



# 1

## ANÁLISE DA PRECIPITAÇÃO NO PARQUE NACIONAL DA RESTINGA DE JURUBATIBA

*Saulo de Oliveira Folharini • André Luiz dos Santos Furtado*

### **Título Curto**

PRECIPITAÇÃO NA RESTINGA DE JURUBATIBA



## RESUMO

A análise temporal da precipitação é fundamental para estudos que têm por objetivo compreender a dinâmica climática local e regional, visando ao planejamento ambiental ou territorial. Frequentemente, a indisponibilidade de séries temporais adequadas prejudica ou até impede análises e previsões acuradas. Neste estudo, foram caracterizadas as distribuições espacial e a temporal da precipitação no Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba (PARNA da Restinga de Jurubatiba), a partir de dados obtidos pelo radar de precipitação (PR) do satélite *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM), no período compreendido entre 2000 e 2016. Concomitantemente, foi analisada a precipitação de seis municípios do estado do Rio de Janeiro, a partir de dados obtidos pelo sensor do TRMM e de estações pluviométricas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). No PARNA da Restinga de Jurubatiba, foi possível evidenciar um padrão na precipitação que se repetiu a cada quatro anos, entre 2002 e 2014. Considerando a série histórica (2000-2016), não há evidências de que a precipitação no estado do Rio de Janeiro, ou especificamente no PARNA da Restinga de Jurubatiba, tenha diminuído significativamente. Apesar de estimar com confiabilidade, o sensor do satélite TRMM superestimou a pluviosidade em algumas situações.

**Palavras-chave:** pluviosidade; sensoriamento remoto; TRMM.

## 1.1 INTRODUÇÃO

A análise da dinâmica temporal de variáveis ambientais tem como foco a detecção e a interpretação de tendências e o reconhecimento de padrões. Em geral, esses padrões são de difícil identificação, uma vez que as variáveis apresentam alta complexidade intrínseca, ou essa é completamente desconhecida. Análises temporais de variáveis ambientais são relevantes, pois, além de permitirem a detecção de eventos extremos ou cíclicos, possibilitam construir modelos de previsão e reconhecer tendências climáticas (Back 2001, van den Brink et al. 2009, Liu et al. 2012, Kerimoglu et al. 2013, Yu et al. 2014, Kumar et al. 2019). O grande desafio dos pesquisadores está na obtenção de séries temporais confiáveis, considerando sua magnitude e distribuição espacial. Frequentemente, as séries históricas disponíveis não apresentam suficiente continuidade temporal sem restrição, *i.e.*, são limitadas devido à ausência de robustez da qualidade da base histórica. Essa ausência é decorrente de falta de continuidade na obtenção dos dados, de erros ou de mudanças dos instrumentos de monitoramento e da observação de *outliers*.

A precipitação é uma variável ambiental chave para o entendimento de fenômenos climáticos e, devido à sua importância científica, econômica e eventualmente cultural para a humanidade, os aparatos responsáveis por sua medição passam por diversas alterações e aperfeiçoamentos (Strangeways 2010). Apesar de controvérsias e incertezas (Larminat 2016, Jankó et al. 2017), o Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC (2013) tem apontado que diversas alterações climáticas mundiais, regionais e locais são resultado da atividade antrópica. Por sua vez, essas alterações afetam as características da precipitação, as quais necessitam ser identificadas e analisadas.

Atualmente, pesquisadores podem acessar dados pluviométricos oriundos de estações meteorológicas, sejam elas convencionais ou automatizadas. Outra possibilidade, ainda, é a utilização de sensores orbitais remotos ativos (Cannon et al. 2020, Yu et al. 2020) ou passivos (Jobard e Desbois 1994, Karbalaei et al. 2017, Ushio et al. 2009). São vantagens da utilização de sensores remotos orbitais a confiabilidade de seu instrumental; a possibilidade de cobertura contínua de vastas regiões, muitas das quais são de difícil acesso e inviáveis para a instalação de pluviômetros; e a constância da obtenção dos dados para a construção de séries históricas.

Considerando que até 2020 o Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba (PARNA da Restinga de Jurubatiba) não contava com uma estação meteorológica que fornecesse parâmetros pluviométricos em tempo real, uma solução alternativa foi obter esses dados por meio de sensores remotos orbitais, que apresentam ampla cobertura espacial e temporal. Neste estudo, é apresentada uma descrição da precipitação acumulada mensal no PARNA da Restinga de Jurubatiba, medida pelo radar de precipitação (PR) embarcado no satélite TRMM, por um período de 17 anos. Além de auxiliarem nas ações de gestão da unidade de conservação, esses dados viabilizam uma melhor compreensão da distribuição espacial e temporal da precipitação e embasam outras pesquisas científicas. Concomitantemente, é essencial avaliar as medidas de precipitação obtidas por sensores orbitais e compará-las a observações independentes de campo, as quais permitem validar os produtos de satélites. No caso do PARNA da Restinga de Jurubatiba, essa validação não é possível, pois até recentemente a estação meteorológica mais próxima estava situada no município de Campos dos Goytacazes, a aproximadamente 110 km de distância, e essa estação não conta com uma série histórica completa. Assim, apesar de este estudo focar nos padrões de precipitação no PARNA da Restinga de Jurubatiba, para efeito comparativo, foi avaliada a tendência temporal da precipitação no estado do Rio de Janeiro a partir de estimativas de precipitação da missão TRMM, além de dados obtidos em estações pluviométricas do INMET instaladas em seis municípios fluminenses.

## 1.2 ÁREA DE ESTUDO

Localizado na região Sudeste do Brasil, o estado do Rio de Janeiro tem área de 43 781,588 km<sup>2</sup> integralmente incluída na faixa intertropical, caracterizada por clima chuvoso no verão e seco no inverno, e pluviosidade média anual variando entre 1 000 e 1 250 mm (André et al. 2008). Em relação ao relevo, as principais feições geomorfológicas são as planícies fluviais e fluviomarinhas, além de serras escarpadas (Rio de Janeiro 2011).

Em 2018, o estado do Rio de Janeiro contava 17 159 960 habitantes, com densidade demográfica de 365,2 hab/km<sup>2</sup> e concentrados na Zona Costeira, principalmente na região metropolitana do Rio de Janeiro. Municípios como Nova Iguaçu, Queimados, Duque de Caxias, Niterói, São Gonçalo, Mesquita, Belford Roxo, Nilópolis, São João de Meriti e Rio de Janeiro apresentam densidade demográfica acima de 1 000 hab/km<sup>2</sup> (IBGE 2017). Essa elevada densidade demográfica da região metropolitana está relacionada ao secular histórico de ocupação da costa brasileira e ao processo de metropolização do município do Rio de Janeiro, que atraiu grandes contingentes populacionais em diferentes períodos da história.

O processo de ocupação das terras ao norte do estado do Rio de Janeiro remete ao século XVI, e tem a atividade canavieira, praticada durante os séculos XVIII e XIX, como responsável pelo primeiro grande crescimento populacional da região. Nesse período, os municípios de Macaé e Campos dos Goytacazes, conectados hidrológica e terrestrialmente pelo canal Campos-Macaé e por uma ferrovia, respectivamente, destacavam-se pela produção e pelo transporte agrícola (FEEMA 1989).

Com as transformações econômicas e tecnológicas vinculadas à mudança da matriz energética para o petróleo, na segunda metade do século XX, o Norte Fluminense passou a experimentar elevado crescimento econômico, impulsionado, em grande parte, pela instalação do Terminal Cabiúnas, que recebe e distribui petróleo e gás extraído da Bacia de Campos. A atração de mão de obra, em grande parte especializada, e de serviços vinculados à atividade petrolífera trouxe grande crescimento econômico para a região e desafios para a gestão pública, que passou a lidar com contingentes crescentes de imigrantes (FEEMA 1989, Esteves 2011).

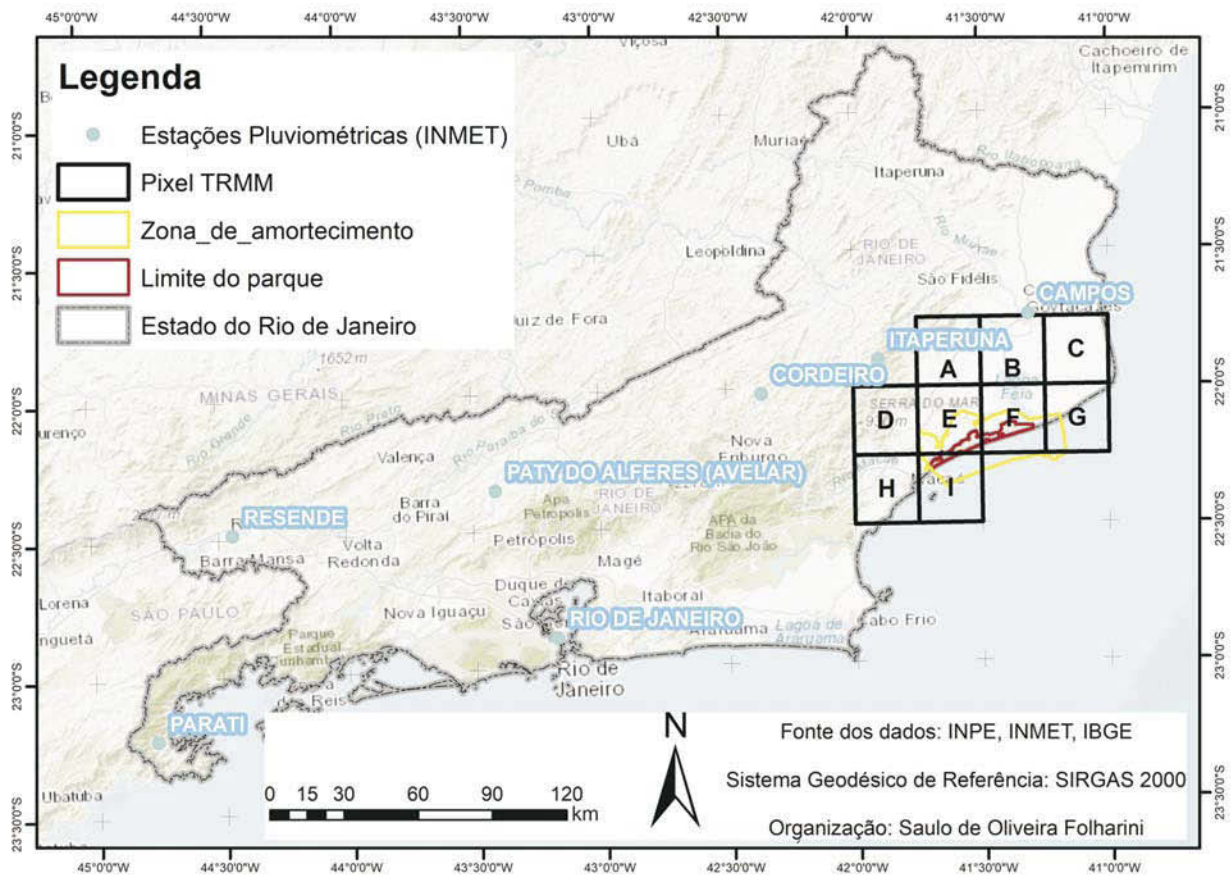
O acelerado crescimento urbano da região devido à atividade petrolífera também aumentou os níveis de degradação da planície costeira, com ocupação de áreas ambientalmente frágeis, como as restingas, e corpos hídricos rasos, como estuários e lagoas costeiras. Com o objetivo de preservar parte dos remanescentes desses ecossistemas, em 29 de abril de 1998, foi criado o PARNA da Restinga de Jurubatiba. Localizado entre as coordenadas geográficas 22°00' – 22°23'S e 41°15' – 41°45'O, o PARNA da Restinga de Jurubatiba ocupa uma área de aproximadamente 149,22 km<sup>2</sup>, com cerca de 4 km de largura e 44 km de extensão, e uma zona de amortecimento terrestre de 387,41 km<sup>2</sup>. Essa unidade de conservação estende-se pelos territórios dos municípios de Macaé, Quissamã e Carapebus, que têm respectivamente 206 728, 20 242 e 13 359 habitantes (IBGE 2017).

O significado do termo “restinga” no nome do parque é empregado no sentido botânico, designando formações vegetais arbustivo-arbóreas. A palavra restinga nesse contexto engloba diferentes comunidades vegetais que se desenvolvem nas praias, nas antedunas e nos cordões litorâneos (ICMBio 2007). No tocante às características geomorfológicas, Suguio e Tessler (1984) consideram que o termo restinga relaciona-se a depósitos arenosos costeiros com origens diversas, como as formações de cordões litorâneos, praias barreiras, barras, esporões. Nesse contexto, os cordões litorâneos formam as planícies arenosas, que têm sido denominadas “planícies de restinga”.

### 1.3 METODOLOGIA

Lançado no ano de 1997 pela Agência Espacial Norte-Americana (NASA) e Agência de Exploração Aeroespacial do Japão (JAXA), o satélite Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) teve o objetivo de mensurar a precipitação e a troca de calor latente nas regiões tropicais e subtropicais. Os principais sensores embarcados no TRMM são o *TRMM Microwave Imager* (TMI), radar de precipitação (PR) e o Radiômetro Visível e Infravermelho (VIRS). A precipitação estimada é resultado da combinação das medições dos sensores TMI e PR. Uma descrição detalhada do satélite e de seus sensores pode ser obtida em Kummerow et al. (1998).

Para este estudo, os dados do satélite TRMM foram obtidos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (<http://www.dsr.inpe.br/laf/series/>) e abrangem o período de janeiro de 2000 a dezembro de 2016. Na figura 1.1, são apresentados os quadrantes dos *pixels*, com tamanho equivalente a aproximadamente 0,25 x 0,25 grau. Os dados das estações meteorológicas do INMET foram obtidos no Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP), disponível no *link* <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>, e abrangem o mesmo período (janeiro de 2000 a dezembro de 2016). Entretanto, essa série temporal apresenta ausência de registro em determinados meses.



**FIGURA 1.1** Localização das estações pluviométricas do INMET, do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba (RJ) e dos pixels do satélite TRMM.

Os testes estatísticos foram feitos usando o *software* OriginPro v. 2020 (OriginLab Corporation, Northampton, MA, USA). A normalidade dos dados de pluviosidade foi verificada por meio dos

testes de Shapiro-Wilk e D'Agostino. Uma vez que os dados de precipitação não apresentaram distribuição normal, foram empregados testes não paramétricos.

Os valores de precipitação mensal obtidos pelos sensores do TRMM na área do PARNA da Restinga de Jurubatiba foram comparados por meio do teste de Kruskal-Wallis, seguido do teste de comparações múltiplas com o método Simes-Hochberg. A tendência temporal da precipitação acumulada anual foi testada segundo Mann-Kendall (mais detalhes do teste de Mann-Kendall estão disponíveis em Salviano et al., 2016).

Para testar a hipótese nula de que os valores de precipitação obtidos a partir dos dados do satélite TRMM e das estações do INMET situadas em municípios do estado do Rio de Janeiro não diferem entre si, foi utilizado o teste de Mann-Whitney. O nível de significância adotado em todos os testes foi  $p < 0,05$ .

## 1.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 1.4.1 Precipitação no PARNA da Restinga de Jurubatiba

As alterações na distribuição espacial e temporal da precipitação decorrentes das mudanças climáticas precisam ser investigadas nas escalas regional e global e devem ser avaliadas por meio de análises estatísticas. A avaliação de estacionariedade ou alterações nas séries temporais de precipitação é um grande desafio, pois frequentemente são observados problemas relacionados à extensão e à qualidade dos dados. Contudo, a disponibilidade de dados de precipitação, em diferentes resoluções espaciais e temporais, de fontes baseadas em radares e satélites, aumenta a compreensão da variabilidade climática, mesmo em regiões sem presença de estações meteorológicas.

A crescente preocupação da sociedade com as possíveis consequências do aquecimento global induzido antropogenicamente tem estimulado o desenvolvimento de diversos estudos que investigam possíveis mudanças no clima e caracterizam as condições climáticas naturais. Isso, por sua vez, gerou maior preocupação com a extensão e especialmente com a qualidade da base histórica de dados climáticos. Neste estudo, a precipitação no entorno e no PARNA da Restinga de Jurubatiba foi estimada a partir de dados do satélite TRMM, uma vez que esses dados podem ser considerados confiáveis e que a área, até recentemente, não dispunha de estação meteorológica tradicional ou automatizada. Concomitantemente, os dados obtidos foram avaliados por procedimentos estatísticos destinados a identificar comportamentos e tendências temporais e espaciais.

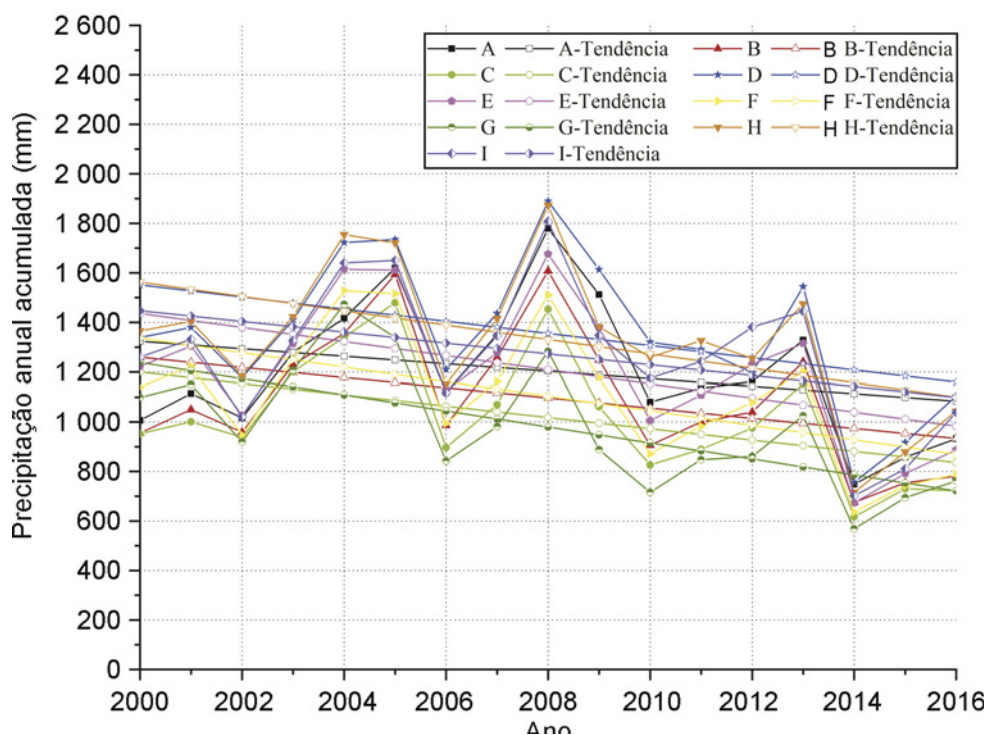
A tabela 1.1 apresenta a estatística descritiva da precipitação acumulada mensal no entorno e no PARNA da Restinga de Jurubatiba entre janeiro de 2000 e dezembro de 2016. A precipitação variou entre 0,4 mm (*pixel* C) e 513,1 mm (*pixel* D). Considerando a distribuição espacial dos pixels do satélite TRMM (figura 1.1), observa-se que a precipitação tende a diminuir no sentido sudoeste-nordeste. Por exemplo, a precipitação acumulada no *pixel* H é superior àquela estimada no *pixel* C. Esse fato é confirmado pelo resultado do teste de Kruskal-Wallis ( $p < 0,01$ ), seguido do teste de Simes-Hochberg, que distinguiu dos *pixels* em três grupos (tabela 1.1). Um grupo foi formado pelos *pixels* D e H, com maior precipitação acumulada (acima de 22 mil mm). Outro grupo incluiu os *pixels* C e G, situados na região mais a nordeste, com precipitação inferior a 18 mil mm. Os *pixels* I, E, A, F, B formaram um grupo com precipitação intermediária, entre 21,6 mil e 18,6 mil mm.

**TABELA 1.1** Estatística descritiva (N, N-missing, mediana, mínimo, máximo e precipitação acumulada no período) da precipitação (mm) obtida a partir do satélite TRMM entre janeiro de 2000 e dezembro de 2016

Pixel	N	N-missing	Mínimo	Mediana	Máximo	Precipitação acumulada	Simes-Hochberg
D	204	0	2,6	78,6	513,1	23 043,9	a
H	204	0	3,4	77,6	495,6	22 626,7	a
I	204	0	1,9	75,8	539,7	21 640,9	ab
E	204	0	1,2	70,4	488,1	20 561,2	ab
A	204	0	1,1	69,5	489,8	20 458,5	ab
F	204	0	0,6	65,7	438,8	18 753,1	ab
B	204	0	0,9	65,0	438,1	18 640,2	ab
C	204	0	0,4	62,4	400,3	17 305,2	b
G	204	0	0,6	61,2	332,6	16 657,0	b

NOTA: Teste de Kruskal-Wallis ( $p < 0,01$ ), seguido pelo teste de comparações múltiplas com o método Simes-Hochberg ( $p < 0,05$ ).

Com base nos valores da precipitação acumulada, observou-se que o ano de 2014 foi o mais seco, e 2008, o mais úmido (figura 1.2). Também foi possível observar na precipitação um padrão que se repetiu a cada quatro anos, entre 2002 e 2014. É possível que esse ciclo reflita, em parte, o fenômeno ENOS, que ocorreu nos anos 2002-2003, 2006-2007, 2009-2010 e 2015-2016 (INPE 2020). Infelizmente os dados do satélite TRMM após julho de 2017 não estavam acessíveis para confirmar a ocorrência de um novo ciclo em 2020.



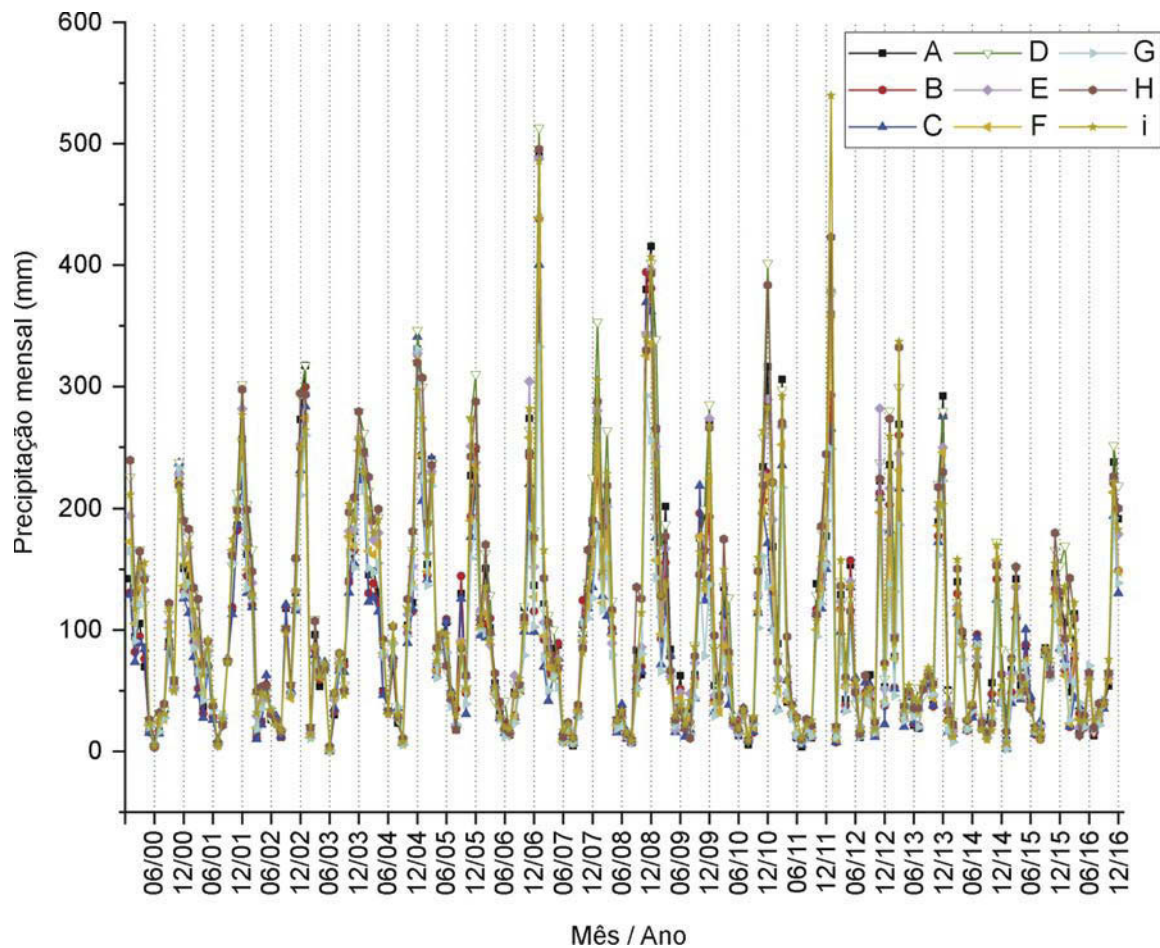
**FIGURA 1.2** Precipitação anual acumulada (mm) obtida a partir de dados do satélite TRMM no entorno e no PARNA da Restinga de Jurubatiba (ver figura 1.1) e tendência calculada a partir do teste de Mann-Kendall ( $p < 0,05$ ). Tendência significativa pixels F e G.

Na figura 1.2, pode ser observada a precipitação anual acumulada (mm) obtida a partir de dados do satélite TRMM no entorno e no PARNA da Restinga de Jurubatiba. Para cada série temporal original de dados, foi definida uma curva ajustada e tendência a partir do teste de Mann-Kendall ( $p < 0,05$ ). De maneira geral, a curva ajustada da precipitação não exibiu tendência significativa, excetuando os *pixels* F e G, situados no litoral e na área menos chuvosa, que apresentaram tendência negativa significativa ( $p < 0,05$ ). Não há explicação clara para esse resultado, mas deve-se levar em conta que o período considerado neste estudo foi de somente 17 anos, o que pode indicar uma falsa tendência da série temporal, ou mesmo sua inexistência. O cenário ideal seria complementar a avaliação com novos dados do satélite TRMM. Contudo, infelizmente, a missão terminou após a reentrada do satélite na atmosfera (Huffman 2019). Se mantida, a tendência negativa reduzirá a disponibilidade hídrica na área do PARNA da Restinga de Jurubatiba, o que indicaria um possível cenário futuro de *deficit* hídrico, que afetaria as comunidades biológicas da unidade de conservação e os assentamentos humanos em seu entorno. Por exemplo, Pires et al. (2017) demonstraram, experimentalmente, o efeito de mudanças na precipitação na dinâmica das populações de algas nos microcosmos de bromélias presentes no PARNA.

No caso do entorno e do PARNA da Restinga de Jurubatiba, a análise da precipitação acumulada mensal evidenciou um padrão espacial e temporal. Em geral, o período chuvoso tem início na primavera e atinge seu máximo no mês de dezembro, devido à atuação da massa de ar continental que vem do oceano. Os ventos úmidos originados no oceano fluem pela planície costeira até atingirem regiões mais elevadas da Serra do Mar, resultando em precipitações de origem orográfica. A partir de janeiro, a precipitação começa a diminuir. O período de seca ocorre nos meses de junho e julho, podendo, por vezes, o mês de agosto ser o mais seco do ano (figura 1.3). Portanto, há sazonalidade associada aos padrões climáticos das estações do ano na área de estudo.

Os valores da precipitação anual estimados pelo satélite TRMM são similares àqueles mensurados por estações pluviométricas em outras regiões litorâneas do estado, como na cidade do Rio de Janeiro (Dereczynski et al. 2009; Siciliano et al. 2018). A precipitação acumulada média (2000-2016) nos *pixels* variou entre 979,8 mm, no *pixel* G, e 1 355,5 mm, no *pixel* D. Silva e Dereczynski (2014) produziram a caracterização climática do estado do Rio de Janeiro e, segundo esses autores, a precipitação acumulada para a região do PARNA da Restinga de Jurubatiba varia entre 1 000 e 1 600 mm. É interessante notar a alta concentração de estações pluviométricas na região da cidade do Rio de Janeiro em contraste com o resto do estado.





**FIGURA 1.3** Precipitação acumulada mensal (mm) obtida a partir de dados do satélite TRMM nos pixels A, B, C, D, E, F, G, H e I (ver figura 1.1).

#### 1.4.2 A Relação TRMM e INMET

Considerando os valores obtidos pelo sensor TRMM e aqueles mensurados nas estações do INMET, diferenças significativas foram detectadas para as estações instaladas nos municípios de Paty do Alferes (Avelar) e Cordeiro (tabela 1.2). Nesses municípios, os valores mensurados pelo sensor TRMM foram superiores àqueles registrados nas estações do INMET. As diferenças observadas podem ser resultado das características intrínsecas, funcionais e das limitações dos equipamentos utilizados nas estações, ou resultado da percepção do operador ou da influência de outras variáveis meteorológicas. Além disso, o valor medido na estação representa sua área de influência. Por sua vez, os valores do TRMM representam uma estimativa média da precipitação no *pixel*, portanto, relacionada à resolução espacial. Outros estudos têm obtido resultados favoráveis à utilização das estimativas do sensor TRMM como forma de mensurar o regime pluviométrico (Almeida et al. 2015; Louzada et al. 2018). Uma das vantagens da utilização dos sensores do TRMM é a sua continuidade temporal. No período amostrado (17 anos), não foi observada ausência de dados. Por sua vez, as estações do INMET apresentaram hiatos em determinados períodos, o que não impossibilitou a análise da série temporal.

Com base nos dados do INMET (tabela 1.2), a estação localizada em Campos dos Goytacazes apresentou a menor mediana (58,1 mm), seguida por Cordeiro, Paty do Alferes (Avelar) e Itaperuna.

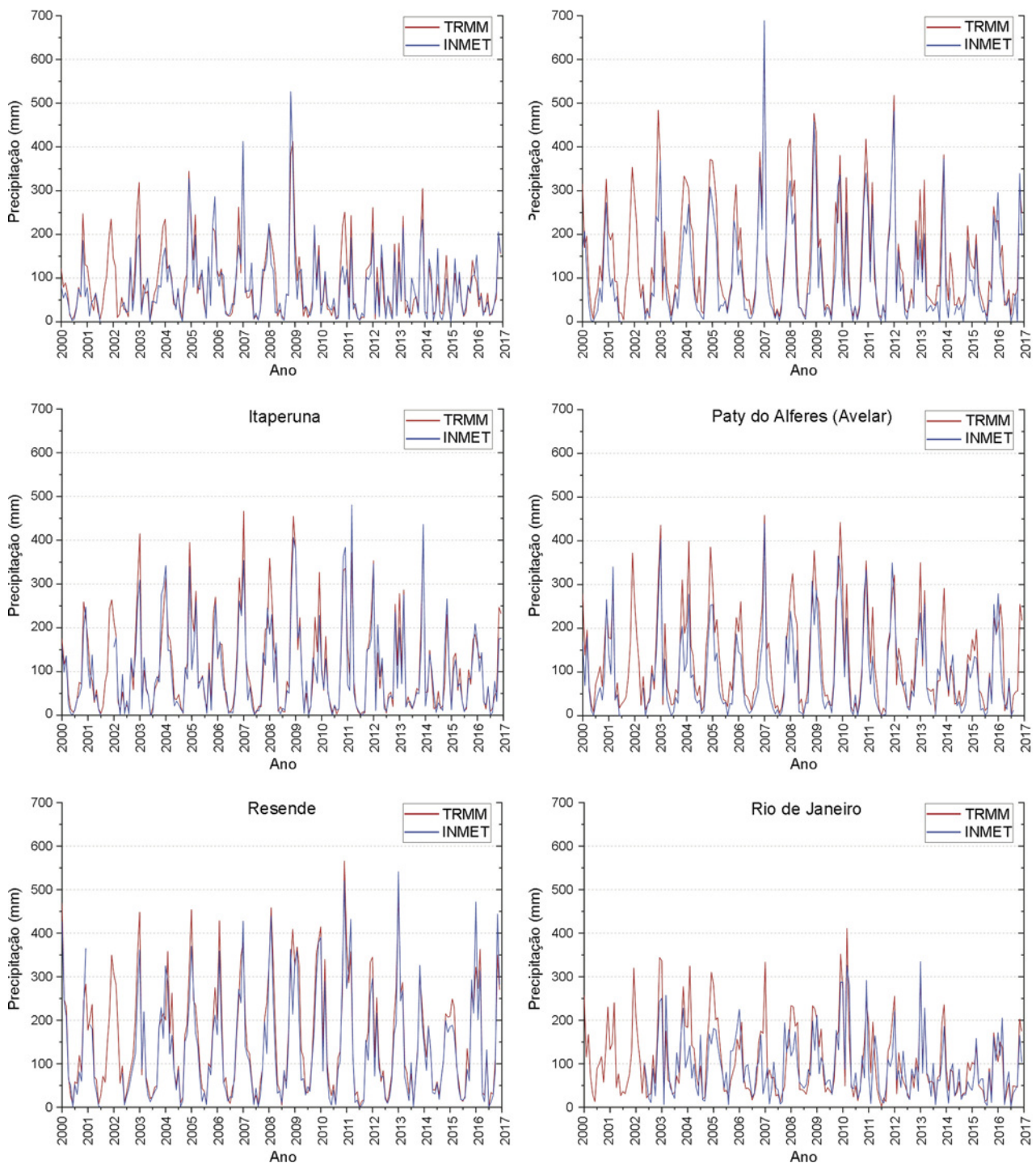
Os municípios do Rio de Janeiro (80,4 mm), situado no litoral, e de Resende (90,2 mm), no sudoeste do estado, aproximadamente 400 m acima do nível do mar e próximo ao Parque Nacional de Itatiaia, foram caracterizados com as maiores medianas. O maior valor de precipitação foi registrado no município de Cordeiro (688,5 mm), em janeiro de 2017.

Como pode ser visualizado na figura 1.4, a precipitação acumulada mensal apresentou um padrão consistente e coerente de sazonalidade, com invernos secos e verões chuvosos nos cinco municípios estudados. A distribuição temporal da precipitação mensal acumulada das estações do INMET e do sensor TRMM foi similar, ou seja, observou-se a mesma tendência sem a presença de anomalias ou *outliers*. Todavia, os valores estimados pelo sensor TRMM foram superiores àqueles medidos nas estações pluviométricas (tabela 1.2). Resultado similar foi obtido por Pereira et al. (2013), ao analisarem dados de precipitação estimados pelo satélite TRMM e pelas estações meteorológicas situadas em diferentes regiões do Brasil. Esses autores observaram concordância de 97 % entre as duas medições, apesar de o satélite TRMM superestimar a precipitação em aproximadamente 15 %. Collischonn et al. (2007) consideraram que o satélite TRMM, apesar de estimar adequadamente a precipitação, pode tanto superestimá-la quanto subestimá-la. Isso demonstra que o sensor do satélite TRMM avalia de forma apropriada a precipitação, mesmo que ocorram diferenças entre as suas estimativas e os valores registrados em campo, como observado por Karaseva et al. (2012). Esses autores observaram que o produto TRMM foi confiável, principalmente em regiões planas ou orográficas do Quirguistão, mas os valores estimados próximo a grandes corpos de água continentais foram significativamente diferentes daqueles medidos pelas estações.

**TABELA 1.2** Estatística descritiva (N, N-missing, mediana, mínimo e máximo) da precipitação (mm) nos municípios de Avelar, Campos, Cordeiro, Itaperuna, Resende e Rio de Janeiro, obtida a partir de dados do satélite TRMM e de estações meteorológicas do INMET, entre janeiro de 2000 e dezembro de 2016

Município		N	N-missing	Mediana	Mínimo	Máximo
Campos dos Goytacazes	TRMM	204	0	63,2	0,3	412,2
Campos dos Goytacazes	INMET	195	9	58,1	0	526,2
Cordeiro	TRMM	204	0	97,2 <sup>(1)</sup>	4,7	649,3
Cordeiro	INMET	193	11	64,2 <sup>(1)</sup>	0	688,5
Itaperuna	TRMM	204	0	75,6	0,1	466,5
Itaperuna	INMET	199	5	70,3	0	480,8
Paty do Alferes (Avelar)	TRMM	204	0	87,6 <sup>(1)</sup>	0	458,5
Paty do Alferes (Avelar)	INMET	190	14	64,6 <sup>(1)</sup>	0	439,5
Resende	TRMM	204	0	115,6	0	565,7
Resende	INMET	194	10	90,2	0	541,1
Rio de Janeiro	TRMM	204	0	78,1	2	411,1
Rio de Janeiro	INMET	176	28	80,4	1,5	334,7

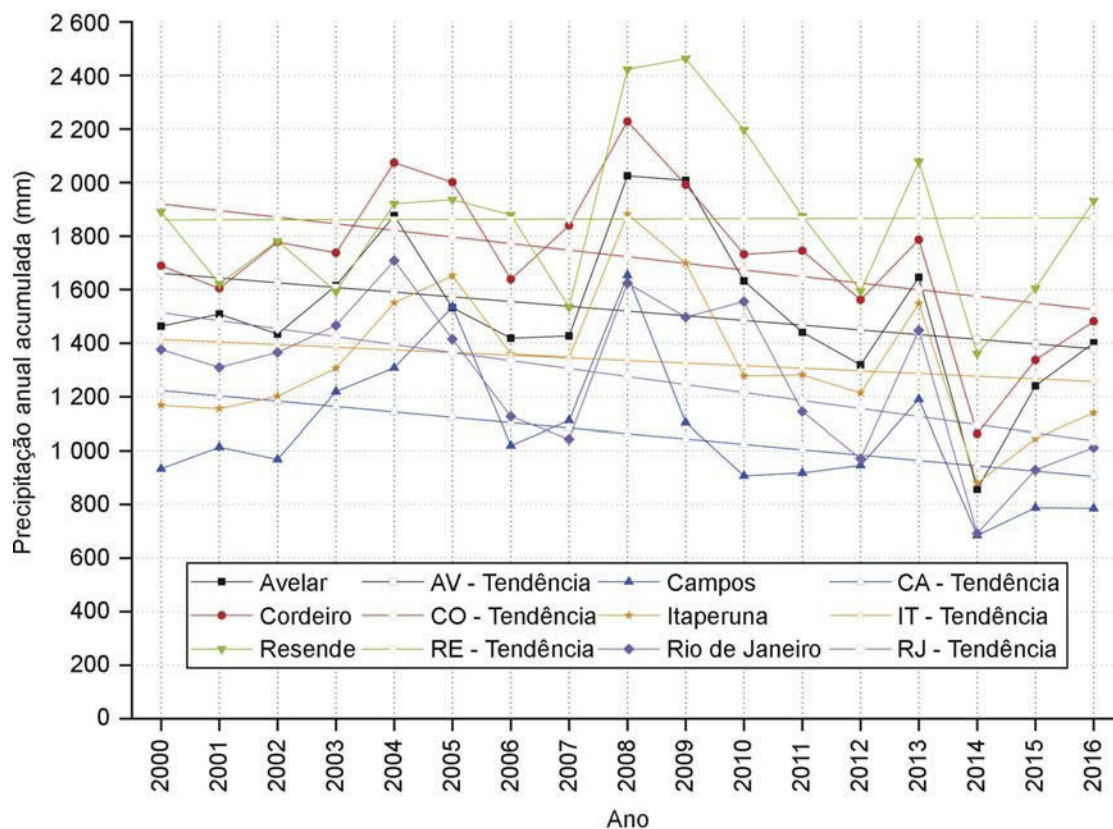
**NOTA:** <sup>(1)</sup> Diferença significativa, teste de Mann-Whitney,  $p < 0,05$ .



**FIGURA 1.4** Precipitação acumulada mensal registrada nas estações pluviométricas situadas nos municípios de Campos dos Goytacazes, Cordeiro, Itaperuna, Paty do Alferes (Avelar), Resende e Rio de Janeiro, no estado do Rio de Janeiro e mensurados pelo satélite TRMM entre janeiro de 2000 e dezembro de 2016.

Apesar de negativa para todas as cidades, exceto Resende (figura 1.5), a tendência não foi significativa. Infelizmente não há dados do satélite TRMM após julho de 2017, quando o ideal seria uma série temporal mais extensa ( $\geq 30$  anos), que abrangeria a variabilidade temporal das condições normais do clima. Dentro do cenário de mudanças climáticas, estudos anteriores apontam variações

nas tendências espacial e temporal das chuvas intrarregionais ou inter-regionais. Se alguns autores observaram aumento na precipitação, outros indicaram cenários de redução na disponibilidade hídrica, resultado da diminuição da precipitação (Castañeda e González 2008, Quintana e Aceituno 2012, Mateos et al. 2013, Adler et al. 2017, Aleixo e Neto 2019).



**FIGURA 1.5** Precipitação anual acumulada obtida a partir de dados do satélite TRMM e tendência calculada da precipitação para as cidades de Campos dos Goytacazes, Cordeiro, Itaperuna, Paty do Alferes (Avelar), Resende e Rio de Janeiro, no estado do Rio de Janeiro. Dados mensurados pelo satélite TRMM e registrados nas estações do INMET entre janeiro de 2000 e dezembro de 2016. Tendência calculada não significativa (teste de Mann-Kendall,  $p < 0,05$ ).

## 1.5 CONCLUSÕES

O sensor do satélite TRMM estimou com boa confiabilidade a precipitação, mas a pluviosidade foi superestimada nas estações localizadas nos municípios de Cordeiro e Paty do Alferes. Na ausência de estações pluviométricas, os dados do satélite TRMM são o único recurso para estimar a precipitação em escala local e regional. No caso do PARNA da Restinga de Jurubatiba, entretanto, há somente registros de duas décadas.

As mudanças climáticas suscitam grande preocupação por afetarem de formas diferentes setores da sociedade. Essas mudanças têm causado eventos extremos, como alterações na intensidade, na frequência, na duração e na distribuição das chuvas. Portanto, direta ou indiretamente, mudanças nos padrões da precipitação têm efeito na sustentabilidade da agricultura, da saúde, da segurança alimentar, da produção de energia e também da conservação dos recursos naturais. Considerando a série histórica (2000-2016), não há evidências de que a precipitação no estado do Rio de Janeiro, ou

especificamente no PARNA da Restinga de Jurubatiba, tenha diminuído significativamente. Contudo, foi observada uma tendência negativa que, se mantida, pode causar chuvas insuficientes para manter os corpos aquáticos nas próximas décadas. A redução na precipitação terá impacto negativo na composição e no desenvolvimento da vegetação do PARNA da Restinga de Jurubatiba, resultando, por exemplo, em menores taxas fotossintéticas e de produção de biomassa vegetal, alterações na atividade microbiológica do solo e aumento na frequência de incêndios. No momento, é extremamente prematuro considerar que a tendência negativa calculada seja resultado de alterações nos processos climáticos naturais locais ou regionais.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem as valiosas sugestões dos editores e revisores anônimos. Também gostaríamos de agradecer ao programa de Pesquisa Ecológica de Longa Duração (PELD), do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, e à Embrapa Territorial.

## REFERÊNCIAS

- Adler, R. F. et al. 2017. Global Precipitation: Means, Variations and Trends During the Satellite Era (1979–2014). – *Surv. Geoph.* 38(4): 679–699. <https://doi.org/10.1007/s10712-017-9416-4>.
- Almeida, C. T. de et al. 2015. Avaliação das Estimativas de Precipitação do Produto 3B43-TRMM do Estado do Amazonas. – *Flor. Amb.* 22(3): 279–286. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.112114>.
- André, R. G. B. et al. 2008. Identificação de regiões pluviometricamente homogêneas no estado do Rio de Janeiro, utilizando-se valores mensais. – *Rev. Bras. Meteor.* 23(4): 501–509. <https://doi.org/10.1590/S0102-77862008000400009>.
- Back, A. J. 2001. Aplicação de análise estatística para identificação de tendências climáticas. *Pesq. Agrop. Bras.* 36(5): 717–726. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2001000500001>.
- Cannon, F. et al. 2020. GPM Satellite Radar Observations of Precipitation Mechanisms in Atmospheric Rivers. – *Month. Weat. Rev.* 148(4): 1449–1463. <https://doi.org/10.1175/MWR-D-19-0278.1>.
- Castañeda, M. e González, M. 2008. Statistical analysis of the precipitation trends in the Patagonia region in Southern South America. *Atmósfera* 21(3): 303–317.
- Collischonn, B. et al. 2007. Desempenho do satélite TRMM na estimativa de precipitação sobre a bacia do Paraguai superior. – *Rev. Bras. Cart.* 59(1): 93–99.
- Dereczynski, C. P. et al. 2009. Climatologia da precipitação no município do Rio de Janeiro. *Rev. Bras. Meteorol.* 24(1): 24–38. <https://doi.org/10.1590/0102-7786334005>.
- Esteves, F. A. 2011. Do Índio Goitacá à Economia do Petróleo: Uma Viagem pela História e Ecologia da Maior Restinga Protegida do Brasil. Essentia Ed.
- FEEMA. 1989. Perfil ambiental municípios de Macaé e Quissamã. Rio de Janeiro. 82 p.
- Huffman, G. J. 2019. The Transition in Multi-Satellite Products from TRMM to GPM (TMPA to IMERG). Disponível em: [https://gpm.nasa.gov/sites/default/files/document\\_files/TMPA-to-IMERG\\_transition\\_0.pdf](https://gpm.nasa.gov/sites/default/files/document_files/TMPA-to-IMERG_transition_0.pdf). Acesso em: junho de 2020.

- ICMBio. 2007. Plano de Manejo do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba - Contextualização da Unidade de Conservação. Ministério do Meio Ambiente. Rio de Janeiro. Disponível em: [https://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/imgs-unidades-coservacao/parna\\_jurubatiba.pdf](https://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/imgs-unidades-coservacao/parna_jurubatiba.pdf). Acesso em: junho de 2020.
- IBGE. 2017. Cidades e Estados (recurso eletrônico). Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados.html?view=municipio>. Acesso em: junho de 2020.
- IPCC. 2013. Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. – In: Stocker, T. F. et al. (eds.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324>.
- Jankó, F. et al. 2017. Is climate change controversy good for science? IPCC and contrarian reports in the light of bibliometrics. – *Scientom*. 112(3): 1745-1759. <https://doi.org/10.1007/s11192-017-2440-9>.
- Jobard I. e Desbois M. 1994. Combination of Satellite Microwave and Infrared Measurements for Rainfall Estimation. In: Desbois M. and Désalmand F. (eds) *Global Precipitations and Climate Change*. NATO ASI Series, vol. 26, Springer, pp. 265-278. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-79268-7\\_16](https://doi.org/10.1007/978-3-642-79268-7_16).
- Karaseva, M. O. et al. 2012. Validation of high-resolution TRMM-3B43 precipitation product using rain gauge measurements over Kyrgyzstan. *Theor. Appl. Climatol*. 108(1-2): 147-157. <https://doi.org/10.1007/s00704-011-0509-6>.
- Karbalace, N. et al. 2017. Bias adjustment of infrared-based rainfall estimation using Passive Microwave satellite rainfall data. *J. Geophys. Res. Atmosf*. 122(7): 3859-3876. <https://doi.org/10.1002/2016JD026037>.
- Kerimoglu, O. et al. 2013. Seasonal, inter-annual and long-term variation in top-down versus bottom-up regulation of primary production. *Oikos* 122(2): 223-234. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2012.20603.x>.
- Kumar, S et al. 2019. Characteristics of Observed Meteorological Drought and its Linkage with Low-Level Easterly Wind Over India. – *Pure Appl. Geophys*. 176: 2679-2696. <https://doi.org/10.1007/s00024-019-02118-2>.
- Kummerow, C. et al. 1998. The Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) sensor package. – *J. Atmosph. Ocean. Techn.* 15: 809-817. [https://doi.org/10.1175/1520-0426\(1998\)015<0809:TTRMM T>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0426(1998)015<0809:TTRMM T>2.0.CO;2).
- Larminat, P. de. 2016. Earth climate identification vs. anthropic global warming attribution. – *An. Rev. Control* 42: 114-125. <https://doi.org/10.1016/j.arcontrol.2016.09.018>.
- Liu, Y. et al. 2012. Sparse-GEV: Sparse Latent Space Model for Multivariate Extreme Value Time Series Modeling. – *Proc. 29<sup>th</sup> Intern. Conf. Mach. Learn.*
- Louzada, F. L. R. de O. et al. 2018. Climatological water balance with data estimated by tropical rainfall measuring mission for the Doce river basin. *Eng. Agríc.* 38(3): 376-386. <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v38n3p376-386/2018>.
- Mateos, E. et al. 2013. Precipitation tendencies and temperature rise evidences in ten watersheds in Mexico. – *Geoph. Res. Abstr.* 15: 12349.
- Aleixo, N. C. R. A. e Neto, J. C. A. da S. 2019. Caracterização da precipitação pluvial na região do Médio Solimões, Amazonas, Brasil. *ACTA Geográfica* 13(31): 104-120. <https://doi.org/10.5654/acta.v13i31.4952>.

- Pereira, G. et al. 2013. Avaliação dos Dados de Precipitação Estimados pelo Satélite TRMM para o Brasil. – *Rev. Bras. Rec. Hídr.* 18(3): 139-148. [10.21168/rbrh.v18n3.p139-148](https://doi.org/10.21168/rbrh.v18n3.p139-148).
- Pires, A. P. F. et al. 2017. Rainfall changes affect the algae dominance in tank bromeliad ecosystems. *PlosONE*, 12(4):e0175436. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0175436>.
- Quintana, J. M. e Aceituno, P. 2012. Changes in the rainfall regime along the extratropical west coast of South America (Chile): 30-43° S. *Atmósfera* 25(1): 1-22.
- Rio de Janeiro. 2011. Secretaria Estadual do Ambiente. O estado do ambiente: indicadores ambientais do Rio de Janeiro. Org: Bastos, J. and Napoleão P. Rio de Janeiro: SEA; INEA, 160 p.
- Salviano, M. F. et al. 2016. Análise de Tendências em Dados de Precipitação e Temperatura no Brasil. *Rev. bras. meteorol.* 31(1): 64-73. <https://doi.org/10.1590/0102-778620150003>.
- Siciliano, W. C. et al. 2018. Variabilidade espacial e temporal da precipitação pluvial no município do Rio de Janeiro. – *Rev. Int. Ciênc.* 8(2): 221-233. <https://doi.org/10.12957/ric.2018.33811>.
- Silva, W. L. e Dereczynski, C. P. 2014. Caracterização Climatológica e Tendências Observadas em Extremos Climáticos no Estado do Rio de Janeiro. – *An. Inst. Geoc.* 37(2): 123-138. [http://dx.doi.org/10.11137/2014\\_2\\_123\\_138](http://dx.doi.org/10.11137/2014_2_123_138).
- Strangeways, I. 2010. A history of rain gauges. – *Weather* 65(5): 113-138.
- Suguió, K. e Tessler, M. 1984. Planícies de cordões litorâneos quaternários do Brasil: origem e nomenclatura. – In: Lacerda, L. D. et al. *Restingas: origem, estruturas e processos*. p. 15-25.
- Ushio, T. et al. 2009. A Kalman Filter Approach to the Global Satellite Mapping of Precipitation (GSMaP) from Combined Passive Microwave and Infrared Radiometric Data. – *J. Meteor. Soc. Japan*, 87A: 137-151. <https://doi.org/10.2151/jmsj.87A.137>.
- van den Brink, P. J. et al. 2009. Principal response curves technique for the analysis of multivariate biomonitoring time series. *Environ. Monit. Assess.* 152(1-4): 271-281. doi: 10.1007/s10661-008-0314-6.
- Yu, H. et al. 2014. Spatio-temporal Graphical Models for Extreme Events. -*IEEE Intern. Symp. Inform. Theory*: 2032-2036. doi:10.1109/ISIT.2014.6875190.
- Yu, J. et al. 2020. UKGrSHP: a UK high-resolution gauge-radar-satellite merged hourly precipitation analysis dataset. – *Clim. Dyn.* 54(5-6): 2919-2940. <https://doi.org/10.1007/s00382-020-05144-2>.