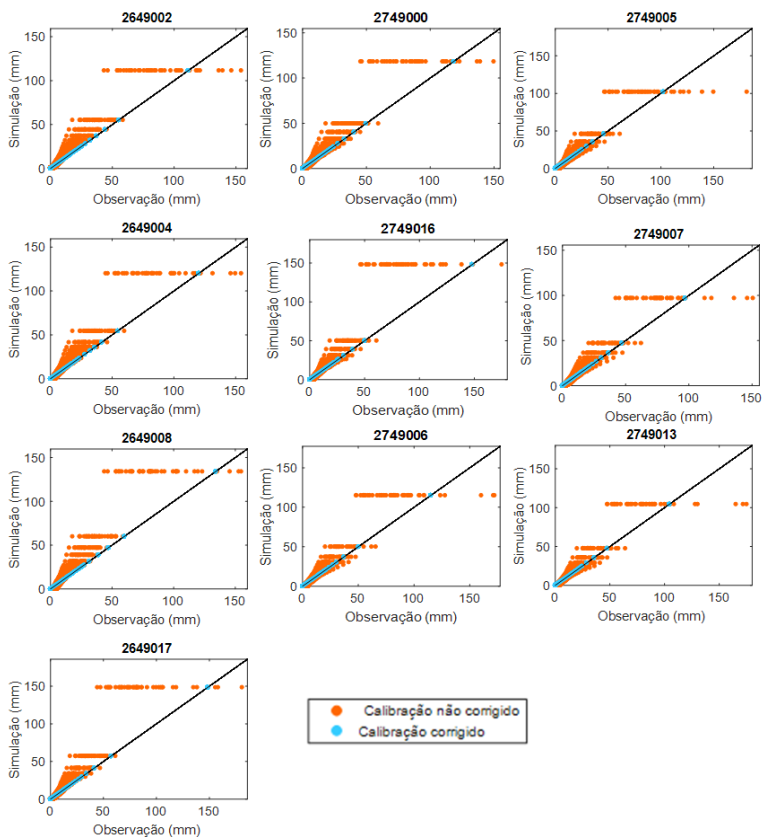


Figura 25- Método de QM Mensal para a estação 2649002, localizada no município de Pomerode, no período de calibração. Os círculos em laranja são os quantis dos modelos não corrigidos e os azuis claros dos quantis corrigidos. A linha preta simboliza a linha 1:1

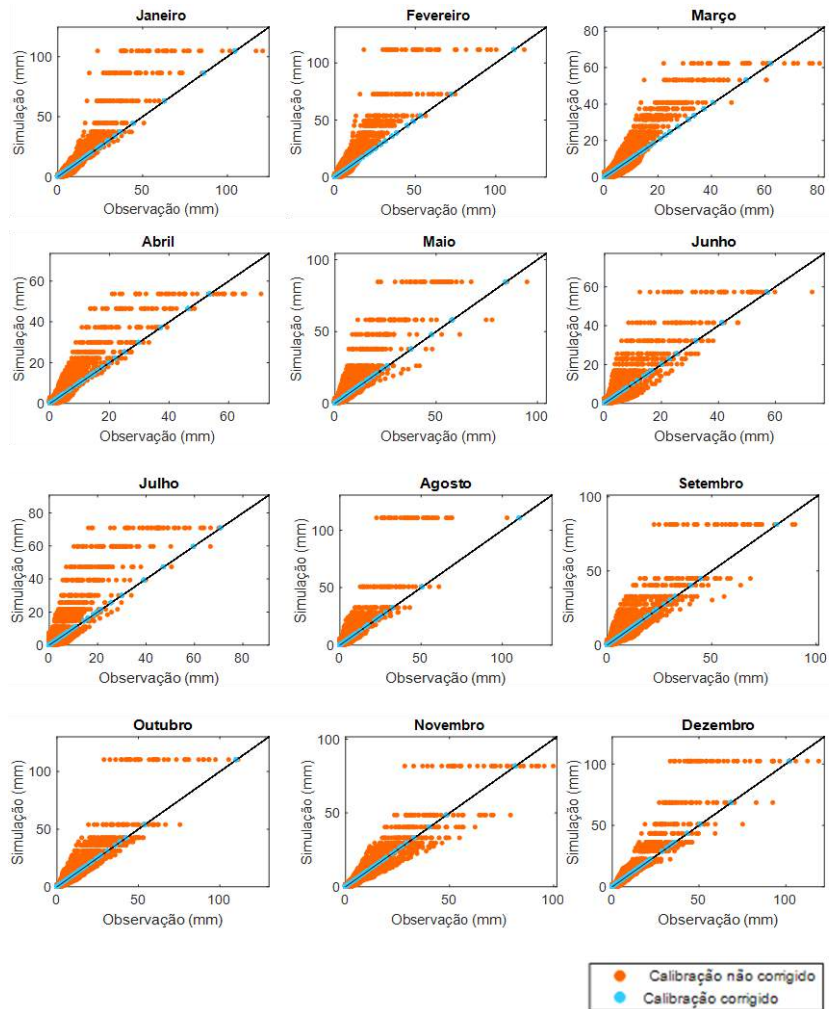


Figura 26 - Método de QM Mensal para a estação 2649004, localizada no município de Timbó, no período de calibração. Os círculos em laranja são os quantis dos modelos não corrigidos e os azuis claros dos quantis corrigidos. A linha preta simboliza a linha 1:1.

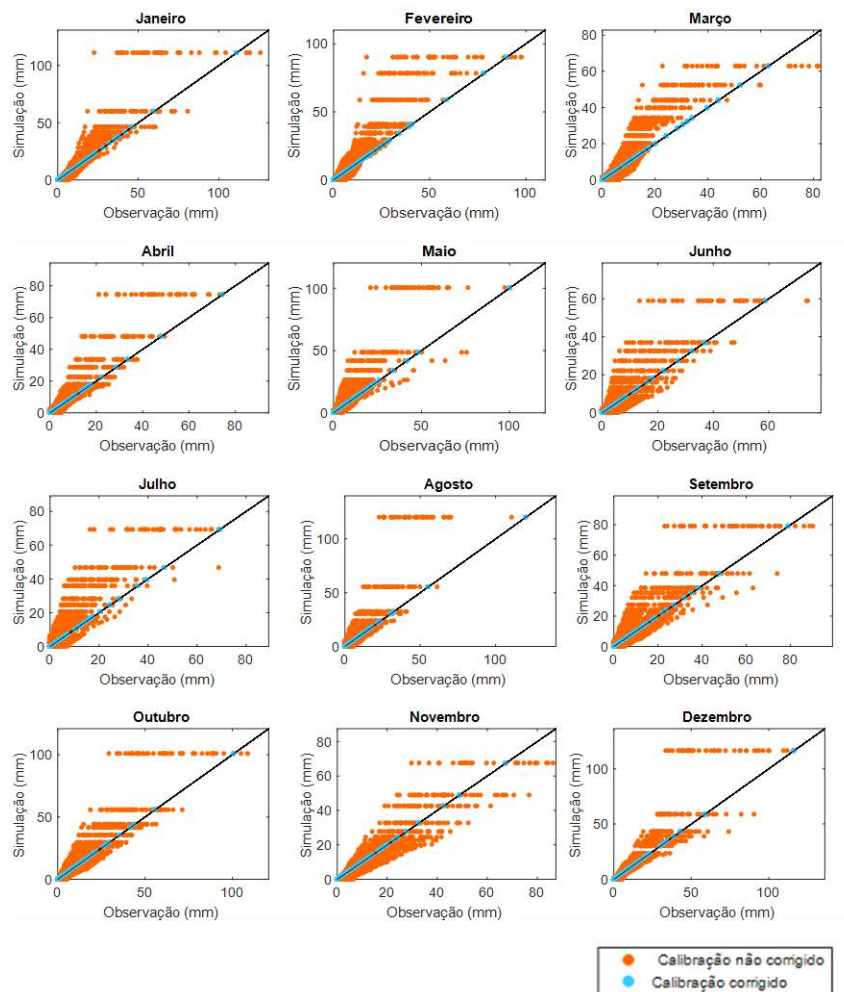


Figura 27- Método de QM Mensal para a estação 2649008, localizada no município de Rio dos Cedros, no período de calibração. Os círculos em laranja são os quantis dos modelos não corrigidos e os azuis claros dos quantis corrigidos. A linha preta simboliza a linha 1:1.

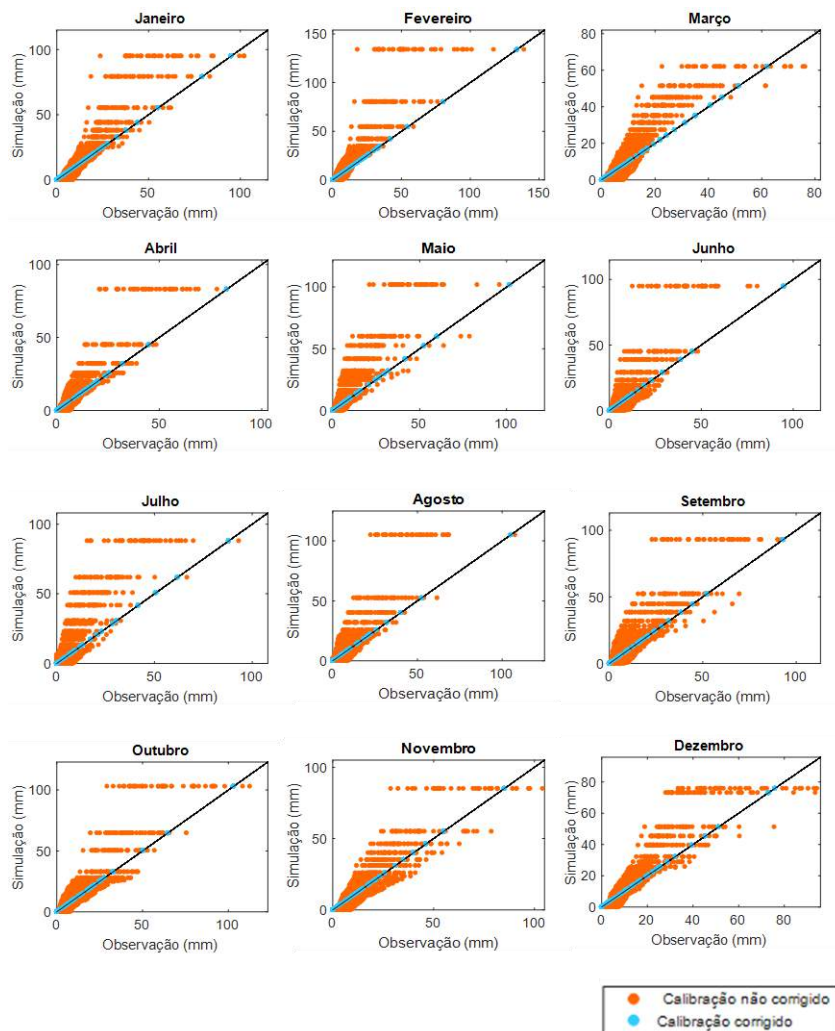


Figura 28 - Método de QM Mensal para a estação 2649017, localizada no município de Doutor Pedrinho, no período de calibração. Os círculos em laranja são os quantis dos modelos não corrigidos e os azuis claros dos quantis corrigidos. A linha preta simboliza a linha 1:1.

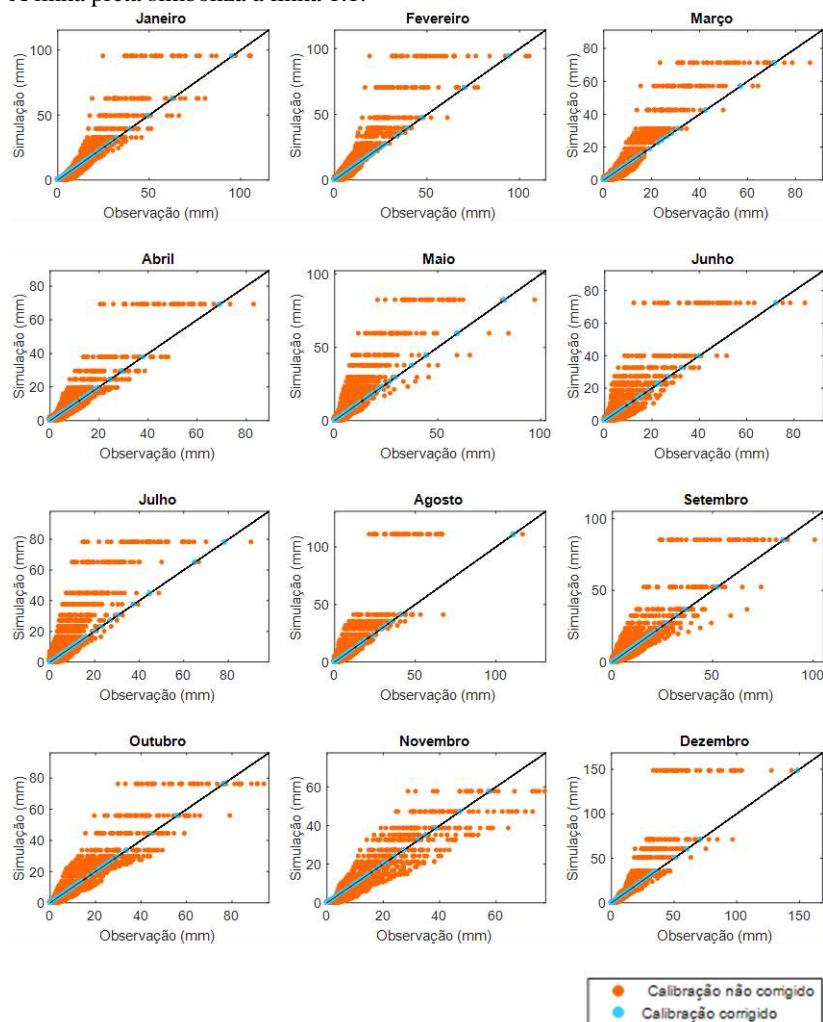


Figura 29 - Método de QM Mensal para a estação 2749000, localizada no município de Apiúna, no período de calibração. Os círculos em laranja são os quantis dos modelos não corrigidos e os azuis claros dos quantis corrigidos. A linha preta simboliza a linha 1:1.

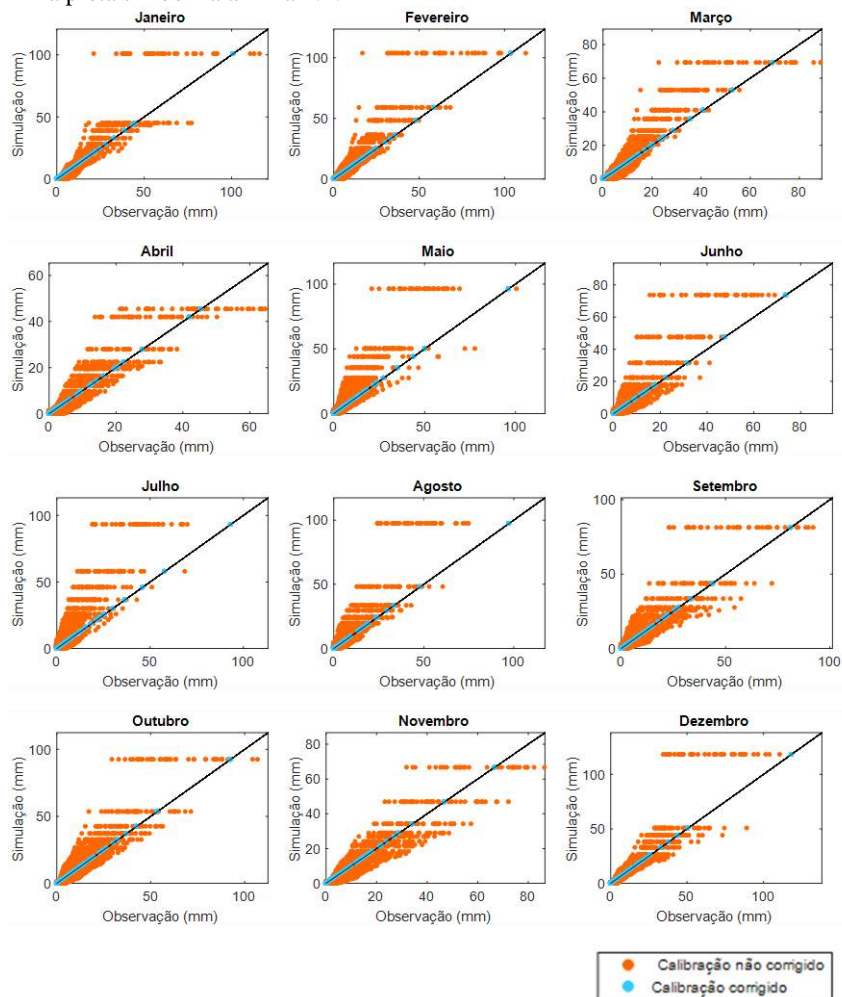


Figura 30- Método de QM Mensal para a estação 2749005, localizada no município de Ibirama, no período de calibração. Os círculos em laranja são os quantis dos modelos não corrigidos e os azuis claros dos quantis corrigidos. A linha preta simboliza a linha 1:1.

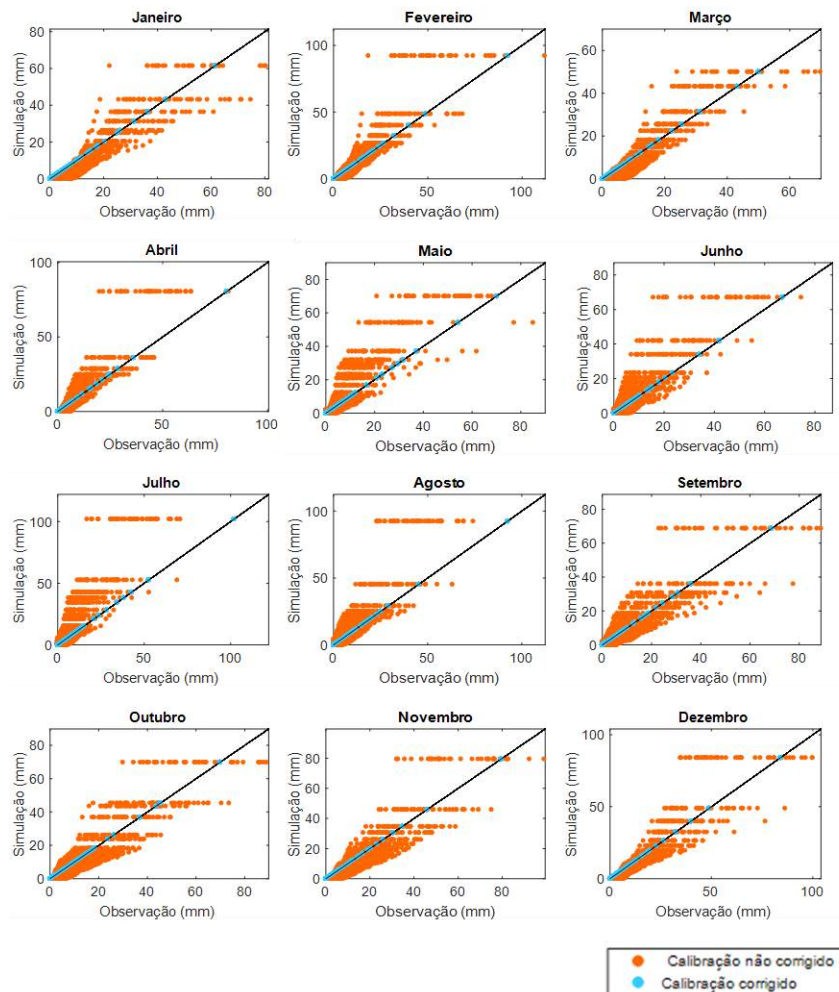


Figura 31 - Método de QM Mensal para a estação 2749006, localizada no município de Pouso Redondo, no período de calibração. Os círculos em laranja são os quantis dos modelos não corrigidos e os azuis claros dos quantis corrigidos. A linha preta simboliza a linha 1:1.

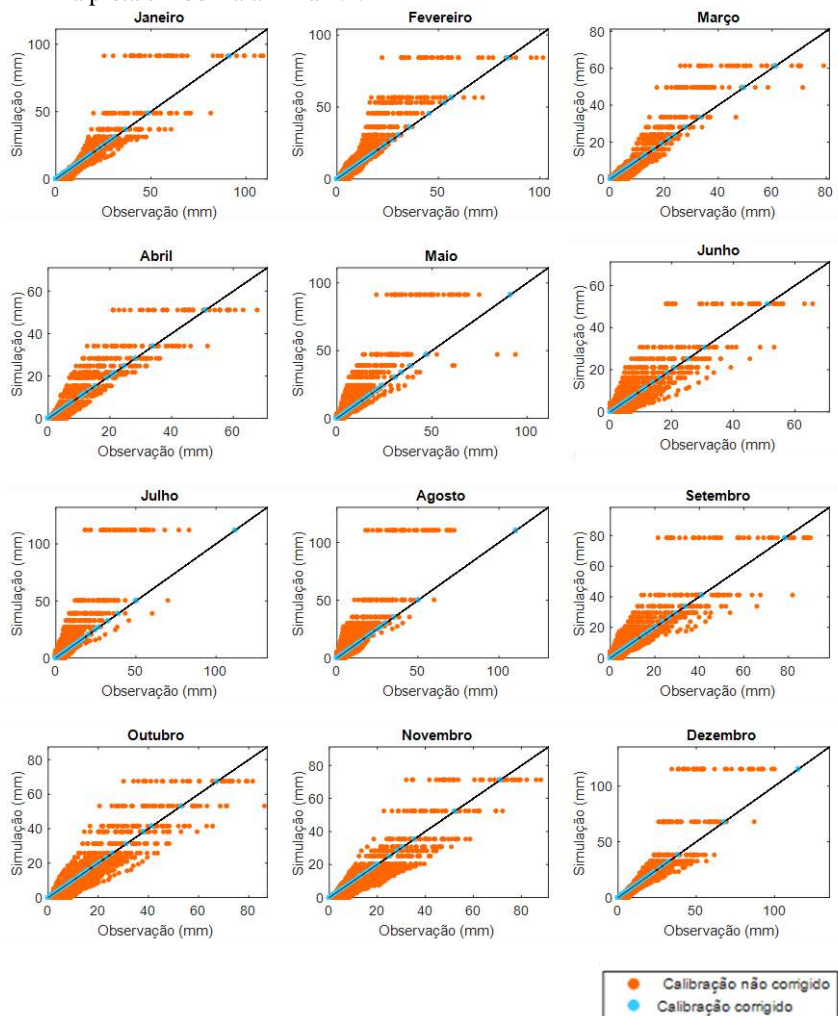


Figura 32 - Método de QM Mensal para a estação 2749006, localizada no município de Alfredo Wagner, no período de calibração. Os círculos em laranja são os quantis dos modelos não corrigidos e os azuis claros dos quantis corrigidos. A linha preta simboliza a linha 1:1.

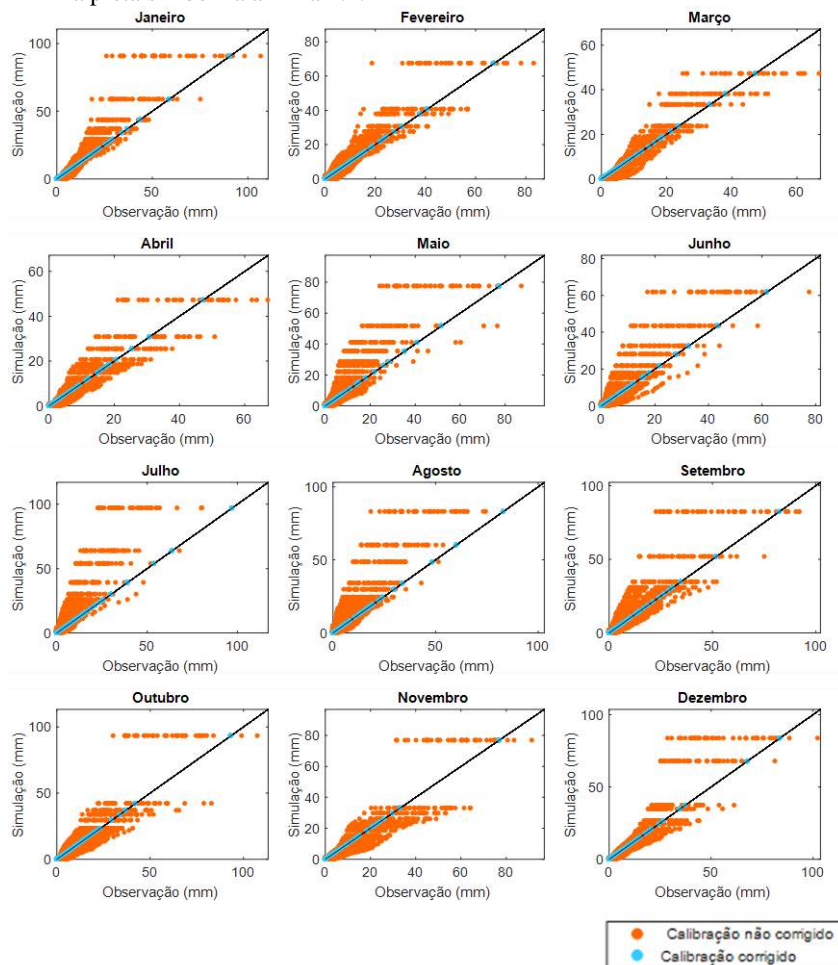


Figura 33 - Método de QM Mensal para a estação 2749013, localizada no município de Trombudo Central, no período de calibração. Os círculos em laranja são os quantis dos modelos não corrigidos e os azuis claros dos quantis corrigidos. A linha preta simboliza a linha 1:1.

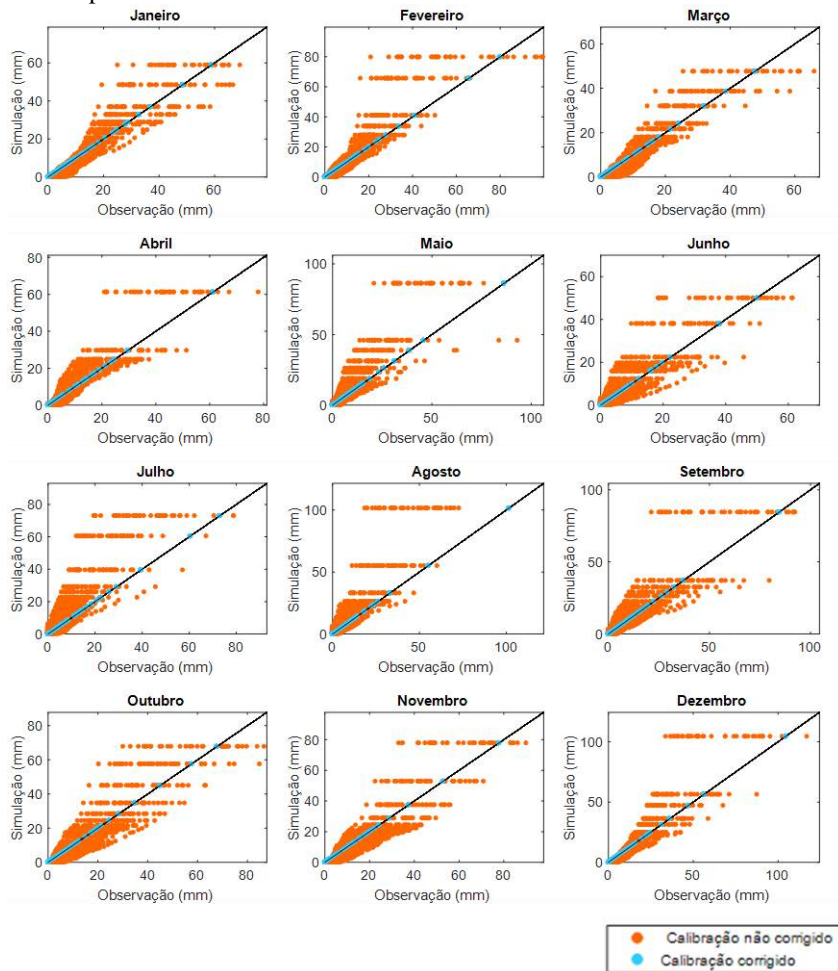


Figura 34 - Método de QM Mensal para a estação 2749016, localizada no município de Apiúna, no período de calibração. Os círculos em laranja são os quantis dos modelos não corrigidos e os azuis claros dos quantis corrigidos. A linha preta simboliza a linha 1:1.

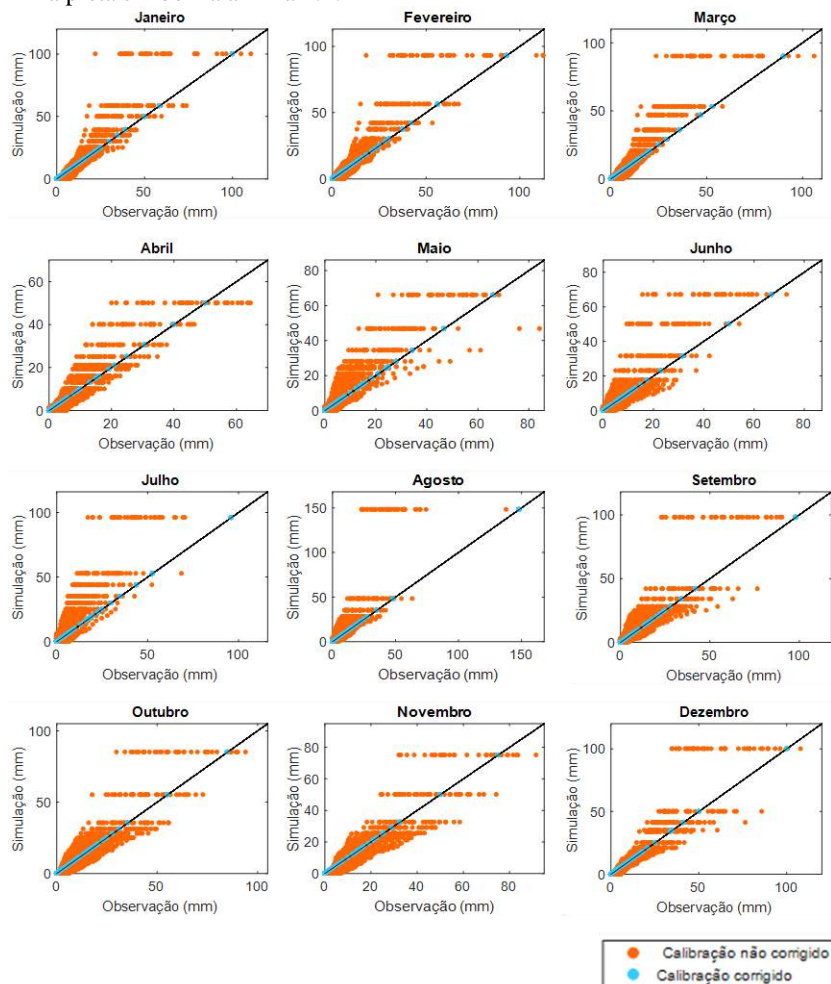


Figura 35 - Método de QM Anual para o restante das estações, no período de validação. O código pluviométrico da estação está indicado em cima de seu respectivo gráfico. Os círculos em vermelho são os quantis dos modelos não corrigidos e os azuis dos quantis corrigidos. A linha preta simboliza a linha 1:1

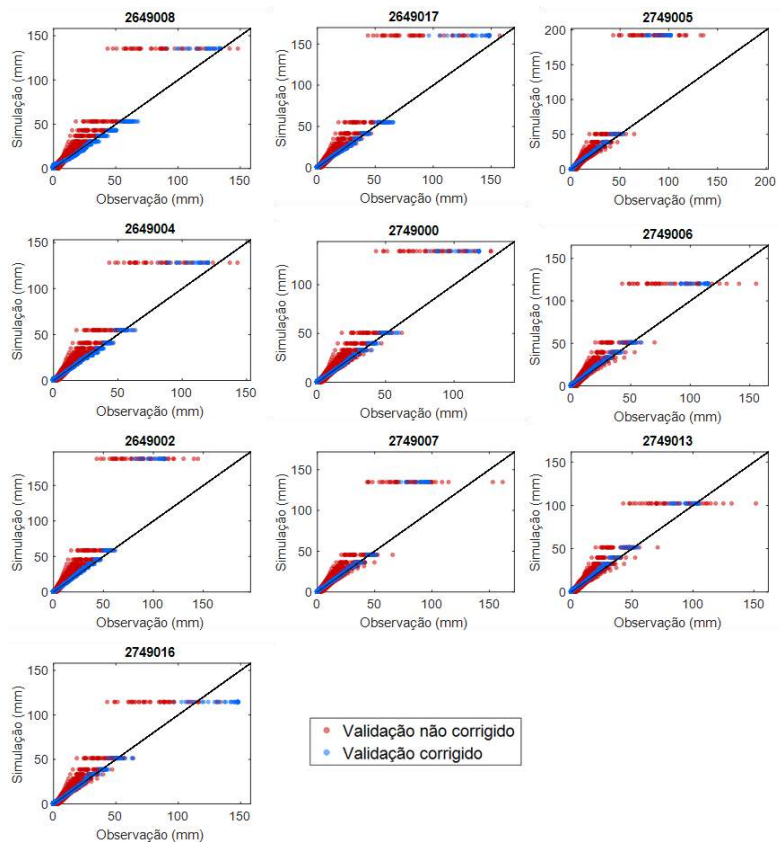


Figura 36 - Método de QM Mensal para a estação 2649002, localizada no município de Pomerode, no período de validação. Os círculos em vermelho são os quantis dos modelos não corrigidos e os azuis dos quantis corrigidos. A linha preta simboliza a linha 1:1

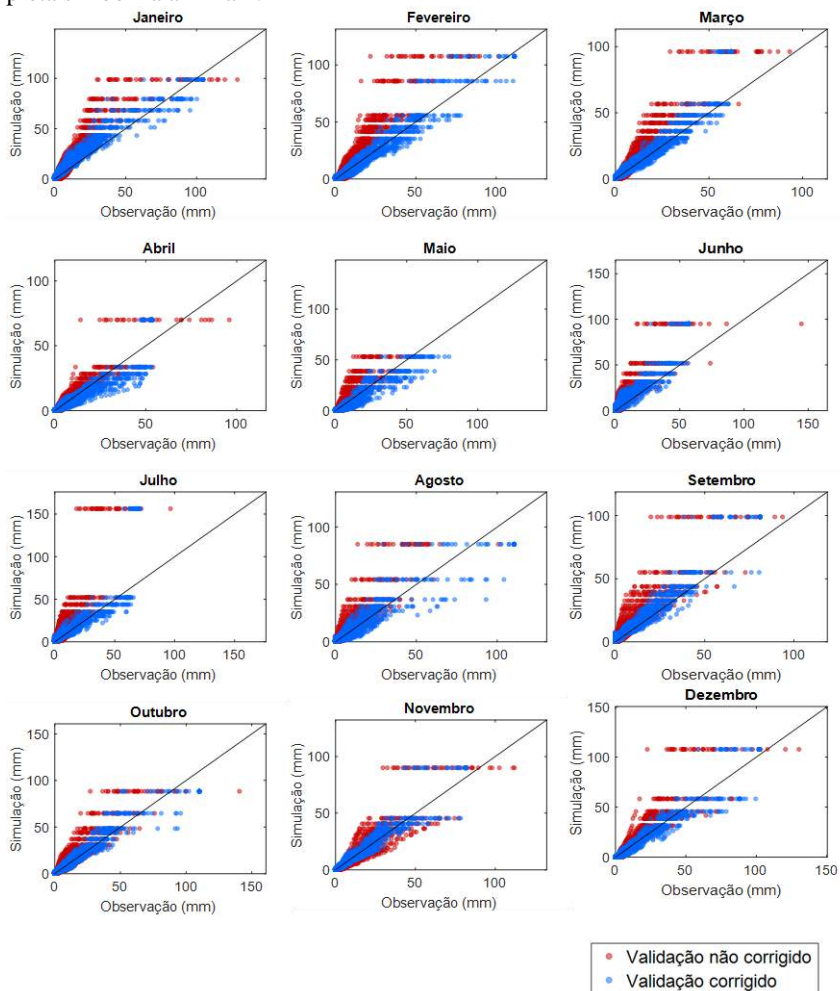


Figura 37 - Método de QM Mensal para a estação 2649004, localizada no município de Timbó, no período de validação. Os círculos em vermelho são os quantis dos modelos não corrigidos e os azuis dos quantis corrigidos. A linha preta simboliza a linha 1:1

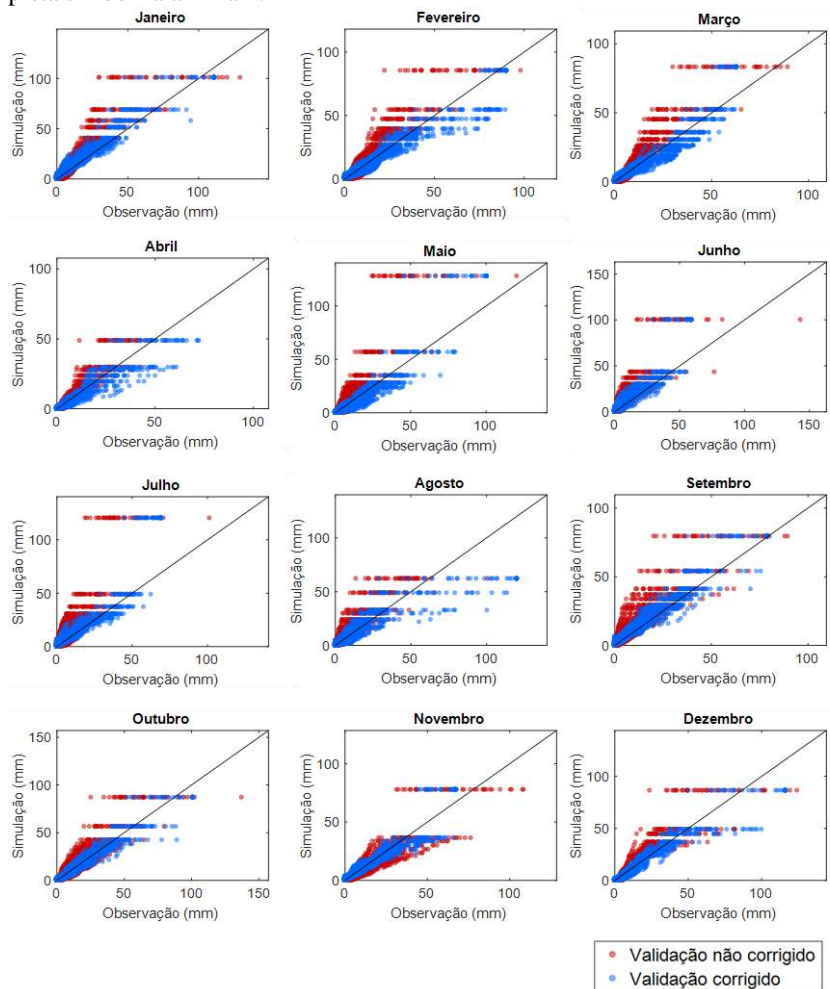


Figura 38 - Método de QM Mensal para a estação 2649008, localizada no município de Rio dos Cedros, no período de validação. Os círculos em vermelho são os quantis dos modelos não corrigidos e os azuis dos quantis corrigidos. A linha preta simboliza a linha 1:1

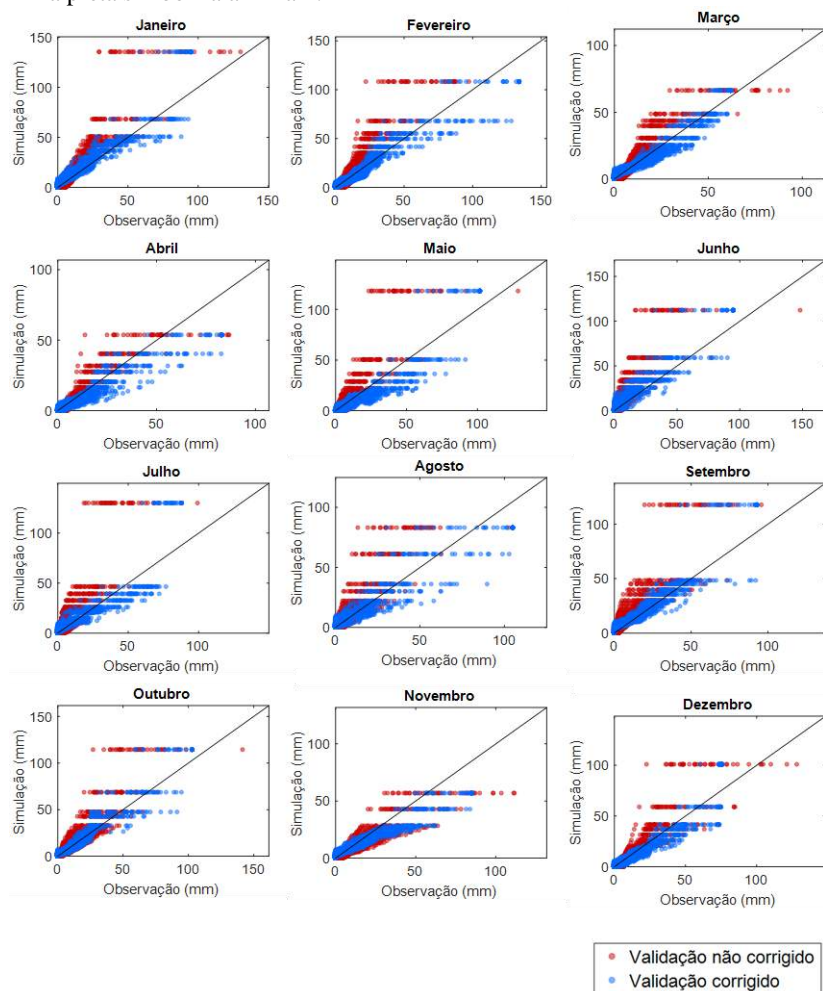


Figura 39 - Método de QM Mensal para a estação 2649017, localizada no município de Doutor Pedrinho, no período de validação. Os círculos em vermelho são os quantis dos modelos não corrigidos e os azuis dos quantis corrigidos. A linha preta simboliza a linha 1:1

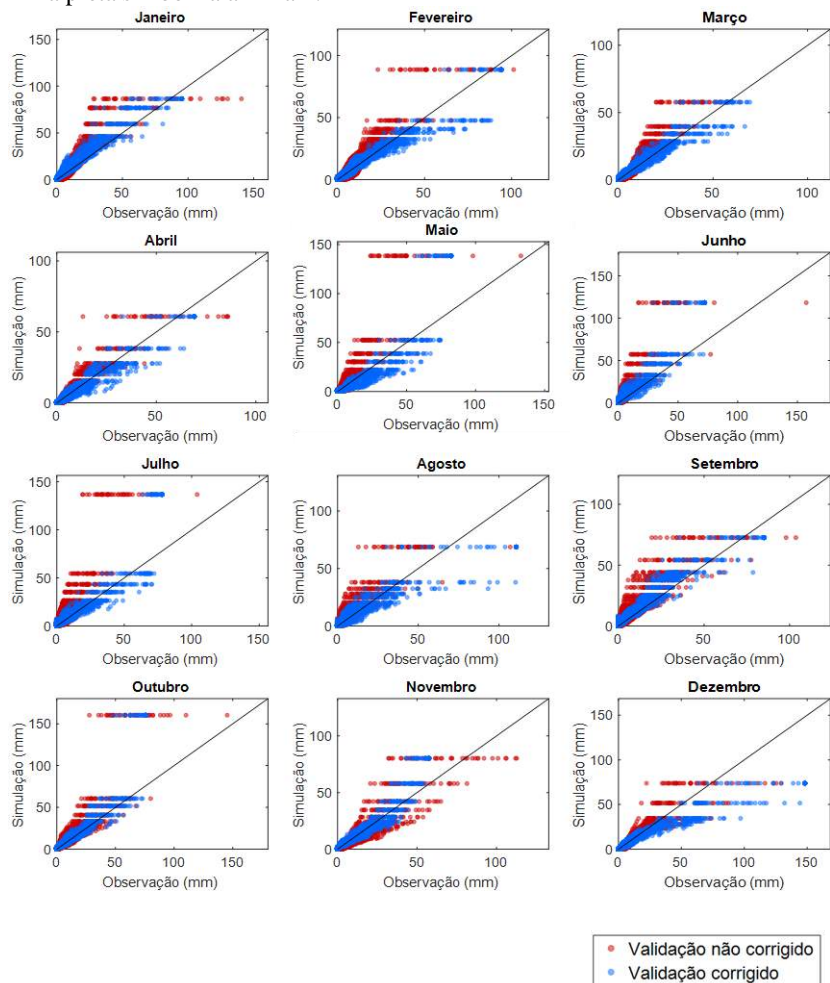


Figura 40 - Método de QM Mensal para a estação 2749000, localizada no município de Apiúna, no período de validação. Os círculos em vermelho são os quantis dos modelos não corrigidos e os azuis dos quantis corrigidos. A linha preta simboliza a linha 1:1

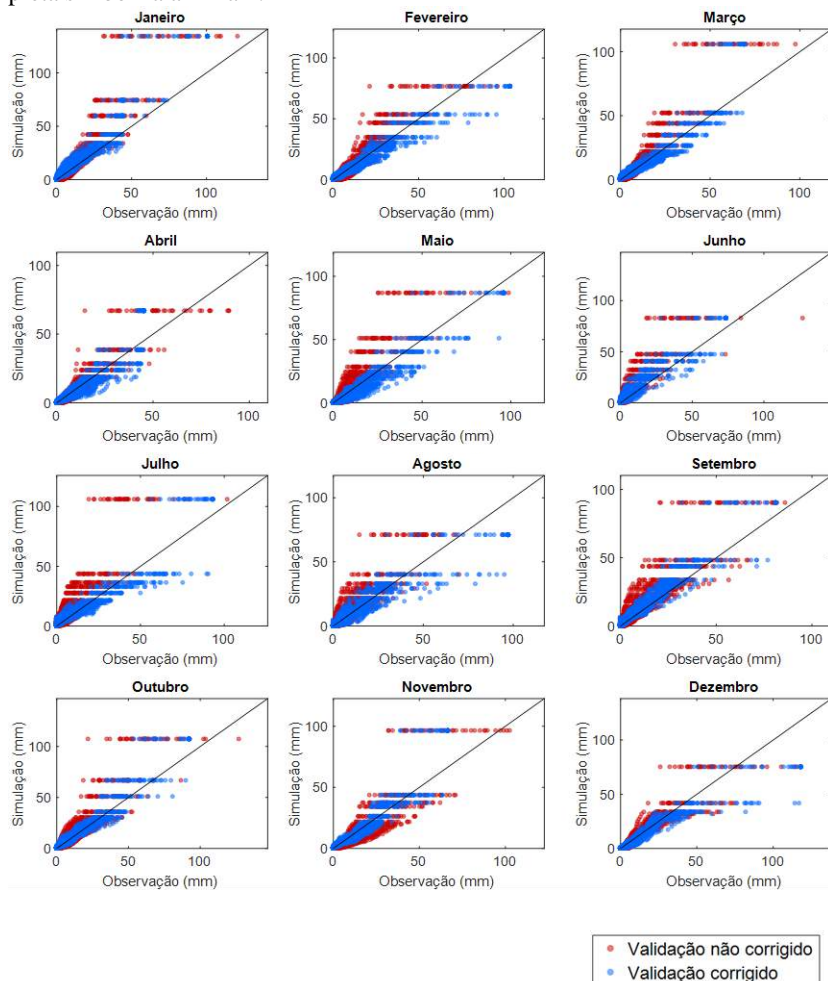


Figura 41 - Método de QM Mensal para a estação 2749005, localizada no município de Ibirama, no período de validação. Os círculos em vermelho são os quantis dos modelos não corrigidos e os azuis dos quantis corrigidos. A linha preta simboliza a linha 1:1

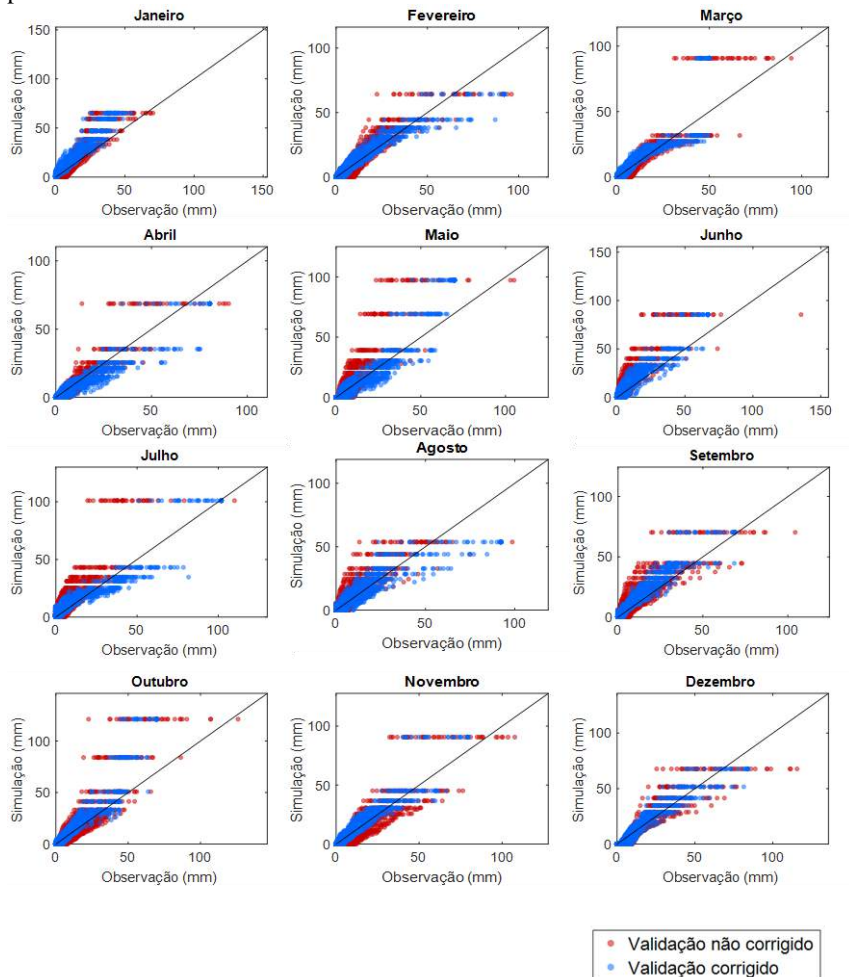


Figura 42 - Método de QM Mensal para a estação 2749006, localizada no município de Pouso Redondo, no período de validação. Os círculos em vermelho são os quantis dos modelos não corrigidos e os azuis dos quantis corrigidos. A linha preta simboliza a linha 1:1

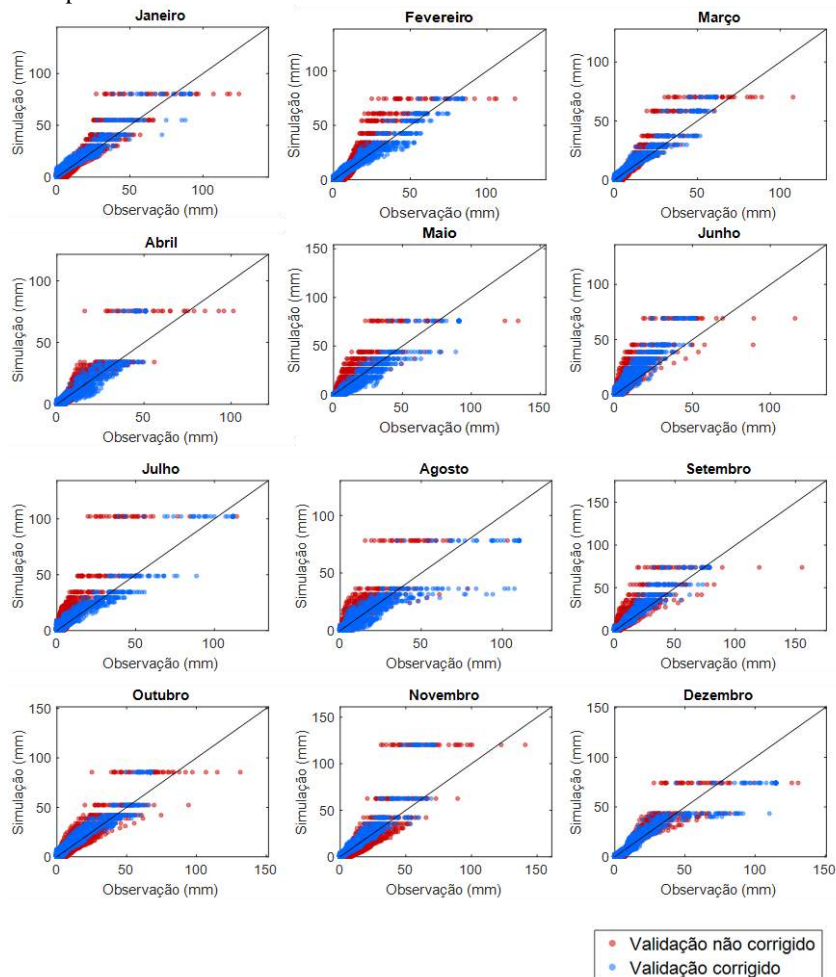


Figura 43 - Método de QM Mensal para a estação 2749007, localizada no município de Alfredo Wagner, no período de validação. Os círculos em vermelho são os quantis dos modelos não corrigidos e os azuis dos quantis corrigidos. A linha preta simboliza a linha 1:1

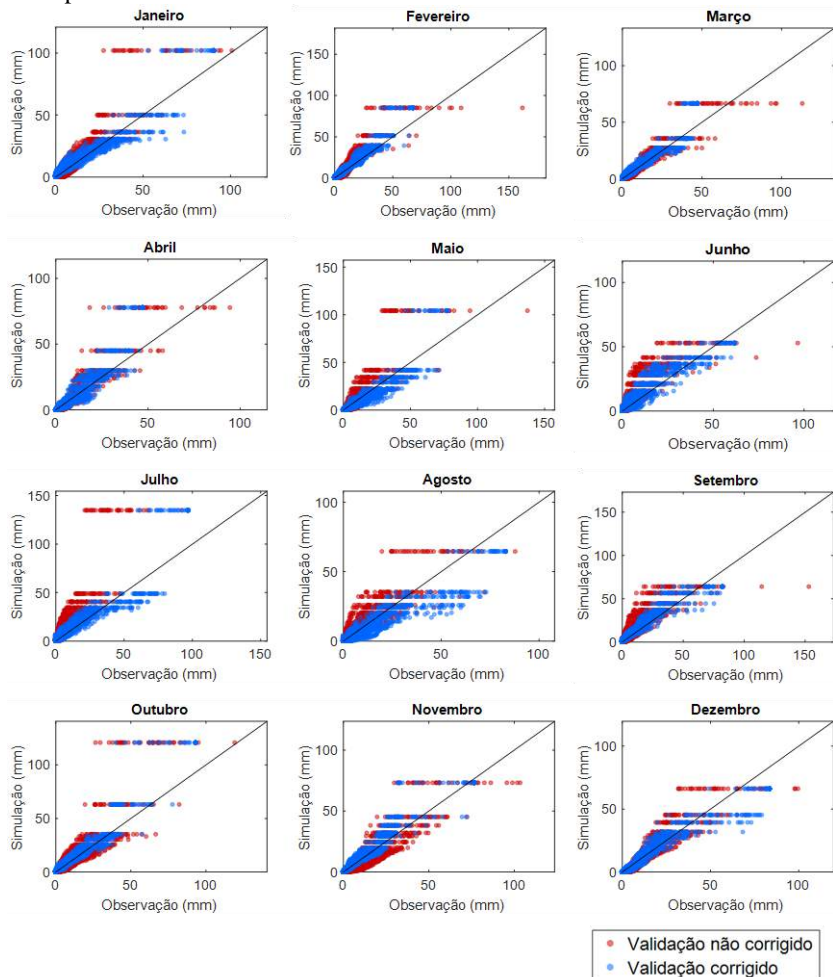


Figura 44 - Método de QM Mensal para a estação 2749013, localizada no município de Trombudo Central, no período de validação. Os círculos em vermelho são os quantis dos modelos não corrigidos e os azuis dos quantis corrigidos. A linha preta simboliza a linha 1:1

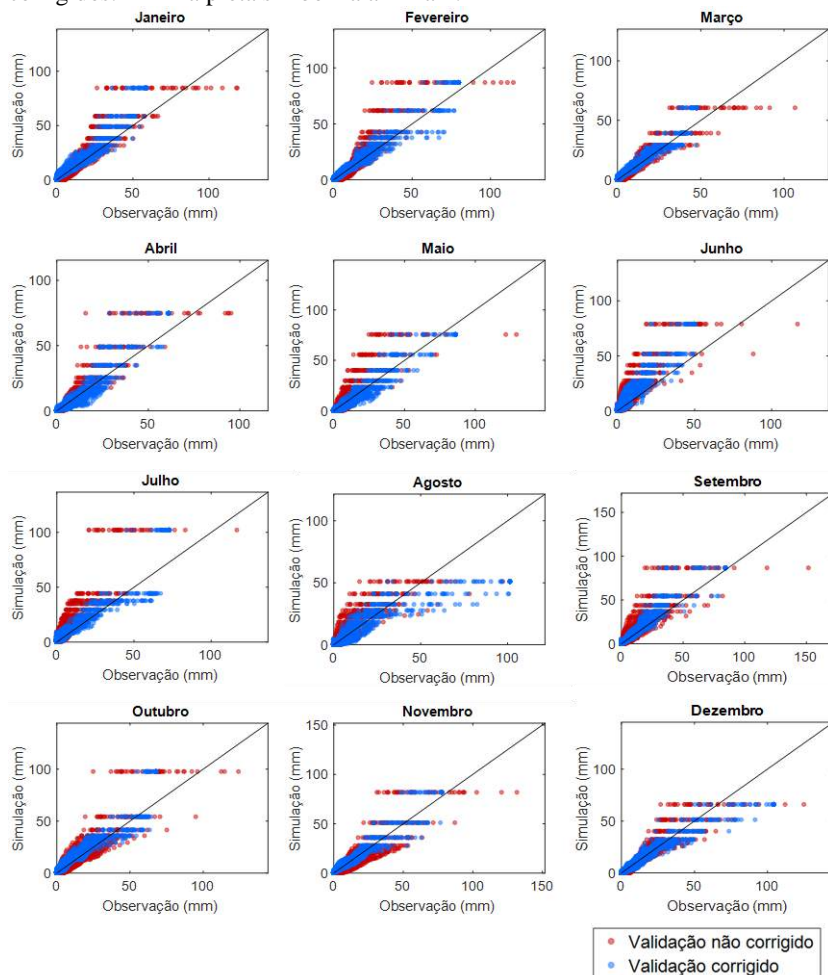
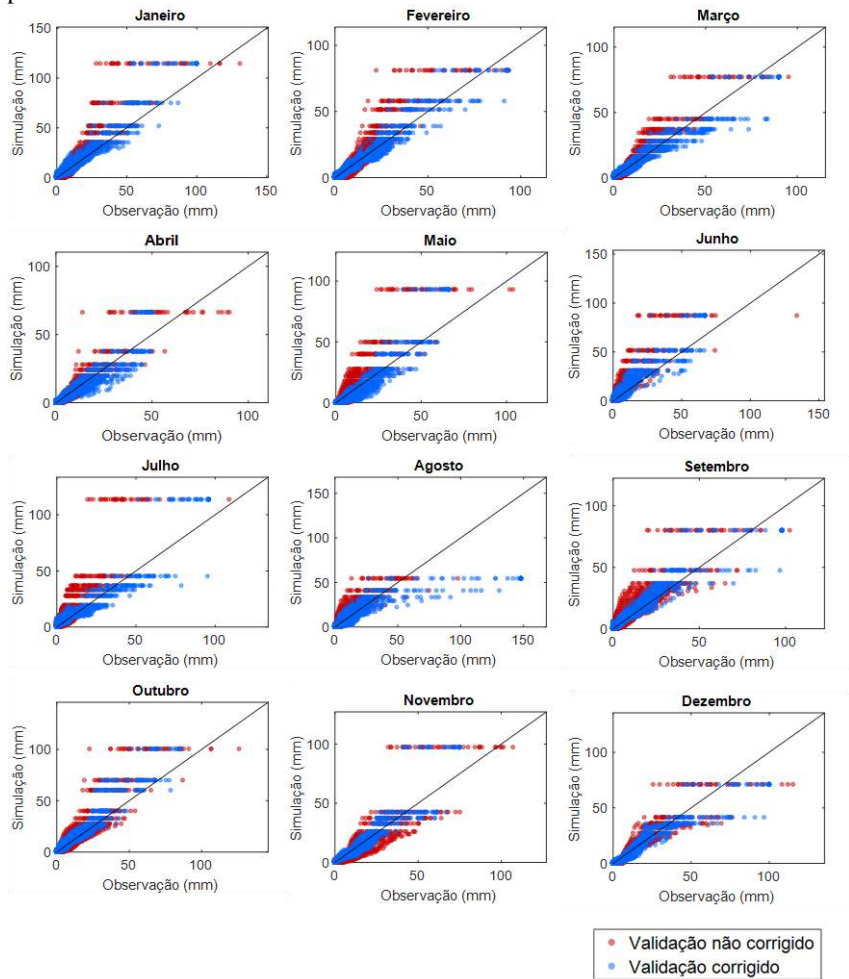


Figura 45 - Método de QM Mensal para a estação 2749017, localizada no município de Apiúna, no período de validação. Os círculos em vermelho são os quantis dos modelos não corrigidos e os azuis dos quantis corrigidos. A linha preta simboliza a linha 1:1



APÊDICE B – Sazonalidade dos Modelos de Clima antes e depois da correção

Figura 46 - Sazonalidade dos modelos de clima sem correção (círculos cinzas), dos modelos corrigidos (círculos pretos) e da observação (linha tracejada azul) para o período de Calibração. Os modelos (eixo das abscissas) estão ordenados por semelhança em relação à observação. A estação descrita é 2749016, localizada no município de Apiúna

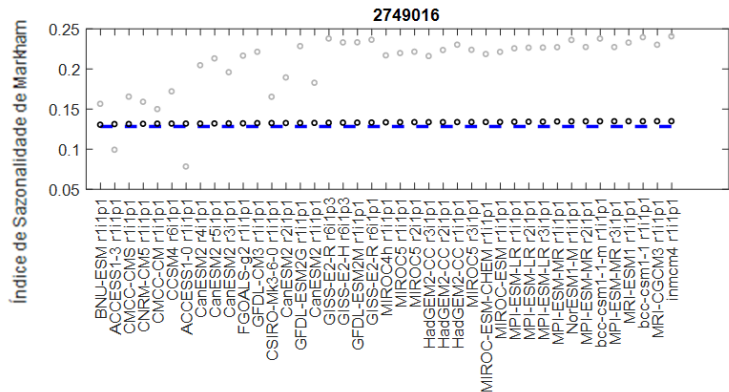


Figura 47 - Sazonalidade dos modelos de clima sem correção (círculos cinzas), dos modelos corrigidos (círculos pretos) e da observação (linha tracejada azul) para o período de calibração. Os modelos (eixo das abscissas) estão ordenados por semelhança em relação à observação. As estações descritas são 2649002, localizada no município de Pomerode; 2649004, localizada no município de Timbó e 2649008, localizada no município de Rio dos Cedros.

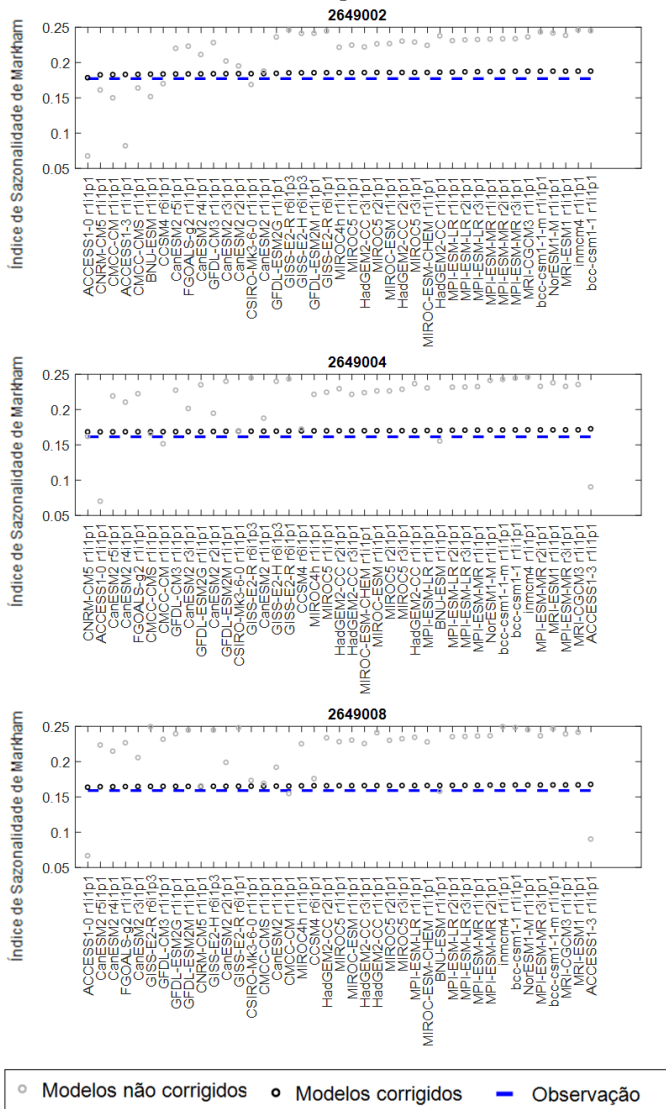


Figura 48 - Sazonalidade dos modelos de clima sem correção (círculos cinzas), dos modelos corrigidos (círculos pretos) e da observação (linha tracejada azul) para o período de calibração. Os modelos (eixo das abscissas) estão ordenados por semelhança em relação à observação. As estações descritas 2649017, localizada no município de Doutor Pedrinho e 2749000, localizada no município de Apuína e 2749005, localizada no município de Ibirama.

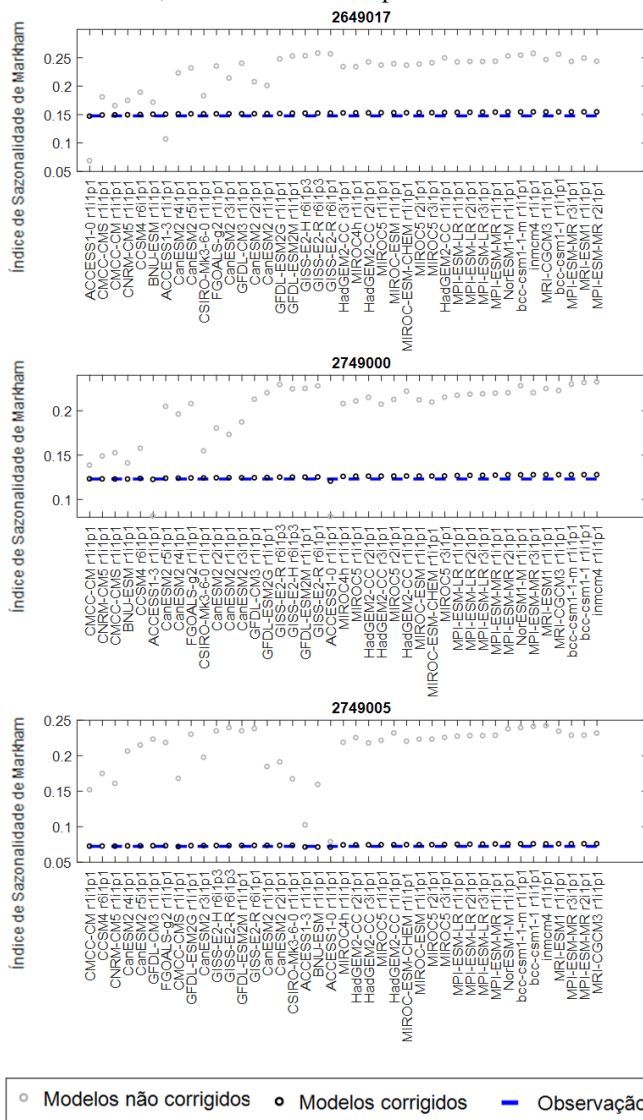


Figura 49 - Sazonalidade dos modelos de clima sem correção (círculos cinzas), dos modelos corrigidos (círculos pretos) e da observação (linha tracejada azul) para o período de calibração. Os modelos (eixo das abscissas) estão ordenados por semelhança em relação à observação. As estações descritas são 2749006, localizada no município de Pouso Redondo; 2749007, localizada no município de Alfredo Wagner e 2749013, localizada no município de Trombudo Central.

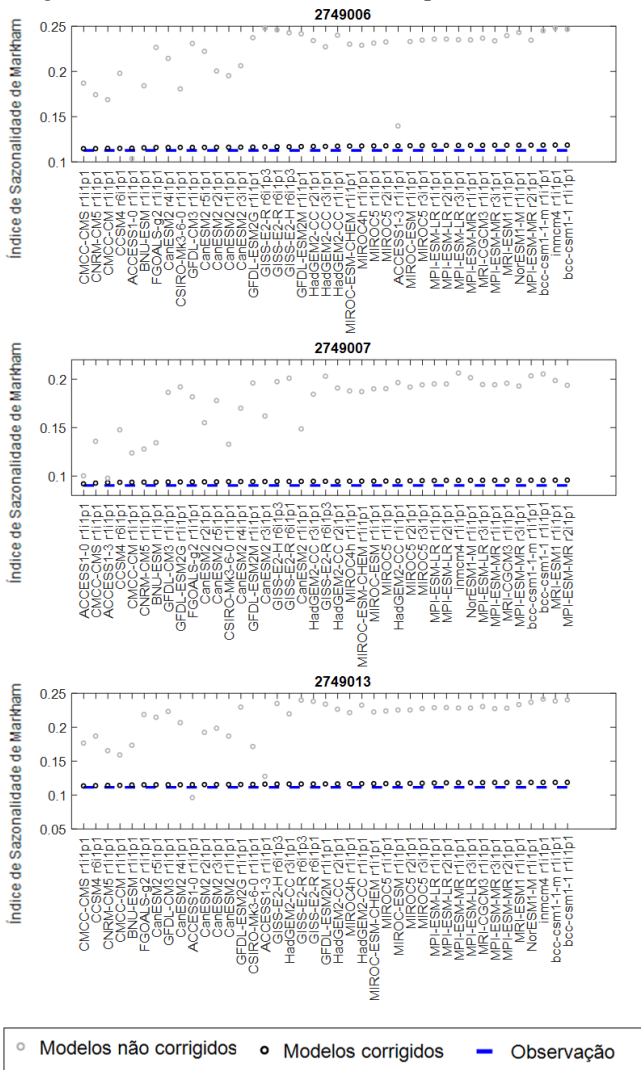


Figura 50 - Sazonalidade dos modelos de clima sem correção (círculos cinzas), dos modelos corrigidos (círculos pretos) e da observação (linha tracejada azul) para o período de calibração. Os modelos (eixo das abscissas) estão ordenados por semelhança em relação à observação. A estação descrita é 2749016, localizada no município de Apiúna

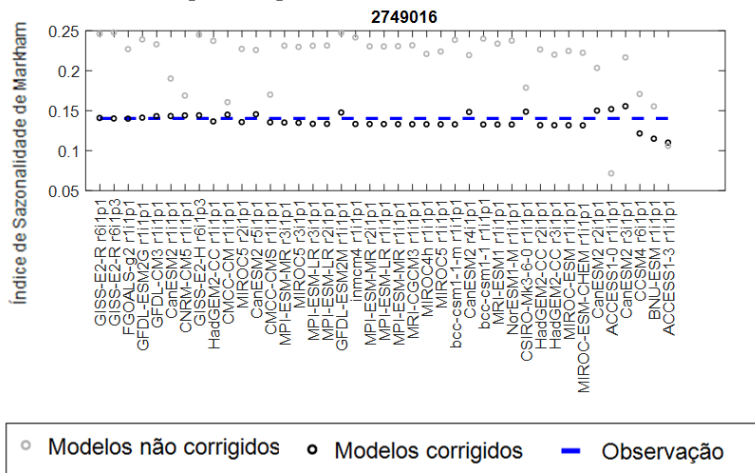


Figura 51- Sazonalidade dos modelos de clima sem correção (círculos cinzas), dos modelos corrigidos (círculos pretos) e da observação (linha tracejada azul) para o período de validação. Os modelos (eixo das abscissas) estão ordenados por semelhança em relação à observação. As estações descritas são 2649002, localizada no município de Pomerode; 2649004, localizada no município de Timbó e 2649008, localizada no município de Rio dos Cedros-

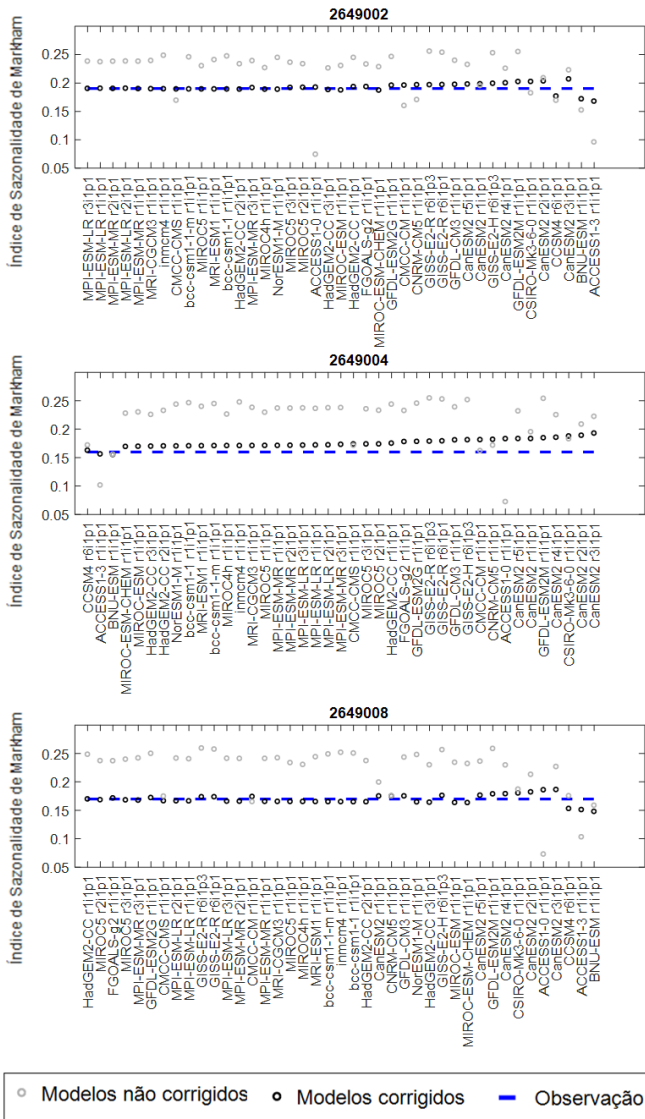


Figura 52 - Sazonalidade dos modelos de clima sem correção (círculos cinzas), dos modelos corrigidos (círculos pretos) e da observação (linha tracejada azul) para o período de validação. Os modelos (eixo das abscissas) estão ordenados por semelhança em relação à observação. As estações descritas 2649017, localizada no município de Doutor Pedrinho e 2749000, localizada no município de Apuína e 2749005, localizada no município de Ibirama.

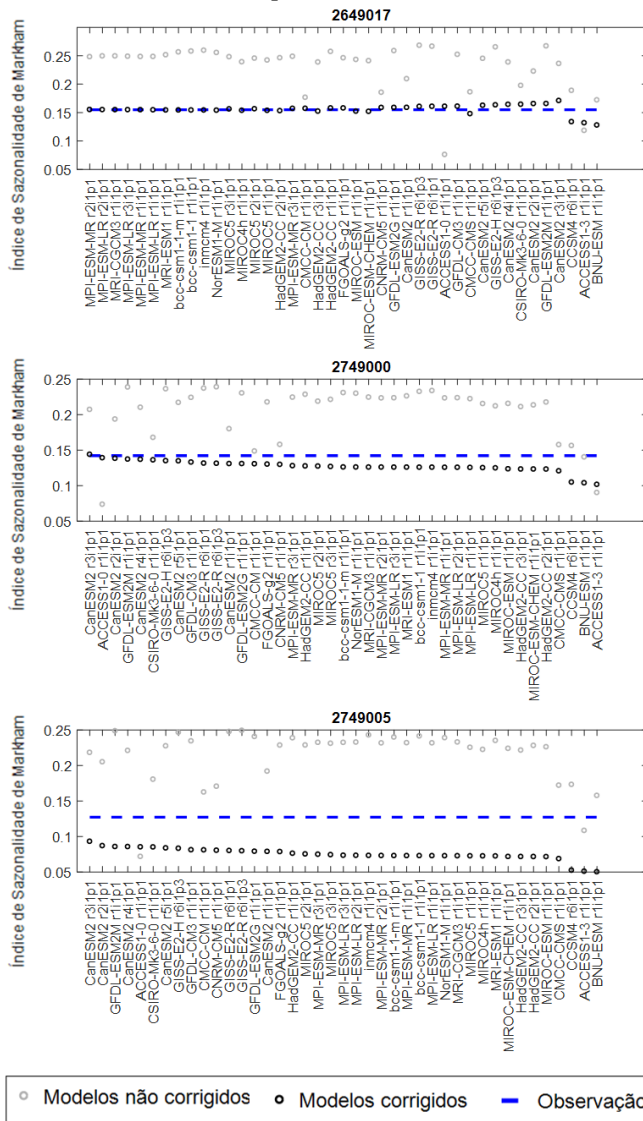
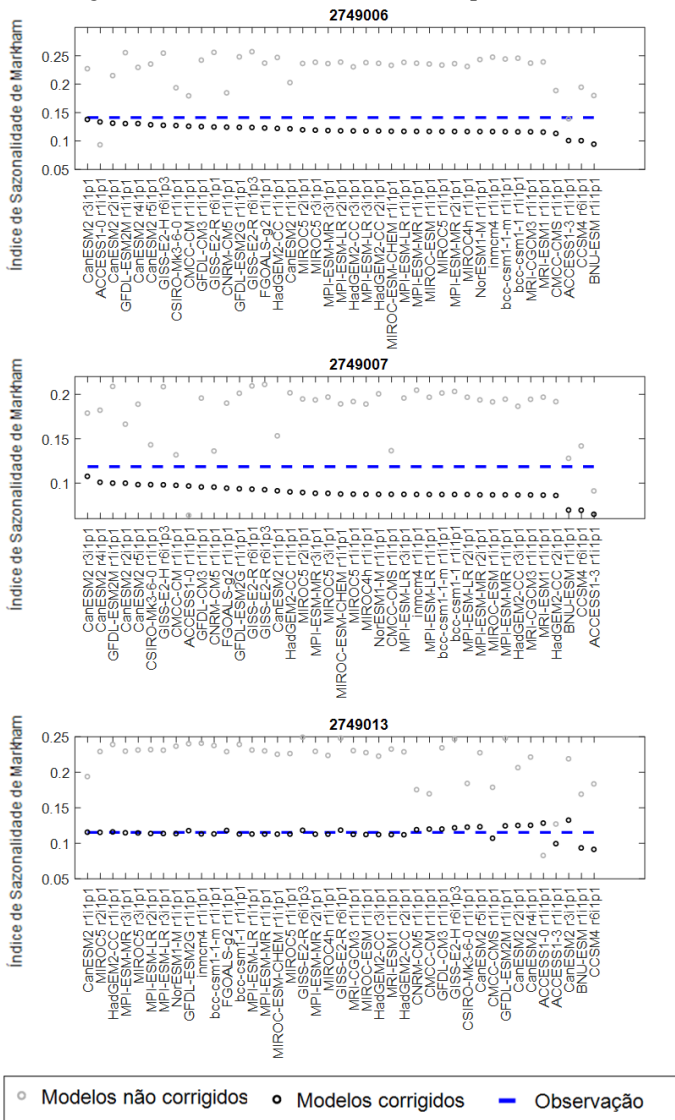


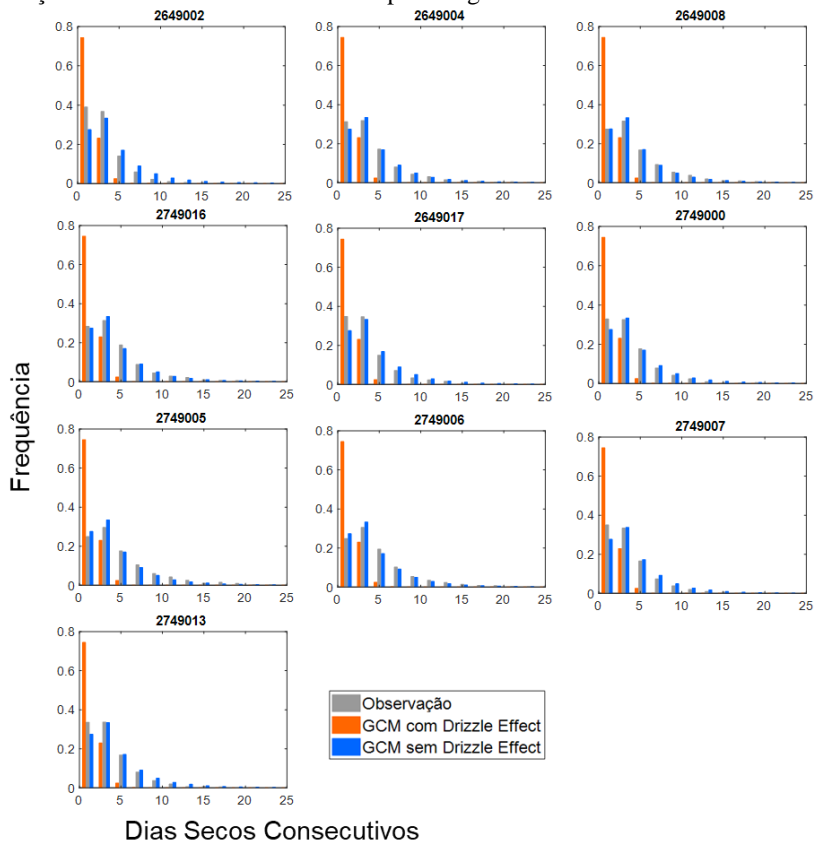
Figura 53 - Sazonalidade dos modelos de clima sem correção (círculos cinzas), dos modelos corrigidos (círculos pretos) e da observação (linha tracejada azul) para o período de validação. Os modelos (eixo das abscissas) estão ordenados por semelhança em relação à observação. As estações descritas são 2749006, localizada no município de Pouso Redondo; 2749007, localizada no município de Alfredo Wagner e 2749013, localizada no município de Trombudo Central.



- Modelos não corrigidos
- Modelos corrigidos
- Observação

APÊNDICE C – Análise de Drizzle Effect: Frequência de dias secos consecutivos

Figura 54 – Frequência de dias secos consecutivos na observação (barras cinzas), para os modelos não corrigidos (barras laranjas) e modelos corrigidos (barras azuis) para o restante das estações pluviométricas. O código pluviométrico das estações está descrito acima do seu respectivo gráfico.



APÊNDICE D – Ciclo Anual

Figura 55 - Ciclo Anual dos modelos não corrigidos (linhas cinzas), dos modelos corrigidos pelo QM Anual (linhas chumbo) e pelo QM Mensal (linhas pretas) e da observação (linhas azuis) para o restante das estações. O número da estação está descrito acima de cada par de gráficos respectivos, que representam o ciclo anual antes da correção (gráficos superiores) e depois das correções (gráficos inferiores) para o período de calibração.

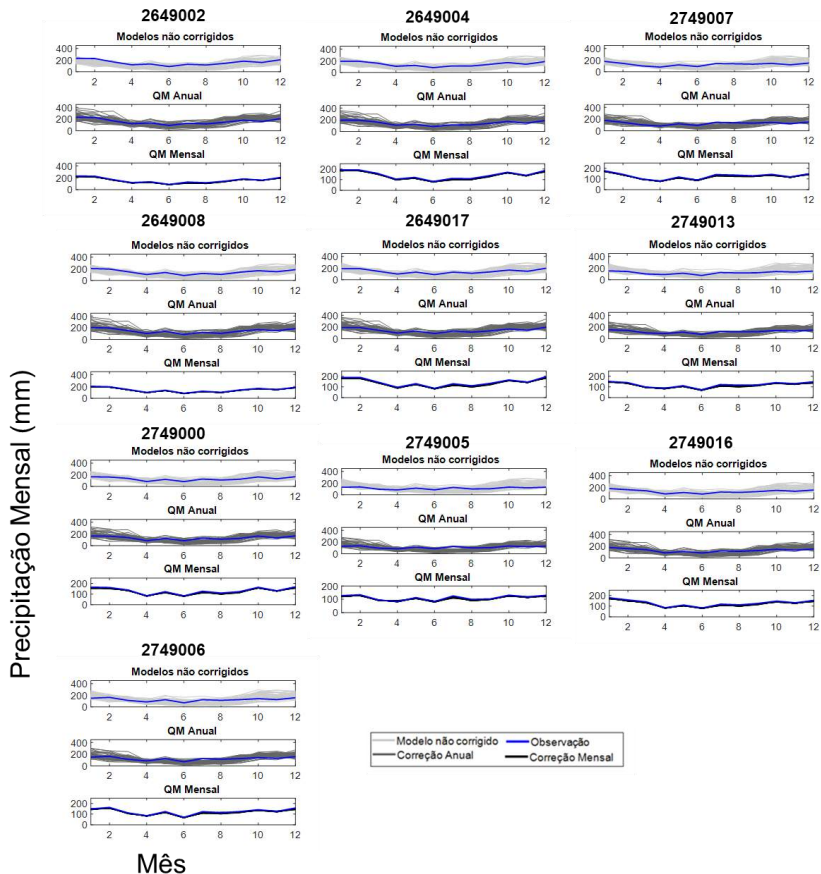
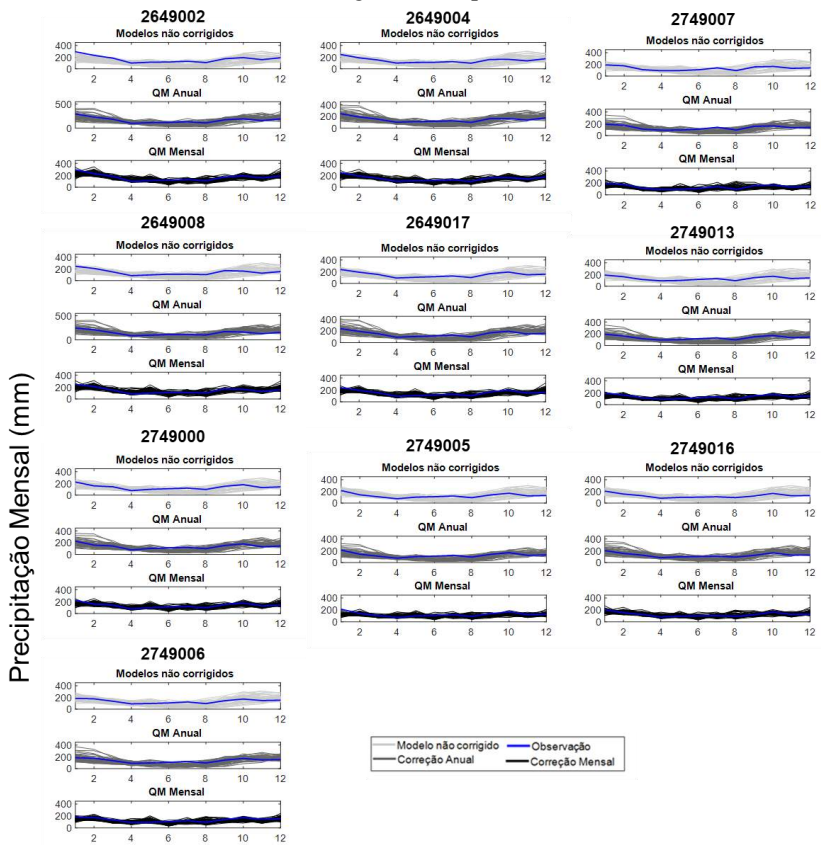


Figura 56 - Ciclo Anual dos modelos não corrigidos (linhas cinzas), dos modelos corrigidos pelo QM Anual (linhas chumbo) e pelo QM Mensal (linhas pretas) e da observação (linhas azuis) para o restante das estações. O número da estação está descrito acima de cada trio de gráficos respectivos.



APÊNDICE E – CDF Precipitação Diária

Figura 57 - CDF dos modelos não corrigidos (linhas cinzas), dos modelos corrigidos (linhas pretas) e da observação (linhas azuis) para o período de calibração para o restante das estações. O código pluviométrico das estações está descrito acima de seu respectivo gráfico

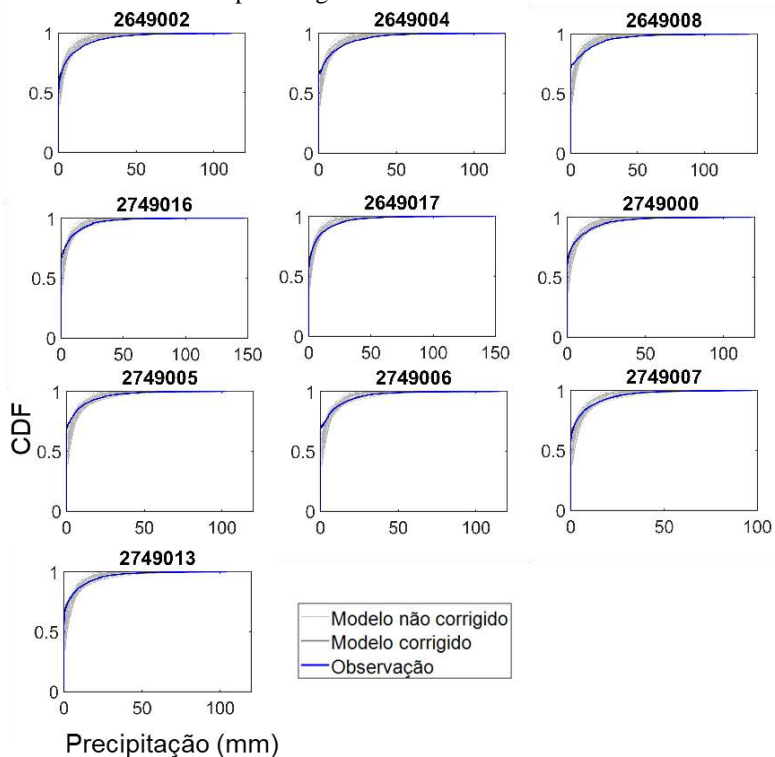
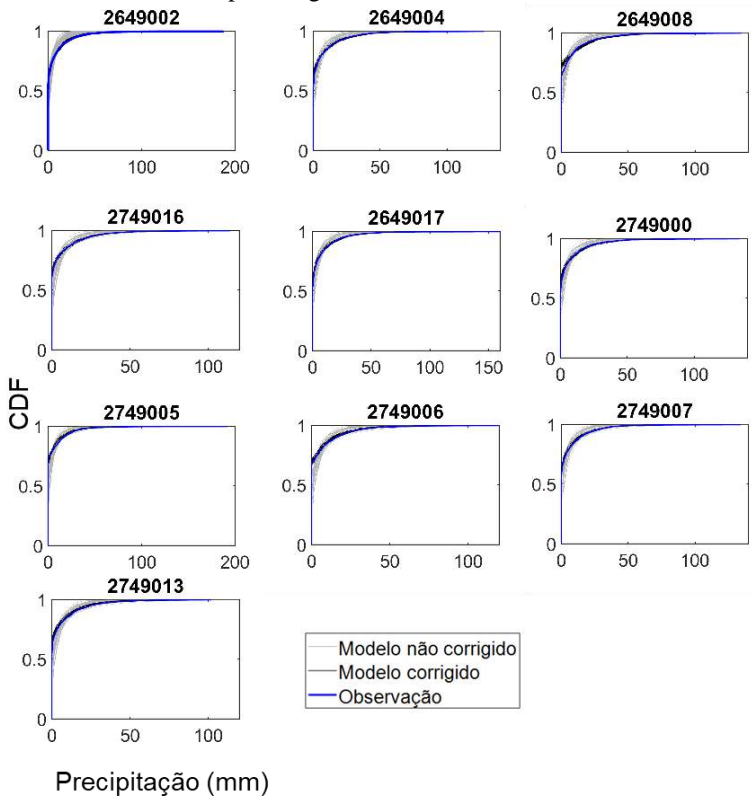
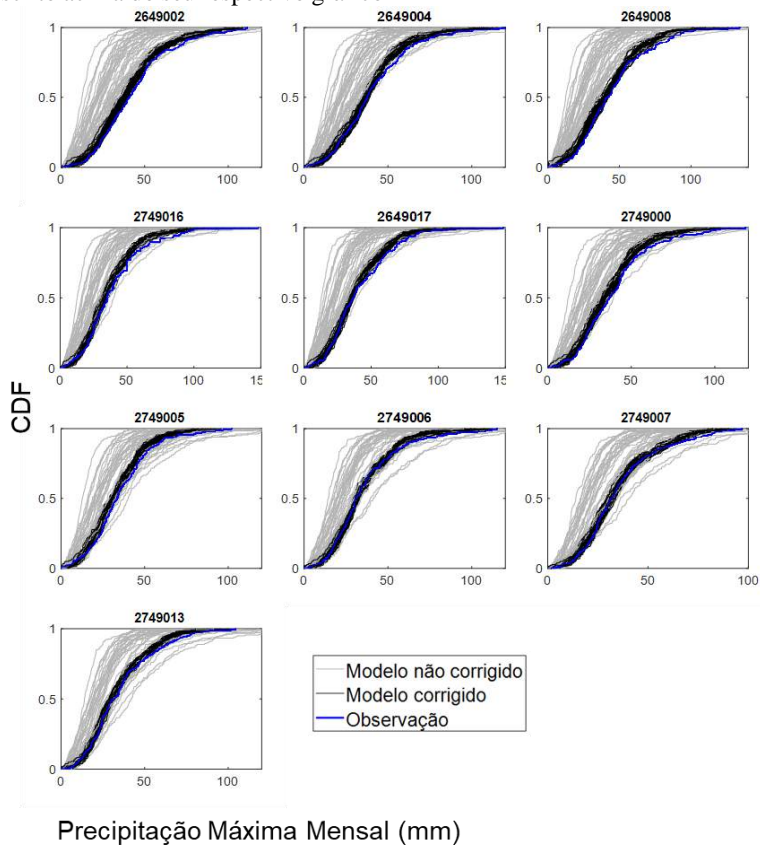


Figura 58 - CDF dos modelos não corrigidos (linhas cinzas), dos modelos corrigidos (linhas pretas) e da observação (linhas azuis) para o período de validação para o restante das estações. O código pluviométrico das estações está descrito acima do seu respectivo gráfico



APÊNDICE F – CDF de Precipitação Máxima Mensal

Figura 59 - CDF dos modelos não corrigidos (linhas cinzas), dos modelos corrigidos (linhas pretas) e da observação (linhas azuis) para o período de calibração para o restante das estações. O código pluviométrico das estações está descrito acima do seu respectivo gráfico



APÊNDICE G – Modelos de clima do CMIP3 e CMIP5

Tabela 9 - Modelos de clima do CMIP3 e CMIP5

Acrônimo	Instituição Responsável	País de origem	Acrônimo	Instituição Responsável	País de origem
BCCR-BCM2.0	CNRM ,CERFACS	França	NorESM1-ME	NCC	Noruega
CNRM-CM3	CNRM ,CERFACS	França	BCC-CSM1.1	NCC	Noruega
CNRM-CM5	CNRM ,CERFACS	França	FGOALS-g2	IAP,THU	China
EC-EARTH	CNRM ,CERFACS	França	FIO-ESM	NCC	Noruega
GFDL-CM2.0	NOAA	EUA	FGOALS-s2	IAP,THU	China
GFDL-CM2.1	NOAA	EUA	ECHO-G	Max Planck Institute for Meteorology	Alemanha
GFDL-ESM2M	NOAA	EUA	MRI-CGCM2.3.2	MRI	Japão
GFDL-CM3	NOAA	EUA	ERA40/GPCP	NCAR	EUA
GFDL-CM2.5	NOAA	EUA	NCEP/CMAP	NCAR	EUA
ECHAM5/MPI-OM	Max Planck Institute for Meteorology	Alemanha	CGM3.1 (T47)	CCCma	Canadá
MPI-ESM-LR	Max Planck Institute for Meteorology	Alemanha	CGM3.1 (T63)	CCCma	Canadá
MPI-ESM-MR	Max Planck Institute for Meteorology	Alemanha	IPSL-CM4	IPSL	França
CMCC-CM	Max Planck Institute for Meteorology	Alemanha	IPSL-CM5A-MR	IPSL	França
MIROC5	JAMSTEC, AORI, NIES	Japão	IPSL-CM5A-LR	IPSL	França
CSIRO-Mk3.0	CSIRO	Austrália	IPSL-CM5B-LR	IPSL	França
CSIRO-Mk3.5	CSIRO	Austrália	MRI-CGCM3	MRI	Japão
CanESM2	CCCma	Canadá	CSIRO-Mk360	CSIRO	Austrália
UKMO-HadCM3	Met Office Hadley Centre	Reino Unido	GISS-E2-H	NASA/GISS	EUA
UKMO-HadGEM1	Met Office Hadley Centre	Reino Unido	GISS-E2-R	NASA/GISS	EUA
HadGEM2-CC	Met Office Hadley Centre	Reino Unido	INM-CM3.0	INM	Rússia
HadGEM2-ES	Met Office Hadley Centre	Reino Unido	PCM	NCC	Noruega
ACCESS1.0	Met Office Hadley Centre	Reino Unido	MIROC2.3(hires)	JAMSTEC, AORI, NIES	Japão
ACCESS1.3	Met Office Hadley Centre	Reino Unido	MIROC4h	JAMSTEC, AORI, NIES	Japão
CCSM3	NCC	Noruega	MIROC-ESM	JAMSTEC, AORI, NIES	Japão
CCSM4	NCC	Noruega	MITOC-ESM-CHEM	JAMSTEC, AORI, NIES	Japão
CESM1 (FASTCHEM)	NCC	Noruega	INM-CM4	INM	Rússia
CESM1-BGC	NCC	Noruega	GISS-EH	NASA/GISS	EUA
CESM1 (CAM5)	NCC	Noruega	FGOALS-g1.0	JAMSTEC, AORI, NIES	Japão
CESM1 (WACCM)	NCC	Noruega	GISS-AOM	NASA/GISS	EUA
NorESM1-M	NCC	Noruega	GISS-ER	NASA/GISS	EUA