

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRÁTICAS EM
DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL**

DISSERTAÇÃO

**ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO DE PRECIPITAÇÃO NA CIDADE DO
RIO DE JANEIRO A IDENTIFICAÇÃO DE EVENTOS EXTREMOS**

AMANDA DE OLIVEIRA REGUEIRA

SEROPÉDICA – RJ

2019

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRÁTICAS EM
DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL**

**ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO DE PRECIPITAÇÃO NA CIDADE DO
RIO DE JANEIRO A IDENTIFICAÇÃO DE EVENTOS EXTREMOS**

AMANDA DE OLIVEIRA REGUEIRA

Sob orientação do Professor
Henderson Silva Wanderley

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Práticas em Desenvolvimento Sustentável da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro como parte dos requisitos para a obtenção do título de **Mestre**.

SEROPÉDICA – RJ

2019

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

R344a Regueira, Amanda, 1993-
ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO DE PRECIPITAÇÃO NA CIDADE
DO RIO DE JANEIRO A IDENTIFICAÇÃO DE EVENTOS EXTREMOS
/ Amanda Regueira. - Rio de Janeiro, 2019.
84 f.

Orientador: Henderson Wanderley.
Dissertação(Mestrado). -- Universidade Federal Rural
do Rio de Janeiro, Práticas em Desenvolvimento
Sustentável, 2019.

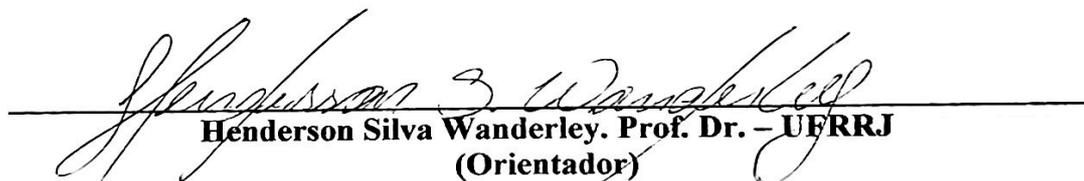
1. Chuva diária. 2. Desastre natural. 3.
Rclimdex.. I. Wanderley, Henderson, 1981-, orient. II
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.
Práticas em Desenvolvimento Sustentável III. Título.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRÁTICAS EM DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL

AMANDA DE OLIVEIRA REGUEIRA

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre**, no Programa de Pós-Graduação em Práticas em Desenvolvimento Sustentável da UFRRJ.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 22/08/2019.


Henderson Silva Wanderley. Prof. Dr. - UFRRJ
(Orientador)


Carlos Rodrigues Pereira. Prof. Dr. - UFF
(Membro Externo)


Gustavo Bastos Lyra. Prof. Dr. - UFRRJ
(Membro Interno)

“Transforme as pedras que você tropeça nas pedras de sua escada”

Sócrates.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus por me fortalecer nos momentos mais difíceis nesses últimos dois anos e por me permitir concluir mais esta etapa da minha vida.

Aos meus pais, Rosilene e Claudio, que me deram todo suporte, carinho e amor ao longo de toda essa jornada. A vocês eu só sinto gratidão e muito amor, obrigada.

As minhas avós, Lucia e Alda e ao meu avô Ildemar, por todo o amor, apoio e compreensão nos momentos de minha ausência dedicada aos estudos, pois sempre fizeram entender que o futuro é feito a partir da constante dedicação no presente.

As minhas amigas, Claudia Bianco, Cristianne Póvoa, Larissa Christoni e Thaís Paschoa, que a mais de dez anos me acompanham, cuidam e me incentivam em todos os momentos e em todas minhas batalhas.

Ao meu namorado Iago Nobre, que embarcou comigo nessa minha aventura desde o primeiro dia e esteve ao meu lado dando forças para que eu não fraquejasse ou desistisse.

A minha cadelinha de estimação Sarah Jane, por novamente estar ao meu lado, dia após dia para a conclusão de mais um trabalho.

Aos meus amigos do PPGPDS, André Coelho, Klarissa Dantas e Wendell Bornéo, por estarem presentes nas minhas melhores lembranças desses dois anos do mestrado e estarem sempre dispostos a me ajudar nos momentos mais difíceis dessa caminhada.

Ao meu orientador Henderson Wanderley, que além de me orientar foi um grande exemplo de mestre. Esse projeto só foi possível de concluir devido ao seu auxílio, dedicação e parceria. Obrigada mestre.

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

E por fim, a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação pessoal, profissional e acadêmica até o presente momento, minha eterna gratidão.

RESUMO

REGUEIRA, O. Amanda. **Distribuição da precipitação na cidade do Rio de Janeiro a identificação de eventos extremos**. 2019.83 p. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Práticas em Desenvolvimento Sustentável). Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2019.

O objetivo desta pesquisa consiste em identificar mudança na distribuição de eventos extremos de precipitação na cidade do Rio de Janeiro. Para cumprir este propósito aplicou-se uma metodologia a partir do software Rclimdex, possibilitando averiguar se houve mudanças na distribuição da precipitação 11 índices disponibilizados pela plataforma *Climate Change Detection and Indices* (ETCCDMI) relacionados a mudanças climáticas, entre os anos de 1997 a 2017 em 15 estações pluviométricas espacialmente distribuídas na cidade do Rio de Janeiro/RJ. Posteriormente, esses índices foram submetidos a regressão linear, a regressão linear segmentada, ao coeficiente de determinação (r^2), erro padrão de estimativa e ao teste t para o coeficiente angular da reta. Os resultados obtidos mostraram que o índice de precipitação total anual da cidade do Rio de Janeiro apresentou mudança em 2007/2008, demonstrada pela a regressão linear segmentada. Foi verificado aumento pluviométrico do início do período analisado até aproximadamente 2007/2008. Do ano de 2008 em diante, foi observado redução dos totais anuais da precipitação até o fim da série analisada no ano de 2017. A maior parte das estações analisadas manifestou este mesmo padrão nos outros índices avaliados ao longo dos vinte anos e poucas apresentaram tendências estatisticamente significativas. De um modo geral, esses resultados indicaram uma diminuição no volume de chuva nesses últimos 10 anos e diminuição dos eventos de precipitação extrema. Os dias extremamente úmidos (R99p) e o total máximo de precipitação diária (Rx1day) tiveram aumento as ocorrências nos anos entre 1997 e 2017, o que pode contribuir com o aumento da ocorrência de eventos extremos de precipitação na região.

PALAVRAS-CHAVE: Chuva diária; desastre natural, Rclimdex.

ABSTRACT

REGUEIRA, O. Amanda. **Precipitation distribution in the city of Rio de Janeiro identifying extreme events.** 2019. 83 p. Dissertation (Post-graduate course on Practices in Sustainable Development) Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2019.

The objective of this research is to identify changes in the distribution of extreme precipitation events in the city of Rio de Janeiro. To fulfill this purpose, a methodology was applied based on the RClindex software, allowing to verify if there were changes in the distribution of precipitation 11 indexes made available by the Climate Change Detection and Indices (ETCCDMI) platform related to climate change, from 1997 to 2017 in 15 spatially distributed rainfall stations in the city of Rio de Janeiro / RJ. Subsequently, these indices were submitted to linear regression, segmented linear regression, coefficient of determination (r^2), standard error of estimation and t-test for the angular coefficient of the line. The results showed that the total annual precipitation index of the city of Rio de Janeiro changed in 2007/2008, demonstrated by the segmented linear regression. Rainfall increase was verified from the beginning of the analyzed period until approximately 2007/2008. From 2008 onwards, it was observed a reduction in the annual total of precipitation until the end of the series analyzed in 2017. Most of the stations analyzed showed the same pattern in the other indexes evaluated over the twenty years and few showed statistical trends. significant. Overall, these results indicated a decrease in rainfall over the past 10 years and a decrease in extreme precipitation events. The extremely humid days (R99p) and the maximum total daily precipitation (Rx1day) increased in the years 1997 to 2017, which may contribute to the increase of extreme precipitation events in the region.

KEYWORDS: Daily rain; natural disaster, Rclindex.

LISTA DE FIGURAS

| Figura | Descrição | Página |
|------------------|--|---------------|
| Figura 1 | Representação do número de municípios monitorados pelo CEMADEN e os níveis de alertas enviados, desde a sua fundação. Fonte: Cemaden.gov, 2018. | 20 |
| Figura 2 | Geomorfologia da cidade do Rio de Janeiro. Fonte: Autoria própria, (2019). | 21 |
| Figura 3 | Localização dos 15 postos pluviométricos do Sistema Alerta Rio utilizadas neste trabalho e a localização do Parque Nacional da Tijuca e Parque Estadual da Pedra Branca. Fonte: Google Earth, 2018. | 24 |
| Figura 4 | Representação gráfica do índice de Precipitação Total Anual (PRCPTOT), com base em 6 estações selecionadas para o estudo, Anchieta, Bangu, Campo Grande, Cidade de Deus, Grota Funda e Guaratiba, no município do Rio de Janeiro entre os anos de 1997 a 2017. Fonte: Autoria própria, 2018. | 34 |
| Figura 5 | Representação gráfica do índice de Precipitação Total Anual (PRCPTOT), com base em 6 estações selecionadas para o estudo, Ilha do Governador, Madureira, Penha, Recreio, Rocinha e Santa Cruz, no município do Rio de Janeiro entre os anos de 1997 a 2017. Fonte: Autoria própria, 2018. | 35 |
| Figura 6 | Representação gráfica do índice de Precipitação Total Anual (PRCPTOT), com base em 3 estações selecionadas para o estudo, Santa Tereza, Sepetiba e Tijuca, no município do Rio de Janeiro entre os anos de 1997 a 2017. Fonte: Autoria própria, 2018. | 36 |
| Figura 7 | Regressão linear segmentada ajustada a Precipitação Total Anual (PRCPTOT), com base em 6 estações selecionadas para o estudo, Anchieta, Bangu, Campo Grande, Cidade de Deus, Grota Funda e Guaratiba, no município do Rio de Janeiro entre os anos de 1997 a 2017. Fonte: Autoria própria, 2018. | 38 |
| Figura 8 | Regressão linear segmentada ajustada a Precipitação Total Anual (PRCPTOT), com base em 6 estações selecionadas para o estudo, Ilha do Governador, Madureira, Penha, Recreio, Rocinha e Santa Cruz, no município do Rio de Janeiro entre os anos de 1997 a 2017. Fonte: Autoria própria, 2018. | 39 |
| Figura 9 | Regressão linear segmentada ajustada a Precipitação Total Anual (PRCPTOT), com base em 3 estações selecionadas para o estudo, Santa Teresa, Sepetiba e Tijuca, no município do Rio de Janeiro entre os anos de 1997 a 2017. Fonte: Autoria própria, 2018. | 40 |
| Figura 10 | Representação gráfica do índice R10mm, com base em 6 estações selecionadas para o estudo, Anchieta, Bangu, Campo Grande, Cidade de Deus, Grota Funda e Guaratiba, no município do Rio de Janeiro entre os anos de 1997 a 2017. Fonte: Autoria própria, 2018. | 41 |
| Figura 11 | Representação gráfica do índice R10mm, com base em 6 estações selecionadas para o estudo, Ilha do Governador, Madureira, Penha, Recreio, Rocinha e Santa Cruz, no município do Rio de Janeiro entre os anos de 1997 a 2017. Fonte: Autoria própria, 2018. | 42 |
| Figura 12 | Representação gráfica do índice R10mm, com base em 3 estações selecionadas para o estudo, Santa Teresa, Sepetiba e Tijuca, no município do Rio de Janeiro entre os anos de 1997 a 2017. Fonte: Autoria própria, 2018. | 43 |
| Figura 13 | Representação gráfica do índice R20mm, com base em 6 estações selecionadas para o estudo, Anchieta, Bangu, Campo Grande, Cidade de Deus, Grota Funda e Guaratiba, no município do Rio de Janeiro entre os anos de 1997 | 44 |

a 2017. Fonte: Autoria própria, 2018.

| | | |
|------------------|--|----|
| Figura 14 | Representação gráfica do índice R20mm, com base em 6 estações selecionadas para o estudo, Ilha do Governador, Madureira, Penha, Recreio, Rocinha e Santa Cruz, no município do Rio de Janeiro entre os anos de 1997 a 2017. Fonte: Autoria própria, 2018. | 45 |
| Figura 15 | Representação gráfica do índice R20mm, com base em 3 estações selecionadas para o estudo, Santa Teresa, Sepetiba e Tijuca, no município do Rio de Janeiro entre os anos de 1997 a 2017. Fonte: Autoria própria, 2018. | 46 |
| Figura 16 | Representação gráfica do índice R50mm, com base em 6 estações selecionadas para o estudo, Anchieta, Bangu, Campo Grande, Cidade de Deus, Grota Funda e Guaratiba, no município do Rio de Janeiro entre os anos de 1997 a 2017. Fonte: Autoria própria, 2018. | 47 |
| Figura 17 | Representação gráfica do índice R50mm, com base em 6 estações selecionadas para o estudo, Ilha do Governador, Madureira, Penha, Recreio, Rocinha e Santa Cruz, no município do Rio de Janeiro entre os anos de 1997 a 2017. Fonte: Autoria própria, 2018. | 48 |
| Figura 18 | Representação gráfica do índice R50mm, com base em 3 estações selecionadas para o estudo, Santa Teresa, Sepetiba e Tijuca, no município do Rio de Janeiro entre os anos de 1997 a 2017. Fonte: Autoria própria, 2018. | 49 |
| Figura 19 | Representação gráfica do índice R95p, com base em 6 estações selecionadas para o estudo, Anchieta, Bangu, Campo Grande, Cidade de Deus, Grota Funda e Guaratiba, no município do Rio de Janeiro entre os anos de 1997 a 2017. Fonte: Autoria própria, 2018. | 51 |
| Figura 20 | Representação gráfica do índice R95p, com base em 6 estações selecionadas para o estudo, Ilha do Governador, Madureira, Penha, Recreio, Rocinha e Santa Cruz, no município do Rio de Janeiro entre os anos de 1997 a 2017. Fonte: Autoria própria, 2018. | 52 |
| Figura 21 | Representação gráfica do índice R95p, com base em 3 estações selecionadas para o estudo, Santa Teresa, Sepetiba e Tijuca, no município do Rio de Janeiro entre os anos de 1997 a 2017. Fonte: Autoria própria, 2018. | 53 |
| Figura 22 | Representação gráfica do índice R99p, com base em 6 estações selecionadas para o estudo, Anchieta, Bangu, Campo Grande, Cidade de Deus, Grota Funda e Guaratiba, no município do Rio de Janeiro entre os anos de 1997 a 2017. Fonte: Autoria própria, 2018. | 54 |
| Figura 23 | Representação gráfica do índice R99p, com base em 6 estações selecionadas para o estudo, Ilha do Governador, Madureira, Penha, Recreio, Rocinha e Santa Cruz, no município do Rio de Janeiro entre os anos de 1997 a 2017. Fonte: Autoria própria, 2018. | 55 |
| Figura 24 | Representação gráfica do índice R99p, com base em 3 estações selecionadas para o estudo, Santa Teresa, Sepetiba e Tijuca, no município do Rio de Janeiro entre os anos de 1997 a 2017. Fonte: Autoria própria, 2018. | 56 |
| Figura 25 | Representação gráfica do índice RX1day, ou seja, quantidade máxima de precipitação em 1 dia, com base em 6 estações selecionadas para o estudo, Anchieta, Bangu, Campo Grande, Cidade de Deus, Grota Funda e Guaratiba, no município do Rio de Janeiro entre os anos de 1997 a 2017. Fonte: Autoria própria, 2018. | 58 |
| Figura 26 | Representação gráfica do índice RX1day, ou seja, quantidade máxima de precipitação em 1 dia, com base em 6 estações selecionadas para o estudo, Ilha do Governador, Madureira, Penha, Recreio, Rocinha e Santa Cruz, no | 59 |

município do Rio de Janeiro entre os anos de 1997 a 2017. Fonte: Autoria própria, 2018.

- Figura 27** Representação gráfica do índice RX1day, ou seja, quantidade máxima de precipitação em 1 dia, com base em 3 estações selecionadas para o estudo, Santa Teresa, Sepetiba e Tijuca, no município do Rio de Janeiro entre os anos de 1997 a 2017. Fonte: Autoria própria, 2018. 60
- Figura 28** Representação gráfica do índice RX5day, sendo quantidade máxima de precipitação em 5 dias consecutivos, com base em 6 estações selecionadas para o estudo, Anchieta, Bangu, Campo Grande, Cidade de Deus, Grota Funda e Guaratiba, no município do Rio de Janeiro entre os anos de 1997 a 2017. Fonte: Autoria própria, 2018. 61
- Figura 29** Representação gráfica do índice RX5day, sendo quantidade máxima de precipitação em 5 dias consecutivos, com base em 6 estações selecionadas para o estudo, Ilha do Governador, Madureira, Penha, Recreio, Rocinha e Santa Cruz, no município do Rio de Janeiro entre os anos de 1997 a 2017. Fonte: Autoria própria, 2018. 62
- Figura 30** Representação gráfica do índice RX5day, sendo quantidade máxima de precipitação em 5 dias consecutivos com base em 3 estações selecionadas para o estudo, Santa Teresa, Sepetiba e Tijuca, no município do Rio de Janeiro entre os anos de 1997 a 2017. Fonte: Autoria própria, 2018. 63
- Figura 31** Representação gráfica do índice SDII, com base em 6 estações selecionadas para o estudo, Anchieta, Bangu, Campo Grande, Cidade de Deus, Grota Funda e Guaratiba, no município do Rio de Janeiro entre os anos de 1997 a 2017. Fonte: Autoria própria, 2018. 66
- Figura 32** Representação gráfica do índice SDII, com base em 6 estações selecionadas para o estudo, Ilha do Governador, Madureira, Penha, Recreio, Rocinha e Santa Cruz, no município do Rio de Janeiro entre os anos de 1997 a 2017. Fonte: Autoria própria, 2018. 67
- Figura 33** Representação gráfica do índice SDII, com base em 3 estações selecionadas para o estudo, Santa Teresa, Sepetiba e Tijuca, no município do Rio de Janeiro entre os anos de 1997 a 2017. Fonte: Autoria própria, 2018. 68
- Figura 34** Representação gráfica do índice CDD, sendo Dias consecutivos sem Chuva, com base em 6 estações selecionadas para o estudo, Anchieta, Bangu, Campo Grande, Cidade de Deus, Grota Funda e Guaratiba, no município do Rio de Janeiro entre os anos de 1997 a 2017. Fonte: Autoria própria, 2018. 70
- Figura 35** Representação gráfica do índice CDD, sendo Dias consecutivos sem Chuva, com base em 6 estações selecionadas para o estudo, Ilha do Governador, Madureira, Penha, Recreio, Rocinha e Santa Cruz, no município do Rio de Janeiro entre os anos de 1997 a 2017. Fonte: Autoria própria, 2018. 71
- Figura 36** Representação gráfica do índice CDD, sendo Dias consecutivos sem Chuva, com base em 3 estações selecionadas para o estudo, Santa Teresa, Sepetiba e Tijuca, no município do Rio de Janeiro entre os anos de 1997 a 2017. Fonte: Autoria própria, 2018. 72
- Figura 37** Representação gráfica do índice CWD, sendo Dias consecutivos com Chuva, com base em 6 estações selecionadas para o estudo, Anchieta, Bangu, Campo Grande, Cidade de Deus, Grota Funda e Guaratiba, no município do Rio de Janeiro entre os anos de 1997 a 2017. Fonte: Autoria própria, 2018. 73
- Figura 38** Representação gráfica do índice CWD, sendo Dias consecutivos com Chuva, com base em 6 estações selecionadas para o estudo, Ilha do Governador, Madureira, Penha, Recreio, Rocinha e Santa Cruz, no município do Rio de 74

Janeiro entre os anos de 1997 a 2017. Fonte: Autoria própria, 2018.

Figura 39 Representação gráfica do índice CWD, sendo Dias consecutivos com Chuva, com base em 3 estações selecionadas para o estudo, Santa Teresa, Sepetiba e Tijuca, no município do Rio de Janeiro entre os anos de 1997 a 2017. Fonte: Autoria própria, 2018. 75

LISTA DE TABELAS

| Tabela | Descrição | Página |
|-----------------|---|---------------|
| Tabela 1 | Informações geográficas das estações selecionadas para análise pluviométrica no presente trabalho | 23 |
| Tabela 2 | Onze índices fornecidos pela plataforma ETCCDMI para análise pluviométrica | 26 |
| Tabela 3 | Valores Mínimo, Máximo, Médio e Desvio Padrão em milímetros do total pluviométrico anual de todas estações analisadas | 30 |
| Tabela 4 | Matriz de correlação de Pearson (r) | 33 |
| Tabela 5 | Estações pluviométricas que apresentaram resultados divergentes nas tendências lineares, quanto ao aumento e diminuição nos índices R95p e R99p. | 51 |
| Tabela 6 | Representação dos maiores volumes de chuva em um dia (Rx1day) das estações pluviométricas nos anos de 2010 e 2013. | 57 |
| Tabela 7 | Estações pluviométricas que apresentaram resultados divergentes nas tendências lineares, quanto ao aumento e diminuição nos índices RX1day e RX5day | 57 |

LISTA DE ABREVIACOES E SÍMBOLOS

| | |
|----------------|--|
| PRCPTOT | - Precipitação total anual |
| SDII | - Intensidade de chuva |
| R10 | - Precipitação pluviometria maior ou igual a que 10mm |
| R20 | - Precipitação pluviometria maior ou igual a que 20mm |
| R50 | - Precipitação pluviometria maior ou igual a que 50mm |
| R99p | - Dias extremamente úmidos com percentil maior que 99 |
| R95p | - Dias úmidos com percentil maior que 95 |
| CWD | - Dias consecutivos com chuva (maior que 1mm) |
| CDD | - Dias consecutivos sem chuva (menor que 1mm) |
| RX1day | - Quantidade máxima de precipitação em 1 dia |
| RX5day | - Quantidade máxima de precipitação em 5 dias consecutivos |
| ODP | - Oscilação Interdecadal do Pacifico |
| IOS | - ndice Oscilação do Sul |
| SF | - Sistema Frontal |
| ZCAS | - Zona de convergência do Atlântico Sul |
| ENOS | - El Niño-Oscilação Sul |
| ASAS | - Alta Subtropical do Atlântico Sul |
| SCM | - Sistemas Convectivos de Mesoescala |
| CEMADEN | - Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais |
| HBV | - Horário Brasileiro de Verão |
| NCDC | - <i>National Climate Data Center</i> |
| ZCPS | - Zona de Convergência do Pacífico Sul |
| NPI | - ndice do Pacífico Norte |

Sumário

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO GERAL | 12 |
| 2 | REVISÃO DE LITERATURA | 13 |
| 2.1. | VARIAÇÃO NA DISTRIBUIÇÃO PLUVIOMÉTRICA..... | 13 |
| 2.2 | CLIMA E SISTEMAS METEOROLOGICOS ATUANTES NO SUDESTE DO BRASIL..... | 15 |
| 2.3 | INDICES DE DETECÇÃO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS..... | 17 |
| 2.4 | DESASTRES NATURAIS E EVENTOS DECORRENTES DE PRECIPITAÇÃO | 18 |
| 3. | MATERIAL E MÉTODOS | 20 |
| 3.1 | CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO | 20 |
| 3.2 | DADOS UTILIZADOS | 22 |
| 3.3 | ÍNDICES DE DETECÇÃO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS..... | 25 |
| 4. | RESULTADOS | 30 |
| 4.1 | PRECIPITAÇÃO TOTAL | 30 |
| 4.2 | ÍNDICES DE PRECIPITAÇÃO ACIMA DE R10, R20 E R50MM | 40 |
| 4.3 | ÍNDICES R95P E R99P..... | 50 |
| 4.4 | ÍNDICES RX1DAY E RX5DAY | 57 |
| 4.5 | ÍNDICE SDII | 65 |
| 4.6 | ÍNDICES CDD E CWD. | 68 |
| 5. | CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 76 |
| 6. | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 76 |

1 INTRODUÇÃO GERAL

A precipitação pluvial é uma das variáveis meteorológicas mais importantes para manter o equilíbrio e a conservação da biodiversidade, agricultura, abastecimento urbano e manutenção da vida no planeta (WANDERLEY; BUNHAK, 2016). A importância das medições pluviométricas dá-se pela quantidade de informações sobre sua distribuição no espaço-tempo, magnitude e frequência, pois com esse conhecimento podem-se identificar regiões propícias a ocorrências de desastres naturais como: inundações, enxurradas, movimentação de massa, dentre outros.

Ao longo dos anos a intensidade da precipitação vem apresentando flutuação no espaço e tempo, que variam numa escala espacial de alguns metros a centenas de quilômetros, sendo denominados muitas vezes de eventos extremos climáticos. Os eventos extremos de precipitação estão entre os mais perturbadores fenômenos atmosféricos, pois podem causar impactos negativos e significativos a população, nos aspectos socioeconômicos e ambientais (LIEBMANN; JONES; CARVALHO, 2001).

As mudanças nos eventos climáticos e climáticos extremos são observadas desde 1950, os quais incluem extremos de temperatura, aumento de extremos do nível do mar e aumento do número de eventos extremos de precipitação (IPCC, 2014). O número de registros desses eventos extremos tem aumentado em todo mundo, preocupando a comunidade internacional devido à magnitude dos impactos e dos prejuízos, sendo prejudicial àqueles que são mais vulneráveis (FILHO; LUCIO; SPYRIDES, 2016). As informações sobre os eventos extremos, como alterações no regime pluvial, em resultado das mudanças climáticas, são primordiais para o desenvolvimento de gestões públicas que venham conduzir ações sobre gerenciamento dos recursos hídricos e possibilitem mitigar seus impactos sobre o meio urbano e a agricultura (SALVIANO; GROppo; PELLEGRINO, 2016).

O comportamento pluviométrico nos grandes centros urbanos, como a cidade do Rio de Janeiro, apresenta variação de sua distribuição pluviométrica ao longo do ano em uma escala temporal e espacial. Esta análise permite avaliar as mudanças no regime de chuva e determinar em quais regiões essa variável está sofrendo mudanças significativas ao longo do tempo (SALVIANO; GROppo; PELLEGRINO, 2016). Tais mudanças podem ser relacionadas a fatores antrópicos como desmatamentos e urbanização desenfreada ou não antrópica como a intensificação da atividade solar e fenômenos naturais (SALVIANO; GROppo; PELLEGRINO, 2016).

A identificação das localidades que apresentam mudança na distribuição de seus elementos meteorológicos se torna fundamental para se estimar possíveis danos destas mudanças nas atividades socioeconômicas, auxiliando os tomadores de decisão a respeito do risco, caso nenhuma ação seja realizada pelos órgãos gestores. A hipótese sobre o crescente interesse no estudo da variabilidade climática se deve aos possíveis efeitos das atividades humanas sobre o clima, sobrepostos aos processos climáticos naturais, que acabam mascarando ou intensificando seus impactos (PÁRRAGA, 2003), o que tornaria a situação em curso ainda mais crítica.

No entanto, estudos e dados referentes a esse tema para a cidade do Rio de Janeiro ainda são insuficientes, sendo de suma importância pesquisa específica para identificar aumento na frequência e magnitude de eventos extremos de precipitação, que indique mudanças no número, magnitude e impactos desses eventos extremos. Diante do exposto, o objetivo desta pesquisa consiste em identificar mudança na distribuição de precipitação na cidade do Rio de Janeiro entre 1997 e 2017 a identificação de eventos extremos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Variação na distribuição pluviométrica

A variabilidade da pluviosidade está relacionada, de acordo com Silva (2006) a um conjunto de variáveis tais como altitude, bacias hidrográficas, características do solo, continentalidade, efeito das correntes marítimas, estações do ano, orografia, rotação da Terra e vegetação. Monteiro (1991) ainda adverte sobre a contribuição dos fluxos de energia, condicionantes externas, para a ocorrência dessas variabilidades no clima.

O conhecimento sobre essas distribuições da precipitação é de fundamental importância, pois permite determinar em quais regiões uma variável ambiental vem sofrendo mudanças significativas ao longo do tempo. Mudanças que podem estar relacionadas não só a um, mas a diversos fatores, de origem antrópica como desmatamentos e urbanização desenfreada ou não antrópica como a intensificação da atividade solar e fenômenos relacionados a interação oceano-atmosfera, como o *El Niño* e *La Niña* (MARENGO, 2010)

A variação da precipitação com os principais modos de circulação atmosférica foi descrita e analisada, por exemplo, por Bjerknes (1969) quando afirmou que o *El Niño* afeta a distribuição da precipitação. Regiões como no Sudeste da Ásia, Indonésia e Austrália tornam-se mais secas durante um *El Niño* (BJERKNES, 1969), enquanto a parte Sul dos Estados Unidos

se torna mais úmido (KENYON; HEGERL, 2010). Deser et al. (2004) exploraram a conexão entre a precipitação e o Índice do Pacífico Norte (NPI) e sua relação com a mudanças na precipitação ao longo da Zona de Convergência do Pacífico Sul (ZCPS) e Power et al. (1999) estudaram como a Oscilação Interdecadal do Pacífico (ODP) e o Índice de Oscilação do Sul (IOS) afetam a precipitação australiana.

A distribuição da precipitação na América do Sul se dá em função da variação da latitudes e com formas de relevo, proporcionando a atuação e o desenvolvimento de diferentes sistemas atmosféricos, que contribuem para a não homogeneidade climática desta região (SIMÕES et al., 2010). Especificamente o Brasil, apresenta ampla diversidade climática devido a sua extensão territorial. Suas regiões estão sob o domínio de baixas e altas latitudes, o que o caracteriza por grande variedade de regimes de precipitação pluviométrica e de temperatura, isto lhe proporciona distintas paisagens e espaços suscetíveis a dinâmicas particulares.

Segundo Gan, Rodrigues e Rao (2009), a cidade do Rio de Janeiro, tem características do sistema de monção onde há alta variabilidade sazonal de precipitação caracterizada por um período muito chuvoso e outro seco. Apesar dessas características de monção estarem presentes na região, mudanças nesses padrões ocorrem de um ano para outro, contribuindo para ocorrência de eventos extremos, como por exemplo, enchentes, secas, entre outros. Geralmente muitos destes eventos estão relacionados às interações entre oceano-atmosfera, principalmente sobre a região do oceano Pacífico Tropical, resultando no aparecimento natural do El Niño-Oscilação Sul (ENOS) (GAN; RODRIGUES; RAO, 2009).

O El Niño Oscilação Sul é um fenômeno de grande escala caracterizado por anomalias no padrão de temperatura da superfície do Oceano Pacífico Tropical, que ocorrem de forma simultânea com anomalias no padrão de pressão atmosférica nas regiões de Darwin (norte da Austrália) e de Taiti (GILVAN SAMPAIO DE OLIVEIRA, 2001). De acordo com o mesmo autor, a fase quente do fenômeno (*El Niño*) é caracterizada pela elevação da temperatura das águas da região oriental do Oceano Pacífico Tropical acima da média da região, juntamente com a ocorrência de pressões atmosféricas abaixo do normal na região de Taiti e acima do normal na região de Darwin.

Na fase fria (*La Niña*) o comportamento das componentes oceânica e atmosférica é inverso (MINUZZI et al., 2007a). O fenômeno ENOS afeta a circulação atmosférica, determinando perturbações no padrão de variabilidade da temperatura do ar e, principalmente, da precipitação pluvial em diversas regiões do Globo (GILVAN SAMPAIO DE OLIVEIRA, 2001). Estudos, como o de Brito, Melo e Santo (2016) apontam que os regimes de circulação podem influenciar

fortemente os extremos climáticos, e encontram influências mundiais e muito fortes da circulação em extremos de temperatura.

2.2 Clima e Sistemas meteorológicos atuantes no Sudeste do Brasil

A região Sudeste do Brasil possui uma característica climática diversificada, em detrimento a sua diversa topografia, sua posição geográfica e, principalmente, as dinâmicas atmosféricas, que incluem os sistemas meteorológicos de micro, meso e grande escala e diferentes tipos climáticos (MINUZZI et al., 2007b).

Dentre os climas existentes na região Sudeste do Brasil, pode-se dividir em pelo menos 5 variações em função da distribuição pluvial: Superúmidos (sem estação seca) aos semiáridos (com até seis meses secos). O segundo grupo, denominado como subquente, apresenta temperaturas médias entre 15° C e 18° C em pelo menos 1 mês, influenciadas pelas altitude local e com características pluviométricas variando entre super úmido até áreas com quatro a cinco meses secos (NETO, 2005).

Ainda segundo Neto (2005), nas latitudes mais altas e área mais elevadas, existe os subtipos climáticos do terceiro grupo, como os mesotérmicos (grande amplitude térmica anual e distribuição mais uniforme das chuvas, diferentemente dos grupos anteriores).

Segundo Minuzzi et. al (2007b) as características climáticas e os sistemas meteorológicos atuam direta ou indiretamente no regime pluvial, como a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e os Sistemas Frontais (SFs), que são os principais responsáveis pela precipitação pluvial, e o Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) e o Vórtice Ciclônico de Ar Superior, onde dependendo das suas posições, ocasionam grandes períodos de estiagens sobre a região Sudeste.

As ZCAS são convencionalmente definidas como uma persistente faixa de nebulosidade orientada no sentido Noroeste-Sudeste, que se estende do Sul da Amazônia ao Atlântico Sul-Central por alguns milhares de quilômetros, bem caracterizada nos meses de verão (FONSECA e BRITO, 2008). De acordo com Alvarenga (2012), existe associação entre períodos de enchentes de verão na região Sudeste e veranicos na região Sul com a permanência da ZCAS por períodos prolongados sobre a região Sudeste. Por outro lado, períodos extremamente chuvosos no Sul coincidem com veranicos na região sudeste, indicando a presença de ZCAS mais ao Sul. Padrão de dipolo entre anomalias de precipitação pluvial nas regiões Sul e Sudeste devido à influência da ZCAS.

Os Sistemas Frontais são os sistemas transientes frequentes sobre a região Sudeste do Brasil, com atuação entre as latitudes 25°S e 20°S, onde está localizado o estado do Rio de Janeiro (Oliveira, 1986). Segundo o autor Oliveira (1986), em média são observados a atuação entre 3 a 5 Sistemas Frontais por mês sobre o estado do Rio de Janeiro, com uma distribuição anual de quase 50 sistemas. A interação dos Sistemas Frontais com a convecção tropical possibilita o desenvolvimento de nuvens do tipo *cumulomimbus*, que são nuvens de grande desenvolvimento vertical, que podem estar associadas a extremos de precipitação. A trajetória dos SFs sobre a América do Sul segue dois padrões bastante distintos ao longo do ano. Durante o inverno, as massas de ar frio com alta pressão à superfície e baixas temperaturas, penetram na direção norte-nordeste sobre o continente, no rastro das frentes, como explicado por Nobre *et. al*(1998) e Satyamurty *et. al*(1998).

Sobre o Estado do Rio de Janeiro, na primavera e no inverno verifica-se, em média, a passagem de basicamente quatro SFs por mês, ou seja, aproximadamente um por semana. No outono e no verão ocorre uma pequena redução em sua frequência, sendo aproximadamente três SFs por mês (DERECZYNSKI *et al.*, 2009). De acordo com Oliveira (1986), apesar da menor frequência de SFs atingindo a banda latitudinal entre 25 e 20°S durante o verão, nesta estação todos os SFs conseguem organizar a convecção no interior do continente, enquanto no inverno, dos quatro SFs apenas um organiza a convecção. Tais massas de ar movem-se sobre o Atlântico e gradualmente perdem sua identidade, misturando-se com o Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) (BONNET; DERECZYNSKI; NUNES, 2018).

Além da passagem dos SFs, o posicionamento do ASAS também afeta a precipitação na América do Sul. No inverno, a ASAS encontra-se próximo ao continente, o que impede a formação de nuvens, enquanto no verão localiza-se preferencialmente sobre o Oceano Atlântico, e assim, sua borda oeste contribui com o transporte de umidade para o continente. Outro mecanismo responsável pelo transporte de umidade para o continente é a circulação da brisa marítima, que atua na maior parte do ano. A interação do aporte de umidade do oceano com o relevo induz a chuvas orográficas e também sua interação com a urbanização nas mesorregiões Metropolitana e Baixadas provocam chuvas convectivas. Contribuem ainda para os totais de chuva na Região os Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM).

2.3 Intensificação de eventos de precipitação

Existem várias métricas associadas à chuva, como intensidade, frequência e duração. A pluviosidade é o volume de precipitação pluviométrica que incide sobre uma região específica durante um determinado tempo. Esta medida é importante para caracterizarmos o regime pluviométrico de um local, pois, a partir da medida da pluviosidade diária durante longos períodos (anos, décadas), consegue-se saber como as chuvas costumam atuar sobre uma região. É comum representarmos a pluviosidade de uma região com as médias mensais no período de um ano (média do somatório das chuvas mensais ao longo dos anos analisados) (ROSA et al., 2007). Assim, é possível entender como é o regime pluviométrico que, em média, acontece em uma região.

A intensidade, frequência e a distribuição espacial e temporal das precipitações pluviais são características climáticas relevantes para a conservação e preservação de recursos naturais, o desenvolvimento das atividades econômicas, operações de reservatórios para a geração de hidroeletricidade, dimensionamento de projetos, execução de obras, a melhor forma de ocupação, monitoramento de áreas sujeitas a escorregamentos e inundações e a prevenção de desastres (MALVESTIO, 2013).

Intensidade é o total precipitado que ocorre em um intervalo de tempo, geralmente em horas. Para que seja realizada a classificação dos casos de "chuvas intensas" deve-se logicamente estabelecer um limiar a partir do qual um evento de chuva pode ser considerado como extremo, ou seja, um evento que ocorra muito infreqüentemente (DERECZYNSKI et al., 2009). Não foi encontrada na literatura uma definição rígida que determinasse fraca, moderada, forte, intensa ou extrema uma quantidade de precipitação acumulada em dado período de tempo.

A intensidade de chuva pode-se confundir em alguns momentos pois o que é considerado extremo em uma localidade pode ser ocorrência comum em outra. No estudo de Liebmann et al. (2001), são colocados três exemplos, o primeiro era que se um evento de 80 mm/dia ocorre várias vezes em um local, a infraestrutura naquela região já foi provavelmente desenvolvida para mitigar os possíveis desastres; por outro lado, se o mesmo evento ocorre apenas uma vez a cada 5 anos, ele pode resultar num desastre e além dessas situações, uma estação com precipitação total anual grande pode ter chuva fraca todos os dias, sem ocorrência de chuvas intensas.

De acordo com Salviano *et al.* (2016), no Brasil houve aumento de precipitação intensa entre os anos de 1961 e 2011, com tendências significativas em todos os meses. Os autores afirmam que caso ocorra a continuidade dessas tendências no país, haverá impactos negativos à agricultura, ao ciclo hidrológico, e conseqüentemente, para fauna, flora e população. Resultados como o encontrado por Salviano *et al.* (2016) ratificam a importância de estudos específicos, que identifiquem mudanças ocorridas na distribuição de elementos meteorológicos, principalmente aos eventos extremos que tem o potencial de causar danos a sociedade. Como um exemplo, ocorreu o furacão Catarina em Santa Catarina, que provocou enchentes e deslizamentos e causou diversas mortes, assim como perdas econômicas significativas para a região Sul do país. Recentemente, a mesma região sofreu com chuvas torrenciais e ventos fortes que levaram a grandes danos.

Para a região Sudeste, especificamente na cidade do Rio de Janeiro, os estudos de Liebman *et al.* (2001) e Dereczynski *et al.* (2009), consideraram um limiar acima de 100 mm/dia de precipitação, sendo assim os dados superiores são considerados eventos extremos de precipitação pluviométrica. Além dos estudos anteriores, a meteorologista-chefe do Alerta Rio, Juliana Hermsdorff (2018), afirma que a chuva é considerada fraca na região quando a intensidade é menor do que 5,0 mm/h. Entre 5,0 e 25 mm/h, a precipitação é moderada. O volume de água compreendido entre 25,1 e 50 mm/h é chuva forte. Maior do que 50,0 mm/h, a chuva é muito forte. E é considerada pancada de chuva, quando a precipitação é intensa e em curto período de tempo e espacialmente restrita.

Já a frequência é o número de vezes que um determinado evento pode se repetir e é uma outra medida também importante, pois deixa claro quantas vezes por ano ocorrem eventos de chuva, ou seja, quantos dias choveu. E a duração da chuva é simplesmente o período de tempo contado desde o início até o fim da precipitação (hora ou minuto).

2.4 Desastres naturais e eventos extremos decorrentes da precipitação

Segundo a Secretaria Nacional de Defesa Civil (2007), desastres são configurados a partir de “resultados de eventos adversos, naturais ou provocados pelo homem, sobre um ecossistema vulnerável, causando danos humanos, materiais e ambientais e consequentes prejuízos econômicos e social. ”

Os desastres naturais na planeta são datados de milhares de anos e de acordo com o banco de dados de desastres naturais EM-DAT¹, de 1900 a 2012, a China foi o país que apresentou o maior número de vítimas devidos aos desastres hidrológicos em todo o mundo (MEDEIROS, 2013).

Os eventos extremos são geralmente definidos por valores atipicamente elevados ou baixos considerando um intervalo de observações (IPCC, 2012). De acordo com Medeiros (2013), no Brasil, os principais fenômenos extremos são derivados de eventos pluviométricos intensos e prolongados tendo como consequência, inundações, movimento de massa e tempestades.

No Brasil, as inundações bruscas, as inundações graduais e os movimentos de massa são responsáveis pelo maior número de óbitos em termos de desastres naturais (UFSC; CEPED, 2013). De acordo com o Atlas Brasileiro de Desastres Naturais, tais desastres são deflagrados por chuvas intensas que atingem as regiões mais vulneráveis dos grandes centros urbanos, onde reside grande parte da população de renda mais baixa. Outro desastre natural de grande impacto no Brasil são a estiagem e a seca, em virtude da abrangência de grandes áreas atingidas, produzindo reflexos sobre as reservas hidrológicas locais e causando prejuízos à agricultura e à pecuária (UFSC; CEPED, 2013). Desta forma, um aumento na frequência de ocorrência de chuvas intensas e de secas severas poderia agravar o quadro de desastres naturais no Brasil.

No estado do Rio de Janeiro ocorrem anualmente dezenas de mortes e milhares de pessoas são afetadas em decorrência de desastres naturais, em especial as inundações e movimentos de massa (DOURADO; ARRAES; SILVA, 2012). É possível considerar um marco da mudança do paradigma da resposta para a proteção e prevenção no Rio de Janeiro, três eventos que marcaram o país, o primeiro em janeiro de 2010, o segundo em abril de 2010 e o terceiro em janeiro de 2011, o de Angra dos Reis (52 mortos em janeiro de 2010, de acordo com o DRM (2010a)), Morro do Bumba em Niterói (166 mortos em abril de 2010, segundo o DRM (2010b)) e na Região Serrana do estado (quase 1.000 mortes, afetando mais de 300 mil pessoas), respectivamente (DOURADO; ARRAES; SILVA, 2012). Esses três eventos ocorridos no estado do Rio de Janeiro, deixaram evidente a vulnerabilidade do Estado frente a desastres de grandes proporções, principalmente aqueles de origens naturais.

A primeira reação governamental foi atuar na legislação específica para a defesa civil, criando a Lei 12.608 em 10 de abril de 2012 e a organizando a criação do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN), que foi criado com o objetivo

¹Disponível em: <https://www.emdat.be/>. Acessado em: 29 de novembro de 2018

de desenvolver, testar e implementar um sistema de previsão de ocorrência de desastres naturais em áreas suscetíveis de todo Brasil e emitir alertas de desastres naturais, em colaboração direta com o sistema nacional de proteção e defesa civil. Na Figura 1 detalham-se os níveis dos alertas enviados pelo CEMADEN desde a sua fundação e até 2015.

| ANO | Municípios* | Muito Alto | Alto | Moderado | Total |
|------|-------------|------------|------|----------|-------|
| 2011 | 56 | 1 | 2 | 15 | 18 |
| 2012 | 274 | 4 | 39 | 210 | 253 |
| 2013 | 531 | 59 | 271 | 638 | 968 |
| 2014 | 856 | 46 | 271 | 1036 | 1353 |
| 2015 | 888 | 60 | 369 | 1332 | 1761 |

Figura 1: Representação do número de municípios monitorados pelo CEMADEN e os níveis de alertas enviados, desde a sua fundação. Fonte: Cemaden.gov, 2018.

Sabendo da importância de se minimizar os impactos em casos de eventos de chuva intensa e extrema, conhecer os padrões de distribuição, avaliar e prever com antecedência este tipo de evento, torna-se de suma importância tanto para a comunidade científica quanto para a sociedade.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área de estudo

O estudo foi realizado para a cidade do Rio de Janeiro a qual apresenta clima tipo tropical, quente e úmido, com variações locais, devido às diferenças de altitude, vegetação e proximidade do oceano (DERECZYNSKI et al., 2009). A cidade do Rio conta com 6.320.446 habitantes, informado pelo censo de 2010 e uma densidade demográfica de 5.265,82 hab/km² (“IBGE”, 2017). A sua morfologia é constituída por um geocossistema montanhoso circundado por planícies fluvio-marinhas (Figura 2), ambas interconectadas por redes de canais que drenam para diferentes reservatórios terminais (COELHO, 2005).

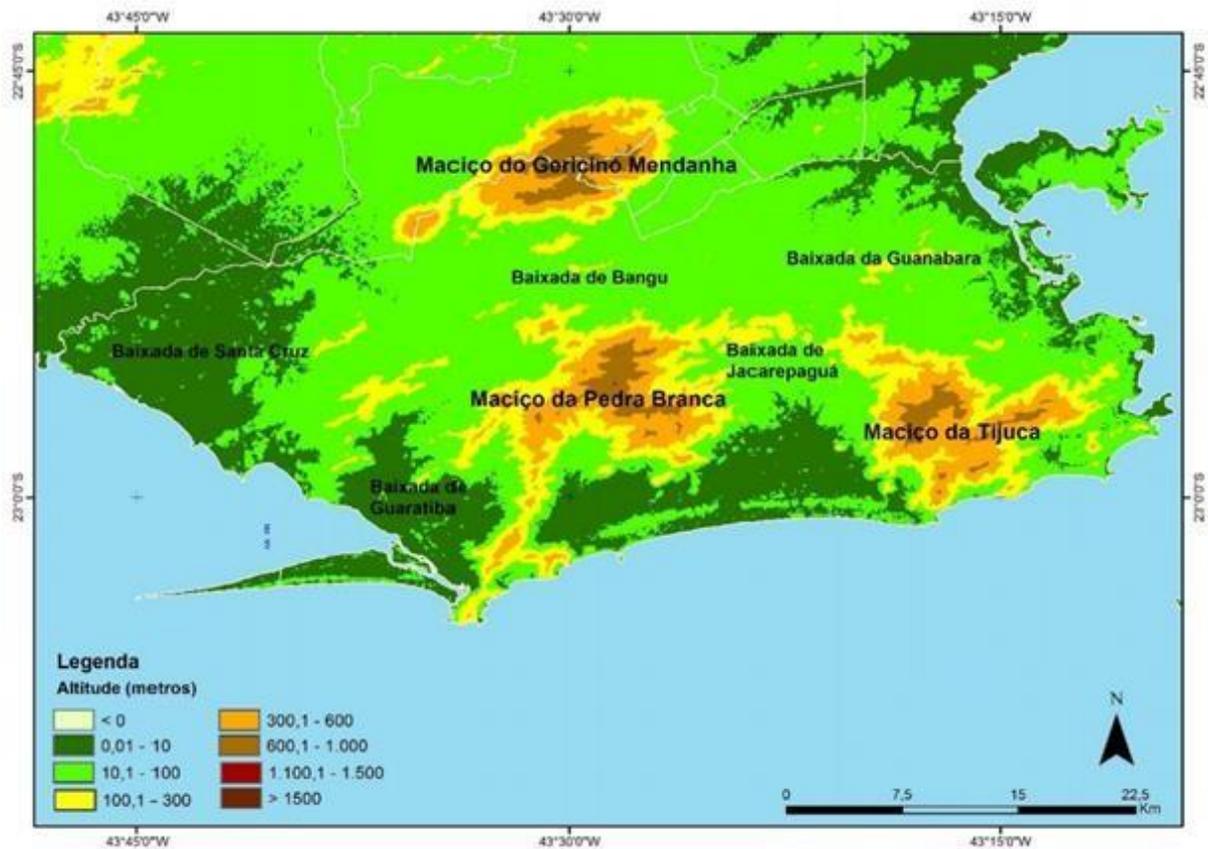


Figura 2: Geomorfologia da cidade do Rio de Janeiro. Fonte: Autoria própria, (2019).

Entre as suas características físicas, a topografia acidentada e extremamente diversa se destaca, marcada pela formação de maciços, cujas encostas originalmente cobertas por florestas da Mata Atlântica, apresentam altos graus de declividade (DERECZYNSKI et al., 2009). Os maciços principais da cidade, que são o do Gericinó-Mendanha, ao norte, onde se encontram as Serras do Mendanha e de Gericinó, com o Pico do Guandu localizado a 964 m; o maciço da Tijuca, a leste, com o Pico da Tijuca localizado a 1022 m de altitude e o maciço da Pedra Branca a oeste, onde se localiza o ponto mais elevado da cidade, o Pico da Pedra Branca (1025 m) (COELHO NETTO, 2005). Entretanto, a forma de relevo mais típico da cidade é a planície, que representa 64% do território municipal, denominada de baixada, tendo uma variação de altitude que não ultrapassa os 20 m acima do nível médio do mar. Da área territorial total, aproximadamente 20%, encontra-se numa altitude superior a 100 m (MMA, 2002).

O estado do Rio de Janeiro possui um alto índice pluviométrico anual, de cerca de 1500 mm (REBOITA et al., 2010), com distribuição espacial de precipitação heterogênea (DERECZYNSKI ET AL., 2009). O Rio de Janeiro é um estado com grandes contrastes

pluviométricos devido à sua localização geográfica, topografia e aspectos dinâmicos da atmosfera (MINUZZI ET AL., 2007).

3.2 Dados Utilizados

Os dados utilizados nesta pesquisa foram séries diárias de precipitação pluvial provenientes das estações que compõem a rede de monitoramento das chuvas da cidade do Rio de Janeiro proveniente dos Sistema Alerta Rio². Os dados são considerados confiáveis, uma vez que passam pelo controle de qualidade do Sistema Alerta Rio², que periodicamente executa calibração e manutenção em sua rede telemétrica.

A precipitação dos postos pluviométricos do Sistema Alerta Rio é totalizada a cada 15 minutos, considerando o horário local e o Horário Brasileiro de Verão (HBV). Dessa forma, neste trabalho as séries de dados são ajustadas do HBV para horário local. Os totais pluviométricos diários (chv24h) são acumulados entre 00:15 h e 00:00 do dia seguinte, totalizando-se 96 registros de chv15min por dia. Os totais diários de precipitação foram submetidos para a análise e cálculos dos índices de mudanças climáticas. Para maior confiabilidade nos resultados foram consideradas apenas estações que continham séries históricas de precipitação que não apresentavam falhas em seu banco de dados compreendidos entre 1997 a 2017.

As 33 estações disponibilizadas pelo Sistema Alerta Rio² foram analisadas, e deste montante foram escolhidas 15 estações para apresentação e análise (Figura 3). Na Tabela 1 encontram-se as informações geográficas das estações selecionadas para a realização desta pesquisa.

² Disponível em: <http://alertario.rio.rj.gov.br/download/dados-pluviometricos>. Acessado em: 22 de janeiro de 2018

Tabela 1 - Informações geográficas das estações selecionadas para análise pluviométrica no presente trabalho.

| Estações | Latitude (°) | Longitude (°) | Altitude (m) |
|---------------------------------|--------------|---------------|--------------|
| 3 – Rocinha | -22,98583 | - 43,24500 | 160 |
| 4 – Tijuca (Sumaré) | -22,93194 | - 43,22167 | 340 |
| 5 – Santa Teresa | -22,93167 | - 43,19639 | 170 |
| 8 – Ilha do Governador | -22,81806 | - 43,21028 | 0 |
| 9 – Penha | -22,84444 | - 43,27528 | 111 |
| 10 – Madureira | -22,87333 | - 43,33889 | 45 |
| 12 – Bangu | -22,88028 | -43,46583 | 15 |
| 18 – Jacarepaguá/Cidade de Deus | -22,94556 | -43,36278 | 15 |
| 20 – Guaratiba | -23,05028 | -43,59472 | 0 |
| 22 – Santa Cruz | -22,90944 | -43,68444 | 15 |
| 24 – Anchieta | -22,82694 | -43,40333 | 50 |
| 25 – Grota Funda | -23,01444 | -43,52139 | 11 |
| 26 – Campo Grande | -22,90361 | -43,56194 | 30 |
| 27 – Sepetiba | -22,96889 | -43,71167 | 62 |
| 30 – Recreio | -23,01000 | -43,44056 | 10 |

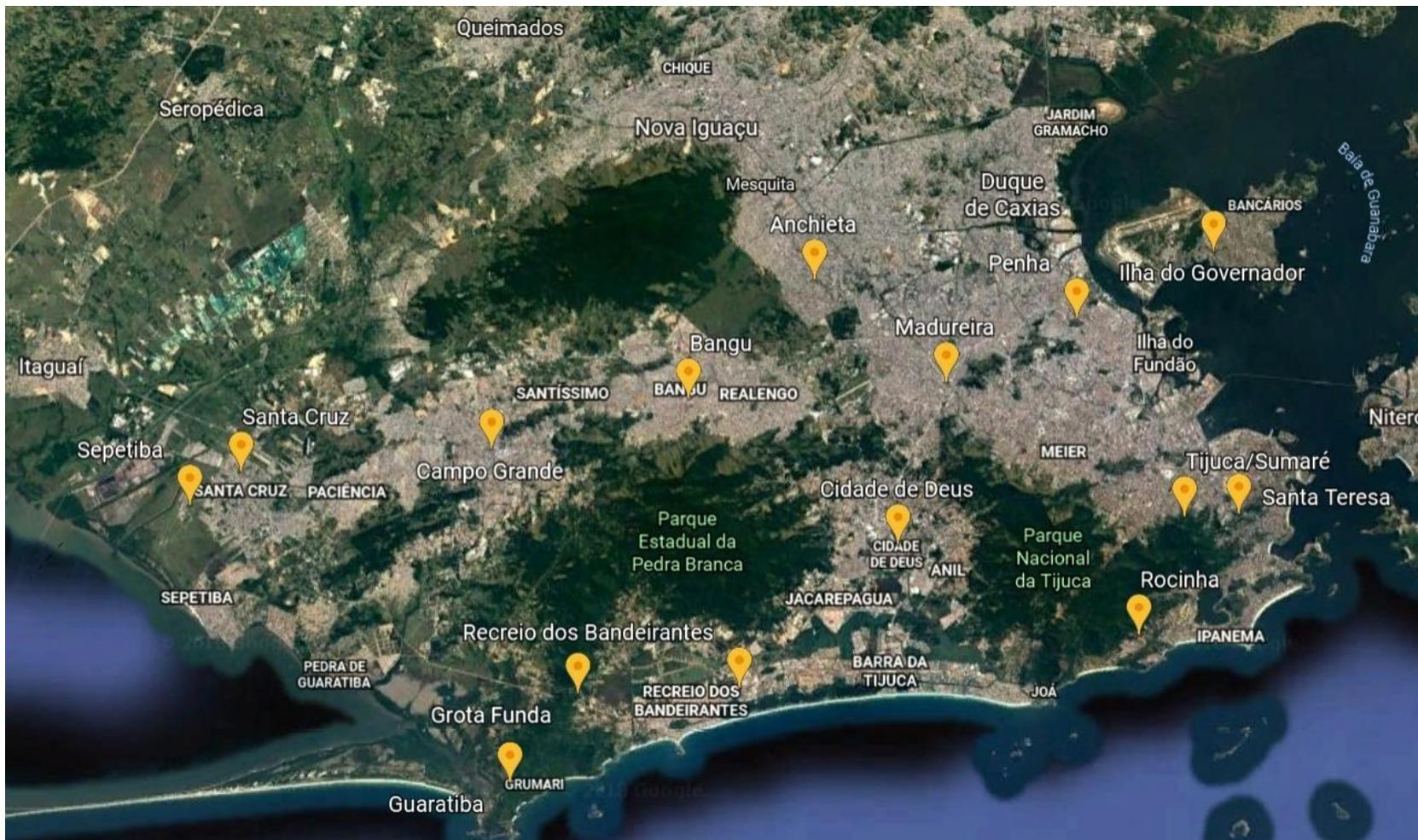


Figura 3: Localização dos 15 postos pluviométricos do Sistema Alerta Rio utilizadas neste trabalho e a localização do Parque Nacional da Tijuca e Parque Estadual da Pedra Branca. Fonte: Google Earth, 2018.

3.3 Índices de detecção de mudanças climáticas

Para identificar mudança na distribuição da precipitação na cidade do Rio de Janeiro foram calculados 11 índices mediante a utilização do *software* RCLimDex (versão 1.1) de distribuição gratuita disponível para *download* no *website* dos índices da ETCCDMI³. Este *software* foi desenvolvido por Byron Gleason do *National Climate Data Centre* (NCDC) da NOAA, e tem sido usado em oficinas CCI/CLIVAR (*International Research Programme on Climate Variability and Predictability*) sobre índices climáticos desde 2000 (ZHANG; YANG, 2004).

O RCLimDex fornece uma interface gráfica que possibilita calcular 27 índices climáticos, possibilitando evidenciar a existência de eventos extremos de precipitação, além de monitorar e detectar mudanças climáticas e eventos extremos de precipitação. Ressalta-se que, nesse trabalho, dos vinte sete índices oferecidos pelo programa, foram utilizados 11. Os índices obtidos pela pesquisa foram submetidos a regressão linear, a regressão linear segmentada, ao coeficiente de determinação (r^2), erro padrão de estimativa e ao teste t para o coeficiente angular da reta. As descrições dos índices utilizados encontram-se na Tabela 2.

³ Disponível em: <http://etccdi.pacificclimate.org/software.shtml>. Acessado em: 15 de agosto de 2018

Tabela 2 - Onze índices fornecidos pela plataforma ETCCDMI para análise pluviométrica.

| ÍNDICES | DESCRIÇÃO |
|---------|--|
| RX1day | Seja RR_{ij} total diário de precipitação no dia i em período J . Em seguida, os valores máximos de um dia para o período J são: $Rx1day_j = \max(RR_{ij})$ |
| RX5day | Seja RR_{ij} o total da precipitação no intervalo k de 5 dias, período J . Em seguida, os valores máximos de 5 dias para o período J são: $Rx5day_j = \max(RR_{kj})$ |
| SDII | Seja RR_{ij} total diário de precipitação nos dias úmidos $^w(RR \geq 1mm)$, no período J . Se W representa o número de dias chuvosos em J , então: $SDII_j = \frac{\sum_{w=1}^w RR_{wj}}{W}$ |
| R10 | Seja RR_{ij} total diário de precipitação no dia i em período J , com o número de dias em que: $RR_{ij} \geq 10mm$ |
| R20 | Seja RR_{ij} total diário de precipitação no dia i em período J , com o número de dias em que: $RR_{ij} \geq 20mm$ |
| R50 | Seja RR_{ij} total diário de precipitação no dia i em período J , com o número de dias em que: $RR_{ij} \geq 50mm$ |
| CDD | Seja RR_{ij} total diário de precipitação no dia i em período J , com maior número de dias consecutivos em que: $RR_{ij} < 1mm$ |
| CWD | Seja RR_{ij} total diário de precipitação no dia i em período J , com maior número de dias consecutivos em que: $RR_{ij} \geq 1mm$ |
| R95p | Seja RR_{wj} total diário de precipitação em um dia úmido $^w(RR \geq 1.0mm)$ no período J em que RR_{wn95} seja o percentil 95º da precipitação em dias úmidos no período 1997-2017. Se representa o número de dias úmidos no período, então: $R95p_j = \sum_{w=1}^w RR_{wj} \text{ where } RR_{wj} > RR_{wn95}$ |
| R99p | Seja RR_{wj} total diário de precipitação em um dia úmido $^w(RR \geq 1.0mm)$ no período J em que RR_{wn99} seja o percentil 99º de precipitação em dias úmidos no período 1997-2017. Se representa o número de dias úmidos no período, então: $R99p_j = \sum_{w=1}^w RR_{wj} \text{ where } RR_{wj} > RR_{wn99}$ |
| PRCPTOT | Seja RR_{ij} total diário de precipitação no dia i em período J . Se representa o número de dias em J , então: |

Para caracterizar objetivamente possíveis tendências lineares nos índices climáticos calculados foi traçada uma reta de regressão linear (Eq.1). A regressão linear é um modelo adequado de representar matematicamente o comportamento de uma variável dependente (y) aqui a precipitação, em função de uma variável independente (x) no nosso caso os anos, se as relações entre elas são aproximadamente lineares.

$$y = \beta x - \alpha \quad (1)$$

Em que

β - coeficiente angular da reta;

α - coeficiente linear da reta.

O coeficiente angular (β) define o grau de inclinação da reta. Ou seja, $\beta > 0$ significa que a reta tem uma inclinação positiva e quando $\beta < 0$, a inclinação da reta é negativa. Dessa forma, em uma série temporal histórica, esse coeficiente indicará se a tendência é crescente ou decrescente no decorrer do tempo. Ademais, o coeficiente angular também mostra se essa variação ocorre de maneira brusca ou suave.

Uma importante parte da verificação de adequação de um modelo de regressão linear é a aplicação de um teste estatístico que verifique a significância estatística do coeficiente angular (inclinação da reta), para isto utilizar-se-á a estatística t de *Student* (TRIOLA, 2005).

O teste t de *Student* foi utilizado para avaliar se o coeficiente angular da reta β é significativamente diferente de zero. A hipótese nula (H_0) de que não existe alteração, ou seja, $\beta = 0$, foi testada por meio do teste t de *Student* com $n-2$ graus de liberdade (Eq. 2). A hipótese de que não há alteração (tendência) é rejeitada quando o valor de t calculado é maior, em valor absoluto, do que valor crítico $t_{\alpha/2, n-2}$, tabelado, a um determinado nível de significância α_0 , sendo para esse teste adotado nível de significância de 0,05.

$$t = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} = \frac{\beta}{s \sqrt{SSx}} \quad (2)$$

em que:

n - tamanho da amostra

r - coeficiente de correlação de Pearson

s - desvio padrão dos resíduos

β - coeficiente angular da reta

SS_x - soma dos quadrados da variável independente.

O coeficiente de determinação, também chamado de r^2 , é uma medida de ajustamento de um modelo estatístico linear generalizado, como a regressão linear, em relação aos valores observados (Eq.3). O r^2 varia entre 0 e 1, indicando, em percentagem, o quanto o modelo consegue explicar os valores observados. Quanto maior o r^2 , mais explicativo é o modelo, melhor ele se ajusta à amostra.

$$R^2 = 1 - \frac{SQ_{res}}{SQ_{tot}} \quad (3)$$

em que

SQ_{res} - soma dos quadrados dos resíduos;

SQ_{tot} - soma dos quadrados totais.

O erro padrão de estimativa é uma medida de variação de uma média amostral em relação à média da população. Sendo assim, é uma medida que ajuda a verificar a confiabilidade da média amostral calculada (Eq. 4).

$$S_x = \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (4)$$

sendo

S_x - valor do erro padrão;

S -desvio padrão;

n - número da amostra.

Esses índices foram submetidos a análise estatística pelo próprio *software* para identificar se há possíveis tendências e quantificar mudanças no registro de precipitação diária ao longo dos anos. Ao executar o programa, todos os dados faltantes são identificados com o valor – 99,9. Os dados deverão ser dispostos em arquivo composto de colunas correspondentes ao ano, mês, dia, precipitação, (separados por um ou mais espaços) e em ordem cronológica.

Foram apontadas como possíveis tendências climáticas os índices que apresentaram tendência linear (positiva ou negativa) superior ao erro padrão de estimativa e estatisticamente

significativa de t_{95} que corresponde a uma significância estatística de 95% ($p < 0,05$), obtidos pelo teste “t” *Student*, gerado pelo *software*.

Posteriormente, a PRCPTOT, um dos índices de mudanças climáticas, calculados pelo *software* RCLimDex, foi submetido a análise de correlação, por meio da construção da Matriz de Pearson entre as estações utilizadas no estudo, para entender como a distribuição das chuvas na cidade do Rio de Janeiro se correlacionam; e de regressão linear segmentada para identificar períodos com características distintas na distribuição da série de PRCPTOT.

A regressão segmentada é utilizada quando a variável independente apresenta mudança em sua distribuição temporal, podendo ser agrupados em grupos distintos, ou seja, a variável independente apresenta diferentes relações entre sua distribuição temporal. A presença de ponto de interrupção pode ser indício de mudança na distribuição da variável independente.

Na análise de regressão segmentada o método dos mínimos quadrados também é aplicado separadamente à cada segmento, para o cálculo dos coeficientes da regressão, resultando nas Eq. (5) e Eq. (6).

$$Y_i = \alpha_1 + \beta_1 X \quad \text{para} \quad X \leq P_i \quad (5)$$

$$Y_j = \alpha_2 + \beta_2 X \quad \text{para} \quad X > P_i \quad (6)$$

em que:

Y_n - variável em análise

X - tempo

α_n e β_n - coeficientes da regressão calculados pelo método dos mínimos quadrados

P_i - ponto de interrupção

Segundo Robbins (1986), o ponto de interrupção é determinado pelo ponto de interseção quando $X = P_i$, nas Eq. (5) e Eq. (6). Assim, o ponto de interrupção é definido pela Eq. (7).

$$P_i = \frac{\alpha_2 - \alpha_1}{\beta_2 - \beta_1} \quad (7)$$

em que:

α_n e β_n - coeficientes da regressão calculados pelo método dos mínimos quadrados

P_i - ponto de interrupção

4 RESULTADOS

4.1 Precipitação Total

O índice de precipitação total anual (PRCPTOT) do município do Rio de Janeiro das estações analisadas apresentaram considerável influenciada topografia com máximos nas áreas de maior altitude, como por exemplo, as estações da Rocinha e Tijuca e mínimos sobre as regiões de costa e também de baixada, como Penha e Bangu (Tabela 3).

Tabela 3: Valores Mínimo, Máximo, Médio e Desvio Padrão em milímetros do total pluviométrico anual de todas estações analisadas.

| Locais | Mínimo | Máximo | Médio | Desvio Padrão |
|--------------------|--------|---------|---------|---------------|
| Rocinha | 883,10 | 2519,20 | 1667,41 | 444,71 |
| Tijuca (Sumaré) | 852,80 | 2580,90 | 1455,27 | 445,05 |
| Santa Teresa | 722,60 | 2022,20 | 1274,31 | 363,16 |
| Ilha do Governador | 520,00 | 1796,80 | 1055,22 | 307,78 |
| Penha | 598,50 | 1363,40 | 877,70 | 219,20 |
| Madureira | 695,60 | 1495,20 | 1015,05 | 241,82 |
| Bangu | 696,20 | 1369,00 | 1005,12 | 209,55 |
| Cidade de Deus | 684,20 | 1682,40 | 1048,17 | 279,80 |
| Guaratiba | 660,40 | 1914,70 | 1050,54 | 281,10 |
| Santa Cruz | 771,50 | 1740,00 | 1177,97 | 229,51 |
| Anchieta | 645,40 | 1607,80 | 1117,51 | 267,61 |
| Grota Funda | 902,00 | 2058,60 | 1363,72 | 319,86 |
| Campo Grande | 679,80 | 1638,00 | 1052,20 | 251,34 |
| Sepetiba | 468,20 | 1641,40 | 1089,59 | 327,77 |
| Recreio | 634,60 | 1588,80 | 1087,98 | 264,54 |

A distribuição das chuvas no estado do Rio de Janeiro, tem seus maiores valores entre a região Metropolitana e das Baixadas Litorâneas com a região Serrana, onde a precipitação média varia entre 2.500 e 2.800 mm. Nesta região a precipitação total anual oscila entre 1.000 e 1.600 mm, com exceção do Maciço da Tijuca, onde este valor alcança 2.500 mm.

Ao comparar os estudos dos autores Dereczynski (2009) e Silva e Dereczynski (2014), com as análises feitas neste estudo, foi constatado que em todas as estações analisadas ocorreu um aumento, no total pluviométrico máximo anual. Como por exemplo, a estação Tijuca (Sumaré) com aumento de 11,7%, passando de 2.200mm para 2.580 mm (Tabela 3). Para a região mais ao norte da cidade, foram observados os menores totais precipitados, além de aumento no total das chuvas na Penha, de 870 mm relatado por Dereczynski (2009), foi observado aumento de

56,71%, passando para 1363,4 mm obtidos no presente estudo. Aumento semelhante também foi observado para Bangu, que apresentou aumento próximo de 40%, passando de 991 para 1369 mm. Para a zona oeste da cidade valores predominam valores entre 1000 e 1200 mm entre os obtidos pela autora e nessa pesquisa.

Dentre as estações que apresentaram chuva maior do que 2000 mm/ano, três mostraram correlação maior do que 0,7, com significância estatística. As estações da Tijuca (Sumaré), Rocinha e Santa Teresa, de acordo com a Matriz de Correlação de Pearson, apresentam correlação de 0,92 entre Tijuca e Santa Teresa, 0,85 entre Rocinha e Santa Teresa e 0,76 entre Tijuca e Rocinha. Correlação essa que mostra semelhanças na distribuição das chuvas nessas estações, consequência principalmente dos efeitos orográficos do maciço da Tijuca, proximidade geográfica entre as estações, cobertura vegetal (Tabela 4).

A correspondência foi possível de analisar a partir da Matriz de Correlação de Pearson, por meio da distribuição de chuva entre as estações Santa Cruz e Campo Grande. As duas estações possuem totais mínimos, médios e máximos de chuva anual, com valores muito próximos, e um valor de correção entre 0,87. A distribuição das chuvas nessas estações sofre ação de fatores de escalas locais, como a circulação de brisas influenciadas pela Baía de Sepetiba, bem como os sistemas de macro e mesoescalas como as Frente Fria, Complexo Convectivo, por exemplo.

A matriz de correlação não indicou correlações significantes para: Grota Funda e Madureira, Grota Funda e Santa Cruz, Grota Funda e Campo Grande e Grota Funda e Anchieta, as demais. Essas correlações são decorrentes da influência da circulação local de micro e mesoescala, que faz com que as chuvas orográficas, a circulação de brisas, mais a convecção local, influenciem na distribuição anual das chuvas, e essa sofra modificações em sua distribuição em uma escala anual, não sendo apenas resultante da ação de sistemas de meso e grande escala, que possibilitaria uma correlação maior entre as estações.

Por ser uma região com relevo acidentado, áreas preservadas de Mata Atlântica e fatores climáticos variados, a cidade do Rio de Janeiro apresenta diversidade no regime de chuvas, sobretudo pela influência de fenômenos atmosféricos e de origem oceânica em grande escala, de modo a favorecer alterações na precipitação pluvial de forma concentrada em períodos característicos do ano (SICILIANO et al., 2018). Por apresentar relevo configurado de forma irregular, montanhoso a escarpado, especialmente devido a presença da Serra do Mar, a distribuição das chuvas na cidade do Rio de Janeiro tem performance determinante influenciada por fatores termodinâmicos (FRANCO et al., 2003).

A associação de fatores de uso e ocupação do solo, grandes maciços geográficos inseridos no contexto urbano constituem elementos físicos fundamentais na padronização do volume de precipitação pluvial de determinadas regiões da cidade do Rio, observado-se essa influência pela correlação obtida entre as estações, especialmente na formação de chuvas orográficas e de verão. A proximidade da região litorânea e a presença da Mata Atlântica tornam maiores os índices pluviométricos na região do litoral sul fluminense, enquanto o afastamento ao interior do continente, tende a reduzir os índices médios pluviométricos (SOARES; FRANCISCO; CARVALHO, 2005).

O posicionamento das estações a barlavento (do lado de onde sopra o vento) dos Maciços de Pedra Branca e da Tijuca, como as da Grota Funda e Rocinha, faz com que o ar úmido, proveniente do oceano, condense ao ascender na atmosfera, o que provoca os maiores totais nessa região, considerando assim o alto volume de chuva pelo resultado do efeito orográfico. Nas regiões de planície da cidade do Rio, a precipitação foi inferior aos totais observados junto aos maciços, destacando-se os menores totais de precipitação para a região Norte da cidade, onde se localizam as estações Madureira e Penha (Figura 4).

Além do efeito orográfico que ocorre na cidade do Rio de Janeiro, a distribuição da precipitação sofre a influências de fatores meteorológicos de macro e mesoescalas como, a passagem de Sistemas Frontais (SFs), estabelecimento de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e ocorrência de Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCMs), produzindo irregularidades espaciais no campo de precipitação.

Os sistemas transientes que provocam chuva na cidade do Rio deslocando-se, em geral, de Sul para Norte e a presença da topografia forçam o ar úmido a se elevar à barlavento dos maciços. Este ar ascendente se resfria e se condensa, formando nuvens e chuva, que produzem máximos de precipitação à barlavento das encostas, como observados em estações como a da Rocinha e Tijuca. Após perder grande parte de sua umidade o ar desce as encostas, sendo comprimido e aquecido, inibindo assim a formação de nuvens e conseqüentemente reduzindo-se a precipitação a sotavento (lado oposto ao lado do qual sopra o vento) dos maciços, explicando os menores totais médios em Bangu, Madureira e Penha.

Tabela 4. Matriz de correlação de Pearson (r)

| <i>Locais</i> | <i>Rocinha</i> | <i>Tijuca</i> | <i>Santa Teresa</i> | <i>Ilha do Governador</i> | <i>Penha</i> | <i>Madureira</i> | <i>Bangu</i> | <i>Cidade de Deus</i> | <i>Guaratiba</i> | <i>Santa Cruz</i> | <i>Anchieta</i> | <i>Grota Funda</i> | <i>Campo Grande</i> | <i>Sepetiba</i> |
|---------------------------|----------------|---------------|---------------------|---------------------------|--------------|------------------|--------------|-----------------------|------------------|-------------------|-----------------|--------------------|---------------------|-----------------|
| <i>Tijuca</i> | 0,76 | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Santa Teresa</i> | 0,85 | 0,92 | | | | | | | | | | | | |
| <i>Ilha do Governador</i> | 0,71 | 0,83 | 0,81 | | | | | | | | | | | |
| <i>Penha</i> | 0,64 | 0,71 | 0,66 | 0,87 | | | | | | | | | | |
| <i>Madureira</i> | 0,71 | 0,88 | 0,86 | 0,84 | 0,86 | | | | | | | | | |
| <i>Bangu</i> | 0,86 | 0,82 | 0,89 | 0,84 | 0,84 | 0,89 | | | | | | | | |
| <i>Cidade de Deus</i> | 0,78 | 0,82 | 0,82 | 0,76 | 0,73 | 0,77 | 0,84 | | | | | | | |
| <i>Guaratiba</i> | 0,49 | 0,78 | 0,73 | 0,72 | 0,55 | 0,66 | 0,57 | 0,56 | | | | | | |
| <i>Santa Cruz</i> | 0,70 | 0,66 | 0,73 | 0,67 | 0,69 | 0,75 | 0,80 | 0,73 | 0,49 | | | | | |
| <i>Anchieta</i> | 0,69 | 0,80 | 0,82 | 0,73 | 0,75 | 0,90 | 0,85 | 0,73 | 0,58 | 0,73 | | | | |
| <i>Grota Funda</i> | 0,64 | 0,43 | 0,58 | 0,59 | 0,44 | 0,32 | 0,58 | 0,63 | 0,44 | 0,39 | 0,34 | | | |
| <i>Campo Grande</i> | 0,58 | 0,65 | 0,68 | 0,68 | 0,78 | 0,80 | 0,79 | 0,65 | 0,52 | 0,87 | 0,66 | 0,37 | | |
| <i>Sepetiba</i> | 0,64 | 0,76 | 0,75 | 0,81 | 0,62 | 0,63 | 0,66 | 0,69 | 0,64 | 0,71 | 0,54 | 0,58 | 0,61 | |
| <i>Recreio</i> | 0,76 | 0,70 | 0,70 | 0,69 | 0,69 | 0,68 | 0,77 | 0,82 | 0,54 | 0,65 | 0,68 | 0,59 | 0,60 | 0,49 |

Valores em negrito apresenta significância entre as correlações

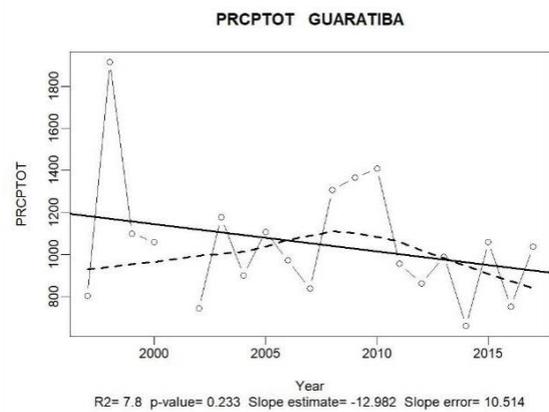
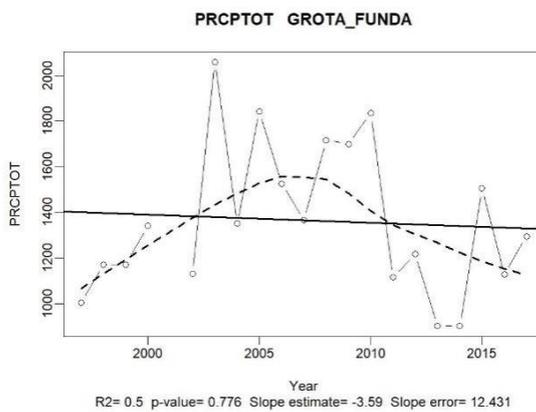
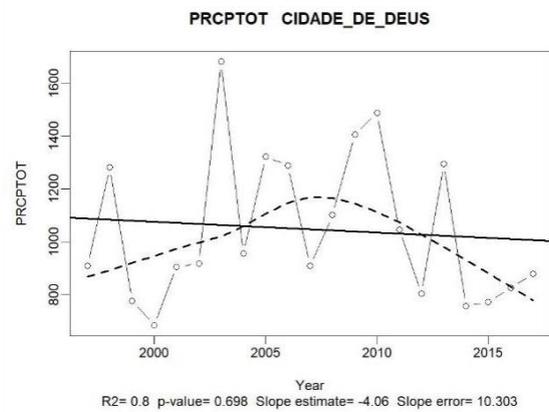
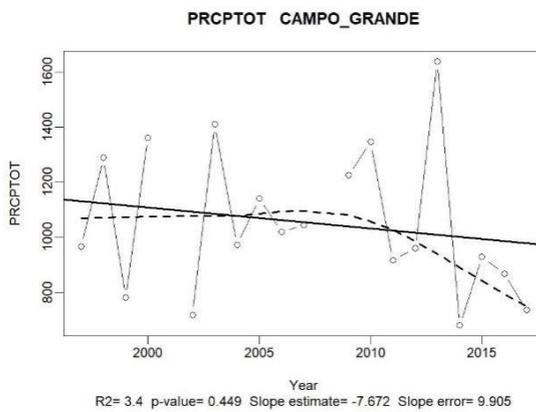
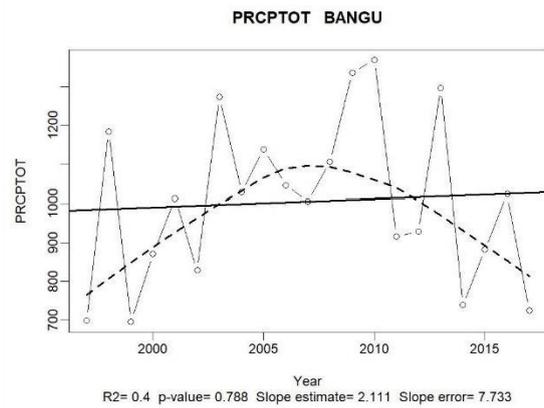
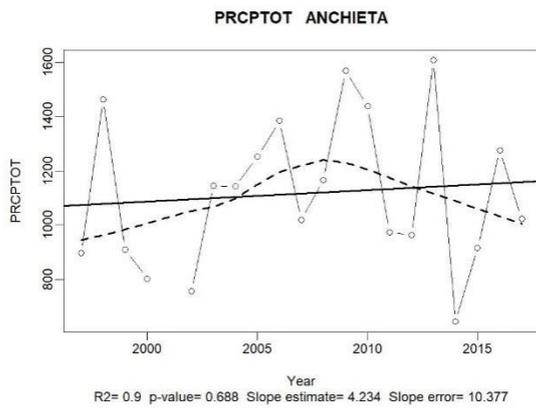


Figura 4: Representação gráfica do índice de Precipitação Total Anual (PRCPTOT), com base em 6 estações selecionadas para o estudo, Anchieta, Bangu, Campo Grande, Cidade de Deus, Grota Funda e Guaratiba, no município do Rio de Janeiro entre os anos de 1997 a 2017. Fonte: Autoria própria, 2018.

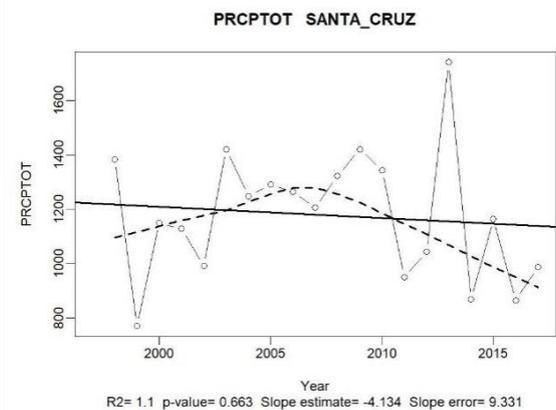
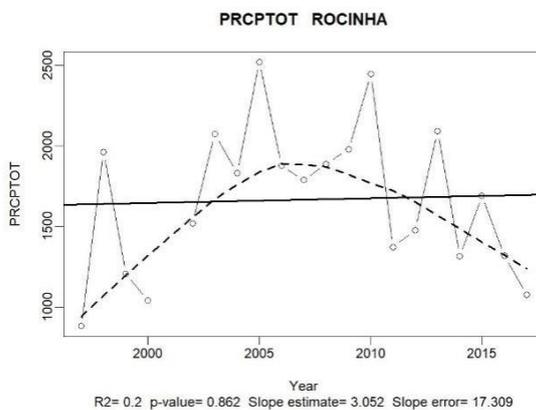
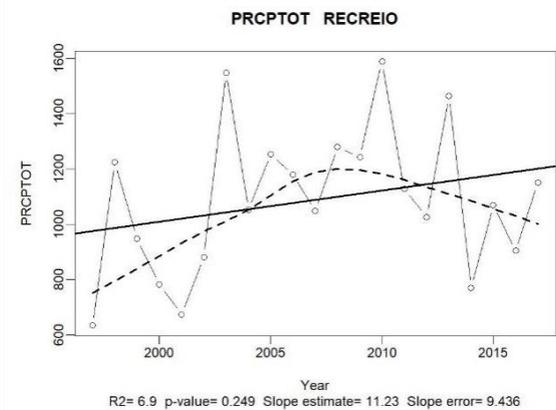
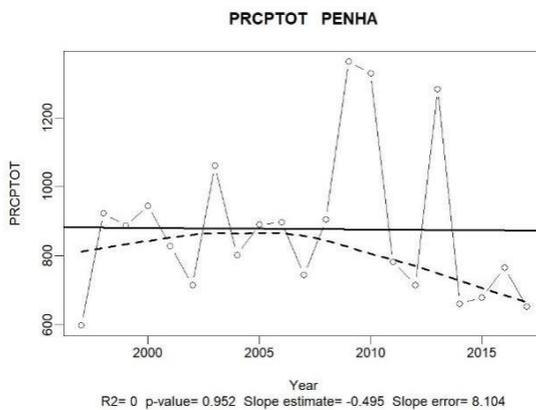
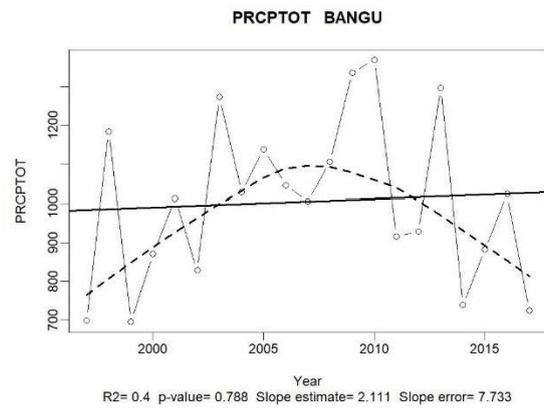
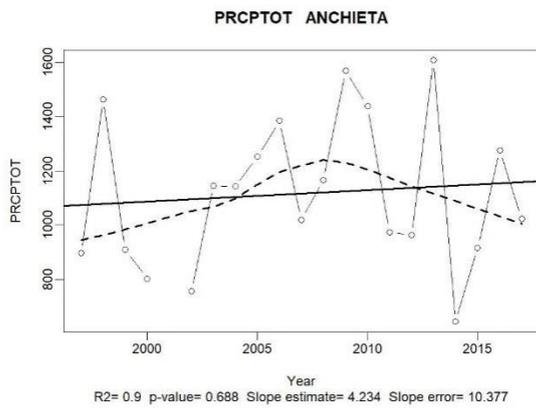


Figura 5: Representação gráfica do índice de Precipitação Total Anual (PRCPTOT), com base em 6 estações selecionadas para o estudo, Ilha do Governador, Madureira, Penha, Recreio, Rocinha e Santa Cruz, no município do Rio de Janeiro entre os anos de 1997 a 2017. Fonte: Autoria própria, 2018.

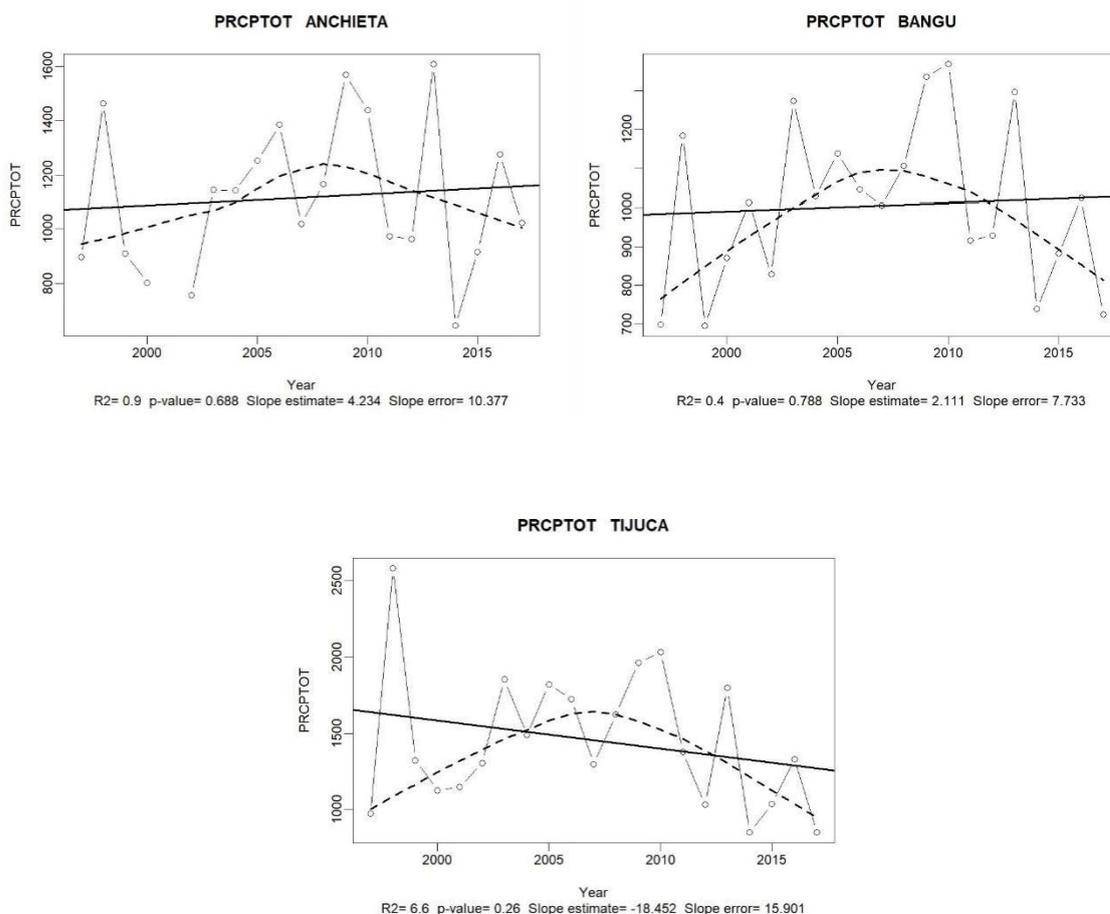


Figura 6: Representação gráfica do índice de Precipitação Total Anual (PRCPTOT), com base em 3 estações selecionadas para o estudo, Santa Tereza, Sepetiba e Tijuca, no município do Rio de Janeiro entre os anos de 1997 a 2017. Fonte: Autoria própria, 2018.

Dentre as estações analisadas foi verificado tendência linear de redução do total anual da precipitação em onze, porém com tendência linear estaticamente significativa de redução para o total anual apenas em Sepetiba (Figura 6). Os resultados mostraram que apenas nas estações de Bangu, Anchieta, Recreio e Rocinha o ajuste linear foi positivo. Silva, Souza e Azevedo (2012) e Santos, Assis e Souza (2014) identificaram resultados semelhantes ao encontrado neste estudo, e Assis, Lacerda e Sobral (2012) e Assis, Sobral e Souza (2012) identificaram redução para o total anual de precipitação.

No entanto, por meio de uma análise mais criteriosa foi possível observar que há redução do total anual na cidade do Rio de Janeiro. Em todas as estações os totais anuais mostraram aumento na precipitação do início das séries até aproximadamente os primeiros dez anos de estudo. Posteriormente a esse período há redução nos totais precipitados.

Para identificar os anos em que houve ponto de quebra (mudança) na distribuição pluviométrica, as séries foram submetidas ao ajuste da regressão linear segmentada. Os totais anuais de precipitação pluviométrica mostraram padrão na identificação para ponto de mudança. Para as estações de Rocinha, Grota Funda, o ano identificado como o de mudanças foi o de 2006. Para as demais estações a mudanças ocorreu em 2007 (Figura 7, 8 e 9).

O ajuste linear segmentado mostrou tendência linear positiva do início do período analisado, 1997 até os anos de 2006 ou 2007. A partir desse ano, os totais anuais demonstraram redução em todas estações até o ano de 2017. A redução na precipitação pode ser resultado da tendência positiva da pressão superficial no Atlântico Sul, a qual sofre influência de condições de resfriamento Pacífico equatorial. O sistema de pressão intensificada sobre o Atlântico Sul dificulta a migração do sistema de baixa pressão dos subtropicais, reduzindo a precipitação no Sudeste do Brasil (CLEM; FOGT, 2015).

Outro fator que pode estar contribuindo para a redução dos totais na cidade do Rio de Janeiro se deve em função da modificação dos ventos Alísios de Nordeste, de tal forma que a precipitação na América do Sul é severamente limitada quando os ventos Alísios são fracos (MARENGO; ESPINOZA, 2016). Ventos fracos reduzem a quantidade de vapor de água que é direcionada para a região Sul do Brasil. Advecção limitada de umidade, a intensificação das frentes frias próximas ao estado do Rio de Janeiro e a formação do Zona de Convergência do Atlântico Sul são limitadas (RAIA; CAVALCANTI, 2008).

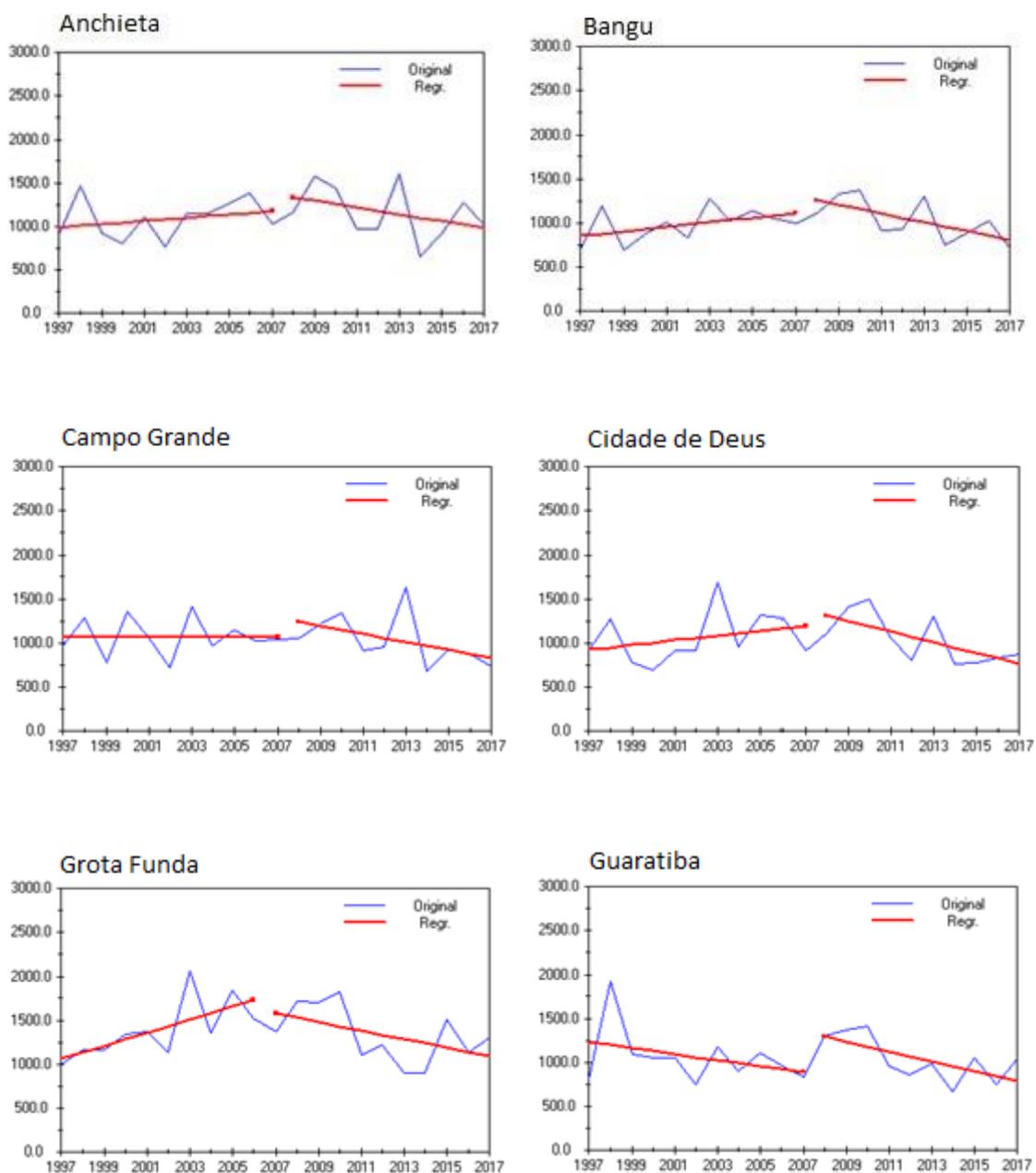


Figura 7: Regressão linear segmentada ajustada a Precipitação Total Anual (PRCPTOT), com base em 6 estações selecionadas para o estudo, Anchieta, Bangu, Campo Grande, Cidade de Deus, Grota Funda e Guaratiba, no município do Rio de Janeiro entre os anos de 1997 a 2017. Fonte: Autoria própria, 2018.

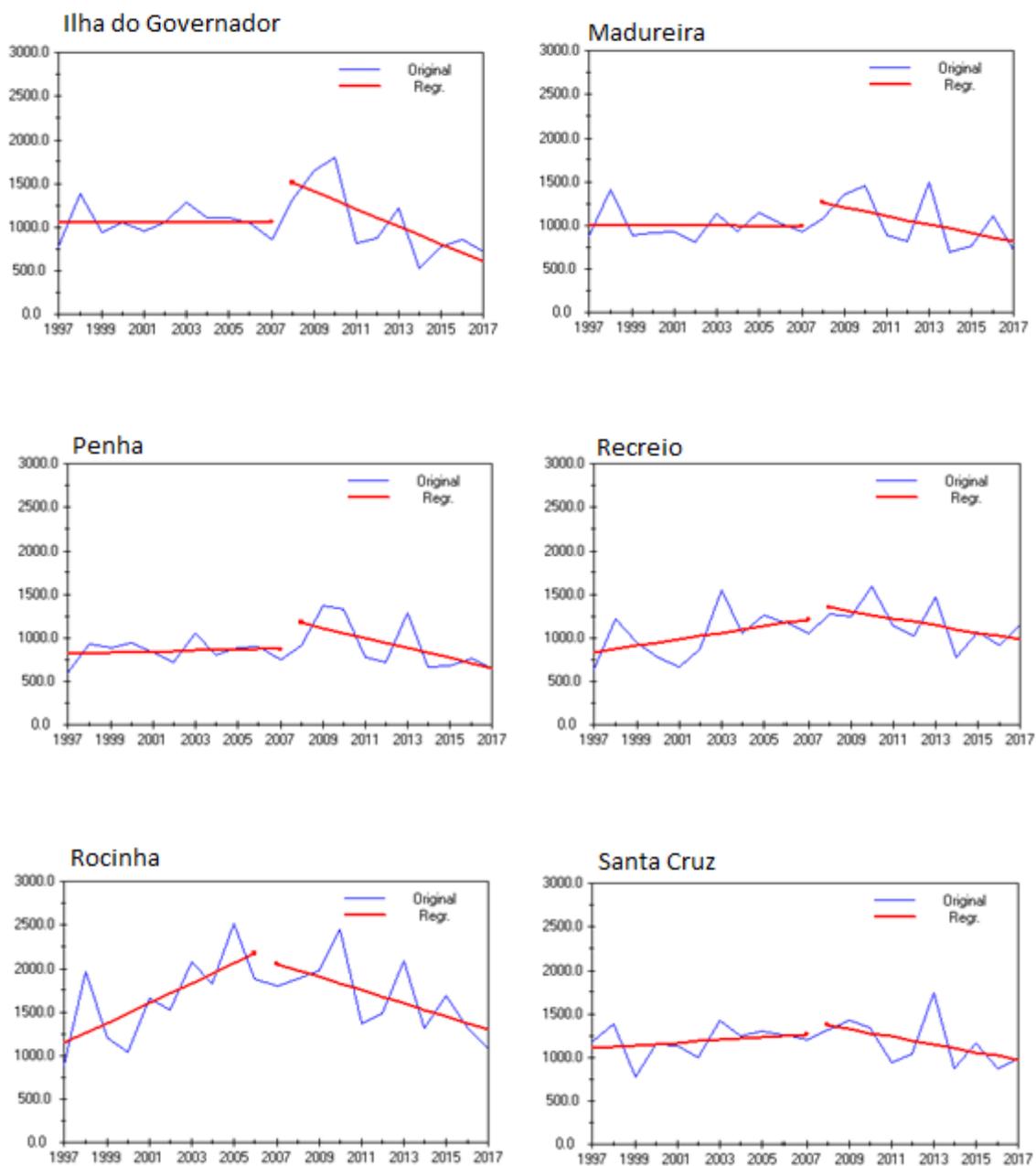


Figura 8: Regressão linear segmentada ajustada a Precipitação Total Anual (PRCPTOT), com base em 6 estações selecionadas para o estudo, Ilha do Governador, Madureira, Penha, Recreio, Rocinha e Santa Cruz, no município do Rio de Janeiro entre os anos de 1997 a 2017. Fonte: Autoria própria, 2018.

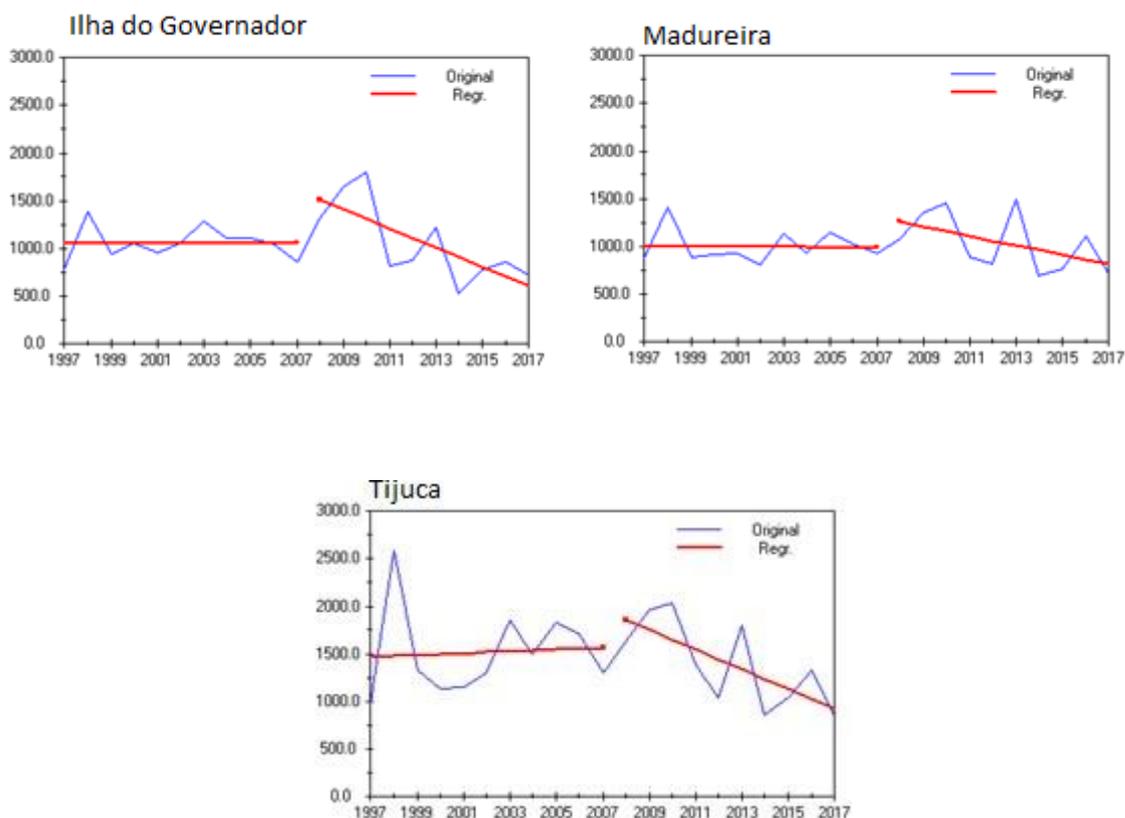


Figura 9: Regressão linear segmentada ajustada a Precipitação Total Anual (PRCPTOT), com base em 3 estações selecionadas para o estudo, Santa Teresa, Sepetiba e Tijuca, no município do Rio de Janeiro entre os anos de 1997 a 2017. Fonte: Autoria própria, 2018.

4.2 Índices de precipitação acima de R10, R20 e R50mm

A mudança na distribuição da cidade do Rio de Janeiro pode ser observada não apenas pelo total anual precipitado, mas também pela configuração da precipitação diária. Para os índices R10mm (Figura 10, 11 e 12) e R20mm (Figura 13, 14 e 15) foi observada tendência linear de diminuição em mais de 50% das estações, sendo elas, Campo Grande, Cidade de Deus, Grotta Funda, Guaratiba, Ilha do Governador, Madureira, Penha, Santa Cruz, Santa Teresa, Sepetiba e Tijuca. Resultados análogos também foram encontrados para a Bahia por Silva, Souza e Azevedo (2012) e Silva (SILVA; MONTENEGRO; SOUZA, 2017) e no Rio Capibaribe por Assis, Lacerda e Sobral (2012).

As estações que apresentaram tendências lineares distintas nesses índices foram Grotta Funda, que mostrou diminuição em R10mm e aumento em R20mm e Madureira com aumento no índice R10mm e diminuição no R20mm. A estação de Sepetiba apresentou significância

estatística para o índice R20mm, apresentando redução no número de dias no ano com precipitações igual ou superior ao referido limiar.

Foi observado também padrão semelhante na distribuição dos R10mm e R20mm a PRCPTOT, com aumento desses índices no início da série e redução para os últimos anos, por meio do ajuste da curva polinomial.

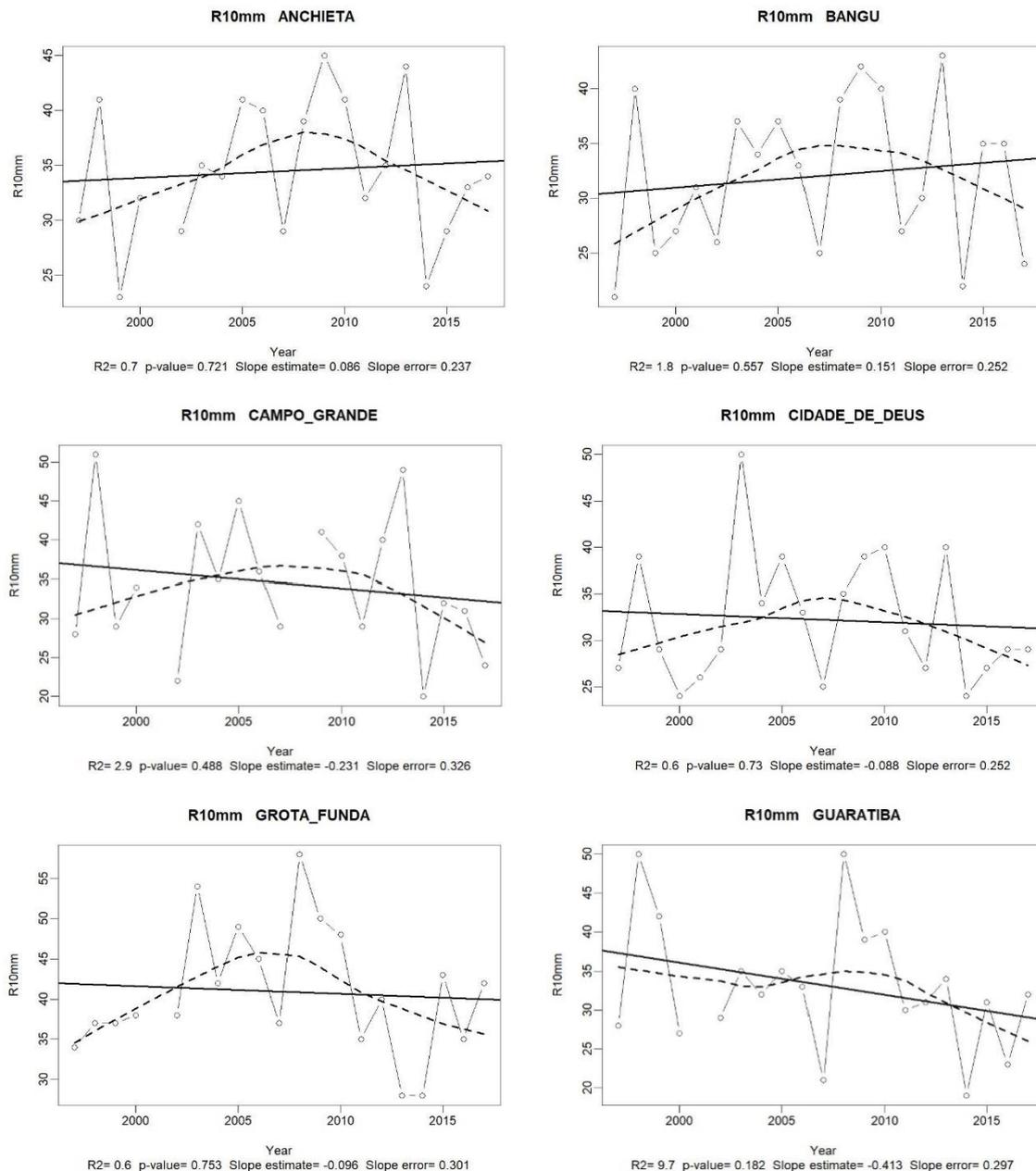


Figura 10: Representação gráfica do índice R10mm, com base em 6 estações selecionadas para o estudo, Anchieta, Bangu, Campo Grande, Cidade de Deus, Grota Funda e Guaratiba, no município do Rio de Janeiro entre os anos de 1997 a 2017. Fonte: Autoria própria, 2018.

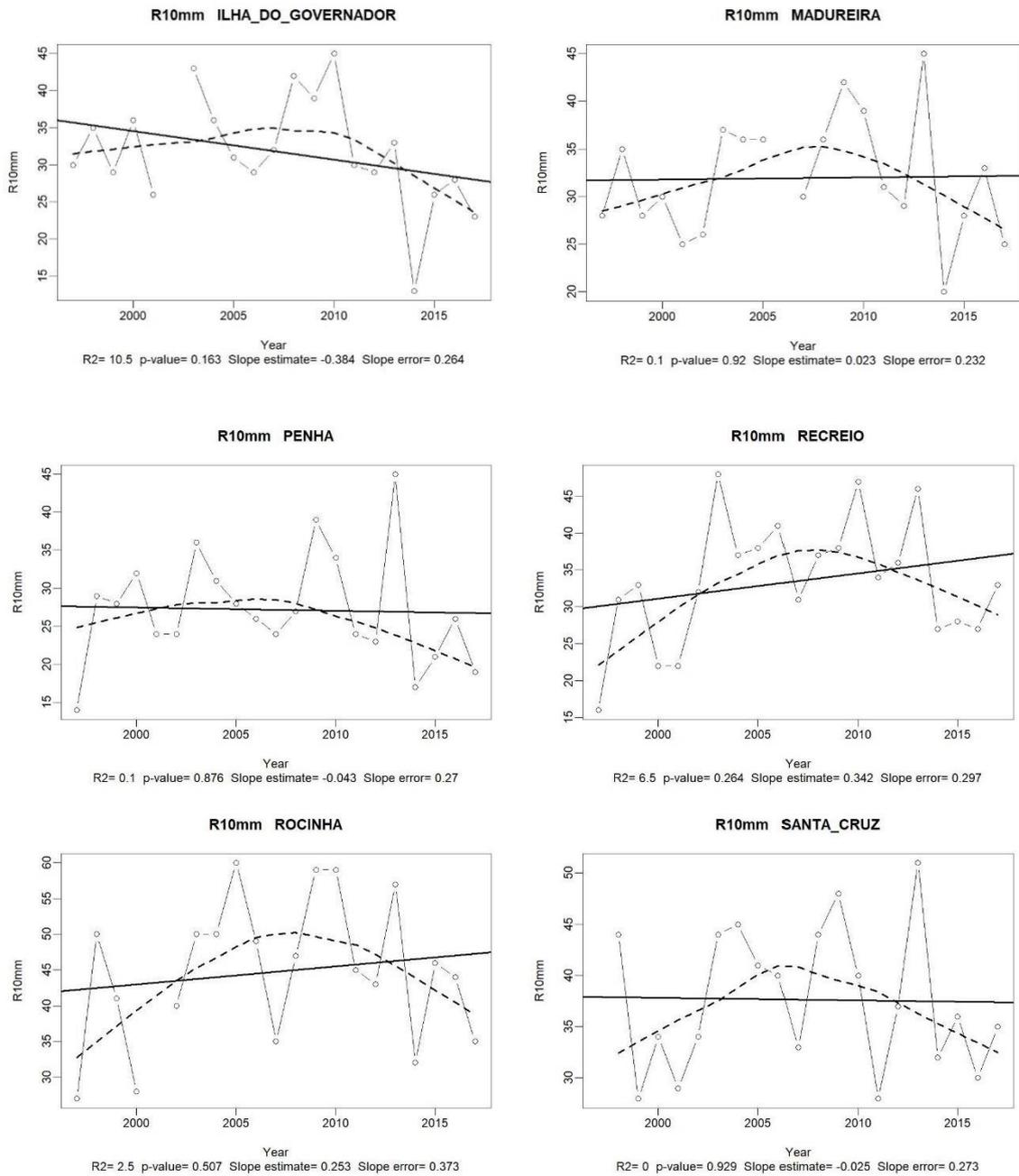


Figura 11: Representação gráfica do índice R10mm, com base em 6 estações seleccionadas para o estudo, Ilha do Governador, Madureira, Penha, Recreio, Rocinha e Santa Cruz, no município do Rio de Janeiro entre os anos de 1997 a 2017. Fonte: Autoria própria, 2018.

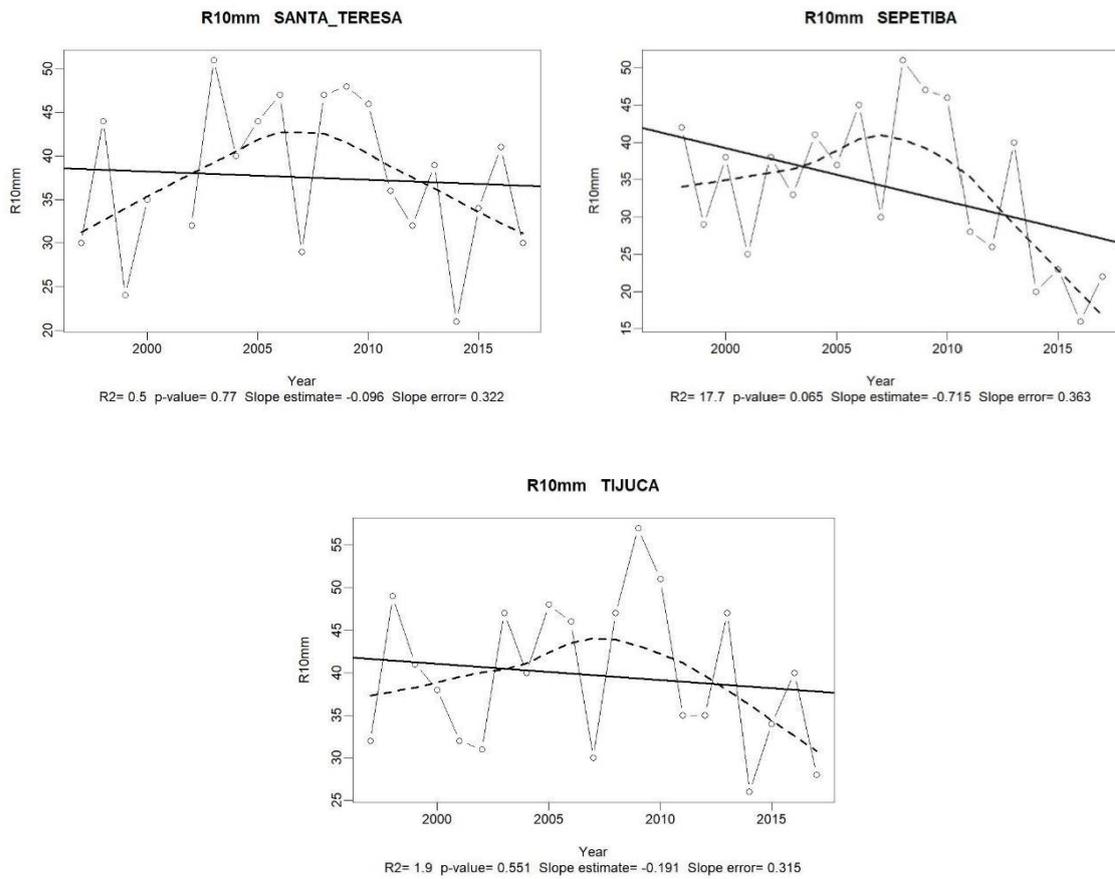


Figura 12: Representação gráfica do índice R10mm, com base em 3 estações selecionadas para o estudo, Santa Teresa, Sepetiba e Tijuca, no município do Rio de Janeiro entre os anos de 1997 a 2017. Fonte: Autoria própria, 2018.

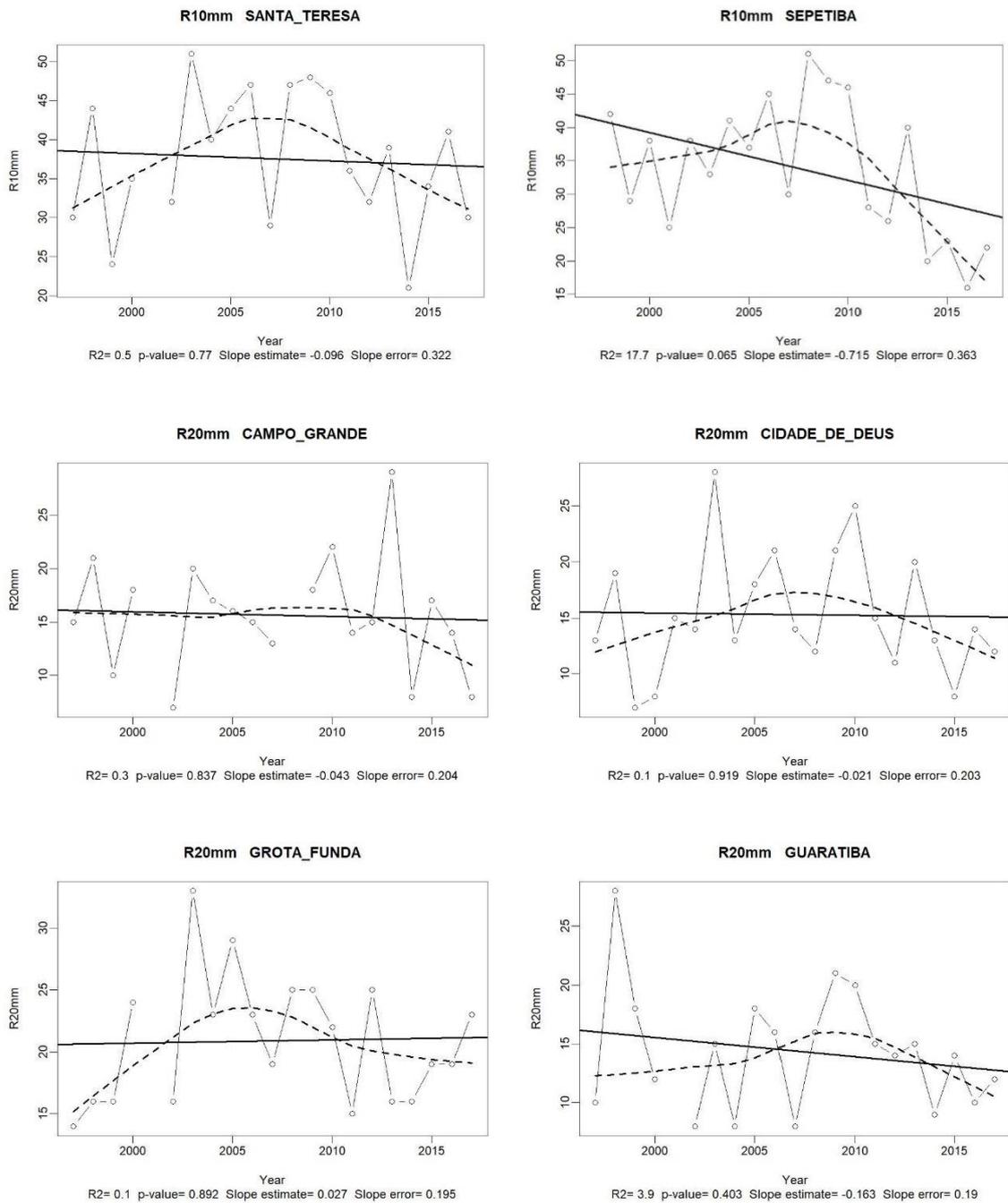


Figura 13: Representação gráfica do índice R20mm, com base em 6 estações selecionadas para o estudo, Anchieta, Bangu, Campo Grande, Cidade de Deus, Grota Funda e Guaratiba, no município do Rio de Janeiro entre os anos de 1997 a 2017. Fonte: Autoria própria, 2018.

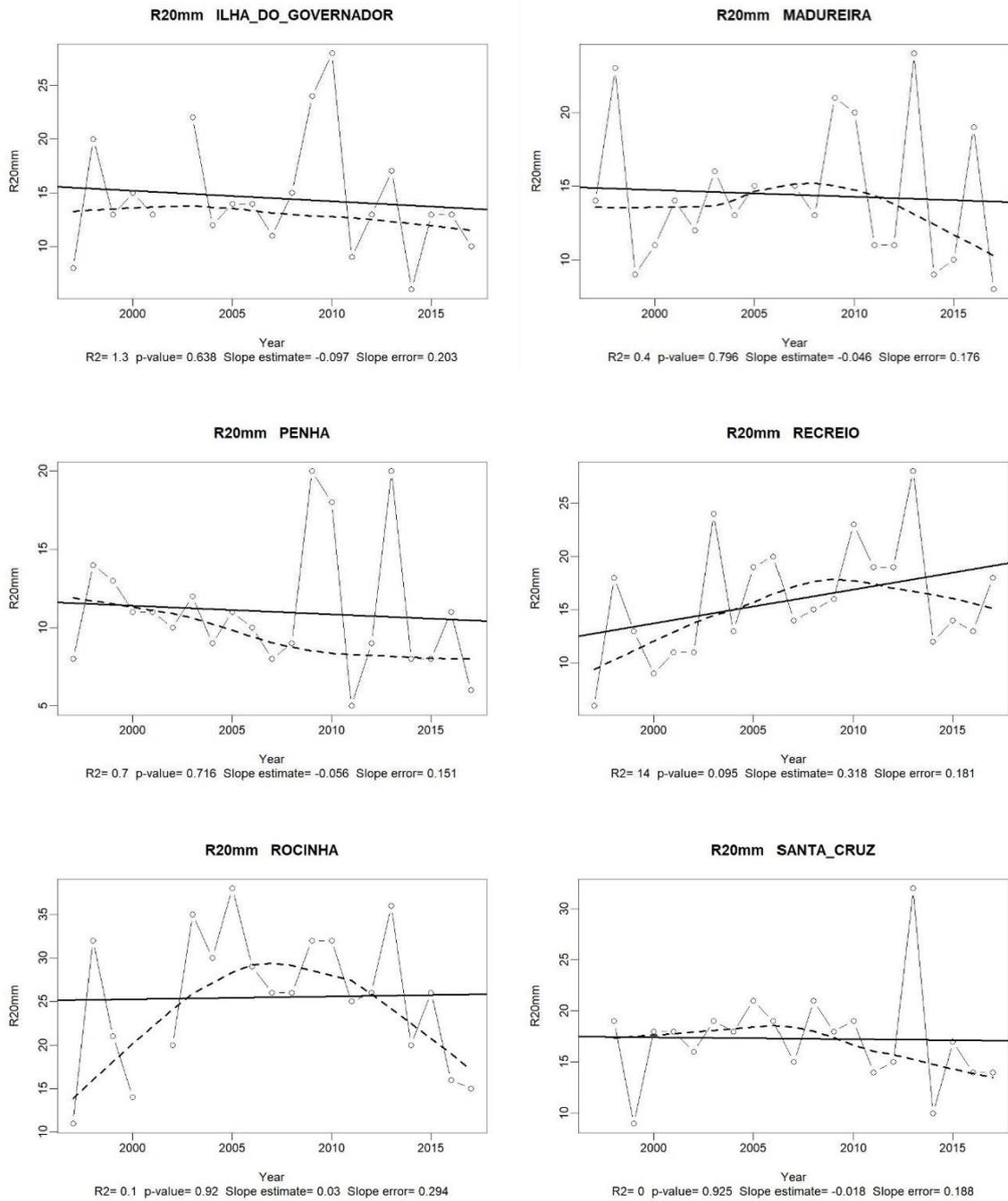


Figura 14: Representação gráfica do índice R20mm, com base em 6 estações selecionadas para o estudo, Ilha do Governador, Madureira, Penha, Recreio, Rocinha e Santa Cruz, no município do Rio de Janeiro entre os anos de 1997 a 2017. Fonte: Autoria própria, 2018.

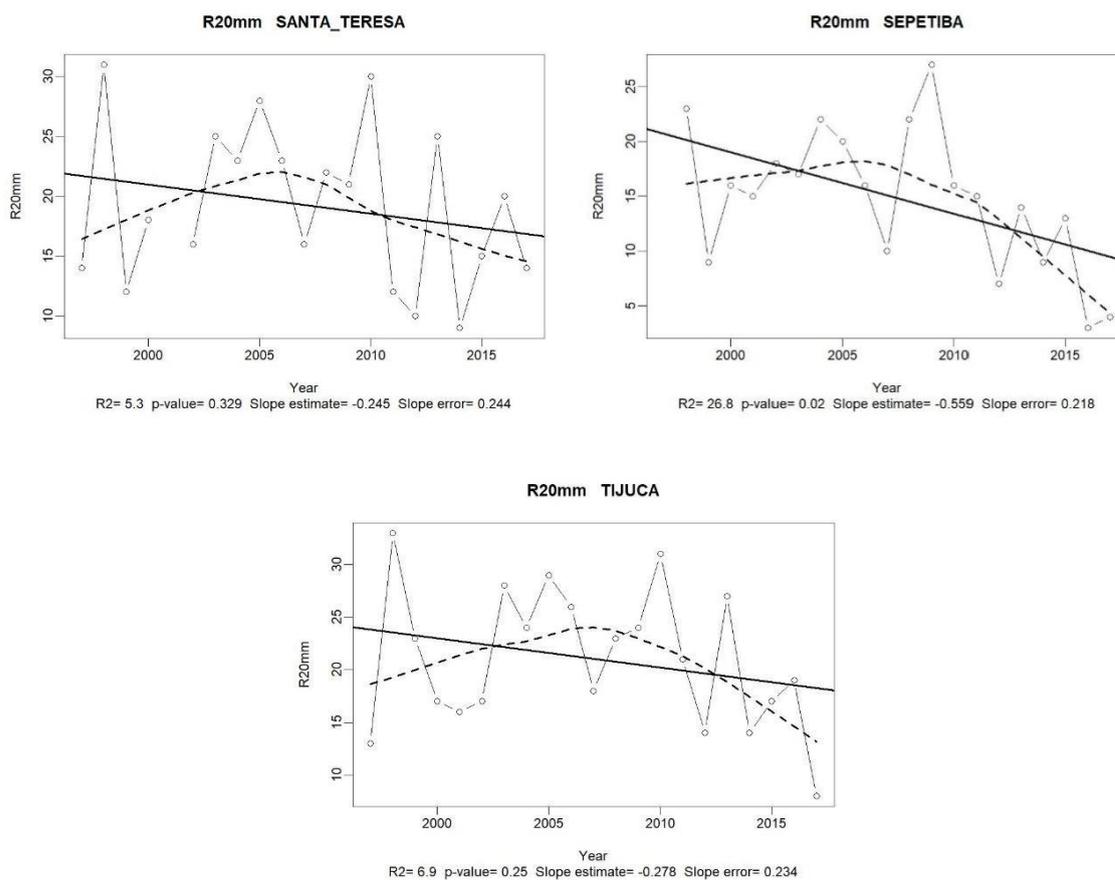


Figura 15: Representação gráfica do índice R20mm, com base em 3 estações selecionadas para o estudo, Santa Teresa, Sepetiba e Tijuca, no município do Rio de Janeiro entre os anos de 1997 a 2017. Fonte: Autoria própria, 2018.

O índice R50mm (Figura 16, 17 e 18), número de dias por ano em que precipitação é igual ou superior a 50 mm, reforça a hipótese da relação entre as chuvas intensas e o volume total anual. Precipitações dessas magnitudes podem ocasionar inundações e alagamentos em grandes centros urbanos, como a cidade do Rio de Janeiro, devido à impermeabilidade do solo com pavimentações ou similares o que possibilita a um maior escoamento das águas. Os impactos causados por esse tipo de precipitação são potencialmente maiores do que os anteriores analisados (R10mm e R20mm) devido sua magnitude.

Para algumas estações foi observado padrão semelhante aos demais índices já analisados, com aumento até meados da série e redução nos últimos anos. A diminuição desse índice foi observada em mais de 50% das estações analisadas, com significância estatística apenas na estação da Ilha do Governador. A predominância em estações com redução da precipitação

maior do que 50 mm também foi observado por Assis, Lacerda e Sobral (2012) e Santos, Assis e Souza (2014) para o estado de Pernambuco.

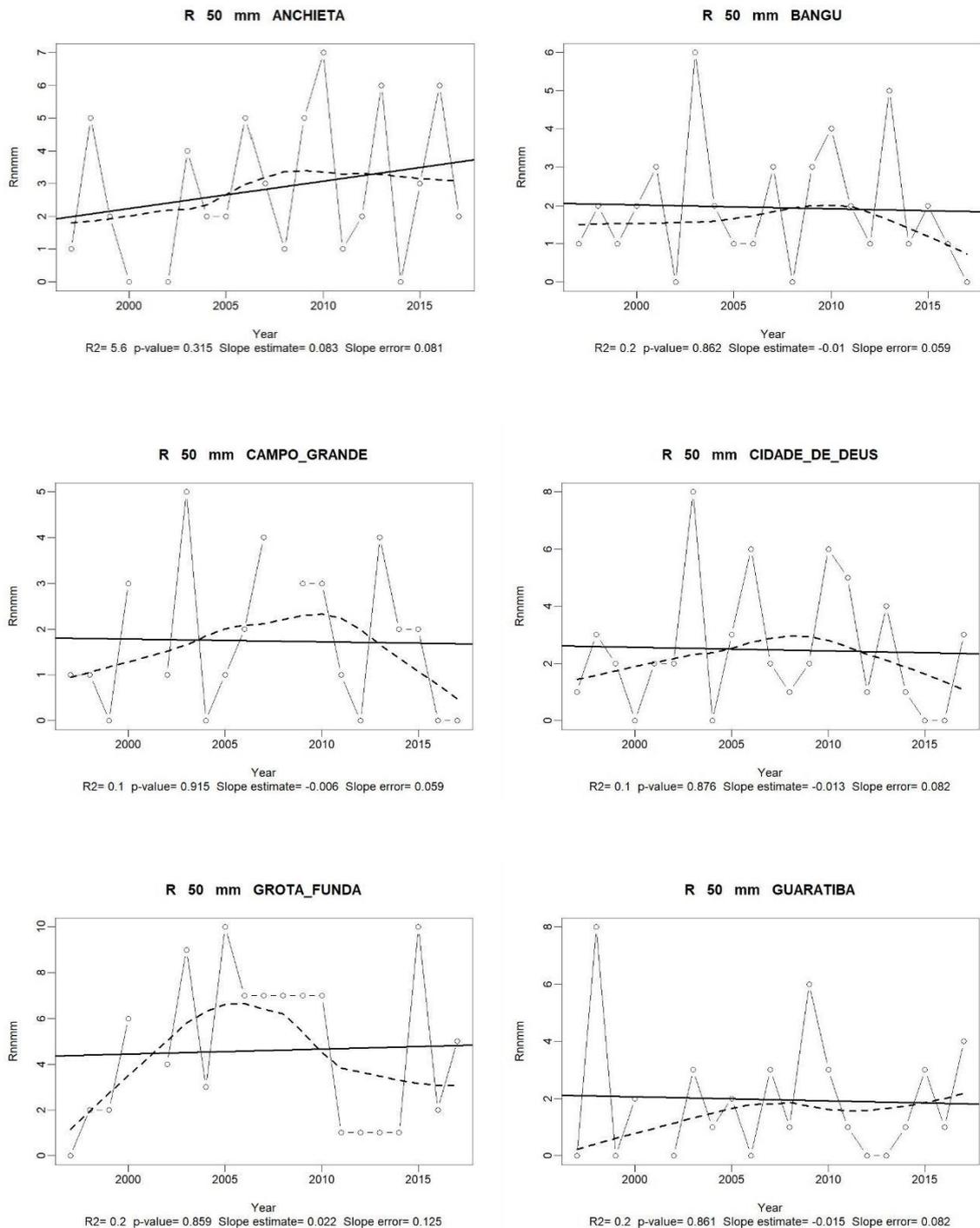


Figura 16: Representação gráfica do índice R50mm, com base em 6 estações selecionadas para o estudo, Anchieta, Bangu, Campo Grande, Cidade de Deus, Grota Funda e Guaratiba, no município do Rio de Janeiro entre os anos de 1997 a 2017. Fonte: Autoria própria, 2018.

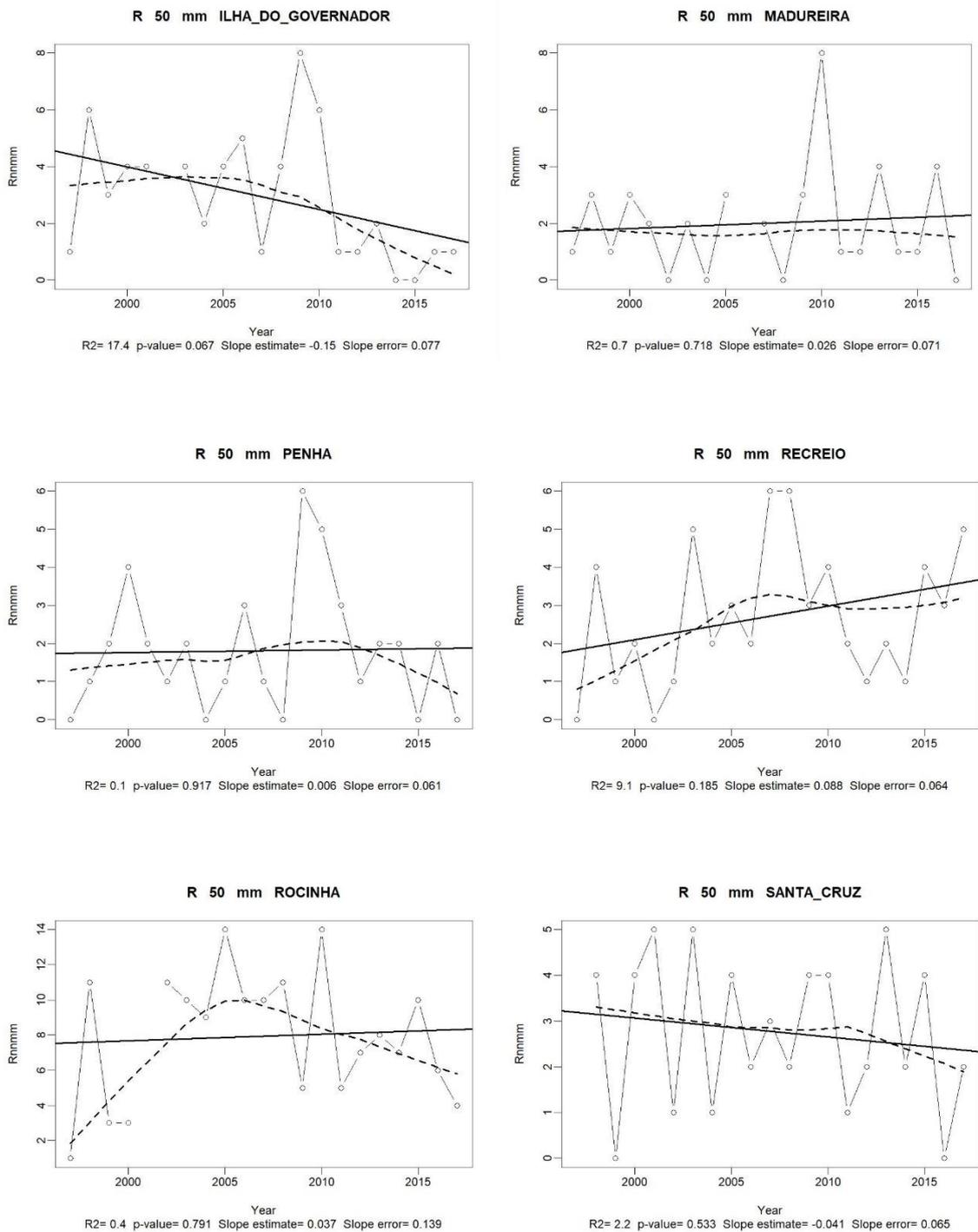


Figura 17: Representação gráfica do índice R50mm, com base em 6 estações selecionadas para o estudo, Ilha do Governador, Madureira, Penha, Recreio, Rocinha e Santa Cruz, no município do Rio de Janeiro entre os anos de 1997 a 2017. Fonte: Autoria própria, 2018.

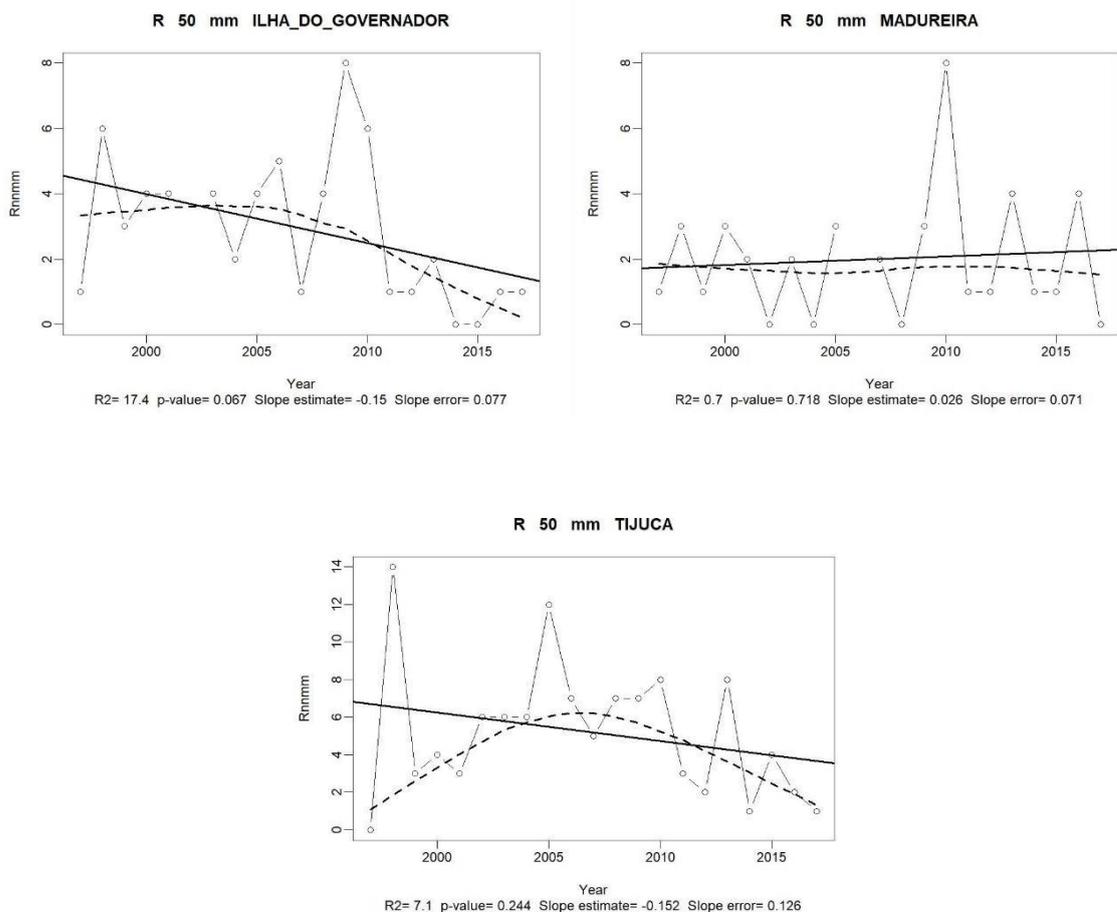


Figura 18: Representação gráfica do índice R50mm, com base em 3 estações selecionadas para o estudo, Santa Teresa, Sepetiba e Tijuca, no município do Rio de Janeiro entre os anos de 1997 a 2017. Fonte: Autoria própria, 2018.

As estações Anchieta, Grota Funda, Madureira, Penha, Recreio e Rocinha, foram as únicas com aumento na precipitação igual ou acima de 50mm, na região da cidade do Rio de Janeiro que a alguns anos sofre com o processo de urbanização desordenada no entorno do maciço da Tijuca. Ao realizar uma comparação do índice R50mm e R95p (próximo índice a ser apresentado), foi observado que 100% dos bairros citados acima, apresentaram tendência linear de aumento, sendo assim, as precipitações intensas, estão aumentando sua frequência no decorrer do período estudado.

4.3 Índices R95P e R99P

O limiar de percentil 95 foi escolhido de forma que os eventos selecionados sejam relativamente raros, porém não extremamente raros, como observado quando o percentil 99 é analisado.

Ao realizar a análise referente aos extremos de precipitação mediante a precipitação acima dos percentis 95 e 99 (R95p e R99p), foi observado, assim como os demais índices, que os ajustes lineares oscilaram entre crescente e decrescente. No índice R95p, temos cinco estações (33,33%) com declinação angulação da reta positiva, duas com declinação próxima de zero (13,33%) e o restante com tendência decrescente (53,34%) (Figura 19, 20 e 21).

Dentre essas estações com tendência negativa, a única que apresentou tendência significativa foi a estação Sepetiba, que teve o seu p-valor igual a 0,028. A redução dos dias muito úmidos, representados por R95p, apenas reflete a tendência já observada pelos demais índices analisados, de redução na precipitação e de seus extremos com total diário maior do que seu percentil 95. Os resultados encontrados por Silva, Souza e Azevedo (2012) corroboram com os encontrados nessa pesquisa.

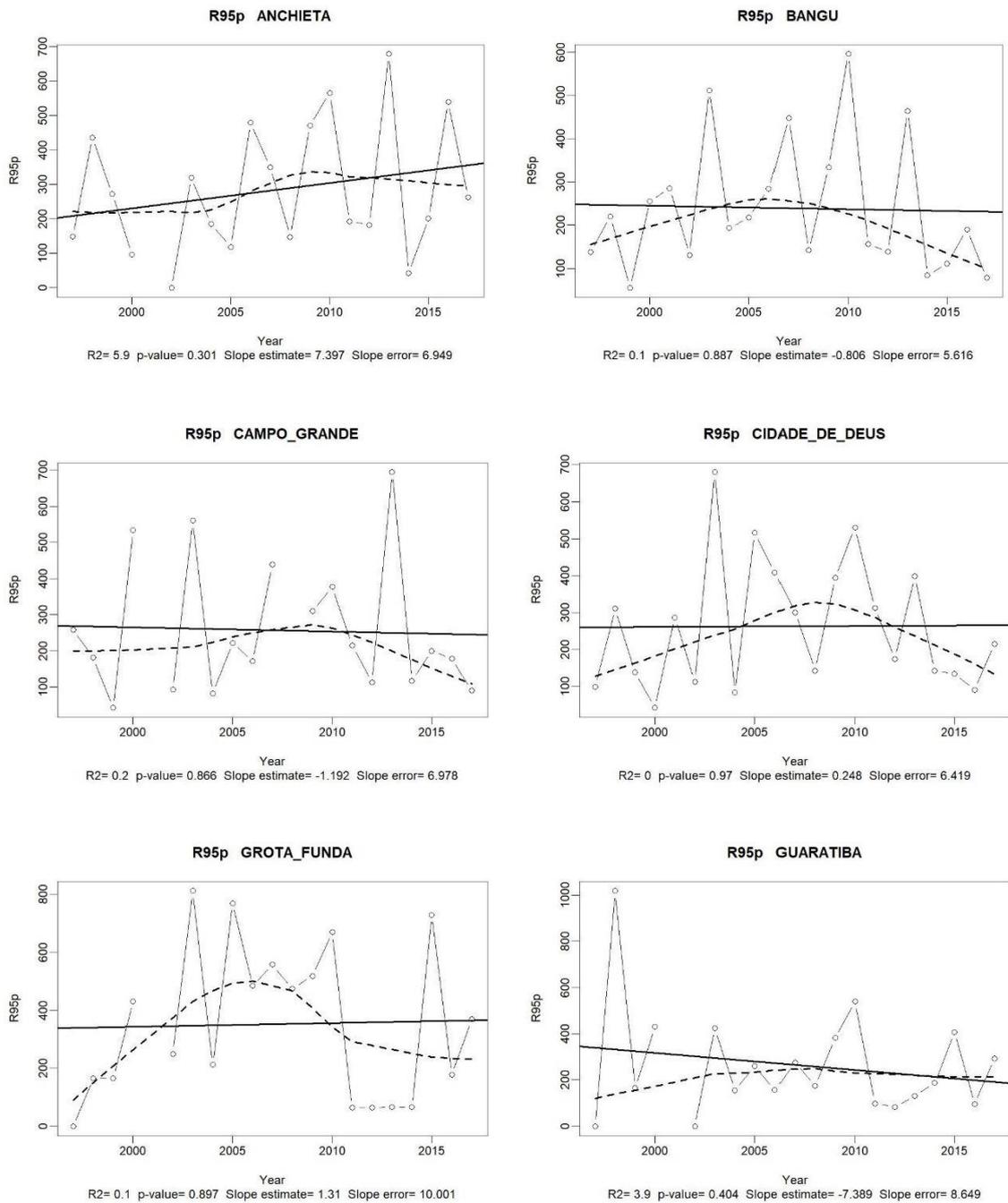


Figura 19: Representação gráfica do índice R95p, com base em 6 estações selecionadas para o estudo, Anchieta, Bangu, Campo Grande, Cidade de Deus, Grota Funda e Guaratiba, no município do Rio de Janeiro entre os anos de 1997 a 2017. Fonte: Autoria própria, 2018.

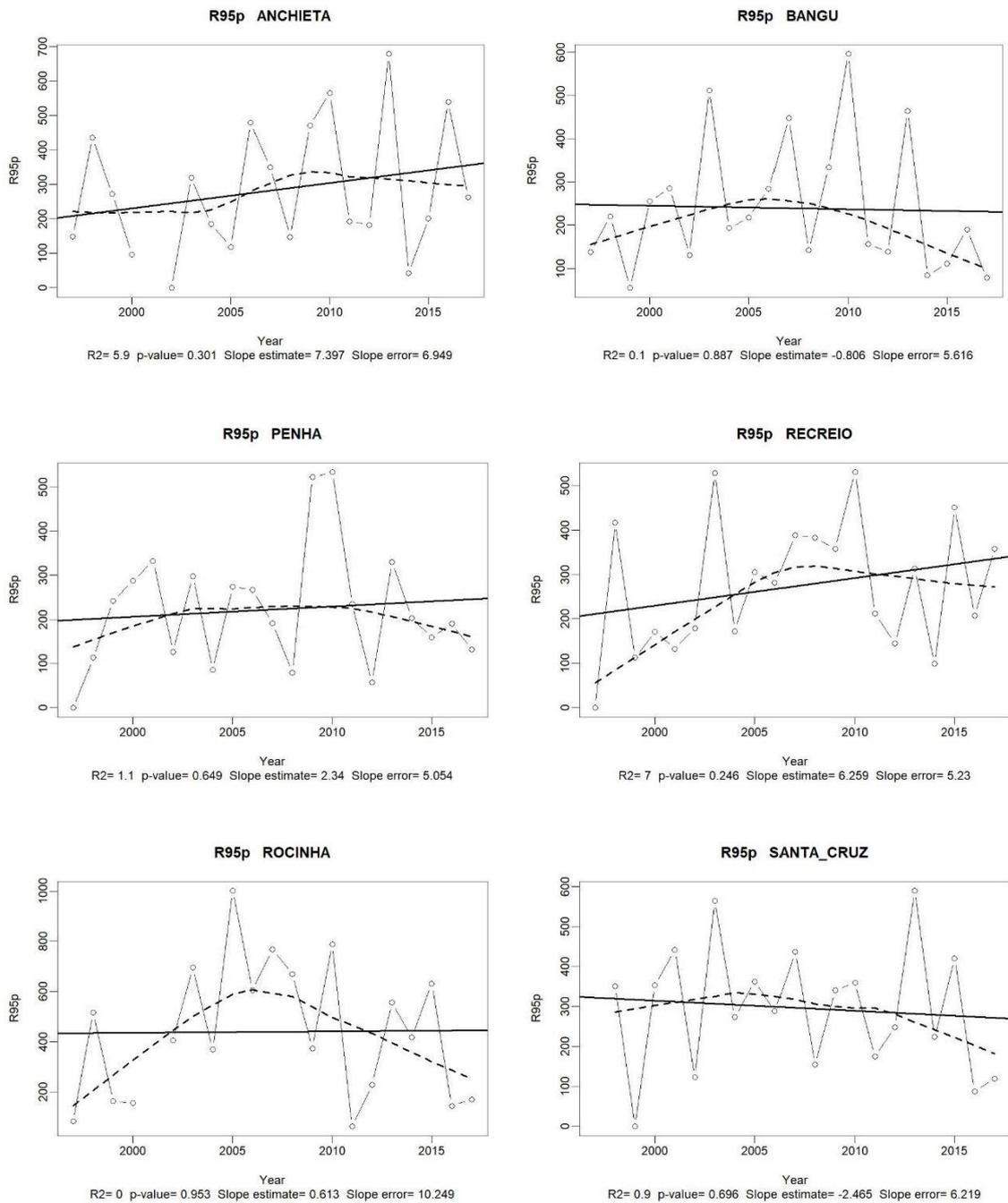


Figura 20: Representação gráfica do índice R95p, com base em 6 estações selecionadas para o estudo, Ilha do Governador, Madureira, Penha, Recreio, Rocinha e Santa Cruz, no município do Rio de Janeiro entre os anos de 1997 a 2017. Fonte: Autoria própria, 2018.

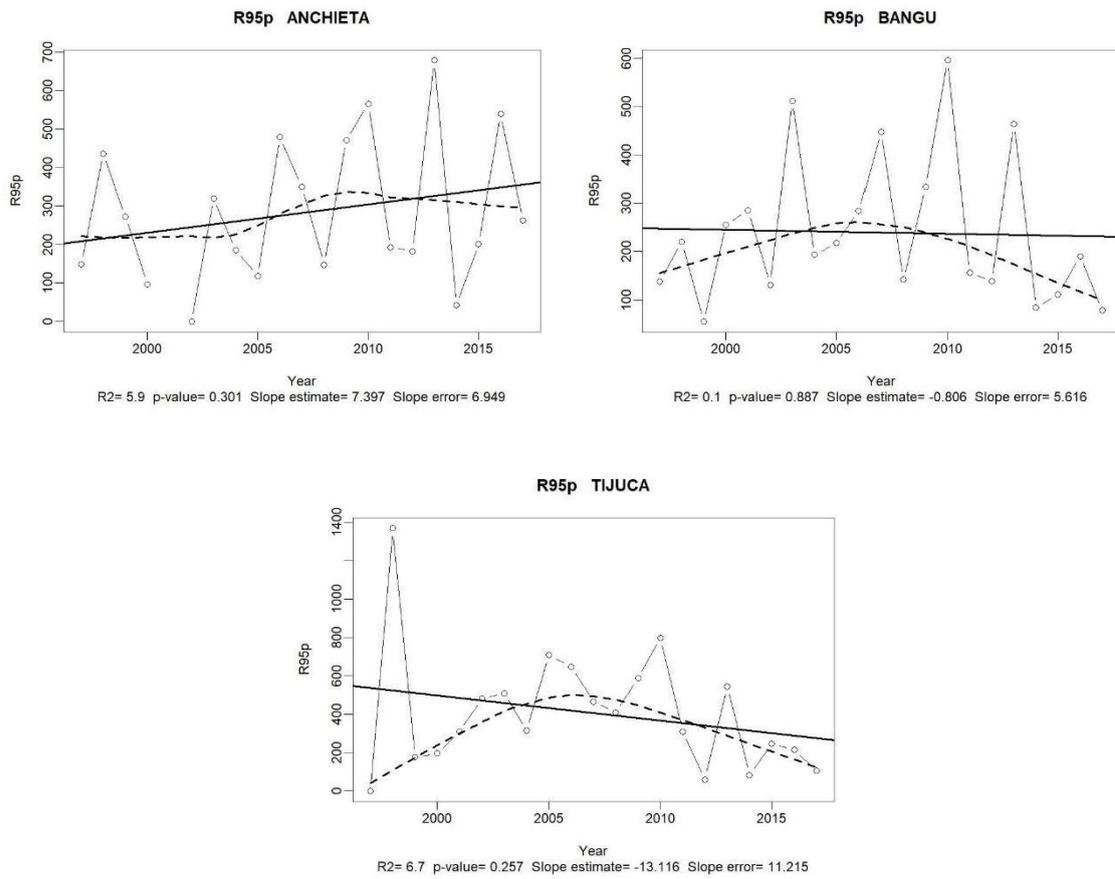


Figura 21: Representação gráfica do índice R95p, com base em 3 estações selecionadas para o estudo, Santa Teresa, Sepetiba e Tijuca, no município do Rio de Janeiro entre os anos de 1997 a 2017. Fonte: Autoria própria, 2018.

A análise do R99p (figura 22, 23 e 24) apresentou tendência linear de aumento em seis estações, e o restante com tendência negativa, porém nenhuma delas apresentou significância estatística diferentemente do índice R95p.

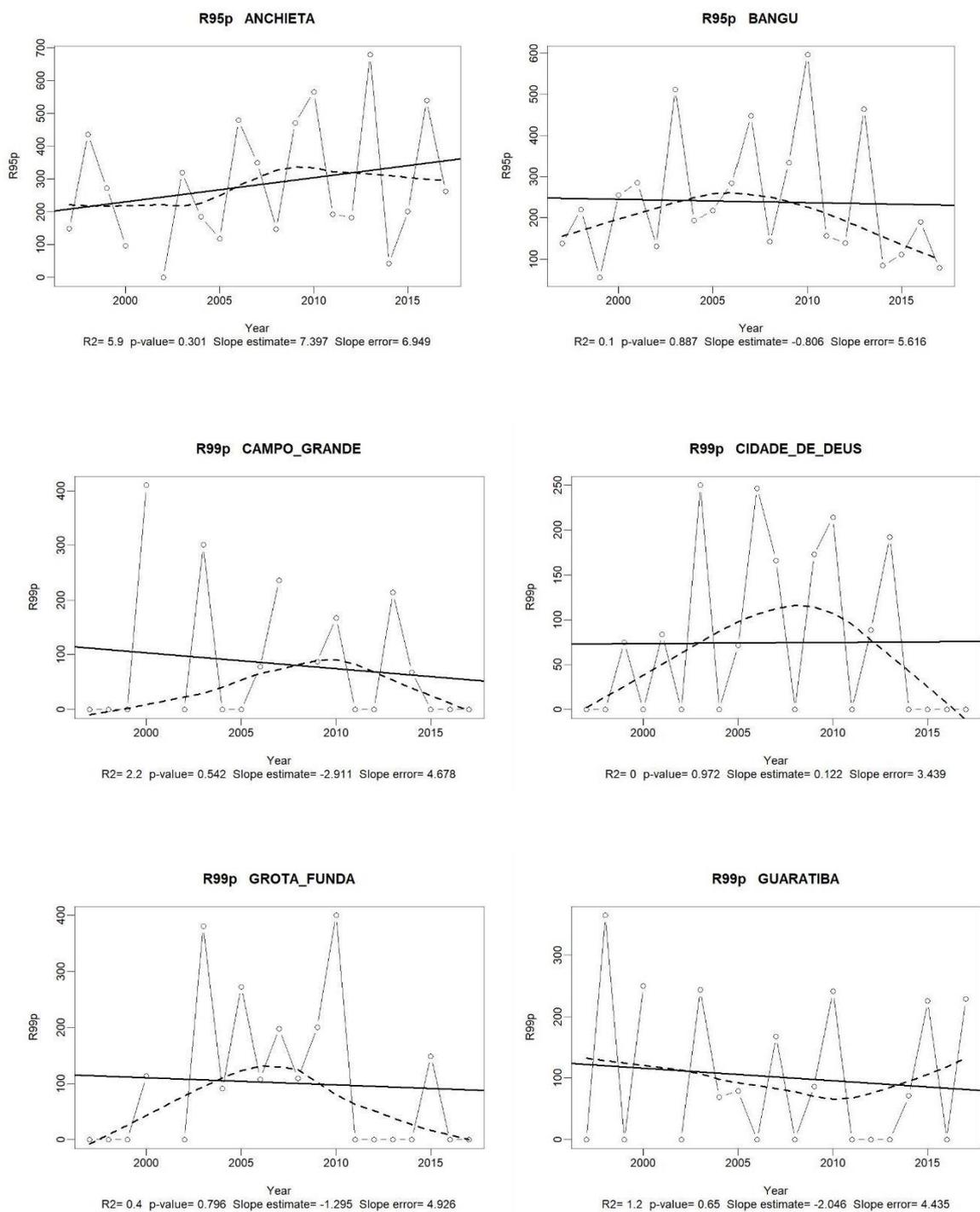


Figura 22: Representação gráfica do índice R99p, com base em 6 estações selecionadas para o estudo, Anchieta, Bangu, Campo Grande, Cidade de Deus, Grota Funda e Guaratiba, no município do Rio de Janeiro entre os anos de 1997 a 2017. Fonte: Autoria própria, 2018.

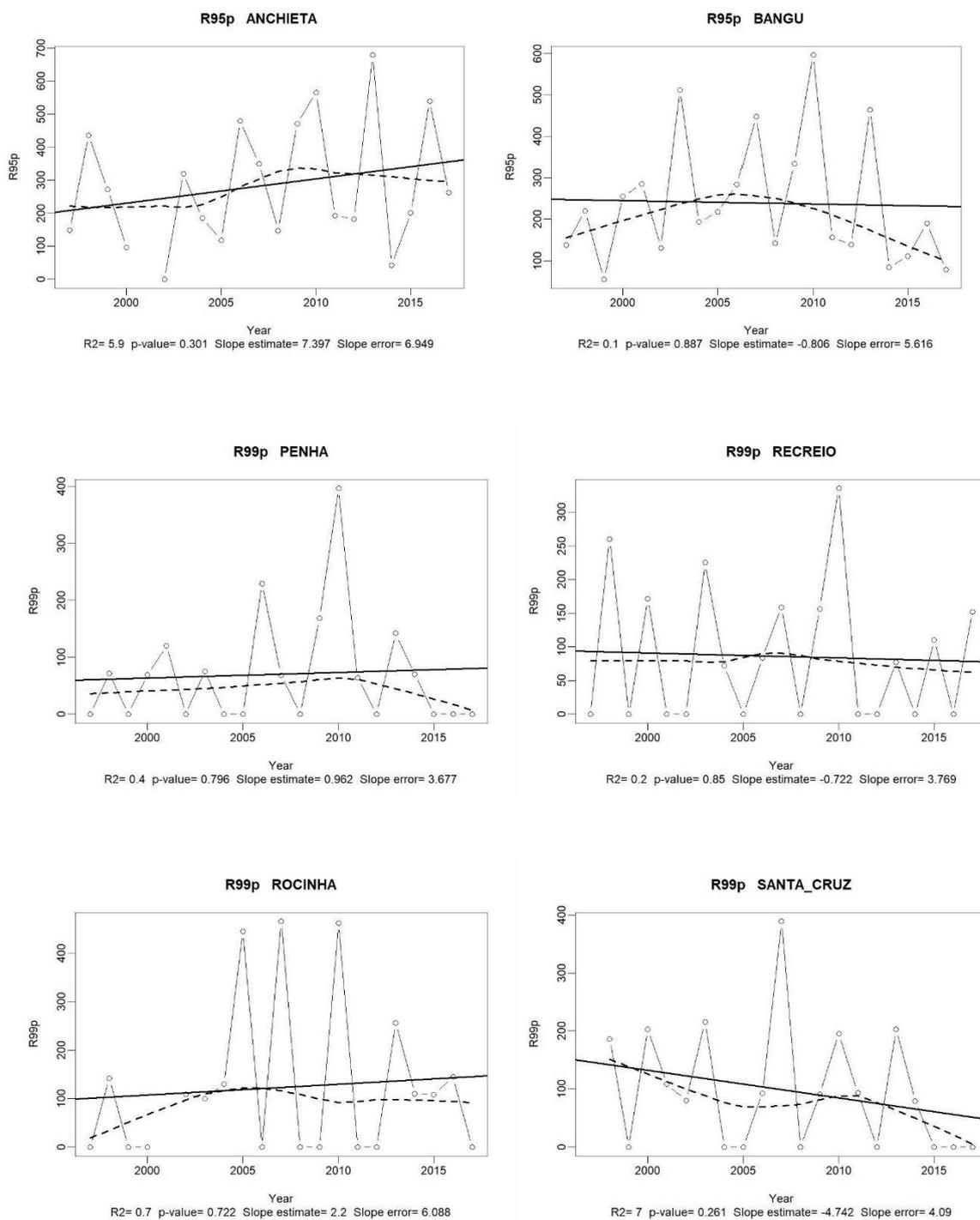


Figura 23: Representação gráfica do índice R99p, com base em 6 estações selecionadas para o estudo, Ilha do Governador, Madureira, Penha, Recreio, Rocinha e Santa Cruz, no município do Rio de Janeiro entre os anos de 1997 a 2017. Fonte: Autoria própria, 2018.

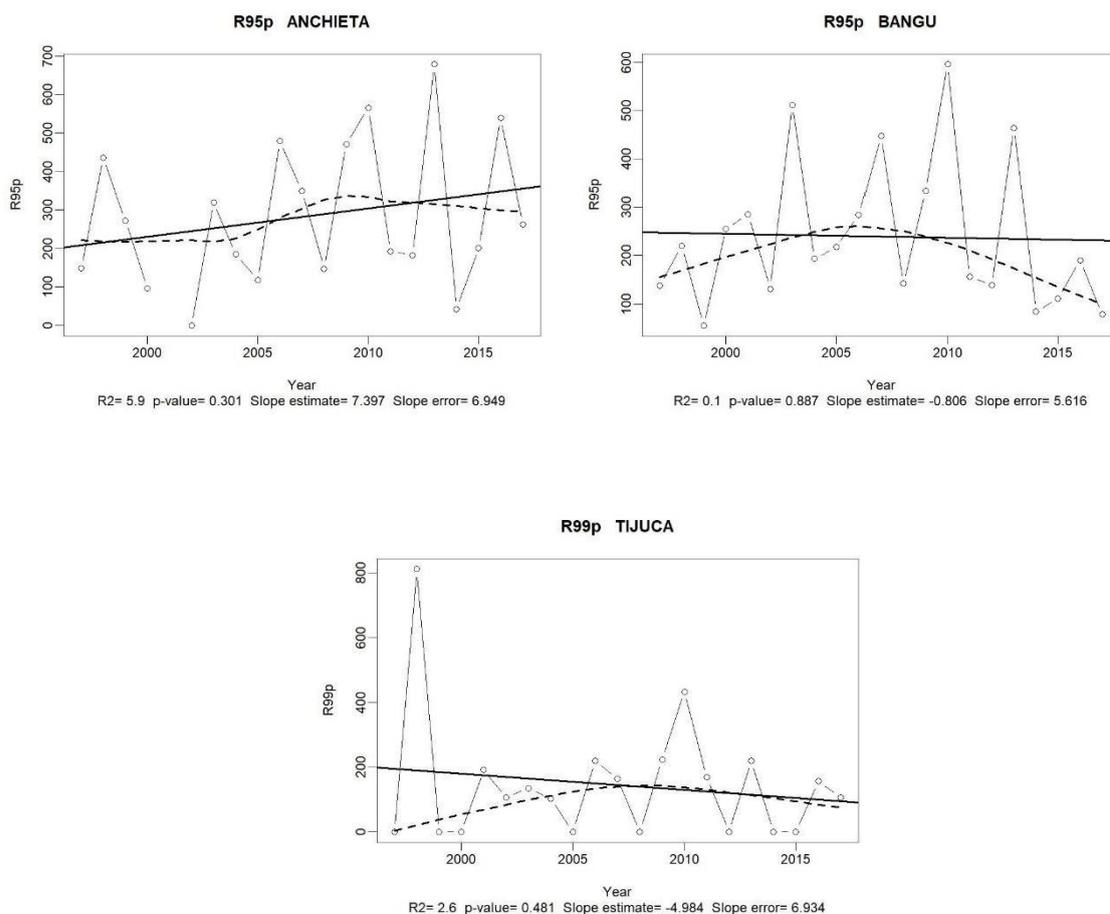


Figura 24: Representação gráfica do índice R99p, com base em 3 estações selecionadas para o estudo, Santa Teresa, Sepetiba e Tijuca, no município do Rio de Janeiro entre os anos de 1997 a 2017. Fonte: Autoria própria, 2018.

As estações de Bangu, Madureira, Grotta Funda, Recreio dos Bandeirante, foram as únicas que tiveram diferença nas tendências lineares, entre crescente e decrescente. Conforme a tabela 5, abaixo:

Tabela 5: Estações pluviométricas que apresentaram resultados divergentes nas tendências lineares, quanto ao aumento e diminuição nos índices R95p e R99p.

| <i>Bairros</i> | <i>R95p</i> | <i>R99p</i> |
|-----------------------------|-------------|-------------|
| <i>Bangu</i> | Decrescente | Crescente |
| <i>Madureira</i> | Decrescente | Crescente |
| <i>Recreio de bandeiras</i> | Crescente | Decrescente |
| <i>Grotta funda</i> | Crescente | Decrescente |

O resultado das estações de Anchieta, Guaratiba, Madureira e Santa Teresa mostram que os dias extremamente úmido (R99p) aumentaram nos últimos anos, enquanto que as demais estações vêm diminuindo. O que chama a atenção nesse resultado é que as estações com o resultado similar na tendência linear, são as próximas geograficamente, levando a crer que sofrem as mesmas influências dos fatores produtores de precipitação, possibilitando essa compatibilidade nos índices. De fato as limitações dos dados permitem uma análise restrita e pontual, porém é possível extrair deles que as chuvas intensas estão se tornando mais frequentes, na maior porcentagem das estações presentes neste estudo, abrindo espaço para aquelas com intensidade acima de 20mm. Estes resultados permitem, a priori, identificar que a intensificação na ocorrência de eventos desastrosos, não tem apenas uma explicação climática, e, além disso, a vulnerabilidade deste território é tão elevada que eventos de baixa magnitude desencadeiam desastres. De certo as características geológicas e socioeconômicas da área colaboram para este quadro.

A análise realizada por Araújo e Brito (2011) encontrou resultados para os estados da Bahia e Sergipe, com tendência positiva para R95p e tendência negativa para R99p. Já na pesquisa realizada por Souza e Azevedo (2012) foi observada a redução dos dias úmidos e extremamente úmidos para a cidade de Recife.

Esses extremos de precipitação indicados pelos índices R95p e R99p, são ratificados ao analisar a quantidade máxima de precipitação diária, verificada pelo índice Rx1day, analisado no próximo tópico.

4.4 Índices RX1day e RX5day

Os índices Rx1day e Rx5day, exprimem a quantidade máxima de precipitação em 1 dia (Figura 25, 26 e 27) e em 5 dias consecutivos (Figura 28, 29 e 30), não mostraram tendências significativas e suas magnitudes não obtiveram, em sua maioria, uma distribuição homogênea na cidade do Rio de Janeiro. O índice RX1day reflete a precipitação diária de maior magnitude ocorrida no ano, indicando a intensidade de chuva que pode causar inundações bruscas, alagamentos, enxurradas e enchentes, sendo assim colabora com os resultados de R95p e R99p já que ele indica a precipitação máxima diária. Segundo Dereczynski, Calado e Barros (2017) os extremos de precipitação no Rio de Janeiro estão aumentando.

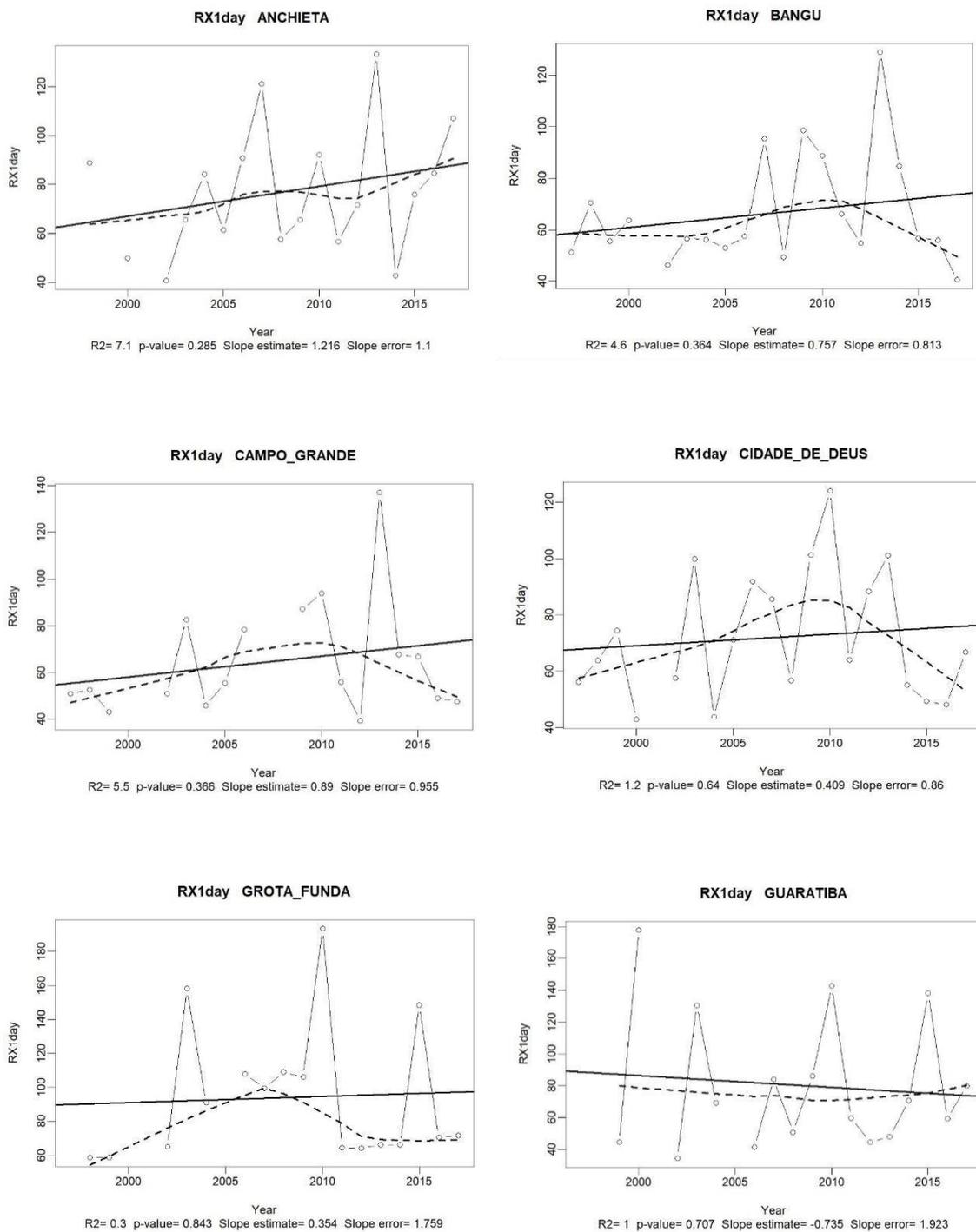


Figura 25: Representação gráfica do índice RX1day, ou seja, quantidade máxima de precipitação em 1 dia, com base em 6 estações selecionadas para o estudo, Anchieta, Bangu, Campo Grande, Cidade de Deus, Grota Funda e Guaratiba, no município do Rio de Janeiro entre os anos de 1997 a 2017. Fonte: Autoria própria, 2018.

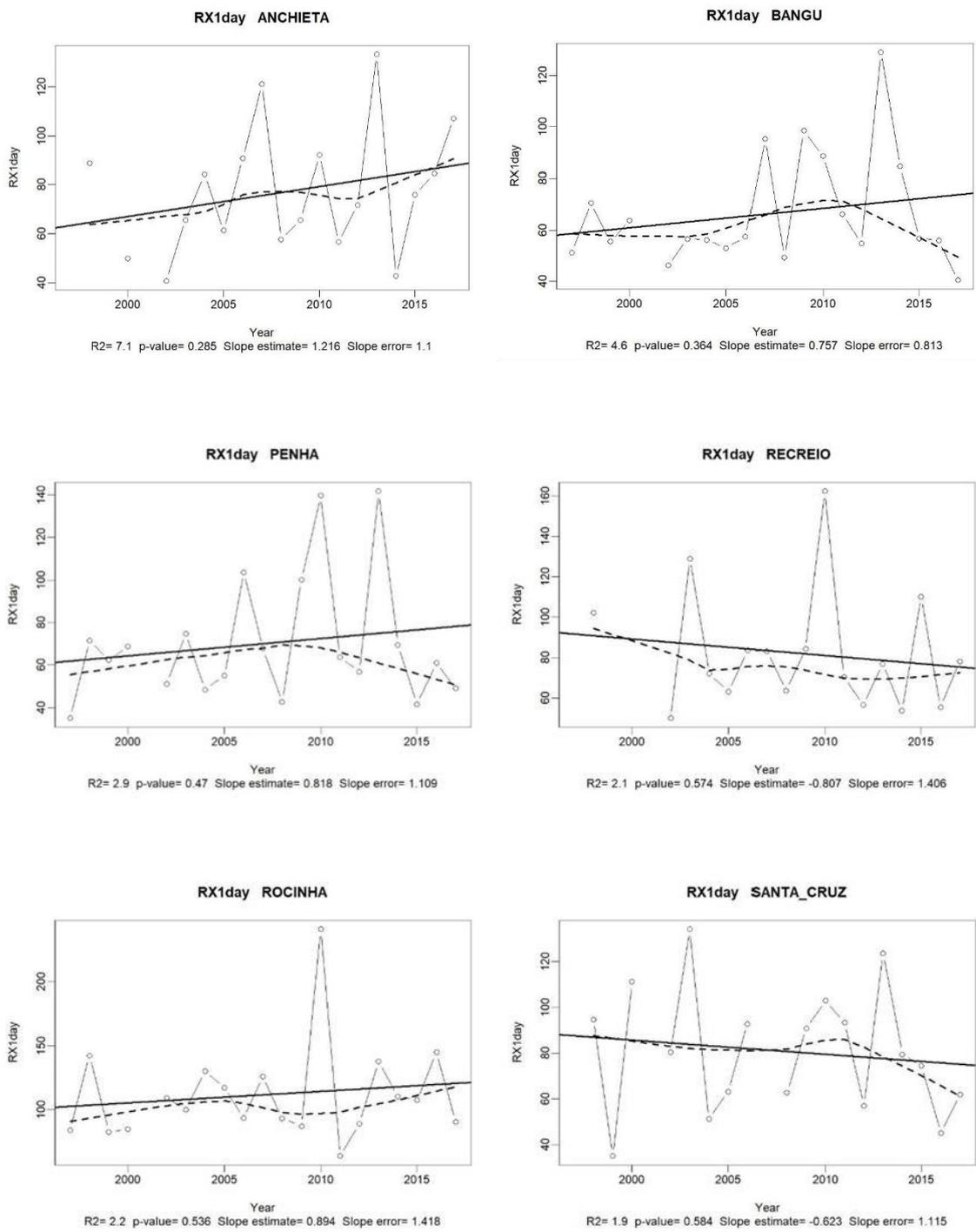


Figura 26: Representação gráfica do índice RX1day, ou seja, quantidade máxima de precipitação em 1 dia, com base em 6 estações selecionadas para o estudo, Ilha do Governador, Madureira, Penha, Recreio, Rocinha e Santa Cruz, no município do Rio de Janeiro entre os anos de 1997 a 2017. Fonte: Autoria própria, 2018.

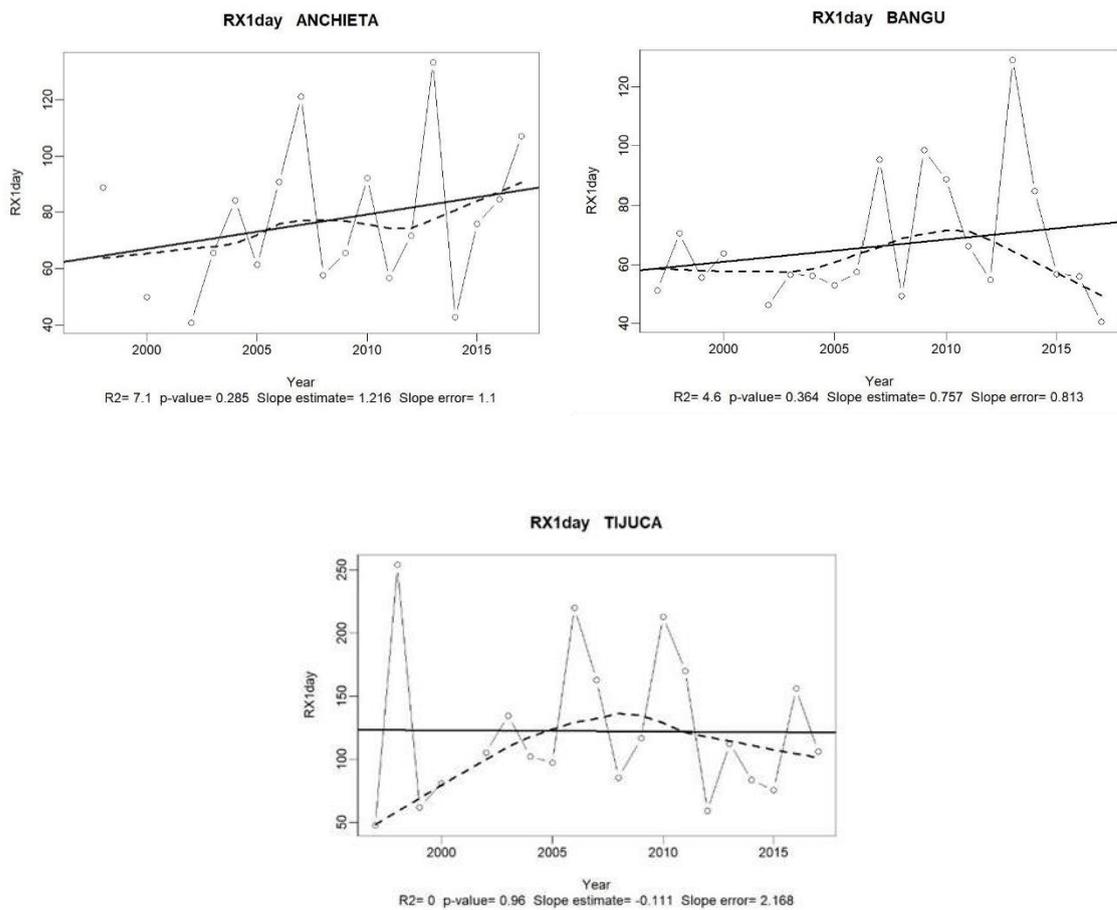


Figura 27: Representação gráfica do índice RX1day, ou seja, quantidade máxima de precipitação em 1 dia, com base em 3 estações selecionadas para o estudo, Santa Teresa, Sepetiba e Tijuca, no município do Rio de Janeiro entre os anos de 1997 a 2017. Fonte: Autoria própria, 2018.

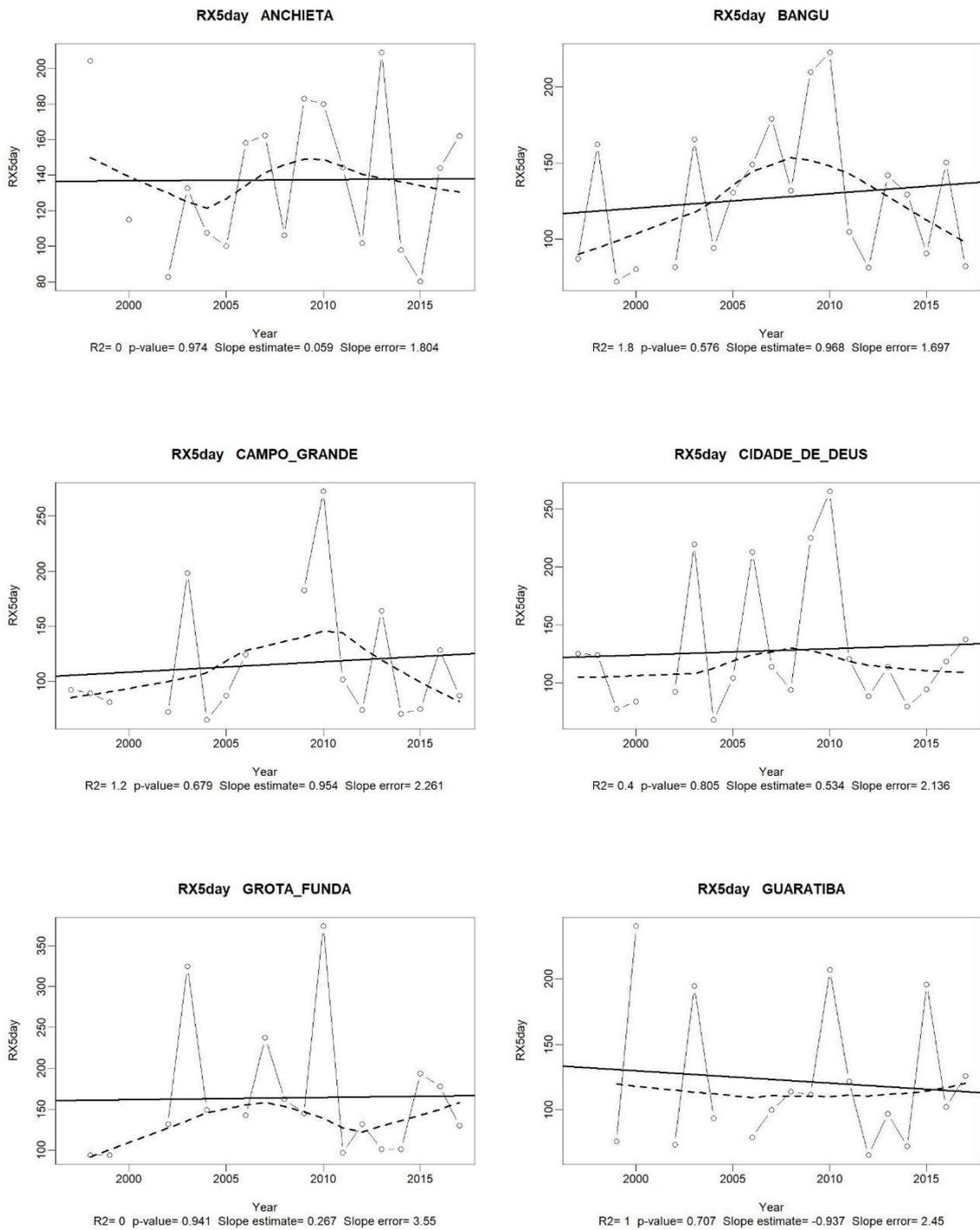


Figura 28: Representação gráfica do índice RX5day, sendo quantidade máxima de precipitação em 5 dias consecutivos, com base em 6 estações selecionadas para o estudo, Anchieta, Bangu, Campo Grande, Cidade de Deus, Grota Funda e Guaratiba, no município do Rio de Janeiro entre os anos de 1997 a 2017. Fonte: Autoria própria, 2018.

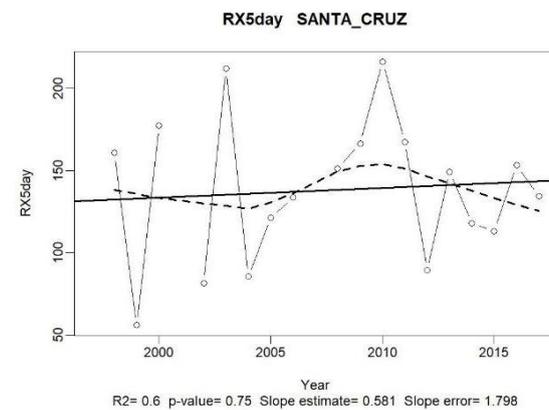
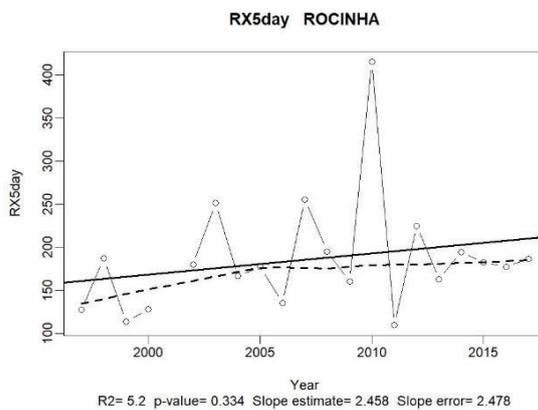
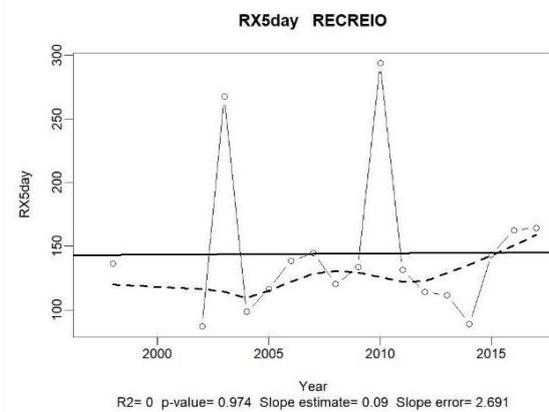
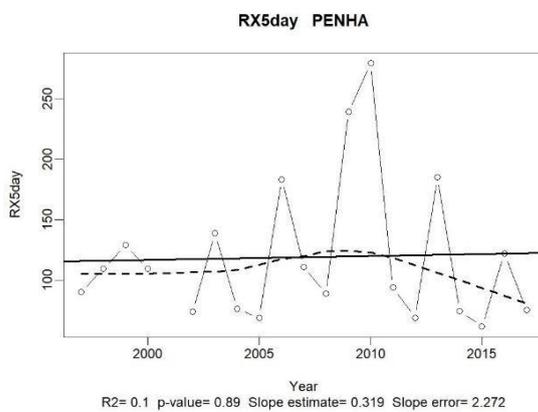
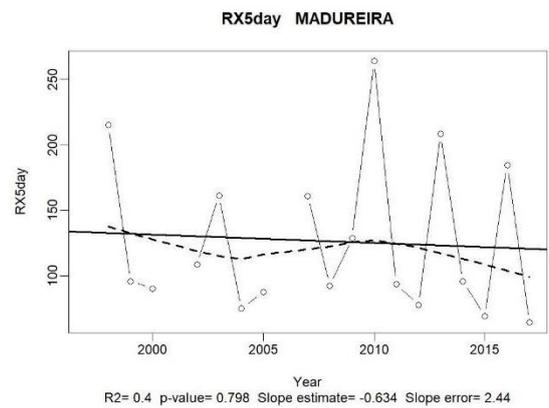
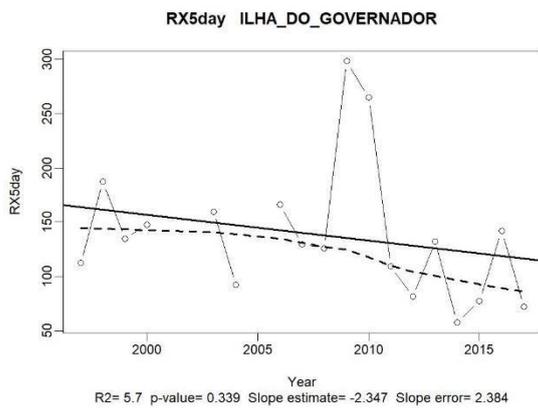


Figura 29: Representação gráfica do índice RX5day, sendo quantidade máxima de precipitação em 5 dias consecutivos, com base em 6 estações selecionadas para o estudo, Ilha do Governador, Madureira, Penha, Recreio, Rocinha e Santa Cruz, no município do Rio de Janeiro entre os anos de 1997 a 2017. Fonte: Autoria própria, 2018.

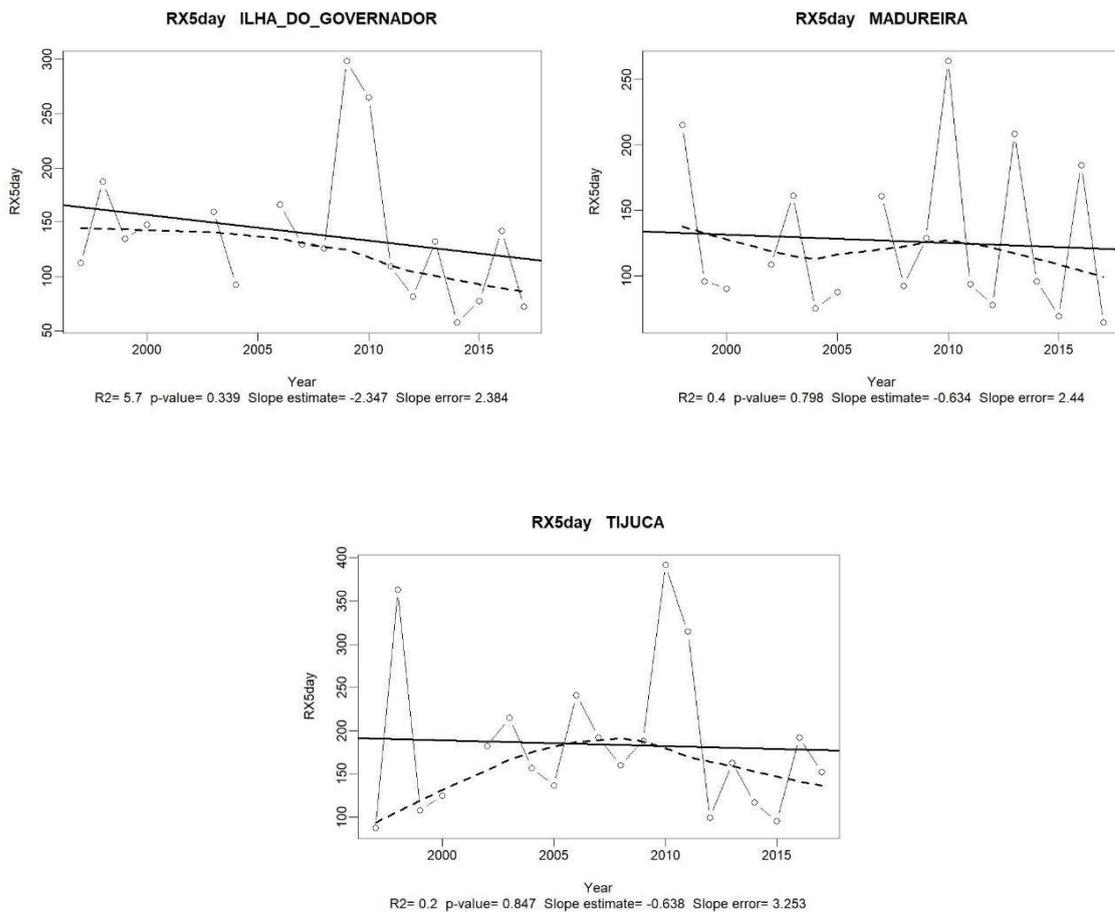


Figura 30: Representação gráfica do índice RX5day, sendo quantidade máxima de precipitação em 5 dias consecutivos com base em 3 estações selecionadas para o estudo, Santa Teresa, Sepetiba e Tijuca, no município do Rio de Janeiro entre os anos de 1997 a 2017. Fonte: Autoria própria, 2018.

A análise dos resultados mostrou para o índice Rx1day (Figura 25, 26 e 27) tendência linear de diminuição para seis das quinze estações analisadas, dentre elas, Guaratiba, Ilha do Governador, Recreio, Santa Cruz, Sepetiba e Tijuca, e de aumento para o restante, Anchieta, Bangu, Campo Grande, Cidade de Deus, Grotta Funda, Madureira, Penha, Rocinha, Santa Teresa. Não houveram estações com significância estatística.

A estação que apresentou maior precipitação diária (Rx1day) foi a Tijuca, no ano de 1998, com um valor de 250mm de chuva em um único dia, porém a maior parte das estações do apresentaram seus maiores volumes de precipitação diária nos anos de 2010 e 2013. Sendo seis em 2010 e cinco em 2013, conforme Tabela 6 abaixo:

Tabela 6: Representação dos maiores volumes de chuva em um dia (Rx1day) das estações pluviométricas nos anos de 2010 e 2013.

| <i>Estações</i> | <i>2010</i> | <i>2013</i> |
|-----------------------|-------------|-------------|
| <i>Anchieta</i> | - | 120mm |
| <i>Bangu</i> | - | 120mm |
| <i>Campo Grande</i> | - | 140mm |
| <i>Cidade de Deus</i> | 120mm | - |
| <i>Grota Funda</i> | 180mm | - |
| <i>Madureira</i> | - | 160mm |
| <i>Penha</i> | 140mm | 140mm |
| <i>Recreio</i> | 160mm | - |
| <i>Rocinha</i> | 240mm | - |
| <i>Santa Teresa</i> | 150mm | - |

Nos episódios analisados, a combinação da ação dos sistemas atmosféricos atuantes (Sistemas Frontais, ZCAS etc) na região com as características geomorfológicas local, possibilitou as estações alcançarem valores acima de 120mm de chuva por dia.

Na análise do índice de quantidade precipitação máxima em cinco dias consecutivos (Rx5day), em mm/ano (Figura 28, 29 e 30), observou-se características similares ao índice Rx1day, em que apresentou igualmente a predominância de tendências lineares positivas. Este índice é um indicador para possibilidade de deslizamento, já que apresenta a precipitação máxima acumulada em 5 dias consecutivos, ocorrida a cada ano. Mesmo com baixa intensidade de chuva, o acumulado de precipitação nos cinco dias pode causar grandes impactos à sociedade, pois o solo encharcado tende a se romper, causando movimentações de terra. Esse fato pode ser agravado devido às ocupações irregulares dos morros e encostas.

Dentre todas as quinze estações, apenas três apresentaram tendências lineares divergentes, foram elas Madureira, Recreio dos Bandeirantes e Santa Cruz (Tabela 7).

Tabela 7: Estações pluviométricas que apresentaram resultados divergentes nas tendências lineares, quanto ao aumento e diminuição nos índices RX1day e RX5day.

| <i>Bairros</i> | <i>RX1day</i> | <i>RX5day</i> |
|---------------------------------|---------------|---------------|
| <i>Madureira</i> | Crescente | Decrescente |
| <i>Recreio dos Bandeirantes</i> | Decrescente | Crescente |
| <i>Santa Cruz</i> | Decrescente | Crescente |

A estação de Madureira, claramente aponta que houve o aumento de chuva extremamente intensa R99p e também aumento da tendência linear de aumento na quantidade de chuva em um dia em contraponto a sua diminuição de chuva em cinco dias consecutivos, concluindo-se que nessa região a intensidade e magnitude da chuva cause problemas, pois em um curto período de tempo temos a maior número de eventos raros de chuva. Com relação às localidades significantes estatisticamente, não existiram valores que comprovassem as tendências significativas.

Araújo e Brito (2011) encontraram resultados de tendência positiva para o índice Rx1day nos estados da Bahia e Sergipe, porém com tendência negativa para o índice Rx5day. No entanto, Assis, Lacerda e Sobral (2012) encontraram tendências de diminuição nos índices Rx1day e Rx5day na maioria dos municípios localizados em Pernambuco.

4.5 Índice SDII

Este índice trata-se de uma verificação simples da intensidade das chuvas diárias (dias úmidos) medida em mm.dia^{-1} (MURARA; AMORIM, 2010). Observou-se tendência linear de diminuição do índice de intensidade (SDII) nas estações Cidade de Deus, Guaratiba, Ilha do Governador, Santa Teresa, Tijuca Sepetiba, sendo essa última com significância estatística, mostrando que o bairro sofreu diminuição em cima da intensidade de chuva/ano (Figura 31, 32 e 33). Para o restante dos bairros foi observada tendência positiva na intensidade da chuva. Assis, Lacerda e Sobral (2012) identificaram redução para esse índice.

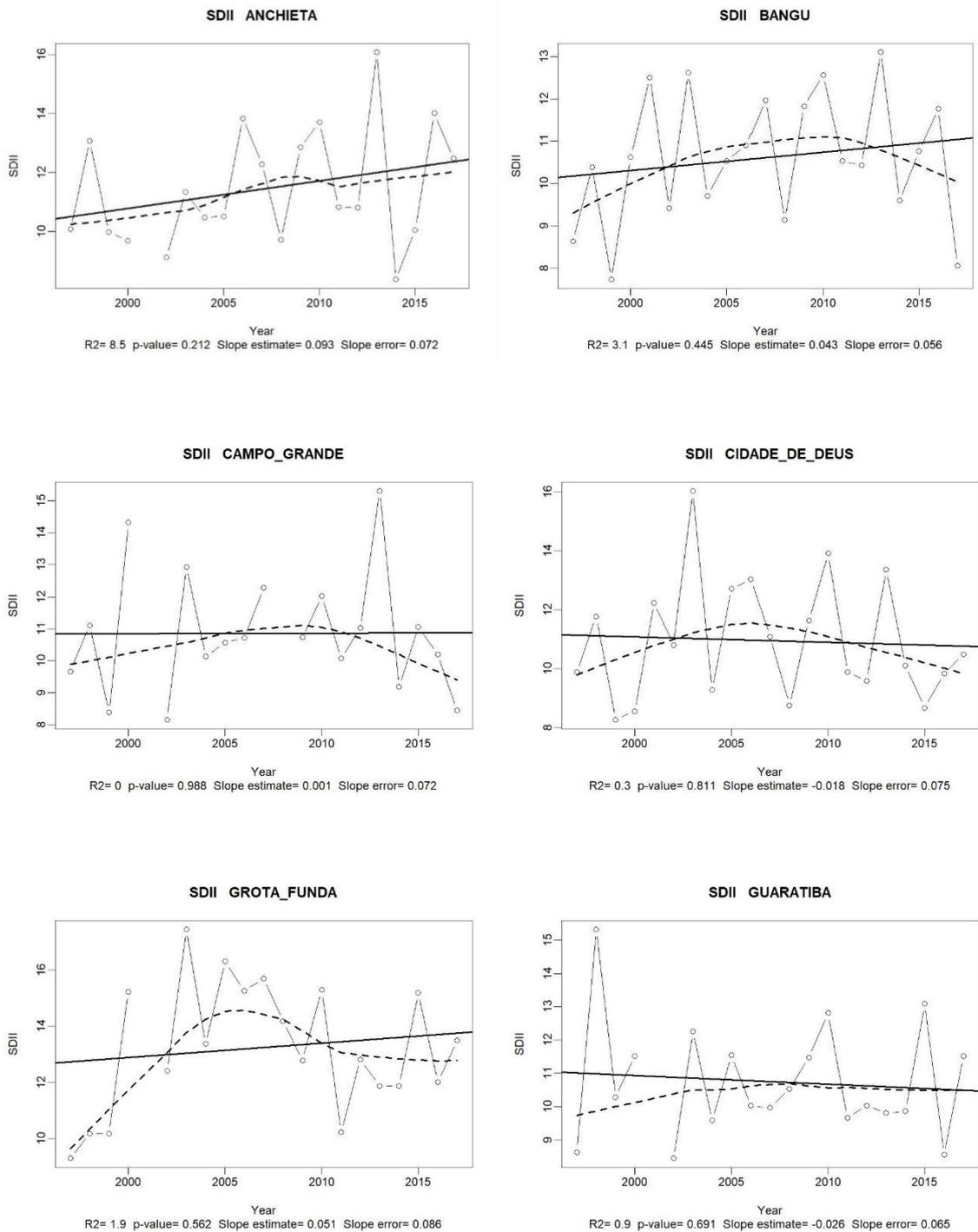


Figura 31: Representação gráfica do índice SDII, com base em 6 estações selecionadas para o estudo, Anchieta, Bangu, Campo Grande, Cidade de Deus, Grota Funda e Guaratiba, no município do Rio de Janeiro entre os anos de 1997 a 2017. Fonte: Autoria própria, 2018.

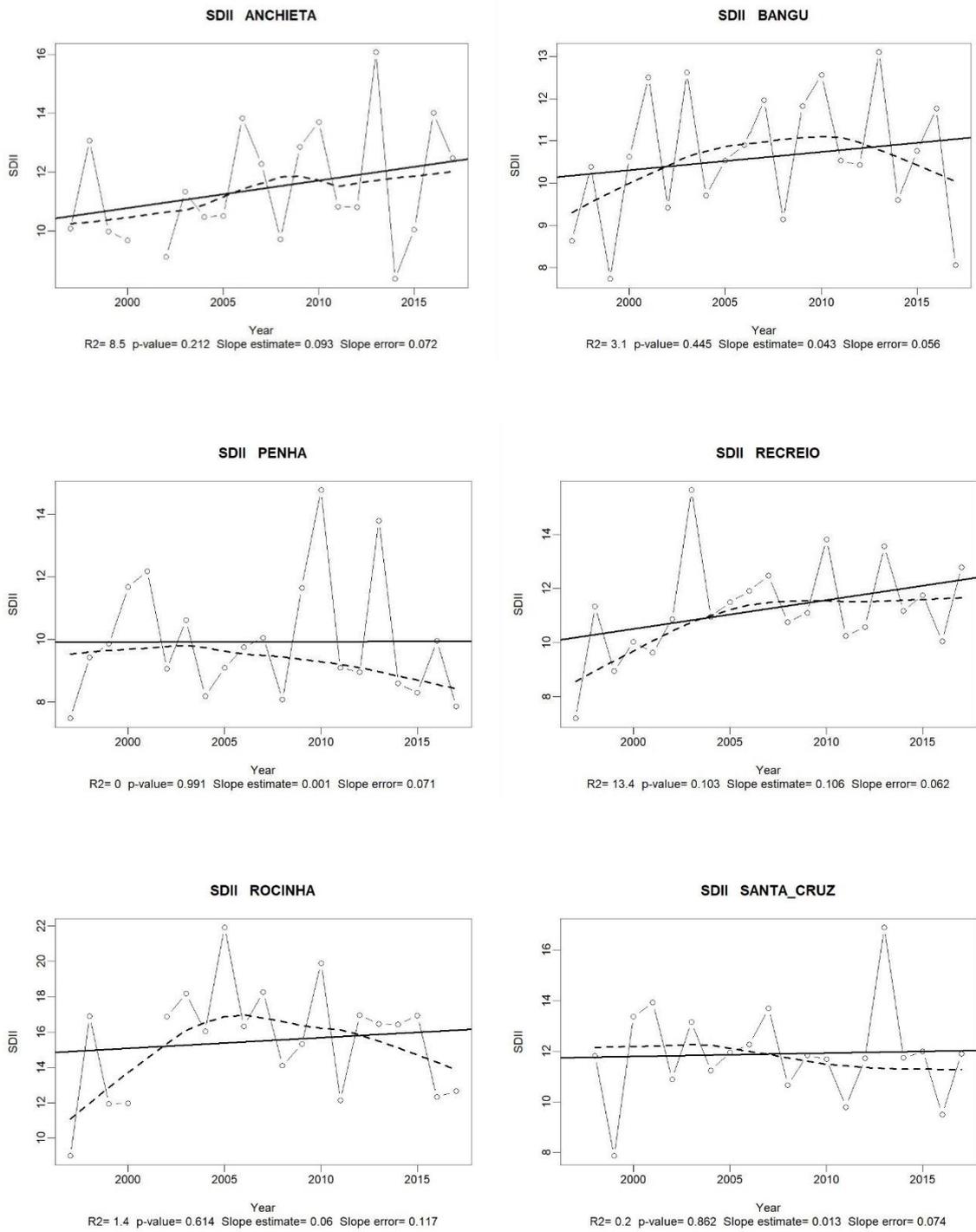


Figura 32: Representação gráfica do índice SDII, com base em 6 estações selecionadas para o estudo, Ilha do Governador, Madureira, Penha, Recreio, Rocinha e Santa Cruz, no município do Rio de Janeiro entre os anos de 1997 a 2017. Fonte: Autoria própria, 2018.

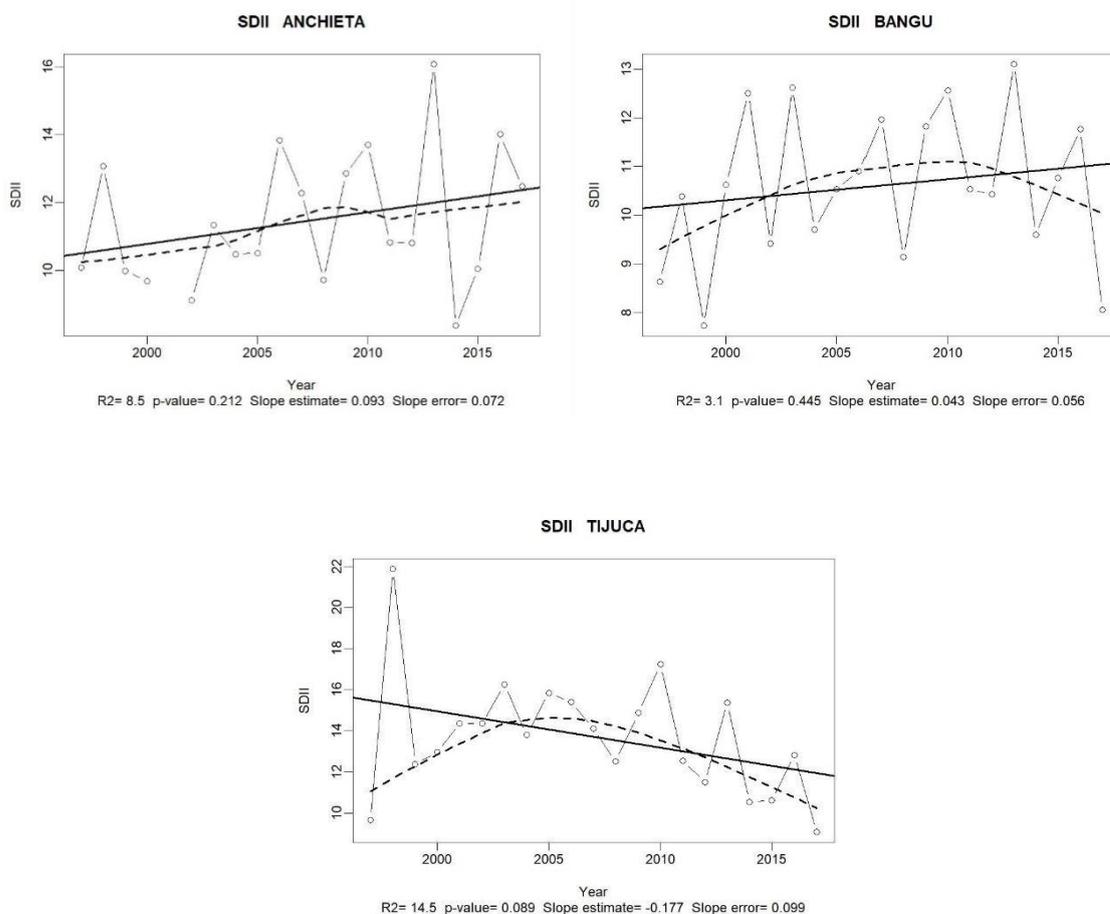


Figura 33: Representação gráfica do índice SDII, com base em 3 estações selecionadas para o estudo, Santa Teresa, Sepetiba e Tijuca, no município do Rio de Janeiro entre os anos de 1997 a 2017. Fonte: Autoria própria, 2018.

As cinco estações citadas acima, que obtiveram diminuição na tendência da intensidade das chuvas anualmente, apresentaram diminuição na precipitação total anual, porém nem todas que apresentaram diminuição na tendência de PRCPTOT tiveram tendência de diminuição no SDII. As estações de Madureira, Santa Cruz e Grotta Funda tiveram aumento na intensidade de chuva nesse período do estudo, porém diminuição da precipitação total anual no mesmo período, podendo indicar uma intensificação dos eventos chuvosos nesses bairros apontando para futuros problemas sociais e econômicos, caso essa tendência de aumento se mantenha.

Tendo isso em vista, e com base nos resultados dos índices anteriores, a diminuição da precipitação anual está causando a diminuição do SDII, já que o número de dias úmidos consecutivos também está diminuindo. Os bairros em que o índice SDII apresentou os maiores valores foram Rocinha com 22mm em 2005 e Tijuca com 22mm em 1998 e o bairro que apresentou menor intensidade foi o de Sepetiba com menor valor de 6mm em 2016.

4.6 Índices CDD e CWD

Dentre os índices de dias consecutivos sem chuva (CDD) e os dias consecutivos com chuva (CWD) (Figura 34, 35 e 36), apenas o CDD apresentou estações com tendências com significância estatística, que foram as estações de Anchieta, Bangu, Campo Grande e Madureira. Todas as estações, com exceção de Santa Teresa, apresentaram tendências lineares positivas no índice de dias consecutivos sem chuva e com escala de no mínimo 15 dias consecutivos sem chuva e máximo variando entre 35 até 60 dias. Este índice afeta diretamente diversos setores da economia, tais como agricultura, geração de energia, entre outros.

O aumento de CDD nos últimos anos ratifica os resultados encontrados para a PRCPTOT e SDII, que para quase a totalidade das estações mostram redução da precipitação. Essa redução pode trazer impactos na disponibilidade hídrica para a cidade do Rio de Janeiro. Resultado análogo foi obtido por Assis, Sobral e Souza (2012) e Assis, Lacerda e Sobral (2012), que identificaram aumento nesse índice. Silva, Souza e Azevedo (2012) identificaram tendências tanto de aumento para algumas estações quanto de redução para esse índice.

As áreas mais próximas ao litoral apresentam CDD com menor durabilidade (25 a 35 dias) do que aqueles observados no interior do estado (35 a 60 dias). Provavelmente isto se deve à passagem de sistemas transientes pelo litoral e ao efeito da brisa marítima, quando ventos de quadrante sul transportam umidade do oceano em direção ao continente. Assim, ocorre aumento da convergência na costa, gerando movimento ascendente e promovendo o levantamento da umidade na camada inferior da atmosfera.

Desta maneira, a orografia orienta o fluxo de umidade regulador para a condensação e instabilização, formando nuvens que precipitam de forma contínua sobre o litoral (SILVA; DEREZYNSKI, 2014). As regiões mais distantes do mar não sofrem influência direta deste fenômeno, pois a topografia local funciona como barreira para a penetração dos ventos mais úmidos provenientes do oceano. Portanto, verificam-se valores de CDD maiores em tais áreas, enquanto que na região costeira a precipitação ocorre com maior frequência, mesmo que com fraca intensidade.

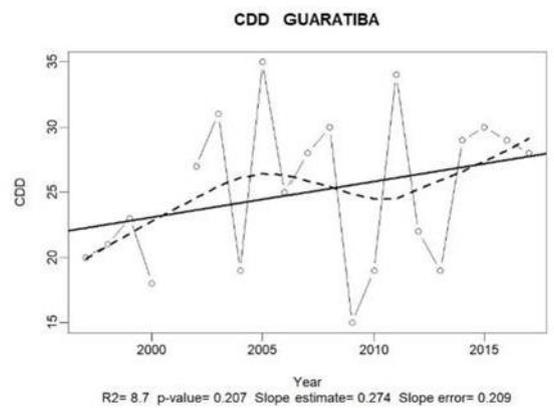
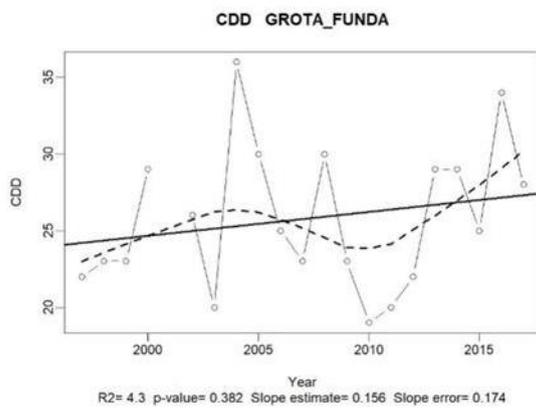
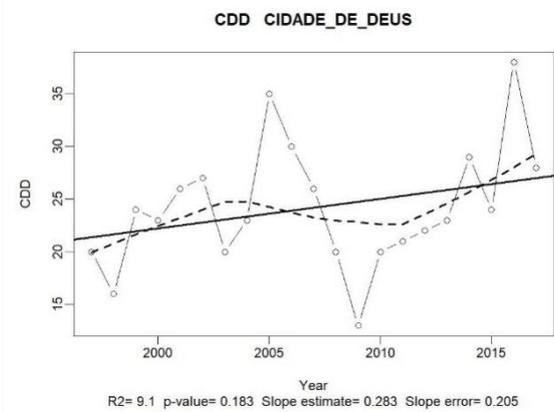
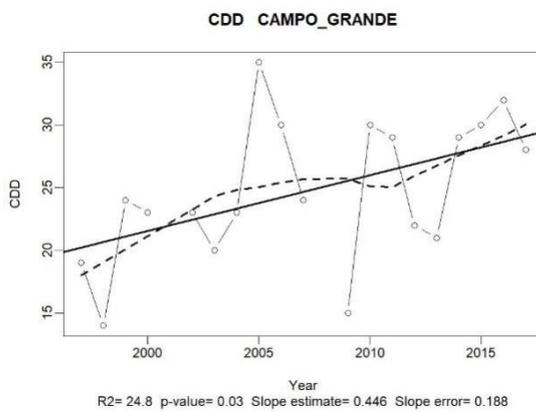
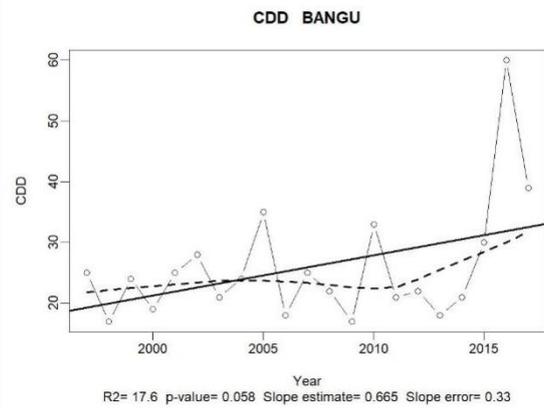
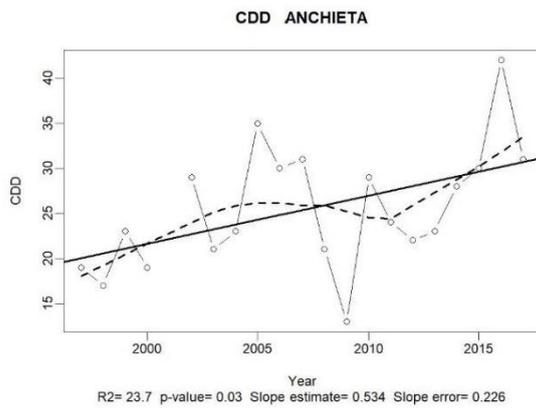


Figura 34: Representação gráfica do índice CDD, sendo Dias consecutivos sem Chuva, com base em 6 estações selecionadas para o estudo, Anchieta, Bangu, Campo Grande, Cidade de Deus, Grota Funda e Guaratiba, no município do Rio de Janeiro entre os anos de 1997 a 2017. Fonte: Autoria própria, 2018.

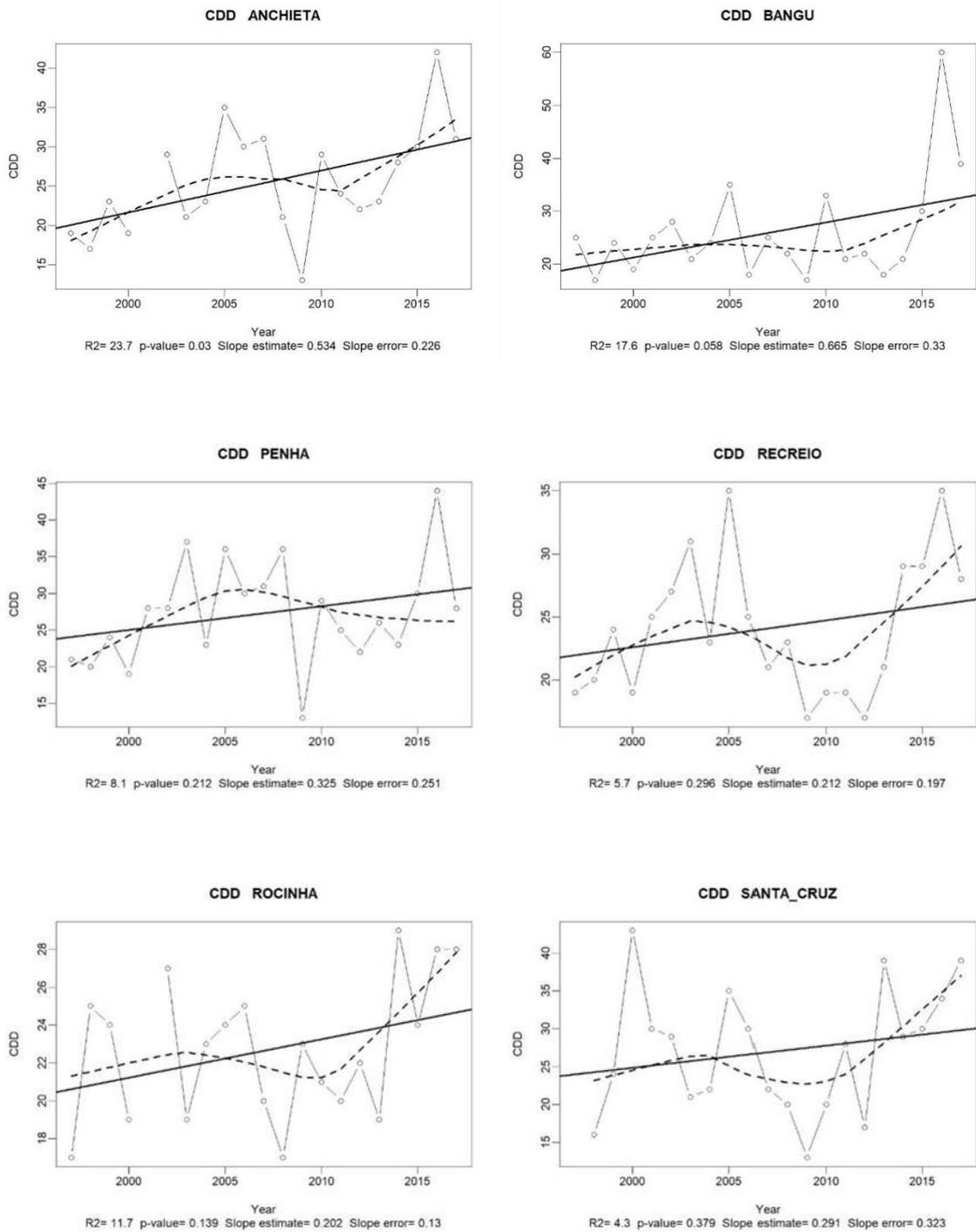


Figura 35: Representação gráfica do índice CDD, sendo Dias consecutivos sem Chuva, com base em 6 estações selecionadas para o estudo, Ilha do Governador, Madureira, Penha, Recreio, Rocinha e Santa Cruz, no município do Rio de Janeiro entre os anos de 1997 a 2017. Fonte: Autoria própria, 2018.

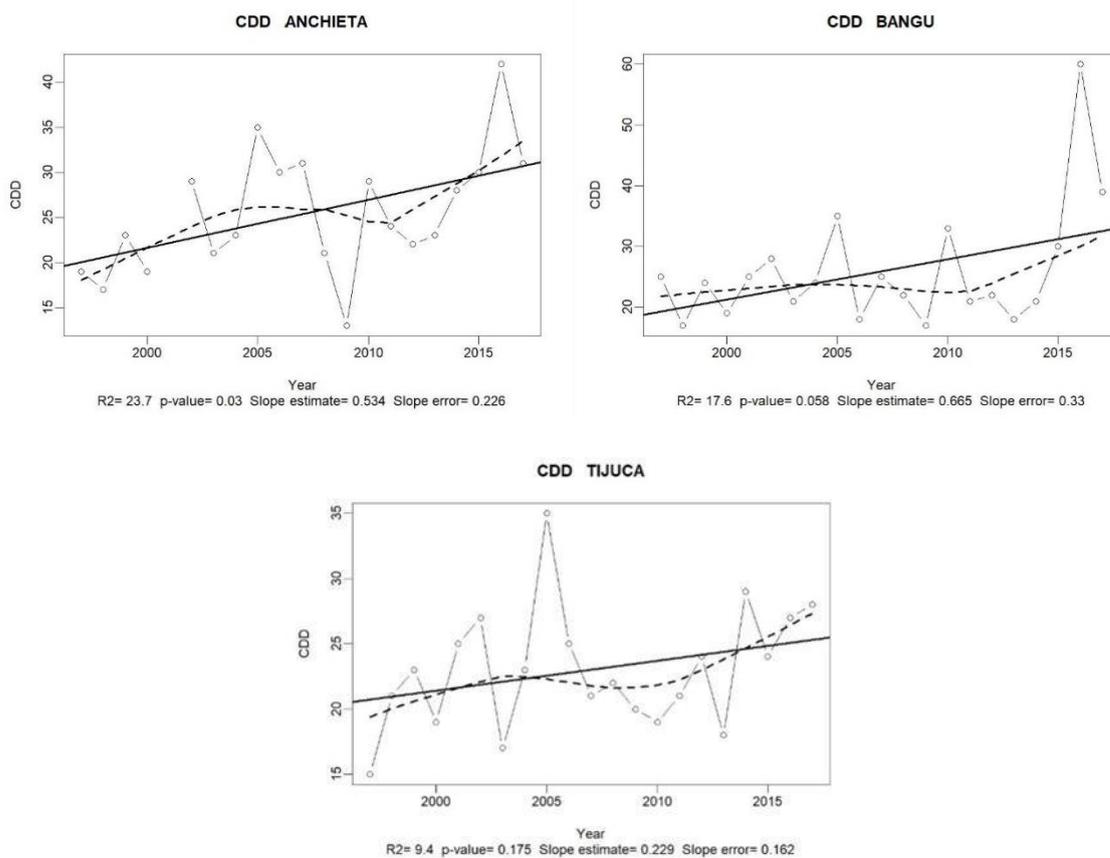


Figura 36: Representação gráfica do índice CDD, sendo Dias consecutivos sem Chuva, com base em 3 estações selecionadas para o estudo, Santa Teresa, Sepetiba e Tijuca, no município do Rio de Janeiro entre os anos de 1997 a 2017. Fonte: Autoria própria, 2018.

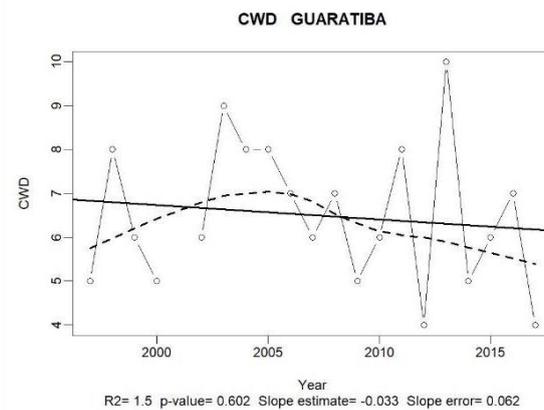
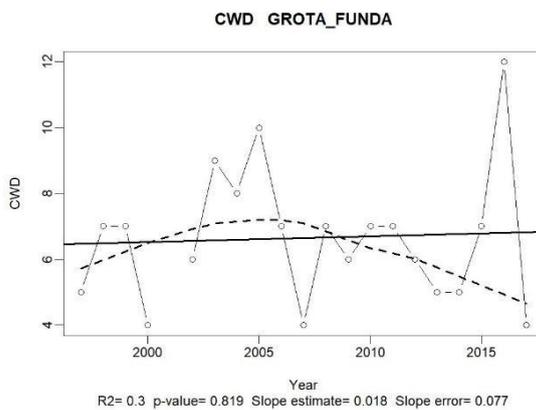
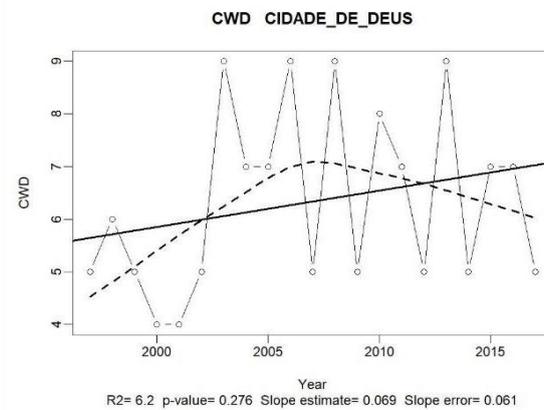
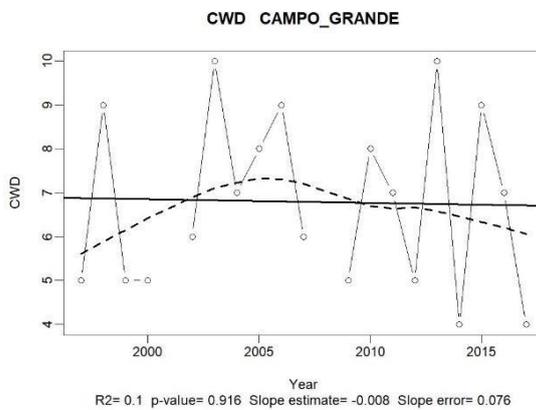
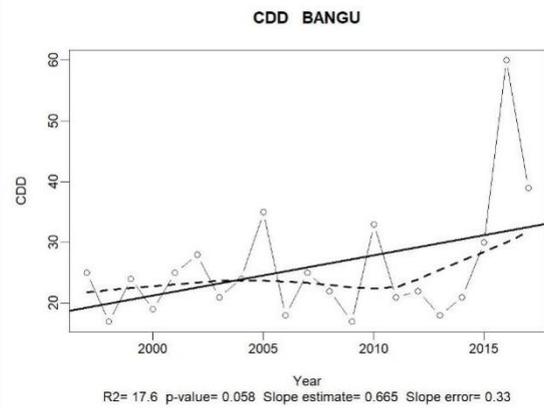
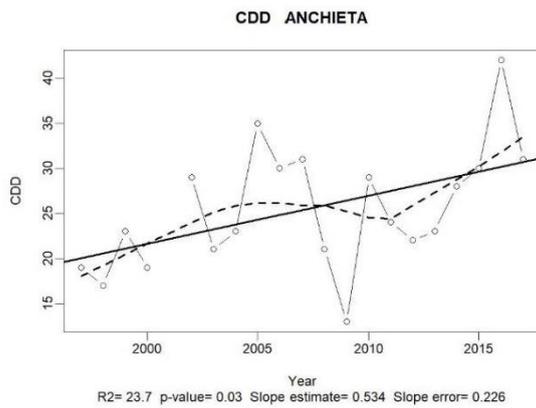


Figura 37: Representação gráfica do índice CWD, sendo Dias consecutivos com Chuva, com base em 6 estações selecionadas para o estudo, Anchieta, Bangu, Campo Grande, Cidade de Deus, Grota Funda e Guaratiba, no município do Rio de Janeiro entre os anos de 1997 a 2017. Fonte: Autoria própria, 2018.

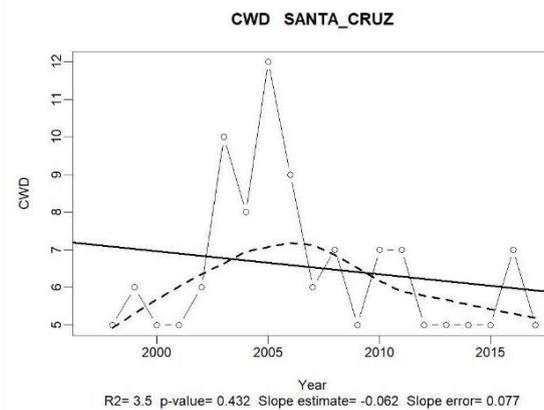
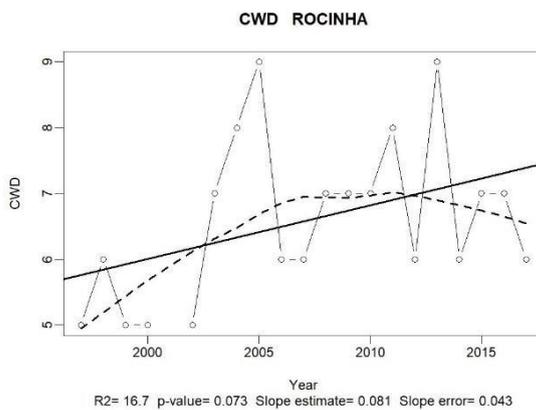
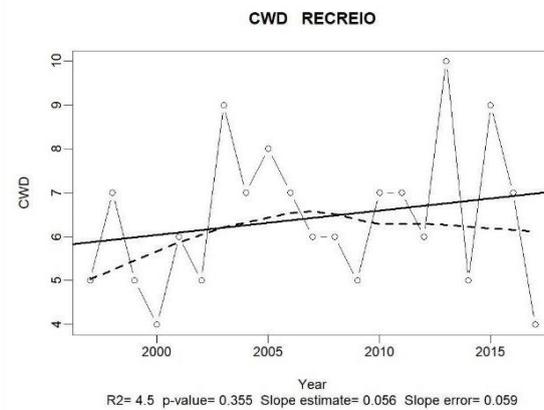
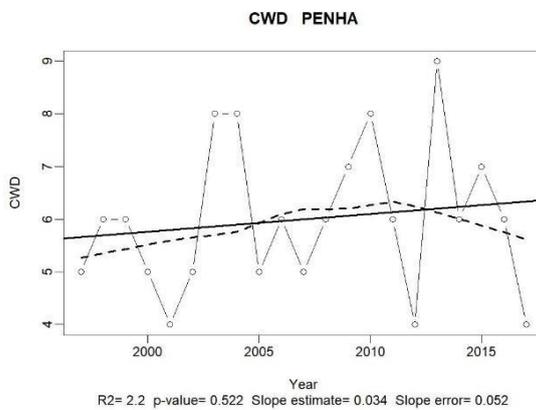
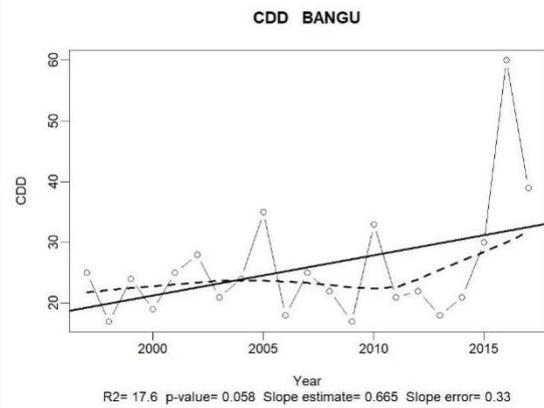
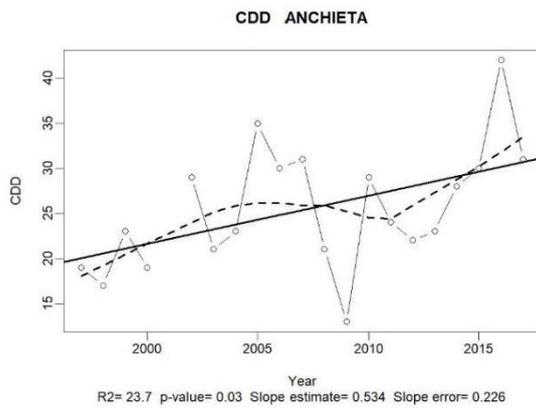


Figura 38: Representação gráfica do índice CWD, sendo Dias consecutivos com Chuva, com base em 6 estações selecionadas para o estudo, Ilha do Governador, Madureira, Penha, Recreio, Rocinha e Santa Cruz, no município do Rio de Janeiro entre os anos de 1997 a 2017. Fonte: Autoria própria, 2018.

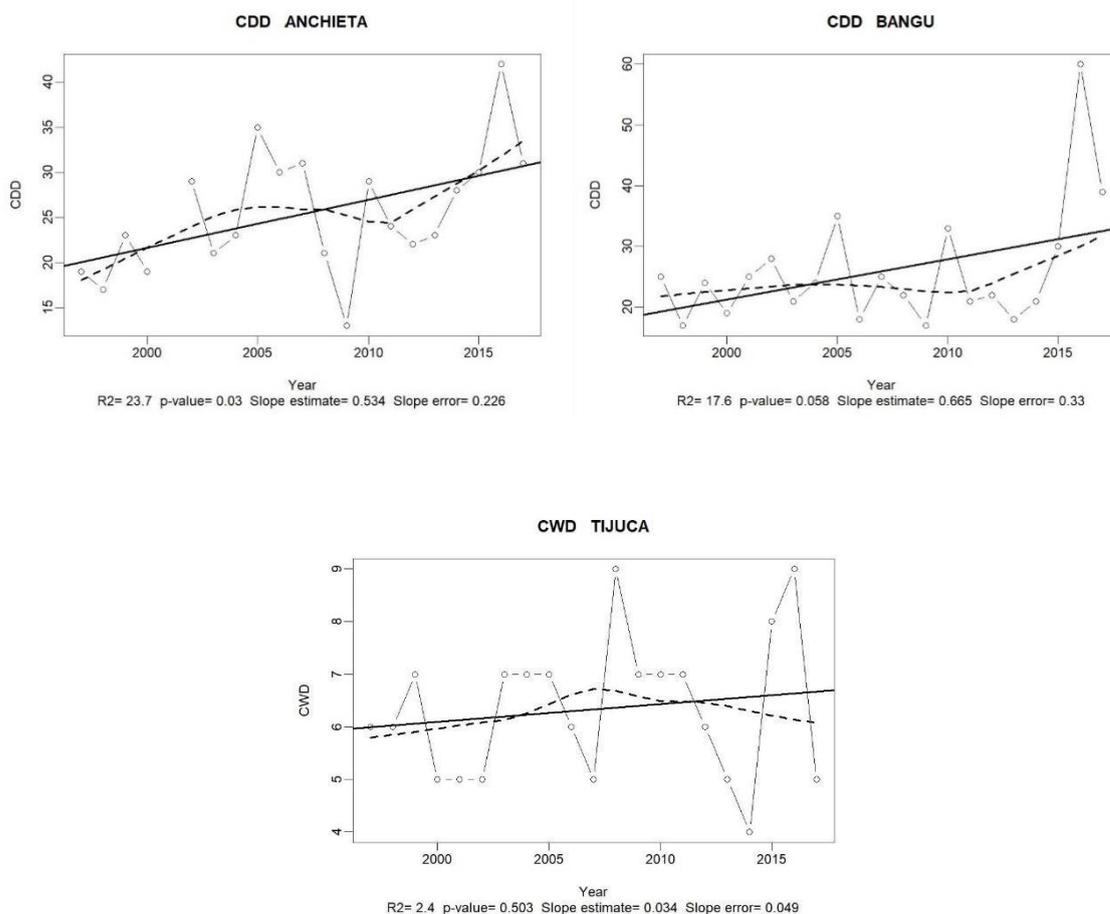


Figura 39: Representação gráfica do índice CWD, sendo Dias consecutivos com Chuva, com base em 3 estações selecionadas para o estudo, Santa Teresa, Sepetiba e Tijuca, no município do Rio de Janeiro entre os anos de 1997 a 2017. Fonte: Autoria própria, 2018.

Os resultados apresentados por CWD ratifica o índice anterior onde indicam que as quinze estações tiveram aumento nos dias consecutivos com chuva até praticamente o ano de 2008 e depois redução até 2017, o que impacta diretamente no total mensal e anual das chuvas na cidade do Rio. A oscilação em CWD pode ser resultado da resposta à mudança da Oscilação Decadal do Pacífico (ODP), como os resultados encontrados por Wanderley e Bunhak (2016), que mostraram influência direta da ODP na precipitação na região Sul Fluminense.

Santos, Assis e Souza (2014) também identificaram tendências lineares positivas, para o estado de Pernambuco. Na Bahia os autores Silva, Souza e Azevedo (2012), identificaram tendência linear negativa com valores significativos para este índice, semelhante ao Souza e Azevedo (2012) que também identificaram essa diminuição, porém sem valores significantes, no estado do Recife.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise dos índices de mudanças climáticas para a cidade do Rio de Janeiro mostrou que houve redução e mudança na distribuição da precipitação anual pluviométrica (PRCPTOT) por meio da regressão linear segmentada em todas as estações analisadas durante o período de 1997 a 2017, com aumento da PRCPTOT até aproximadamente 2007 e queda até 2017.

Os dias extremamente úmidos (R99p) e o total máximo de precipitação diária (Rx1day) tiveram aumento as ocorrências nos anos entre 1997 e 2017, o que pode contribuir com o aumento da ocorrência de eventos extremos de precipitação na região.

Uma vez que a partir da análise estatística dos dados diários de pluviosidade utilizando o RClimDex, não é possível constatar um aumento da intensidade das chuvas do município entre 2007 a 2017, a hipótese que se levanta é que a forma como o município do Rio de Janeiro está organizada, a modificação do solo e a ocupação irregular, contribuam para ocorrência dos desastres na área de estudo.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARENGA, L. A. Precipitação no sudeste brasileiro e sua relação com a Zona de Convergência do Atlântico Sul. **Revista Agrogeoambiental**, v. 4, n. 2, p. 1–7, 2012.

ARAÚJO, W. D. S.; BRITO, J. I. B. DE. INDICES OF TRENDS OF CLIMATIC CHANGES FOR THE STATES OF THE BAHIA AND SERGIPE BY MEANS OF DAILY PRECIPITACION INDICES AND ITS RELATION WITH SST'S OF THE PACIFIC AND ATLANTIC. **Revista Brasileira de Meteorologia**, p. 541–554, 2011.

ASSIS, J. M. O. DE; LACERDA, F. F.; SOBRAL, M. DO C. M. Análise de Detecção de Tendências no Padrão Pluviométrico na Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe Janaina. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 2012.

ASSIS, J. M. O. DE; SOBRAL, M. DO C. M.; SOUZA, W. M. DE. Análise de Detecção de Variabilidades Climáticas com Base na Precipitação nas Bacias Hidrográficas do Sertão de Pernambuco. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 2012.

BJERKNES, J. ATMOSPHERIC TELECONNECTIONS FROM THE EQUATORIAL PACIFIC. **Monthly Weather Review**, v. 97, n. 3, p. 163–172, 1969.

BONNET, S. M.; DEREZYNSKI, C. P.; NUNES, A. Caracterização Sinótica e Climatológica de Eventos de Chuva Pós-Frontal no Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 33, n. 3, p. 547–557, 2018.

CLEM, K. R.; FOGT, R. L. South Pacific circulation changes and their connection to the

- tropics and regional Antarctic warming in austral spring, 1979–2012. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 119, n. 1, 2015.
- COELHO NETTO, A. L. A interface florestal-urbana e os desastres naturais relacionados à água no Maciço da Tijuca: desafios ao planejamento urbano numa perspectiva sócio-ambiental. 1. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 16, p. 46–60, 2005.
- DERECZYNSKI, C. P. et al. CLIMATOLOGIA DA PRECIPITAÇÃO NO MUNICÍPIO DO RIO DE JANEIRO. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, n. 1, p. 24–38, 2009.
- DERECZYNSKI, C. P.; CALADO, R. N.; DE BARROS, A. B. Chuvas Extremas no Município do Rio de Janeiro: Histórico a partir do Século XIX. **Anuario do Instituto de Geociências**, v. 40, n. 2, p. 17–30, 2017.
- DESER, C.; PHILLIPS, A. S.; HURRELL, J. W. Pacific Interdecadal Climate Variability : Linkages between the Tropics and the North Pacific during Boreal Winter since 1900. v. 1900, p. 3109–3124, 2004.
- DOURADO, F.; ARRAES, T.; SILVA, M. O Megadesastre da região serrana do Rio de Janeiro - as causas do evento, os mecanismos dos movimentos de massa e a distribuição espacial dos investimentos de reconstrução no pós-desastre. **Anuario do Instituto de Geociências**, v. 35, n. 2, p. 43–54, 2012.
- FILHO, W.; LUCIO, P.; SPYRIDES, M. H. CARACTERIZAÇÃO DOS EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO DIÁRIA NO NORDESTE DO BRASIL. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 36, n. 3, p. 539–554, 2016.
- FONSECA, D.; JOSÉ IVALDO B. BRITO. Variabilidade do vento na bacia hidrográfica do rio São Francisco durante a ocorrência da ZCAS. **Ambiência**, v. 4, p. 221–235, 2008.
- FRANCO, N. J. N. et al. A Influência da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) no Transporte de Radionuclídeos na Região de Angra dos Reis, usando Modelagem Numérica. In: III CONGRESSO INTERAMERICANO DE QUALIDADE DO AR, AIDIS. 2003, Canoas (RS). Anais eletrônicos. Canoas: Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 2003.
- GAN, M.; RODRIGUES, L. R.; RAO, V. B. Monção na América do Sul. **Tempo e Clima no Brasil**, n. 1686, p. 297–316, 2009.
- GILVAN SAMPAIO DE OLIVEIRA. **O El Niño e Você - o fenômeno climático**. São José dos Campos (SP): Transtec, 2001.
- IBGE**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rj/rio-de-janeiro/panorama>>. Acesso em: 23 jan. 2018.
- KENYON, J.; HEGERL, G. C. Influence of modes of climate variability on global precipitation extremes. **Journal of Climate**, v. 23, n. 23, p. 6248–6262, 2010.
- LIEBMANN, B.; JONES, C.; CARVALHO, L. M. V. DE. Interannual variability of daily extreme precipitation events in the state of São Paulo, Brazil. **Journal of Climate**, v. 14, n. 2, p. 208–18, 2001.
- MALVESTIO, L. MANTOVANI. Variabilidade Da Precipitação Pluviométrica Da Região Sudeste Do Brasil No Período Chuvoso E Suas Consequências Ambientais. p. 155, 2013.

- MARENGO, J. A. Mudanças Climáticas, Condições Meteorológicas Extremas e Eventos Climáticos no Brasil. In: FBDS (org) Mudanças Climáticas Eventos Extremos no Brasil. p: 05-19. FBDS & LLOYD'S. 2010.
- MARENGO, J. A.; ESPINOZA, J. C. Extreme seasonal droughts and floods in Amazonia: Causes, trends and impacts. **International Journal of Climatology**, v. 36, n. 3, p. 1033–1050, 2016.
- MEDEIROS, V. Análise Estatística de Eventos Críticos de Precipitação Relacionados a Desastres Naturais em Diferentes Regiões do Brasil. p. 223, 2013.
- MINUZZI, R. B. et al. Influência da La Niña na estação chuvosa da região sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 22, n. 3, p. 345–353, 2007a.
- MINUZZI, R. B. et al. CLIMATOLOGIA DO COMPORTAMENTO DO PERÍODO CHUVOSO DA REGIÃO SUDESTE DO BRASIL. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 22, p. 7, 2007b.
- MMA – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Relatório Ambiental Urbano Integrado. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/sqa/urbana/>>. Acesso em: 15 mar. 2007.
- MONTEIRO, C. A. F. Clima e excepcionalismo: conjecturas sobre o desempenho da atmosfera como fenômeno geográfico. Florianópolis: Ed. UFSC, 1991.
- MURARA, P. G.; AMORIM, M. C. DE C. T. Changes in Intense Precipitation over the Central United States. v. 6, p. 79–92, 2010.
- NETO, J. L. S. Decálogo da Climatologia do Sudeste Brasileiro. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 1, n. 1, p. 18, 2005.
- NOBRE, C. A. et al. Overview of atmospheric conditions during the smoke, clouds, and radiation-Brazil (SCAR-B) field experiment. **Journal of Geophysical Research Atmospheres**, v. 103, n. D24, p. 31809–31820, 1998.
- O GLOBO. **Saiba como é feita a medição da intensidade de chuva no Rio - Jornal O Globo**. Disponível em: <<https://oglobo.globo.com/rio/saiba-como-feita-medicao-da-intensidade-de-chuva-no-rio-22268926>>. Acesso em: 18 jul. 2019.
- PÁRRAGA, G. O. O. Dinâmica da variabilidade climática da precipitação sobre a América do Sul. **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)**, n. INPE-8604-TDI/789, p. 196 p., 2003.
- POWER, S. et al. Inter-decadal modulation of the impact of ENSO on Australia. **Climate Dynamics**, 1999.
- RAIA, A.; CAVALCANTI, I. F. DE A. The life cycle of the South American monsoon system. **Journal of Climate**, v. 21, n. 23, p. 6227–6246, 2008.
- REBOITA, M. S. et al. REGIMES DE PRECIPITAÇÃO NA AMÉRICA DO SUL : UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA Departamento de Ciências Atmosféricas , Universidade de São Paulo (DCA / USP), São Paulo , SP , Brasil Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais , Centro de Previsão de Tempo e Estudo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.25, n.2, p. 185–204, 2010.

- ROSA, D. B. et al. A distribuição espacial das chuvas na porção Centro-Oeste do Estado de Mato Grosso-Brasil. **Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros – Seção Três Lagoas**, v. 1, n. 5, p. 127–152, 2007.
- SALVIANO, M. F.; GROppo, J. D.; PELLEGRINO, G. Q. Análise de tendências em dados de precipitação e temperatura no Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 1, p. 64–73, 2016.
- SANTOS, C.; MELO, M.; BRITO, J. Tendências de Índices de Extremos Climáticos para o Estado do Amazonas e suas Relações com a TSM dos Oceanos Tropicais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 1, p. 1–10, 2016.
- SANTOS, S. M. DA S.; ASSIS, J. M. O. DE; MEIRA DE SOUZA, W. Tendências de Mudanças Climáticas na Bacia do Rio Una, Pernambuco – Brasil Silvana. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 07, 2014.
- SATYAMURTY, P.; NOBRE, C. A.; SILVA DIAS, P. L. South America. In: KAROLY, D. J.; VINCENT, D. G. (Eds.). **Meteorology of the Southern Hemisphere**. Boston, MA: American Meteorological Society, 1998. p. 119–139.
- SECRETARIA NACIONAL DE DEFESA CIVIL. Política nacional de defesa civil. p. 82, 2007.
- SICILIANO, W. C. et al. Variabilidade Espacial E Temporal Da Precipitação Pluvial No Município Do Rio De Janeiro. **Revista Internacional de Ciências**, v. 8, n. 2, p. 196–208, 2018.
- SILVA, R. O. B. DA; MONTENEGRO, S. M. G. L.; SOUZA, W. M. DE. Tendências de mudanças climáticas na precipitação pluviométrica nas bacias hidrográficas do estado de Pernambuco. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 22, n. 3, p. 579–589, 2017.
- SILVA, E. S. VARIABILIDADE DA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA NAS REGIÕES SUDESTE E SUL DO BRASIL. UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO” FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS CAMPUS DE BOTUCATU, 2006.
- SILVA, G. B.; AZEVEDO, P. V. DE; SOUZA, W. M. DE. Cenários de Mudanças Climáticas no Estado da Bahia através de Estudos Numéricos e Estatísticos. **Revista de geografia Física**, v. 05, p. 1019–1034, 2012.
- SILVA, W. L.; DEREZYNSKI, C. P. Caracterização Climatológica e Tendências observadas em extremos climáticos no Estado do Rio de Janeiro. **Anuario do Instituto de Geociencias**, v. 37, n. 2, p. 123–138, 2014.
- SIMÕES, M. et al. REGIMES DE PRECIPITAÇÃO NA AMÉRICA DO SUL: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, n. 2, p. 185–204, 2010.
- SOARES, F. S.; FRANCISCO, C. N.; CARVALHO, C. N. DE. Análise dos fatores que influenciam a distribuição espacial da precipitação no litoral sul fluminense, RJ. **Anais XII Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, p. 3365–3370, 2005.
- SOUZA, W.; AZEVEDO, P. Índices de Detecção de Mudanças Climáticas Derivados da

Precipitação Pluviométrica e das Temperaturas em Recife-PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, p. 143–159, 2012.

TRIOLA, M.F. 2005. Introdução a Estatística. 9ª Edição. Editora LTC. Rio de Janeiro. 656 p.

UFSC, U. F. D. S. C.; CEPED, C. U. D. E. E. P. S. D. Atlas Brasil. v. Brasil, 2º, p. 126, 2013.

ZHANG, X.; YANG, F. RCLimDex (1.0). **Climate Research Branch**, p. 23, 2004.

WANDERLEY, H. S.; BUNHAK, A. C. DA S. Alteração da precipitação e do número de dias sem chuva na região Sul Fluminense no estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, p. 2341–2353, 2016.