



**PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA  
SECRETARIA DE ASSUNTOS ESTRATÉGICOS**



**PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO**

PROJETO BRA/06/032

ENQUADRAMENTO PNUD: R.1 P1.17

Carta de Acordo nº 25759/2014 (RC) – SAE – FCMF

Adaptação às Mudanças do Clima: Cenários e Alternativas

Infraestrutura Urbana

Produto 3 - IU

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Wilson Cabral de Sousa Junior'.

Responsável: Wilson Cabral de Sousa Junior

Brasília, 19 de abril de 2015

## Sumário

1. Introdução .....	2
2. Resultados.....	2
2.1. Recife .....	4
2.1.1. Análise comparativa da razão de chuva (3h/24h) para os cenários passado e futuro simulados no modelo atmosférico - dados sem correção.....	4
2.1.2. Correção do viés das simulações de precipitação.....	8
2.1.3. Avaliação das precipitações máximas e total acumulado anual para séries de dados observados, brutos e corrigidos – período passado simulado pelo modelo atmosférico .....	18
2.1.4. Processo de determinação das equações IDF.....	26
2.1.5. Estudo comparativo a partir de IDF existente e estimadas para cenários futuros.....	28
2.2 Salvador .....	35
2.2.1. Análise comparativa da razão de chuva (3h/24h) para os cenários passado e futuro simulados no modelo atmosférico - dados sem correção.....	35
2.2.2. Correção do viés das simulações de precipitação.....	36
2.2.3. Avaliação das precipitações máximas e total acumulado anual para séries de dados observados, brutos e corrigidos – período passado simulado pelo modelo atmosférico .....	45
2.2.4. Processo de determinação das equações IDF.....	51
2.2.5. Estudo comparativo a partir de IDF existente e estimadas para cenários futuros.....	51
2.3. Fortaleza .....	57
2.3.1. Análise comparativa da razão de chuva (3h/24h) para os cenários passado e futuro simulados no modelo atmosférico - dados sem correção.....	57
2.3.2. Correção do viés das simulações de precipitação.....	59
2.3.3. Avaliação das precipitações máximas e total acumulado anual para séries de dados observados, brutos e corrigidos – período passado simulado pelo modelo atmosférico .....	67
2.3.4. Processo de determinação das equações IDF.....	73
2.3.5. Estudo comparativo a partir de IDF existente e estimadas para cenários futuros.....	73
2.4. Rio de Janeiro .....	80
2.4.1. Análise comparativa da razão de chuva (3h/24h) para os cenários passado e futuro simulados no modelo atmosférico - dados sem correção.....	80
2.4.2. Correção do viés das simulações de precipitação.....	82
2.4.3. Avaliação das precipitações máximas e total acumulado anual para séries de dados observados, brutos e corrigidos – período passado simulado pelo modelo atmosférico .....	90
2.4.4. Processo de determinação das equações IDF.....	96
2.4.5. Estudo comparativo a partir de IDF existente e estimadas para cenários futuros.....	97
2.4.6. Simulação hidrológica - Método SCS.....	103

2.5. São Paulo .....	113
2.5.1. Análise comparativa da razão de chuva (3h/24h) para os cenários passado e futuro simulados no modelo atmosférico - dados sem correção .....	113
2.5.2. Correção do viés das simulações de precipitação.....	115
2.5.3. Avaliação das precipitações máximas e total acumulado anual para séries de dados observados, brutos e corrigidos – período passado simulado pelo modelo atmosférico .....	124
2.5.4. Processo de determinação das equações IDF .....	130
2.5.5. Estudo comparativo a partir de IDF existente e estimadas para cenários futuros.....	131
2.5.6. Simulação hidrológica - Método SCS.....	137
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	149
APÊNDICE A – Valores de “CN Atual” da bacia Canal do Mangue – Município do Rio de Janeiro. .	151
APÊNDICE B – Mapa de pedologia do Município do Rio de Janeiro - área de influência da bacia da baía da Guanabara. ....	152
APÊNDICE C – Mapa de uso e ocupação do solo - do Município do Rio de Janeiro.....	153
APÊNDICE D – Valores de “CN – Atual” do Município de São Paulo, destaque da bacia do Córrego Anhangabaú. ....	153
ANEXO A – Coeficientes $\mu_\gamma$ e $\delta_\gamma$ para a determinação do fato K de Gumbel (adaptado de Gumbel, 1958) .....	155
ANEXO B – Mapa de Isozonas de igual razões de precipitação .....	157
ANEXO C – Papel de probabilidade.....	158
ANEXO D – Comparação entre os coeficientes de intensidade de 3h/24h e Isozonas. ....	158
ANEXO E – Valores de CN para bacias com ocupação urbana. ....	158
ANEXO F – Classificação hidrológica do solo para as condições brasileiras. ....	158

## **1. Introdução**

O projeto “BRASIL 3 TEMPOS” BRA/06/032, executado pela Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República (SAE/PR), tem como objetivo desenvolver estratégias e ações nacionais que subsidiem o governo na formulação e implementação de políticas públicas de longo prazo que promovam o crescimento econômico do país, acompanhado de inclusão social. Essas ações estão sendo realizadas por meio de estudos, produtos e eventos sobre temas de importância para o planejamento estratégico brasileiro, tendo por base cenários climáticos de longo prazo. A partir destas informações, vários eixos de atividades humanas são estudados e medidas de adaptação são analisadas. Dentre estes eixos está a infraestrutura urbana, com foco nos sistemas de drenagem pluvial, objeto deste relatório.

Este relatório apresenta os resultados das correções dos vieses das simulações de precipitação dos modelos climáticos e resultados e etapas dos estudos hidrológicos envolvendo a infraestrutura urbana das cidades estudadas diante de cenários de mudanças climáticas obtidos a partir de dados gerados pelos modelos climáticos regionais contratados pela SAE/PR junto ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE.

A metodologia adotada, a sistematização do banco de dados levantados, bem como um diagnóstico das estruturas de drenagem para as cidades estudadas, estão descritos nos relatórios anteriores deste projeto (Produto 1 e Produto 2).

## **2. Resultados**

O conhecimento das características das precipitações intensas é de grande importância para o dimensionamento de obras hidráulicas em geral, tais como: redes de águas pluviais, canalizações de córregos, bueiros, e vertedores de barragens.

Para certa intensidade de chuva, constante e igualmente distribuída sobre uma bacia hidrográfica, a máxima vazão a ser verificada numa seção corresponde ao volume relativo a uma duração de chuva igual ao “tempo de concentração da bacia”, a partir da qual a vazão é constante. Assim, o dimensionamento das obras hidráulicas exige o



conhecimento da relação entre a intensidade, a duração e a frequência das precipitações (MARTINEZ JUNIOR; MAGNI, 2014)

Segundo Zuffo e Genovez (2000), o processo para estimar essas precipitações para os locais onde não se dispõe de dados de pluviógrafos ou onde as séries observadas têm pouca representatividade, busca permitir uma associação à frequência, para estabelecer as relações entre as chuvas de diferentes durações, equações Intensidade - Duração – Frequência (IDF). Esta também é chamada equações de chuvas intensas.

Como forma de avaliar o comportamento do regime de chuvas intensas a partir dos dados brutos (sem correção de viés) fornecidos pelos modelos atmosféricos, primeiramente foram avaliadas as relações entre as precipitações de 3h/24h simuladas. Essa avaliação é importante, pois se por um lado o modelo pode reproduzir bem as precipitações diárias (24 horas), avaliadas para o período passado, por outro, pode apresentar erros nas estimativas de precipitações de curtas duração. Vale ressaltar que a melhor resolução temporal de dados de precipitação fornecidos pelo modelo em estudo é de 3 horas. Essa resolução ainda é muito baixa para o estudo de precipitações intensas, que em geral duram poucos minutos. As precipitações de curtíssima duração são as que apresentam as maiores intensidades e, em geral, são as que provocam uma quantidade maior de eventos de alagamento e inundação urbana.

Ainda nessa análise de qualidade das simulações de precipitação, foram feitas comparações com as precipitações diárias máximas anuais e total acumulado anual, a partir das séries de dados observados em estações meteorológicas, e séries de dados brutos e corrigidos - período passado (*historical* – 1961 a 2005) simulado nos modelos atmosféricos.

A análise das correções de viés foi feita também com base nas curvas de densidade acumuladas (cda) para os dados observados, brutos e corrigidos para o período passado.

A partir dos dados corrigidos de precipitação, foram estabelecidas relações IDFs para os cenários climáticos IPCC 4.5 e 8.5, executados nos modelos HadGem2 ES e Miroc5. Os resultados encontrados foram comparados com as IDFs existentes para os



Municípios de Recife, Salvador, Fortaleza, Rio de Janeiro e São Paulo.

Finalmente, apresenta-se a simulação hidrológica utilizando o método SCS (Soil Conservation Service), conforme apontado no Produto 1. Entretanto, face à disponibilidade de dados, essa análise se concentrou nas cidades do Rio de Janeiro e São Paulo.

## **2.1. Recife**

### **2.1.1. Análise comparativa da razão de chuva (3h/24h) para os cenários passado e futuro simulados no modelo atmosférico - dados sem correção**

Para se determinar as precipitações máximas prováveis para as durações de 3 e 24 horas, foram adotadas séries anuais, em que apenas os valores máximos anuais são considerados. Assumiu-se que esses valores máximos anuais seguem uma distribuição de frequência de Gumbel (Tipo I), que é a mais comumente adotada para a distribuição de valores extremos. Séries anuais podem ser aplicadas para séries com mais de 12 anos de dados. Para as simulações dos modelos, o período passado (1961 a 2005) apresenta 45 anos de dados e o período futuro (2007 a 2040), 34 anos de dados.

A partir dos valores da média e desvio padrão amostral desses valores máximos anuais, a precipitação máxima provável é dada pela Equação 1.

$$y = \bar{y} + K \cdot s \quad (1)$$

onde:

$y$  = precipitação máxima provável com período de retorno  $T$ ;

$\bar{y}$  = precipitação média da amostra;

$K$  = fator de frequência da distribuição de Gumbel;

$s$  = desvio padrão da amostra.

O fator de frequência  $K$  varia com o período de retorno, com o tipo de distribuição estatística e o tamanho da amostra. Para a distribuição de Gumbel, os valores foram obtidos pela Equação 2 (GUMBEL, 1958). Os coeficientes  $\mu_y$  e  $\delta_y$  para determinação do fator  $K$  são apresentados no Anexo A.

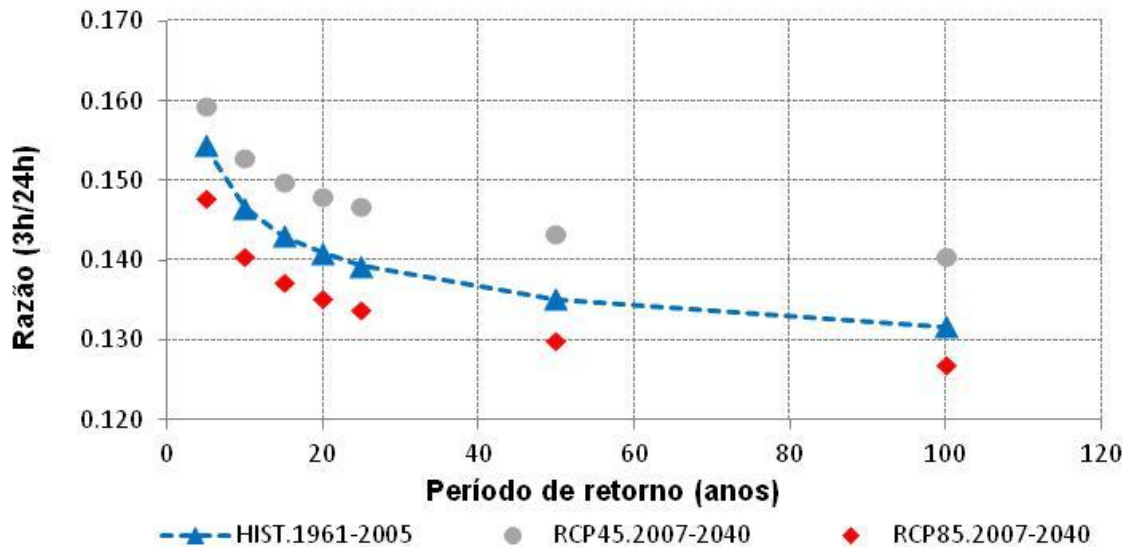


$$K = \frac{-\ln\left(-\ln\left(1-\frac{1}{T}\right)\right) - \mu_y}{\delta_y} \quad (2)$$

As Figuras 1 e 2 mostram os resultados das razões de precipitação que relacionam a precipitação de 3h e de 24h, para os períodos de retorno de 5, 10, 15, 20, 25, 50 e 100 anos.

Para os cenários simulados no **HadGem2-ES**, analisando dados apresentados na Figura 1, observa-se que a razão de chuva obtida a partir dos dados brutos, sem a correção de viés, diminui à medida que se aumenta o período de retorno adotado, tanto para o período passado (HIST) quanto para o período futuro. Interessante notar que o modelo apresenta um aumento nessa razão para o cenário 4.5 com relação ao passado, porém uma redução para o cenário 8.5. Assim como para o cenário 4.5, o cenário 8.5 estabelece um aumento nas emissões de CO<sub>2</sub> até 2040, e conseqüente aumento temperatura média global, porém de uma forma mais intensa. Diante desse comportamento, era de se esperar que as razões de precipitações de 3h/24h apresentassem a mesma tendência. Essa disparidade nos resultados dificulta a inferência de um comportamento climático futuro. Uma razão maior de chuvas 3h/24h horas pode indicar uma concentração maior das precipitações em 3 horas, ou seja, eventos mais intensos, ou uma subestimação das chuvas de 24 horas. Para analisar qual desses dois padrões está ocorrendo, serão investigados os dados de máximos diários e as curvas de distribuição acumuladas com relação aos dados observados.

## HadGem2-ES

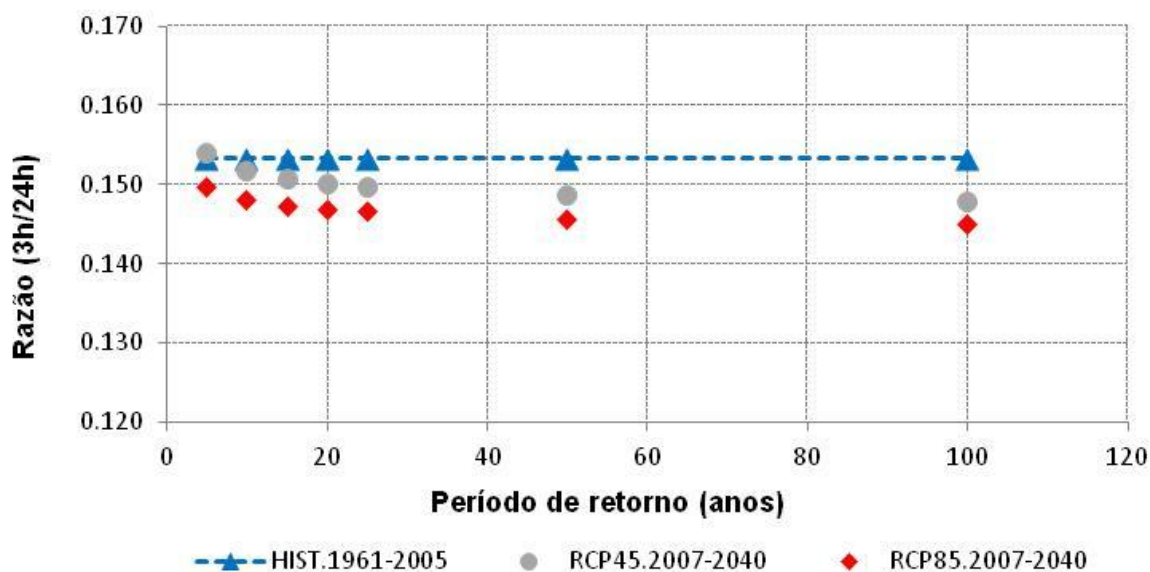


**Figura 1.** Razão de chuva (3h/24h) para dados brutos, HadGem2-ES (Recife).

Já os cenários simulados pelo **Miroc5** mostrados na Figura 2, a razão 3h/24h permanece constante para períodos de retorno variando entre 50 e 100 anos. Para os períodos de retorno de 5, 10, 15, 20 e 25 anos, ocorreu uma pequena redução nas razões observadas. Nota-se nesta figura que em relação ao período passado (HIST), o cenário RCP 4.5 apresenta uma redução nos valores das razões, que é ainda maior para o cenário 8.5. Serão analisados os máximos diários e as curvas de probabilidades acumuladas para compreender melhor o comportamento das simulações.



## Miroc5



**Figura 2.** Razão de chuva (3h/24h) para dados brutos, Miroc5 (Recife).

Se comparadas com as razões observadas de literatura, as razões encontradas são muito inferiores. Torrico (1974) dividiu o território brasileiro em zonas de iguais razões de precipitações, as chamadas isozonas (Anexo B). De acordo com essa classificação, a cidade de Recife está localizada na Isozona B. Para cada isozona, Torrico (1974) apresenta as razões de precipitação de 1h/24h e de 6min/24h, de acordo com o período de retorno (Tabela 1).

**Tabela 1.** Razões de precipitações de 1h/24h e 6min/24h para cada Isozona (TORRICO, 1974)

ISOZONA	Período de Retorno (anos)								
	5	10	15	20	25	50	100	5-50	100
	1h/24h							6min / 24h	
A	36,2	35,8	35,6	35,5	35,4	35,0	34,7	7,0	6,3
B	38,1	37,8	37,5	37,4	37,3	36,9	36,6	8,4	7,5
C	40,1	39,7	39,5	39,3	39,2	38,8	38,4	9,8	8,8
D	42,0	41,6	41,4	41,2	41,1	40,7	40,3	11,2	10,0
E	44,0	43,6	43,3	43,2	43,0	42,6	42,2	12,6	11,2
F	46,0	45,5	45,3	45,1	44,9	44,5	44,1	13,9	12,4
G	47,9	47,4	47,2	47,0	46,8	46,4	45,9	15,4	13,7
H	49,9	49,4	49,1	48,9	48,8	48,3	47,8	16,7	14,9

*[Handwritten signature]*

Interpolando essas relações de acordo com o papel de probabilidade (Anexo C), encontram-se os valores de razões 3h/24h apresentados na Tabela 2 para a isozona B de acordo com os períodos de retorno.

**Tabela 2.** Razões de precipitações de 3h/24h para Isozona B

	PERÍODO DE RECORRÊNCIA (ANOS)						
razão	5	10	15	20	25	50	100
3h/24h	0,56	0,53	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56

Esses valores corroboram com estudos mais recentes. Gonçalves (2011) analisou dados de radar e comparou com os encontrados por Torrico (1974). Os resultados desse trabalho estão apresentados no Anexo D. Para a cidade de Recife, a razão das precipitações de 3h/24h, para um período de retorno de 5 anos, está na faixa de 0,42 a 0,54, e para um período de retorno de 100 anos, está na faixa de 0,48 a 0,56. Esses valores estão muito semelhantes aos encontrados por Torrico (1974). As razões de precipitações simuladas pelos modelos, entretanto, apresentam valores muito inferiores a estes. Isso indica que os modelos, em média, ou distribuem mais as precipitações durante os dias, ou seja, apresentam precipitações menos intensas, ou superestimam os valores de precipitações diárias.

### 2.1.2. Correção do viés das simulações de precipitação

Para reduzir os erros sistemáticos das previsões de precipitações diárias do MCR Eta, optou-se pelo emprego do método de correção de viés por ajuste à distribuição estatística gama, apresentado no produto 1 - Infraestruturas Urbana e Costeira. A escolha se deve aos melhores resultados obtidos por essa técnica em revisão de literatura (Teutschbein e Seibert, 2012; Piani *et al.*, 2010; Tschöke, 2014).

A distribuição gama é considerada como sendo confiável para a distribuição de eventos de precipitação (Piani *et al.*, 2010). Assume-se que as distribuições de intensidades de precipitação simuladas e observadas são muito próximas à distribuição gama.

Para a aplicação da técnica de correção de viés dos valores de precipitação simulados pelo Modelo Climático Regional (MCR) Eta, primeiramente, procuraram-se estações

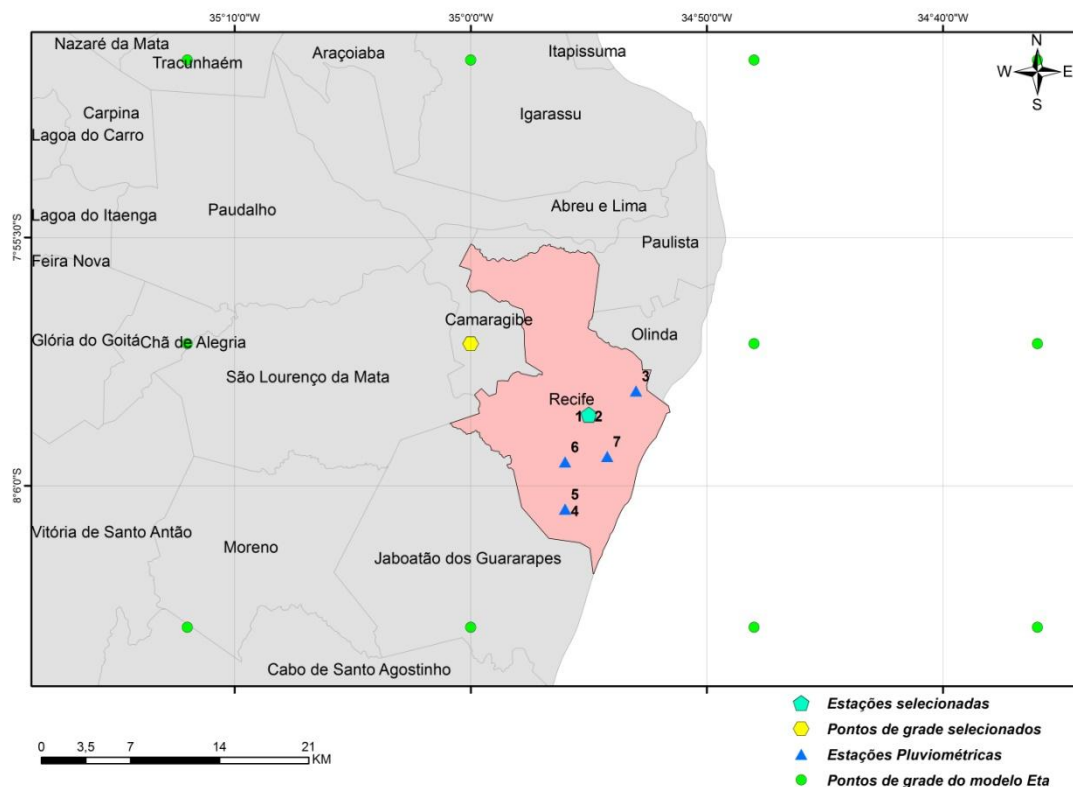
pluviométricas contidas e próximas ao município de Recife. As estações pré-selecionadas, bem como os pontos de grade do modelo regional com resolução espacial de 20 km selecionados por estarem contidos ou próximos ao município podem ser vistos na Figura 9 do produto 2 IU - Infraestruturas Urbana.

Porém, apenas uma estação pluviométrica e um ponto de grade do MCR, por município, foram utilizados para a aplicação do método. Elegeu-se a estação e o ponto de grade do MCR considerando os seguintes critérios:

- a estação pluviométrica deve contemplar todo, ou quase todo, o período de 1961 a 2005, para que se possa fazer a comparação entre observações e simulações e para que se tenha um longo período de observações para que o ajuste à distribuição estatística seja a mais representativa possível da precipitação observada no local.
- estações e pontos do MCR localizados o mais próximo possível das áreas críticas de alagamento, para que os resultados sejam usados nos estudos hidrológicos dessas áreas.
- a estação pluviométrica e o ponto de grade do modelo devem estar o mais próximo possível, porque os valores observados na estação são usados para corrigir as simulações do MCR naquele ponto.
- as simulações do ponto de grade do modelo selecionado devem apresentar fortes correlações com as simulações dos demais pontos próximos ao município para que tais simulações representem uma grande área do município. Ressaltando que as simulações são mais representativas para a área mais próxima ao ponto do MCR selecionado. A depender da correlação, essas simulações podem ser representativas também para as áreas mais afastadas.

A estação pluviométrica selecionada para a cidade de Recife apresenta coordenadas LAT -8,05 e LON -34,95. O ponto de grade selecionado do modelo Eta apresenta coordenadas LAT -8,00, LON -35,00, conforme Figura 3.





**Figura 3.** Ponto de grade do modelo Eta e estação pluviométrica selecionados (Recife).

As correções de viés por ajuste à distribuição gama seguiram o método descrito por Tschöke (2014). Para cada região em estudo, a função de distribuição acumulada foi ajustada excluindo-se os dias secos, considerando, neste caso, como secos os dias com precipitação menor que 0,1 mm, que é a precisão dos valores observados.

O método de correção consiste em ajustar as simulações à uma distribuição gama ajustada a partir de parâmetros da série observada. Como descrito no Produto 1, essa correção é feita para cada mês.

Como o modelo regional Eta foi executado a partir dos dois modelos globais (MG), MIROC5 e o HADGEM2-ES, aplicou-se a correção de viés a:

- simulação do período passado (*Historical* - janeiro de 1961 a dezembro de 2005) do MCR executado com o MG MIROC5,
- simulação do período histórico do MCR executado com o MG HADGEM2-ES,
- simulação do período de 2007-2040 do MCR executado com o MG MIROC5 a partir do cenário RPC 4.5,

- simulação do período de 2007-2040 do MCR executado com o MG HADGEM-ES a partir do cenário RPC 4.5,
- simulação do período de 2007-2040 do MCR executado com o MG MIROC5 a partir do cenário RPC 8.5,
- simulação do período de 2007-2040 do MCR executado com o MG HADGEM-ES a partir do cenário RPC 8.5.

Com o intuito de apresentar de uma maneira visual o desempenho do método para a redução do viés, as Figuras 4 a 9 mostram a comparação entre a curva de distribuição acumulada (cda) observada e as curvas de distribuição acumulada com e sem correção.

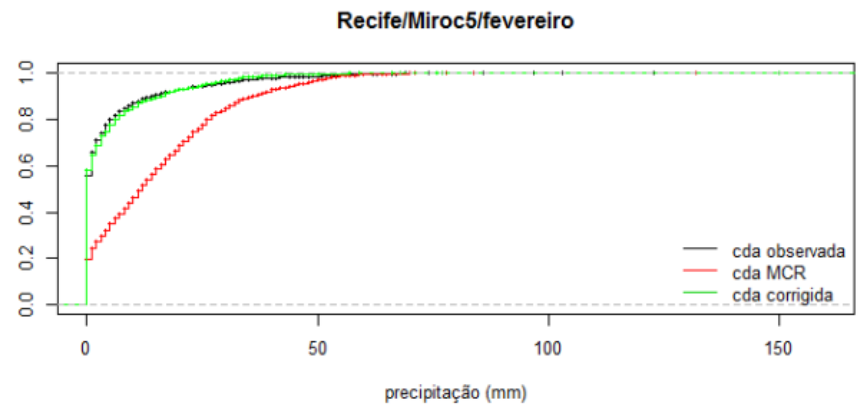
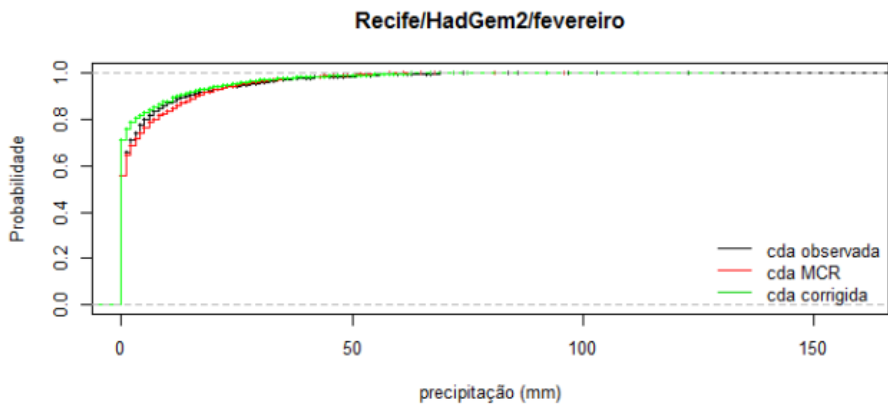
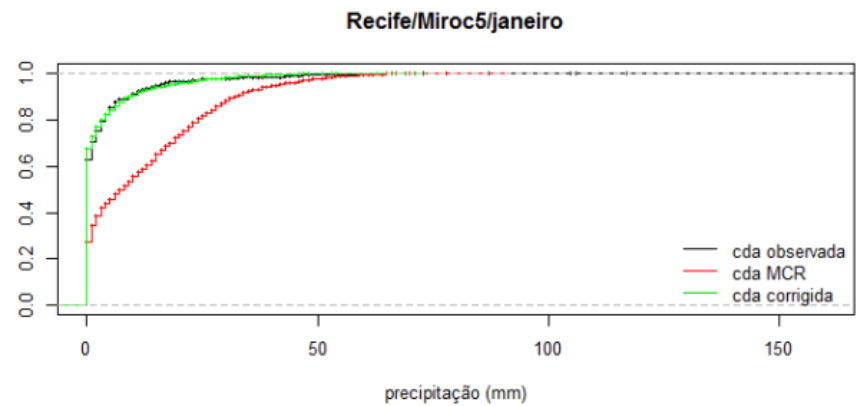
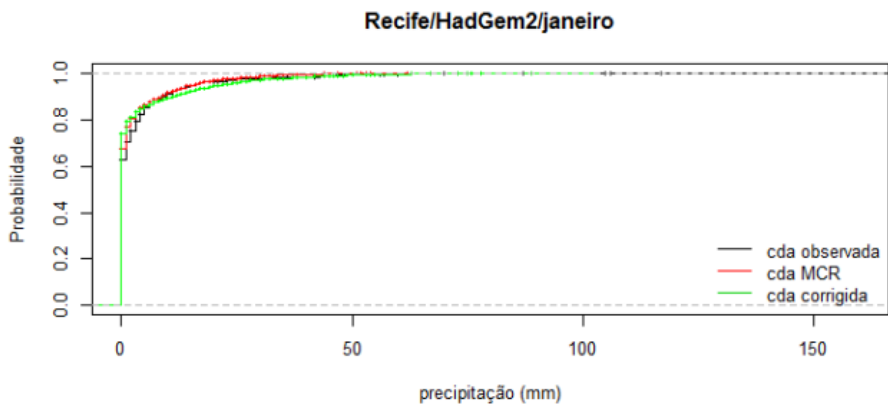
Observa-se pelas figuras que as simulações feitas com o modelo MIROC5 para os meses de dezembro a maio tendem a superestimar as precipitações diárias. Para os meses de junho a novembro, ambos modelos apresentam uma subestimação das precipitações diárias.

De maneira geral, o MCR executado com o modelo global HADGEM-ES apresentou simulações mais próximas ao que foi observado, em comparação com as simulações executadas a partir do modelo global MIROC5. Porém, após a correção as simulações executadas com ambos os modelos globais ficam bastante próximas às curvas observadas.

Quando executado com o modelo global MIROC5, o MCR Eta apresenta as maiores diferenças entre a quantidade de valores nulos observados e simulados, as maiores diferenças ocorrem nos meses de janeiro a abril, onde o modelo simula uma quantidade muito reduzida de dias secos, divergindo substancialmente do que foi observado no município. Após as correções essas diferenças diminuem significativamente.

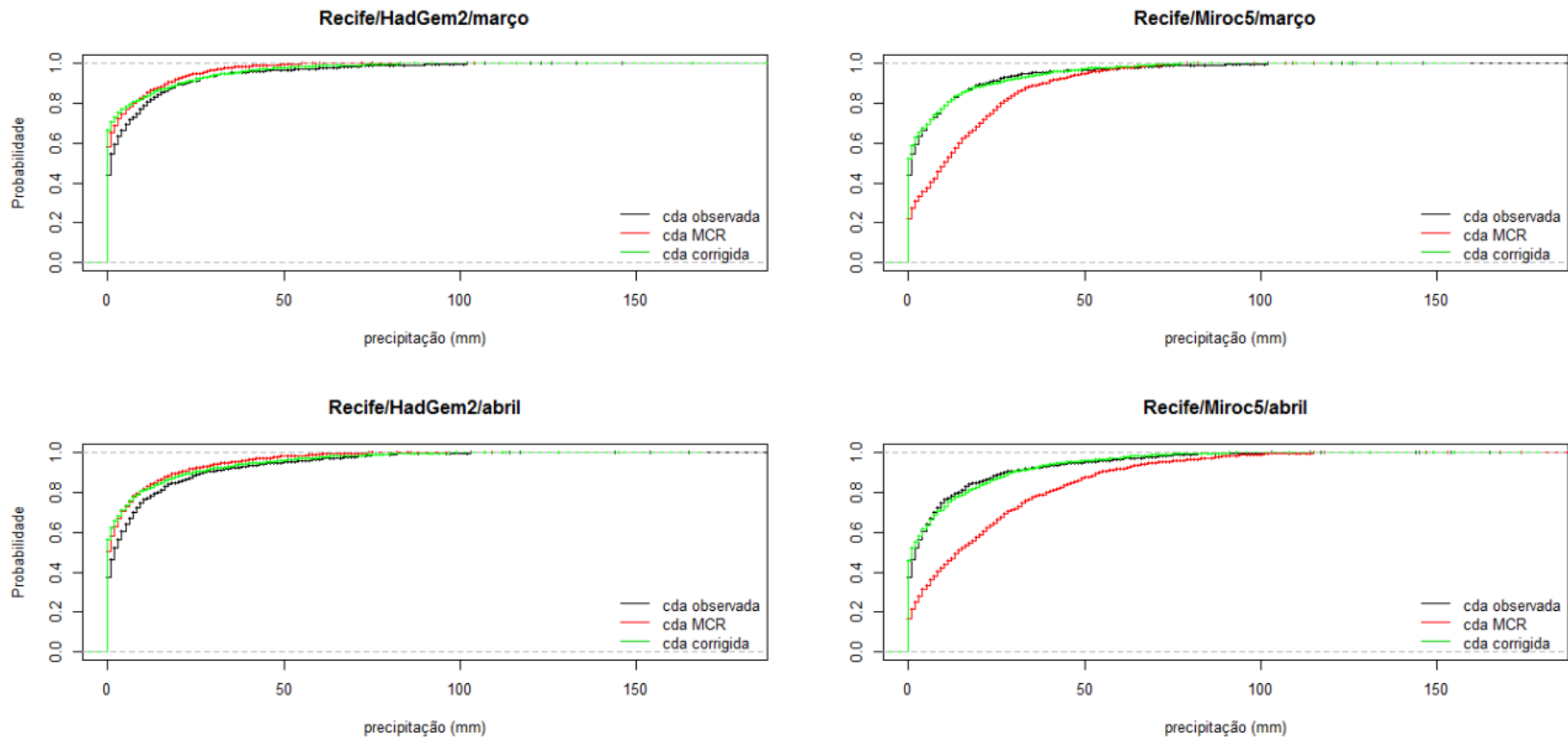
Conclui-se que o emprego da técnica de correção de viés foi eficiente em reduzir as diferenças entre simulações e observações no período *historical*. Portanto, para análise dos cenários futuros, a correção pode conferir uma maior confiabilidade às simulações.





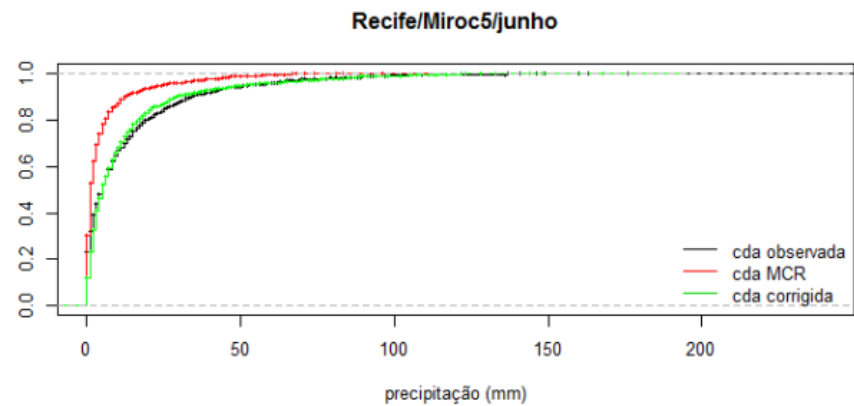
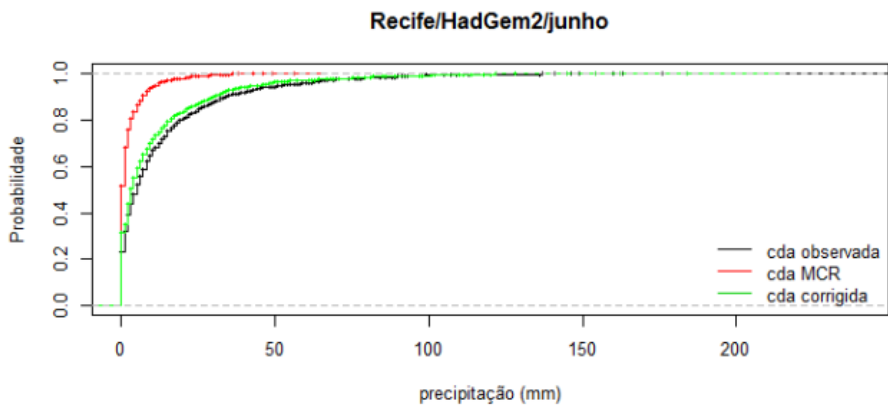
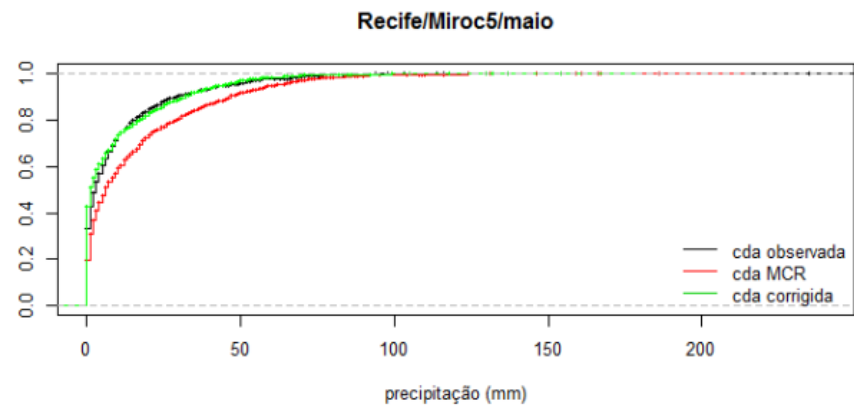
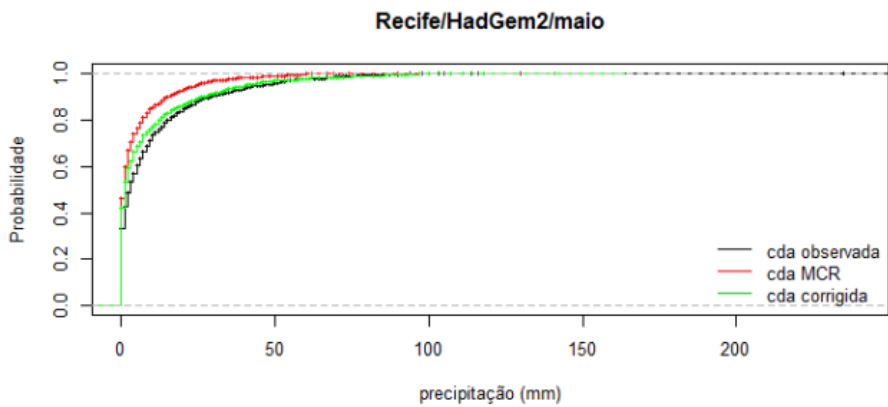
**Figura 4.** Comparação entre as curvas de distribuição acumulada das observações (cda observada) e das simulações antes (cda MCR) e após as correções (cda corrigida) dos meses de janeiro e fevereiro.

*[Handwritten signature]*



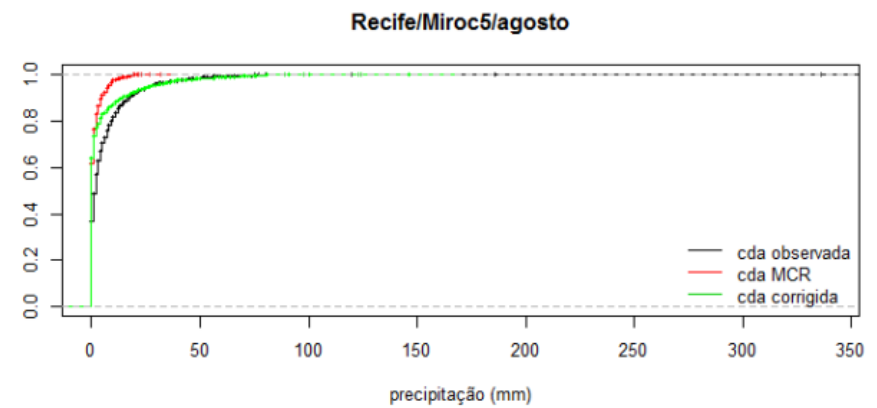
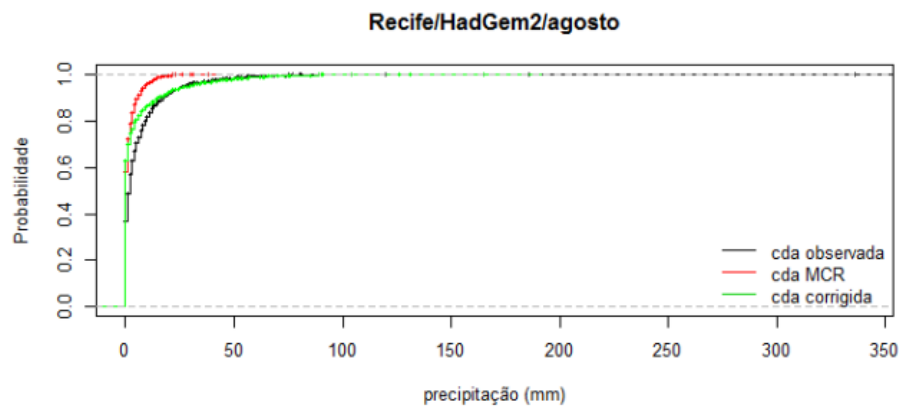
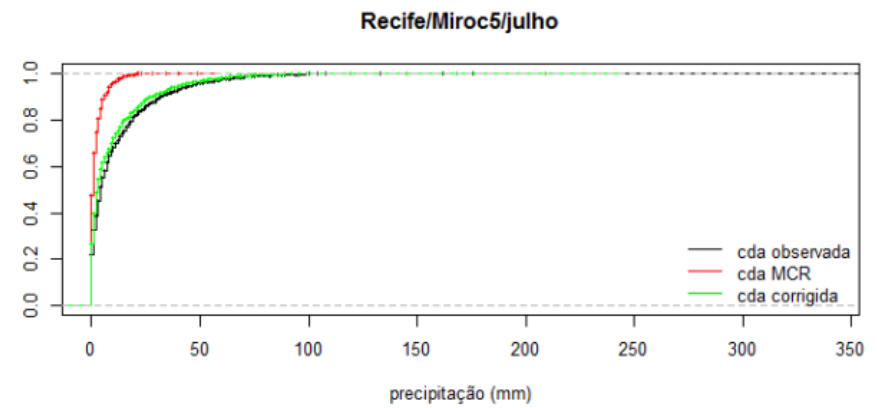
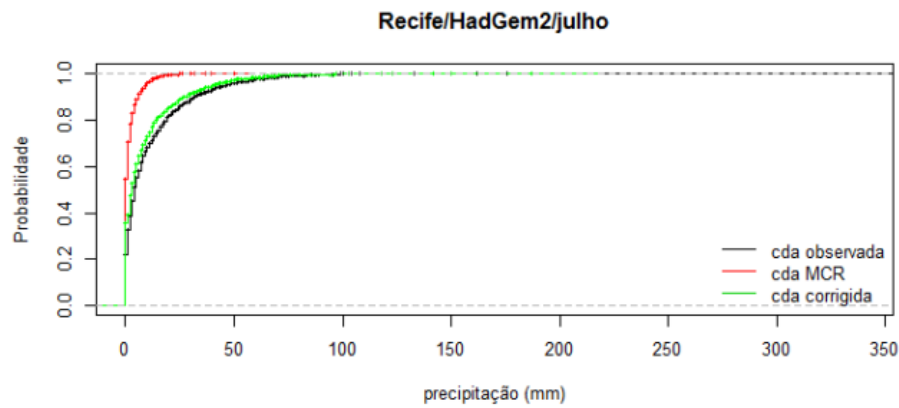
**Figura 5.** Comparação entre as curvas de distribuição acumulada das observações (cda observada) e das simulações antes (cda MCR) e após as correções (cda corrigida) dos meses de março e abril

*[Handwritten signature]*

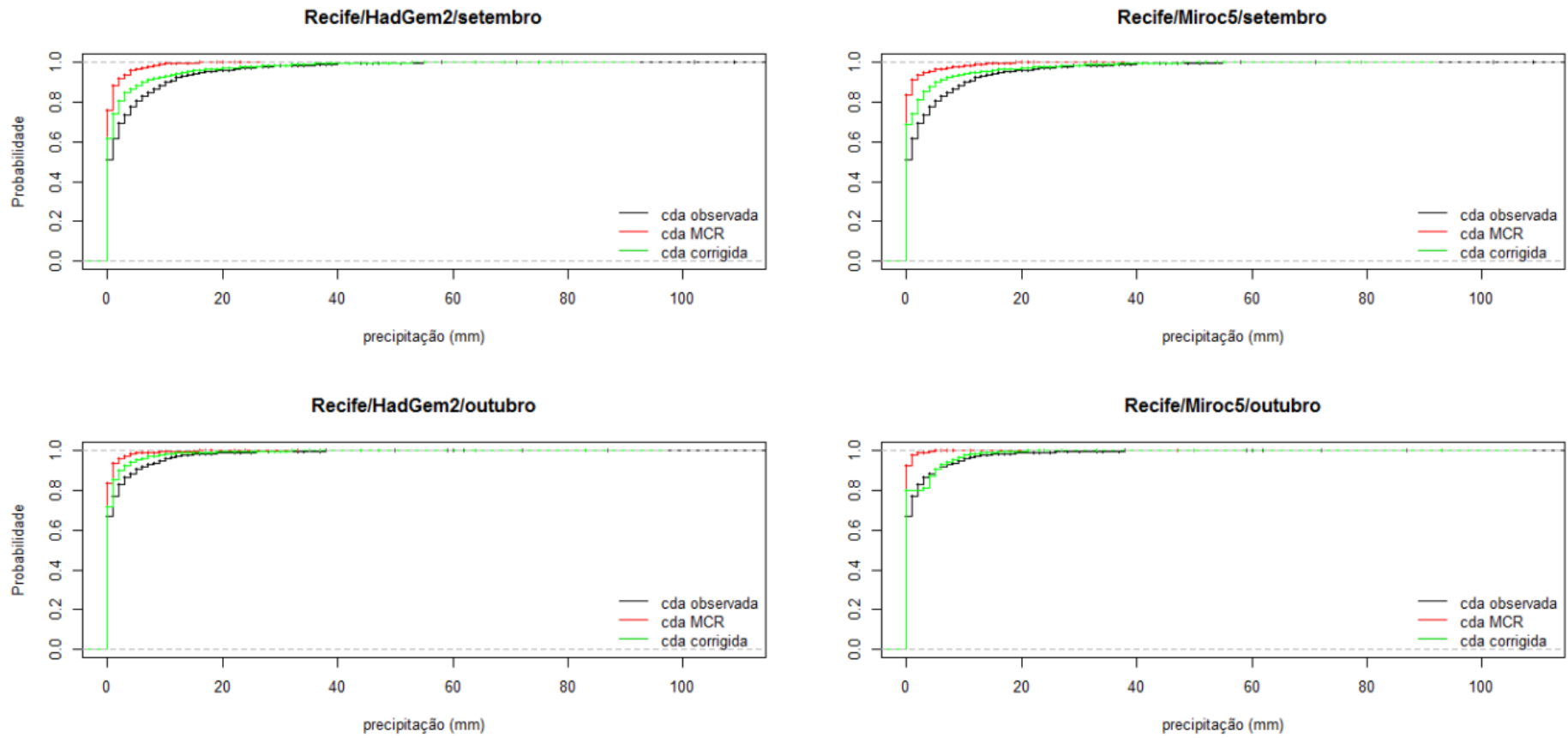


**Figura 6.** Comparação entre as curvas de distribuição acumulada das observações (cda observada) e das simulações antes (cda MCR) e após as correções (cda corrigida) dos meses maio e junho



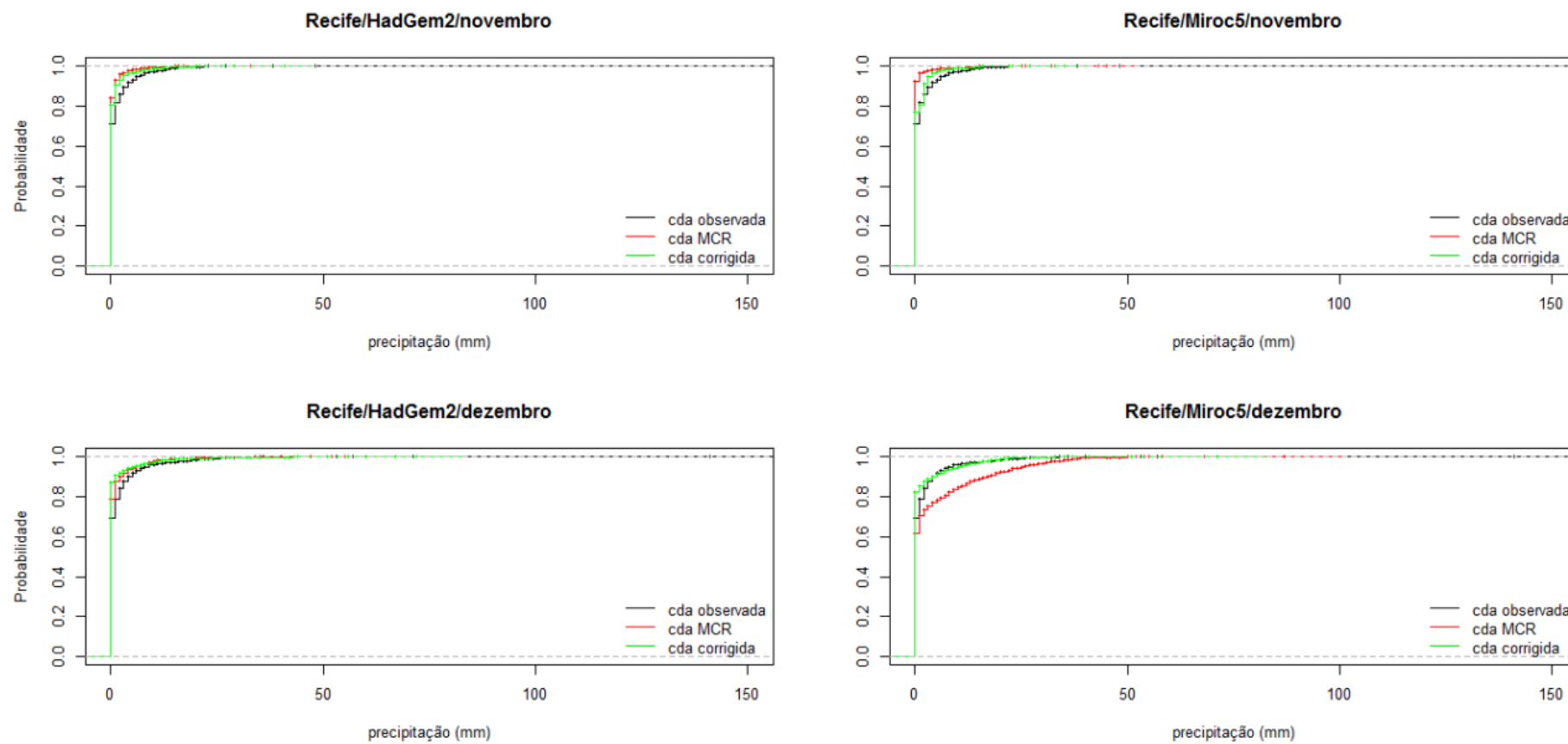


**Figura 7.** Comparação entre as curvas de distribuição acumulada das observações (cda observada) e das simulações antes (cda MCR) e após as correções (cda corrigida) dos meses de julho e agosto



**Figura 8.** Comparação entre as curvas de distribuição acumulada das observações (cda observada) e das simulações antes (cda MCR) e após as correções (cda corrigida) dos meses de setembro e outubro

*[Handwritten signature]*



**Figura 9.** Comparação entre as curvas de distribuição acumulada das observações (cda observada) e das simulações antes (cda MCR) e após as correções (cda corrigida) dos meses de novembro e dezembro

*[Handwritten signature]*

### **2.1.3. Avaliação das precipitações máximas e total acumulado anual para séries de dados observados, brutos e corrigidos – período passado simulado pelo modelo atmosférico**

Conforme destacado no Relatório 2 IU, item 4.1 - Modelos climáticos e hidrologia: vieses e correção, o desenvolvimento de cenários climáticos através de modelos climáticos é fundamental para a compreensão dos potenciais impactos devidos às alterações no clima. A avaliação da vulnerabilidade e o desenvolvimento de estratégias de adaptação para uma determinada região só são possíveis a partir de projeções do clima futuro.

Nesse contexto, para a correção de viés das previsões climáticas de precipitação propõe-se o emprego da técnica por ajuste à distribuição estatística gama para a correção dos dados simulados de precipitação.

#### Precipitação diária máxima anual

Para melhor avaliar eventos extremos, as Figura 10 e 11 apresentam a comparação gráfica entre as séries de precipitações diárias máximas anuais observadas, e as séries de dados brutos e corrigidos – período passado simulado nos modelos atmosféricos, 1961 a 2005.

Observa-se pela Figura 10 que as precipitações diárias máximas anuais geralmente são subestimadas pelo modelo HADGEM2-ES, comparando com os dados observados, para a cidade de Recife no período passado (HIST 1961 a 2005). Observa-se também por esta figura que a correção do viés aproximou os dados simulados aos dados observados. Vale ressaltar que a correção do viés é feita para todos os dados diários de precipitação e não somente para os valores máximos anuais. Para os valores mais extremos (1970, 1986 e 2000), apesar da correção ter aproximado a simulação ao valor observado, essa ainda apresenta-se muito subestimada.

A observação desse comportamento do modelo HADGEM2-ES leva-nos à conclusão de que o modelo não somente subestima as precipitações de 24 horas, mas as distribui mais durante o dia, levando a intensidades de precipitações de 3 horas subestimadas. Isso pode ser observado pelas baixas razões de precipitações 3h/24h já apresentadas.

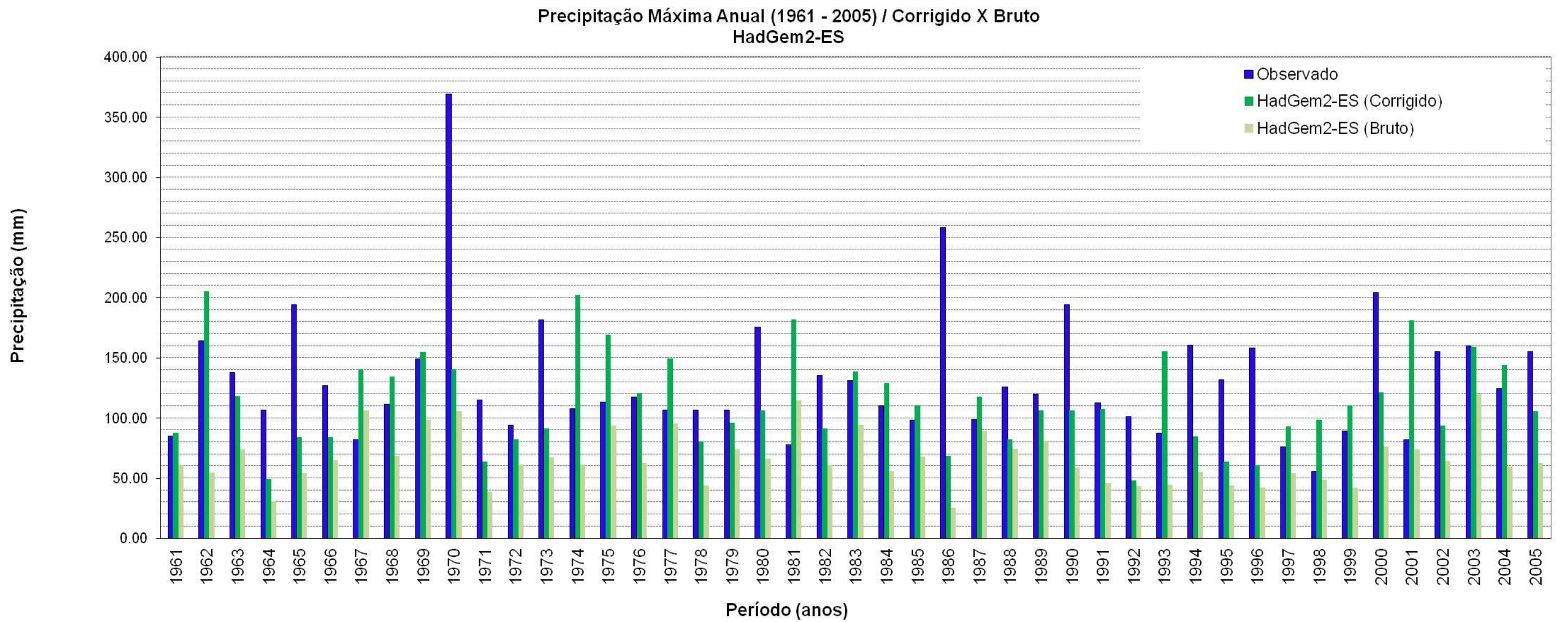


Não foram encontrados dados observados de pluviógrafos, os quais apresentam frequências de leituras inferiores à diária. Isso impossibilita a comparação direta entre dados de 3 horas simulados e observados.

De acordo com a Figura 11, nota-se que as simulações das precipitações diárias máximas anuais do modelo MIROC5 se aproximam muito mais dos dados observados que as simulações do modelo HADGEM2-ES, mesmo para os dados brutos. Com a correção do viés, as simulações em geral se aproximaram mais dos dados observados, permitindo, com maior confiabilidade, a projeção para o período 2010-2040.

A Figura 12 apresenta as anomalias de precipitação média anual para o período de 2010 a 2040, para os dois modelos globais em estudo e os cenários RCP 4.5 e 8.5. Observa-se que, exceto para partes da região Norte, o modelo HADGEM2-ES apresenta resultados de anomalias mais negativas em comparação com o modelo MIROC5, ou seja, com uma redução maior das precipitações médias anuais. De acordo com a Figura, dentre as cidades de estudo, esse comportamento fica mais evidenciado para as cidades do Rio de Janeiro, São Paulo e Salvador. Uma escala mais detalhada para a região nordeste poderia identificar melhor o padrão de anomalias para as cidades de Recife e Fortaleza.





**Figura 10.** Precipitações diárias máximas anuais, dados observados e simulados a partir de modelo HadGem2-ES (Recife).

*Handwritten signature*

Precipitação Máxima Anual (1961 - 2005) / Corrigido x Bruto  
Miroc5

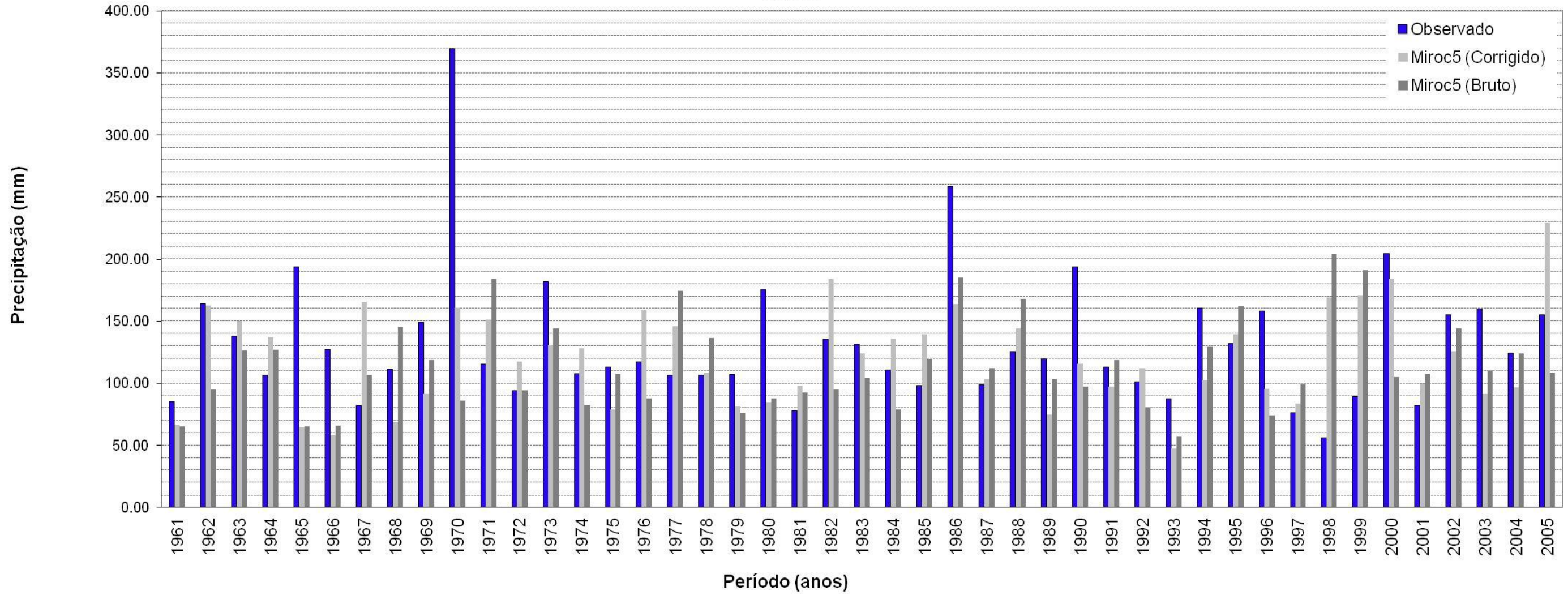
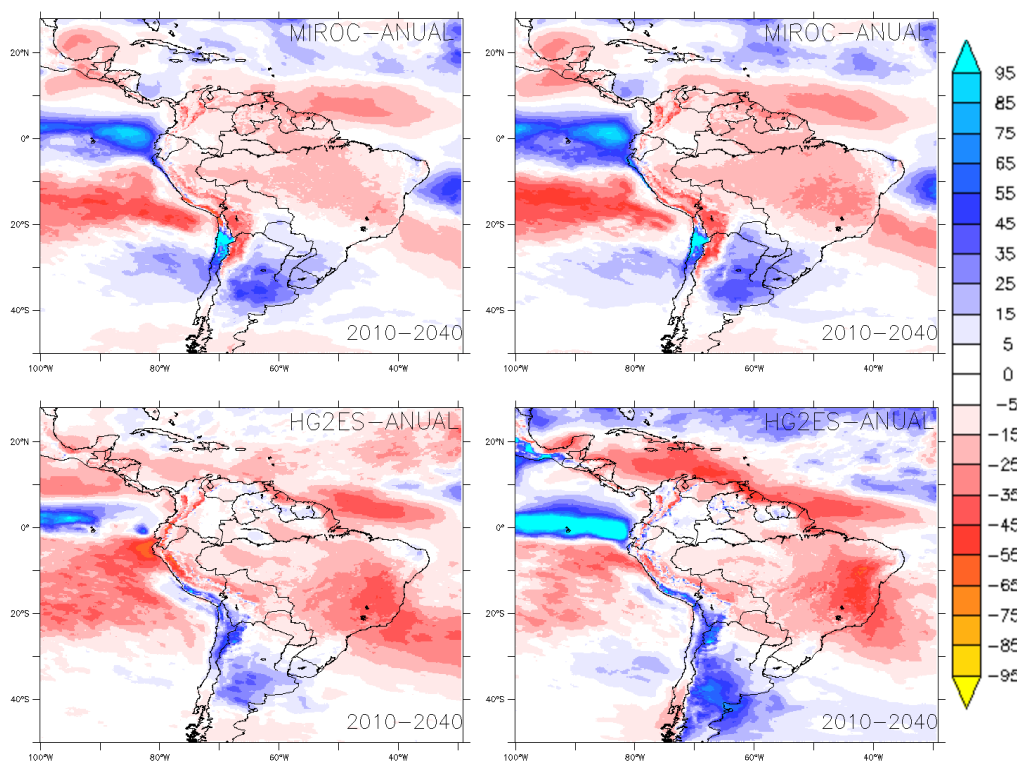


Figura 11. Precipitações diárias máximas anuais, dados observados e simulados a partir de modelo Miroc5 (Recife).

*[Handwritten signature]*



**Figura 12.** Anomalia de precipitação média anual para o período 2010 a 2040 para o modelo regional Eta forçados por dois modelos globais MIROC5 (cenários RCP4.5 e RCP 8.5, da esquerda para direita) e HG2ES(RCP4.5 e RCP 8.5, da esquerda para direita). Fonte: SAE, 2015)

### Precipitação total anual

De forma a obter informações sobre o comportamento dos modelos atmosféricos, as Figuras 13 e 14 apresentam os totais anuais de precipitação observada, e obtidas nos modelos - séries de dados brutos e corrigidos, período de 1961 a 2005.

De acordo com a Figura 13, a precipitação acumulada anual simulada pelo modelo HADGEM2-ES tende a subestimar os valores observados. A correção de viés aproximou os valores simulados aos observados, como era esperado.

Já o modelo MIROC5 (Figura 14) tende a superestimar os valores de precipitação acumulada anual, se comparado com os dados observados. A correção de viés tende a reduzir esses valores, aproximando-os aos dados observados para vários anos (por exemplo, 1962, 1963, 1967, 1968). Entretanto, para alguns anos, observou-se que a redução imposta pela correção de viés, afastou as simulações dos dados observados (por exemplo, 1961, 1964, 1965, 1966).



*Handwritten signature*

Precipitação Total Anual (1961 - 2005) / Corrigido X Bruto  
HadGem2-ES

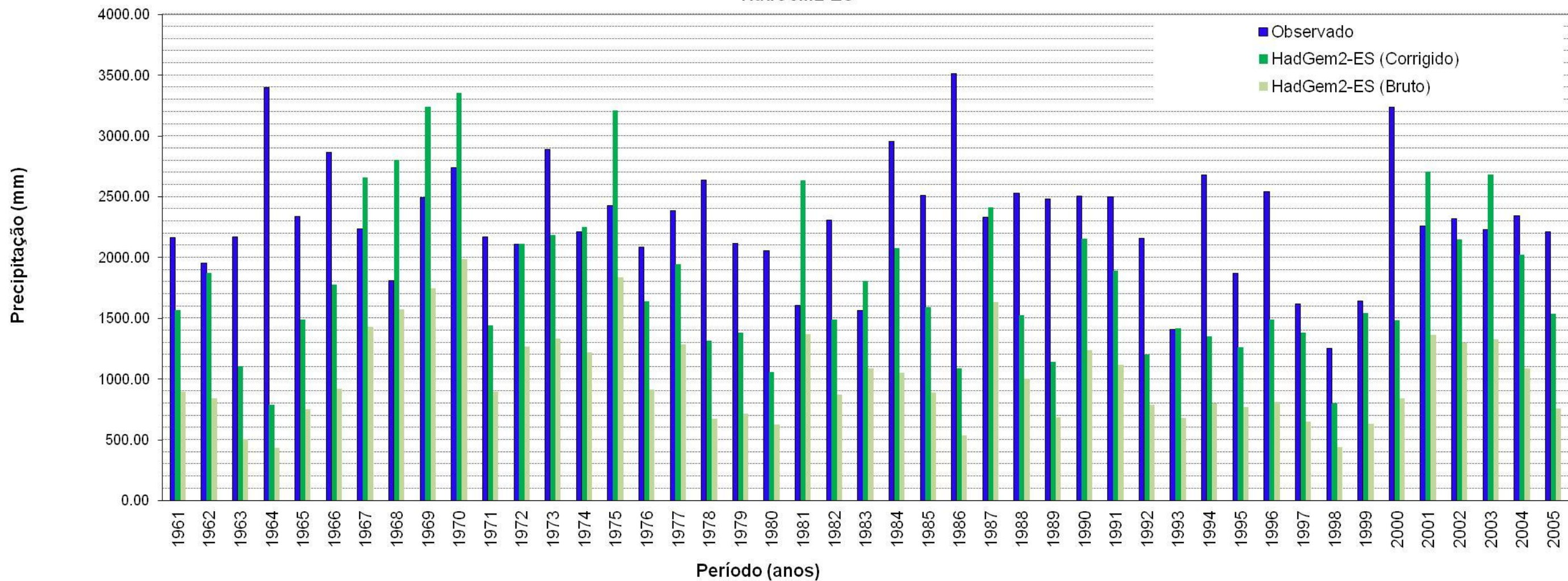


Figura 13. Precipitações totais anuais, dados observados e simulados a partir de modelo HadGem2-ES (Recife).

*[Handwritten signature]*

Precipitação Total Anual (1961 - 2005) / Corrigido x Bruto  
Miroc5

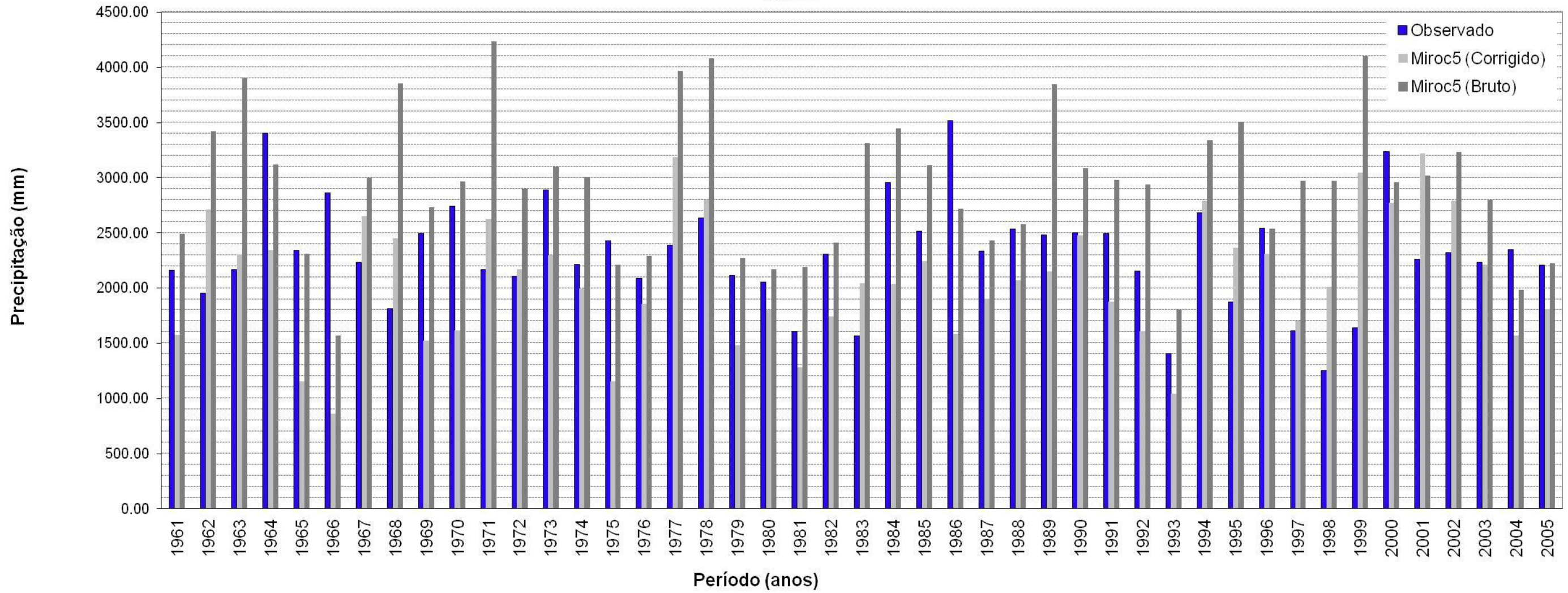


Figura 14. Precipitações totais anuais, dados observados e simulados a partir de modelo Miroc5 (Recife).

*Handwritten signature*

#### 2.1.4. Processo de determinação das equações IDF

As curvas IDF podem ser ajustadas a equações genéricas, que fornecem relações matemáticas entre a intensidade, a duração e a frequência das precipitações. Essas equações, denominadas de Equações de Chuvas Intensas são geralmente expressas na forma da Equação (3).

$$i = \frac{aT^b}{(t+c)^d} \quad (3)$$

onde:

a, b, c, d = parâmetros adimensionais relativos à localidade.

Para ajustar os parâmetros a, b, c e d, são necessários dados de precipitações intensas para várias durações. Essas durações geralmente começam a partir de 5 minutos e vão até 1440 minutos (24 horas).

Neste trabalho foram encontradas equações IDFs futuras (2007 a 2040) para os dois cenários RCP 4.5 e RCP 8.5 para os 2 modelos climáticos, MIROC5 e HADGEM2-ES, a partir dos dados diários máximos corrigidos de precipitação.

Em princípio, pensava-se em usar as razões 3h/24h obtidas pelos modelos, pois estas poderiam indicar uma intensificação ou suavização dos eventos extremos no futuro. Entretanto, como essas razões para o período passado ficaram bastante distantes das razões observadas, optou-se por utilizar as razões de literatura, obtidas a partir de dados observados, para desagregar as precipitações de 24 horas em durações mais curtas. Vale ressaltar que essa proporção já teria que ser empregada de qualquer forma para as durações de 5, 10, 15, 30, 60, 120 minutos, pois a melhor resolução temporal do modelo é de 180 minutos (3 horas).

Portanto, as simulações dos modelos climáticos ainda são insuficientes para estabelecer equações IDFs futuras, dada sua relativamente baixa resolução temporal. Além disso, as simulações de precipitações acumuladas em 3 horas são ainda muito imprecisas, dadas as análises de razões 3h/24h.

Como as IDFs futuras nesse trabalho foram obtidas por meio de desagregações das

chuvas de 24 horas com razões de literatura, baseadas em dados observados passados, não se espera que estas IDF's reproduzam um aumento ou redução significativos das intensidades para chuvas de curta duração.

A desagregação de totais de chuva máxima de 24 horas de duração em totais correspondentes para durações menores é frequentemente realizada com os chamados coeficientes de desagregação de chuvas. Esta prática é usada, normalmente, para estabelecer relações de intensidade-duração-frequência (IDF) em locais que dispõem somente de dados diários medidos com pluviômetros convencionais (BERTONI; TUCCI, 1993). Para a desagregação dos dados diários de precipitação, no presente estudo foi adotado o Método das Isozonas, proposto por Torico (1974), já apresentado anteriormente.

As precipitações intensas de 24 horas foram determinadas por séries anuais e distribuição de probabilidade de Gumbel, já descritas anteriormente.

Para o cálculo dos parâmetros a, b, c, d foi utilizado a ferramenta "Solver" da planilha Excel (Microsoft Office), sendo empregado os seguintes parâmetros:

- Tempo Máximo = 100 segundos;
- Interação = 500;
- Precisão = 0,000001;
- Tolerância = 5%;
- Convergência = 0,0001.

Para os cenários simulados pelos modelos atmosféricos, apresentam-se a seguir as relações obtidas:

#### IPCC 4.5 - HadGem2 ES

$$i = 49,1307 \cdot T^{0,1549} / (t+35,176)^{0,8948} \quad (4)$$

#### IPCC 4.5 - Miroc5

$$i = 51,7997 \cdot T^{0,1604} / (t+36,436)^{0,9109} \quad (5)$$

#### IPCC 8.5 - HadGem2 ES

$$i = 35,1404 \cdot T^{0,2108} / (t+34,317)^{0,8925} \quad (6)$$



$$i = 40,6005.T^{0,1756}/(t+34,166)^{0,8841} \quad (7)$$

em que:

i - intensidade (mm/min), T - Período de retorno (anos) e t - tempo de duração de chuva (min)

### **2.1.5. Estudo comparativo a partir de IDF existente e estimadas para cenários futuros**

Com objetivo de avaliar os aspectos das curvas IDFs futuras geradas, estas foram comparadas com curvas IDFs existentes.

Para essa análise comparativa, para a cidade de Recife, a equação de Chuvas Intensas foi obtida de Ramos e Azevedo (2010), expressa na forma da Equação (8).

$$i = 1423,97.T^{0,1124}/(t+21)^{0,7721} \quad (8)$$

em que

i - intensidade (mm/h), T - Período de retorno (anos) e t - tempo de duração de chuva (min)

As Figuras 15 e 16 apresentam a comparação entre as curvas IDFs existentes com as curvas IDFs futuras, cenário RCP 4.5, para os modelos HADGEM2-ES e MIROC5 respectivamente, para períodos de retorno de 5, 10, 25, 50 e 100 anos. As curvas existente e futuras estão muito próximas. Pode notar por essas figuras que as intensidades para as precipitações de 1440 minutos (24 horas) são praticamente iguais. Isso significa que as simulações corrigidas dos modelos não apontaram um aumento ou redução significativos para as precipitações diárias, sobretudo aquelas associadas ao período de retorno de 50 anos, objeto de estudos de macrodrenagem. Existe uma pequena intensificação dos eventos entre as durações de 50 e 350 minutos aproximadamente. Essa diferença deve-se provavelmente a razões diferentes das de Torrico (1974) para o ajuste da IDF existente. Os dois modelos apresentaram curvas

IDFs para o cenário RCP 4.5 muito próximas. Essa proximidade deve-se aos valores próximos das máximas precipitações diárias (1440 s) prováveis, obtidos pela Equação 1. Sendo esses valores próximos, os demais, para durações menores, também o serão, pois foram usadas as mesmas razões de Torricio.

Para períodos de retorno de 5, 10, 25 e 100 anos, as curvas estão apresentando o mesmo comportamento, tanto para o modelo HADGEM2-ES, quanto para o modelo MIROC5.



**Figura 15.** Comparação entre curvas IDFs existente e futura RCP 4.5 HADGEM2-ES





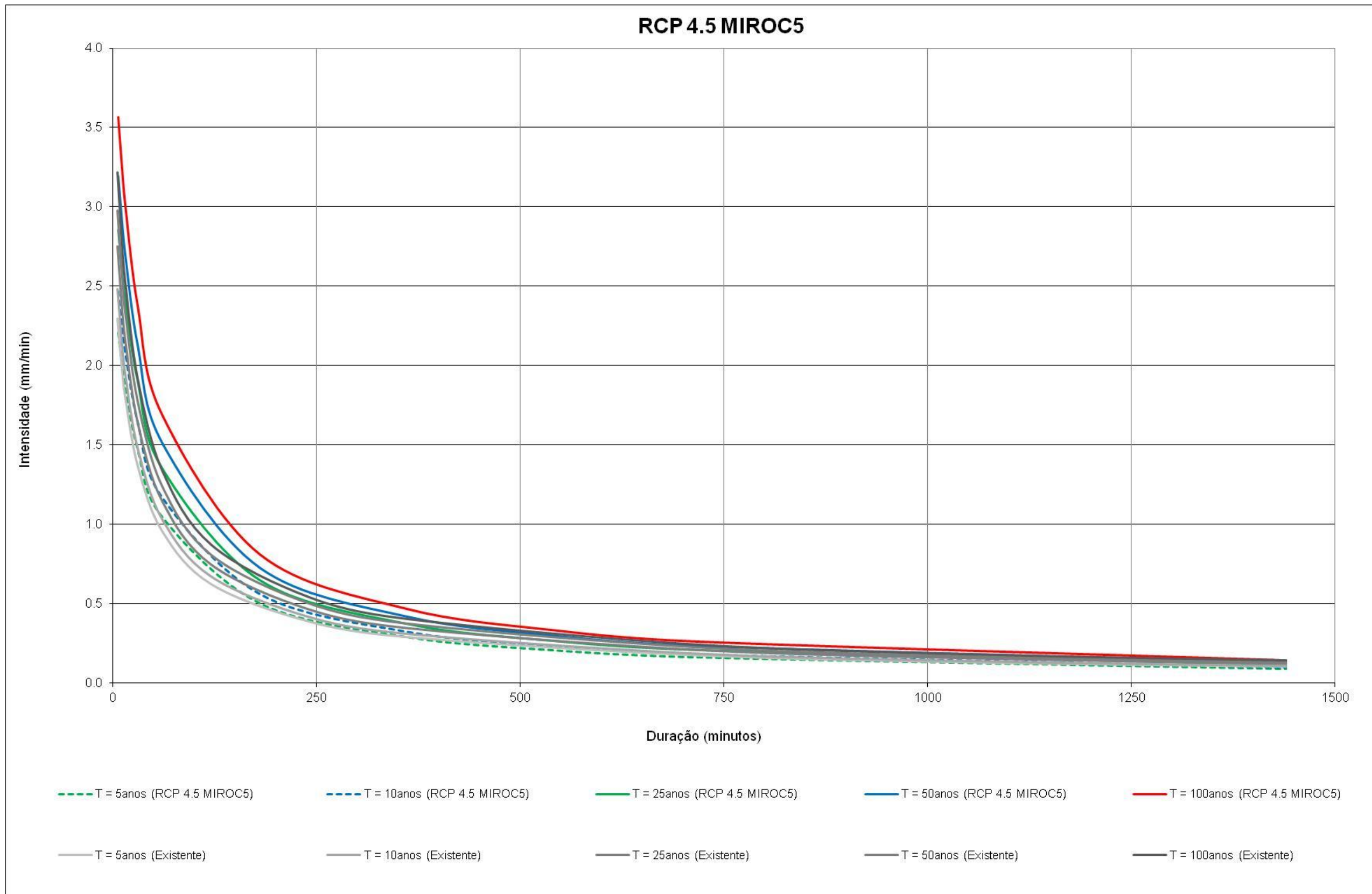


Figura 16. Comparação entre curvas IDFs existente e futura RCP 4.5 MIROC5

*Handwritten signature*

Para o cenário RCP 8.5, os resultados das IDF futuras estão apresentados nas Figuras 17 e 18, para os modelos HADGEM2-ES e MIROC5, respectivamente. O comportamento das curvas foi bem semelhante ao cenário 4.5, sendo que as curvas futuras do cenário 8.5 estão até mais próximas à curva existente, ao contrário do que se esperava.

Assim como fora no cenário RCP 4.5, as curvas para períodos de retorno de 5, 10, 25 e 100, cenário RCP 8.5, também apresentam comportamento semelhante às existentes, tanto para o modelo HADGEM2-ES e para o modelo MIROC5.

Nota-se, para ambos os cenários IPCC, um aumento da intensidade de precipitações na faixa entre 50 e 350 minutos, em relação às IDF pré-existentes. Tal fato indica um possível impacto sobre os sistemas de drenagem, especialmente para os cenários mais pessimistas de mudanças climáticas, nos maiores períodos de retorno. No entanto, tal observação deve ser registrada com cautela, uma vez que precipitações com tempos menores que 180 minutos sequer são contempladas nos dados projetados pelos modelos climáticos analisados.



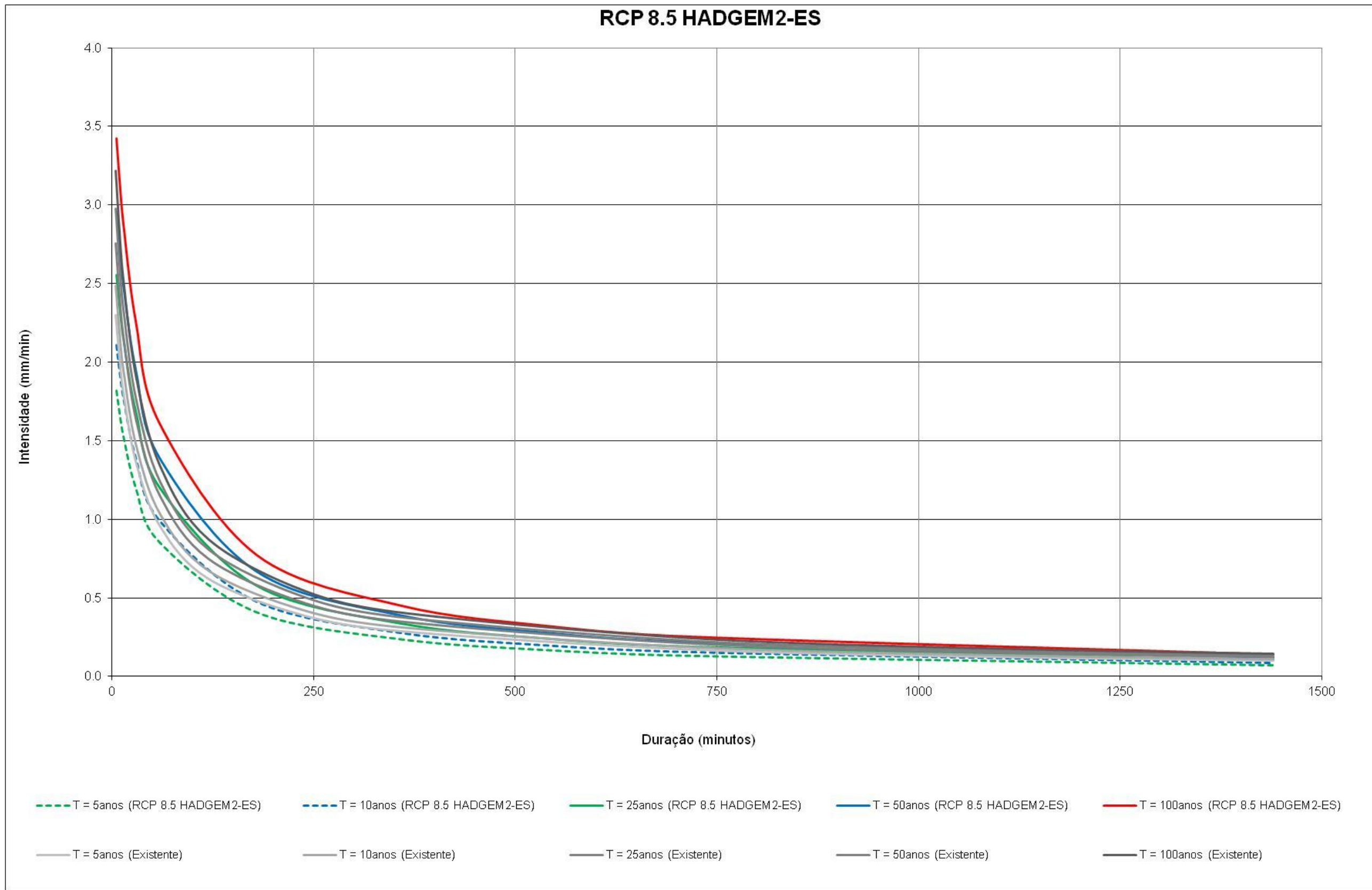


Figura 17. Comparação entre curvas IDFs existente e futura RCP 8.5 HADGEM2-ES

*Handwritten signature*

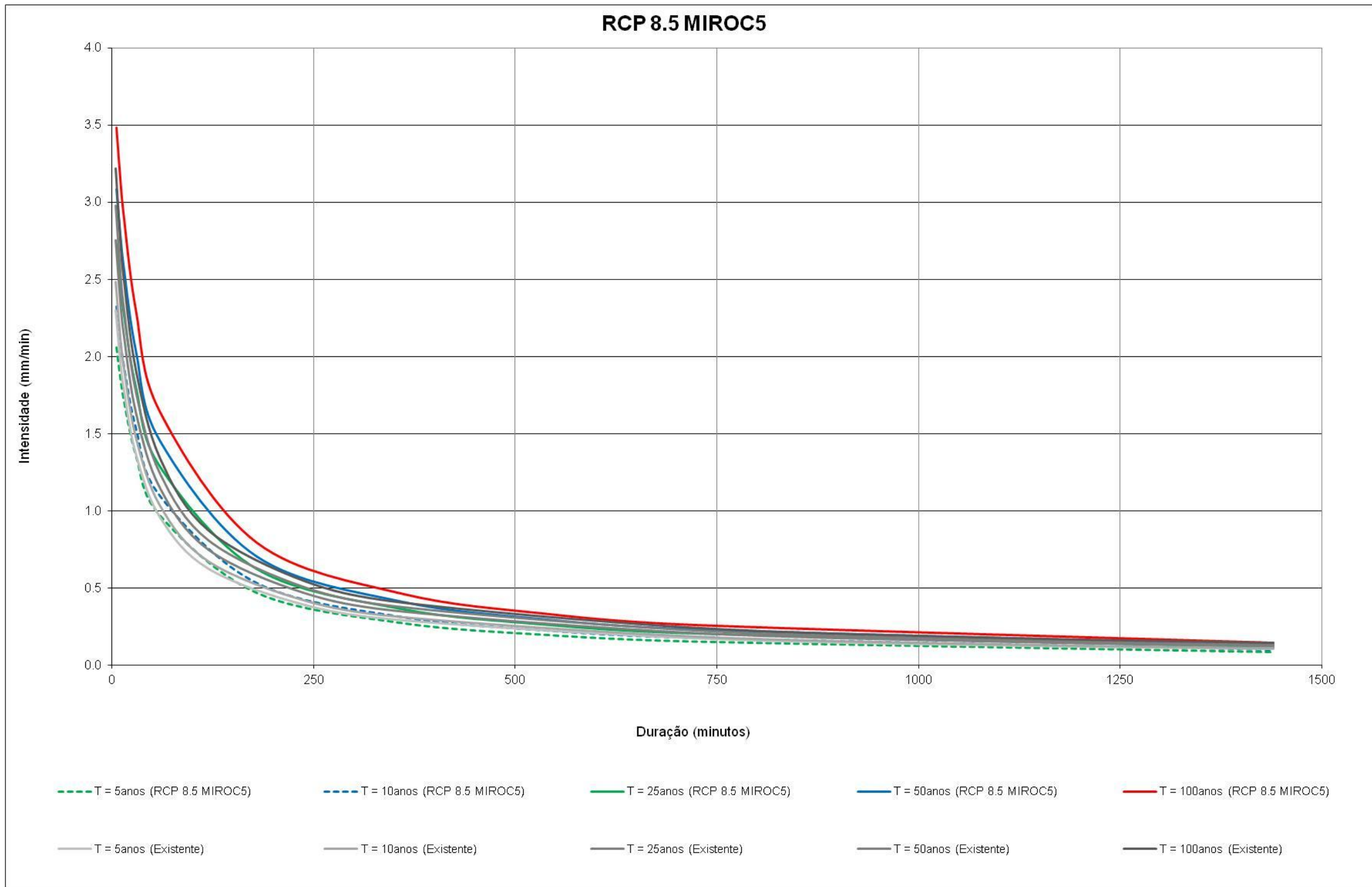


Figura 18. Comparação entre curvas IDFs existente e futura RCP 8.5 MIROC5

*Handwritten signature*

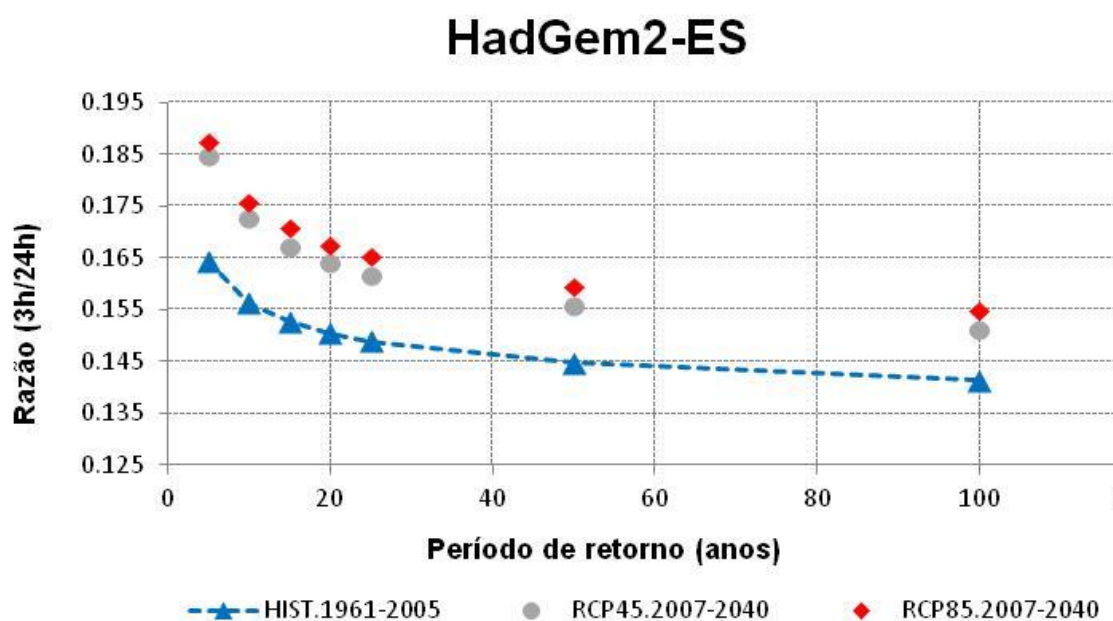
## 2.2 Salvador

### 2.2.1 Análise comparativa da razão de chuva (3h/24h) para os cenários passado e futuro simulados no modelo atmosférico - dados sem correção

Para se determinar as razões de precipitações 3h/24h seguiu-se a mesma sequência descrita para a cidade de Recife, apresentada no item 2.1.1.

As Figuras 19 e 20 mostram os resultados das razões de precipitação não corrigidas que relacionam a precipitação de 3h e de 24h, para os períodos de retorno de 5, 10, 15, 20, 25, 50 e 100 anos, para os modelos HADGEM2-ES e MIROC5, respectivamente.

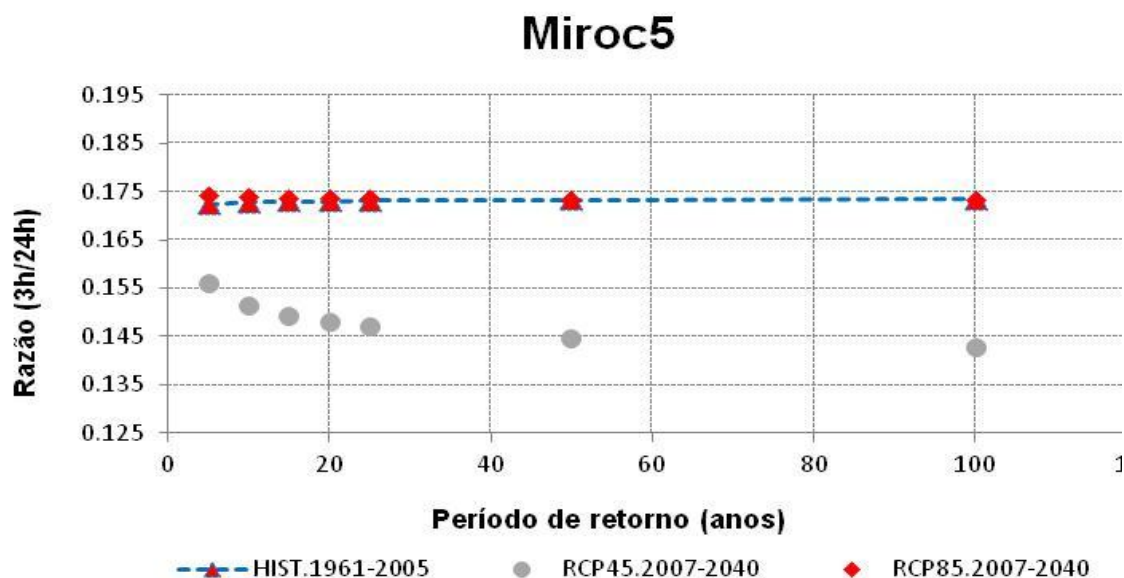
De acordo com os dados apresentados na Figura 19, assim como observado para Recife, as razões das precipitações diminuem a medida que se aumenta o período de retorno. Observa-se que o cenário 4.5 apresenta razões superiores às do período passado, e o cenário 8.5 ligeiramente superiores às do cenário 4.5.



**Figura 19.** Razão de chuva (3h/24h) para dados brutos, HadGem2-ES (Salvador).

Já os cenários obtidos a partir de simulação do **Miroc5** (Figura 20) apresentam um comportamento inesperado, uma vez que as razões do cenário 4.5 são inferiores às do período passado, enquanto que as razões do cenário 8.5 apresentam-se muito próximas às do período passado, e praticamente constantes para todos os períodos de

retorno.



**Figura 20.** Razão de chuva (3h/24h) para dados brutos, Miroc5 (Salvador).

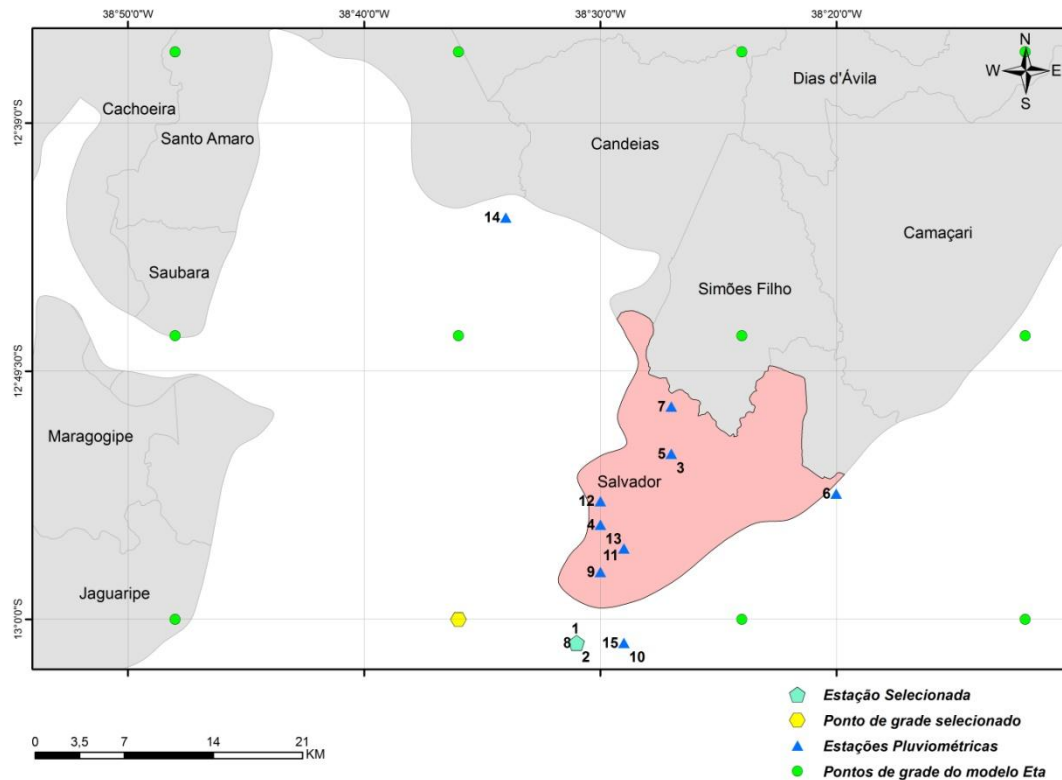
Assim como para Recife, se comparadas com as razões observadas de literatura (Tabela 2), as razões encontradas são muito inferiores. Isso indica que os modelos em média ou distribuem mais as precipitações durante os dias, ou seja, apresentam precipitações menos intensas, ou superestimam os valores de precipitações diárias. Salvador também se encontra na Isozona B conforme a classificação de Torrico (1974).

### 2.2.2 Correção do viés das simulações de precipitação

A sequência e considerações adotadas para a correção do viés das simulações de precipitação para a cidade de Recife, apresentadas no item 2.1.2, foram as mesmas aplicadas para a cidade de Salvador.

Entretanto, como os dados observados na estação pluviométrica selecionada possuíam falhas, após a seleção da estação e ponto de grade do MCR, fez-se necessário o preenchimento de falhas dos dados da estação para obter uma série contínua de observações. Para preencher os períodos sem dados, utilizou-se a técnica do vizinho mais próximo, que consiste em repassar os valores de precipitação da estação pluviométrica mais próxima para a estação que está sendo preenchida.

A estação pluviométrica selecionada para a cidade de Salvador apresenta coordenadas LAT -13,00, LON -38,50. O ponto de grade selecionado do modelo Eta apresenta coordenadas LAT -13,00 e LON -38,60, conforme Figura 21.



**Figura 21.** Ponto de grade do modelo Eta e estação pluviométrica selecionados (Salvador).

As Figuras 22 a 27 mostram a comparação entre a curva de distribuição acumulada (cda) observada e as curvas de distribuição acumulada com e sem correção.

Observa-se pelas figuras que as curvas de distribuição acumulada das simulações acompanharam o comportamento das curvas observadas, com exceção das simulações de janeiro a abril executadas a partir do modelo MIROC 5. Nesses casos, o MCR subestima a quantidade de dias sem chuva.

As simulações geradas a partir do modelo HADGEM-ES, depois de corrigidas, apresentaram uma melhora significativa nos valores máximos de precipitação. Antes da correção, as simulações não atingiam os valores mais altos de precipitação observados. No caso das simulações geradas a partir do modelo global MIROC5, com

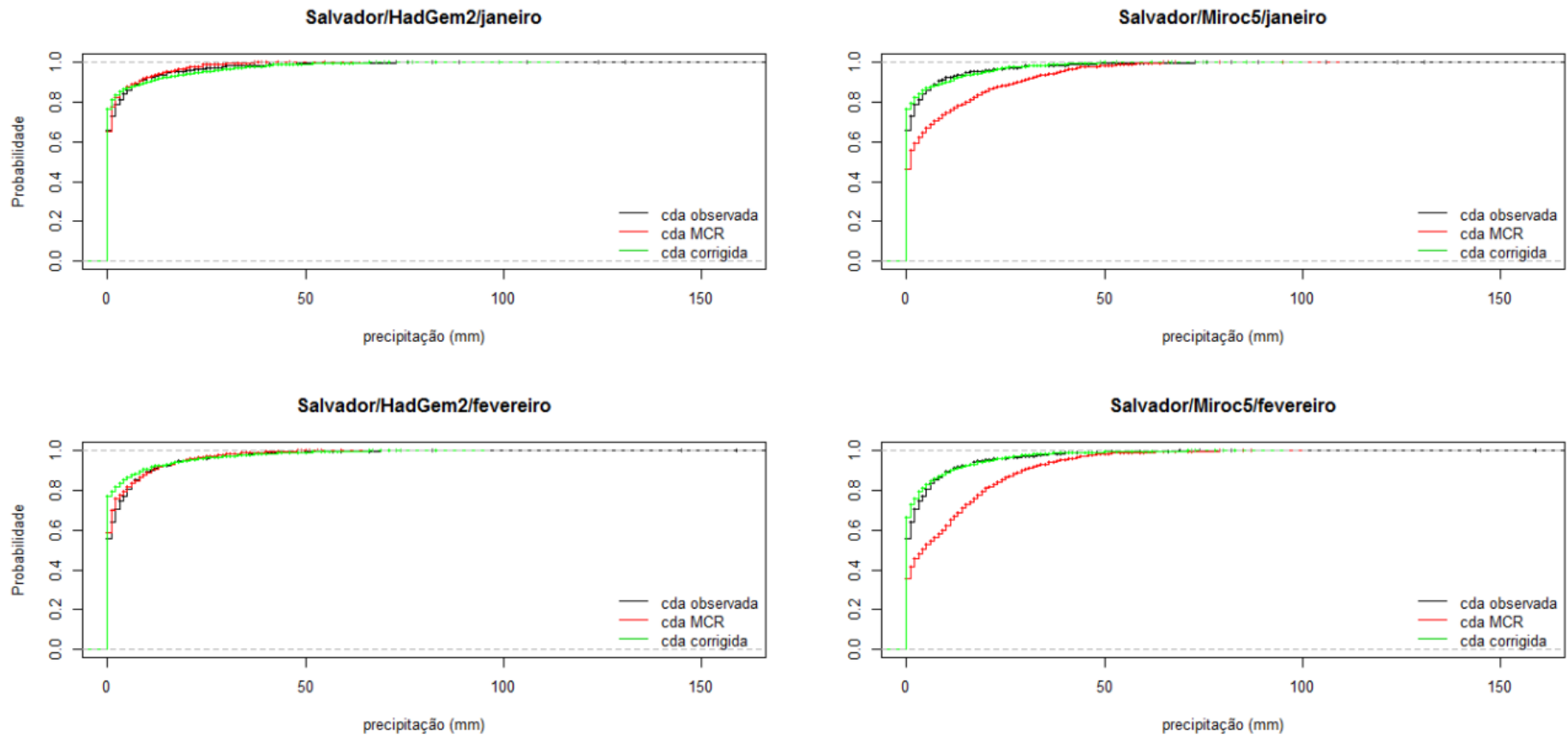
*[Assinatura]*

exceção dos meses de junho a agosto, o MCR, mesmo antes da correção, atinge os valores mais altos de precipitação.

O emprego da técnica é então justificado, principalmente na correção da quantidade dos valores nulos gerados pelo MCR a partir do modelo MIROC5 e na correção dos valores subestimados pelo MCR executado a partir do modelo HADGEM-ES. Portanto, para análise dos cenários futuros espera-se uma maior confiabilidade às simulações após as correções serem feitas.

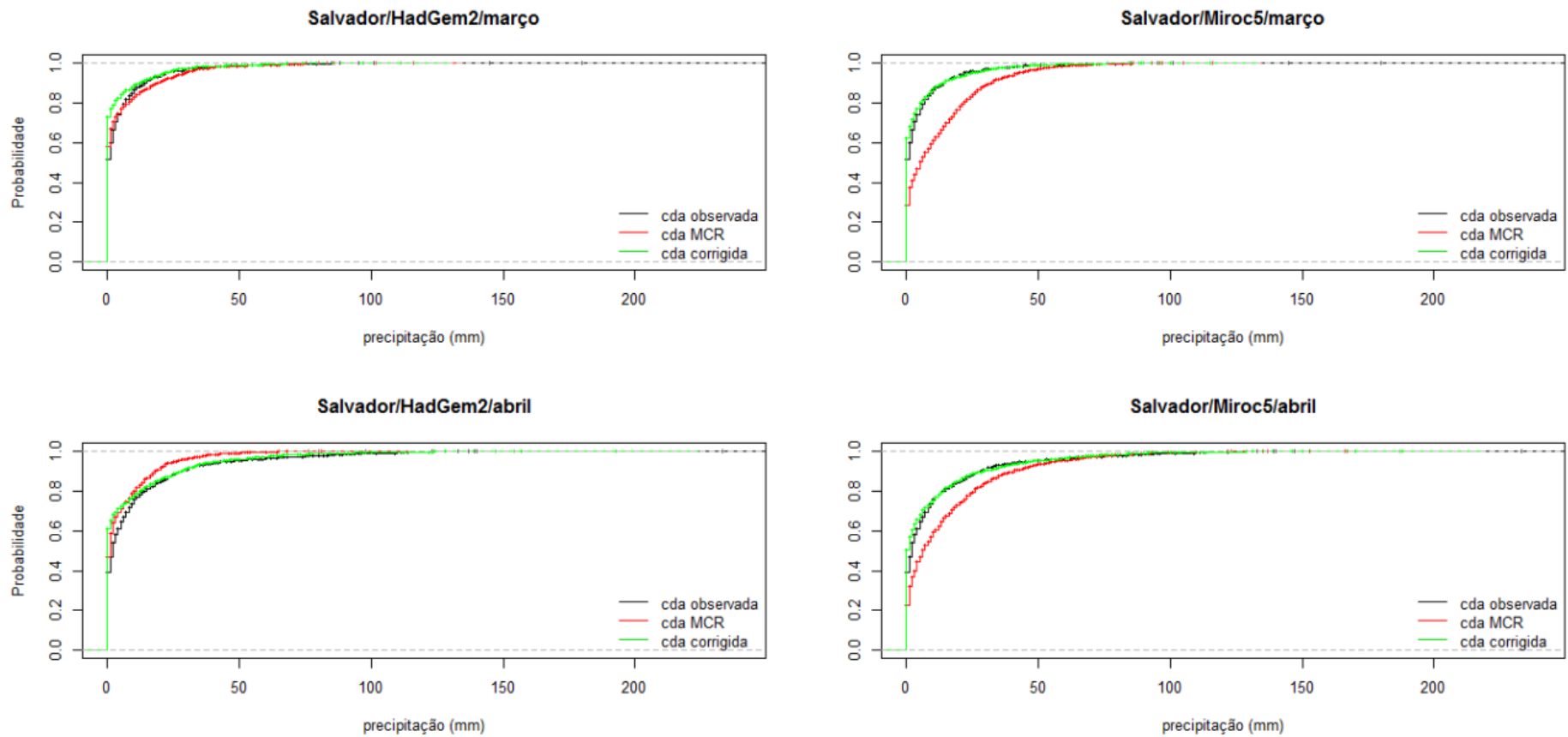






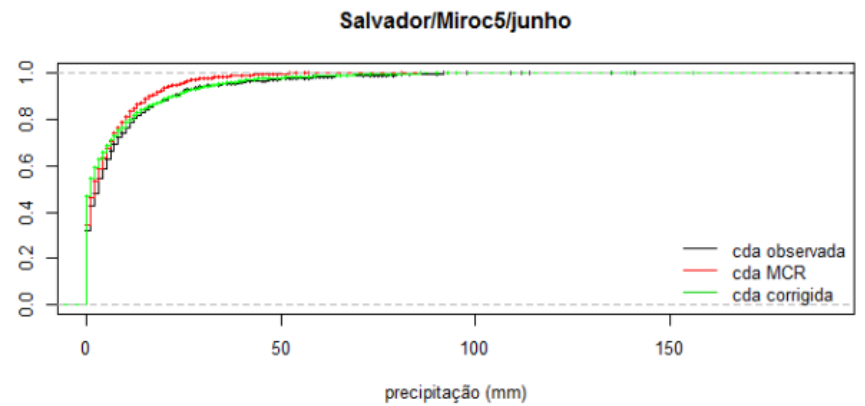
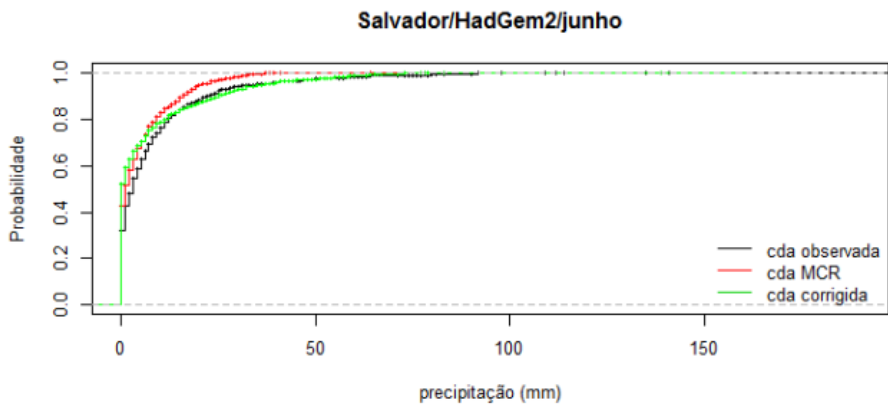
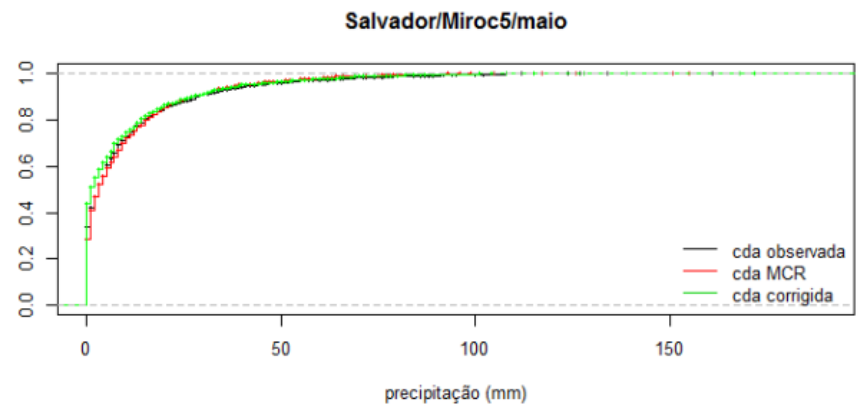
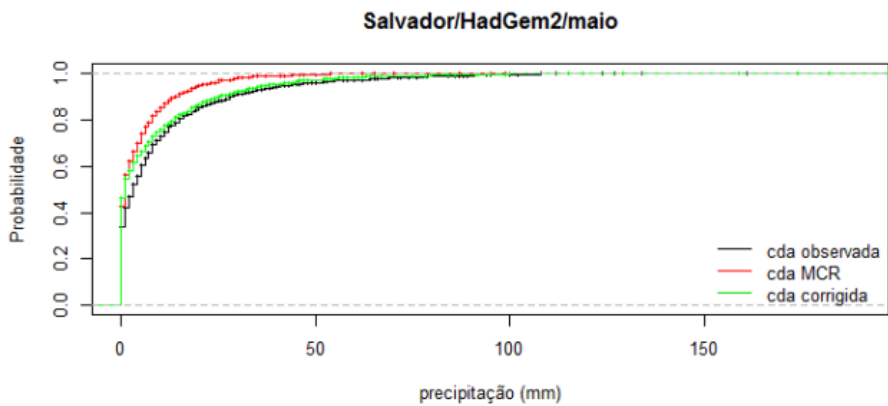
**Figura 22.** Comparação entre as curvas de distribuição acumulada das observações (cda observada) e das simulações antes (cda MCR) e após as correções (cda corrigida) dos meses de janeiro e fevereiro.

*[Handwritten signature]*

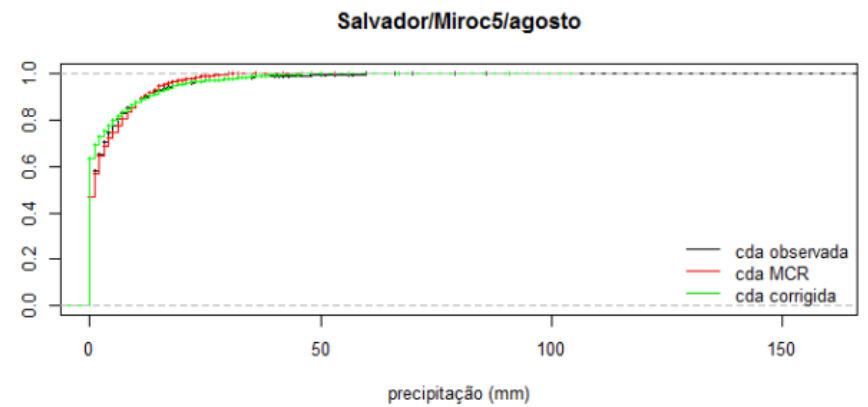
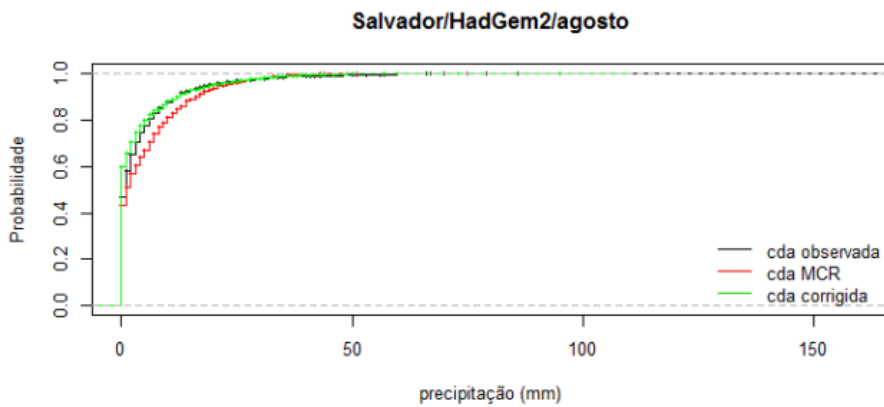
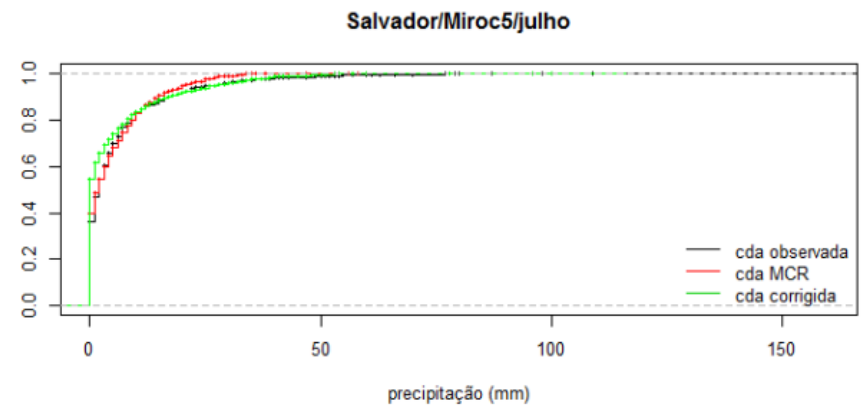
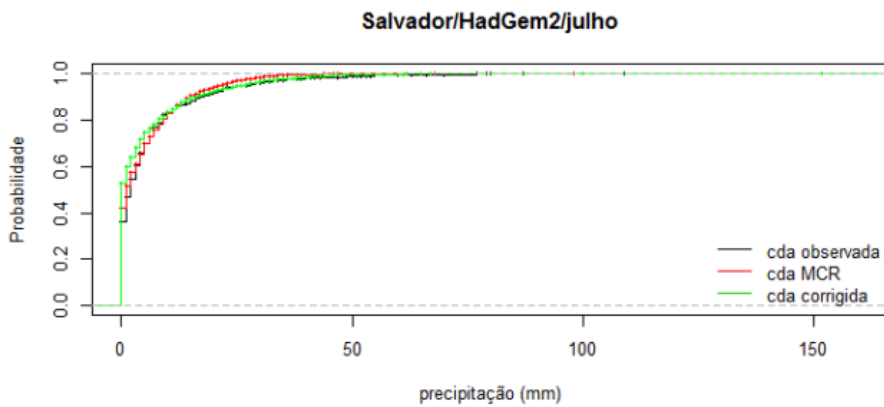


**Figura 23.** Comparação entre as curvas de distribuição acumulada das observações (cda observada) e das simulações antes (cda MCR) e após as correções (cda corrigida) dos meses de março e abril

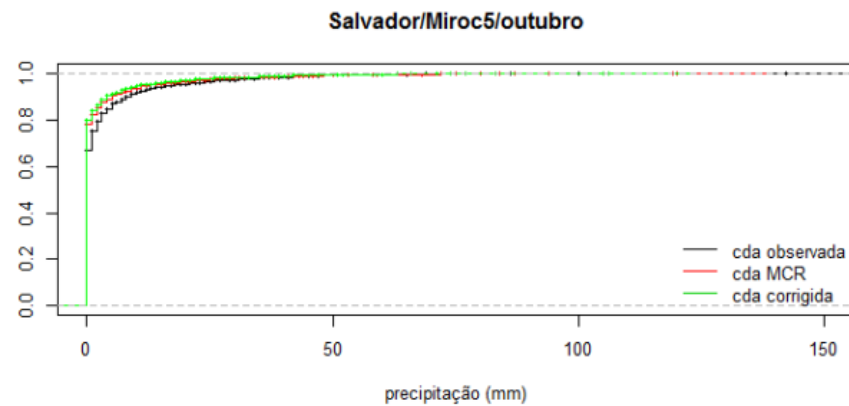
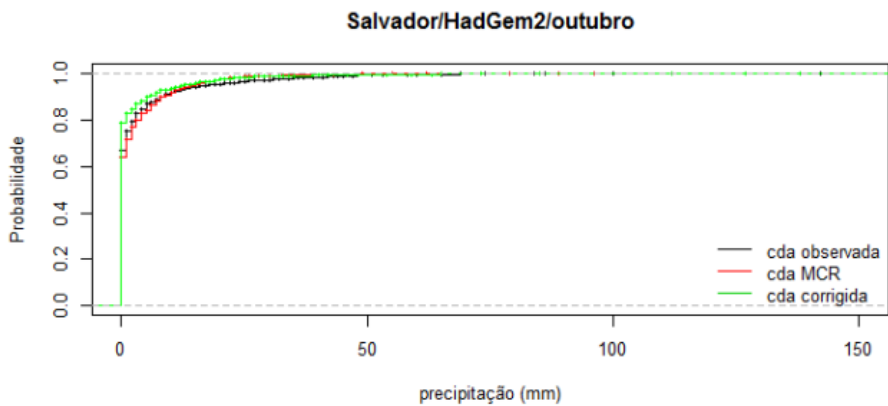
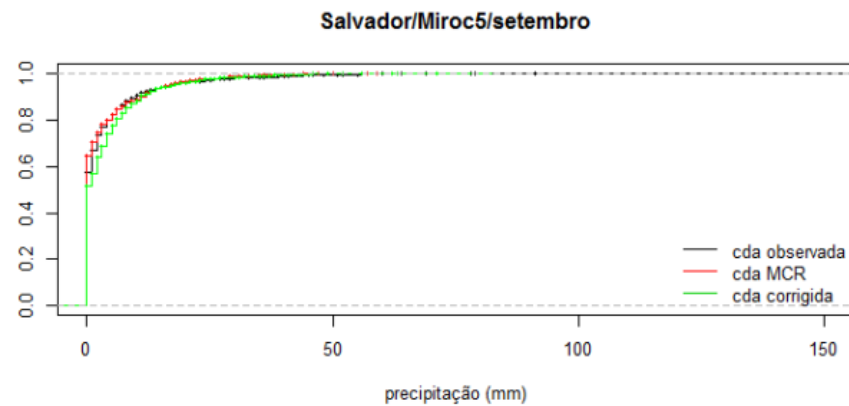
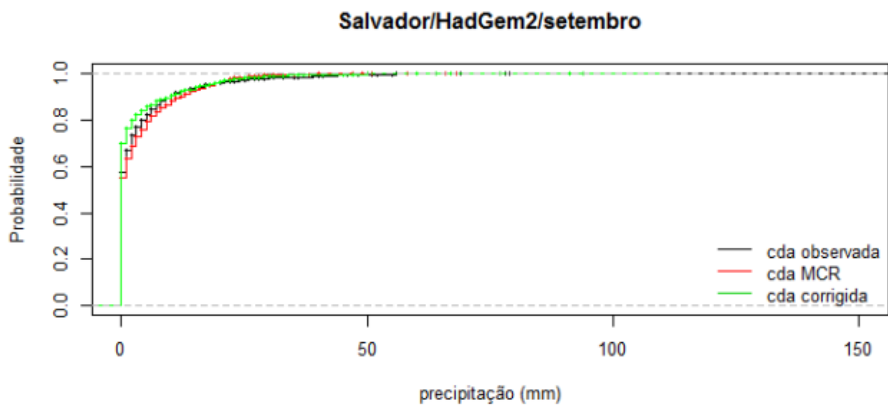
*[Handwritten signature]*



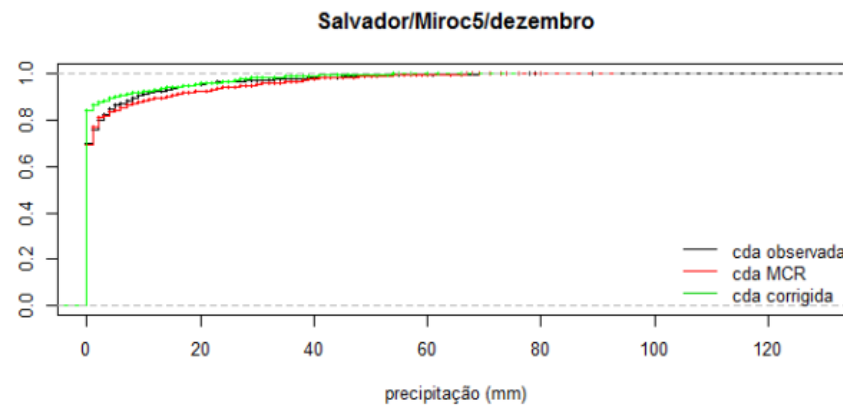
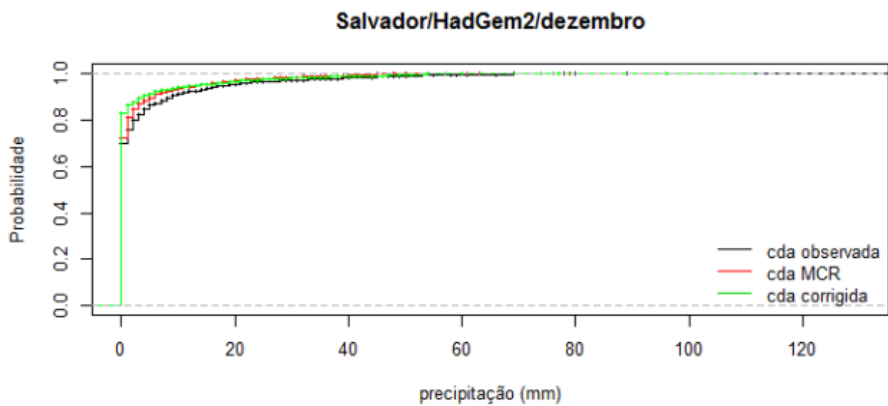
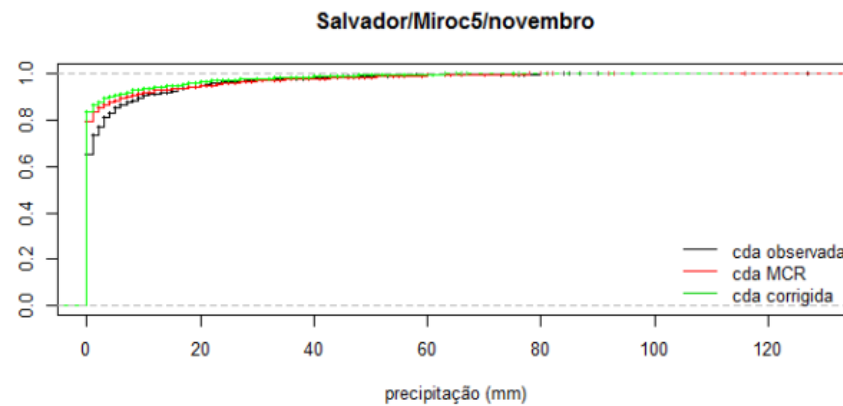
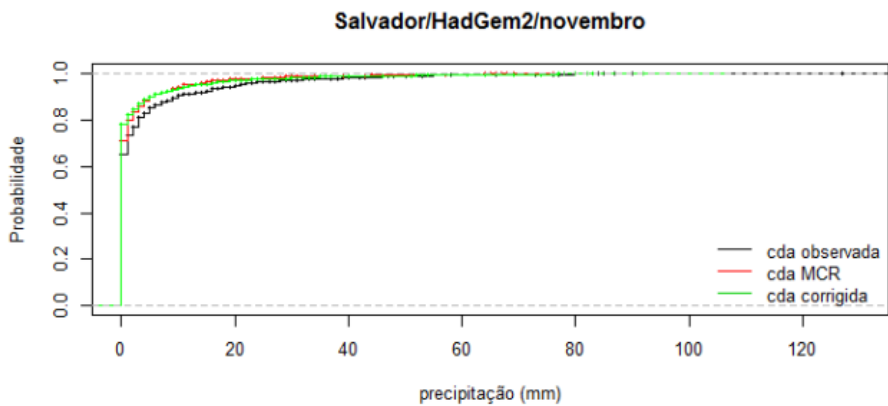
**Figura 24.** Comparação entre as curvas de distribuição acumulada das observações (cda observada) e das simulações antes (cda MCR) e após as correções (cda corrigida) dos meses maio e junho



**Figura 25.** Comparação entre as curvas de distribuição acumulada das observações (cda observada) e das simulações antes (cda MCR) e após as correções (cda corrigida) dos meses de julho e agosto



**Figura 26.** Comparação entre as curvas de distribuição acumulada das observações (cda observada) e das simulações antes (cda MCR) e após as correções (cda corrigida) dos meses de setembro e outubro



**Figura 27.** Comparação entre as curvas de distribuição acumulada das observações (cda observada) e das simulações antes (cda MCR) e após as correções (cda corrigida) dos meses de novembro e dezembro

### **2.2.3 Avaliação das precipitações máximas e total acumulado anual para séries de dados observados, brutos e corrigidos – período passado simulado pelo modelo atmosférico**

#### Precipitação máxima anual

Para melhor avaliar eventos extremos, as Figura 28 e 29 apresentam a comparação gráfica entre as séries de precipitações diárias máximas anuais observadas, e as séries de dados brutos e corrigidos – período passado simulado nos modelos atmosféricos, 1961 a 2005. Os anos de 1961, 1962 e 1963 não apresentam dados observados.

Observa-se pela Figura 28 que o modelo HADGEM2-ES subestimou os valores de precipitações diárias máximas anuais para praticamente todos os anos. A correção de viés aumentou esses valores, tornando em alguns anos, os valores superiores aos observados. Vale ressaltar que a correção do viés é feita para todos os dados diários de precipitação e não somente para os valores máximos anuais.

A observação desse comportamento do modelo HADGEM2-ES leva-nos à conclusão de que o modelo não somente subestima as precipitações de 24 horas, mas as distribui mais durante o dia, levando a intensidades de precipitações de 3 horas subestimadas. Isso pode ser observado pelas baixas razões de precipitações 3h/24h já apresentadas. Não foram encontrados dados observados de pluviógrafos, os quais apresentam frequências de leituras inferiores à diária. Isso impossibilita a comparação direta entre dados de 3 horas simulados e observados.

De acordo com a Figura 29, nota-se que as simulações das precipitações diárias máximas anuais do modelo MIROC5 se aproximam muito mais dos dados observados do que as simulações do modelo HADGEM2-ES, mesmo para os dados brutos. Com a correção do viés, as simulações em geral se aproximaram mais dos dados observados.



Precipitação Máxima Anual (1961 - 2005) / Corrigido X Bruto  
HadGem2-ES

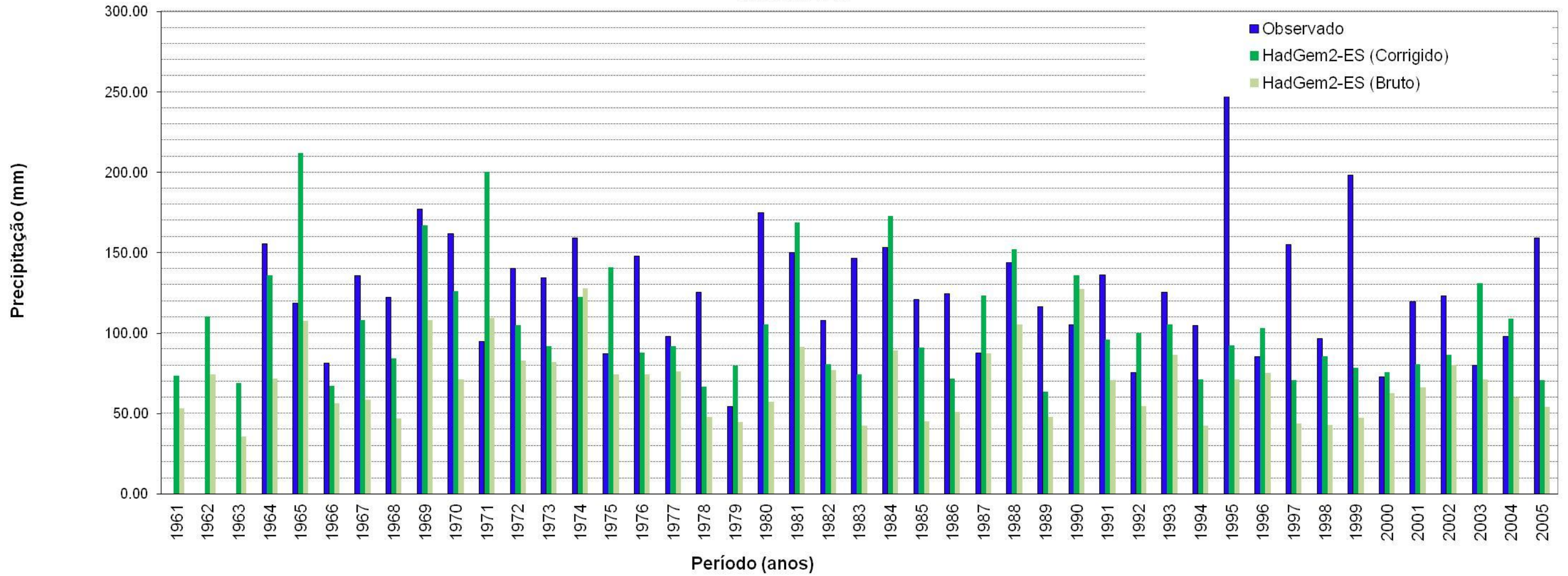


Figura 28. Precipitações máximas anuais, dados observados e simulados a partir de modelo HadGem2-ES (Salvador).

*Handwritten signature*



Precipitação Máxima Anual (1961 - 2005) / Corrigido x Bruto  
Miroc5

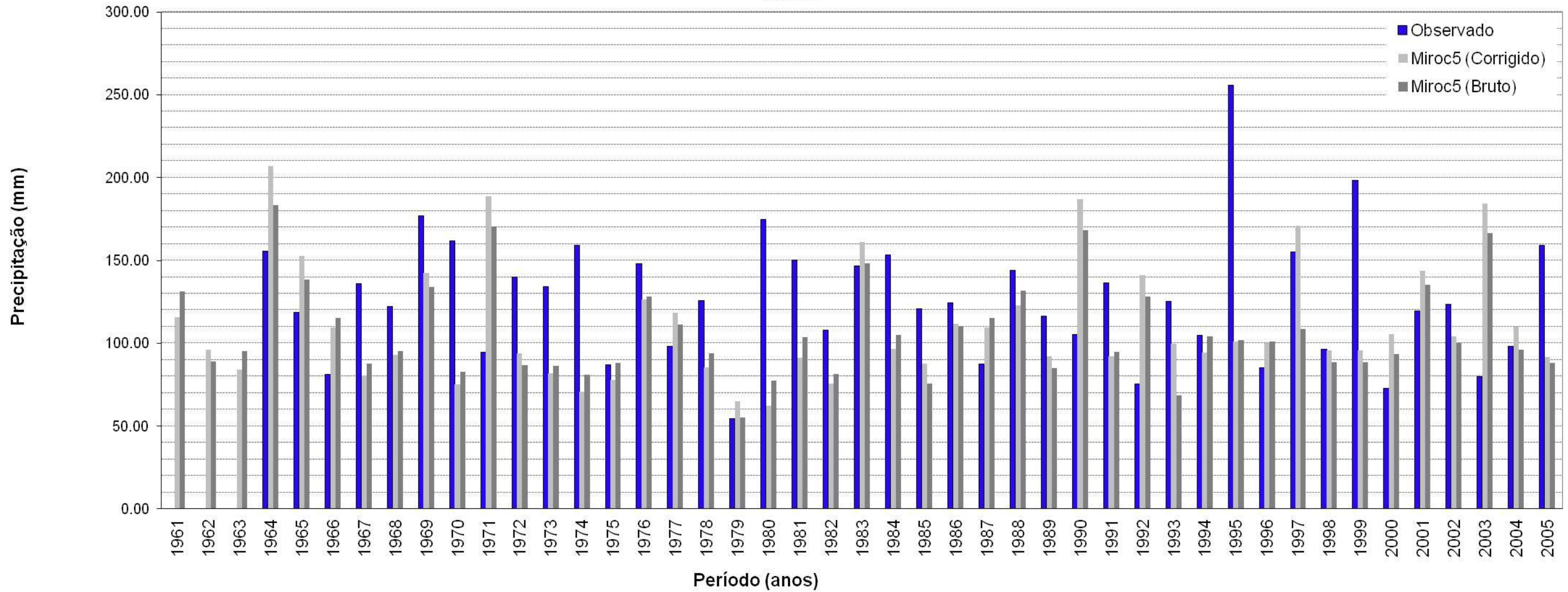


Figura 29. Precipitações máximas anuais, dados observados e simulados a partir de modelo Miroc5 (Salvador).

*[Handwritten signature]*

### Precipitação total anual

De forma a obter informações sobre o comportamento dos modelos atmosféricos, as Figuras 30 e 31 apresentam os totais anuais de precipitação observada, e obtidas nos modelos - séries de dados brutos e corrigidos, período de 1961 a 2005.

De acordo com a Figura 30, o modelo HADGEM2-ES tende em geral a subestimar os totais acumulados anuais, porém com resultados muito mais próximos aos dados observados do que apresentado para a cidade de Recife. A correção de viés tendeu a aumentar os valores simulados, tornando-os em geral, mais próximos aos dados observados.

Já para o modelo MIROC5 (Figura 31) o comportamento foi oposto, com superestimação dos valores acumulados anuais. A correção de viés tendeu a reduzir os valores, aproximando-os, para a maioria dos casos, aos valores observados.



Precipitação Total Anual (1961 - 2005) / Corrigido X Bruto  
HadGem2-ES

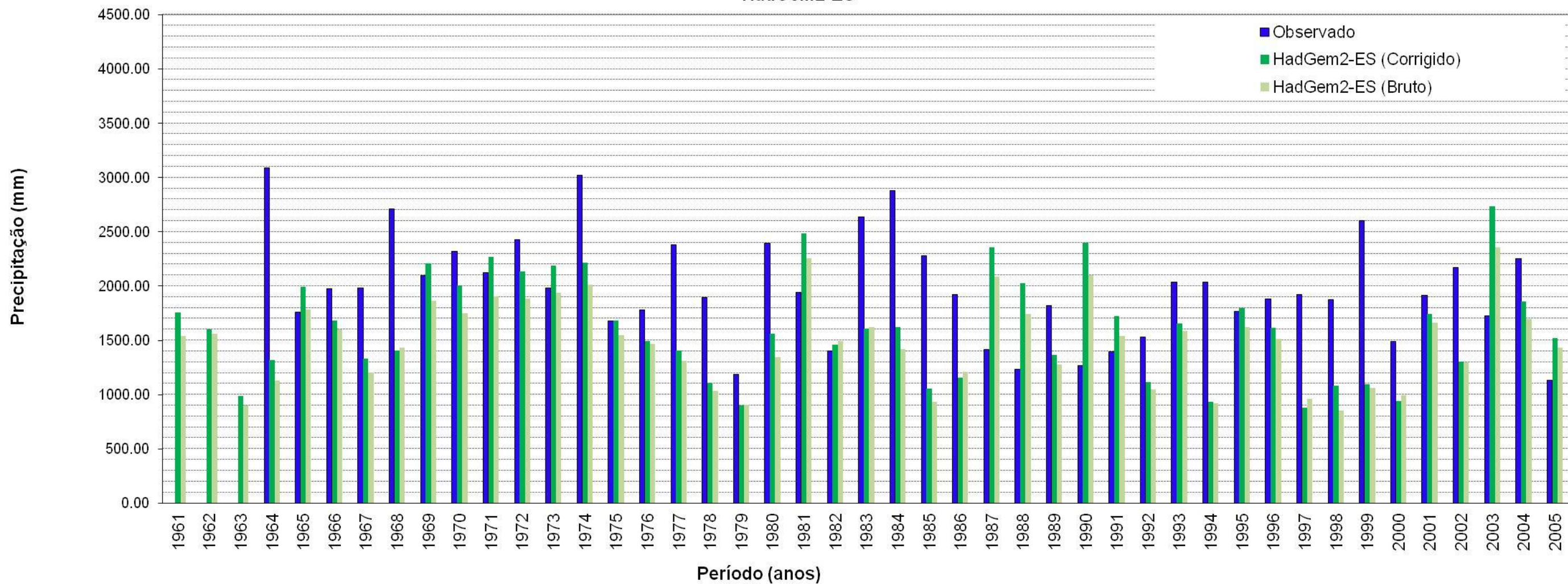


Figura 30. Precipitações totais anuais, dados observados e simulados a partir de modelo HadGem2-ES (Salvador).

*Handwritten signature*

Precipitação Total Anual (1961 - 2005) / Corrigido x Bruto  
Miroc5

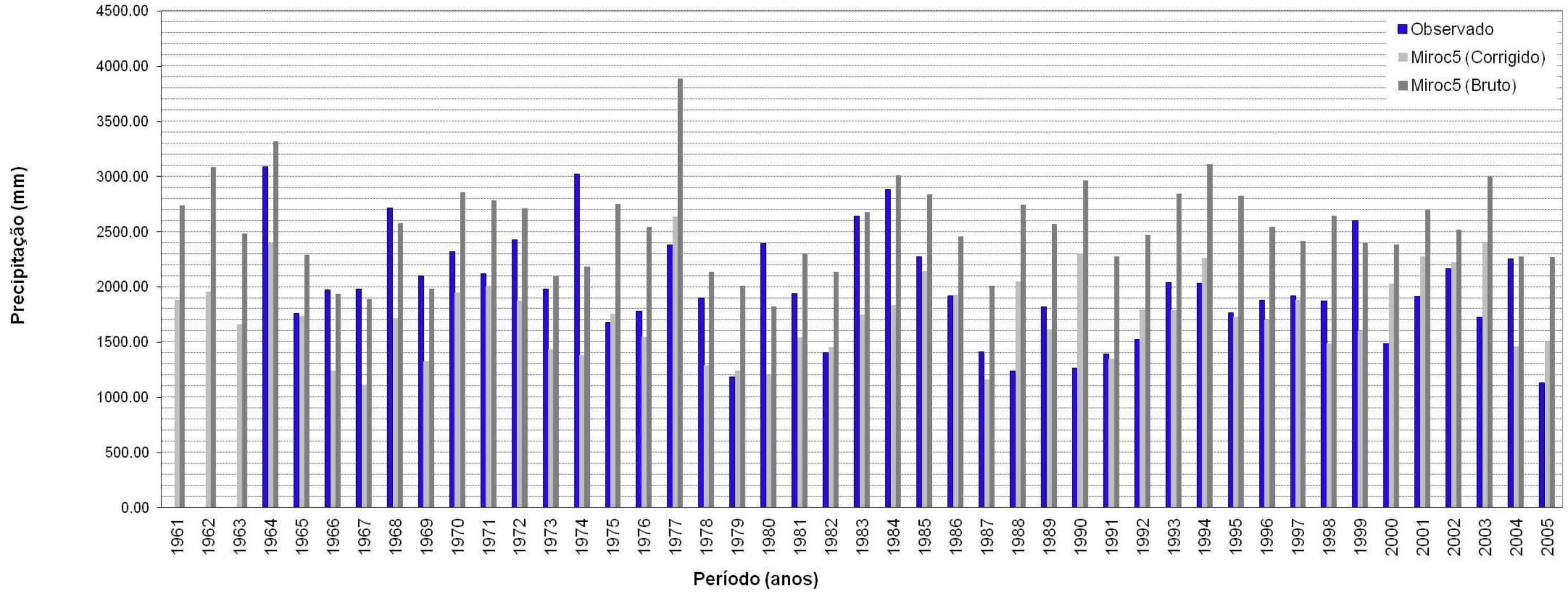


Figura 31. Precipitações totais anuais, dados observados e simulados a partir de modelo Miroc5 (Salvador).

#### 2.2.4 Processo de determinação das equações IDF

A mesma sequência de etapas adotadas na determinação da equação IDF de Recife, constante no item 2.1.4, foi adotada para a cidade de Salvador.

Vale a pena ressaltar que, assim como para Recife, as simulações dos modelos climáticos ainda são insuficientes para estabelecer equações IDFs futuras, dada sua resolução temporal e imprecisão dos acumulados de 3 horas. Também neste caso, não se espera que estas IDFs reproduzam um aumento ou redução significativos das intensidades para chuvas de curta duração.

Para os cenários simulados pelos modelos atmosféricos, apresentam-se a seguir as relações obtidas, a saber:

IPCC 4.5 - HadGem2 ES

$$i = 57,738.T^{0,1091}/(t+38,349)^{0,9244} \quad (9)$$

IPCC 4.5 - Miroc5

$$i = 60,8019.T^{0,1507}/(t+40,074)^{0,9449} \quad (10)$$

IPCC 8.5 - HadGem2 ES

$$i = 31,141.T^{0,2521}/(t+34,953)^{0,8922} \quad (11)$$

IPCC 8.5 - Miroc5

$$i = 40,60.T^{0,1738}/(t+34,681)^{0,8919} \quad (12)$$

em que:

i - intensidade (mm/min), T - Período de retorno (anos) e t - tempo de duração de chuva (min)

#### 2.2.5 Estudo comparativo a partir de IDF existente e estimadas para cenários futuros

Como destacado no item 2.1.5, pretende-se aqui avaliar a adequação das curvas geradas em comparação com curvas IDF existentes.

Nessa análise, adota-se a equação de Chuvas Intensas obtida de Festi (2007), expressa na forma da Equação (13).

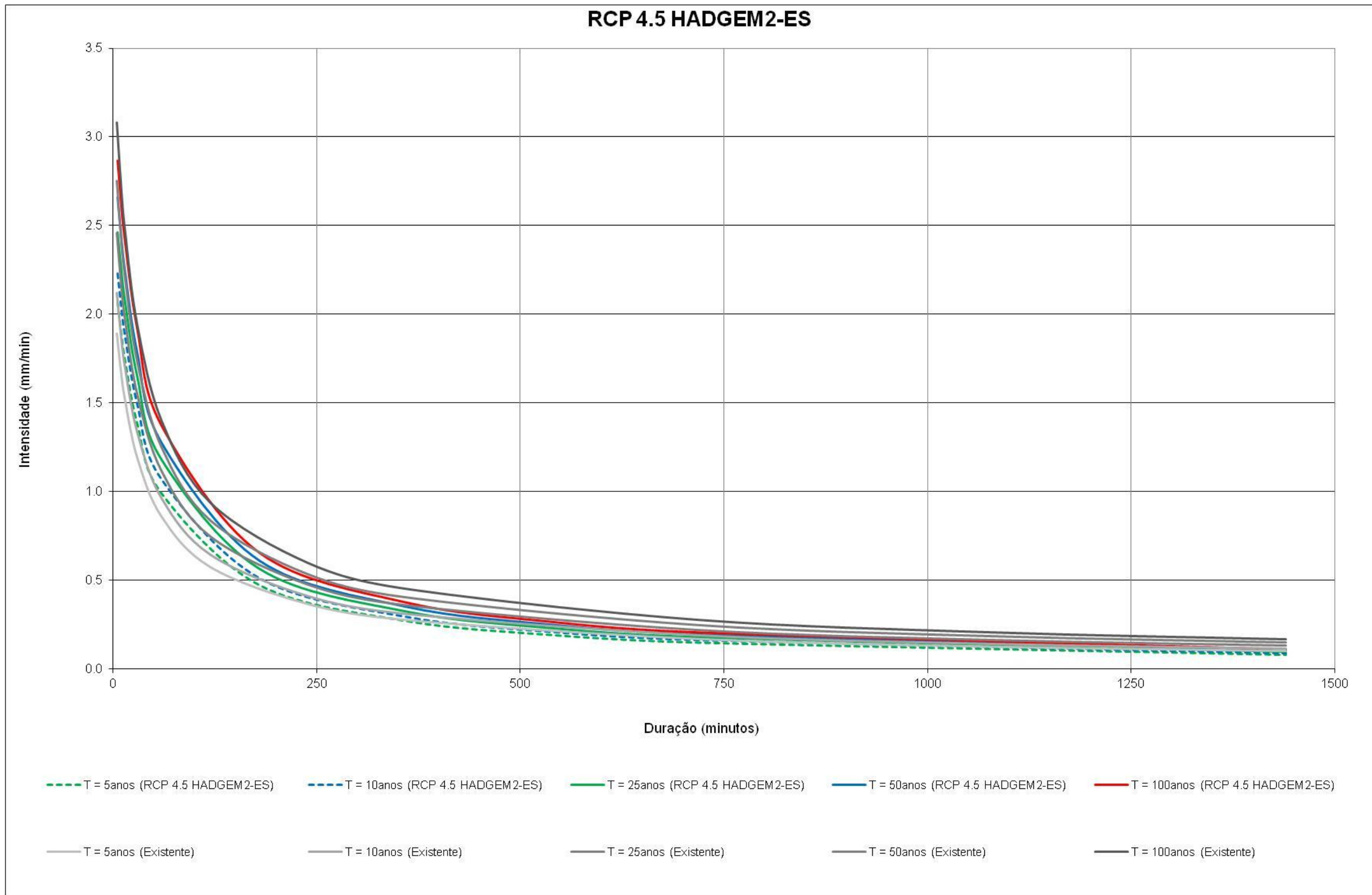
$$i = 1065.66.T^{0,163}/(t+24)^{0,743} \quad (13)$$

em que:

i - intensidade (mm/h), T - Período de retorno (anos) e t - tempo de duração de chuva (min)

As Figuras 32 e 33 apresentam a comparação entre as curvas IDFs existentes com as curvas IDFs futuras, cenário RCP 4.5, para os modelos HADGEM2-ES e MIROC5 respectivamente, para períodos de retorno de 5, 10, 25, 50 e 100 anos. As curvas existente e futuras estão muito próximas. Pode notar por essas figuras que as intensidades para as precipitações de 1440 minutos (24 horas) são levemente inferiores às precipitações relativas à IDF existente com período de retorno de 50 anos, objeto de estudos de macrodrenagem. Essa diferença é transferida para precipitações com durações menores.

Para períodos de retorno de 5, 10, 25 e 100 anos, as curvas estão apresentando o mesmo comportamento, tanto para o modelo HADGEM2-ES, quanto para o modelo MIROC5.



**Figura 32.** Comparação entre curvas IDFs existente e futura, RCP 4.5 HADGEM2-ES

*Handwritten signature*

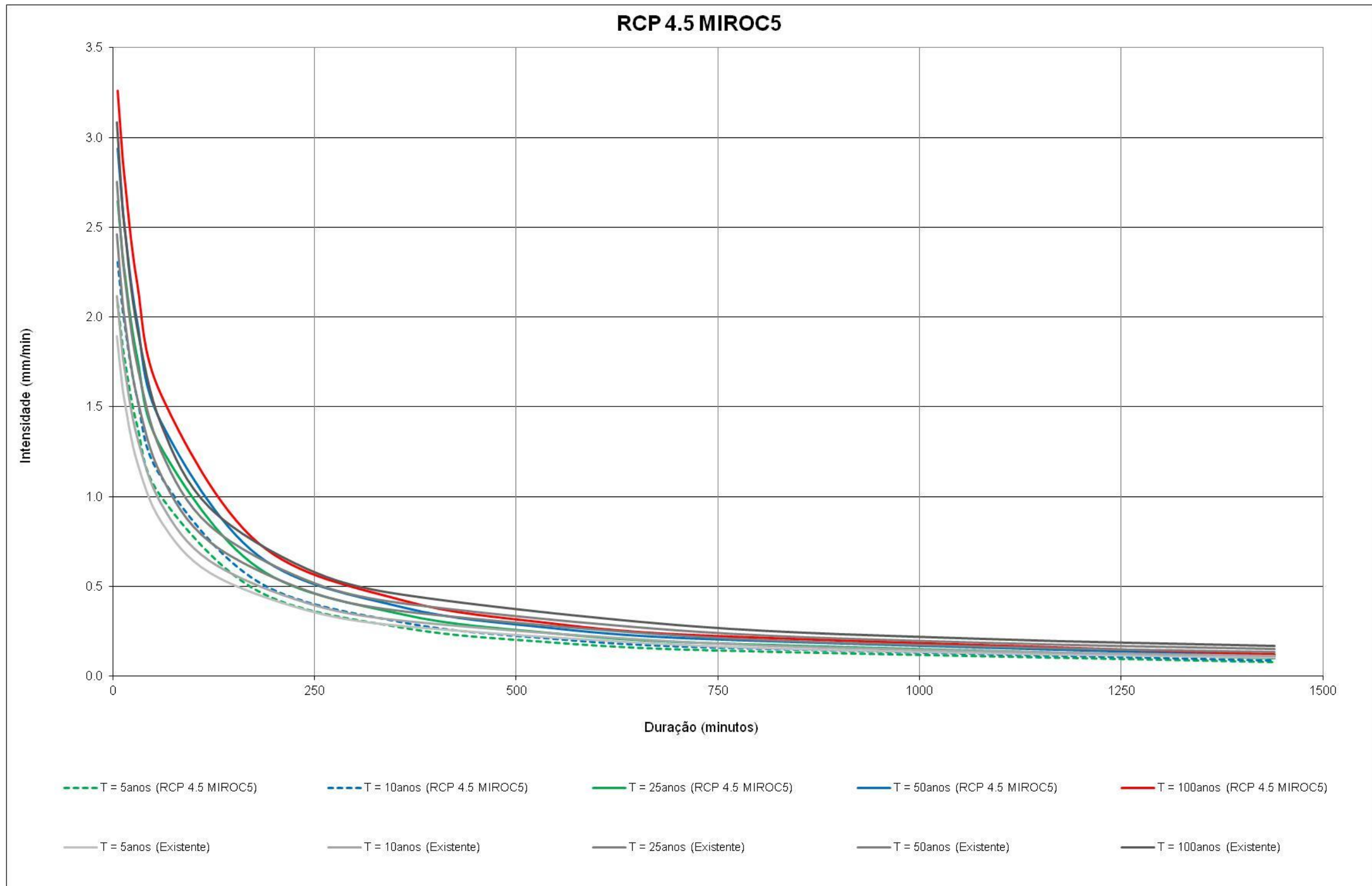


Figura 33. Comparação entre curvas IDF's existente e futura, RCP 4.5 MIROC5

*Handwritten signature*

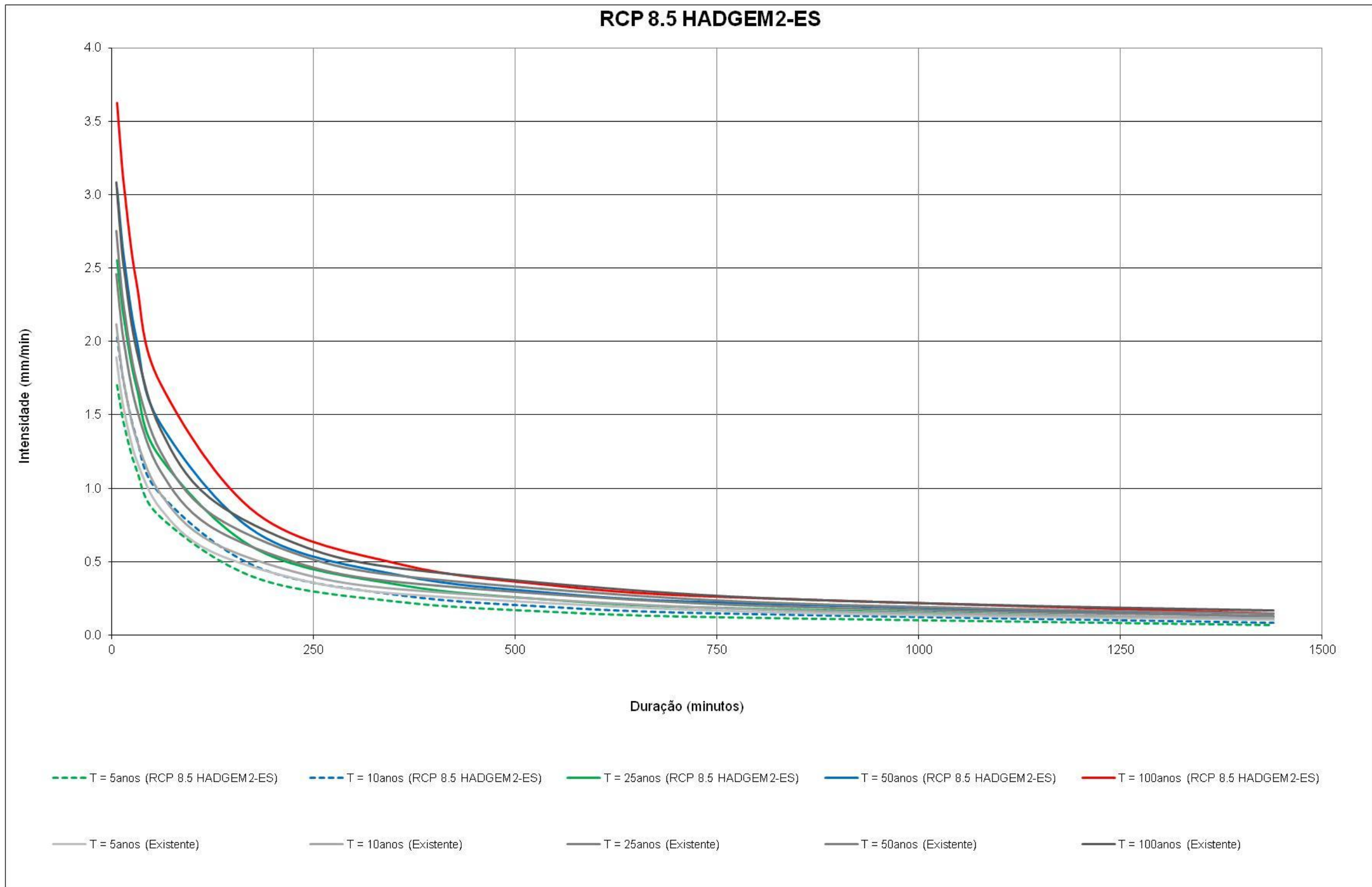
Para o cenário RCP 8.5, os resultados das IDF futuras estão apresentados nas Figuras 34 e 35, para os modelos HADGEM2-ES e MIROC5, respectivamente. O comportamento das curvas foi bem semelhante ao cenário 4.5, sendo que as curvas futuras do cenário 8.5 estão até mais próximas à curva existente, principalmente para durações superiores a 250 minutos. As intensidades para durações de 1440 minutos estão mais próximas à IDF existente em relação ao cenário 4.5.

Como fora no cenário RCP 4.5, as curvas para períodos de retorno de 5, 10, 25 e 100 , cenário RCP 8.5, também apresentam comportamento semelhante às existentes, tanto para o modelo HADGEM2-ES e para o modelo MIROC5.

Assim como no caso anterior, nota-se, para ambos os cenários IPCC, um aumento da intensidade de precipitações na faixa entre 50 e 350 minutos, em relação às IDF pré-existentes. Tal fato, embora possa indicar um possível impacto sobre os sistemas de drenagem, especialmente para os cenários mais pessimistas de mudanças climáticas, nos maiores períodos de retorno, deve ser analisado com cautela, uma vez que precipitações com tempos menores que 180 minutos sequer são contempladas nos dados projetados pelos modelos climáticos analisados. Por outro lado, neste caso específico, nota-se que, para períodos de retorno maiores, as IDF existentes são maiores que os cenários críticos futuros, indicando menor pressão futura sobre os sistemas de drenagem para precipitações com maiores duração. Cabe salientar que estas precipitações, com duração maior que 400 minutos, têm pouco impacto sobre o projeto de sistemas de drenagem, mais sensíveis à precipitações intensas e de curta duração.

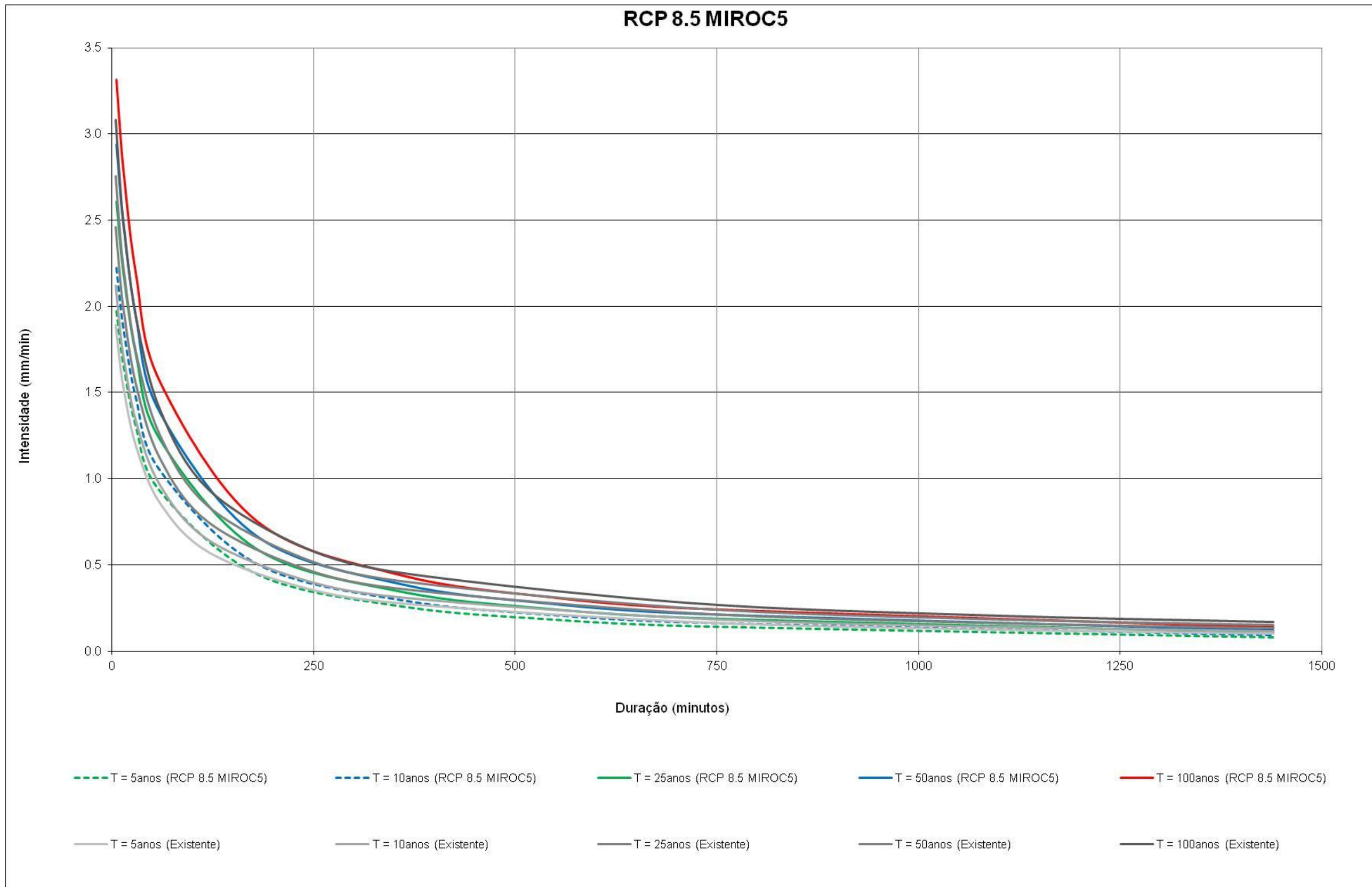






**Figura 34.** Comparação entre curvas IDFs existente e futura, RCP 8.5 HADGEM2-ES

*Handwritten signature*



**Figura 35.** Comparação entre curvas IDFs existente e futura, RCP 8.5 MIROC5

*Handwritten signature*

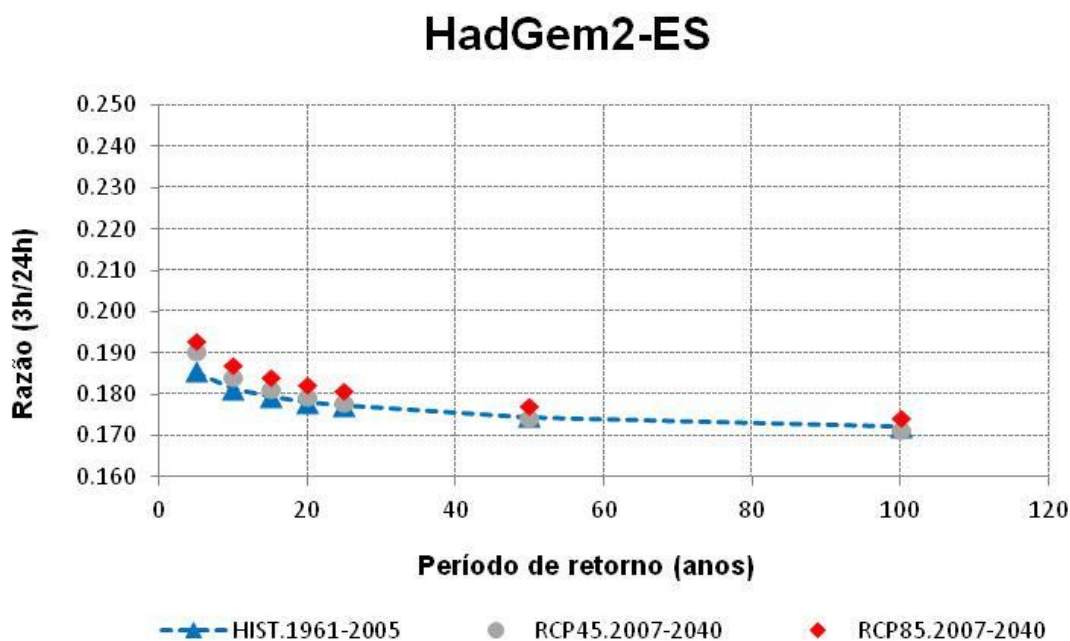
## 2.3 Fortaleza

### 2.3.1 Análise comparativa da razão de chuva (3h/24h) para os cenários passado e futuro simulados no modelo atmosférico - dados sem correção

Para se determinar as razões de precipitações 3h/24h seguiu-se a mesma sequência descrita para a cidade de Recife, apresentada no item 2.1.1.

As Figuras 36 e 37 mostram os resultados das razões de precipitação não corrigidas que relacionam a precipitação de 3h e de 24h, para os períodos de retorno de 5, 10, 15, 20, 25, 50 e 100 anos, para os modelos HADGEM2-ES e MIROC5, respectivamente.

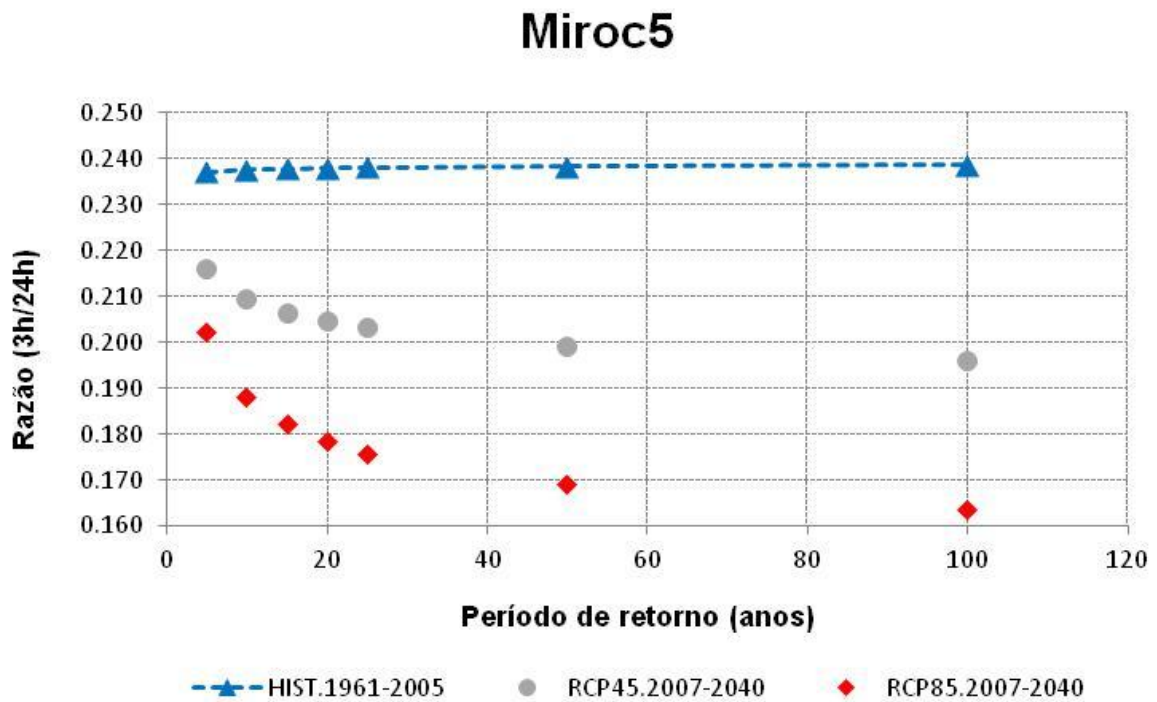
De acordo com os dados apresentados na Figura 36, assim como observado para Recife, as razões das precipitações diminuem a medida que se aumenta o período de retorno. Entretanto, as razões observadas tanto para o cenário 4.5, quanto para o cenário 8.5, apresentam-se bastante próximas às razões do período passado.



**Figura 36.** Razão de chuva (3h/24h) para dados brutos, HadGem2-ES (Fortaleza).

Já para os resultados obtidos a partir de simulações do **Miroc5** (Figura 37), as razões do período passado apresentam um ligeiro aumento para período de retornos

maiores. Nota-se nesta figura que, da mesma forma que para Recife, em relação ao período passado (HIST), o cenário RCP 4.5 apresenta uma redução nos valores das razões, que é ainda maior para o cenário 8.5. Como os dois modelos apresentam comportamentos muito distintos, é difícil afirmar qual seria o comportamento padrão para o futuro.



**Figura 37.** Razão de chuva (3h/24h) para dados brutos, Miroc5 (Fortaleza).

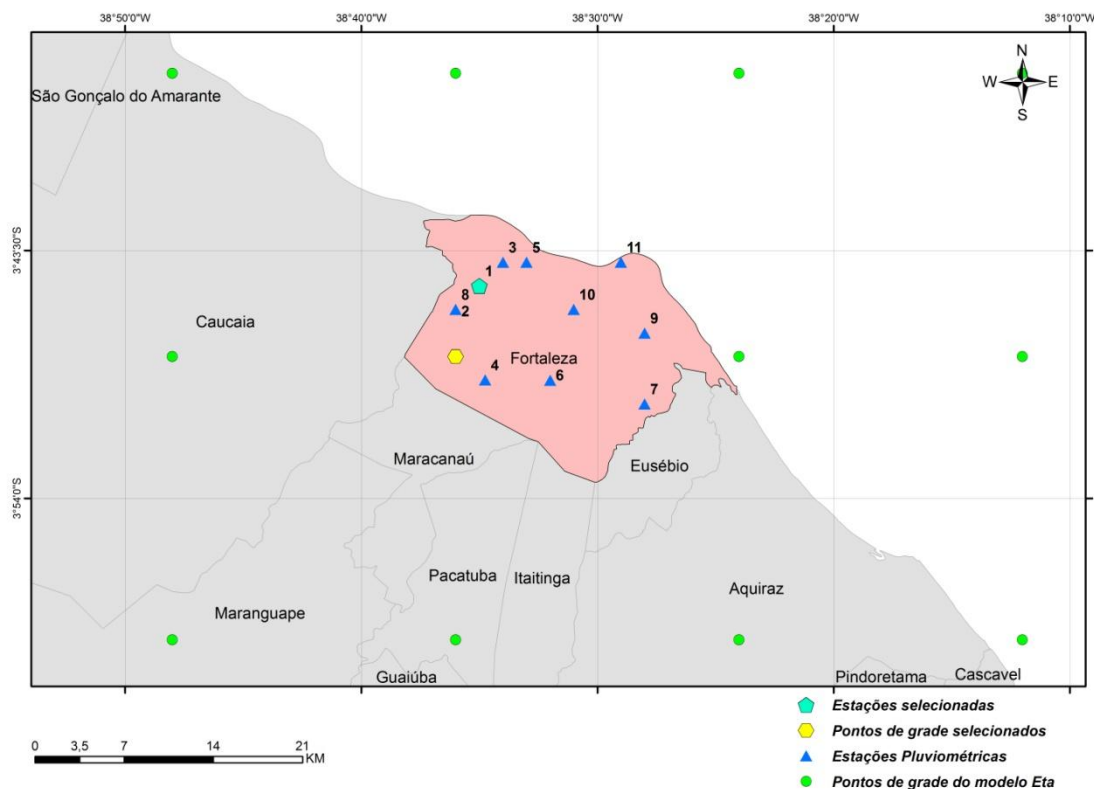
Se comparadas com as razões obtidas para Recife e Salvador, as razões de Fortaleza são superiores. Isso está de acordo com as razões encontradas na literatura (Tabela 2), uma vez que Fortaleza se encontra na Isozona C de acordo com a classificação de Torrico (1974). Apesar das razões se apresentarem superiores às razões encontradas para Recife e Salvador, se comparadas com as razões observadas de literatura, as razões encontradas são muito inferiores. Isso indica que os modelos em média ou distribuem mais as precipitações durante os dias, ou seja, apresentam precipitações menos intensas, ou superestimam os valores de precipitações diárias.

### 2.3.2 Correção do viés das simulações de precipitação

A sequência e considerações adotadas para a correção do viés das simulações de precipitação para a cidade de Recife, apresentadas no item 2.1.2, foram as mesmas aplicadas para a cidade de Fortaleza.

Os dados da estação pluviométrica selecionada possuíam falhas, que tiveram que ser preenchidas conforme descrito na seção 2.2.2 para a cidade de Salvador.

O ponto de grade selecionado do modelo Eta para a cidade de Fortaleza apresenta coordenadas LAT -3,80, LON -38,60. A estação pluviométrica selecionada apresenta coordenadas LAT -3,75 e LON -38,58, conforme Figura 38.



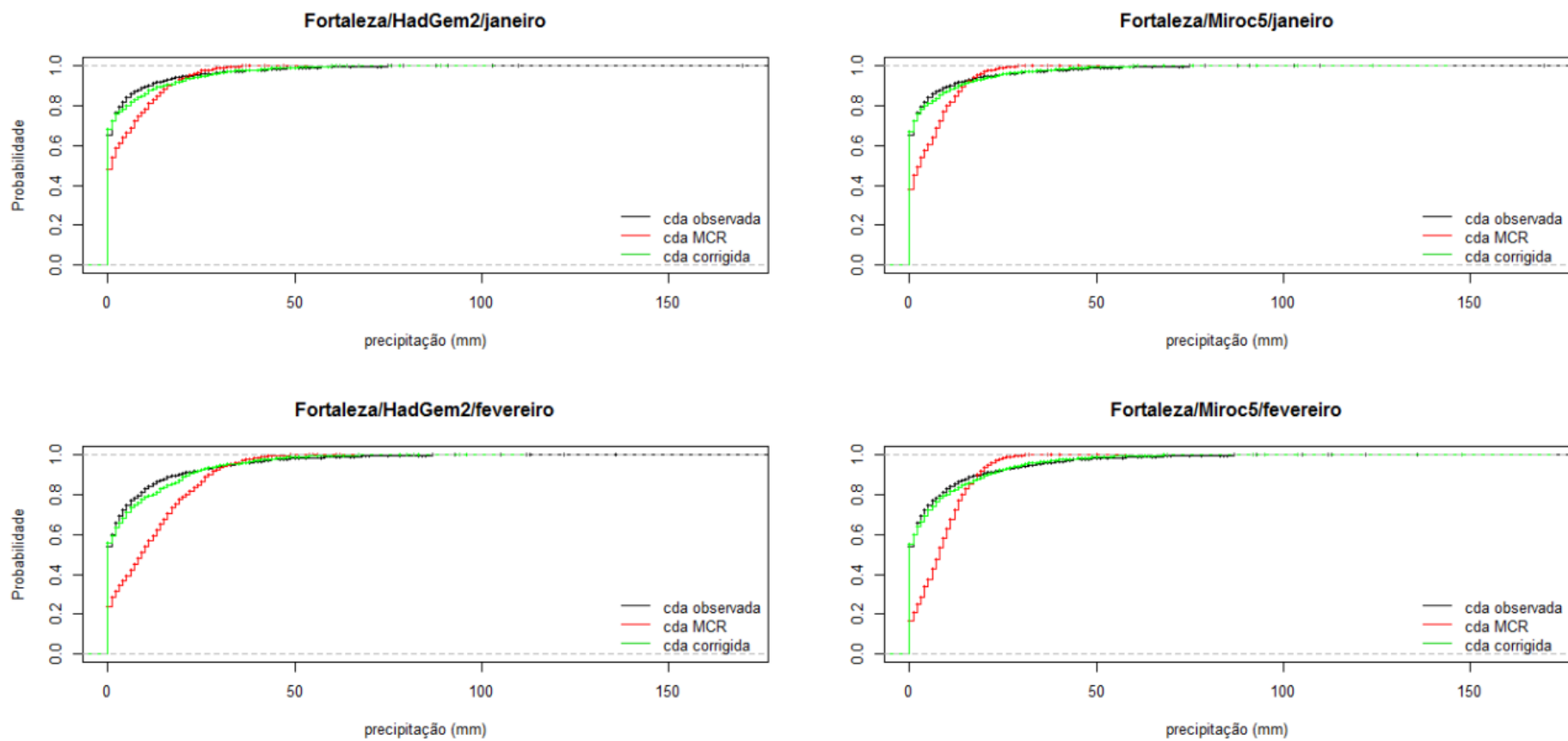
**Figura 38.** Ponto de grade do modelo Eta e estação pluviométrica selecionados (Fortaleza).

As Figuras 39 a 44 mostram a comparação entre a curva de distribuição acumulada (cda) observada e as curvas de distribuição acumulada com e sem correção.

Observa-se pelas figuras que as simulações feitas com o modelo MIROC5 para os meses de dezembro a maio tendem a superestimar as precipitações diárias, principalmente simulando uma quantidade reduzida de dias sem chuva. Nos meses de junho a outubro percebe-se uma subestimativa.

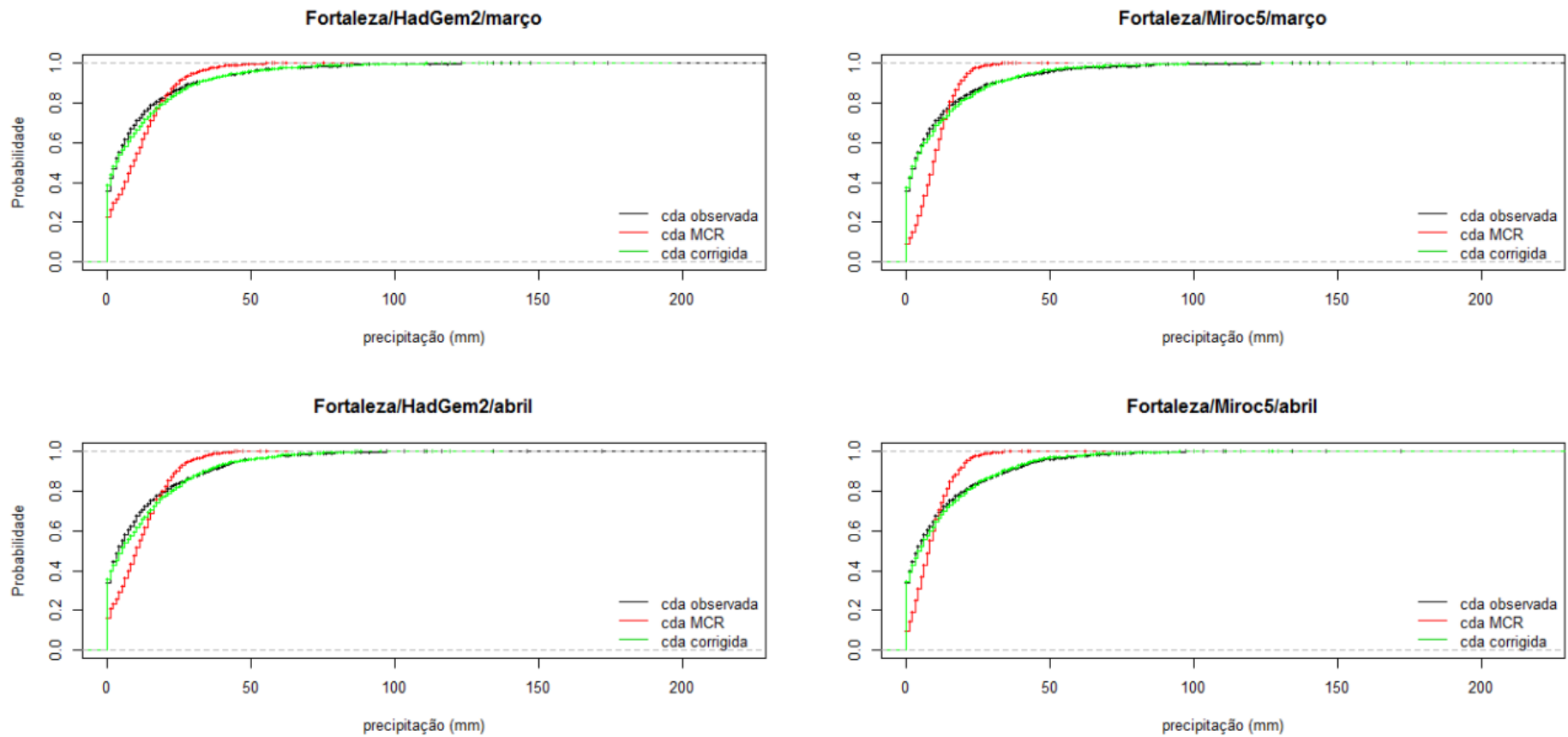
Conclui-se, assim como para Recife e Salvador, que o emprego da técnica de correção de viés foi eficiente em reduzir as diferenças entre simulações e observações no período *historical*. Portanto, para análise dos cenários futuros espera-se uma maior confiabilidade às simulações após as correções feitas.





**Figura 39.** Comparação entre as curvas de distribuição acumulada das observações (cda observada) e das simulações antes (cda MCR) e após as correções (cda corrigida) dos meses de janeiro e fevereiro.

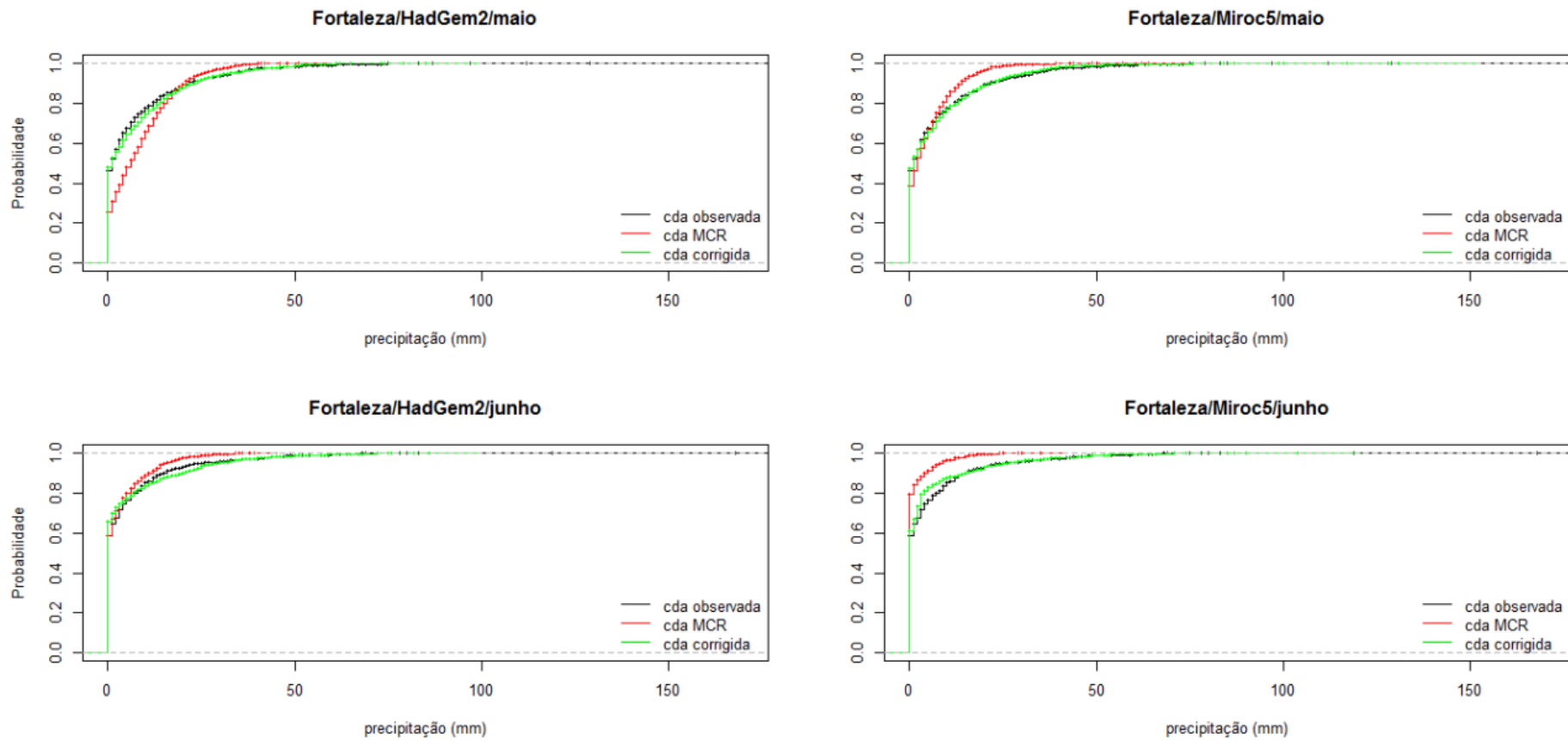
*[Handwritten signature]*



**Figura 40.** Comparação entre as curvas de distribuição acumulada das observações (cda observada) e das simulações antes (cda MCR) e após as correções (cda corrigida) dos meses de março e abril

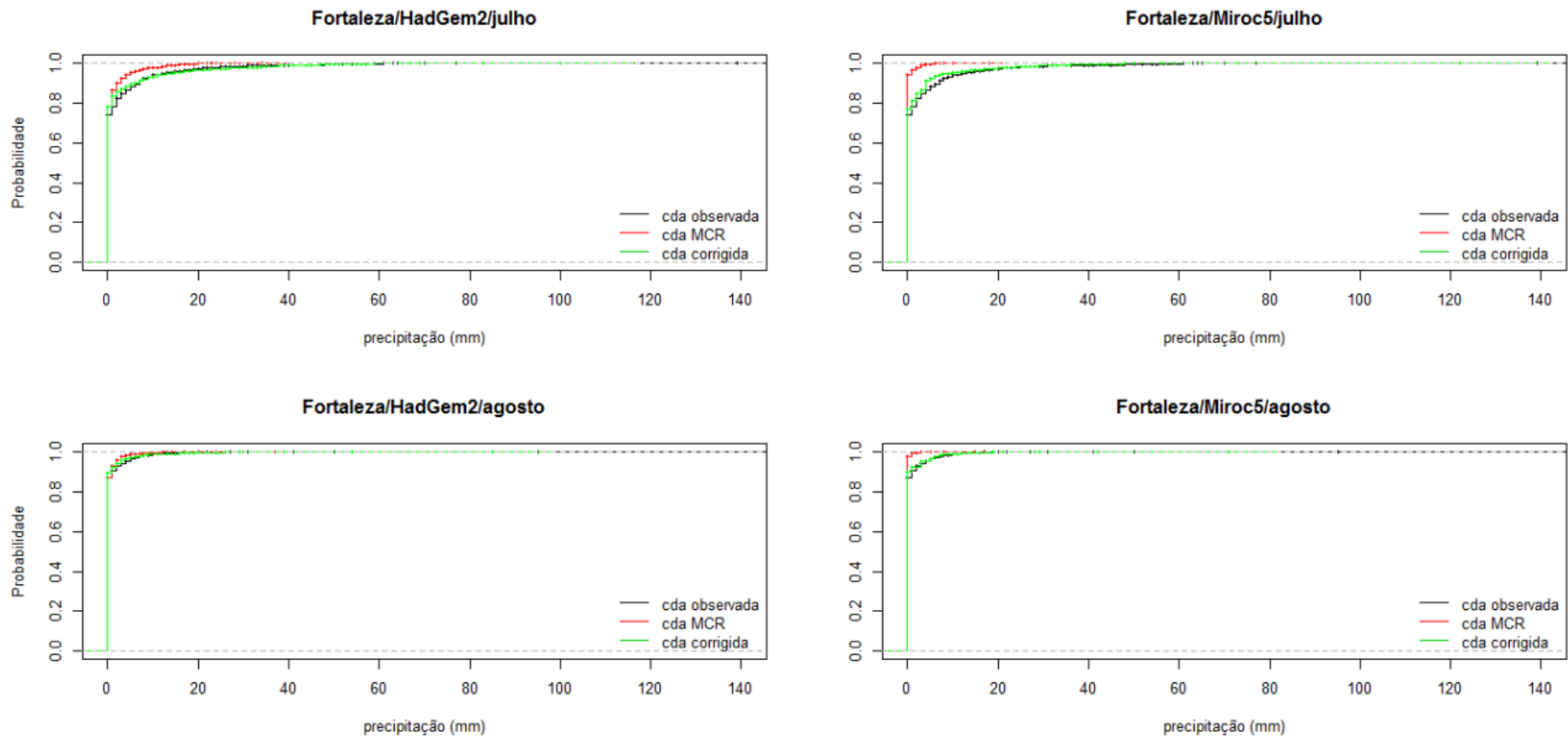
*[Handwritten signature]*





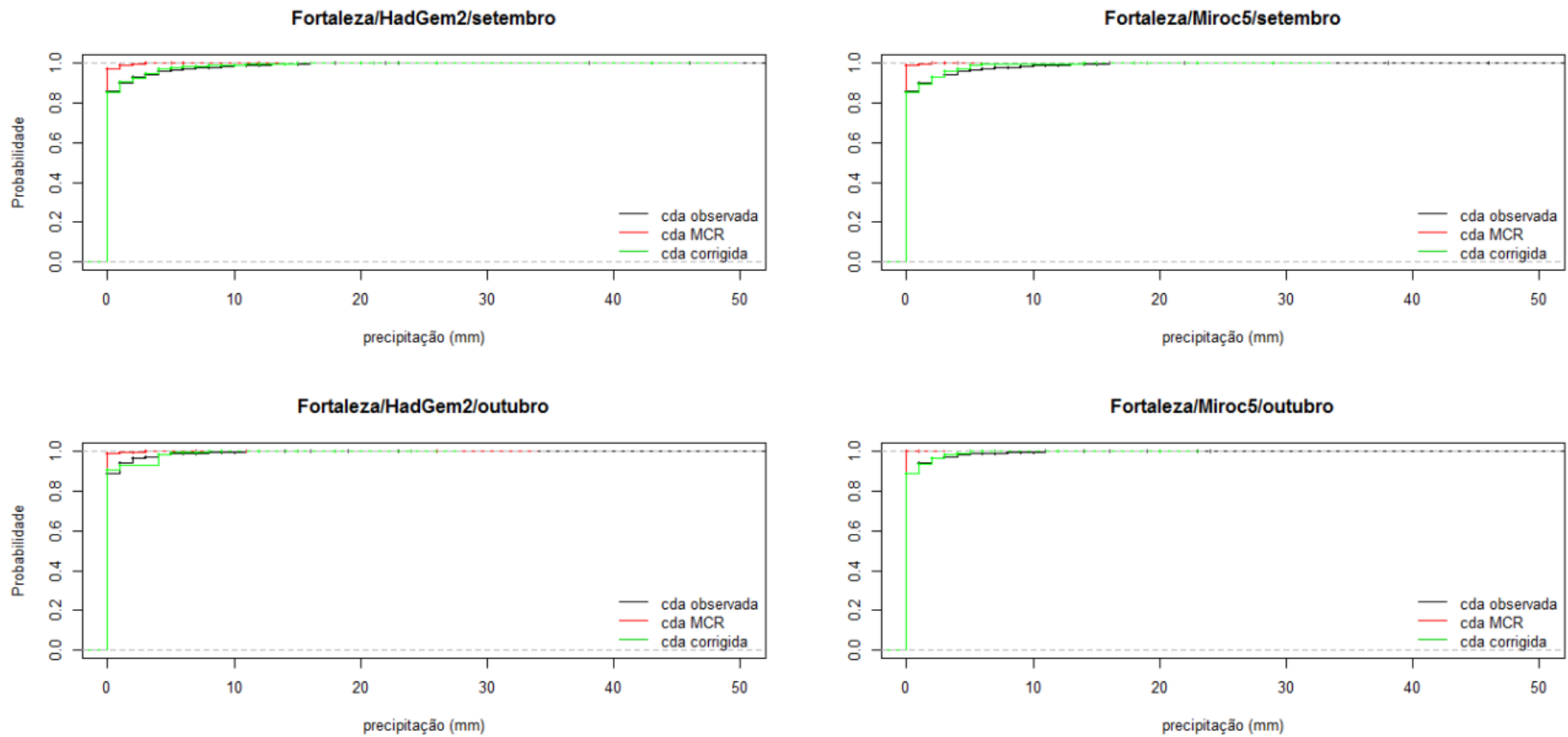
**Figura 41.** Comparação entre as curvas de distribuição acumulada das observações (cda observada) e das simulações antes (cda MCR) e após as correções (cda corrigida) dos meses maio e junho

*[Handwritten signature]*



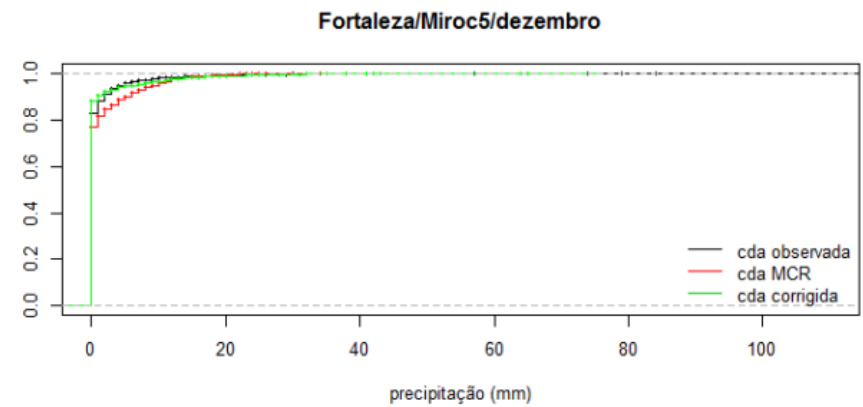
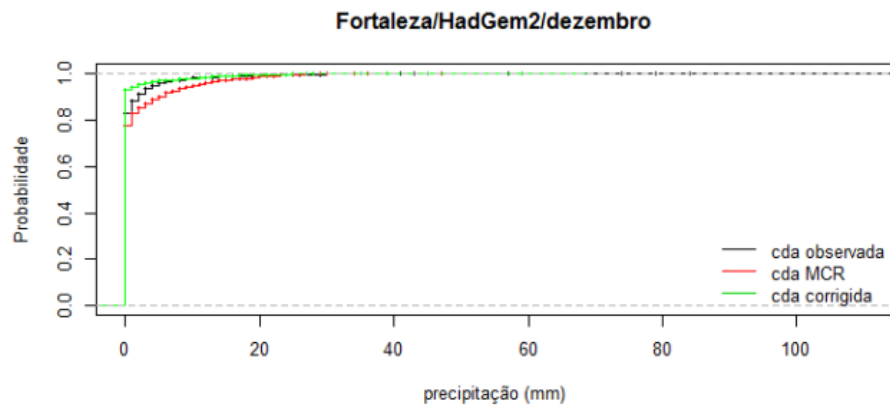
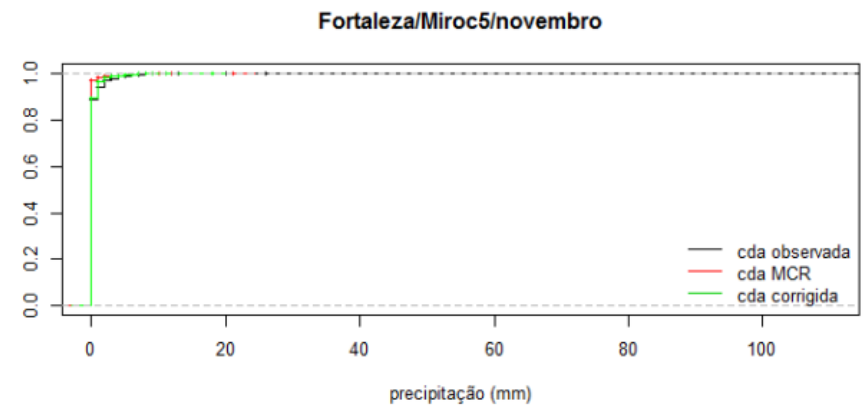
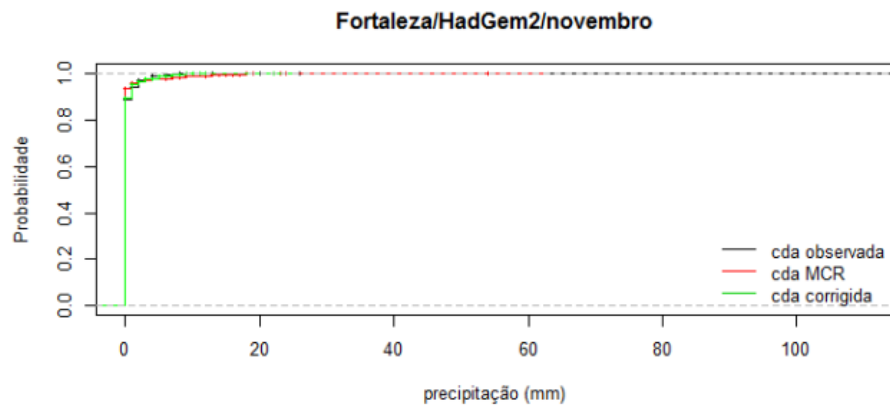
**Figura 42.** Comparação entre as curvas de distribuição acumulada das observações (cda observada) e das simulações antes (cda MCR) e após as correções (cda corrigida) dos meses de julho e agosto

*[Handwritten signature]*



**Figura 43.** Comparação entre as curvas de distribuição acumulada das observações (cda observada) e das simulações antes (cda MCR) e após as correções (cda corrigida) dos meses de setembro e outubro

*[Handwritten signature]*



**Figura 44.** Comparação entre as curvas de distribuição acumulada das observações (cda observada) e das simulações antes (cda MCR) e após as correções (cda corrigida) dos meses de novembro e dezembro

### **2.3.3 Avaliação das precipitações máximas e total acumulado anual para séries de dados observados, brutos e corrigidos – período passado simulado pelo modelo atmosférico**

#### Precipitação máxima anual

Para melhor avaliar eventos extremos, as Figura 45 e 46 apresentam a comparação gráfica entre as séries de precipitações diárias máximas anuais observadas, e as séries de dados brutos e corrigidos – período passado simulado nos modelos atmosféricos, 1961 a 2005.

Observa-se pela Figura 45 que mais uma vez o modelo HADGEM2-ES tende a subestimar os valores de precipitações diárias máximas anuais. A correção de viés resultou em um aumento desses valores, aproximando-os na maioria dos casos aos valores observados.

Ao contrário do que foi observado para Recife o Salvador, o modelo MIROC5 (Figura 46) também tendeu a subestimar os valores de precipitações diárias máximas anuais. Nesse caso, a correção de viés também provocou um aumento dos valores simulados, aproximando-os, em geral, aos valores observados.



Precipitação Máxima Anual (1961 - 2005) / Corrigido X Bruto  
HadGem2-ES

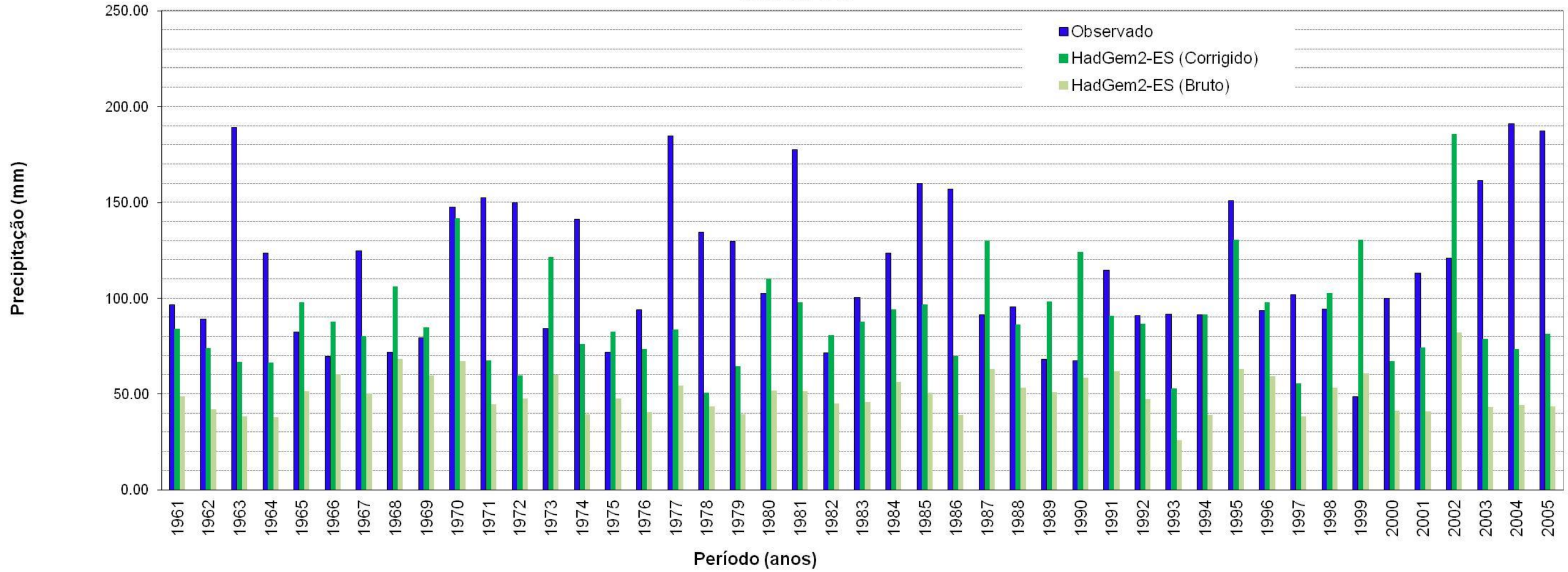


Figura 45. Precipitações máximas anuais, dados observados e simulados a partir de modelo HadGem2-ES (Fortaleza).

Precipitação Máxima Anual (1961 - 2005) / Corrigido x Bruto  
Miroc5

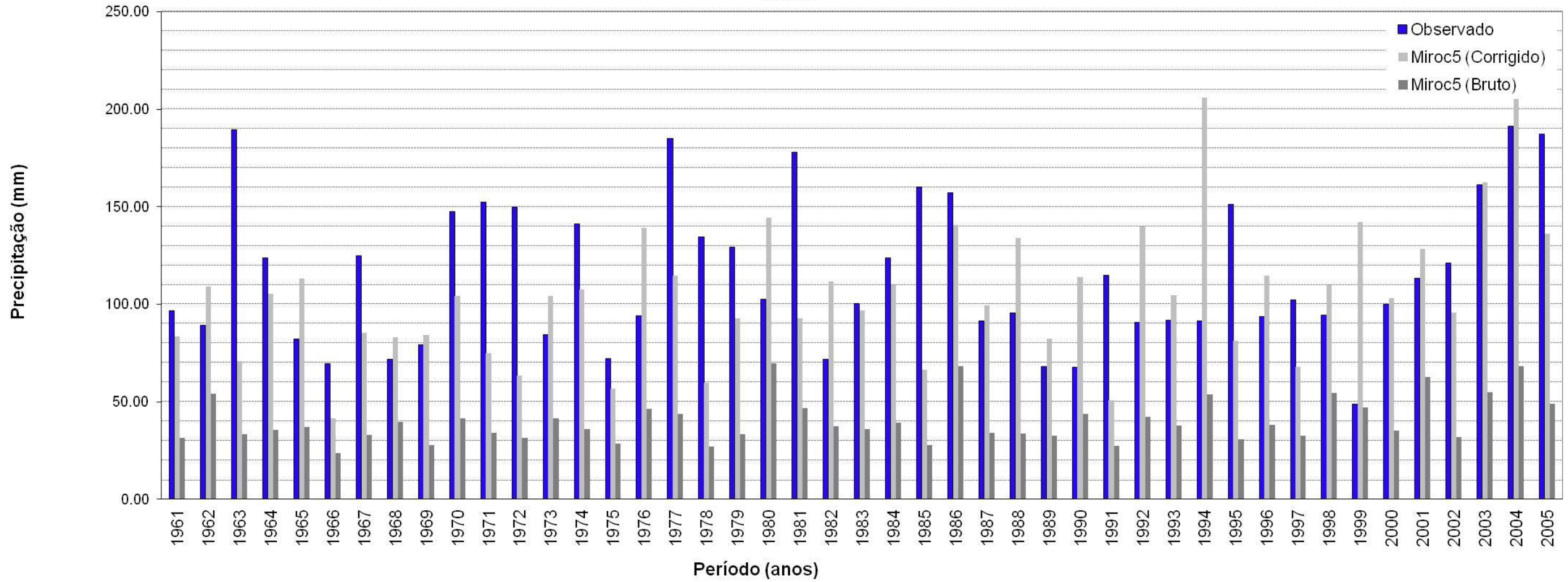


Figura 46. Precipitações máximas anuais, dados observados e simulados a partir de modelo Miroc5 (Fortaleza).

*[Handwritten signature]*

### Precipitação total anual

De forma a obter informações sobre o comportamento dos modelos atmosféricos, as Figuras 47 e 48 apresentam os totais anuais de precipitação observada, e obtidas nos modelos - séries de dados brutos e corrigidos, período de 1961 a 2005.

De acordo com a Figura 47, para o total acumulado anual, o modelo HADGEM2-ES tende a subestimar os valores se comparados aos dados observados. A correção de viés proporcionou um aumento desses valores, aproximando-os, na maioria dos casos, aos valores observados. Nota-se, entretanto, que em alguns anos (por exemplo, 1968, 1969, 1970) os valores corrigidos superaram os valores observados.

Já o modelo MIROC5 (Figura 48), em geral superestimou os valores acumulados anuais, embora tenha subestimado os valores diários máximos anuais (Figura 46). Isso pode ocorrer pois a correção de viés é aplicada a todos os valores diários de precipitação, e não somente aos valores máximos anuais. Isso indica também que, apesar do modelo estar superestimando os valores acumulados anuais, ele tende a distribuir mais as precipitações durante o ano, reduzindo as intensidades das precipitações diárias. Isso pôde ser observado pelas baixas quantidades de dias sem precipitação simulados, apresentadas nos gráficos de curvas de densidade acumuladas (Figuras 39 e 40), principalmente de janeiro a abril. A correção de viés tendeu a reduzir os valores acumulados anuais, aproximando-os em média aos valores observados.





Precipitação Total Anual (1961 - 2005) / Corrigido X Bruto  
HadGem2-ES

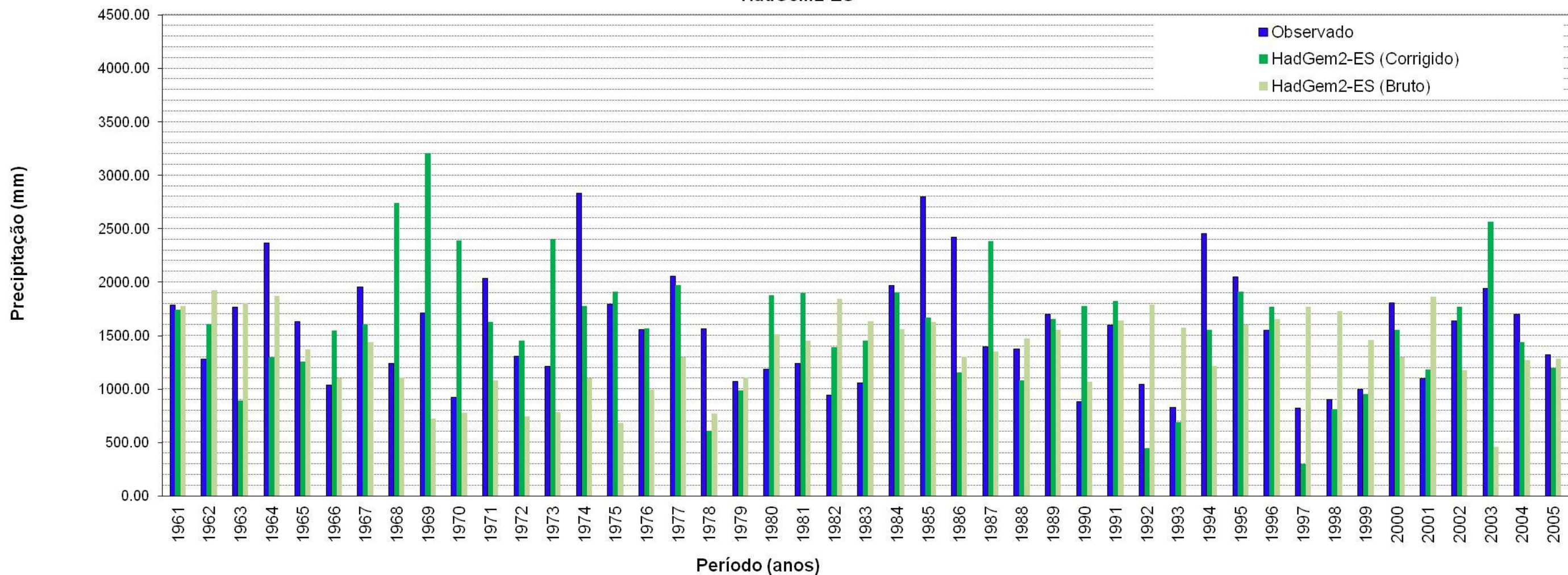
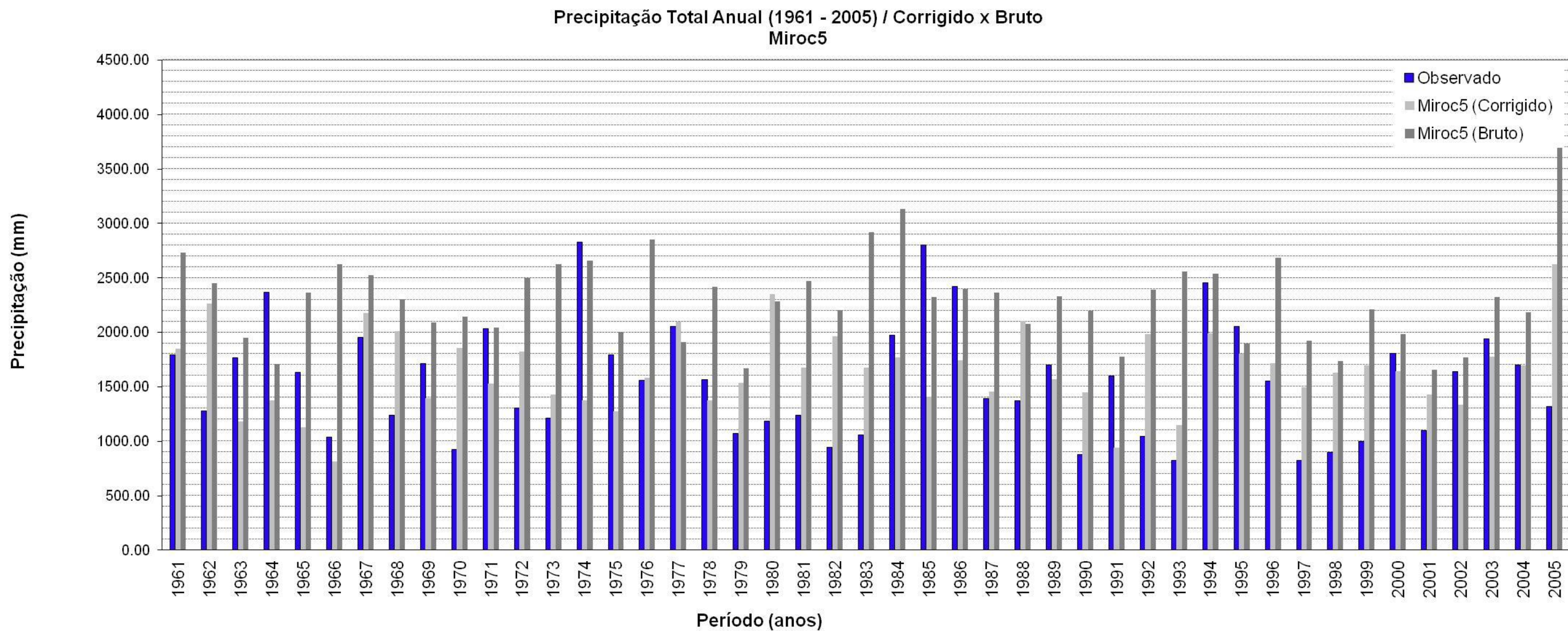


Figura 47. Precipitações totais anuais, dados observados e simulados a partir de modelo HadGem2-ES (Fortaleza).

*[Handwritten signature]*



**Figura 48.** Precipitações totais anuais, dados observados e simulados a partir de modelo Miroc5 (Fortaleza).

*Handwritten signature*

### 2.3.4 Processo de determinação das equações IDF

A mesma sequência de etapas adotadas na determinação da equação IDF de Recife, constante no item 2.1.4, foi adotada para a cidade de Fortaleza.

Ressaltamos novamente que, da mesma forma que para as cidades anteriores, as simulações dos modelos climáticos para Fortaleza ainda são insuficientes para estabelecer equações IDFs futuras, dada sua resolução temporal e imprecisão dos acumulados de 3 horas. Também neste caso, não se espera que estas IDFs reproduzam um aumento ou redução significativos das intensidades para chuvas de curta duração. Para os cenários simulados pelos modelos atmosféricos, apresentam-se a seguir as equações obtidas, a saber:

#### IPCC 4.5 - HadGem2 ES

$$i = 38,9650.T^{0,1407} / (t+27,902)^{0,8983} \quad (14)$$

#### IPCC 4.5 - Miroc5

$$i = 34,1714.T^{0,170} / (t+24,284)^{0,8488} \quad (15)$$

#### IPCC 8.5 - HadGem2 ES

$$i = 44,5101.T^{0,1652} / (t+31,297)^{0,9355} \quad (16)$$

#### IPCC 8.5 - Miroc5

$$i = 37,9597.T^{0,2193} / (t+24,718)^{0,8607} \quad (17)$$

em que:

i - intensidade (mm/min), T - Período de retorno (anos) e t - tempo de duração de chuva (min)

### 2.3.5 Estudo comparativo a partir de IDF existente e estimadas para cenários futuros

Como destacado no item 2.1.5, pretende-se aqui avaliar a adequação das curvas geradas em comparação com curvas IDF existentes.

A Equação 18 representa a expressão matemática de chuvas intensas para Fortaleza



desenvolvida com base em 30 anos de registros pluviográficos contínuos (1970 a 1999) segundo a metodologia apresentada por Silva, Palácio Júnior e Campos (2013).

$$i = \frac{2345,29.T^{0,173}}{(t + 28,31)^{0,904}} \quad (18)$$

em que:

i = intensidade média de chuva em mm/h para a duração da chuva de (t) minutos;

T = período de retorno da precipitação em anos.

A equação obtida permite o cálculo da intensidade máxima de chuvas com durações entre 5 e 120 minutos e períodos de retorno de 5 a 100 anos.

As Figuras 49 e 50 apresentam a comparação entre as curvas IDF's existentes com as curvas IDF's futuras, cenário RCP 4.5, para os modelos HADGEM2-ES e MIROC5 respectivamente , para períodos de retorno de 5, 10, 25, 50 e 100 anos. A curva existente, que é válida para durações de até 120 minutos, e as curvas futuras estão muito próximas, principalmente para o modelo HADGEM2-ES. Com essa proximidade, espera-se que as vazões simuladas pela modelagem hidrológica sejam também muito próximas.

Para períodos de retorno de 5, 10, 25 e 100 anos, as curvas estão apresentando o comportamento semelhante, tanto para o modelo HADGEM2-ES, quanto para o modelo MIROC5.

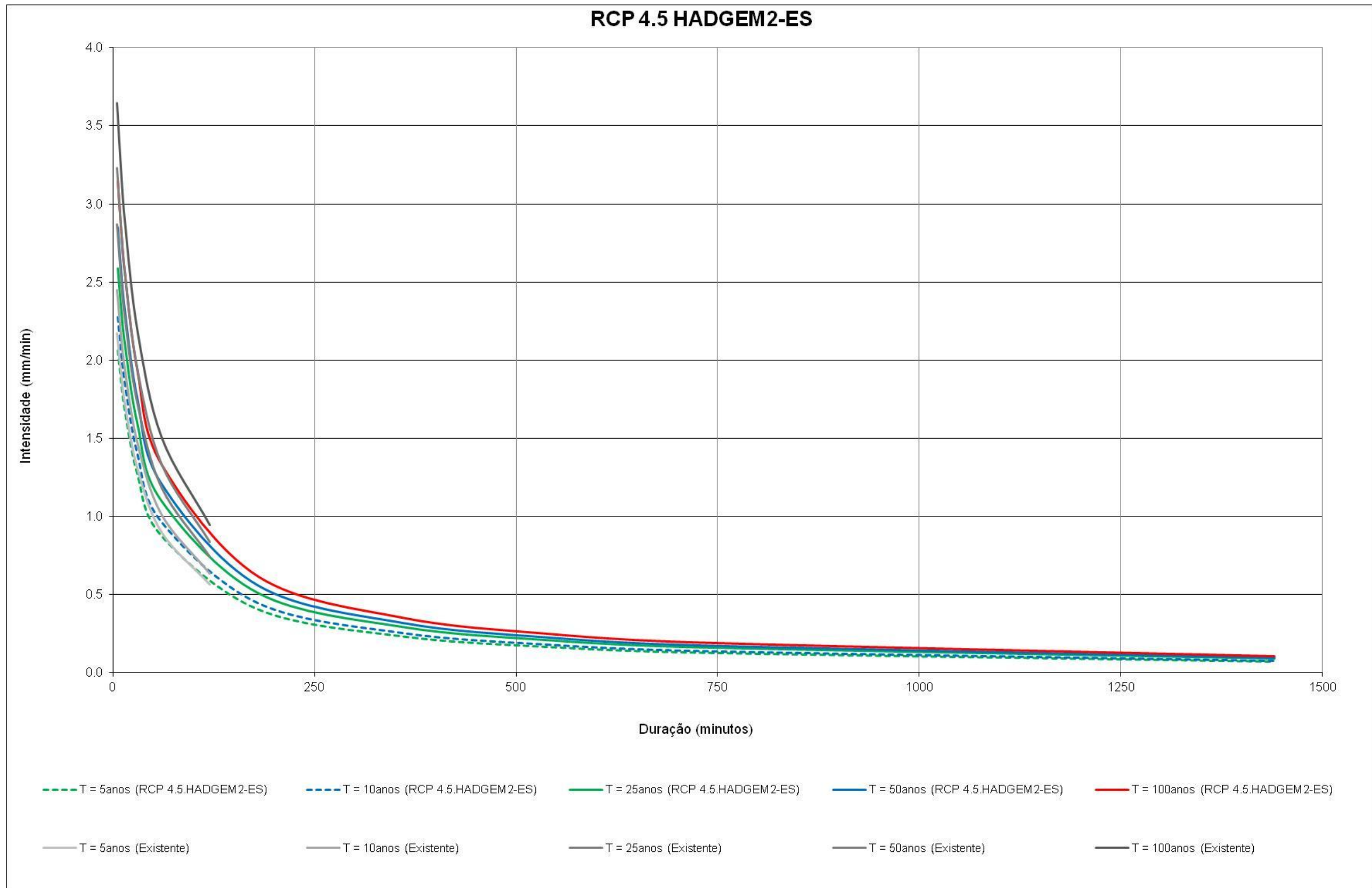


Figura 49. Comparação entre curvas IDF's existente e futura, RCP 4.5 HADGEM2-ES

*Handwritten signature*

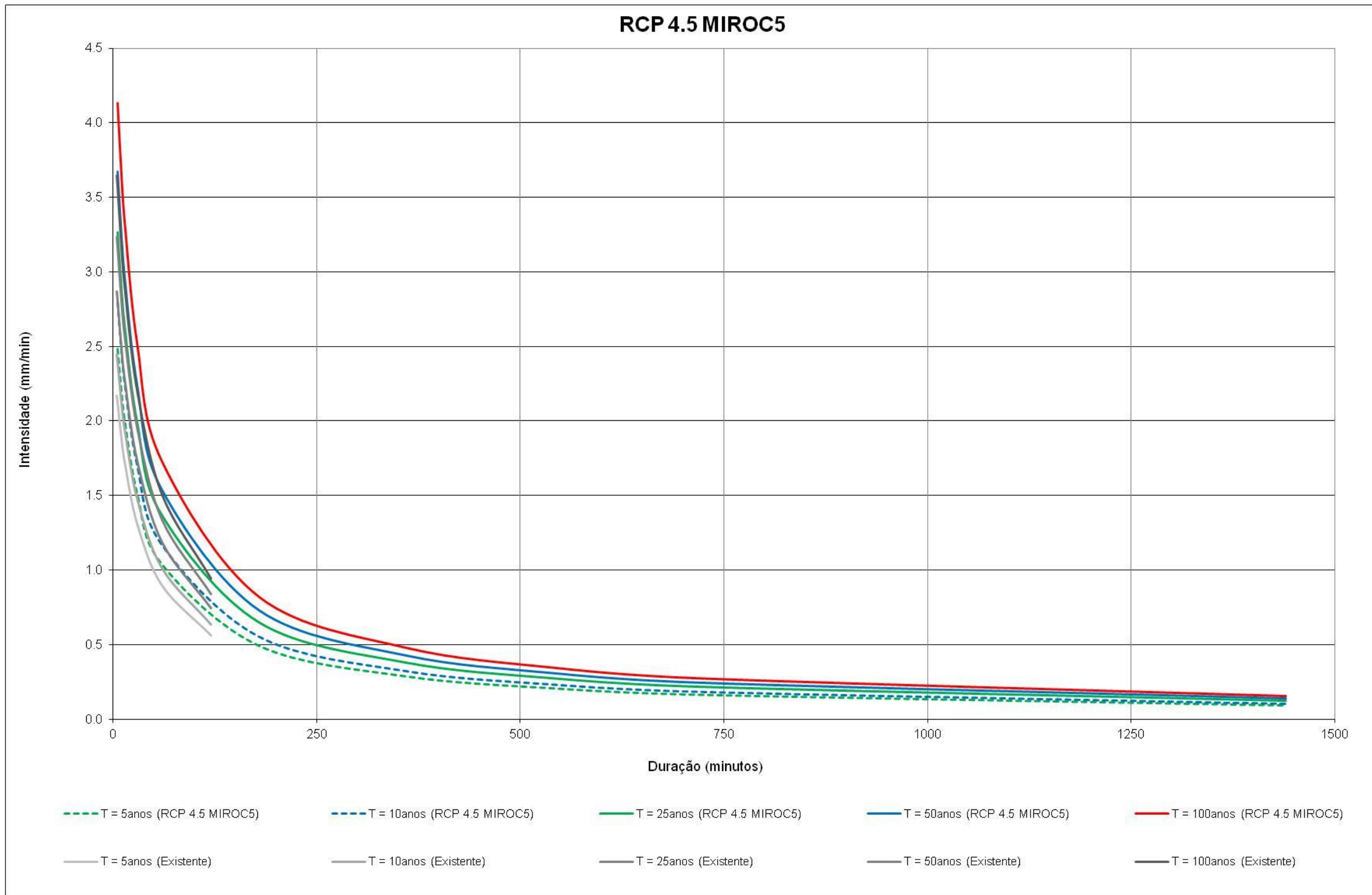


Figura 50. Comparação entre curvas IDFs existente e futura, RCP 4.5 MIROC5

*Handwritten signature*

Para o cenário RCP 8.5, os resultados das IDF futuras estão apresentados nas Figuras 51 e 52, para os modelos HADGEM2-ES e MIROC5, respectivamente. O comportamento das curvas para o modelo HADGEM2\_ES foi bem semelhante ao cenário 4.5. Já para o modelo MIROC5, a IDF futura tende a intensificar mais os eventos de precipitação, pelo menos até durações de 120 minutos, até onde a IDF existente possui validade.

Como no cenário RCP 4.5, as curvas para períodos de retorno de 5, 10, 25 e 100 , cenário RCP 8.5, também apresentam comportamento semelhante às existentes, tanto para o modelo HADGEM2-ES e para o modelo MIROC5.

No presente caso, embora se perceba um aumento da intensidade de precipitações na faixa entre 50 e 120 minutos, em relação às IDF pré-existentes (bem mais pronunciada no cenário MIROC 8.5), a inferência fica particularmente prejudicada em função da resolutividade das projeções climáticas.



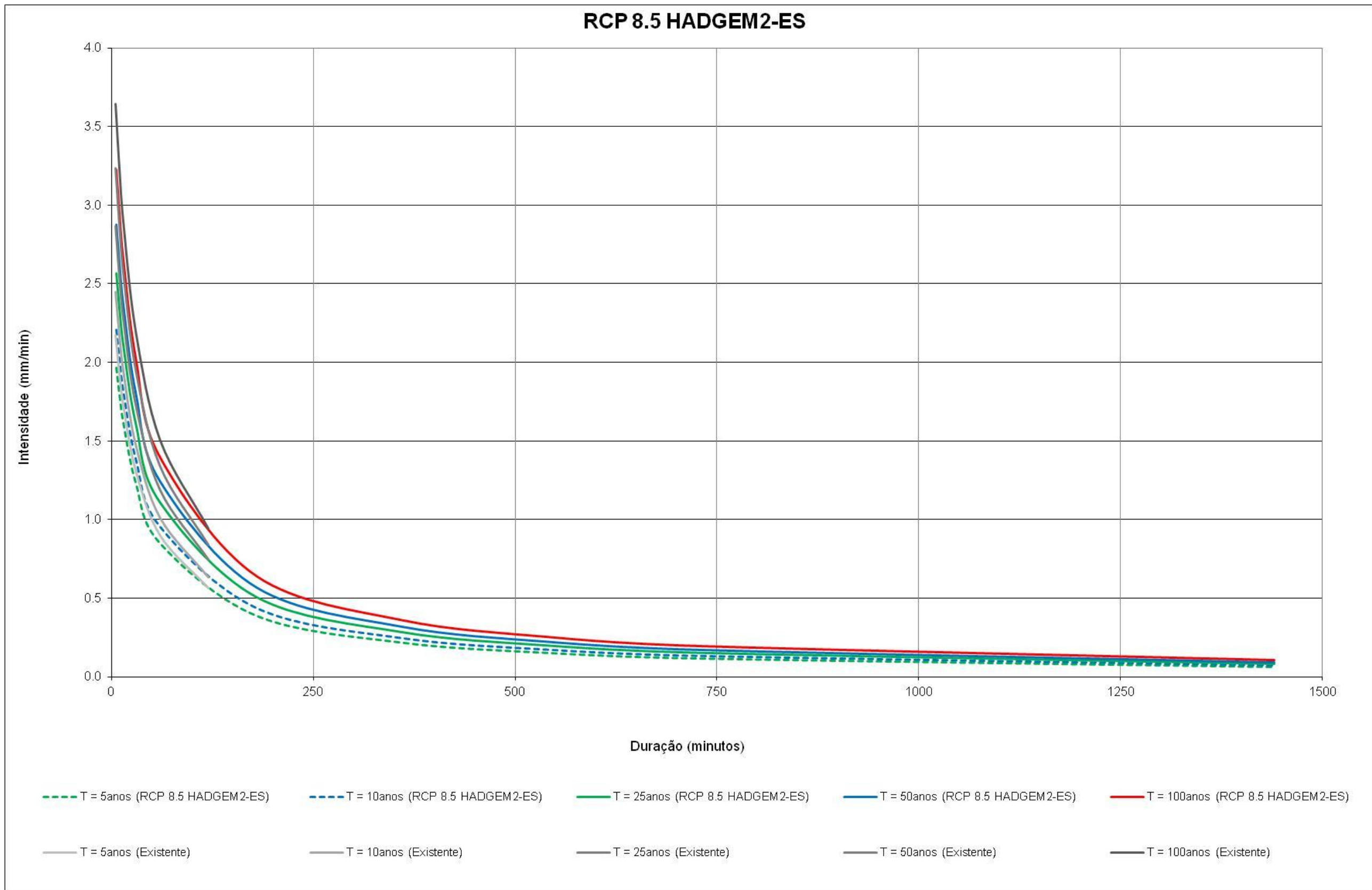


Figura 51. Comparação entre curvas IDF's existente e futura, RCP 8.5 HADGEM2-ES

*Handwritten signature*



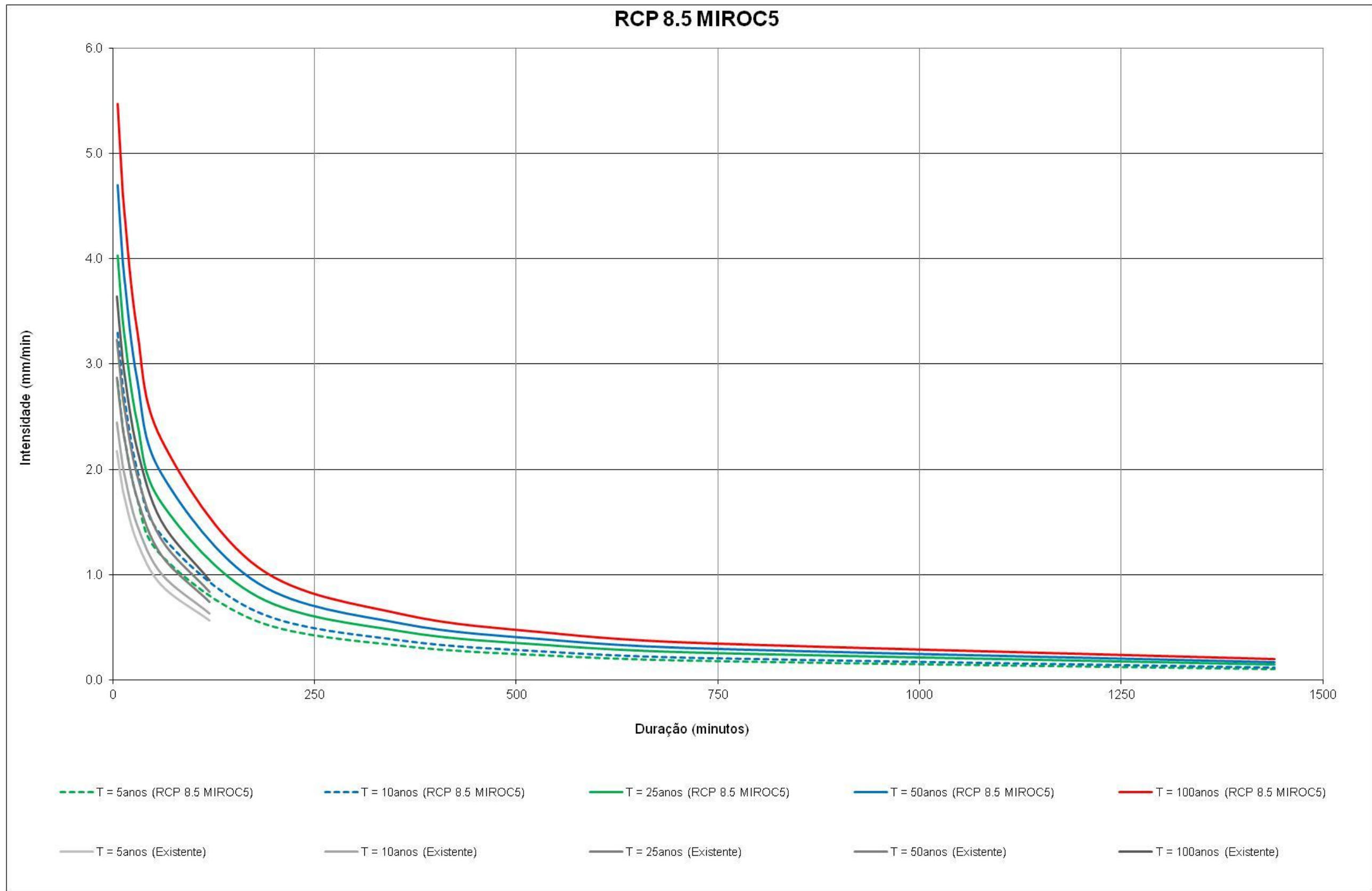


Figura 52. Comparação entre curvas IDFs existente e futura, RCP 8.5 MIROC5

*Handwritten signature*

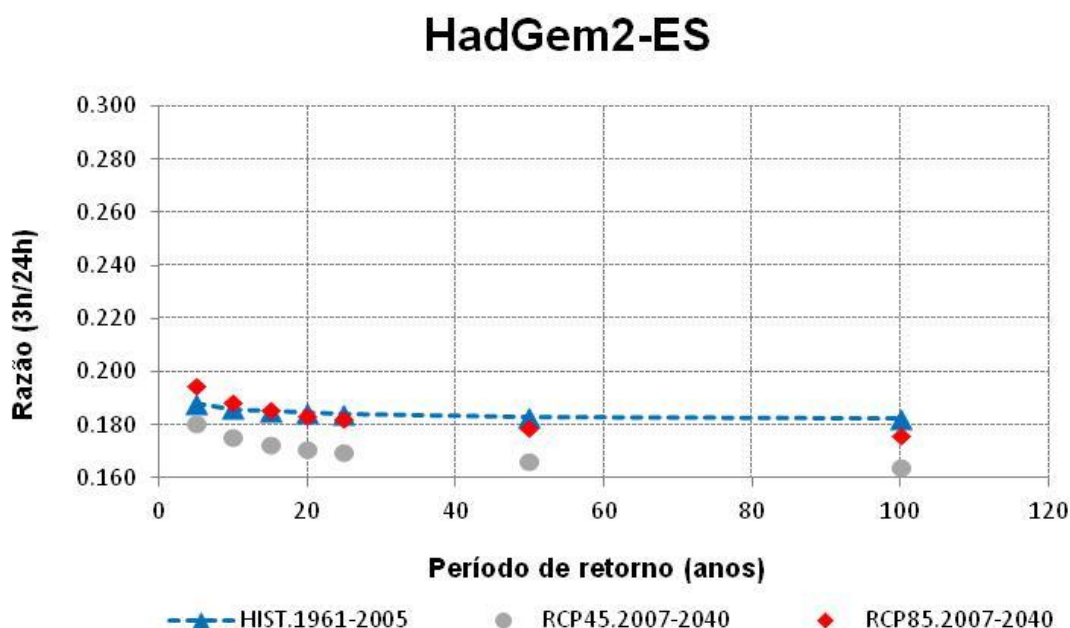
## 2.4 Rio de Janeiro

### 2.4.1 Análise comparativa da razão de chuva (3h/24h) para os cenários passado e futuro simulados no modelo atmosférico - dados sem correção

Para se determinar as razões de precipitações 3h/24h seguiu-se a mesma sequência descrita para a cidade de Recife, apresentada no item 2.1.1.

As Figuras 53 e 54 mostram os resultados das razões de precipitação não corrigidas que relacionam a precipitação de 3h e de 24h, para os períodos de retorno de 5, 10, 15, 20, 25, 50 e 100 anos, para os modelos HADGEM2-ES e MIROC5, respectivamente.

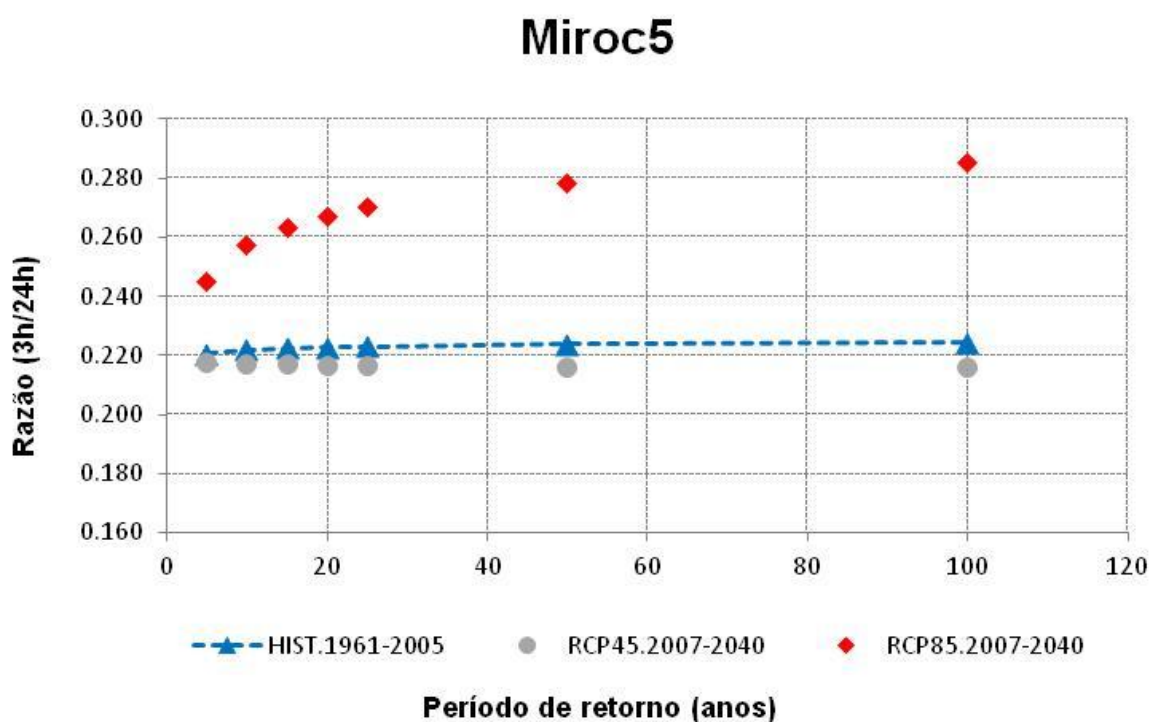
De acordo com os dados apresentados na Figura 53, assim como para Recife e Fortaleza, as razões encontradas para as simulações feitas a partir do HADGEM2-ES tendem a diminuir a medida em que se aumenta o período de retorno. Entretanto, as razões observadas para o cenário 4.5 apresentam-se inferiores às relativas do período passado, e para o cenário 8.5, apresentam-se bem próximas às do período passado.



**Figura 53.** Razão de chuva (3h/24h) para dados brutos, HadGem2-ES (Rio de Janeiro).

Já para o modelo MIROC5 (Figura 54), as razões encontradas para o período passado e para o cenário 4.5 apresentam-se praticamente constantes para todos os períodos de retorno e muito próximas entre si. Já para o cenário 8.5, as razões apresentam-se

superiores às do cenário 4.5 e período passado. Ao contrário do que foi observado até então, para o cenário 8.5 as razões aumentam a medida que se aumenta o período de retorno. A grande diferença apresentada pelos modelos dificulta a inferência de comportamentos climáticos futuros.



**Figura 54.** Razão de chuva (3h/24h) para dados brutos, Miroc5 (Rio de Janeiro).

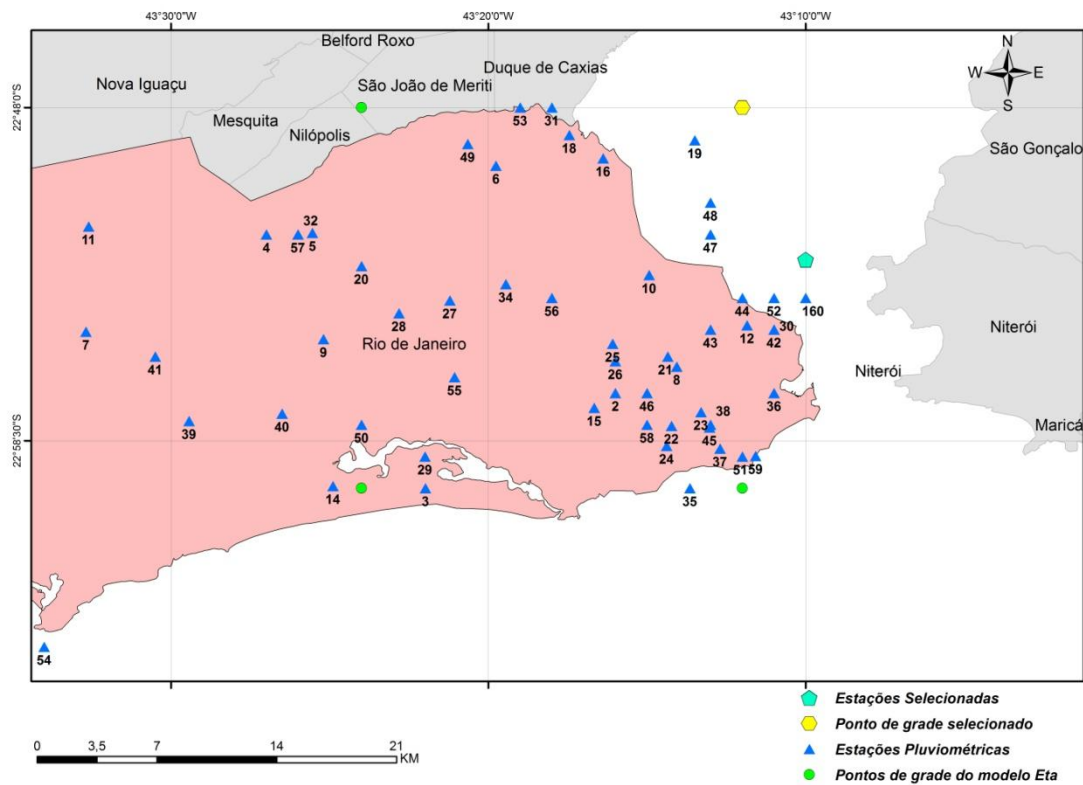
Se comparadas com as razões obtidas para Fortaleza, que já eram superiores às de Recife e Salvador, as razões do Rio de Janeiro são ainda superiores. Isso está de acordo com as razões encontradas na literatura (Tabela 2), uma vez que o Rio de Janeiro se encontra na Isozona E de acordo com a classificação de Torrico (1974). Apesar das razões se apresentarem superiores às razões encontradas para Recife e Salvador, se comparadas com as razões observadas de literatura, as razões encontradas são muito inferiores. Isso indica que os modelos em média ou distribuem mais as precipitações durante os dias, ou seja, apresentam precipitações menos intensas, ou superestimam os valores de precipitações diárias.

## 2.4.2 Correção do viés das simulações de precipitação

A sequência e considerações adotadas para a correção do viés das simulações de precipitação para a cidade de Recife, apresentadas no item 2.1.2, foram as mesmas aplicadas para a cidade do Rio de Janeiro.

Os dados da estação pluviométrica selecionada possuíam falhas, que tiveram que ser preenchidas conforme descrito na seção 2.2.2 para a cidade de Salvador.

O ponto de grade selecionado do modelo Eta para a cidade do Rio de Janeiro apresenta coordenadas LAT -22,80, LON -43,20. A estação pluviométrica selecionada apresenta coordenadas LAT -22,88 e LON -43,18, conforme Figura 55.



**Figura 55.** Ponto de grade do modelo Eta e estação pluviométrica selecionados (Rio de Janeiro).

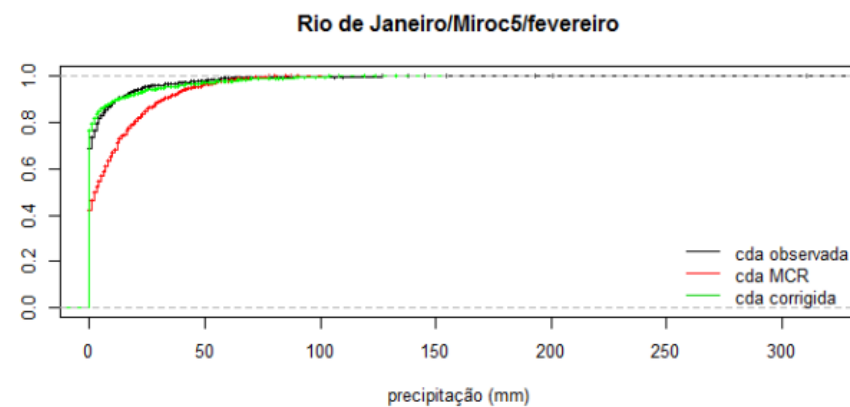
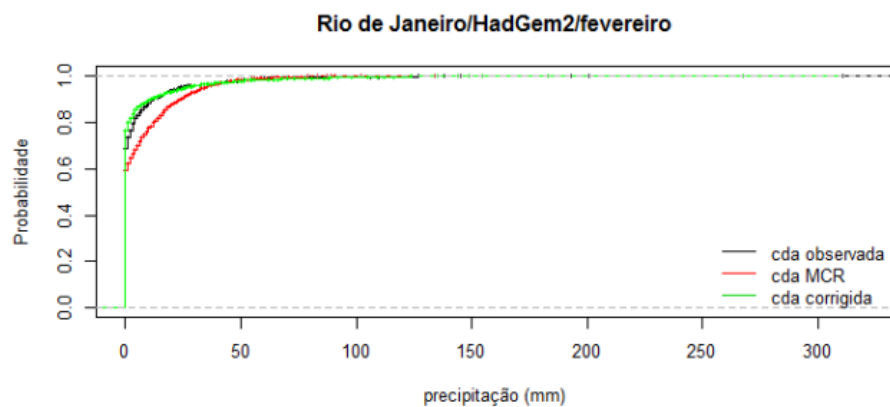
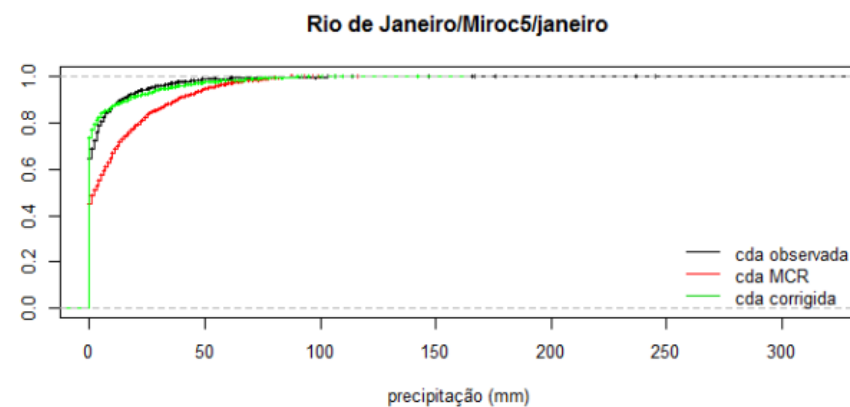
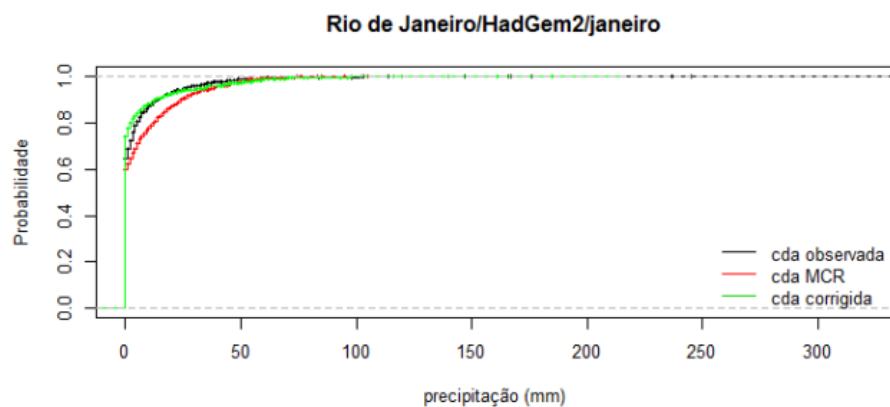
As Figuras 56 a 61 mostram a comparação entre a curva de distribuição acumulada (cda) observada e as curvas de distribuição acumulada com e sem correção.

O que fica evidente nas simulações geradas por ambos os modelos para o município do Rio de Janeiro é a subestimação de dias secos. Em todos os meses, os dois modelos simularam um número reduzido de dias sem chuva. Ressaltando que foram considerados dias sem chuva, os dias em que os valores de precipitação simulados menores que 0,1mm, pois essa é a precisão dos valores observados.

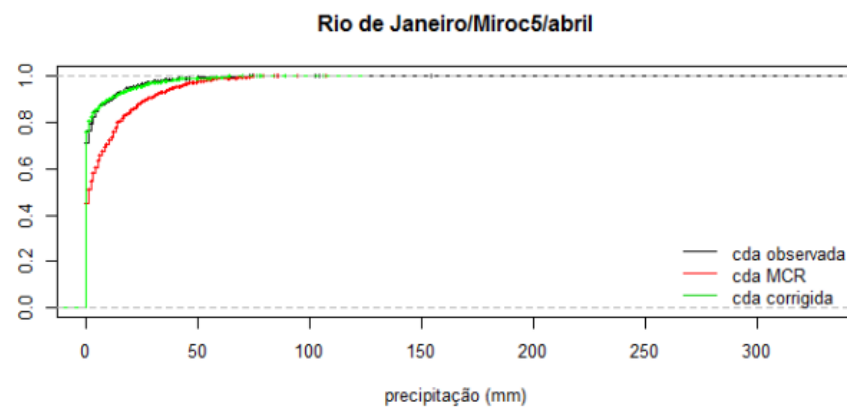
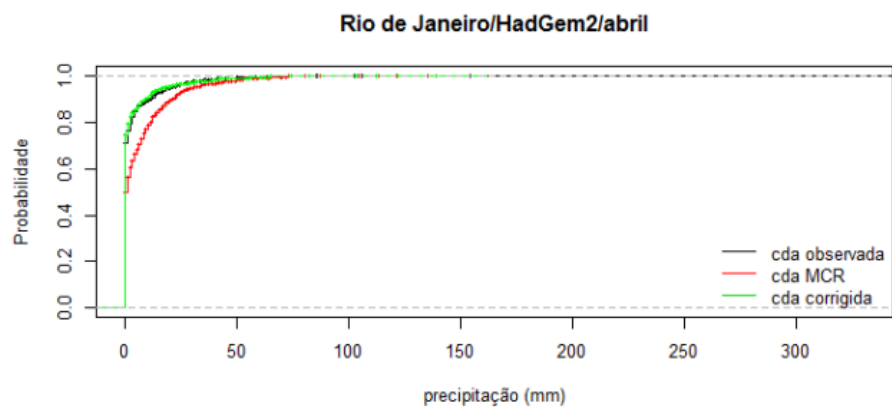
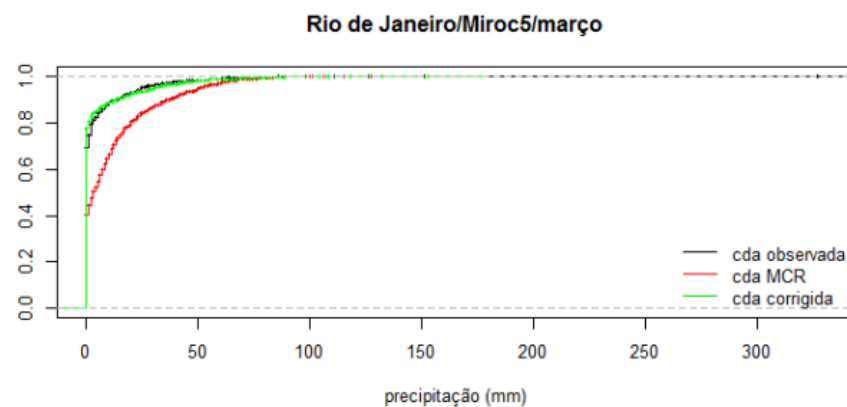
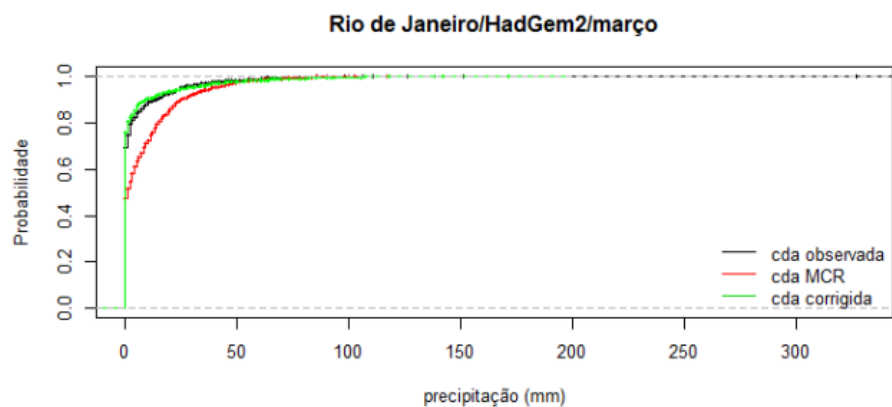
O MCR executado com o modelo global HADGEM-ES apresentou simulações mais próximas do que se foi observado, em comparação as simulações executadas a partir do modelo global MIROC5.

Pode-se perceber que com o emprego da técnica, as simulações ficam significativamente mais próximas das observações. Conclui-se, assim como para Recife, Fortaleza e Salvador, que o emprego da técnica de correção de viés foi eficiente em reduzir as diferenças entre simulações e observações no período *historical*. Portanto, para análise dos cenários futuros espera-se uma maior confiabilidade às simulações após as correções terem sido feitas.

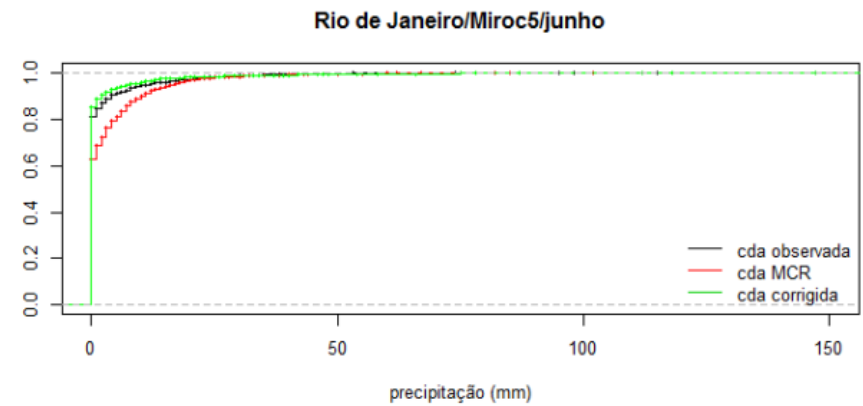
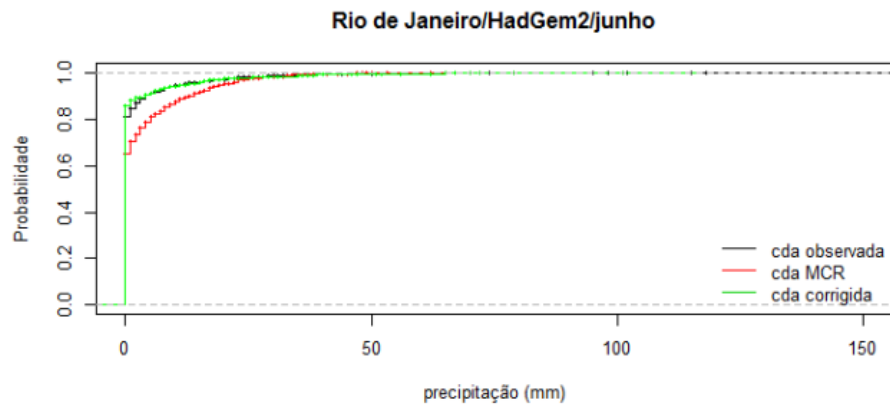
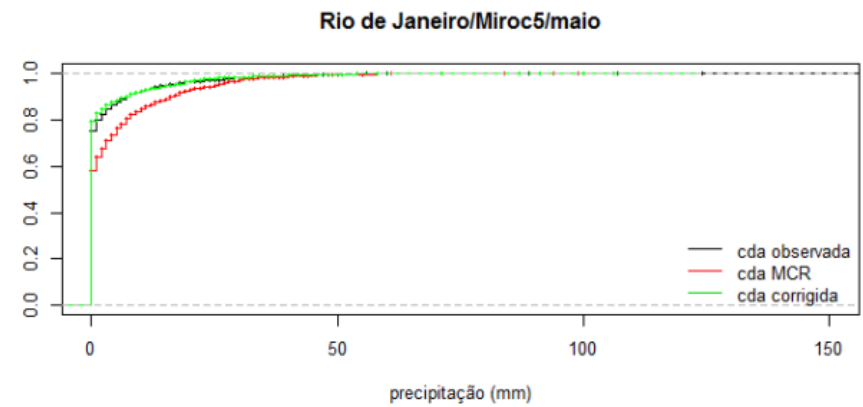
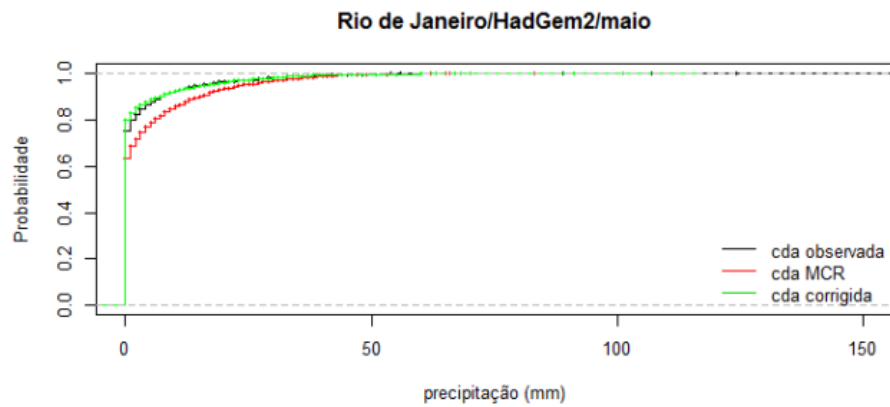




**Figura 56.** Comparação entre as curvas de distribuição acumulada das observações (cda observada) e das simulações antes (cda MCR) e após as correções (cda corrigida) dos meses de janeiro e fevereiro.

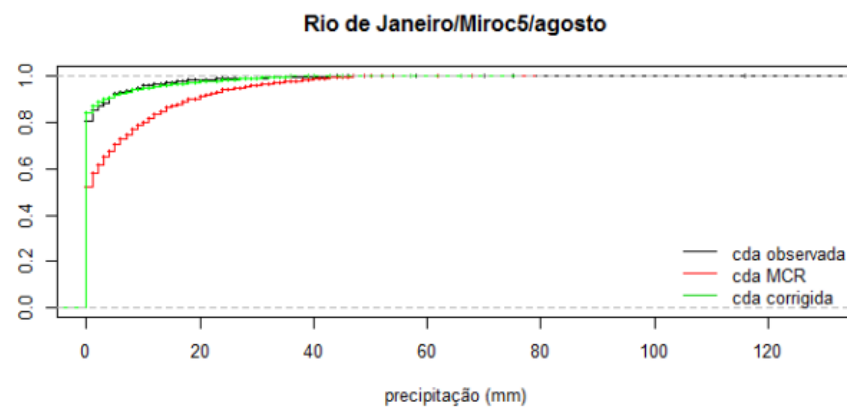
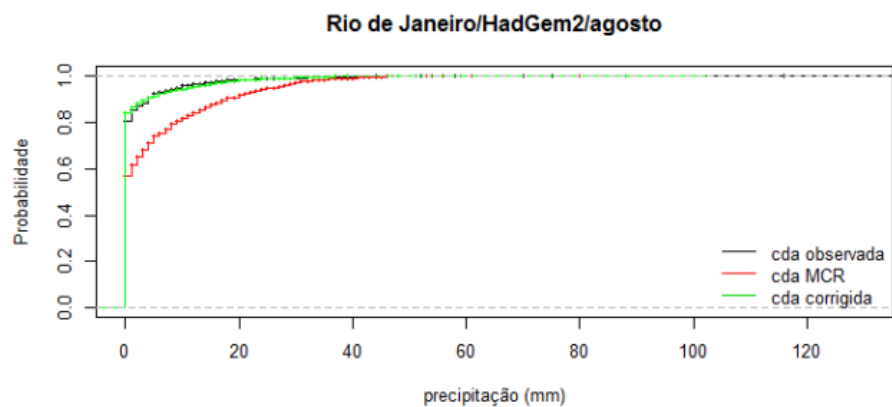
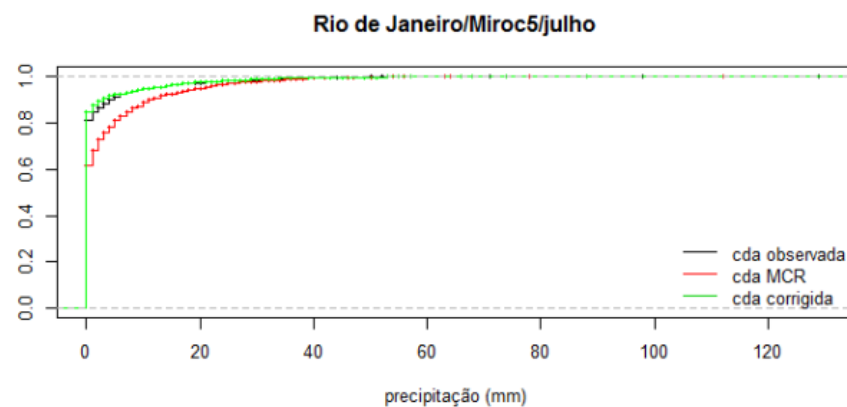
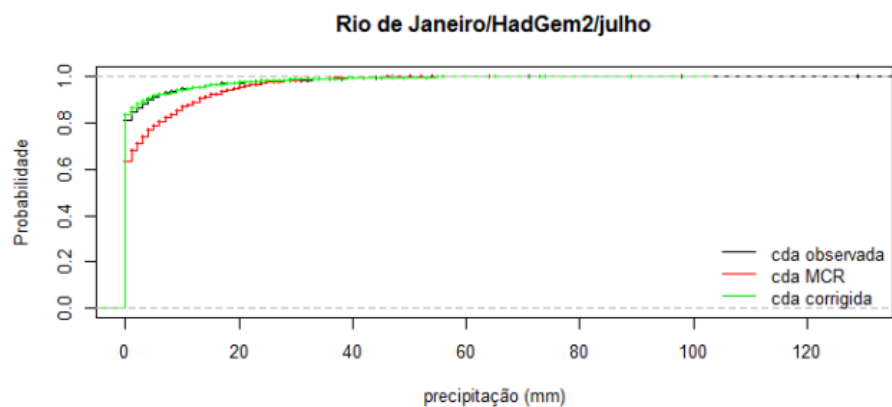


**Figura 57.** Comparação entre as curvas de distribuição acumulada das observações (cda observada) e das simulações antes (cda MCR) e após as correções (cda corrigida) dos meses de março e abril

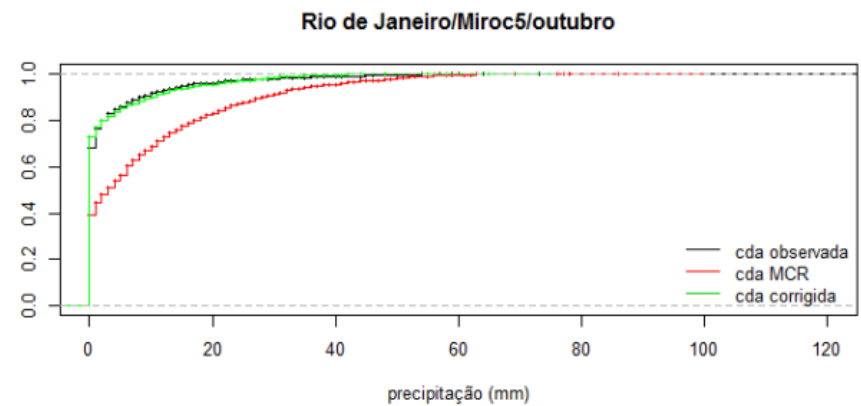
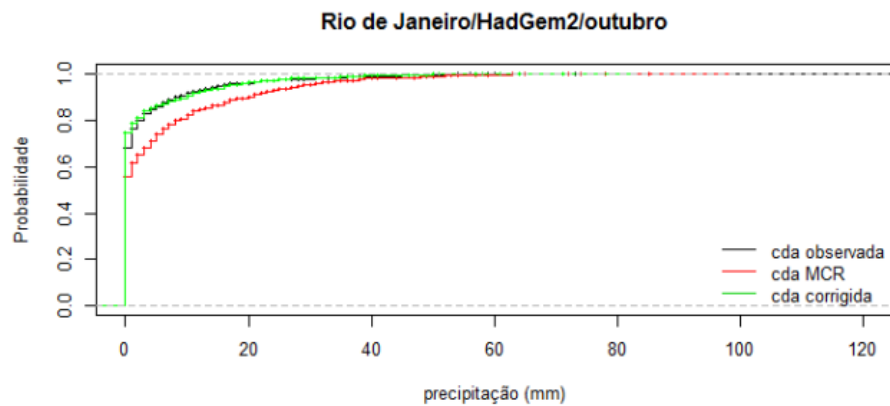
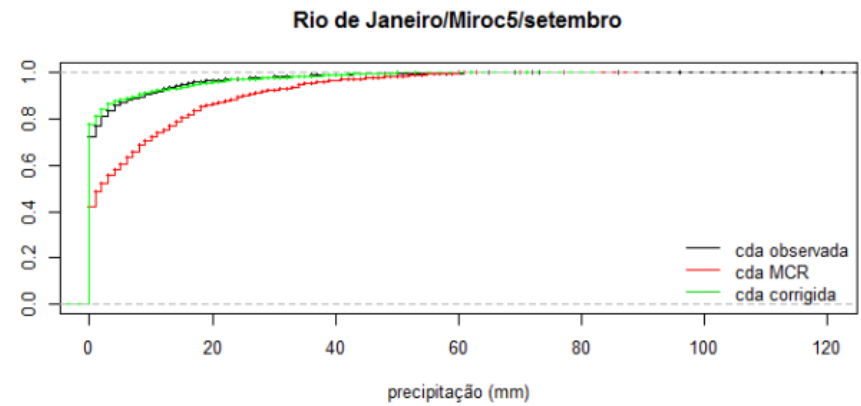
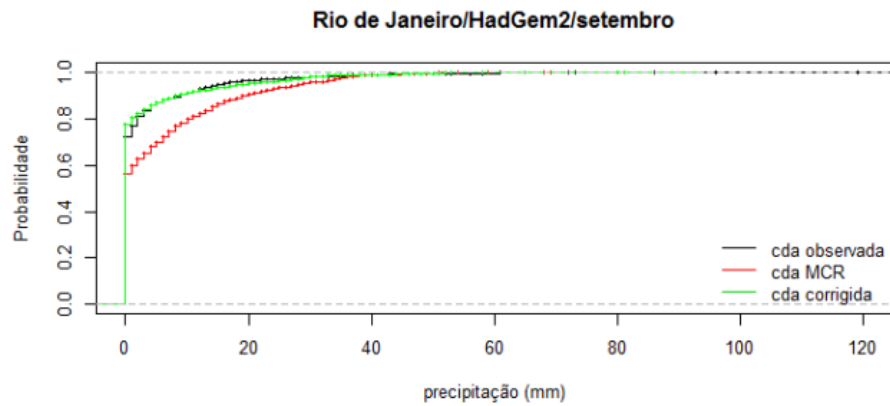


**Figura 58.** Comparação entre as curvas de distribuição acumulada das observações (cda observada) e das simulações antes (cda MCR) e após as correções (cda corrigida) dos meses de maio e junho

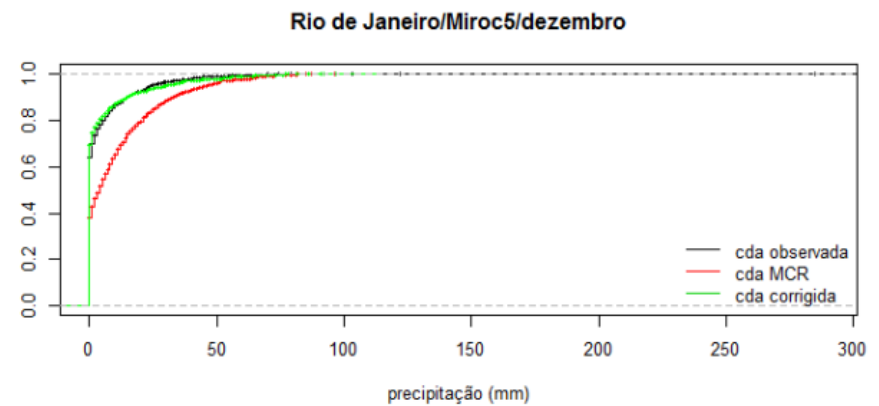
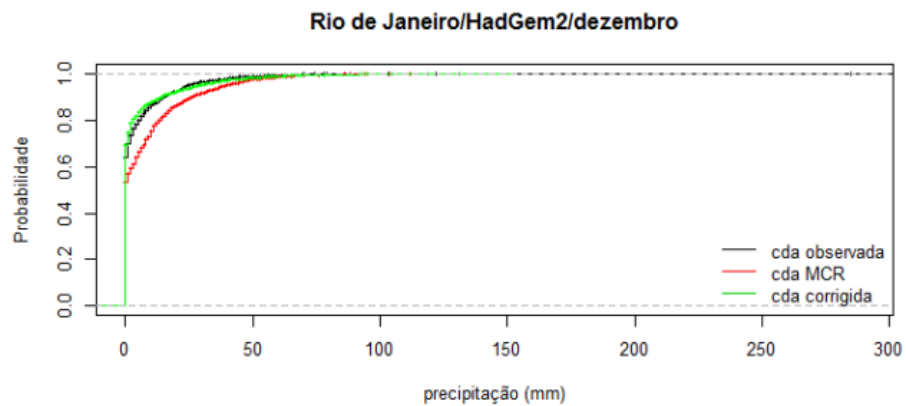
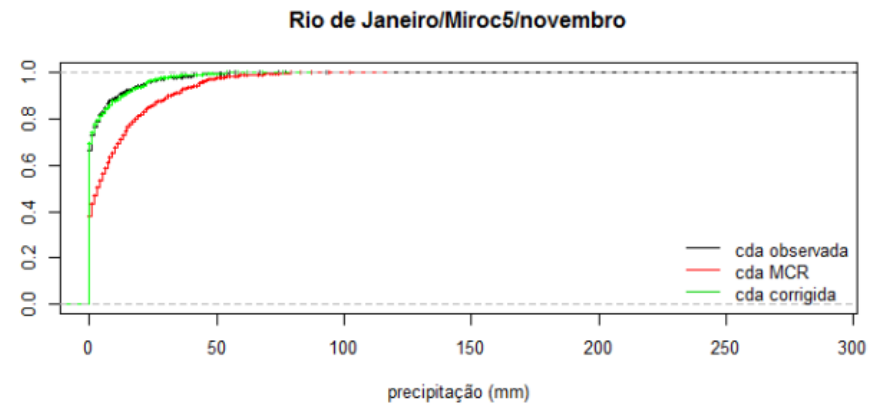
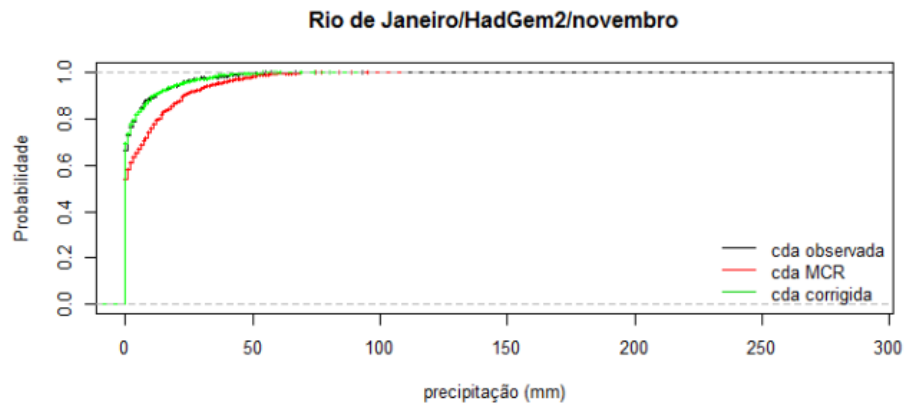




**Figura 59.** Comparação entre as curvas de distribuição acumulada das observações (cda observada) e das simulações antes (cda MCR) e após as correções (cda corrigida) dos meses julho e agosto.



**Figura 60.** Comparação entre as curvas de distribuição acumulada das observações (cda observada) e das simulações antes (cda MCR) e após as correções (cda corrigida) dos meses de setembro e outubro



**Figura 61.** Comparação entre as curvas de distribuição acumulada das observações (cda observada) e das simulações antes (cda MCR) e após as correções (cda corrigida) dos meses de novembro e dezembro

### **2.4.3 Avaliação das precipitações máximas e total acumulado anual para séries de dados observados, brutos e corrigidos – período passado simulado pelo modelo atmosférico**

#### Precipitação máxima anual

Para melhor avaliar eventos extremos, as Figura 62 e 63 apresentam a comparação gráfica entre as séries de precipitações diárias máximas anuais observadas, e as séries de dados brutos e corrigidos – período passado simulado nos modelos atmosféricos, 1961 a 2005.

Observa-se pela Figura 62, ao contrário do que foi observado para as cidades de Recife Salvador e Fortaleza, as simulações de precipitações diárias máximas anuais simuladas com o modelo HADGEM2-ES não foram muito subestimadas pelo modelo, com exceção dos anos com as maiores precipitações (1966, 1998, 1999 e 2001). A correção de viés tendeu, em geral, a aproximar os valores simulados aos observados.

Em comparação com as simulações do modelo HADGEM2-ES, as simulações do MIROC 5 para precipitações diárias máximas anuais apresentam-se inferiores (Figura 63). Assim como para o HADGEMS-ES, o modelo MIROC5 não conseguiu simular as precipitações mais elevadas.



Precipitação Máxima Anual (1961 - 2005) / Corrigido X Bruto  
HadGem2-ES

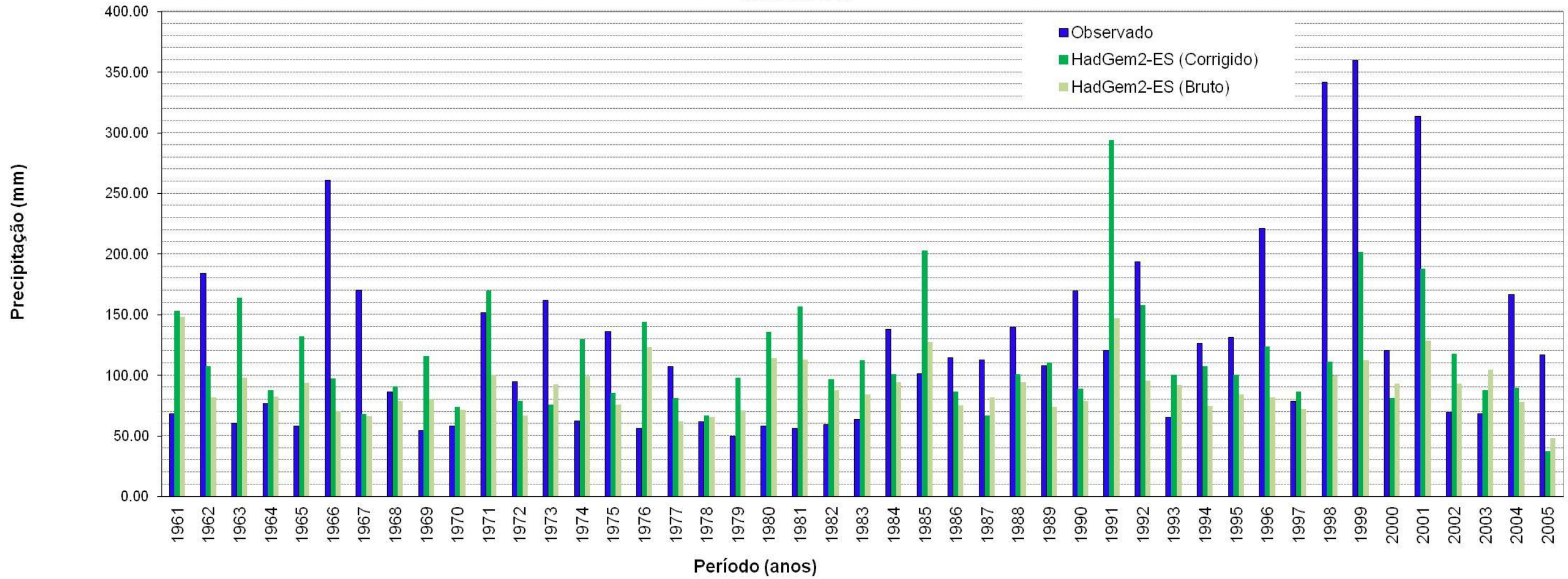


Figura 62. Precipitações máximas anuais, dados observados e simulados a partir de modelo HadGem2-ES (Rio de Janeiro).

*Handwritten signature*

Precipitação Máxima Anual (1961 - 2005) / Corrigido x Bruto  
Miroc5

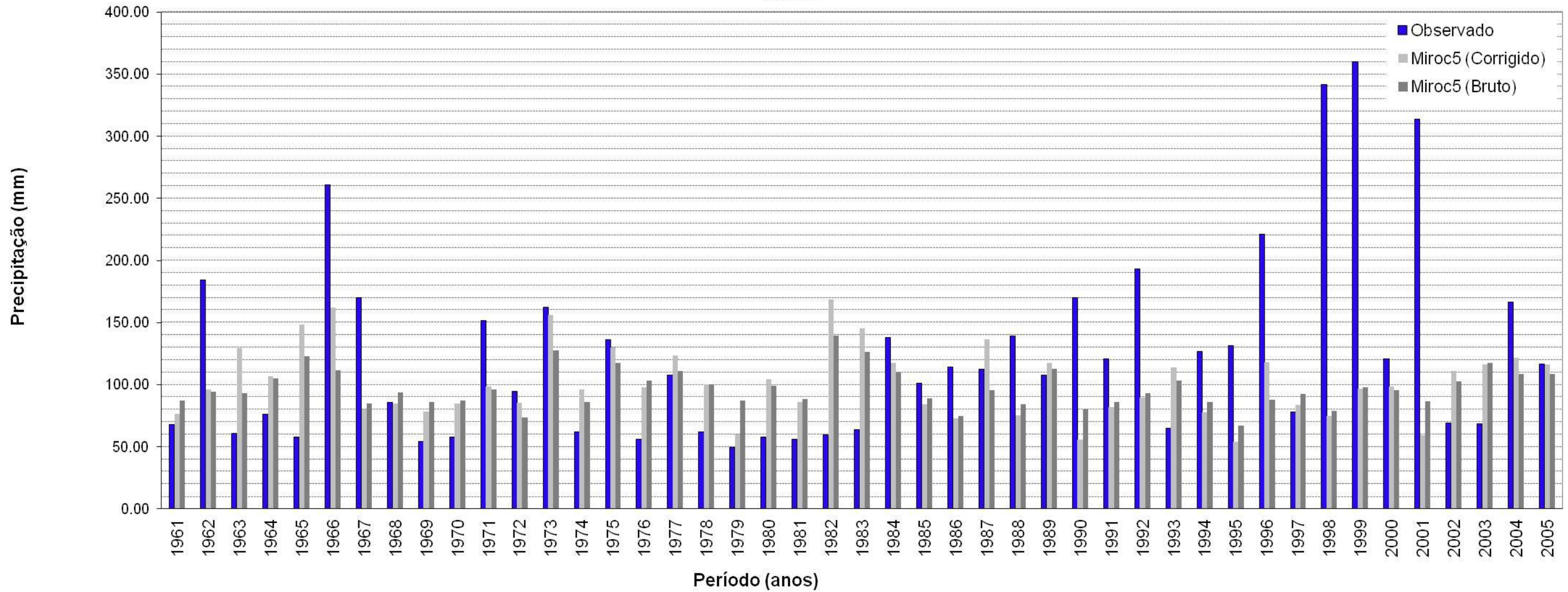


Figura 63. Precipitações máximas anuais, dados observados e simulados a partir de modelo Miroc5 (Rio de Janeiro).

*Handwritten signature*

### Precipitação total anual

De forma a obter informações sobre o comportamento dos modelos atmosféricos, as Figuras 64 e 65 apresentam os totais anuais de precipitação observada, e obtidas nos modelos - séries de dados brutos e corrigidos, período de 1961 a 2005.

De acordo com a Figura 64, as precipitações acumuladas anuais simuladas pelo modelo HADGEM2-ES foram superiores às observadas. A correção de viés reduziu esses valores, aproximando-os dos observados. O mesmo ocorreu para as simulações realizadas com o modelo MIROC5 (Figura 65).

Apesar das simulações realizadas com o MIROC5 terem sido subestimadas com relação às observadas, o total acumulado anual foi superior. Isso indica que o modelo apresenta uma maior distribuição temporal das precipitações, o que corrobora com que foi apresentado pelas curvas de densidades acumuladas, em que os modelos apresentam uma subestimação de dias secos.



Precipitação Total Anual (1961 - 2005) / Corrigido X Bruto  
HadGem2-ES

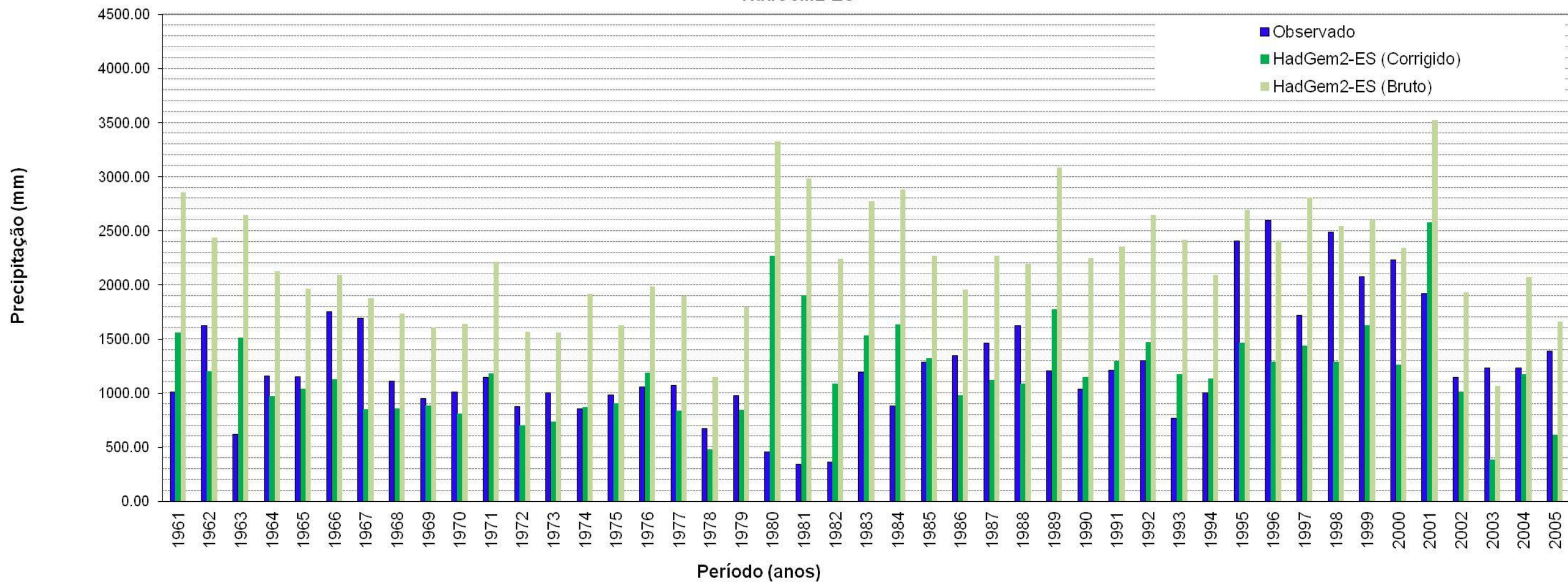


Figura 64. Precipitações totais anuais, dados observados e simulados a partir de modelo HadGem2-ES (Rio de Janeiro).

*[Handwritten signature]*



Precipitação Total Anual (1961 - 2005) / Corrigido x Bruto  
Miroc5

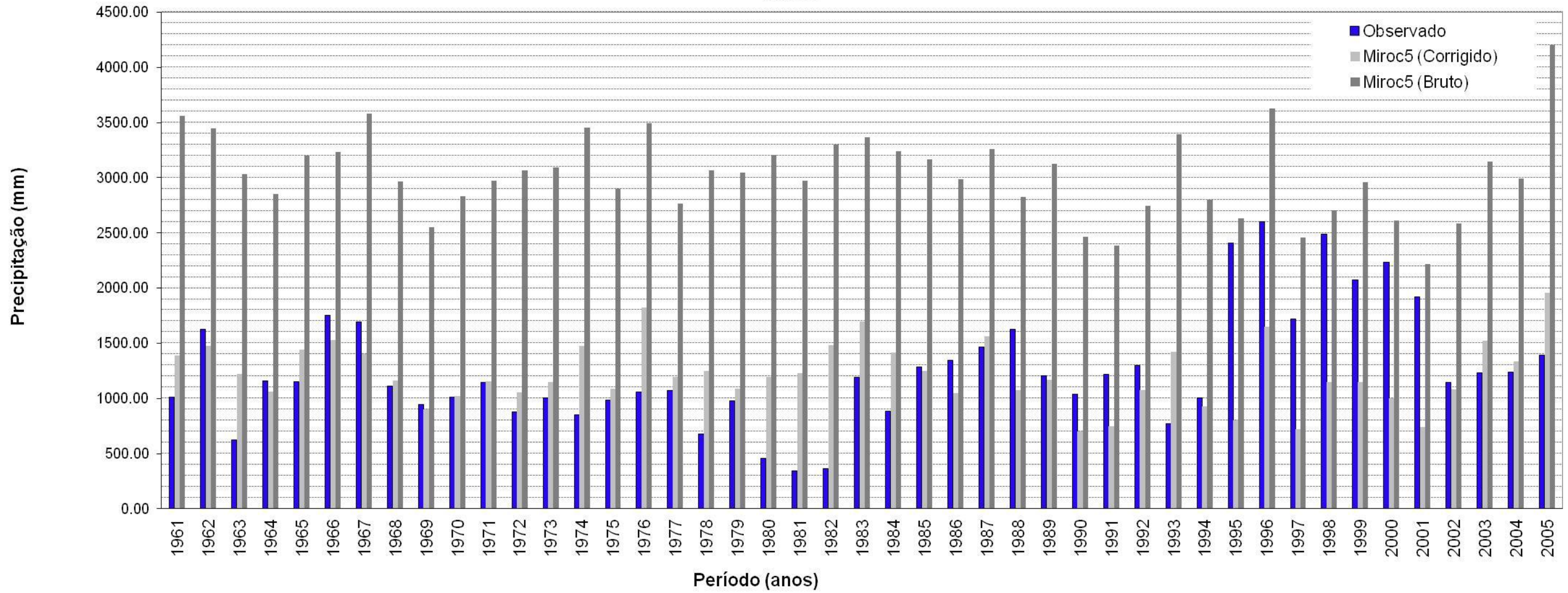


Figura 65. Precipitações totais anuais, dados observados e simulados a partir de modelo Miroc5 (Rio de Janeiro).

*Handwritten signature*

#### 2.4.4 Processo de determinação das equações IDF

A mesma sequência de etapas adotadas na determinação da equação IDF de Recife, constante no item 2.1.4, foi adotada para a cidade de Fortaleza.

Vale a pena ressaltar que, assim como para Recife, Fortaleza e Salvador, as simulações dos modelos climáticos ainda são insuficientes para estabelecer equações IDFs futuras, pois estes não conseguem previsões com resolução temporal superior a 3 horas. Além disso, as simulações de precipitações acumuladas em 3 horas são ainda muito imprecisas, dadas as análises de razões 3h/24h.

Como as IDFs futuras nesse trabalho foram obtidas por meio de desagregações das chuvas de 24 horas com razões de literatura, baseadas em dados observados passados, não se espera que estas IDFs reproduzam um aumento ou redução significativos das intensidades para chuvas de curta duração.

Para os cenários simulados pelos modelos atmosféricos, apresentam-se a seguir as relações obtidas:

IPCC 4.5 - HadGem2 ES

$$i = 38,1571.T^{0,1420}/(t+17,453)^{0,8561} \quad (19)$$

IPCC 4.5 - Miroc5

$$i = 25,1704.T^{0,1374}/(t+14,102)^{0,7955} \quad (20)$$

IPCC 8.5 - HadGem2 ES

$$i = 14,0994.T^{0,2018}/(t+8,085)^{0,6945} \quad (21)$$

IPCC 8.5 - Miroc5

$$i = 46,8998.T^{0,1453}/(t+23,637)^{0,9176} \quad (22)$$

em que:

i - intensidade (mm/min), T - Período de retorno (anos) e t - tempo de duração de chuva (min)

#### 2.4.5 Estudo comparativo a partir de IDF existente e estimadas para cenários futuros

Como destacado no item 2.1.5, pretende-se aqui avaliar a adequação das curvas geradas em comparação com curvas IDF existentes. Adotou-se para este trabalho a equação de Chuvas Intensas obtida da Fundação Rio-Águas (2010), expressa na forma da Equação (23).

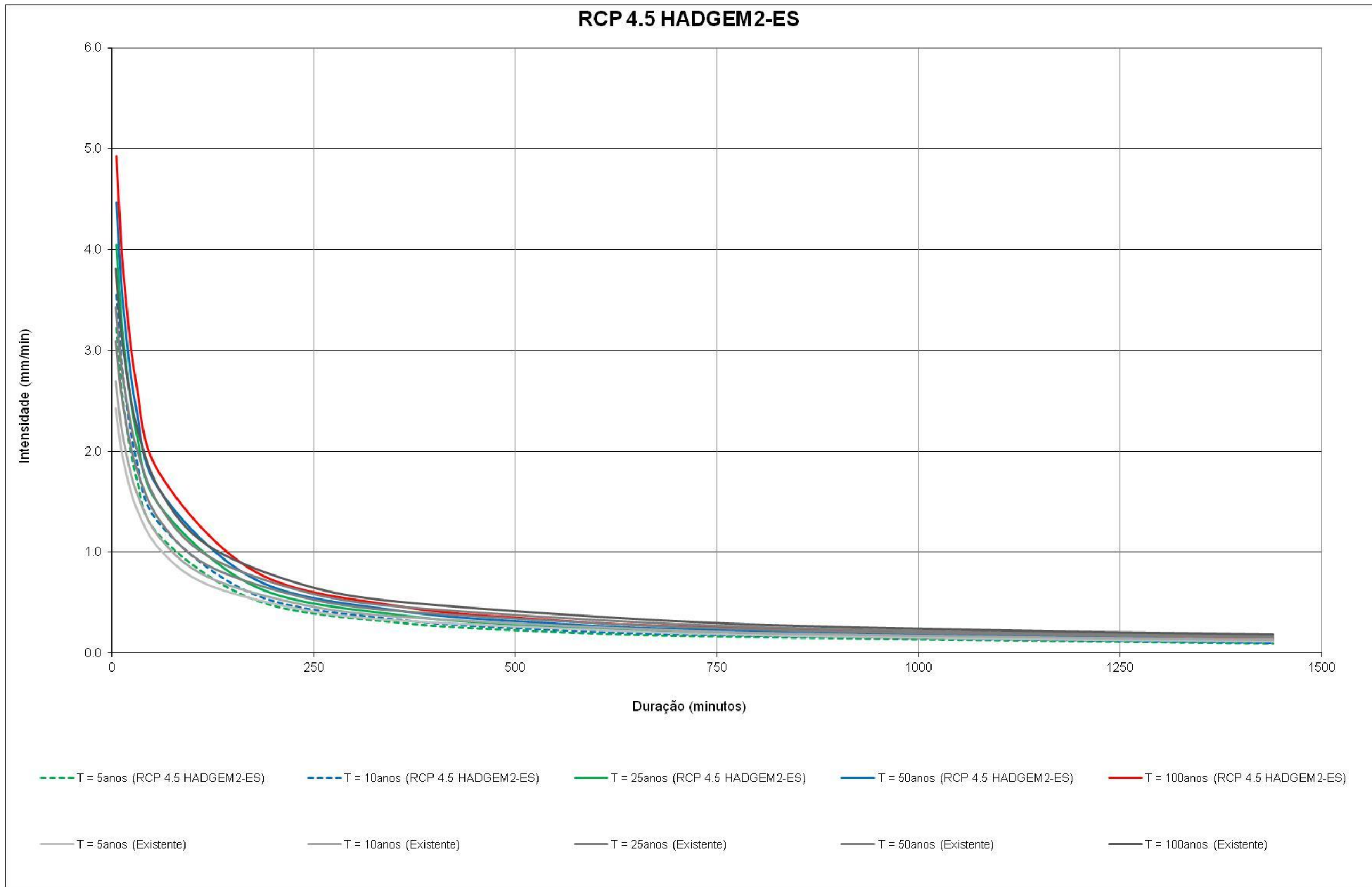
$$i=1239. T^{0,15}/(t+20)^{0,74} \quad (23)$$

em que:

i - intensidade (mm/h), T - Período de retorno (anos) e t - tempo de duração de chuva (min).

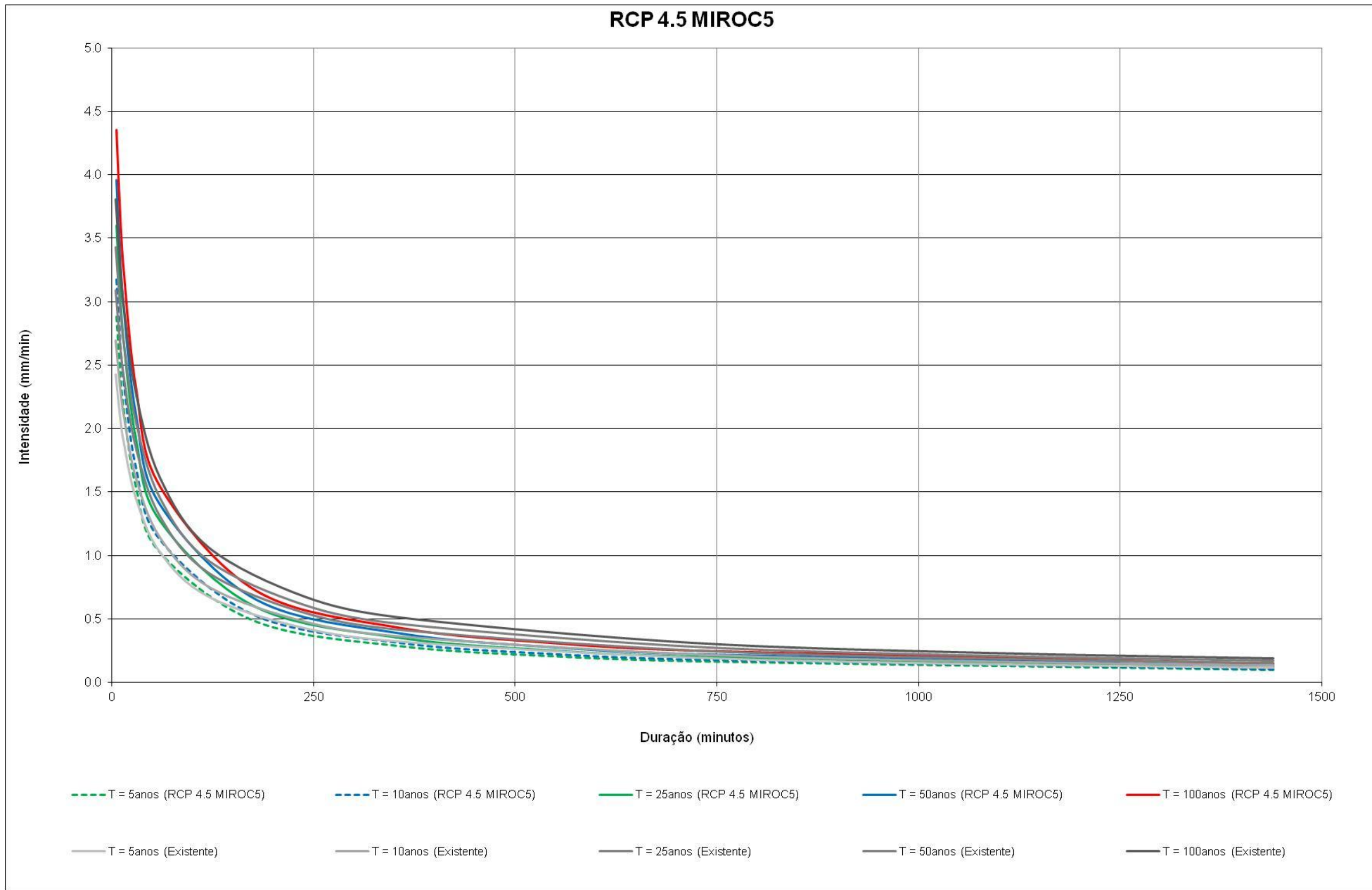
As Figuras 66 e 67 apresentam a comparação entre as curvas IDFs existentes com as curvas IDFs futuras, cenário RCP 4.5, para os modelos HADGEM2-ES e MIROC5 respectivamente, para períodos de retorno de 5, 10, 25, 50 e 100 anos. As curvas existentes e futuras estão muito próximas, com exceção de precipitações de curtíssimas durações, principalmente para o modelo HADGEM2-ES. Com essa proximidade, espera-se que as vazões simuladas pela modelagem hidrológica sejam também muito próximas.

Para períodos de retorno de 5, 10, 25 e 100 anos, as curvas estão apresentando o mesmo comportamento, tanto para o modelo HADGEM2-ES, quanto para o modelo MIROC5.



**Figura 66.** Comparação entre curvas IDFs existente e futura, RCP 4.5 HADGEM2-ES

*Handwritten signature*



**Figura 67.** Comparação entre curvas IDF's existente e futura, RCP 4.5 MIROC5

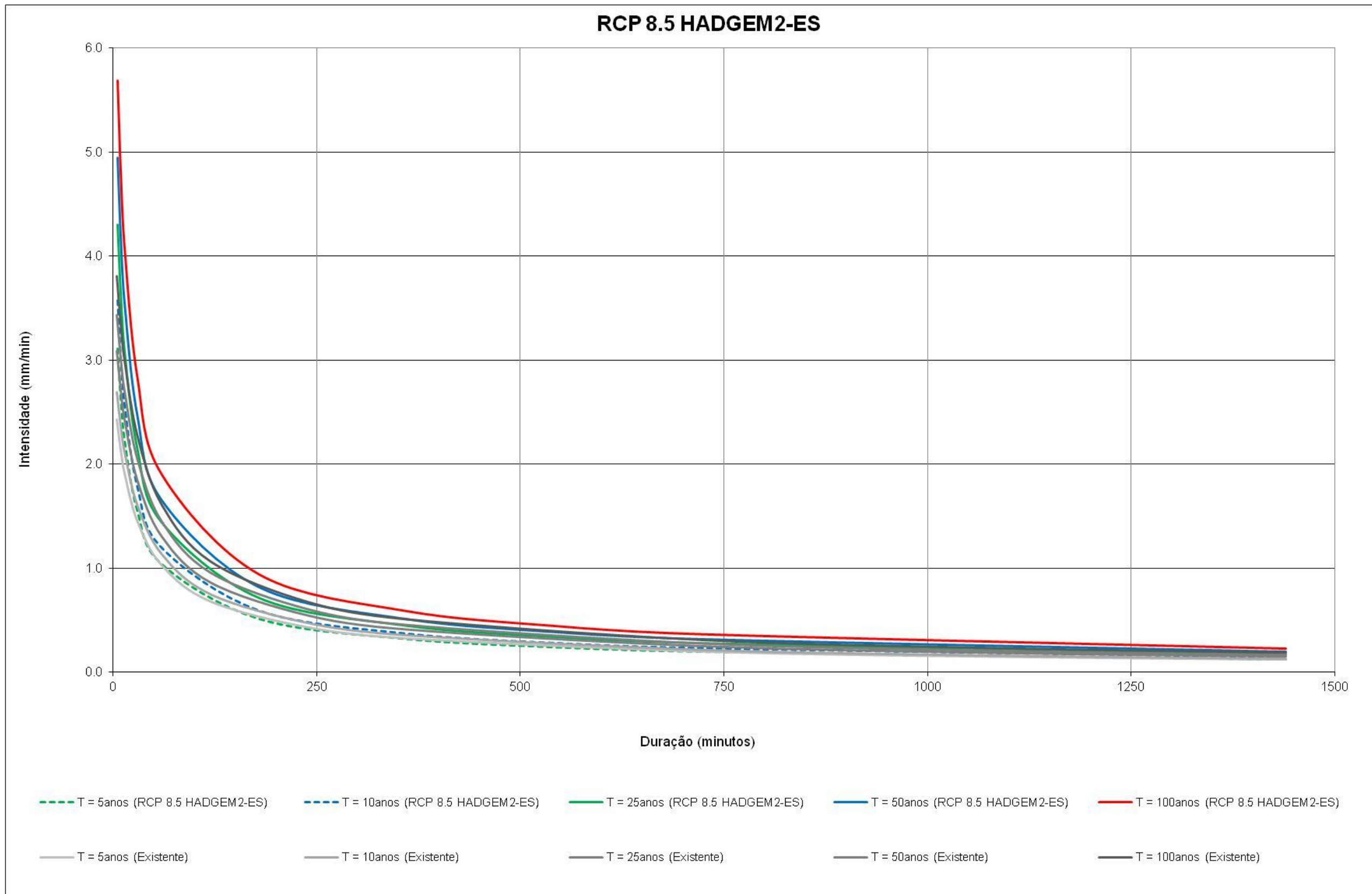
*Handwritten signature*

Para o cenário RCP 8.5, os resultados das IDF's futuras estão apresentados nas Figuras 68 e 69, para os modelos HADGEM2-ES e MIROC5, respectivamente. O comportamento das curvas para ambos modelos foi bem semelhante ao cenário 4.5. Para o modelo MIROC5, as intensidades das precipitações com durações superiores a 250 minutos tendem a ser inferiores às intensidades relativas à IDF existente.

Assim como fora no cenário RCP 4.5, as curvas para períodos de retorno de 5, 10, 25 e 100, cenário RCP 8.5, também apresentam comportamento semelhante às existentes, tanto para o modelo HADGEM2-ES e para o modelo MIROC5.

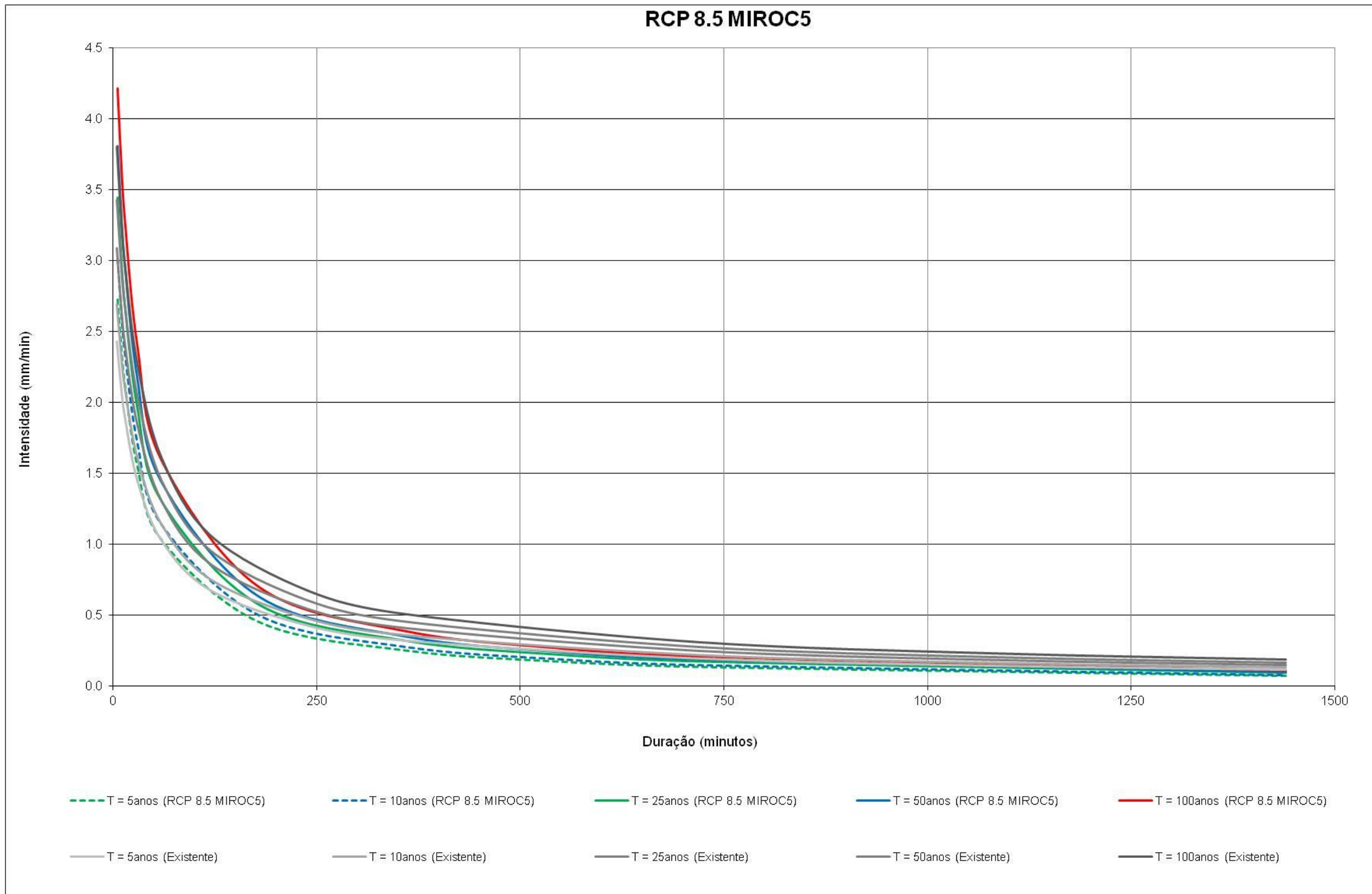
Como se pode notar, o aumento da intensidade nos cenários climáticos futuros se apresenta mais pronunciado no HADGEM 8.5. No entanto, como nos casos anteriores, esta diferença se faz notar justamente para durações inferiores à 180 minutos, limite da resolutividade temporal dos modelos climáticos.





**Figura 68.** Comparação entre curvas IDF's existente e futura, RCP 8.5 HADGEM2-ES

*Handwritten signature*



**Figura 69.** Comparação entre curvas IDFs existente e futura, RCP 8.5 MIROC5

*Handwritten signature*



#### **2.4.6 Simulação hidrológica - Método SCS**

A metodologia adotada para obtenção dos resultados das simulações hidrológicas está descrita no Produto 1 IU.

##### **Processamento dos dados geográficos**

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) são utilizados em aplicações que geralmente envolvem uma quantidade de dados espaciais muito grande para serem manuseados por processos convencionais. Um SIG pode manipular uma base de dados georreferenciados que considere centenas de características de uma região, bem como centenas de fatores associados a cada característica ou localização (SIMÕES, 1993).

Na fase inicial desse trabalho buscaram-se as informações necessárias para a criação do banco de dados, que foi obtido em sua maioria através do Instituto Pereira Passos (IPP), da Prefeitura Municipal do Rio de Janeiro.

De posse do mapa pedológico, foi feito então, uma reclassificação para obtenção dos grupos hidrológicos dos solos da bacia de estudo. Nessa reclassificação foram considerados os critérios sugeridos por Sartori *et al.* (2005a).

Nessa reclassificação do mapa pedológico, à classe "área urbana" foi atribuído o grupo hidrológico com menor taxa de infiltração de água no solo, grupo D.

Obteve-se o mapa numérico com valores de Curva –Número (CN) para a bacia após a análise espacial dos grupos hidrológicos encontrados na bacia e uso e ocupação do solo, seguindo critérios apresentados no ANEXO E - Valores de CN para bacias com ocupação urbana (TUCCI, 1993).

Como apontado no Relatório 1 IU, o SCS (*Soil Conservation Service*), em 1972, desenvolveu um método para o cálculo das perdas do volume de chuva, segundo as características geomorfológicas e físicas de uma determinada bacia. O método do número de Curva (CN) estima o excesso de precipitação, o qual é responsável pela produção do escoamento superficial, fundamentando-se numa função de precipitação cumulativa, tipos de solo, categorias de uso e ocupação do solo e de considerações de



umidade.

O método do (SCS) reúne os solos dos Estados Unidos em quatro grandes grupos, conforme sua capacidade de infiltração e produção de escoamento, sendo a cada um deles atribuído uma letra A, B, C e D, nesta mesma ordem, representando o acréscimo do escoamento superficial e conseqüentemente, a diminuição da taxa de infiltração de um grupo para outro. Nesse trabalho, adotaremos a classificação estendida da proposta de Lombardi *et al.* (1989), elaborada por Sartori *et al.* (2005a), apresentada no Anexo F.

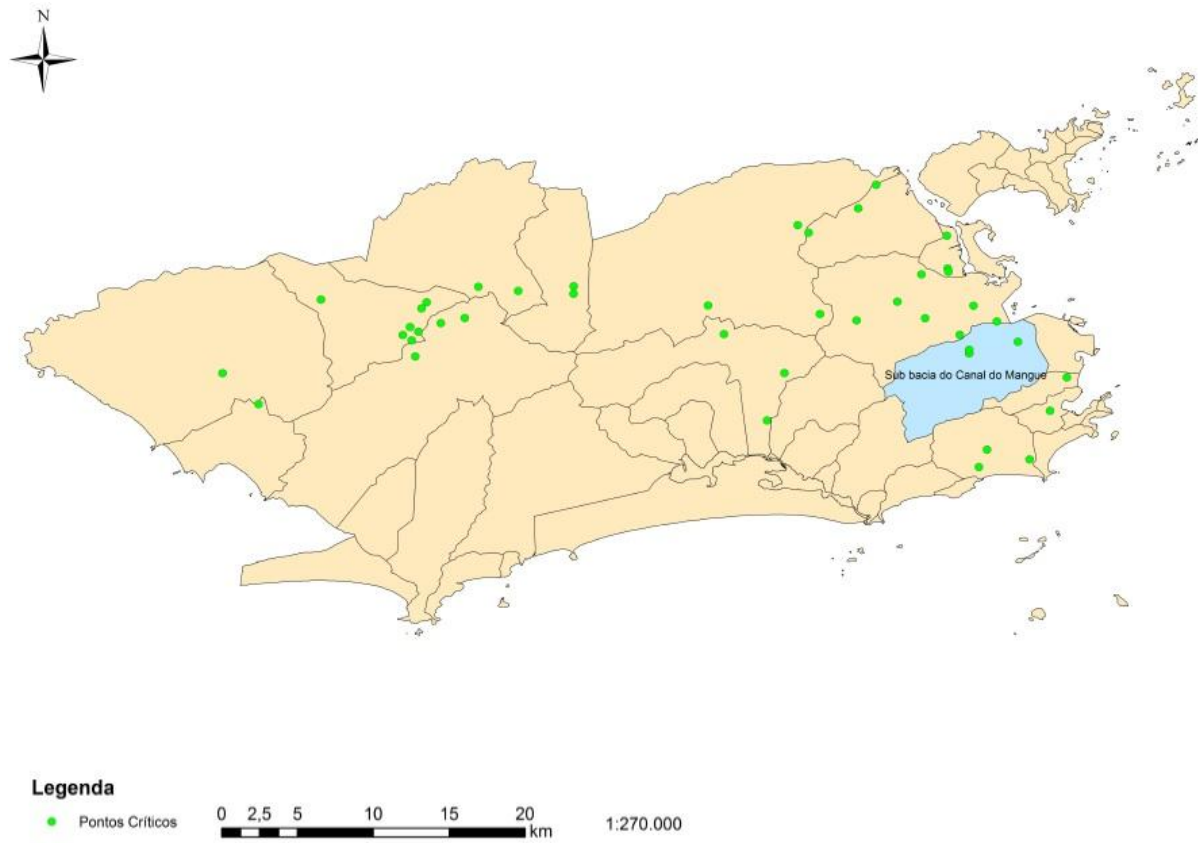
Caso a bacia apresente diversos tipos de solo e de ocupação, deve-se adotar o valor de CN obtido da média ponderada dos coeficientes correspondentes às áreas homogêneas. Alternativamente, pode-se separar a bacia em áreas permeáveis e impermeáveis e calcular o CN ponderado (Vendrame e Lopes, 2005).

Para esse estudo adotou-se valor de CN que apresentou maior número de ocorrências na bacia de estudo (vide APÊNDICE A - Valores de “CN – Atual” da bacia Canal do Mangue – Município do Rio de Janeiro).

### **Área de estudo**

Para desenvolvimentos de simulações hidrológicas foi elaborado mapa (Figura 70) a partir de dados obtidos de Rio de Janeiro (2014), com locais de ocorrências de alagamento. Em função de disponibilidade dados, adota-se a bacia Canal do Mangue como área de estudo.





**Figura 70.** Mapa de pontos de ocorrências de alagamento no município do Rio de Janeiro.

### Tempo de concentração

Para análise do tempo de concentração das bacias estudadas foram considerados: método cinemático e Kirpich Modificado.

O método cinemático se baseia no fato do tempo de concentração ser a soma dos tempos de percurso de diferentes trechos que compõem o talvegue, como mostra a Equação 24.

$$t_c = \frac{1000}{60} \sum \frac{L}{V} \quad (24)$$

Em que,

$t_c$ : tempo de concentração, em (min);

L: comprimento do talvegue, em (km);

V: velocidade média no trecho do talvegue, em (m/s).

Para a obtenção da velocidade do escoamento, adotou-se os critérios da Federal Aviation Administration (FAA), United States (2013), que recomenda a Equação 25 para o cálculo do tempo de concentração.

$$V = k \cdot S_p^{0.5} \quad (25)$$

Em que,

V: velocidade do escoamento, em (m/s);

k: coeficiente de interceptação;

$S_p$ : declividade, em %.

Indicado para estudos em bacias médias e grandes, o método de Kirpich Modificado sugere adotar a equação 26.

$$t_c = 1,5x57 \left[ \frac{L^3}{H} \right]^{0,385} \quad (26)$$

Em que:

$t_c$  = tempo de concentração (min),

L = extensão do talvegue (km),

$\Delta H$  = máximo desnível na bacia medido ao longo de L (m).

### **Análises hidrológicas**

Para avaliar possíveis impactos dos eventos extremos de precipitação no município do Rio de Janeiro, foram considerados os seguintes cenários para a bacia Canal do Mangue, a saber:

- Situação atual (IDF Existente);
- HADGEM2-ES 8.5;
- MIROC5 8.5

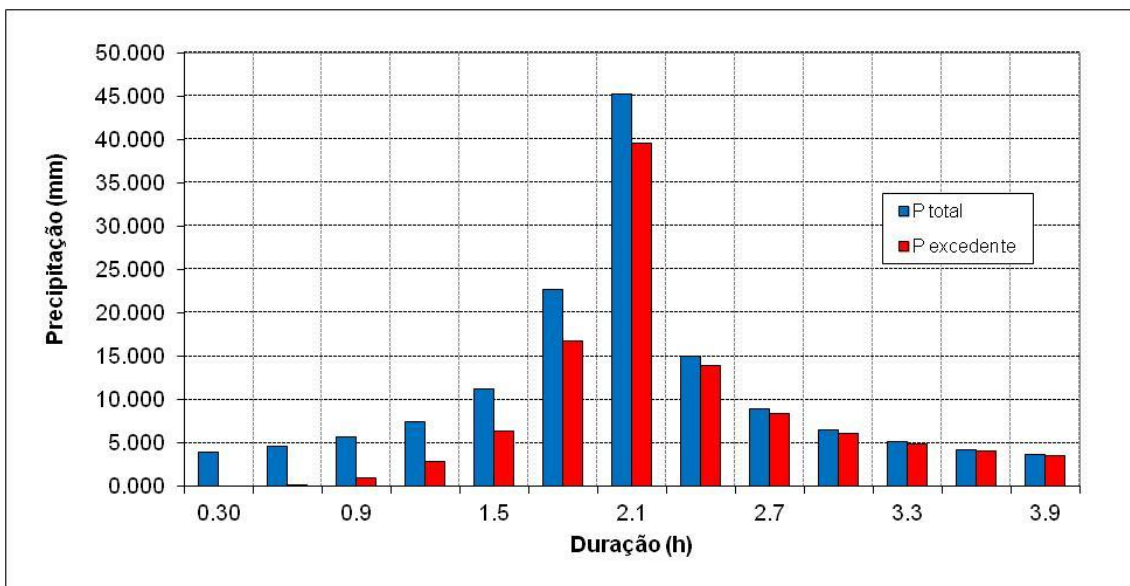
Os estudos hidrológicos foram conduzidos para avaliar as variações em pico de vazão da bacia. Nas simulações hidrológicas foi considerado o período de recorrência da chuva de 50 anos, e curva IDF existente do posto Jardim Botânico, com durações de 3 e 4 horas. Para a obtenção dos hietogramas, foi feita a distribuição temporal da precipitação pelo método dos Blocos Alternados, que consiste em posicionar as maiores intensidades de precipitação no centro do hietograma, e as demais alternadamente à sua esquerda e direita. Uma descrição completa do método pode ser encontrada em Canholi (2005).

Observando-se as características fisiográficas da bacia Canal do Mangue, adotam-se previamente os seguintes parâmetros:

- $CN_{(atual)} = 87$

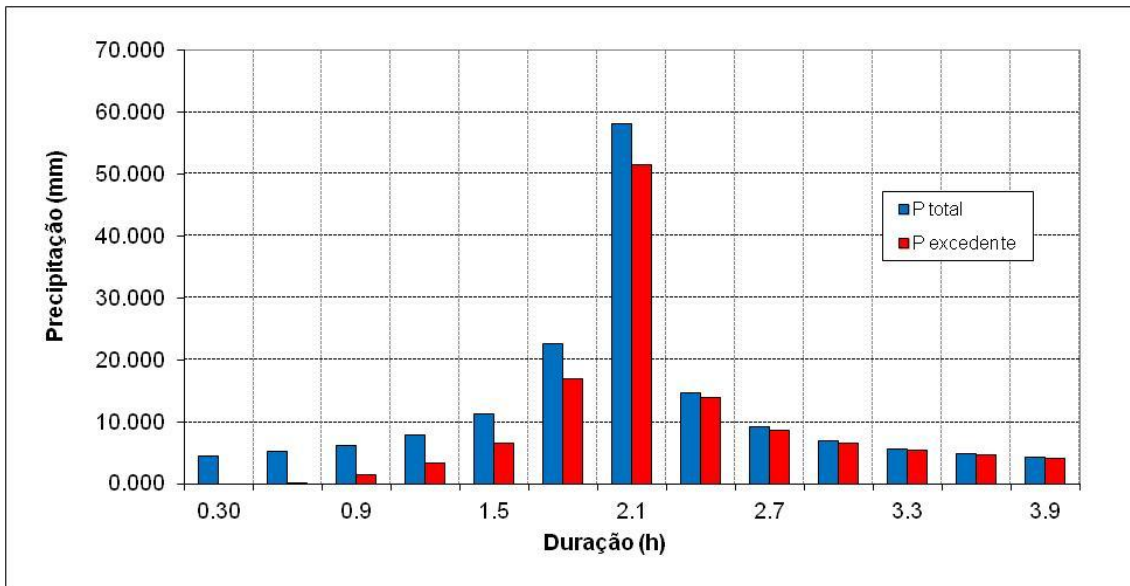
- Área (km<sup>2</sup>) = 49,93
- L (km) = 10,37
- i (%) = 0,433 (declividade equivalente)

Os hietogramas obtidos para duração de 4 horas estão apresentados nas Figuras 71, 72 e 73. Observa-se por essas figuras que os hietogramas das precipitações excedentes, que é a parcela que corresponde ao escoamento superficial, estão muito próximos aos hietogramas das precipitações de projeto. Isso ocorre devido aos elevados valores de CN encontrados para a bacia, que refletem o alto grau de impermeabilização na bacia.

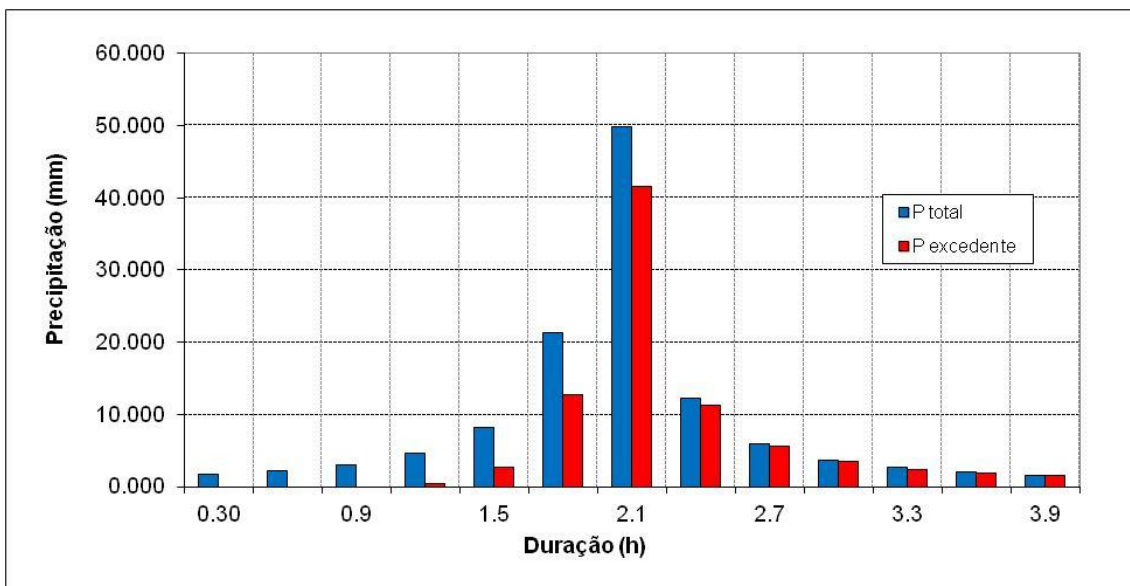


**Figura 71.** Hietograma para Tr = 50 anos, duração 4 horas (situação atual), Rio de Janeiro.

*Assinatura*

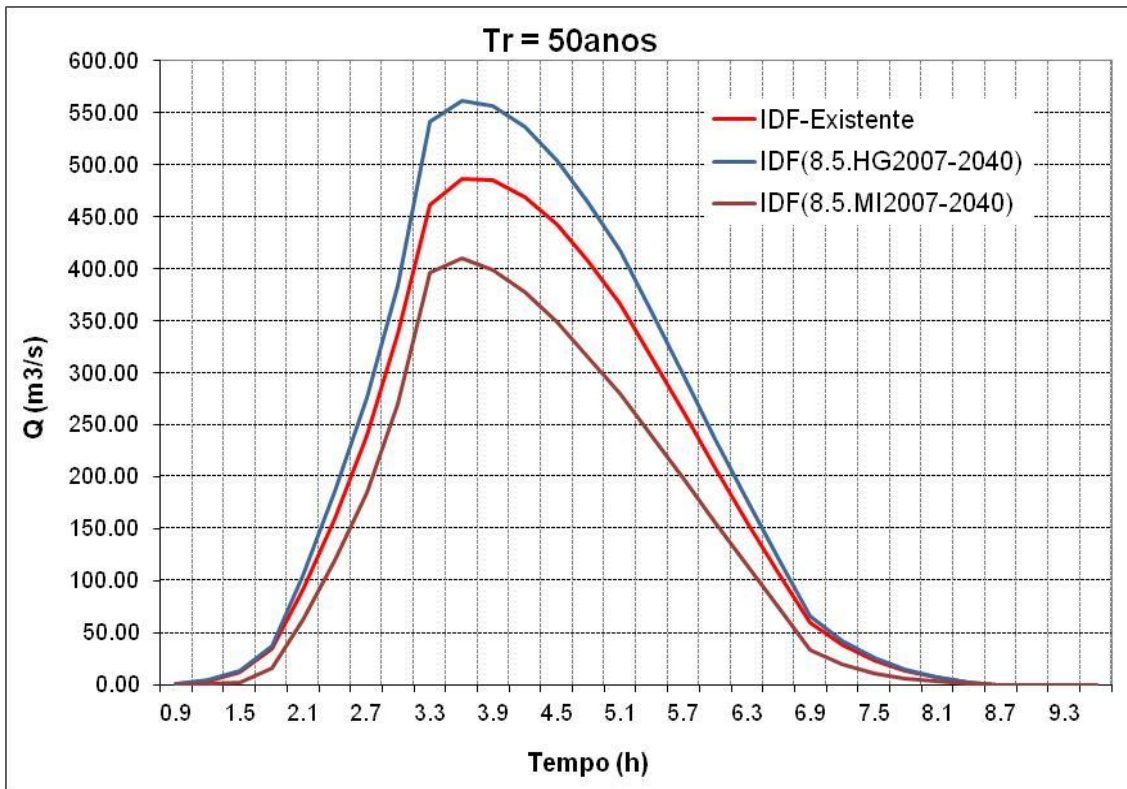


**Figura 72.** Hietograma para  $T_r = 50$  anos, duração 4 horas (Modelo HADGEM2-ES - Cenário 8.5), Rio de Janeiro.



**Figura 73.** Hietograma para  $T_r = 50$  anos, duração 4 horas (Modelo MIROC5 - Cenário 8.5), Rio de Janeiro.

Na Figura 74 apresentam-se os hidrogramas obtidos a partir da precipitação de duração de 4h, nos diferentes modelos para um mesmo cenário.



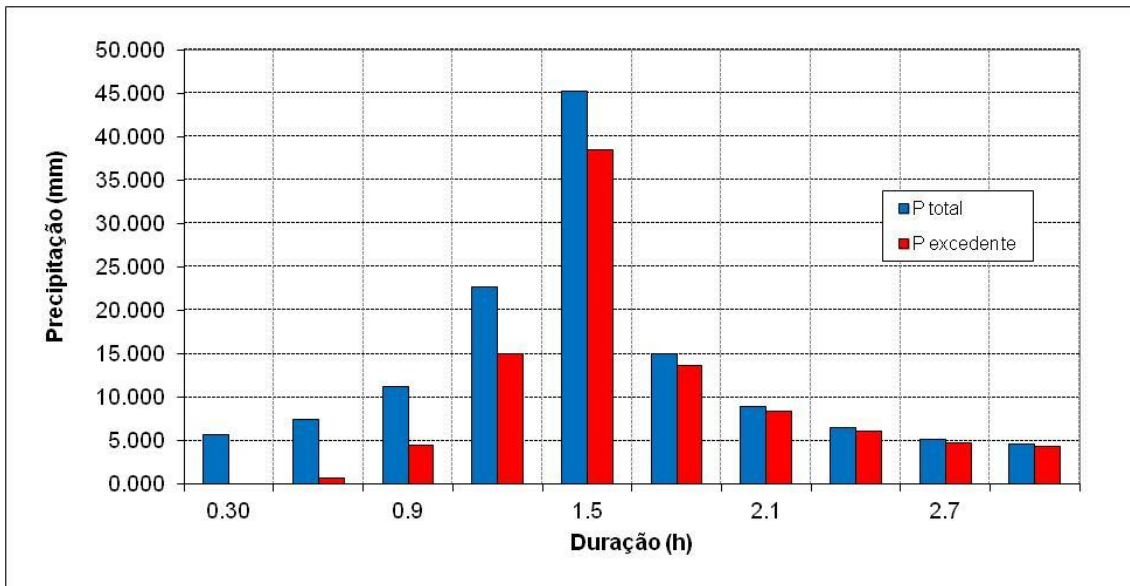
**Figura 74.** Hidrogramas para  $Tr = 50$  anos (duração 4 horas), Rio de Janeiro.

Em relação ao cenário atual, observamos um acréscimo de 15% na vazão de pico, quando comparado ao cenário (HADGEM2 ES 8.5). Considerando o cenário (MIROC5 8.5), esse pico sofre uma redução de 16%. Isso é reflexo das IDF's encontradas para os dois cenários (item 2.4.5). Esses valores, entretanto, não devem ser interpretados como verdades absolutas, pois como já comentado no item 2.4.4, as IDF's futuras foram ajustadas com razões de precipitação inferiores à diária, de literatura, pelo fato dos modelos ainda não conseguirem simular precipitações com uma resolução temporal superior a 3 horas. As razões de 3h/24h, em ambos os modelos, apresentaram-se bastante inferiores aos valores observados de literatura, os quais são obtidos de dados observados.

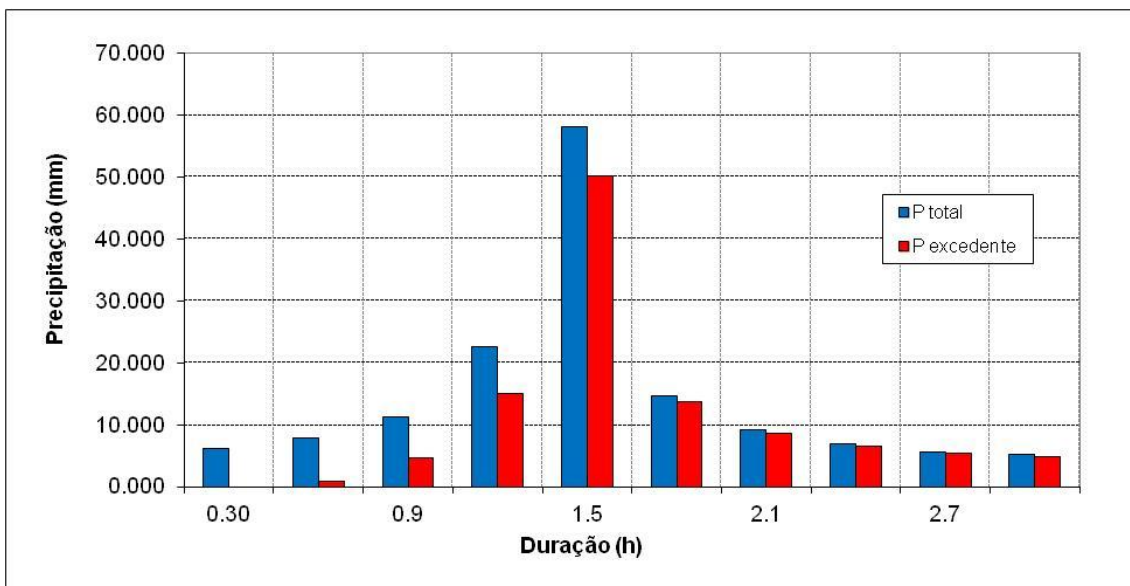
A grande diferença de comportamento entre os modelos dificulta a inferência de um padrão futuro de mudanças climáticas.

Para duração de 3h, os hietogramas obtidos são apresentados nas Figuras 75, 76 e 77.



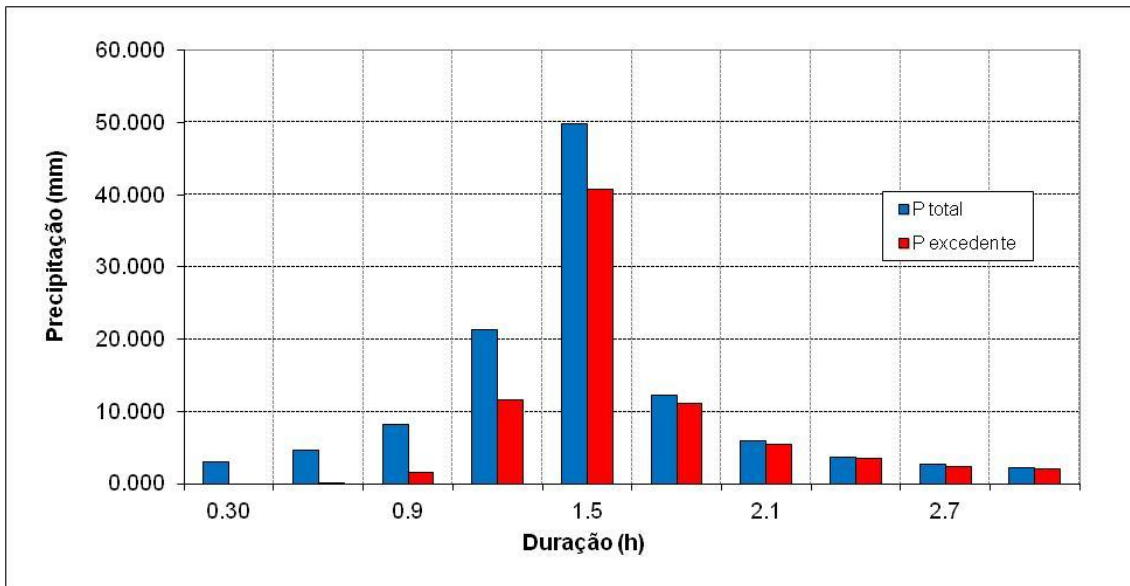


**Figura 75.** Hietograma para  $T_r = 50$  anos, duração 3 horas (situação atual), Rio de Janeiro.



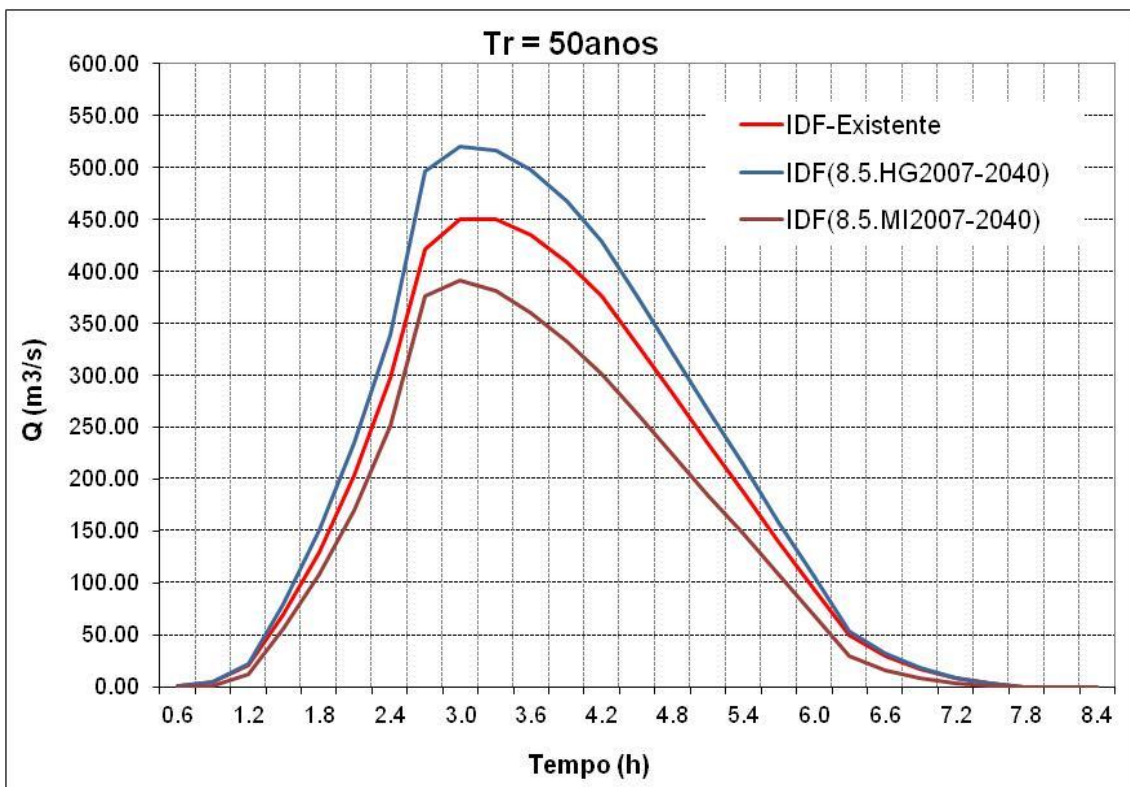
**Figura 76.** Hietograma para  $T_r = 50$  anos, duração 3 horas (Modelo HADGEM2-ES, Cenário 8.5), Rio de Janeiro.

*[Handwritten signature]*



**Figura 77.** Hietograma para  $Tr = 50$  anos, duração 3 horas (Modelo MIROC5, Cenário 8.5), Rio de Janeiro.

Na Figura 78 apresentam-se os hidrogramas obtidos a partir da precipitação de duração de 3 horas, para diferentes modelos e mesmo cenário.



**Figura 78.** Hidrogramas para  $Tr = 50$ anos (duração 3 horas), Rio de Janeiro.

*[Handwritten signature]*

Quando considerada a duração de 3h para a simulação hidrológica, o acréscimo no pico de vazão em relação ao cenário atual é de 16%, quando comparado ao cenário HADGEM2 ES 8.5. Para o cenário MIROC5 8.5, esse pico sofre uma redução de 13%.

Se comparada com a duração de precipitação de 4 horas, a vazão de pico foi reduzida em 7% para o modelo HADGEM2-ES e em 4% para o MIROC5.

As mesmas análises e considerações feitas a respeito dos resultados de vazão obtidos para a duração de precipitação de 4 horas são válidas para a de 3 horas.

## **2.5 São Paulo**

### **2.5.1 Análise comparativa da razão de chuva (3h/24h) para os cenários passado e futuro simulados no modelo atmosférico - dados sem correção**

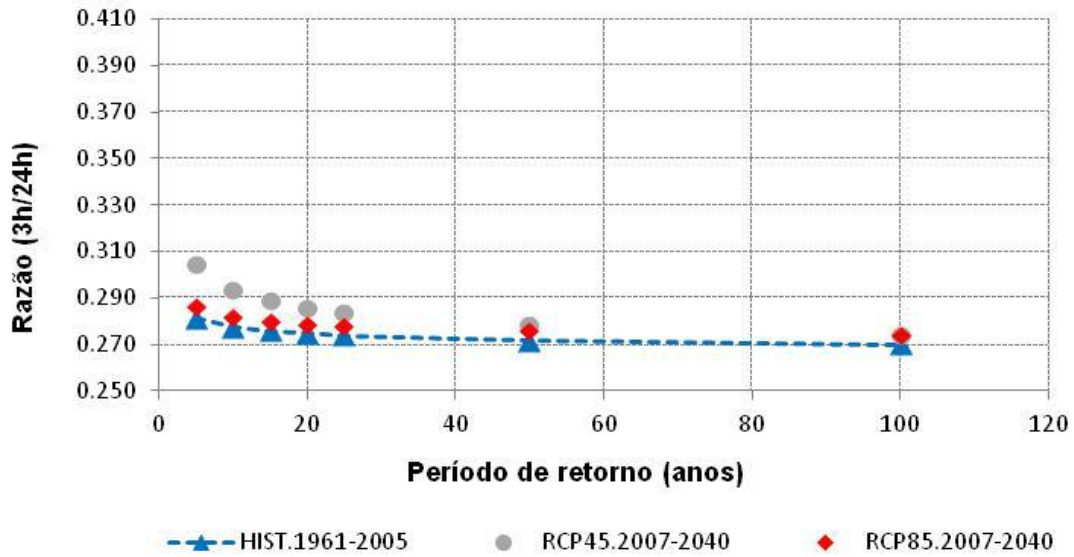
Para se determinar as razões de precipitações 3h/24h seguiu-se a mesma sequência descrita para a cidade de Recife, apresentada no item 2.1.1.

As Figuras 79 e 80 mostram os resultados das razões de precipitação não corrigidas que relacionam a precipitação de 3h e de 24h, para os períodos de retorno de 5, 10, 15, 20, 25, 50 e 100 anos, para os modelos HADGEM2-ES e MIROC5, respectivamente.

De acordo com os dados apresentados na Figura 79, para as simulações feitas a partir do modelo HADGEM2-ES, as razões diminuem a medida que se aumenta o período de retorno. As razões do cenário 4.5 apresentam-se superiores às do período passado, principalmente para períodos de retorno inferiores a 25 anos. Já para o cenário 8.5, as razões estão ligeiramente superiores às do período passado.



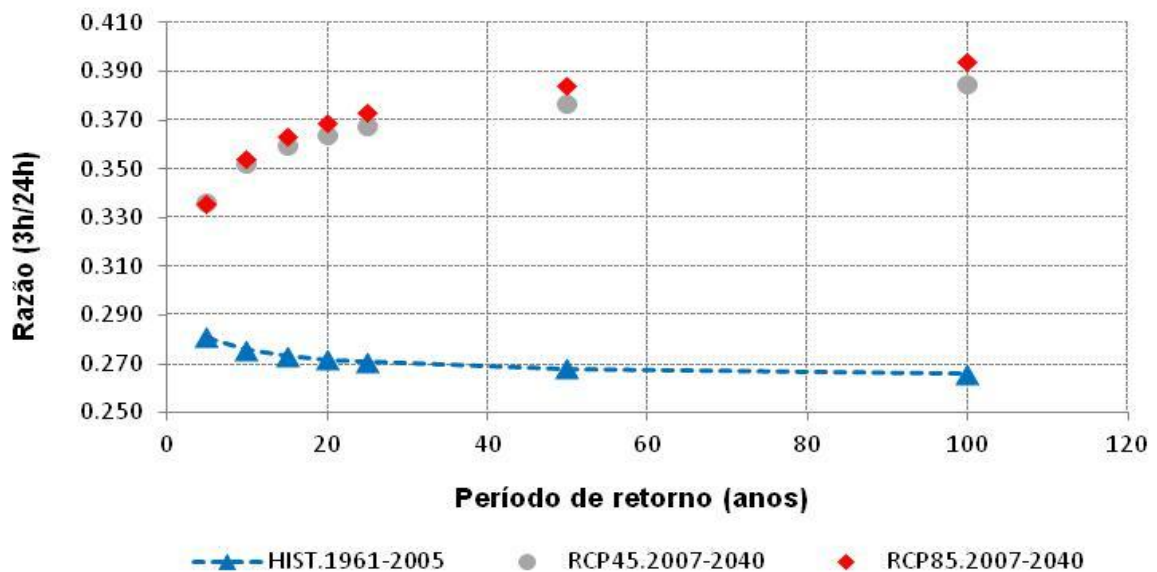
## HadGem2-ES



**Figura 79.** Razão de chuva (3h/24h) para dados brutos, HadGem2-ES (São Paulo).

Já para o modelo MIROC5 (Figura 80), as razões obtidas para os cenários 8.5 e 4.5 estão bastante próximas e bastante superiores às do período passado, que são muito semelhantes às do cenário 4.5. A grande diferença apresentada pelos modelos dificulta a inferência de comportamentos climáticos futuros.

## Miroc5



**Figura 80.** Razão de chuva (3h/24h) para dados brutos, Miroc5 (São Paulo).

Se comparadas com as razões obtidas para Fortaleza, as razões de São Paulo são superiores, muito embora as duas cidades se localizem na mesma Isozona C, de acordo com a classificação de Torrico (1974).

Apesar das razões se apresentarem superiores às razões encontradas para as demais cidades, se comparadas com as razões observadas de literatura, as razões encontradas são ainda inferiores. Isso indica que os modelos em média ou distribuem mais as precipitações durante os dias, ou seja, apresentam precipitações menos intensas, ou superestimam os valores de precipitações diárias.

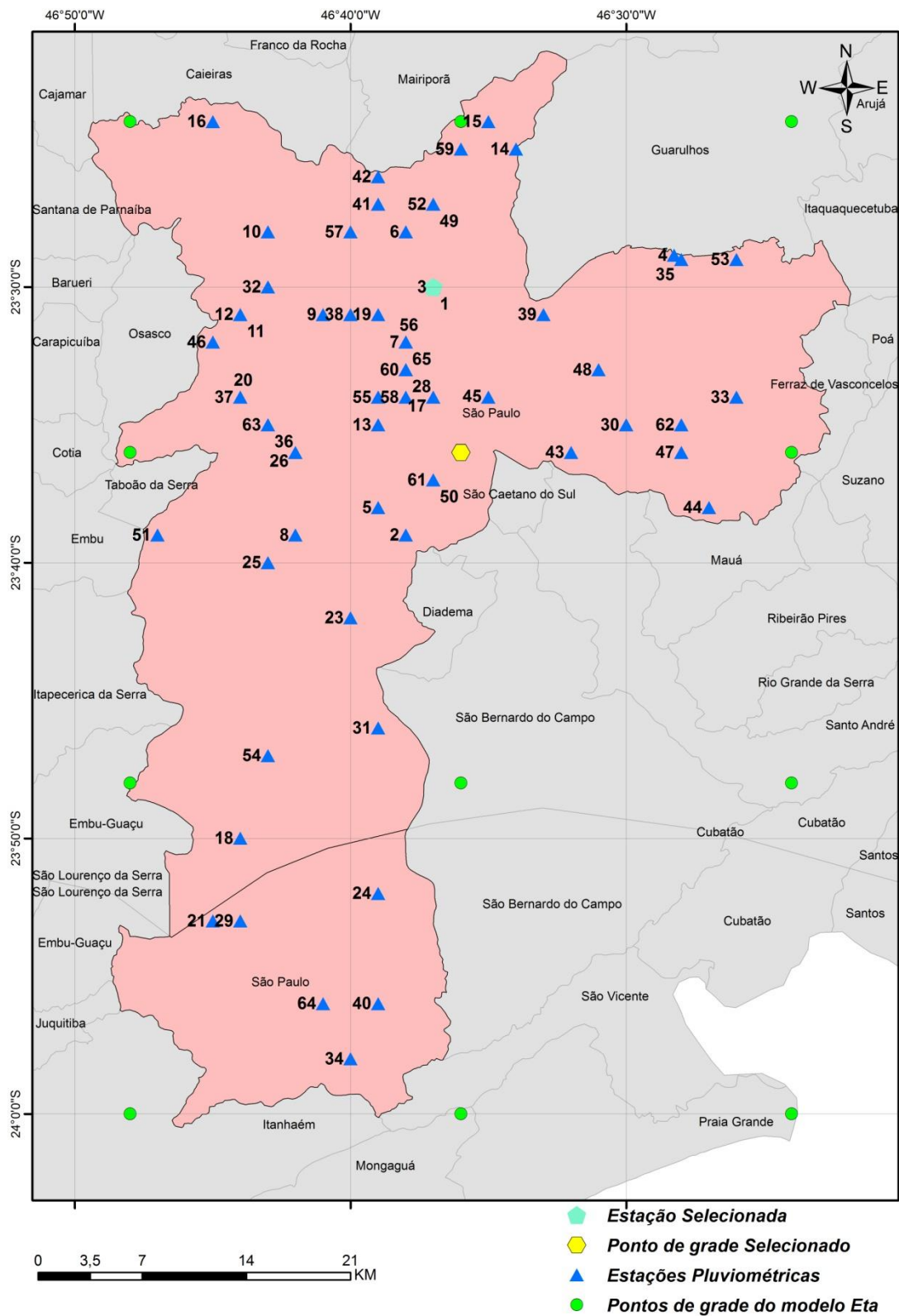
### **2.5.2 Correção do viés das simulações de precipitação**

A sequência e considerações adotadas para a correção do viés das simulações de precipitação para a cidade de Recife, apresentadas no item 2.1.2, foram as mesmas aplicadas para a cidade de São Paulo.

Assim como para Recife, os dados da estação pluviométrica de São Paulo estavam completos, não precisando de preenchimento de falhas.

O ponto de grade selecionado do modelo Eta para a cidade de São Paulo apresenta coordenadas LAT -23,60, LON -46,60. A estação pluviométrica selecionada apresenta coordenadas LAT -23,50 e LON -46,61, conforme Figura 81.





**Figura 81.** Ponto de grade do modelo Eta e estação pluviométrica selecionados (São Paulo).

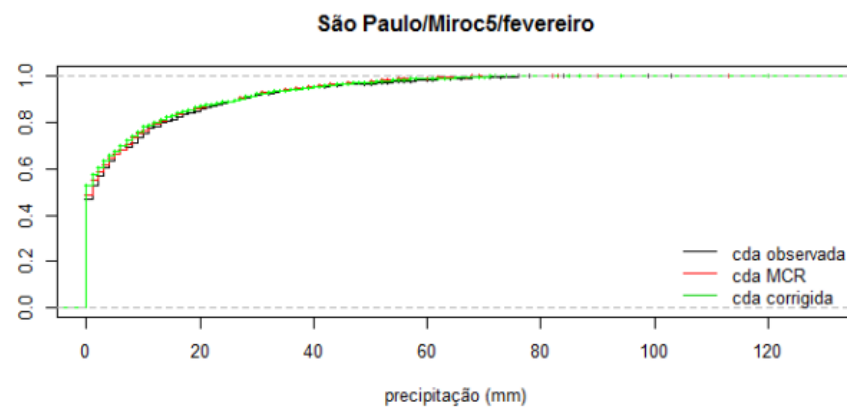
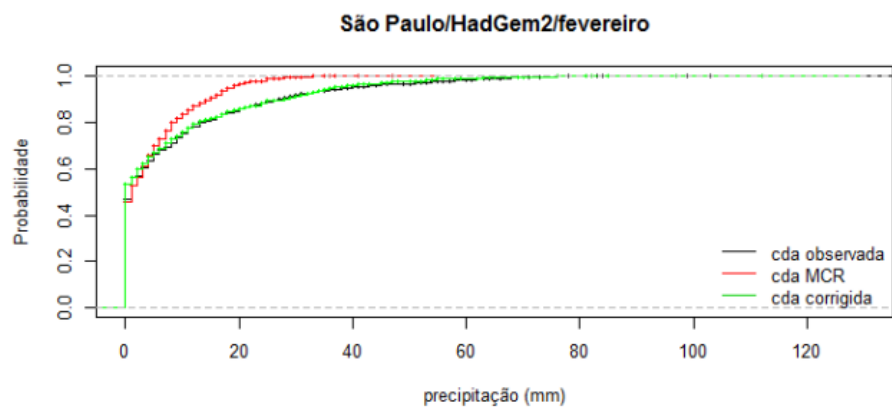
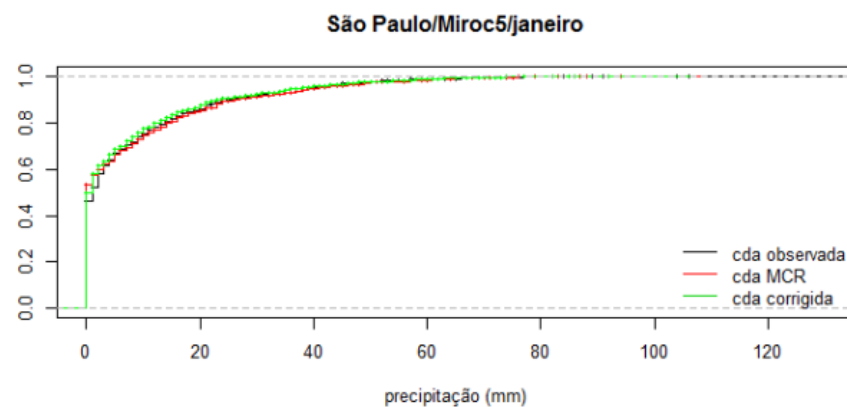
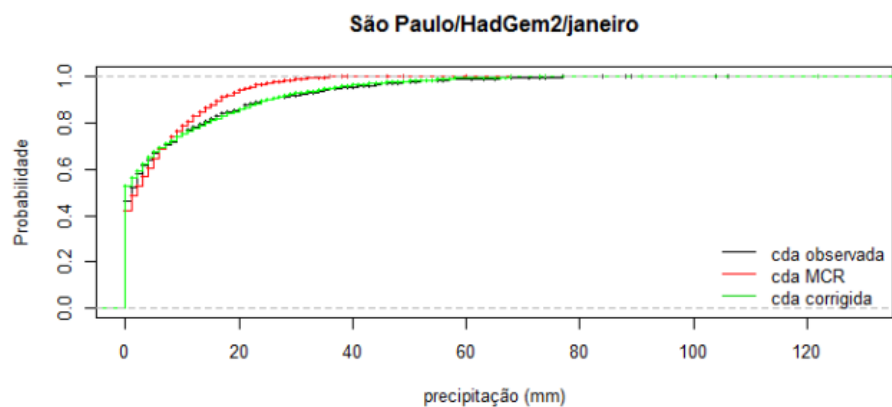
As Figuras 82 a 87 mostram a comparação entre a curva de distribuição acumulada (cda) observada e as curvas de distribuição acumulada com e sem correção.

Pode-se perceber que com o emprego da técnica, as simulações ficam significativamente mais próximas das observações. As simulações geradas a partir do modelo HADGEM-ES, depois de corrigidas, apresentaram uma melhora significativa nos valores máximos de precipitação. Antes da correção, as simulações não atingiam os valores mais altos de precipitação observados.

De maneira geral, o modelo climático regional gerado a partir do modelo global HADGEM-ES subestima os valores de precipitação e o modelo regional executado a partir do modelo MIROC5 superestima as precipitações. As simulações antes da correção apontam para uma quantidade bastante reduzida de valores nulos nos meses de janeiro a abril, que não corresponde com a quantidade de valores nulos observados.

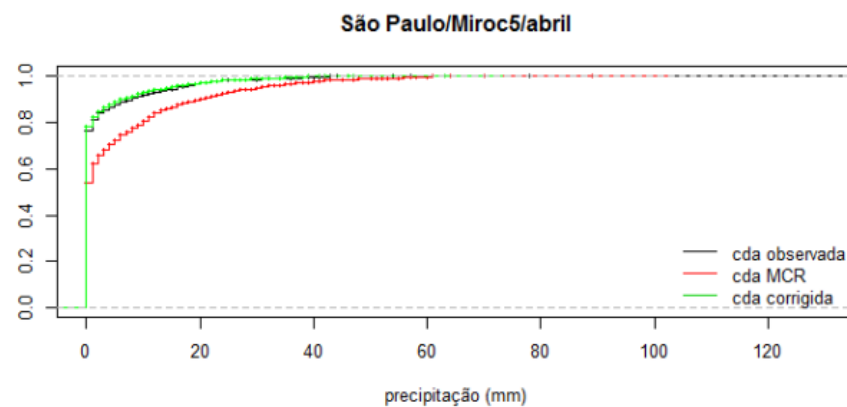
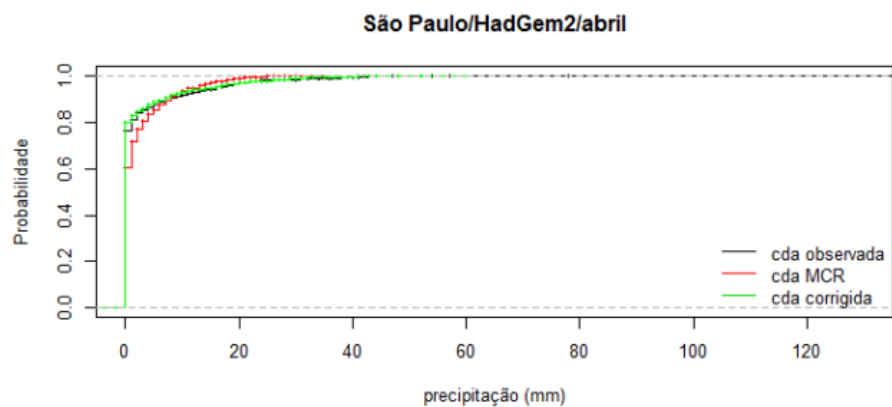
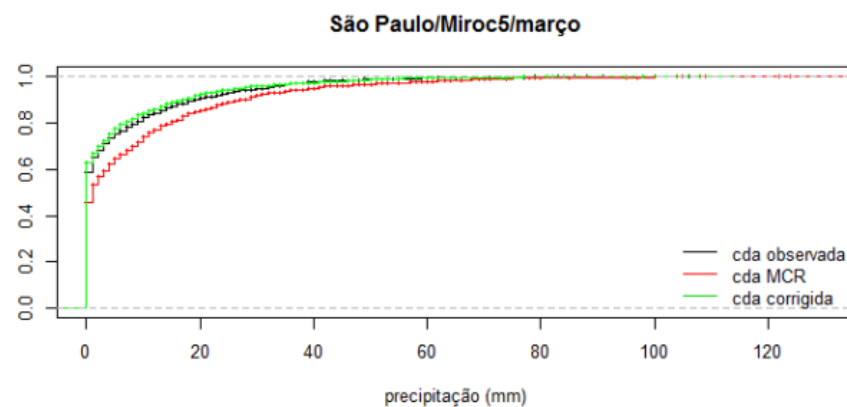
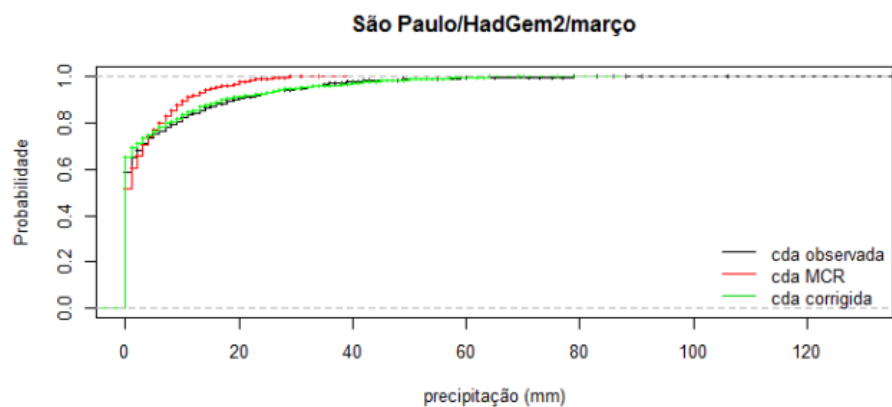
Conclui-se que o emprego da técnica de correção de viés foi eficiente em reduzir as diferenças entre simulações e observações no período *historical*. Portanto, para análise dos cenários futuros espera-se uma maior confiabilidade às simulações após as correções terem sido feitas.



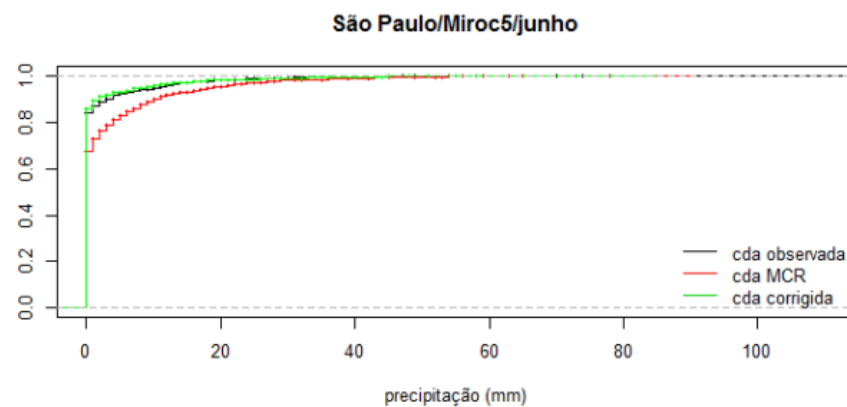
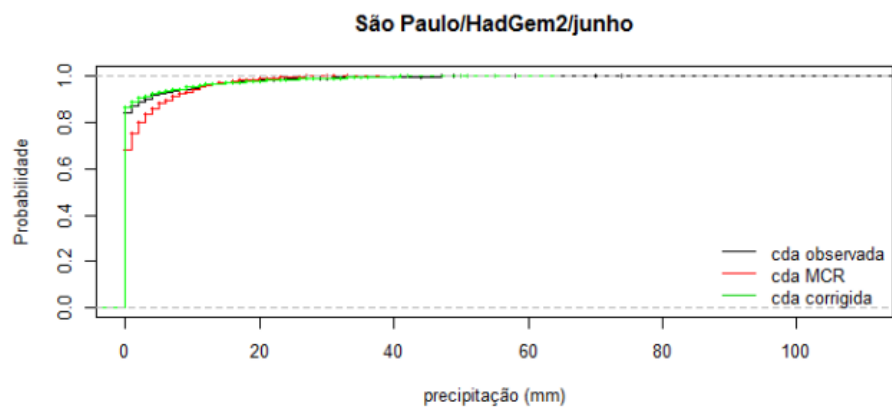
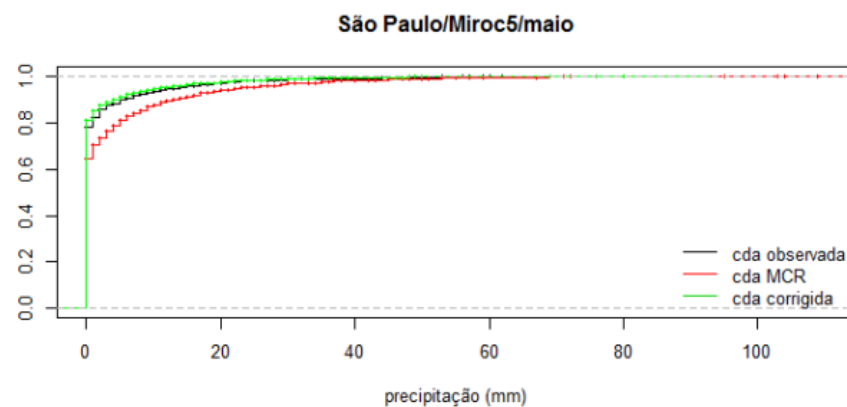
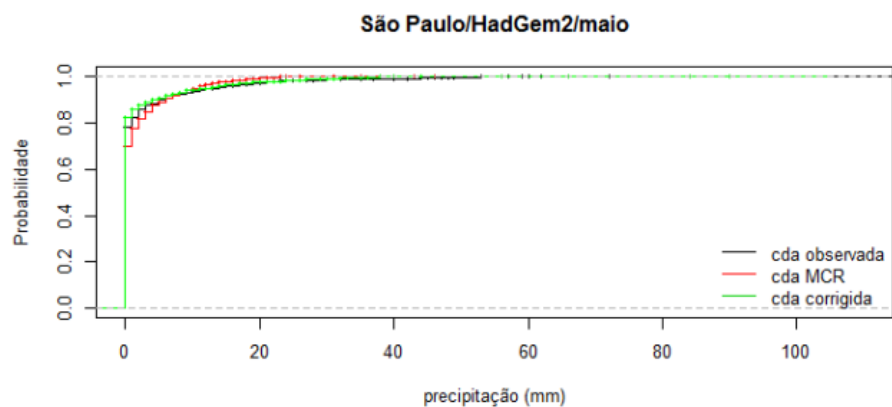


**Figura 82.** Comparação entre as curvas de distribuição acumulada das observações (cda observada) e das simulações antes (cda MCR) e após as correções (cda corrigida) dos meses de janeiro e fevereiro.

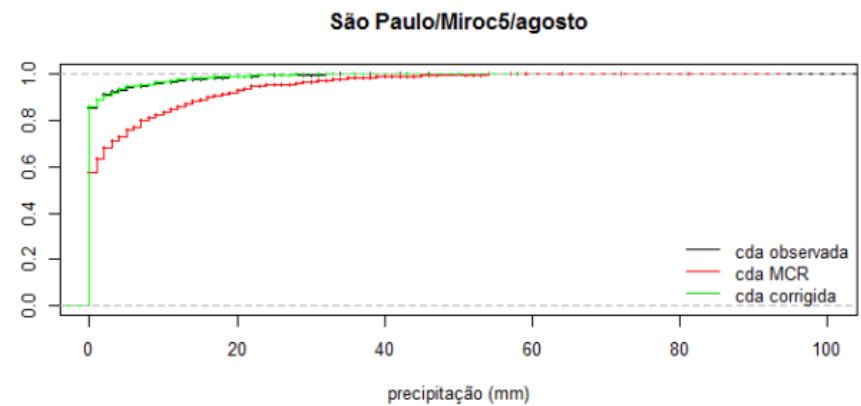
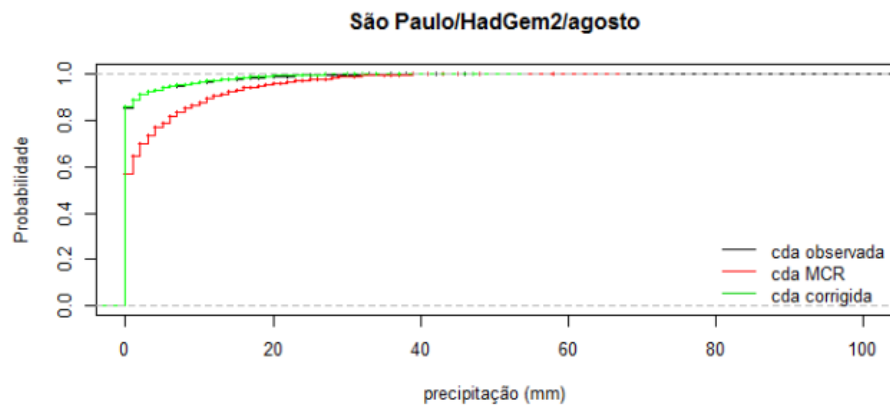
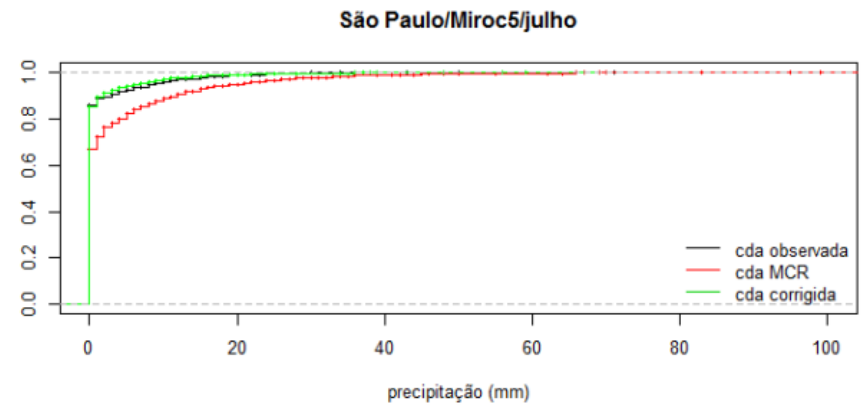
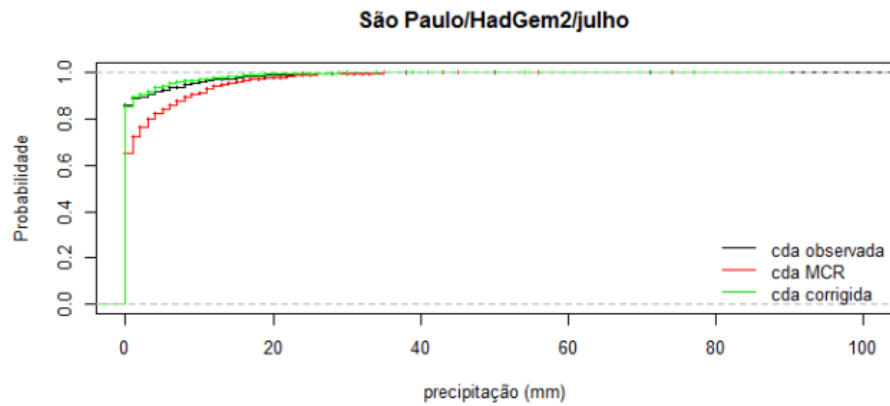




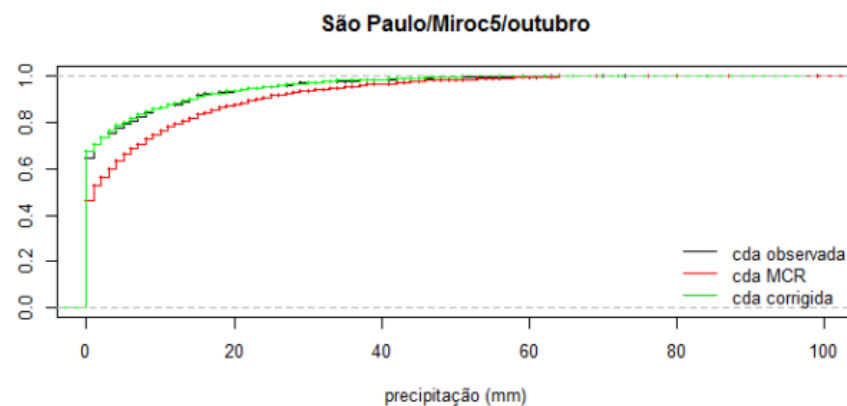
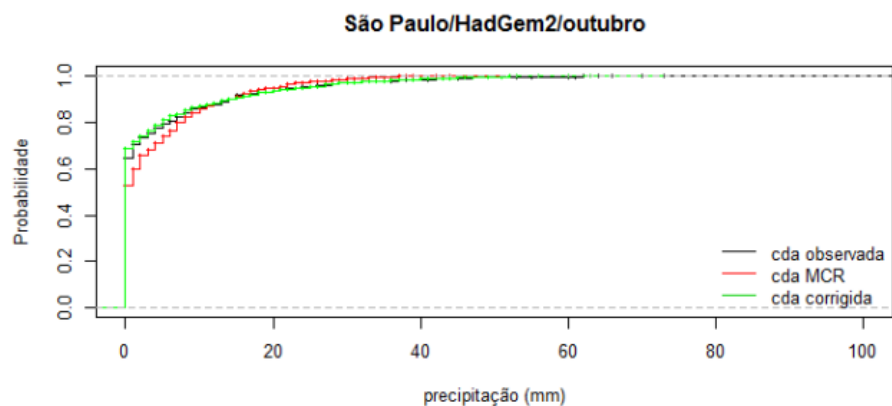
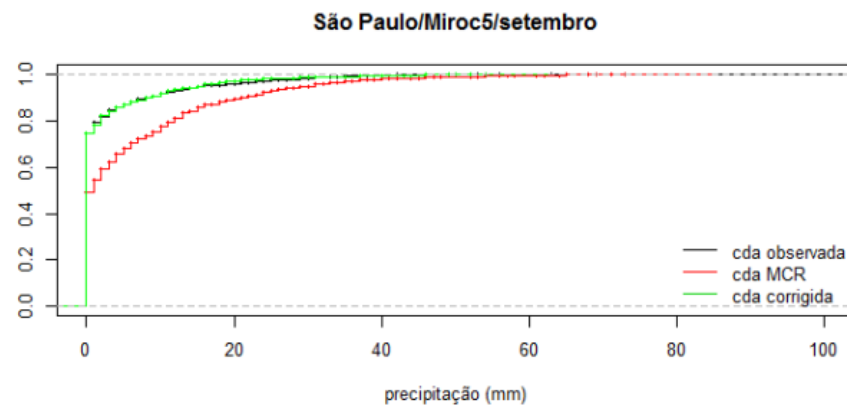
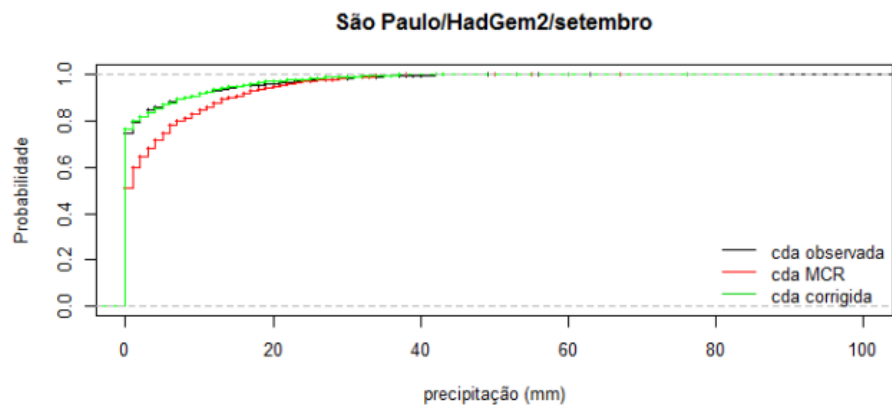
**Figura 83.** Comparação entre as curvas de distribuição acumulada das observações (cda observada) e das simulações antes (cda MCR) e após as correções (cda corrigida) dos meses de março e abril



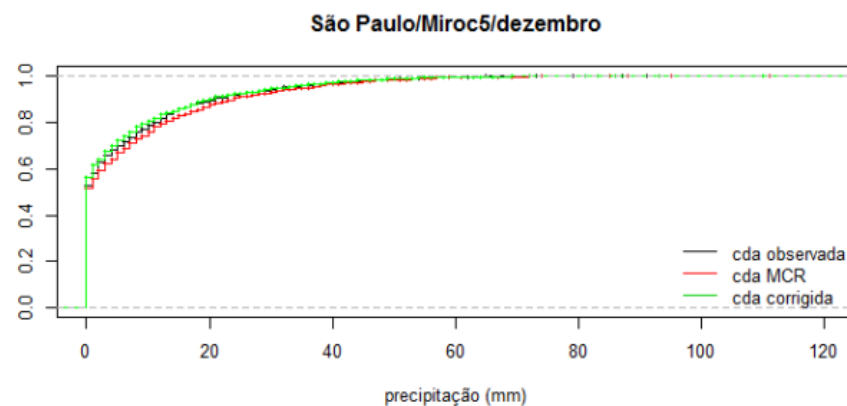
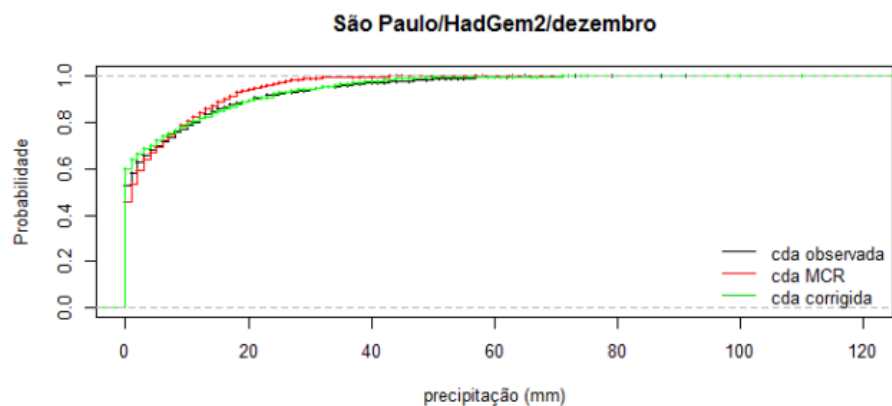
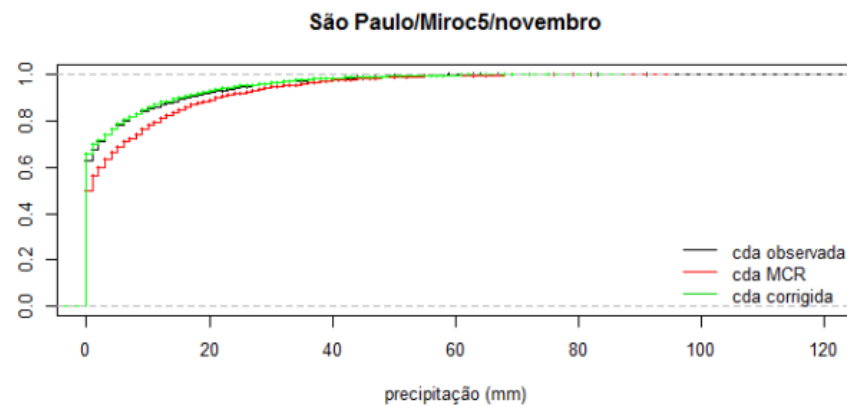
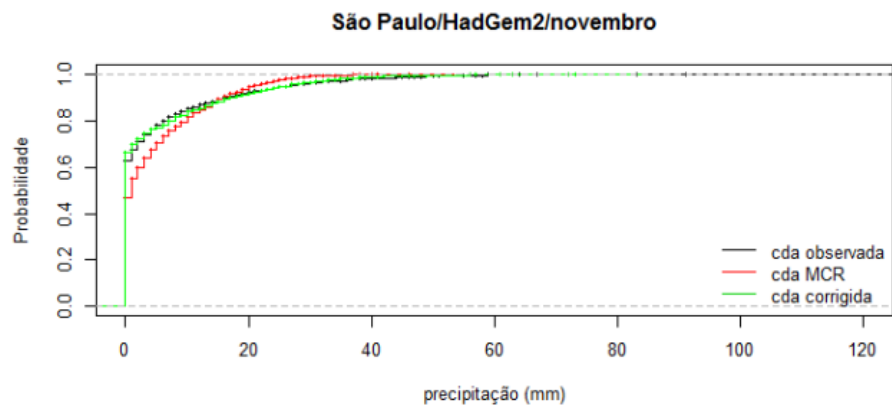
**Figura 84.** Comparação entre as curvas de distribuição acumulada das observações (cda observada) e das simulações antes (cda MCR) e após as correções (cda corrigida) dos meses maio e junho



**Figura 85.** Comparação entre as curvas de distribuição acumulada das observações (cda observada) e das simulações antes (cda MCR) e após as correções (cda corrigida) dos meses de julho e agosto



**Figura 86.** Comparação entre as curvas de distribuição acumulada das observações (cda observada) e das simulações antes (cda MCR) e após as correções (cda corrigida) dos meses de setembro e outubro



**Figura 87.** Comparação entre as curvas de distribuição acumulada das observações (cda observada) e das simulações antes (cda MCR) e após as correções (cda corrigida) dos meses de novembro e dezembro

### **2.5.3 Avaliação das precipitações máximas e total acumulado anual para séries de dados observados, brutos e corrigidos – período passado simulado pelo modelo atmosférico**

#### Precipitação máxima anual

Para melhor avaliar eventos extremos, as Figura 88 e 89 apresentam a comparação gráfica entre as séries de precipitações diárias máximas anuais observadas, e as séries de dados brutos e corrigidos – período passado simulado nos modelos atmosféricos, 1961 a 2005.

Observa-se pela Figura 88, que as simulações das precipitações diárias máximas anuais feitas pelo modelo HADGEM2-ES apresentam-se subestimadas com relação aos dados observados. A correção de viés aproxima esses valores aos observados.

Já as simulações feitas a partir do modelo MIROC5 (Figura 89) apresentam-se bem mais próximas aos dados observados. A maior diferença deu-se no ano de 1988, quando ocorreu o maior pico de precipitação da série observada.



Precipitação Máxima Anual (1961 - 2005) / Corrigido X Bruto  
HadGem2-ES

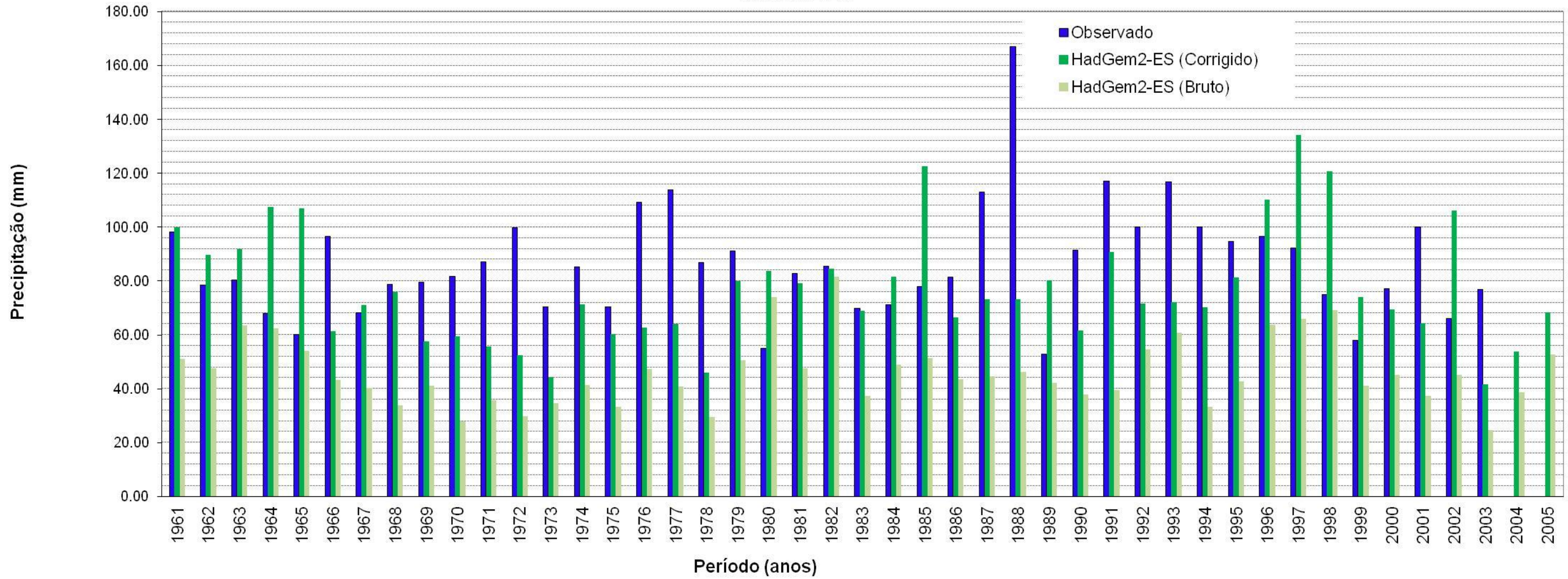


Figura 88. Precipitações máximas anuais, dados observados e simulados a partir de modelo HadGem2-ES (São Paulo).

*Handwritten signature*

Precipitação Máxima Anual (1961 - 2005) / Corrigido x Bruto  
Miroc5

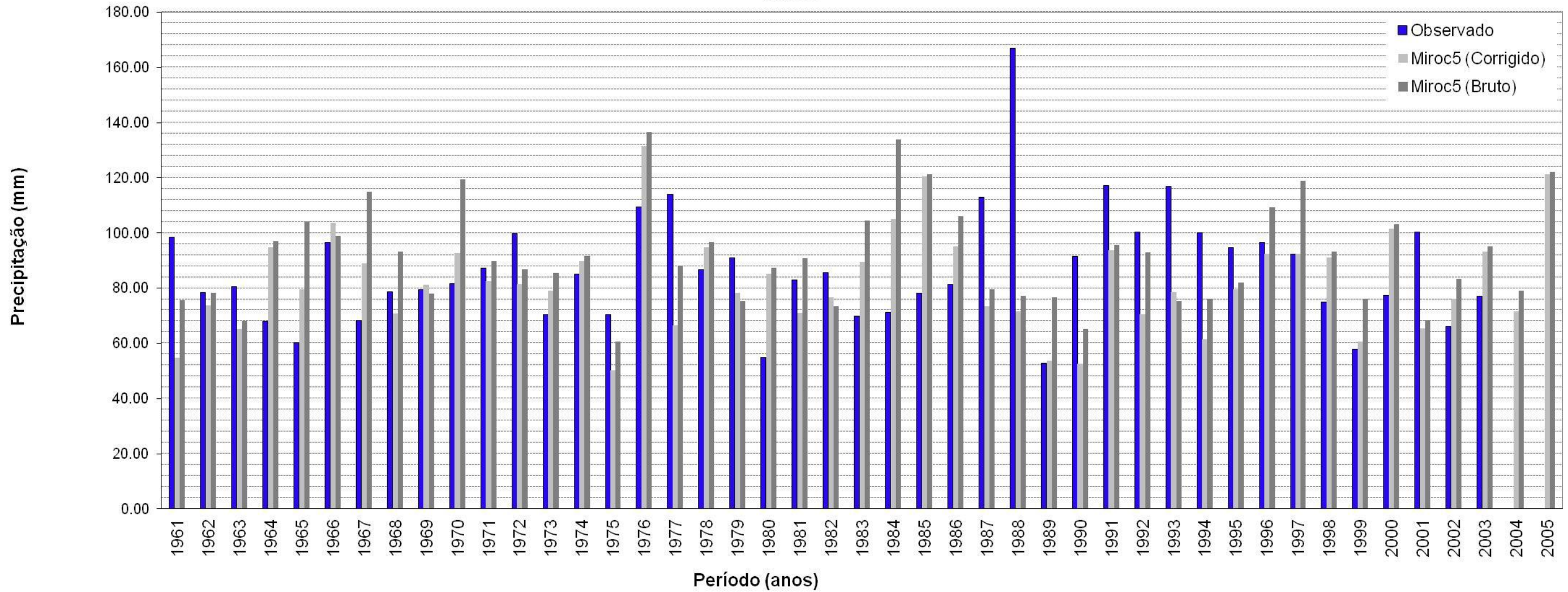


Figura 89. Precipitações máximas anuais, dados observados e simulados a partir de modelo Miroc5 (São Paulo).

*Handwritten signature*



### Precipitação total anual

De forma a obter informações sobre o comportamento dos modelos atmosféricos, as Figuras 90 e 91 apresentam os totais anuais de precipitação observada, e obtidas nos modelos - séries de dados brutos e corrigidos, período de 1961 a 2005.

De acordo com a Figura 90, a subestimação dos valores de precipitações acumuladas anuais não foi tão evidente quanto para os valores máximos diários. Com a proximidade dos valores acumulados anuais aos dados observados, a correção de viés não alterou muito os valores simulados.

Já para o modelo MIROC5 (Figura 91), as precipitações acumuladas anuais apresentam-se superestimadas com relação aos dados observados. A correção de viés provocou uma redução desses valores, aproximando-os dos dados observados.



Precipitação Total Anual (1961 - 2005) / Corrigido X Bruto  
HadGem2-ES

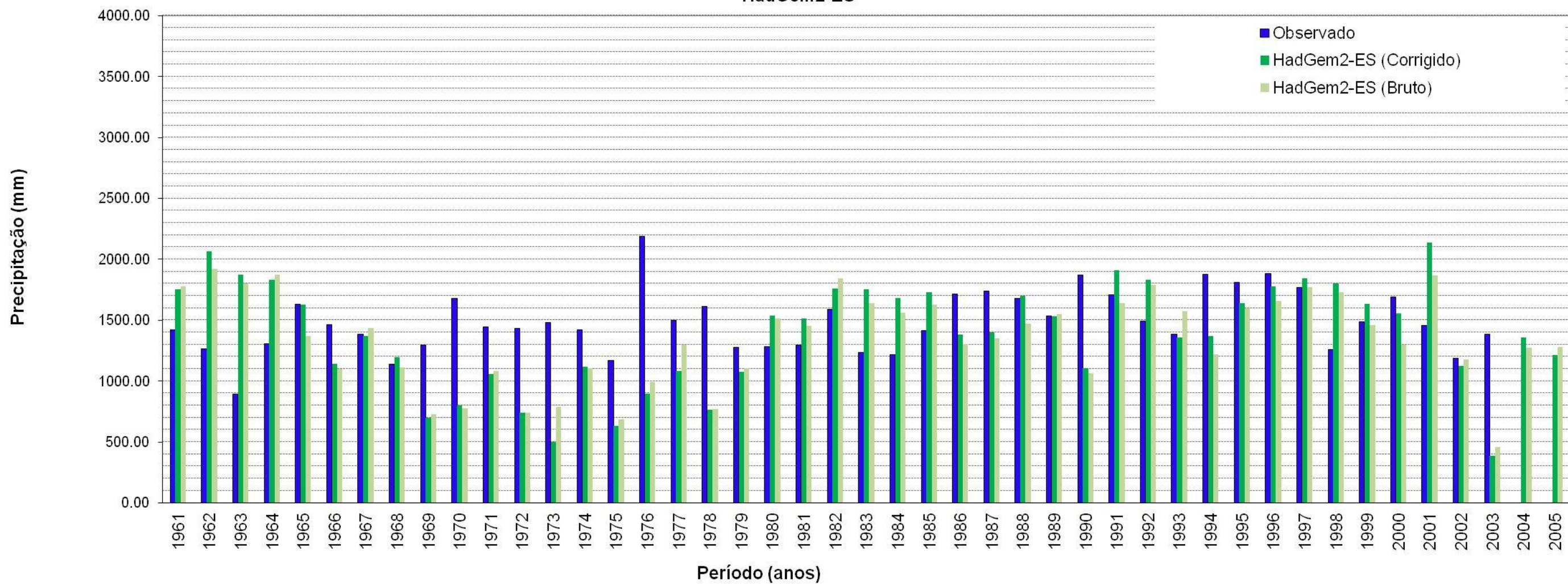


Figura 90. Precipitações totais anuais, dados observados e simulados a partir de modelo HadGem2-ES (São Paulo).

*[Handwritten signature]*

Precipitação Total Anual (1961 - 2005) / Corrigido x Bruto  
Miroc5

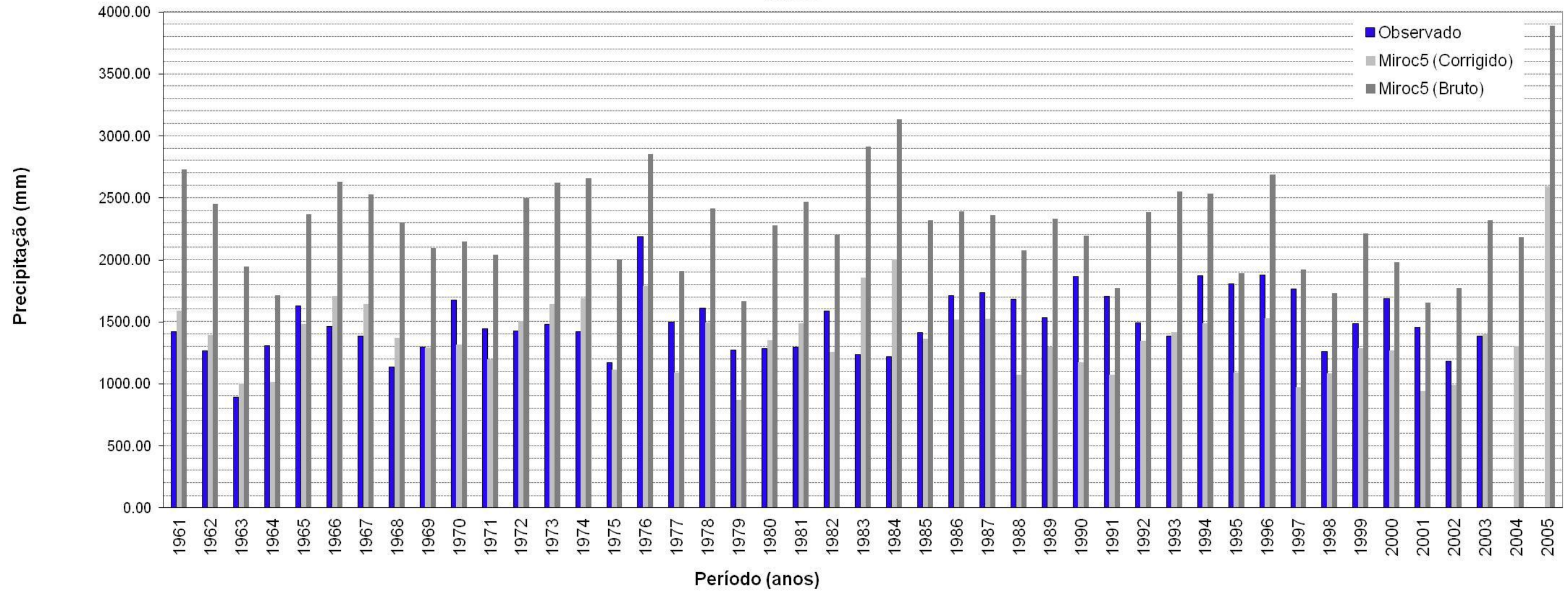


Figura 91. Precipitações totais anuais, dados observados e simulados a partir de modelo Miroc5 (São Paulo).

*Handwritten signature*

#### 2.5.4 Processo de determinação das equações IDF

A mesma sequência de etapas adotadas na determinação da equação IDF de Recife, constante no item 2.1.4, foi adotada para a cidade de São Paulo.

Vale a pena ressaltar que, assim como para Recife e Salvador, as simulações dos modelos climáticos ainda são insuficientes para estabelecer equações IDF futuras, pois estes não conseguem previsões com resolução temporal superior a 3 horas. Além disso, as simulações de precipitações acumuladas em 3 horas são ainda muito imprecisas, dadas as análises de razões 3h/24h.

Como as IDF futuras nesse trabalho foram obtidas por meio de desagregações das chuvas de 24 horas com razões de literatura, baseadas em dados observados passados, não se espera que estas IDF reproduzam um aumento ou redução significativos das intensidades para chuvas de curta duração.

Para os cenários simulados pelos modelos atmosféricos, apresentam-se a seguir as relações obtidas:

##### IPCC 4.5 - HadGem2 ES

$$i = 36,1501.T^{0,1377} / (t+29,641)^{0,9184} \quad (27)$$

##### IPCC 4.5 - Miroc5

$$i = 32,9598.T^{0,1528} / (t+29,937)^{0,9274} \quad (28)$$

##### IPCC 8.5 - HadGem2 ES

$$i = 17,8003.T^{0,1876} / (t+22,729)^{0,8358} \quad (29)$$

##### IPCC 8.5 - Miroc5

$$i = 20,8992.T^{0,1206} / (t+24,644)^{0,8372} \quad (30)$$

em que:



i - intensidade (mm/min), T - Período de retorno (anos) e t - tempo de duração de chuva (min)

### 2.5.5 Estudo comparativo a partir de IDF existente e estimadas para cenários futuros

A Equação 31 representa a expressão matemática de chuvas intensas para a cidade de São Paulo segundo a metodologia apresentada por Martinez Júnior e Magni (2014), para  $10 < t < 1440$  minutos.

$$i = 39,3015(t + 20)^{-0,9228} + 10,1767(t + 20)^{-0,8764} \cdot [-0,4653 - 0,8407 \ln \ln(T / T - 1)] \quad (31)$$

Em que:

i = intensidade média de chuva em mm/min para a duração da chuva de (t) minutos;

T = período de retorno da precipitação em anos.

As Figuras 92 e 93 apresentam a comparação entre as curvas IDFs existente com as curvas IDFs futuras, cenário RCP 4.5, para os modelos HADGEM2-ES e MIROC5 respectivamente, para períodos de retorno de 5, 10, 25, 50 e 100 anos. As curvas existentes apresentam intensidades superiores às das curvas IDFs futuras, principalmente para as precipitações de menor duração, para ambos os modelos. Essas diferenças podem ser decorrência das razões adotadas de literatura para as precipitações inferiores à diária (t = 1440 minutos), uma vez que esta, para ambos os modelos, se encontra muito próxima à observada.

Para períodos de retorno de 5, 10, 25 e 100 anos, as curvas estão apresentando o mesmo comportamento, tanto para o modelo HADGEM2-ES, quanto para o modelo MIROC5.



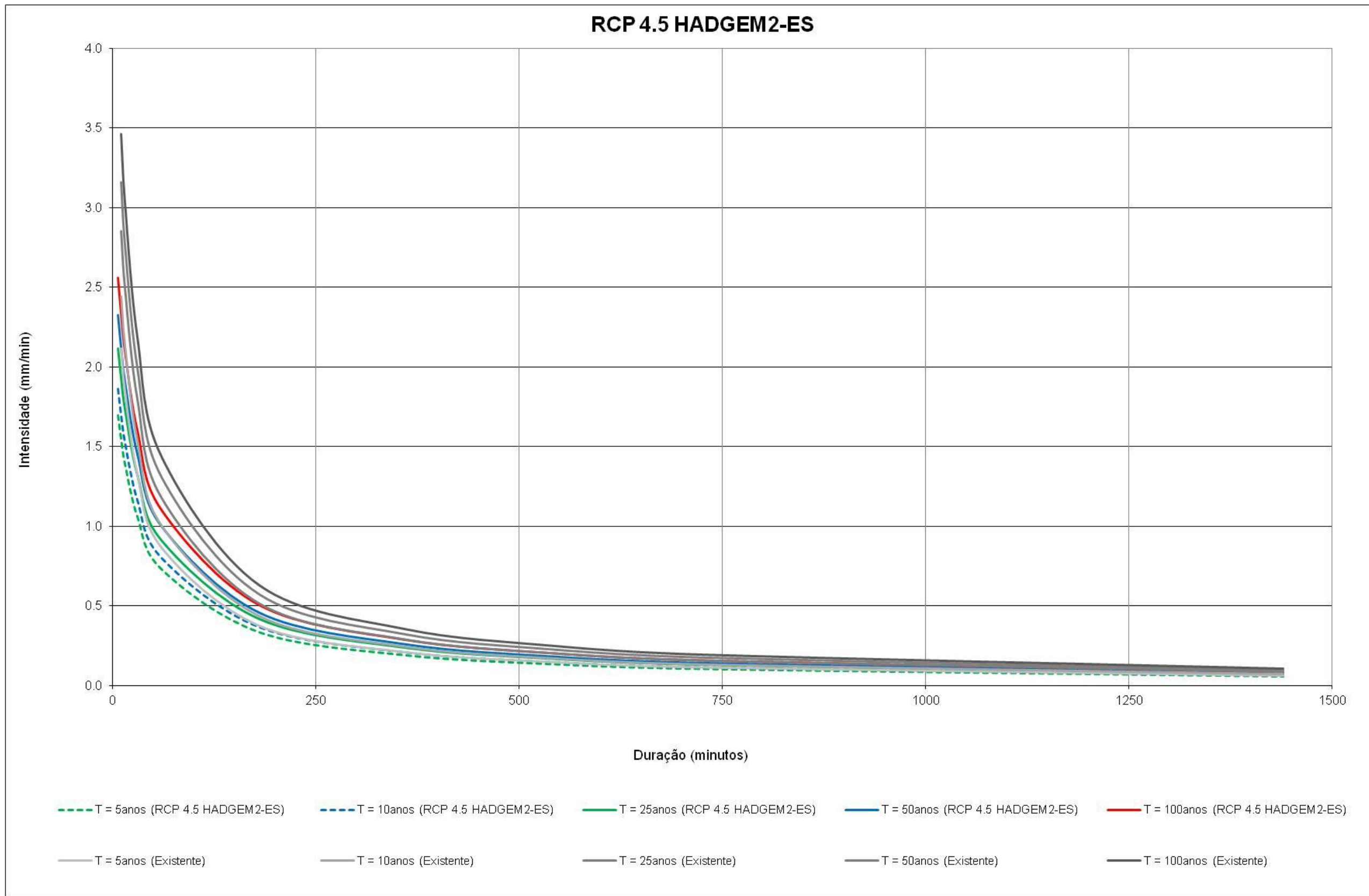


Figura 92. Comparação entre curvas IDF's existente e futura, RCP 4.5 HADGEM2-ES

*Handwritten signature*

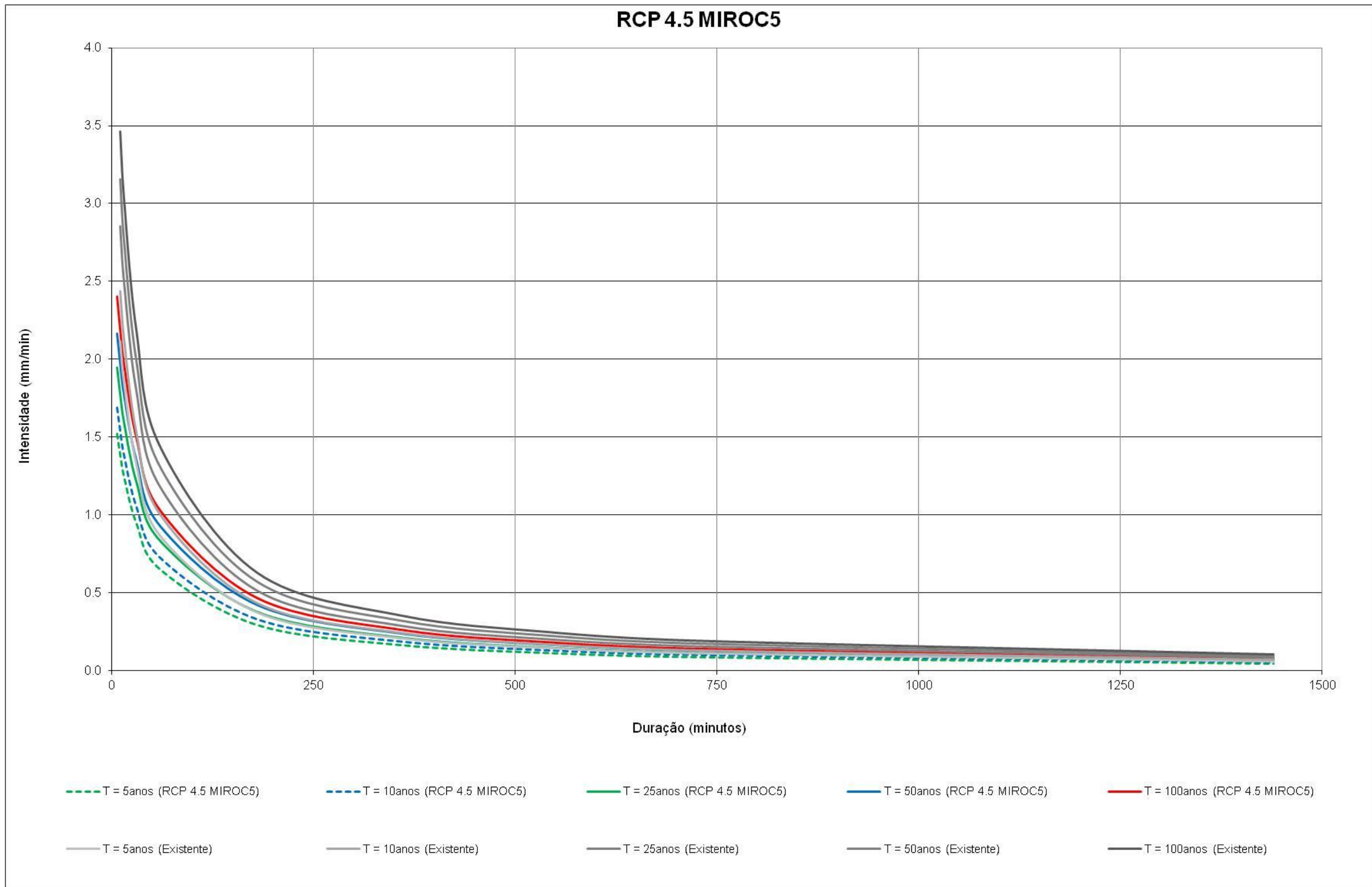


Figura 93. Comparação entre curvas IDF's existente e futura, RCP 4.5 MIROC5

*Handwritten signature*

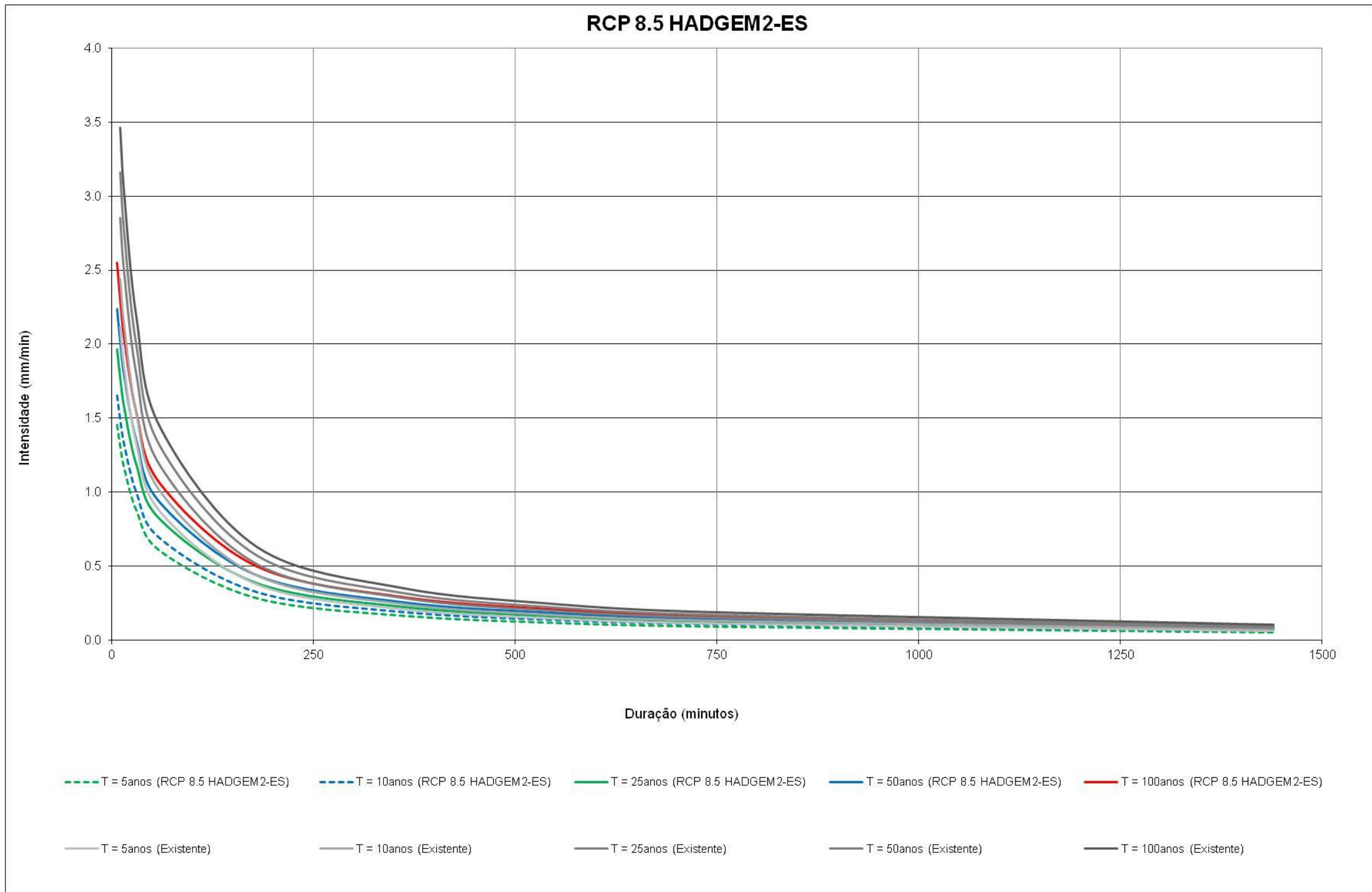
Para o cenário RCP 8.5, os resultados das IDF's futuras estão apresentados nas Figuras 94 e 95, para os modelos HADGEM2-ES e MIROC5, respectivamente. O comportamento das curvas para ambos modelos foi bem semelhante ao cenário 4.5. Esse resultado não garante que no futuro haja um aumento ou redução das intensidades das precipitações, uma vez que o modelo não foi capaz de prever precipitações com durações inferiores a 3 horas. Mesmo para estas, os modelos não apresentam intensidades semelhantes aos valores observados, quando comparados para o período passado. As simulações dos dois modelos em geral apresentam chuvas mais distribuídas, acarretando em reduções nas intensidades de precipitações de curtas durações.

Assim como fora no cenário RCP 4.5, as curvas para períodos de retorno de 5, 10, 25 e 100, cenário RCP 8.5, também apresentam comportamento semelhante às existentes, tanto para o modelo HADGEM2-ES e para o modelo MIROC5.

Diferente dos casos anteriores, o exercício realizado para São Paulo indica intensidades inferiores dos modelos climáticos em relação às projeções baseadas em dados pré-existentes, o que apontaria uma menor pressão sobre os sistemas de drenagem para tempos de retorno maiores que 25 anos. No entanto, da mesma forma que nos casos anteriores, esta diferença se pronuncia em precipitações cuja duração não é bem contemplada nos modelos climáticos.







**Figura 94.** Comparação entre curvas IDFs existente e futura, RCP 8.5 HADGEM2-ES

*Handwritten signature*

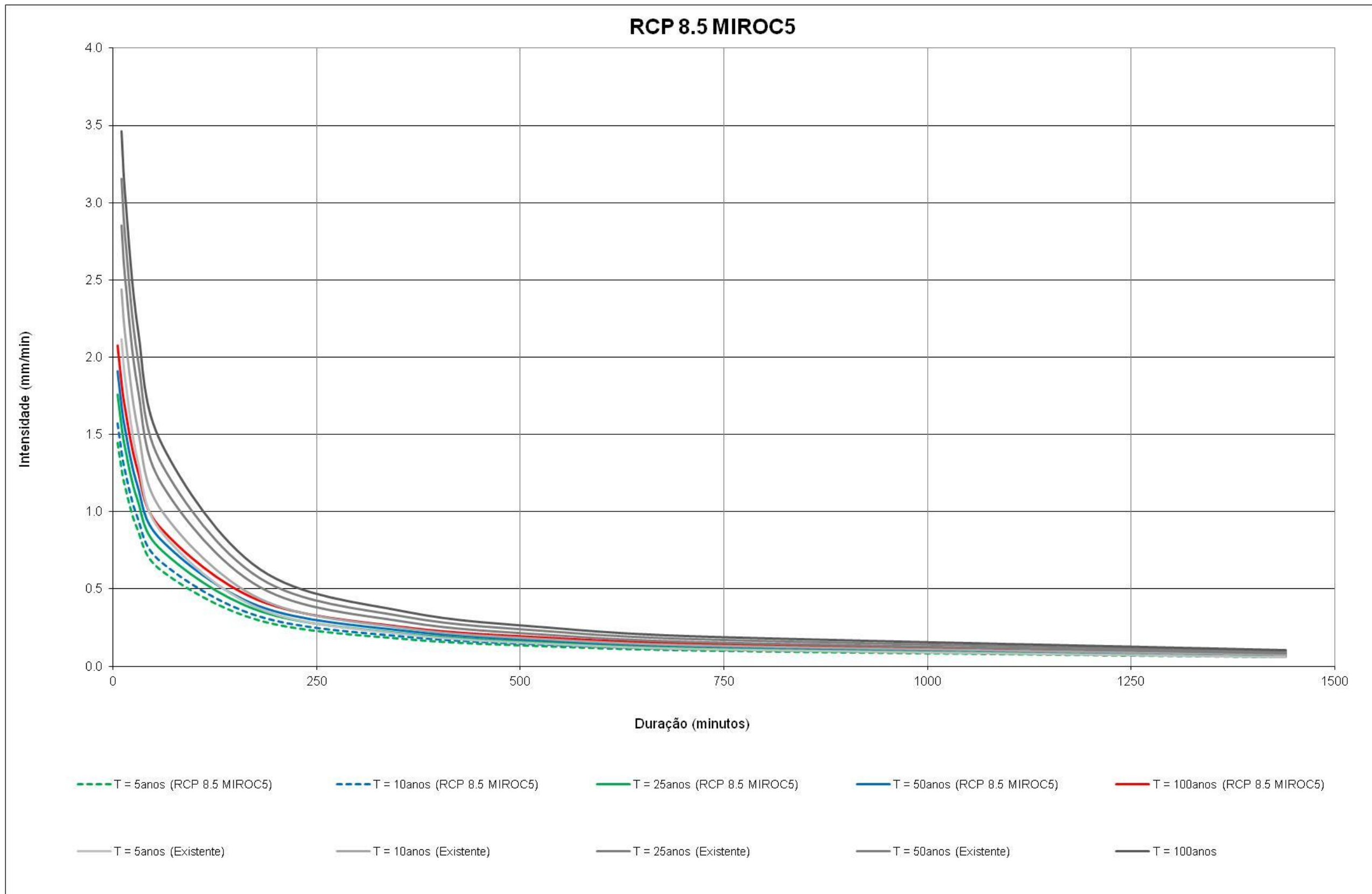


Figura 95. Comparação entre curvas IDF's existente e futura, RCP 8.5 MIROC5

*Handwritten signature*

## **2.5.6 Simulação hidrológica - Método SCS**

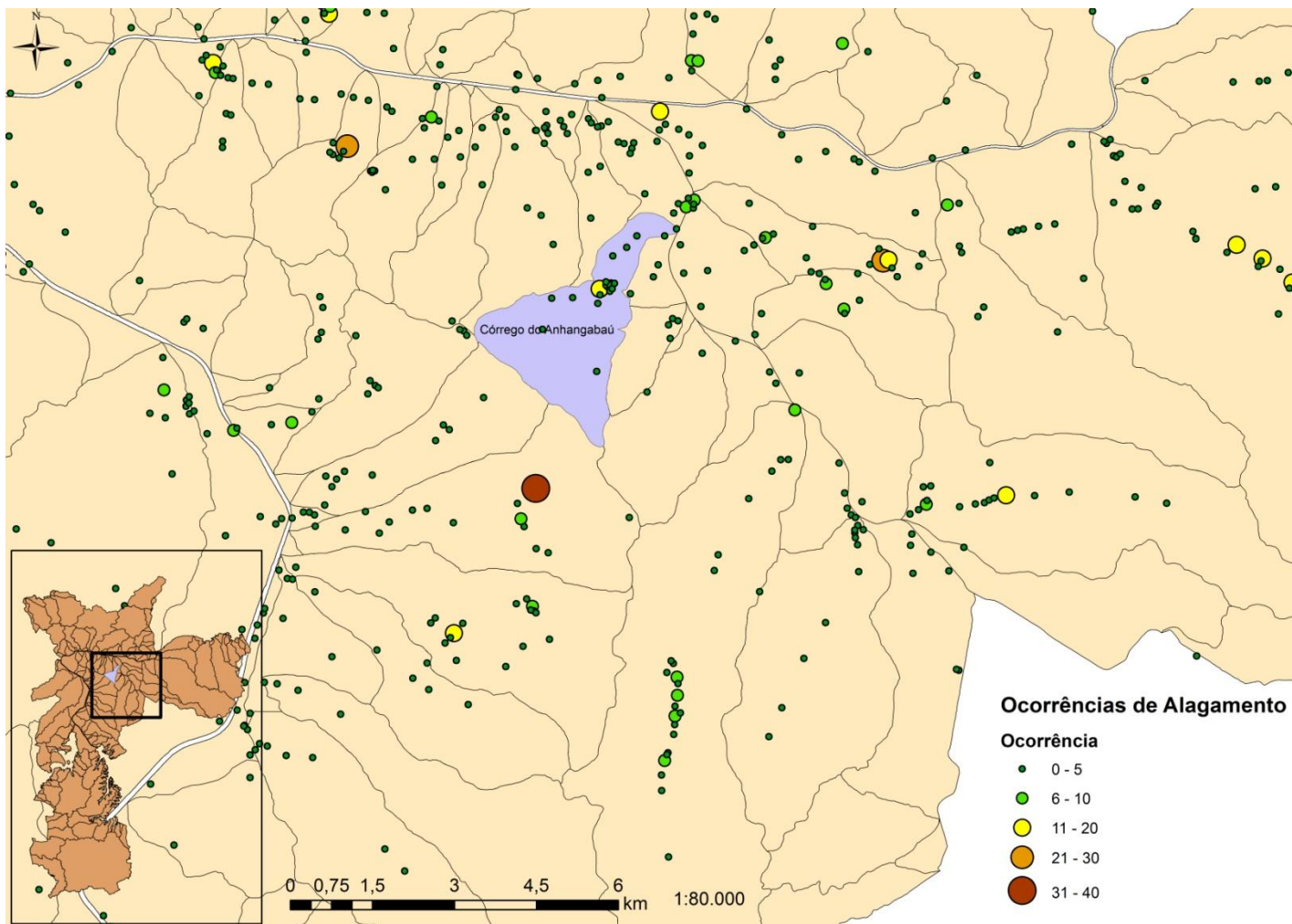
### **Processamento dos dados geográficos**

Diferentemente da metodologia adotada para a município do Rio de Janeiro, a análise espacial para obtenção do parâmetro CN não foi necessária. Conforme apresentado no relatório 2, as análises para aplicação do método SCS partiram dos valores atribuídos ao parâmetro CN indicados no item 6.1 - Valores de "CN" nas Sub-bacias – Município de São Paulo (Tabela 9), obtido de São Paulo (2012).

### **Área de estudo**

Para desenvolvimentos de simulações hidrológicas foi elaborado mapa (Figura 96) a partir de dados obtidos de São Paulo (2014), com números de ocorrências de alagamento no período de 02/01/2008 a 22/05/2014, pontos intrafegáveis. Desse modo, em função de disponibilidade dados, adota-se a bacia do Córrego Anhangabaú como área de estudo.





**Figura 96.** Mapa de pontos de ocorrências de alagamento no município de São Paulo no período de 02/01/2008 a 22/05/2014.

*Alf*

### **Tempo de concentração**

Para simulação de tempo de concentração, os critérios adotados foram os mesmos aplicados ao município do Rio de Janeiro, utilizando: método cinemático e Kirpich Modificado.

### **Análises hidrológicas**

Para o município de São Paulo, os estudos também têm como foco avaliar os possíveis impactos dos eventos extremos de precipitação. Assim, a bacia do Córrego Anhangabaú foi analisada para os mesmos cenários propostos para o Rio de Janeiro, a saber:

- Situação atual (IDF Existente);
- HADGEM2 ES 8.5;
- MIROC5 8.5

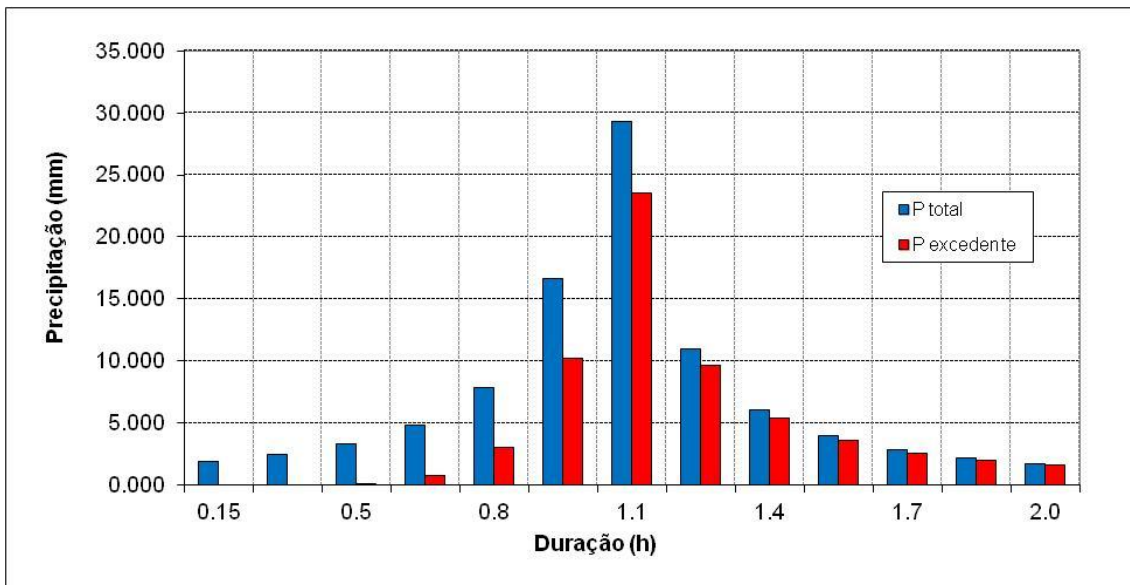
Nas simulações hidrológicas foi considerado o período de recorrência da chuva de 50 anos, e curva IDF segundo Martinez Júnior e Magni (2014), com durações de 1,5 e 2 horas. Para a obtenção dos hietogramas, foi feita a distribuição temporal da precipitação pelo método dos Blocos Alternados.

Observando-se as características fisiográficas da bacia do Córrego Anhangabaú, adotam-se previamente os seguintes parâmetros:

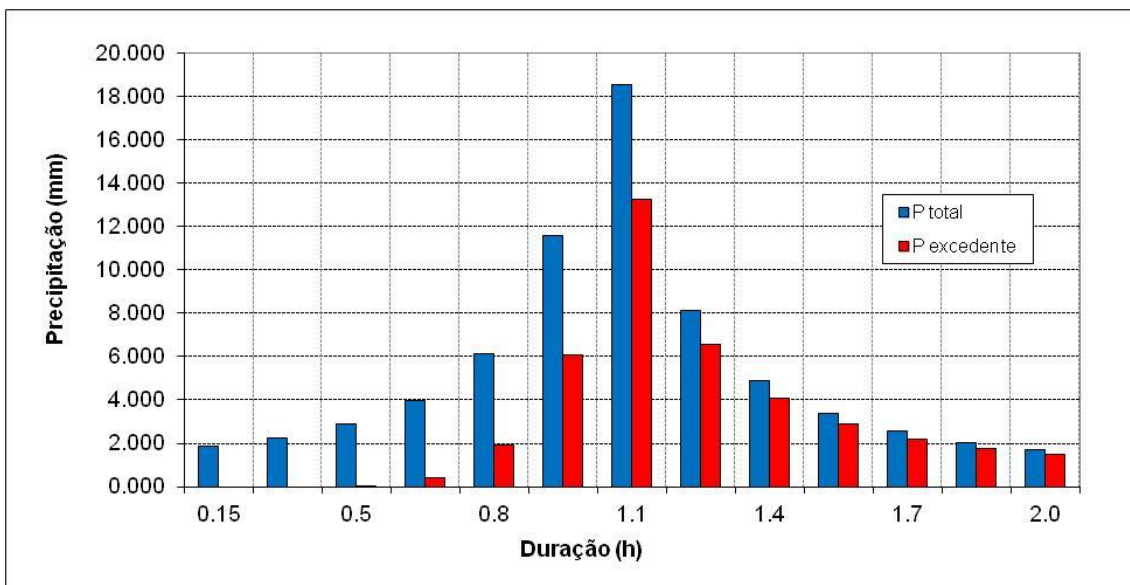
- $CN_{(atual)} = 88$
- Área (km<sup>2</sup>) = 5,29
- L (km) = 3,913
- i (%) = 1,22 (declividade equivalente)

Os hietogramas obtidos para duração de 2 horas estão apresentados nas Figuras 97, 98 e 99. Observa-se por essas figuras que os hietogramas das precipitações excedentes, que é a parcela que corresponde ao escoamento superficial, estão muito próximos aos

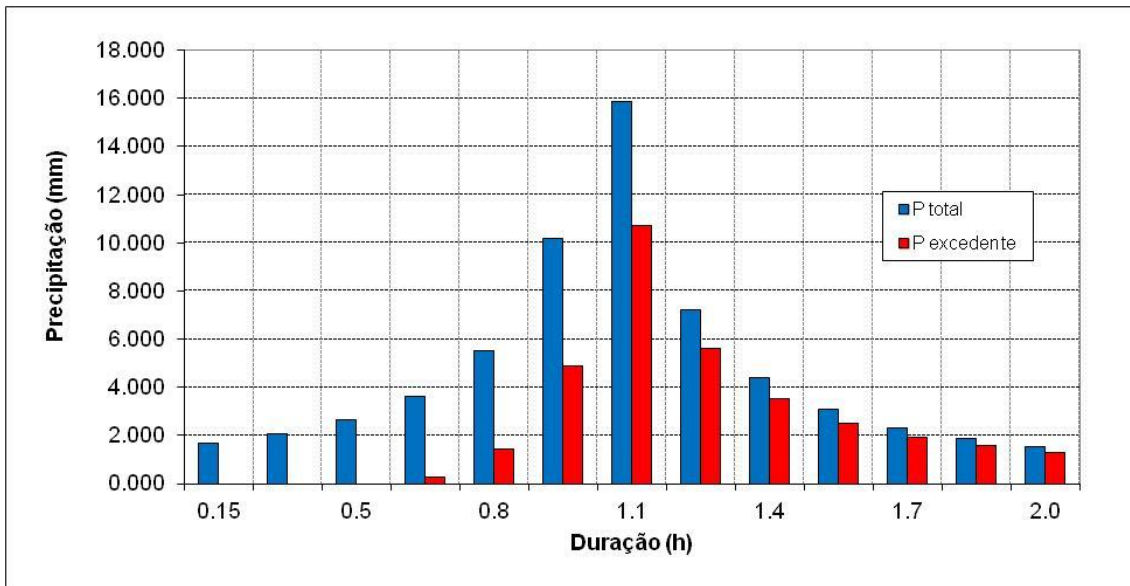
hietogramas das precipitações de projeto. Isso ocorre devido aos elevados valores de CN encontrados para a bacia, que refletem o alto grau de impermeabilização na bacia.



**Figura 97.** Hietograma para  $T_r = 50$  anos, duração 2 horas (situação atual), São Paulo.

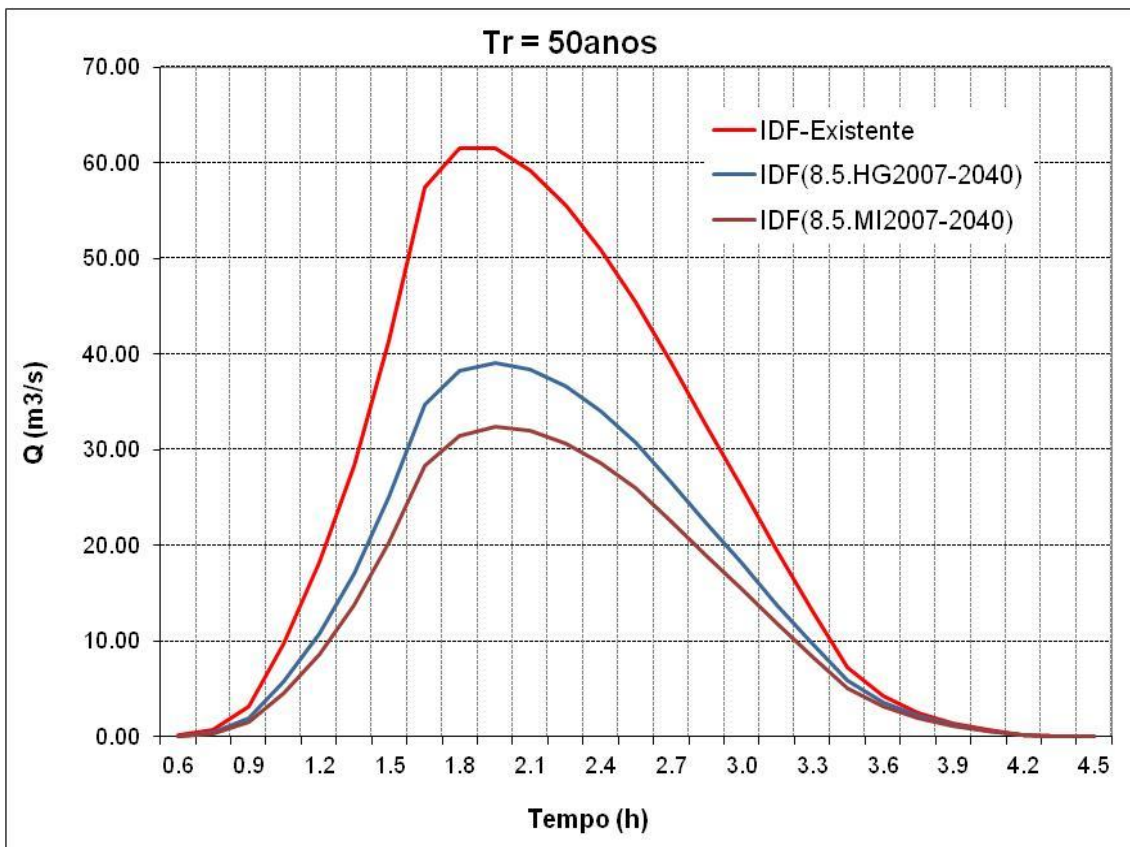


**Figura 98.** Hietograma para  $T_r = 50$  anos, duração 2 horas (Cenário - HADGEM2 ES 8.5), São Paulo.



**Figura 99.** Hietograma para  $Tr = 50$  anos, duração 2 horas (Cenário - MIROC5 8.5), São Paulo.

Na Figura 100 apresentam-se os hidrogramas obtidos para duração de 2 horas, nos diferentes cenários propostos.

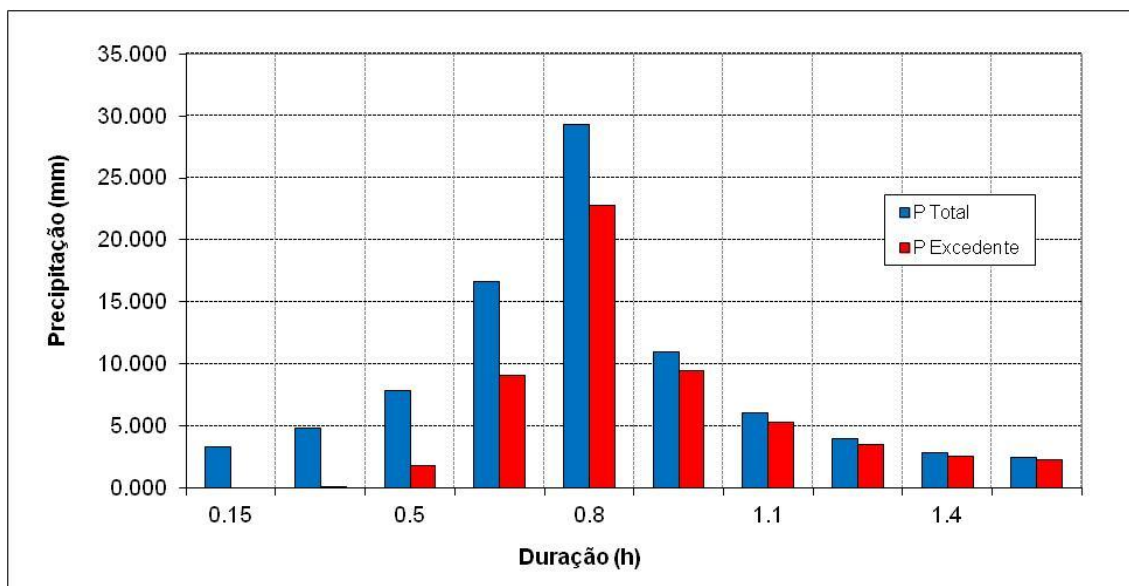


**Figura 100.** Hidrogramas para  $Tr = 50$  anos (duração 2 horas), São Paulo.

*[Handwritten signature]*

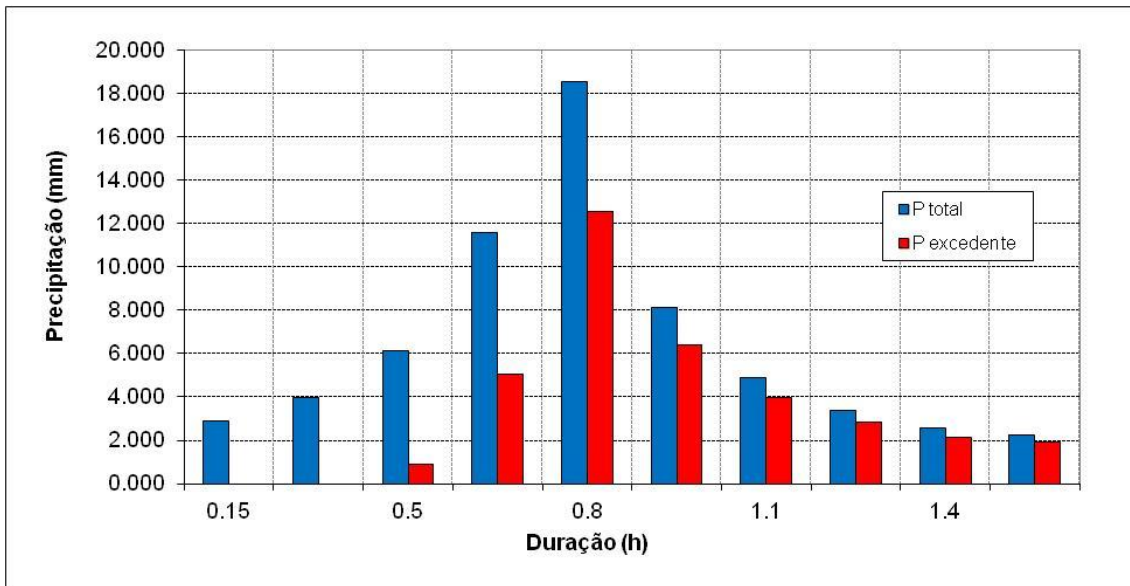
Observa-se uma redução no pico de vazão para ambos os cenários futuros, quando comparado ao cenário atual. Essa redução representa 36% e 47%, quando comparado aos cenários HADGEM2 ES 8.5 e MIROC5 8.5, respectivamente. Isso é reflexo das IDF encontradas para os dois cenários (item 2.5.5). Esses valores, entretanto, não devem ser olhados como verdades absolutas, pois como já comentado no item 2.5.4, as IDF futuras foram ajustadas com razões de precipitação inferiores à diária, de literatura, pelo fato dos modelos ainda não conseguirem simular precipitações com uma resolução temporal superior a 3 horas. As razões de 3h/24h, em ambos modelos, apresentaram-se bastante inferiores aos valores observados de literatura, os quais são obtidos de dados observados. Isso significa que, de modo geral, os modelos tendem a distribuir as precipitações durante o dia, reduzindo as intensidades de precipitações de curta duração, as quais, via de regra, são as que provocam problemas de alagamentos e enchentes no sistema de drenagem urbano.

Para duração de 1,5 hora, os hietogramas obtidos são apresentados nas Figuras 101, 102 e 103.

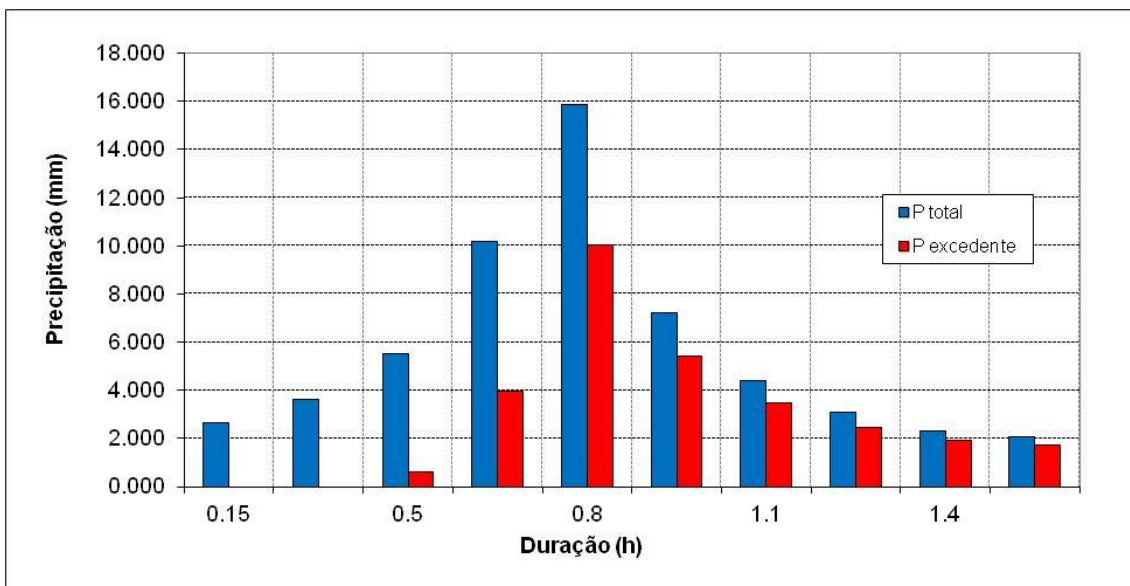


**Figura 101.** Hietograma para  $T_r = 50$  anos, duração 1,5 horas (situação atual), São Paulo.



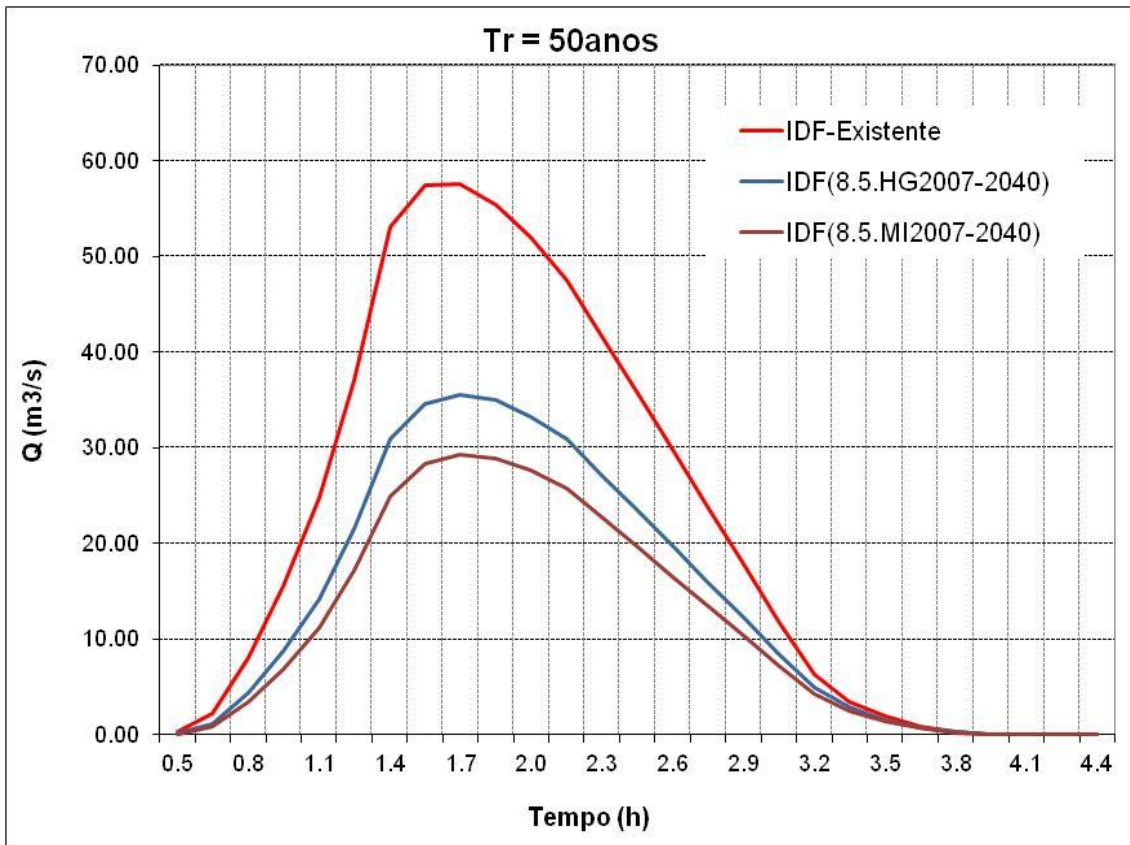


**Figura 102.** Hietograma para  $T_r = 50$  anos, duração 1,5 horas (Cenário - HADGEM2 ES 8.5), São Paulo.



**Figura 103.** Hietograma para  $T_r = 50$  anos, duração 1,5 horas (Cenário - MIROC5 8.5), São Paulo.

Na Figura 104 apresentam-se os hidrogramas obtidos para duração de 1,5 horas, nos diferentes cenários propostos.



**Figura 104.** Hidrogramas para  $Tr = 50$  anos (duração 1,5 horas), São Paulo.

Finalmente, para a simulação considerando duração de 1,5 hora, a redução no pico de vazão para ambos os cenários futuros, quando comparado ao cenário atual, representa 38% e 49%, quando comparado aos cenários HADGEM2 ES 8.5 e MIROC5 8.5, respectivamente.

Se comparada com a duração de precipitação de 2 horas, a vazão de pico foi reduzida em 9% para o modelo HADGEM2-ES e em 10% para o MIROC5.

As mesmas análises e considerações feitas a respeito dos resultados de vazão obtidos para a duração de precipitação de 2 horas são válidas para a de 1,5 hora.

### 3. Considerações finais

Os resultados das análises apontaram que para todas as cidades analisadas, as razões de precipitações de 3h/24h para ambos os modelos climáticos globais apresentam-se bastante aquém das razões observadas, quando comparado o período passado. Isso indica, analisando juntamente as curvas de distribuição acumuladas e os máximos anuais das precipitações diárias, que os modelos em geral simulam precipitações mais

distribuídas ao longo dos dias. Com isso, há uma redução nas intensidades das precipitações com durações inferiores à diária, as quais, em geral, são as que provocam alagamentos e enchentes nos centros urbanos.

Somado a esse fato, a melhor resolução temporal dos modelos climáticos utilizados neste estudo é de 3 horas, ou seja, não é possível prever intensidades de precipitações para durações inferiores a 3 horas. Para a geração de curvas de intensidade-duração-frequência (IDF) de precipitações, são necessárias intensidades para durações a partir de 10 minutos aproximadamente. Ou seja, não foi possível usar os dados dos modelos para precipitações de curtas durações.

Para conseguir então gerar as curvas IDFs futuras, foram utilizadas as proporções de literatura, que são baseadas em dados passados. Ou seja, projetou-se para o futuro os padrões já observados no passado, diferenciando apenas os dados de precipitações diárias.

Observou-se tanto para São Paulo, quanto para o Rio de Janeiro, para onde foram realizadas as simulações hidrológicas, que o hietograma da precipitação excedente, que é a parcela que corresponde ao escoamento superficial, apresenta-se muito próximo ao hietograma da precipitação de projeto. Isso é decorrência dos altos valores de CN encontrados nas duas bacias estudadas, que são reflexo do alto grau de impermeabilização, ou seja, a maior parte da precipitação é convertida em escoamento superficial, com baixas taxas de infiltração.

Observou-se para todas as cidades que a técnica de correção de viés aproximou os dados de precipitação diárias simulados aos dados observados, analisando o período passado.

Na comparação entre IDFs projetadas a partir dos dados existentes e aquelas obtidas a partir das projeções climáticas, notou-se uma diferenciação, especialmente na faixa de precipitações de duração entre 50 e 300 minutos. Para Fortaleza, Salvador e Recife, há um aumento da intensidade de precipitações nos cenários mais críticos dos modelos climáticos, indicando uma maior pressão futura sobre os sistemas de drenagem. Para o Rio de Janeiro, isso se pronuncia apenas no cenário MIROC 8.5; e para São Paulo



ocorre o inverso: as IDFs baseadas em dados pré-existentes são maiores que as projetadas a partir dos modelos climáticos, especialmente nos maiores períodos de retorno. Entretanto, em função das limitações oriundas da desagregação dos dados e da baixa resolutividade temporal dos modelos climáticos para análise de eventos extremos de precipitação, esta inferência fica prejudicada. Embora não se possa afirmar nada a este respeito, os indícios encontrados apontam a necessidade de se estudar melhor estes aspectos, dado que tais diferenças, uma vez confirmadas a partir de análises mais precisas, podem significar uma demanda de revisão e reajuste de fatores de segurança para construção de sistemas de drenagem urbana, de modo a fazer frente à cenários críticos de mudanças climáticas, como fator de adaptação.

Finalmente, as vazões encontradas para as bacias estudadas refletiram o comportamento das IDFs ajustadas. Para reduzir as vazões de pico encontradas deve-se atuar no sentido de promover um maior distanciamento entre o Hietograma da precipitação de projeto e o Hietograma da precipitação excedente, ou seja, favorecer a infiltração por meio de áreas mais permeáveis.

### Rio de Janeiro

Para a cidade do Rio de Janeiro, enquanto as simulações hidrológicas feitas a partir do modelo HADGEM2-ES apontaram um aumento de vazão de 16% para a bacia de estudo, as simulações a partir do modelo MIROC5 apontaram um decréscimo de 13%, para um período de retorno de 50 anos, RCP 8.5 e uma precipitação com duração de 3 horas. Esses valores, entretanto, não devem ser analisados com cautela, pois como já comentado, eles refletem o comportamento das IDFs ajustadas, as quais se valeram de premissas que não necessariamente refletem o comportamento climático futuro.

Entretanto, tendo em vista o cenário mais crítico em termos de sistema de drenagem urbana, ou seja, um aumento de 16 % de vazão, a situação nas bacias urbanas pode se agravar.

Segundo Canholi e Graciosa (2011), existem várias condicionantes naturais e antrópicas que favorecem a ocorrência de inundações no município do Rio de Janeiro. Dentre os aspectos naturais, pode-se destacar o relevo, que impõe a disposição da



cidade em planícies costeiras entre montanhas, desencadeando a ocorrência de precipitações intensas, devido aos efeitos orográficos e, a formação de cheias devido a escoamentos rápidos associados às fortes declividades, com tempos de concentração menores. Aliado a isso, as baixas taxas de infiltração resultante de camadas solos predominantemente argilosos sobre rocha, e grandes áreas de rocha sã, também contribuem para a formação dos picos de vazão, além de reduzir a capacidade hidráulica dos canais nas partes mais baixas.

E quanto às condicionantes naturais, pode-se destacar a expansão urbana, principalmente pela ocupação dos morros, a ocupação das baixadas e áreas de várzea. (CANHOLI; GRACIOSA, 2011)

Nesse contexto, a bacia hidrográfica canal do Mangue, objeto desses estudo, caracteriza-se como uma das mais problemáticas. Nela se localiza a sede da Prefeitura Municipal, o estádio do Maracanã e o Sambódromo, além sistemas viários fundamentais para a cidade, como a Radial Oeste, Av. Presidente Vargas, Praça da Bandeira e Linha Férrea, importantes equipamentos urbanos

Várias intervenções foram realizadas nessa bacia ao longo dos anos, o que altera significativamente a configuração original do sistema de macrodrenagem. Essas alternativas visam em geral reservação, ampliação de capacidade ou desvio e derivação de cursos d'água.

Desse modo, os resultados obtidos no estudo de IDFs devem ser analisados com cautela, uma vez que retratam impactos isolados, basicamente na parcela de escoamento superficial, não considerando efeitos de amortecimento - seja de obras executadas e/ou em andamento, visando o aumento do tempo de concentração da bacia e mitigação dos impactos, sobretudo aqueles desencadeados pela implantação de canais artificiais que concentram em si o lançamento proveniente de grandes áreas de drenagem, o caso da bacia hidrográfica do canal do Mangue.

### São Paulo

As simulações hidrológicas para a bacia do Anhangabaú apresentaram drásticas reduções na vazão de picos, 38% para as simulações a partir do modelo HADGEM2-ES



e 49% a partir do MIROC5, para um período de retorno de 50 anos, RCP 8.5 e uma precipitação com duração de 1,5 hora. Mais uma vez vale a pena ressaltar que isso é reflexo das IDFs futuras ajustadas, para as quais não foi possível a obtenção das intensidades para precipitações futuras de curtas durações.

No entanto, tem se observado para a cidade de São Paulo, que as intensidades das precipitações têm se intensificado. As inundações no Anhangabaú se tornaram um problema crítico e crônico para a cidade de São Paulo e que vem sendo enfrentado há décadas, sem que se tenha chegado a sua solução. Ocorrem na região da Avenida Nove de Julho, Praça da Bandeira e Túnel do Anhangabaú apresentam frequência da ordem de 4 vezes ao ano (FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE HIDRÁULICA, 2013)

Os alagamentos que ocorrem em vias públicas e em áreas privadas da Bacia do Anhangabaú são extremamente frequentes. De acordo com levantamento feito com informações fornecidas pela Cia. Engenharia de Tráfego – CET (SÃO PAULO, 2014).

Localizada na região central do Município de São Paulo, a bacia hidrográfica do Anhangabaú abrange uma área de aproximadamente 5,4 Km<sup>2</sup>.

"Inicialmente há de se ressaltar que as descargas máximas da foz da bacia, para a condição atual, apresentam-se limitadas pela capacidade das galerias existentes, mesmo para TR = 100 anos. Isto se justifica com as extensas inundações que ocorrem em toda a bacia, retendo as águas a montante e amortecendo as descargas de pico na foz do córrego." (FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE HIDRÁULICA, 2013)

Assim, do mesmo modo como destacado para o município do Rio de Janeiro, os resultados obtidos no estudo de IDFs devem ser analisados de forma correlata, uma vez que retratam impactos basicamente na parcela de escoamento superficial, não considerando efeitos de amortecimento - seja de obras executadas e/ou em andamento, sobretudo nessas condições de escoamento superficial, que dependem do grau de uso e ocupação de uma bacia hidrográfica, e reflete o grau de impermeabilização do solo na bacia hidrográfica do Anhangabaú.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Brasil, Secretaria de Assuntos Estratégicos, SAE (2015). Adaptação às Mudanças do Clima: Cenários e Alternativas – Recursos Hídricos. Relatório Parcial. Brasília: SAE, 2015.

Bertoni, J. C.; Tucci, C. E. M. (1993) Precipitação, In: TUCCI, C. E. M. (org.), Hidrologia: Ciência e Aplicação, Editora da Universidade, Porto Alegre, p. 177-241.

Canholi, A. P. (2005) Drenagem urbana e controle de enchentes. São Paulo: Oficina de Textos.

Canholi, A. P.; Graciosa, M. C. P. (2011) Enchentes na cidade do Rio de Janeiro - Causas e soluções - Estudo de caso: Bacia do Canal do Mangue. In: Anais XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Maceió, Brasil, ABRH.

Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica (2013) Análise de alternativas para o controle de inundações no Vale do Anhangabaú. Contrato 071/SIURB/11, firmado entre a Prefeitura do Município de São Paulo e a Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica (Rev. Jan/2014).

Gonçalves, L. S. (2011) Relações intensidade-duração-frequência com base em estimativas de precipitação por satélite. Diss. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Gumbel, E. J. (1958) Statistics of Extremes. New York: Columbia University Press, 375 p.

Martinez Jr, F., Magni, N. L. G. (2014) Equações de chuvas intensas do Estado de São Paulo. Governo Do Estado De São Paulo-Secretaria De Recursos Hídricos, Saneamento E Obras-Departamento De Águas E Energia Elétrica-Centro Tecnológico De Hidráulica E Recursos Hídricos.

Naghetini, M.; Pinto, E. J. A. (2007) Hidrologia estatística. Belo Horizonte: CPRM, 552 p.

Piani, C.; Haerter, J. O.; Coppola, E. (2010) Statistical bias correction for daily precipitation in regional climate models over Europe. Theor Appl Climatol 99:187–192

Ramos, M. A.; Azevedo, J. R. G. (2010) Nova equação de chuvas intensas para a cidade de Recife-Pernambuco. X Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. Fortaleza/Ceará.

Rio de Janeiro (2010) Instruções técnicas para elaboração de estudos hidrológicos e dimensionamento hidráulico de sistemas de drenagem urbana. Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro. Fundação Instituto das Águas do Município do Rio de Janeiro.

Rio de Janeiro (2014) Pontos de drenagem em processamento - COR. Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro. Fundação Instituto das Águas do Município do Rio de Janeiro.

São Paulo (2012) Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano. Manual de drenagem e manejo de águas pluviais: aspectos tecnológicos; fundamentos. São Paulo: SMDU.

São Paulo (2014) Secretaria Municipal de Infraestrutura Urbana e Obras. Relatório de atividade: Operação Chuvas de Verão. São Paulo: CGE.

Silva, F. O. E.; Palácio Júnior, F. F. R., Campos, J. N. B. (2013) Equação de chuvas para Fortaleza-CE com dados do pluviógrafo da UFC. Revista DAE. nº 192 - maio / agosto

Teutschbein, C.; Seibert, J. (2012) Bias correction of regional climate model simulations for hydrological climate-change impact studies: Review and evaluation of different methods. J Hydrol, 456–457: 12-29

Torrico, J. T. (1974) Práticas Hidrológicas. Rio de Janeiro. Brasil.

Tschöke, G. V. (2014) Correção do viés das simulações de precipitação do modelo climático regional Eta para a área da bacia do Rio Juqueriquerê. Dissertação de mestrado. Instituto Tecnológico de Aeronáutica.

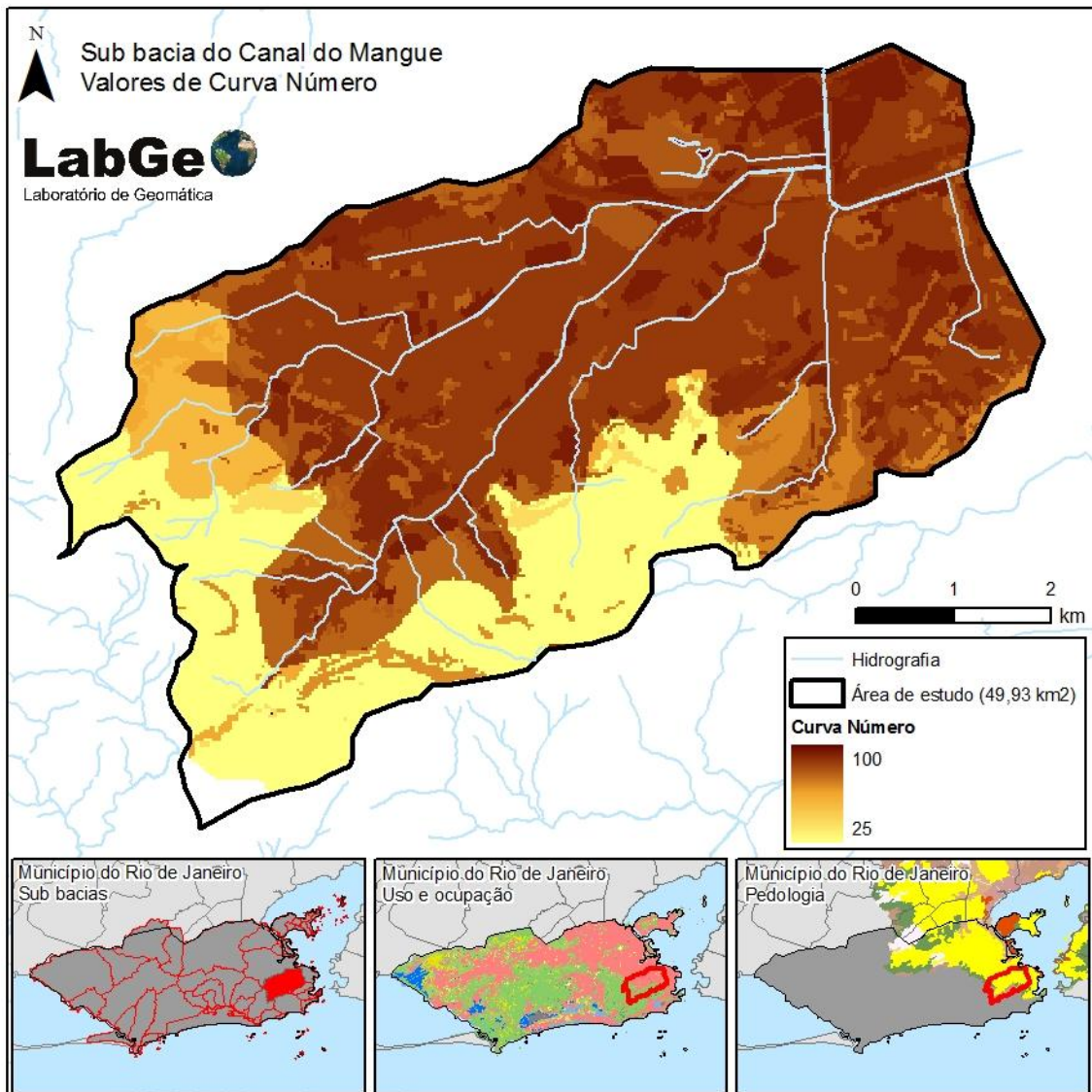
United States (2013) Federal Aviation Administration. Advisory circular 150-5320/5D. Washington, DC.

Vendrame, I. F., Lopes, W. A. L. (2005) Análise do crescimento urbano e seus efeitos na mudança da dinâmica de escoamento superficial da bacia do Pararangaba. In: Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, INPE, p. 2555-2562.

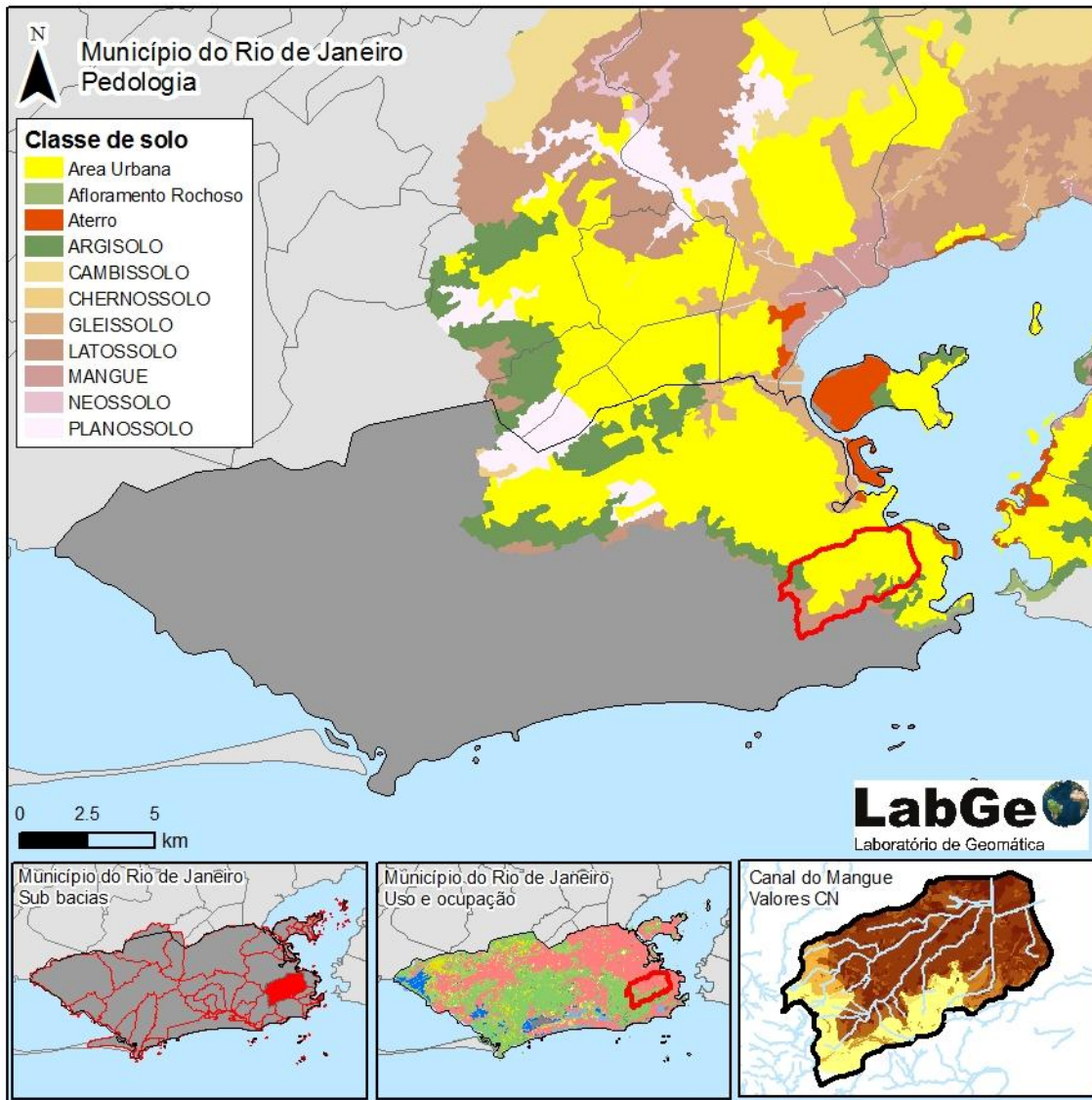




**APÊNDICE A – Valores de “CN – Atual” da bacia Canal do Mangue – Município do Rio de Janeiro.**

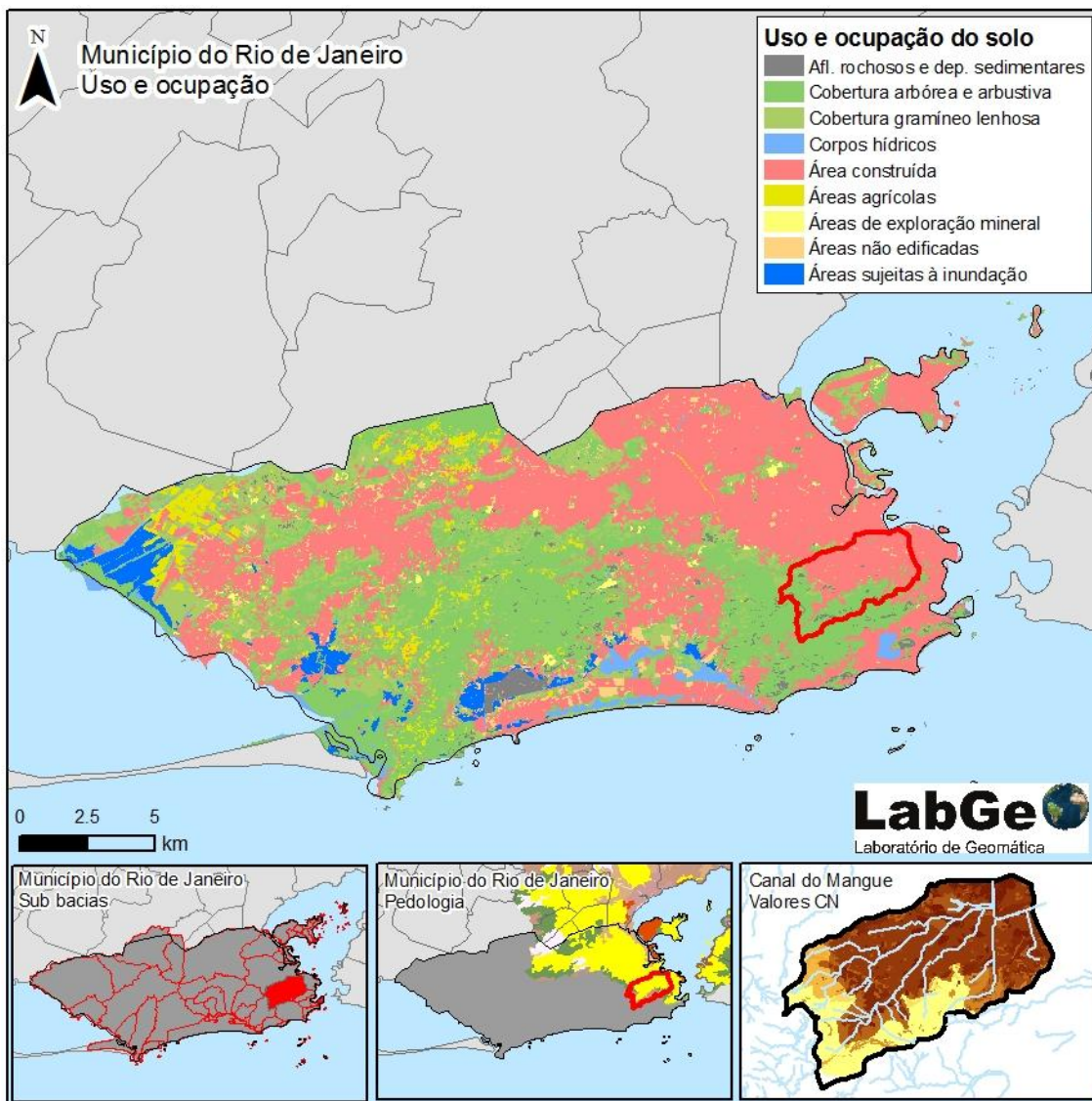


**APÊNDICE B – Mapa de pedologia do Município do Rio de Janeiro - área de influência da bacia da baía da Guanabara.**

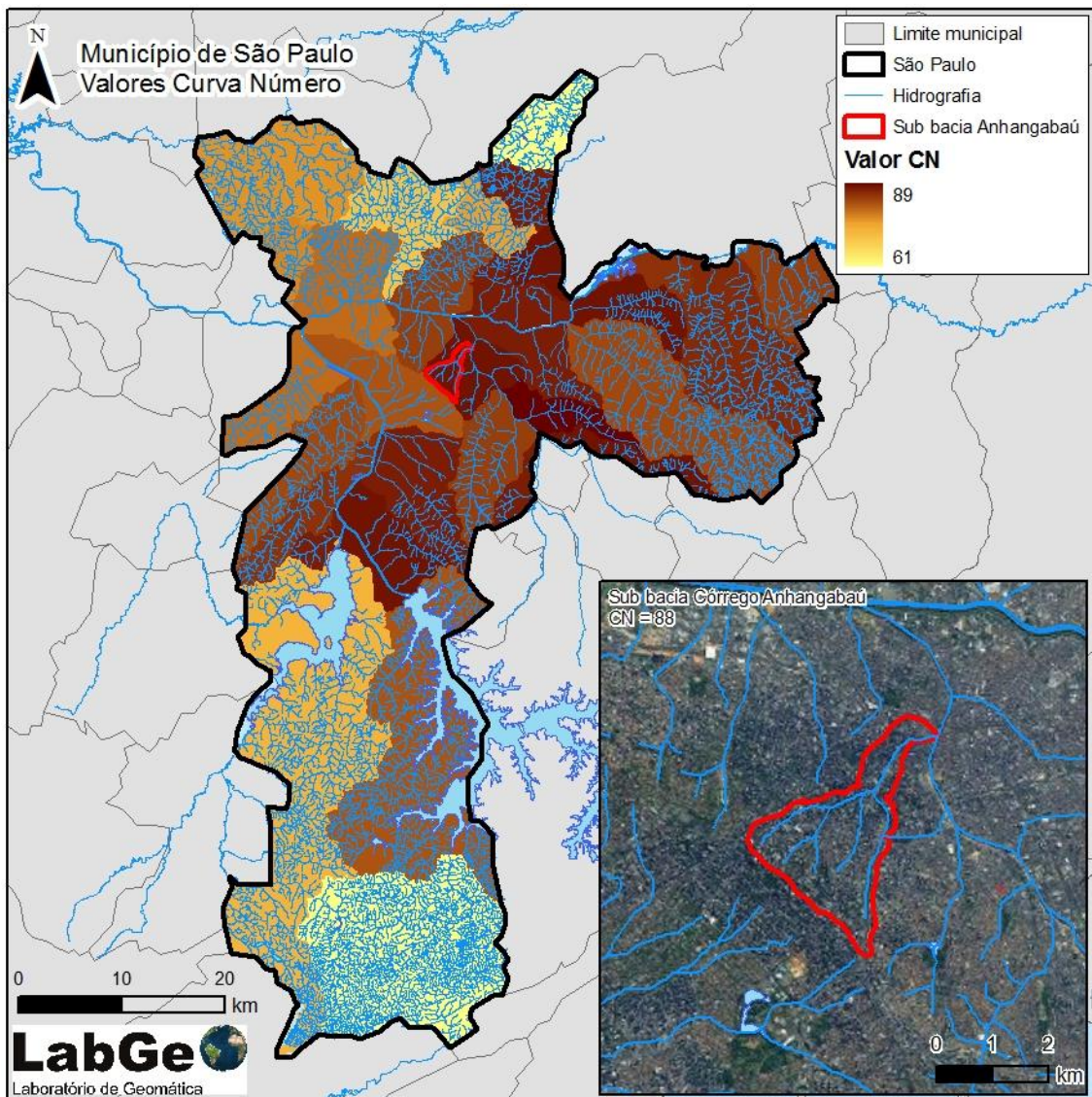


*[Handwritten signature]*

**APÊNDICE C – Mapa de uso e ocupação do solo - do Município do Rio de Janeiro.**



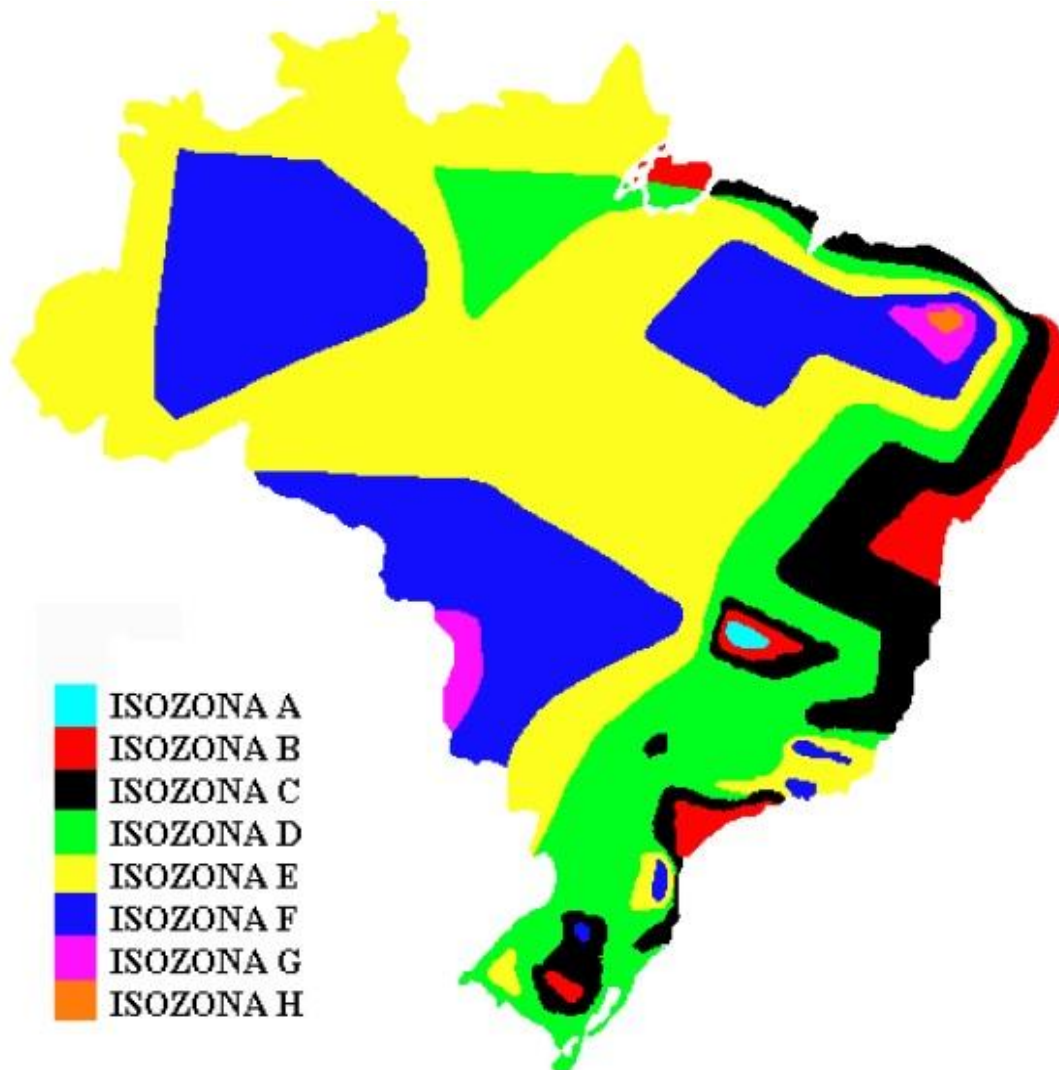
**APÊNDICE D – Valores de “CN – Atual” do Município de São Paulo, destaque da bacia do Córrego Anhangabaú.**



**ANEXO A – Coeficientes  $\mu_y$  e  $\delta_y$  para a determinação do fato K de Gumbel (adaptado de Gumbel, 1958)**

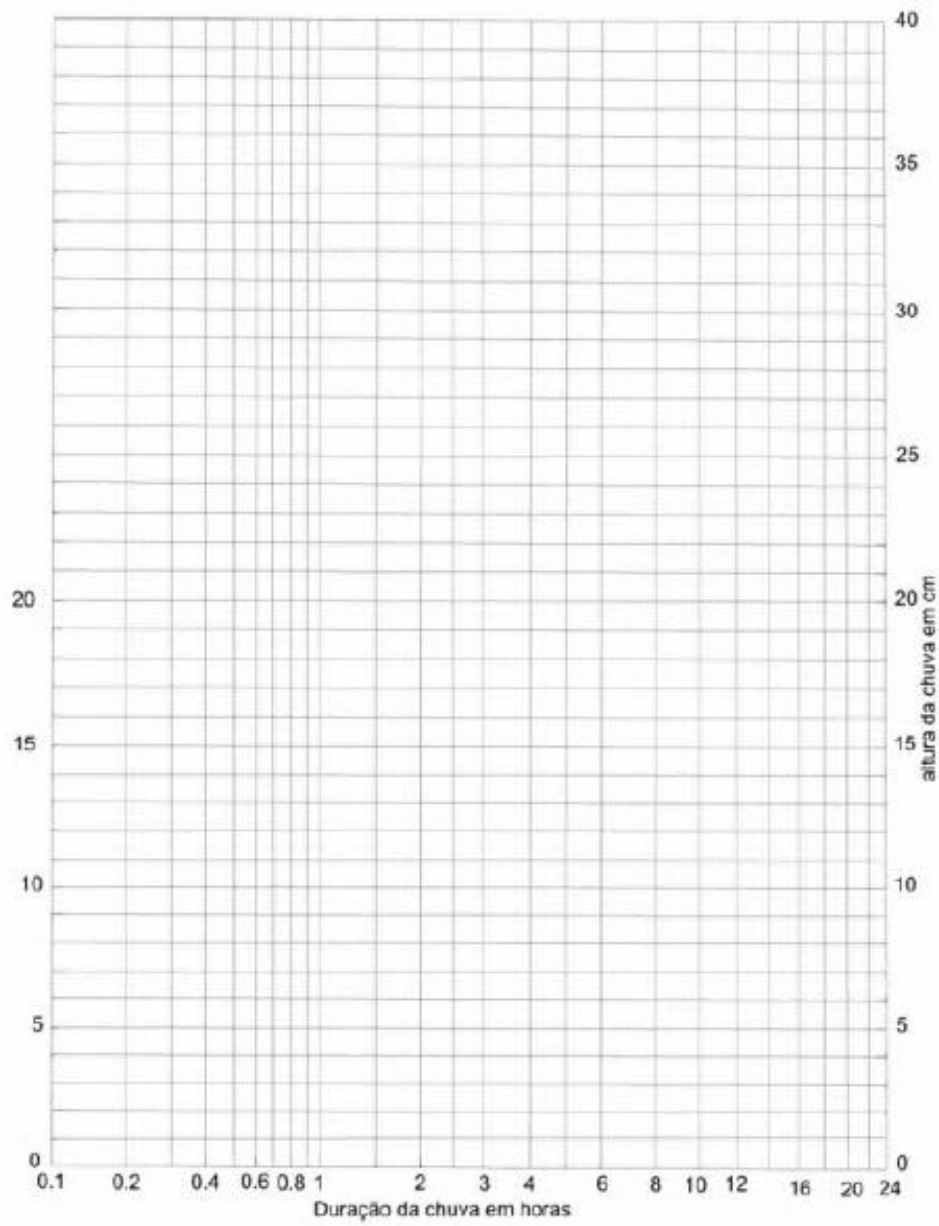
<b>Número de dados</b>	<b><math>\mu_y</math></b>	<b><math>\delta_y</math></b>
10	0,4952	0,9496
15	0,5128	1,0206
20	0,5236	1,0628
25	0,5309	1,0914
30	0,5362	1,1124
35	0,5403	1,1285
40	0,5436	1,1413
45	0,5463	1,1518
50	0,5485	1,1607
55	0,5504	1,1682
60	0,5521	1,1747
65	0,5535	1,1903
70	0,5548	1,1854
75	0,5559	1,1898
80	0,5569	1,1838
85	0,5578	1,1974
90	0,5586	1,2007
95	0,5593	1,2037
100	0,5560	1,2065
Infinito	0,5772	1,2825

## ANEXO B – Mapa de Isozonas de igual razões de precipitação



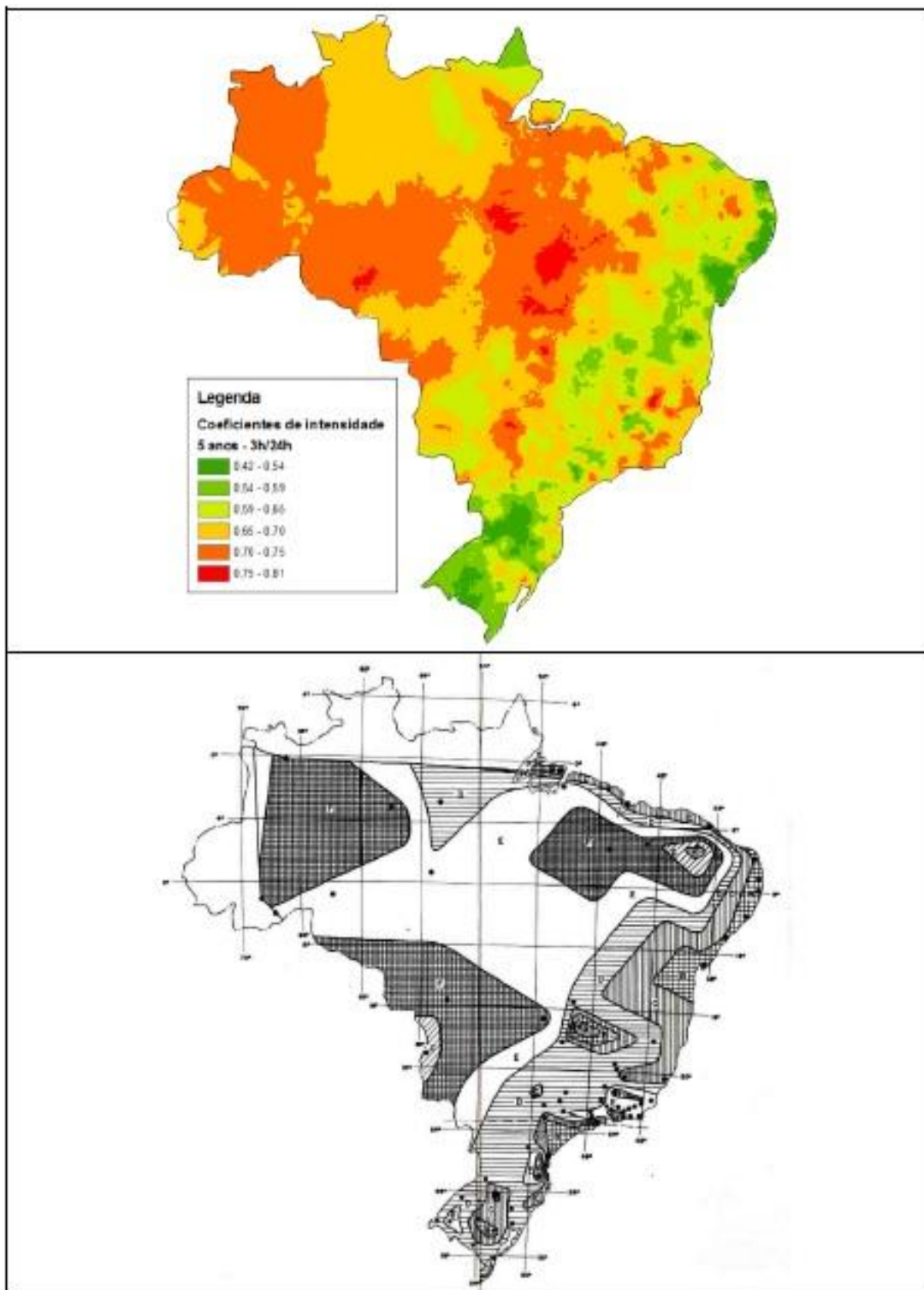
Fonte : Simões (2000)

## ANEXO C – Papel de probabilidade



Fonte: Torrico, 1974

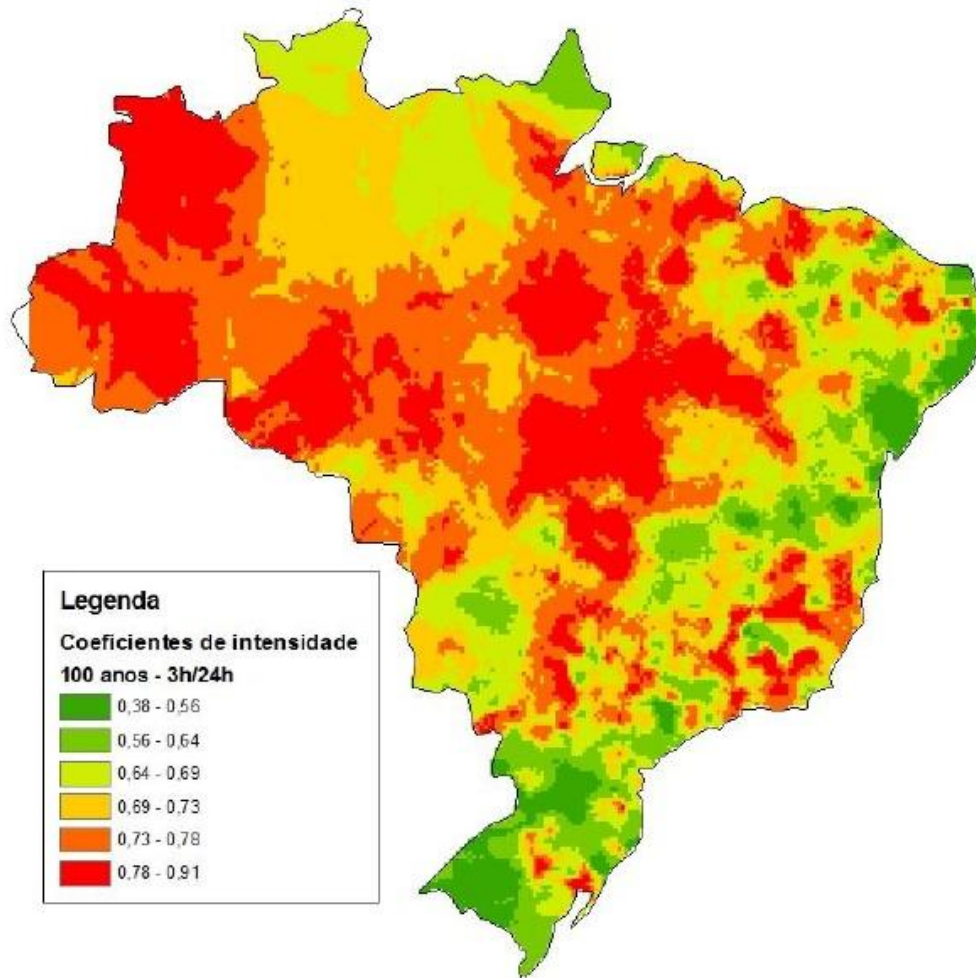
**ANEXO D – Comparação entre os coeficientes de intensidade de 3h/24h e Isozonas.**



Fonte: Gonçalves, 2011

**Figura 1.** Relação entre precipitações de 3h e 24h, para  $Tr = 5$  anos





Fonte: Gonçalves, 2011

**Figura 2.** Relação entre precipitações de 3h e 24h, para  $Tr = 100$  anos

**ANEXO E – Valores de CN para bacias com ocupação urbana (TUCCI, 1993)**

Utilização ou cobertura do solo	Grupo Hidrológico			
	A	B	C	D
Zonas cultivadas: sem conservação do solo	72	81	88	91
com conservação do solo	62	71	78	81
Pastagens ou terrenos em más condições	68	79	86	89
Baldios boas condições	39	61	74	80
Prado em boas condições	30	58	71	78
Bosques ou zonas cobertura ruim	45	66	77	83
Florestais cobertura boa	25	55	70	77
Espaços abertos, relvados, parques, campos de golfe, cemitérios, boas condições com relva em mais de 75% da área	39	61	74	80
com relva de 50 a 75% da área	49	69	79	84
Zonas comerciais e de escritórios	89	92	94	95
Zonas industriais	81	88	91	93
Zonas residenciais				
lotes de (m <sup>2</sup> ) % média impermeável	% média impermeável			
<500	65	77	85	90
1000	38	61	75	83
1300	30	57	72	81
2000	25	54	70	80
4000	20	51	68	79
Parques de estacionamento, telhados, viadutos, etc		98	98	98
Arruamentos e estradas asfaltadas e com drenagem de águas pluviais		76	85	89
paralelepípedos		76	85	89
terra		72	82	87

## **ANEXO F – Classificação hidrológica do solo para as condições brasileiras (Sartori, 2004a)**

### Grupo Hidrológico A:

- Solos muito profundos (prof. > 200 cm) ou profundos (100 a 200 cm)
- Solos com alta taxa de infiltração e com alto grau de resistência e tolerância à erosão
- Solos porosos com baixo gradiente textural (<1,20)
- Solos de textura média
- Solos de textura argilosa ou muito argilosa desde que a estrutura proporcione alta macro-porosidade em todo o perfil
- Solos bem drenados ou excessivamente drenados
- Solos com argila de atividade baixa (Tb), minerais de argila 1:1
- A textura dos horizontes superficial e subperifical pode ser: média / média, argilosa / argilosa e muito argilosa / muito argilosa.

Enquadra-se nesse grupo:

LATOSSOLO AMARELO, LATOSSOLO VERMELHO AMARELO, LATOSSOLO VERMELHO, ambos de textura argilosa ou muito argilosa e com alta macroporosidade; LATOSSOLO AMARELO E LATOSSOLO VERMELHO AMARELO, ambos de textura média, mas com horizonte superficial não arenoso.

### Grupo Hidrológico B:

- Solos profundos (100 a 200 cm)
- Solos com moderada taxa de infiltração, mas com moderada resistência e tolerância a erosão
- Solos porosos com gradiente textural variando entre 1,20 e 1,50
- Solos de textura arenosa ao longo do perfil ou de textura média com horizonte superficial arenoso



- Solos de textura argilosa ou muito argilosa desde que a estrutura proporcione boa macro-porosidade em todo o perfil.
- Solos com argila de atividade baixa (Tb), minerais de argila 1:1
- A textura nos horizontes superficial e subsuperficial pode ser: arenosa / arenosa, arenosa / média, média / argilosa, argilosa / argilosa e argilosa / muito argilosa.

Enquadra-se nesse grupo:

LATOSSOLO AMARELO, LATOSSOLO VERMELHO AMARELO, ambos de textura média, mas com horizonte superficial de textura arenosa; LATOSSOLO BRUNO; NITOSSOLO VERMELHO; NEOSSOLO QUARTZARÊNICO; ARGISSOLO VERMELHO ou VERMELHO AMARELO de textura arenosa / média, média / argilosa, argilosa / argilosa ou argilosa / muito argilosa que não apresentam mudanças textural abrupta.

Grupo Hidrológico C:

- Solos profundos (100 a 200 cm) ou pouco profundos (50 a 100 cm)
- Solos com baixa taxa de infiltração e baixa resitência e tolerância à erosão
- São solos com gradiente textural maior que 1,50 e comumente apresentam mudança textural abrupta
- Solos associados a argila de atividade baixa (Tb)
- A textura nos horizontes superficial e subsuperficial pode ser: arenosa / média e média / argilosa apresentando mudança textural abrupta; arenosa / argilosa e arenosa / muito argilosa

Enquadra-se neste grupo:

ARGILOSSOLO pouco profundo, mas não apresentando mudança textural abrupta ou ARGISSOLO VERMELHO, ARGISSOLO VERMELHO AMARELO e ARGISSOLO AMARELO, ambos profundos e apresentando mudança textural abrupta; CAMISSOLO de textura média e CAMISSOLO HÁPLICO ou HÚMICO, mas com características físicas semelhantes aos LATOSSOLOS (latossólico); ESPODOSSOLO FERROCÁRBICO; NEOSSOLO FLÚVICO.

Grupo Hidrológico D:

- Solos com taxa de infiltração muito baixa oferecendo pouquíssima resistência e tolerância a erosão
- Solos rasos (prof. < 50 cm)
- Solos pouco profundos associados à mudança textural abrupta ou solos profundos apresentando mudança textural abrupta aliada à argila de alta atividade (Ta), minerais de argila 2:1
- Solos argilosos associados à argila de alta atividade (Ta)
- Solos orgânicos

Enquadra-se nesse grupo:

NEOSSOLO LITÓLICO; ORGANOSSOLO; GLEISSOLO; CHERNOSSOLO; PLANOSSOLO; VERTISSOLO; ALISSOLO; LUVISSOLO; PLITOSSOLO; SOLOS DE MANGUE; AFLORAMENTOS DE ROCHA; Demais CAMBISSOLOS que não se enquadram no Grupo C; ARGISSOLO VERMELHO AMARELO e ARGISSOLO AMARELO, ambos pouco profundos e associados à mudança textural abrupta.

