



**Caracterização Climatológica e Tendências
Observadas em Extremos Climáticos no Estado do Rio de Janeiro**

**Climatological Characterization and Observed
Trends in Climatic Extremes in the State of Rio de Janeiro**

Wanderson Luiz Silva & Claudine Pereira Dereczynski

*Universidade Federal do Rio de Janeiro, Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza,
Instituto de Geociências, Departamento de Meteorologia,
Avenida Athos da Silveira Ramos, 274 – Bloco G – Cidade Universitária – 21941-916 - Rio de Janeiro – RJ, Brasil
E-mails: wanderson@ufrj.br; claudine@acd.ufrj.br
Recebido em: 08/08/2014 Aprovado em: 10/12/2014
DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2014_2_123_138*

Resumo

Neste trabalho elabora-se uma climatologia da temperatura do ar e da precipitação e uma análise das tendências nos extremos climáticos de tais variáveis para o estado do Rio de Janeiro, a partir de dados observacionais entre 1961 e 2012. Os resultados da climatologia mostram temperaturas mínimas médias oscilando entre 9,5 e 11°C (15,5 e 17°C) no inverno (verão) na região Serrana. Valores mais elevados ocorrem principalmente no litoral, onde as médias de temperatura mínima variam entre 17 e 18,5°C (21,5 e 23°C) no inverno (verão). As menores temperaturas máximas médias oscilam entre 21,5 e 23°C (26 e 27,5°C) no inverno (verão) na região Serrana e os valores mais elevados encontram-se na região Metropolitana e no Norte/Noroeste Fluminense, oscilando entre 26 e 27,5°C (32 e 33,5°C) no inverno (verão). A precipitação anual apresenta máximos em áreas elevadas (cerca de 2500 a 2800 mm ao ano) e mínimos sobre as regiões de baixada e de costa (entre 700 e 1300 mm ao ano). Para as tendências observadas nos extremos climáticos de temperatura, a região Metropolitana e a região Norte e Noroeste do estado apontam para aumentos estatisticamente significativos da temperatura máxima média (entre +0,01 e +0,08°C/ano). Notam-se também tendências estatisticamente significativas de elevação na porcentagem de noites e de dias quentes em quase todo o estado (entre +0,1 e +0,6 %dias/ano). Quanto à chuva, observa-se que há uma tendência estatisticamente significativa de aumento dos totais pluviométricos anuais nas Baixadas Litorâneas (entre +4,0 e +32,0 mm/ano). Também verifica-se uma elevação significativa dos totais pluviométricos das chuvas mais fortes do ano nas Baixadas Litorâneas e em parte da região Metropolitana, com magnitudes entre +2,0 e +20,0 mm/ano.

Palavras-chave: Climatologia; Mudanças Climáticas; Rio de Janeiro

Abstract

In this paper it is elaborated a climatology of air temperature and precipitation and an analysis of trends in climate extremes of such variables for the State of Rio de Janeiro, using observational data between 1961 and 2012. The climatology shows average minimum temperatures ranging between 9.5 and 11°C (15.5 to 17°C) in winter (summer) in the mountainous region. Higher values occur mainly on the coast, where the average minimum temperature ranges between 17 and 18.5°C (21.5 to 23°C) in winter (summer). The lowest average maximum temperatures range between 21.5 and 23°C (26 and 27.5°C) in winter (summer) in the mountainous region. The highest values are in the Metropolitan Region and in the North/Northwest area, ranging between 26 and 27.5°C (32 and 33.5°C) in winter (summer). The annual rainfall shows maxima in higher areas (about 2500 – 2800 mm per year) and minima in the regions of marshland and coastline (between 700 and 1300 mm per year). For the observed trends in climate extremes of temperature, the Metropolitan Region and the North and Northwest Region of the State indicate statistically significant increases in mean maximum temperature (between +0.01 and +0.08°C/year). It is also noted significant rise trends in the percentage of warm nights and days in almost the entire State (between +0.1 and +0.6 %days/year). As for rain, it is observed that there is a statistically significant upward trend in the annual rainfall totals in the Baixadas Litorâneas (between +4.0 and +32.0 mm/year). Also, it is verified a significant increase in rainfall totals of more heavy rains in the year in the Baixadas Litorâneas and in part of the Metropolitan Region, with magnitudes between +2.0 and +20 mm/year.

Keywords: Climatology; Climate Change; Rio de Janeiro

1 Introdução

Uma minuciosa investigação da climatologia de uma determinada região é de suma importância tanto para a percepção das características atmosféricas médias, quanto para a compreensão de suas flutuações no decorrer do tempo. Tal conhecimento é utilizado para apoiar atividades associadas à agricultura, saúde, planejamento urbano, defesa civil, gerenciamento de recursos hídricos e outros. As variações climáticas, sejam elas naturais ou antrópicas, podem provocar impactos ambientais, tais como: elevação ou redução no nível médio do mar; aumento ou redução na frequência de ocorrência e na intensidade de chuvas severas, secas, ondas de calor e de frio e também dos sistemas meteorológicos transientes (frentes, ciclones tropicais, ciclones extratropicais, entre outros).

O estado do Rio de Janeiro, estendendo-se entre os paralelos 20,5 e 23,5°S (aproximadamente 300 km de extensão norte-sul) e os meridianos 41 e 45°W (cerca de 400 km de extensão oeste-leste), com área de 43.780,157 km² e uma população de 16 milhões de habitantes, apresenta a maior densidade demográfica do Brasil (IBGE, 2010). O estado é caracterizado por um clima bastante diversificado em virtude da topografia acidentada, com morros, serras, vales, vegetação pluralizada, regiões de baixada e baías, além da proximidade com o Oceano Atlântico. Sua posição latitudinal favorece a uma ampla exposição à radiação solar (Nunes *et al.*, 2009). Nos campos da distribuição espacial de temperatura do ar e de precipitação destaca-se

a presença marcante da Serra do Mar, localmente denominada de Serra dos Órgãos, com altitudes que variam entre 100 e 2.275 m.

Os relatórios periódicos do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (*Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC*) sobre as causas, impactos e medidas de mitigação das mudanças climáticas globais representam uma referência padrão do assunto para toda a comunidade científica, governos e indústrias em todo o mundo. O Quinto Relatório de Avaliação (*Fifth Assessment Report – AR5*) do IPCC (IPCC, 2013) mostra que a temperatura média do Brasil pode se elevar cerca de 4,0°C até 2100 em seu pior cenário. A frequência e a intensidade de eventos extremos de precipitação e temperatura já têm aumentado em várias regiões do país nos últimos 50 anos (Frich *et al.*, 2002; Alexander *et al.*, 2006; Obregón & Marengo, 2007). Luiz Silva (2012) e Dereczynski *et al.* (2013) mostraram que dias frios e noites frias têm se tornado menos frequentes na cidade do Rio de Janeiro. Além disso, a frequência de ocorrência de chuvas fortes, dias quentes e noites quentes tem aumentado. Fatores como desigualdades regionais e sociais aumentam a vulnerabilidade da população às mudanças climáticas.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho é elaborar uma climatologia da temperatura do ar e da precipitação para o Rio de Janeiro, além de analisar as tendências observadas em extremos climáticos no estado.

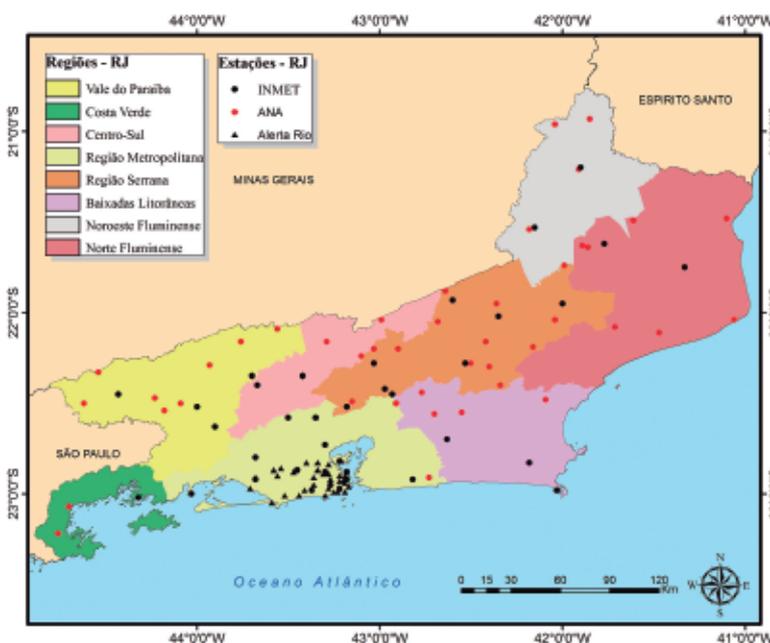


Figura 1 Mapa do estado do Rio de Janeiro com a localização das estações meteorológicas do INMET (círculos pretos), da ANA (círculos vermelhos) e do Alerta Rio (triângulos) utilizadas neste estudo. As áreas coloridas destacam as distintas regiões do estado.

2 Dados e Metodologia

2.1 Dados Observacionais

Para a determinação da climatologia e das tendências observadas nos extremos climáticos em uma determinada região é ideal que se tenha longas séries de dados diários das variáveis a serem analisadas. Para o estudo climatológico da temperatura do ar e da precipitação, foram obtidos dados de 1961 a 2012 em 37 estações meteorológicas convencionais do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET); de 1961 a 2008 em 43 estações pluviométricas da Agência Nacional de Águas (ANA) e de 1997 a 2012 em 32 estações pluviométricas do Sistema Alerta Rio, totalizando 112 pontos de observação (Figura 1). Destas estações, somente 22 do INMET e todas da ANA são utilizadas para a detecção de tendências em extremos climáticos, pois possuem dados diários.

2.2 Indicadores de Extremos Climáticos

Os indicadores de extremos climáticos de temperaturas do ar mínima (TN) e máxima (TX) e de precipitação (PRCP) utilizados para a detecção das tendências observadas são descritos na Tabela 1 e suas tendências são apresentadas no Capítulo 4. Para o cálculo de tais índices de extremos climáticos, utilizou-se o software RCLimDex (Zhang & Yang, 2004), desenvolvido pelo Serviço Meteorológico Canadense.

Indicador	Definição	Unidade
TMINmean	Temperatura mínima anual média	°C
TN10p	Porcentagem anual de dias em que TN < percentil 10	%
TN90p	Porcentagem anual de dias em que TN > percentil 90	%
TMAXmean	Temperatura máxima anual média	°C
TX10p	Porcentagem anual de dias em que TX < percentil 10	%
TX90p	Porcentagem anual de dias em que TX > percentil 90	%
PRCPTOT	Precipitação anual total	mm
R95p	Precipitação anual total dos dias em que PRCP > percentil 95	mm
CDD	Número máximo de dias secos consecutivos no ano (PRCP < 1 mm)	dias

Tabela 1 Indicadores de extremos climáticos de temperatura mínima, temperatura máxima e precipitação.

2.3 Método de Análise dos Dados

No caso da climatologia de temperatura do ar, são apresentados os campos médios sazonais de temperaturas do ar mínima e máxima e também da média anual das amplitudes térmicas diárias (DTR), ou seja, TX menos TN diárias. Para a precipitação, são mostrados os totais pluviométricos médios anuais e sazonais, além da média anual dos maiores períodos com dias secos consecutivos. As médias sazonais são calculadas considerando-se o período dezembro-janeiro-fevereiro como verão, março-abril-maio como outono, junho-julho-agosto como inverno e setembro-outubro-novembro como primavera. O software ArcGIS (versão 9.3) foi empregado na composição dos mapas climatológicos referentes a estas variáveis.

As tendências dos indicadores de extremos climáticos listados nas Tabelas 1 a 3 foram calculados para cada estação meteorológica onde foi possível construir séries com dados diários de temperaturas mínima e máxima e de precipitação. Os testes estatísticos de Mann-Kendall (Sneyers, 1975) e da Curvatura de Sen (Sen, 1968) foram aplicados a fim de se detectar a significância e a magnitude das tendências, respectivamente. O nível de confiança adotado para a constatação de significância na tendência de um dado índice foi de 95%.

3 Climatologia do Estado do Rio de Janeiro

Neste capítulo são analisadas as distribuições espacial e temporal das temperaturas mínima e máxima do ar e da precipitação no Rio de Janeiro. Além disso, outras características relevantes do clima no estado também são destacadas, tais como a variação diurna da temperatura e os períodos de estiagem.

3.1 Temperatura Mínima

Os campos médios de temperatura mínima do ar sobre o estado do Rio de Janeiro são apresentados nas Figuras 2 a 5 para as quatro estações do ano. Como esperado, a altitude e a proximidade do oceano são os principais fatores controladores desta variável. Notam-se as menores temperaturas mínimas médias durante todo o ano nas áreas mais elevadas (especialmente na região Serrana), oscilando entre 9,5 e 11°C no inverno (Figura 4) e entre 15,5 e 17°C no verão (Figura 2). Valores médios mais elevados de

temperatura mínima ocorrem nas áreas de baixadas e planícies, atingindo principalmente a Zona Norte do Município do Rio de Janeiro e os litorais das Baixadas Litorâneas e do Norte Fluminense, variando na sua maior parte entre 17 e 18,5°C no inverno e entre 21,5 e 23°C no verão. No Vale do Paraíba e no Centro-Sul, tais valores de TN oscilam entre 12,5 e 14°C no inverno e entre 18,5 e 20°C no verão. Certamente, as temperaturas mínimas mais elevadas no Norte/Noroeste Fluminense se devem, além da menor latitude, à influência dos ventos mais quentes de quadrante norte oriundos do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), que são

frequentes e intensos durante praticamente todo o ano nestas regiões (Satyamurty *et al.*, 1998).

Nas estações de transição, verifica-se que as temperaturas mínimas no outono (Figura 3) são levemente mais elevadas do que na primavera (Figura 5), com exceção da região Serrana, onde os valores permanecem em torno de 14°C em ambas as estações. No restante do estado, observa-se uma diferença de temperatura de até 2°C entre o outono e a primavera. Do interior do estado até o litoral, as temperaturas mínimas no outono e na primavera variam de 12,5 a 21,5°C.

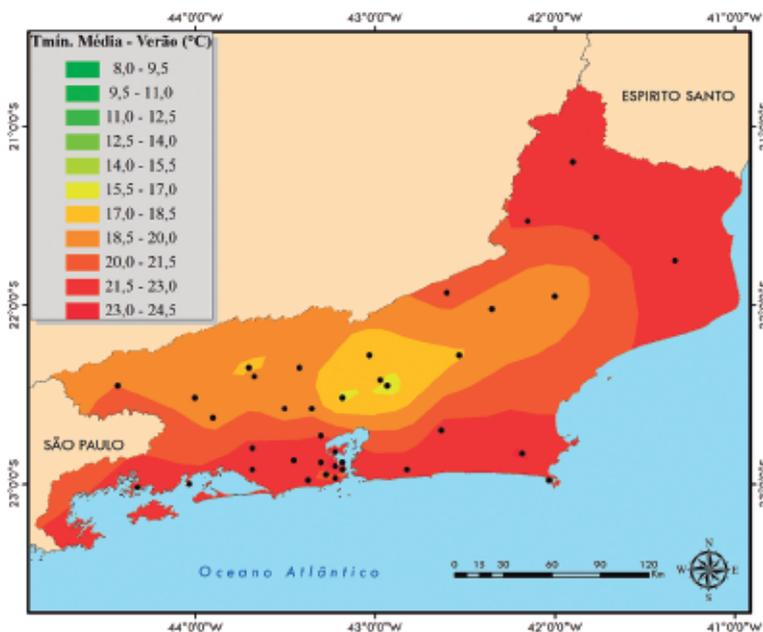


Figura 2 Temperaturas mínimas (°C) no verão no estado do Rio de Janeiro. Valores médios no período 1961 – 2012 a partir dos dados observacionais do INMET.

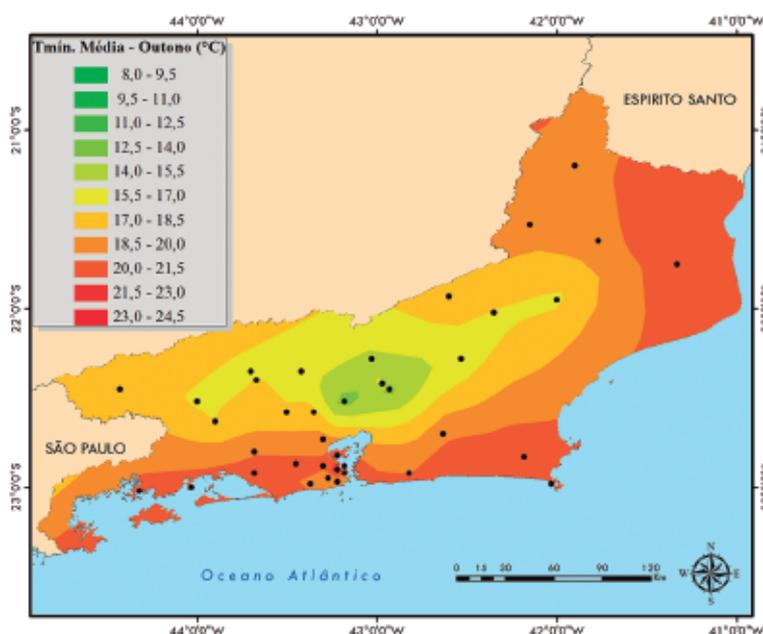


Figura 3 Temperaturas mínimas (°C) no outono no estado do Rio de Janeiro. Valores médios no período 1961 – 2012 a partir dos dados observacionais do INMET.

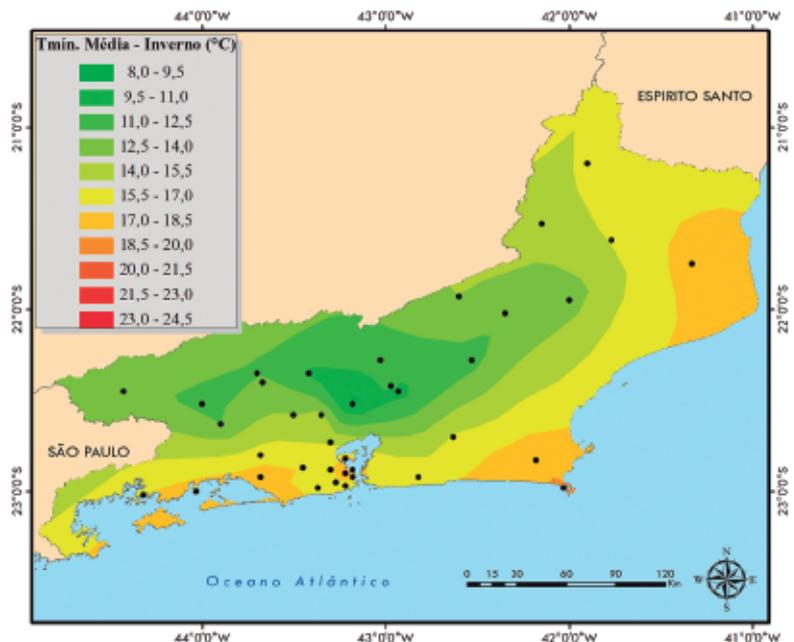


Figura 4 Temperaturas mínimas (°C) no inverno no estado do Rio de Janeiro. Valores médios no período 1961 – 2012 a partir dos dados observacionais do INMET.

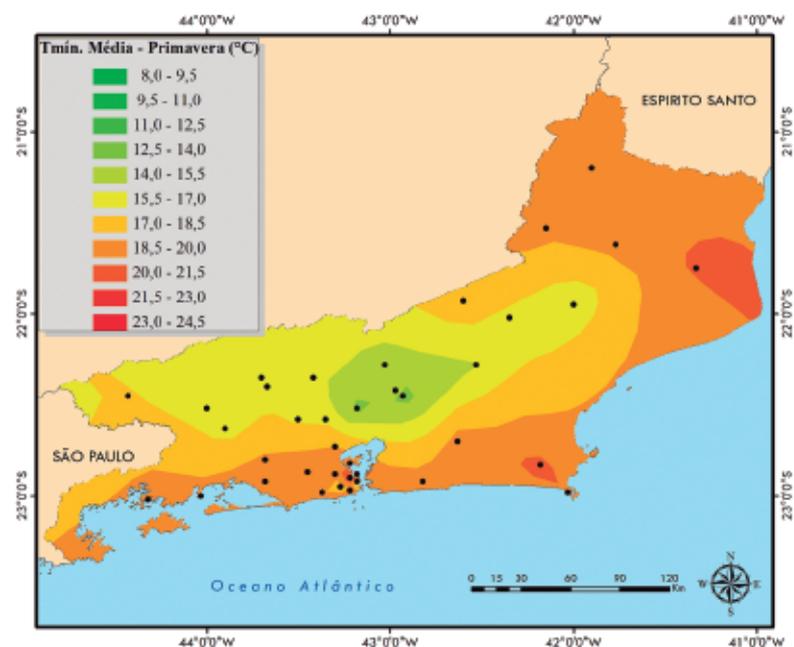


Figura 5 Temperaturas mínimas (°C) na primavera no estado do Rio de Janeiro. Valores médios no período 1961 – 2012 a partir dos dados observacionais do INMET.

3.2 Temperatura Máxima

As Figuras 6 a 9 apresentam a distribuição média de temperatura máxima no estado do Rio de Janeiro para o verão, outono, inverno e primavera. Assim como para a temperatura mínima, a altitude e a proximidade do mar também contribuem para a variação local desta variável. As menores temperaturas máximas anuais oscilam entre 21,5 e 23°C no inverno e entre 26 e 27,5°C no verão na região Serrana. Os valores mais elevados encontram-se na região Metropolitana e no Norte/

Noroeste Fluminense, oscilando na sua maior parte entre 26 e 27,5°C no inverno (Figura 8) e entre 32 e 33,5°C no verão (Figura 6). As ilhas de calor também podem ser consideradas um fator que altera o campo de temperatura. A ilha de calor urbana é o calor característico das áreas urbanas, quando comparadas com seus arredores (não urbanizados) e geralmente refere-se ao aumento na temperatura do ar (principalmente à noite), mas pode igualmente referir-se ao calor relativo da superfície ou materiais subsuperficiais (Manley, 1958). Neste caso, a região Metropolitana do Rio de Janeiro apresenta

temperaturas máximas médias maiores que seu entorno. Na Costa Verde, os valores variam entre 23 a 24,5°C no inverno e entre 29 e 30,5°C no verão. Já no Vale do Paraíba e no Centro-Sul, as temperaturas máximas médias variam na sua maior parte entre 24,5 e 26°C no inverno e entre 29 e 30,5°C no verão.

Nas estações de transição, assim como visto anteriormente para a temperatura mínima, observa-se que o outono (Figura 7) também possui temperaturas máximas um pouco superiores às da primavera (Figura 9). Do sul para o norte do estado, as temperaturas máximas variam entre 26 e 32°C no outono e entre 24,5 e 30,5°C na primavera, passando

por um intervalo mínimo de 23 a 24,5°C na região Serrana em ambas as estações.

A Figura 10 apresenta as diferenças médias anuais entre as temperaturas máximas e mínimas do Rio de Janeiro a fim de se obter uma distribuição do DTR médio no estado. Nota-se que há um gradiente desta amplitude térmica na direção norte-sul. Nos oceanos, os elevados valores de calor específico e a intensa mistura na camada superficial ocasionam uma grande inércia térmica dos mesmos, reduzindo as variações de temperatura do ar durante o dia nas áreas costeiras (Peixoto & Oort, 1993), portanto tais regiões mostram um DTR menor do que nas demais áreas (entre 4 e 7°C).

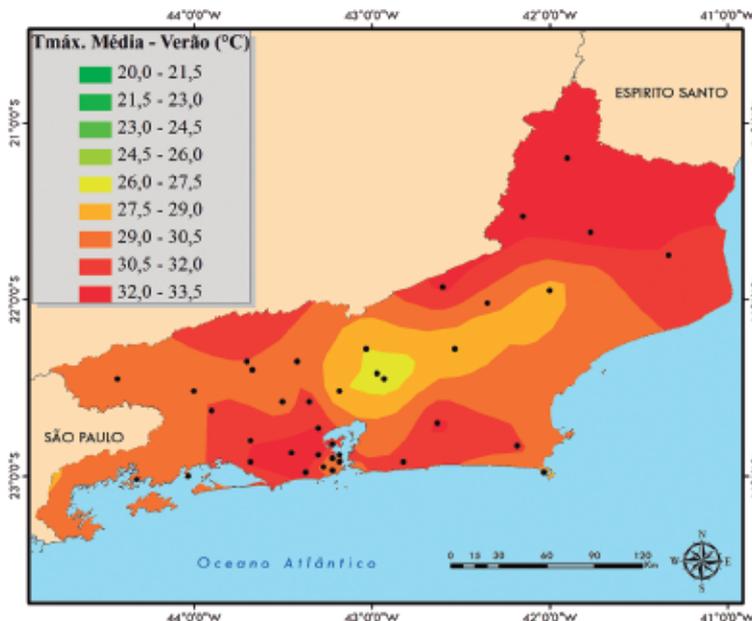


Figura 6 Temperaturas máximas no verão no estado do Rio de Janeiro. Valores médios no período 1961 – 2012 a partir dos dados observacionais do INMET.

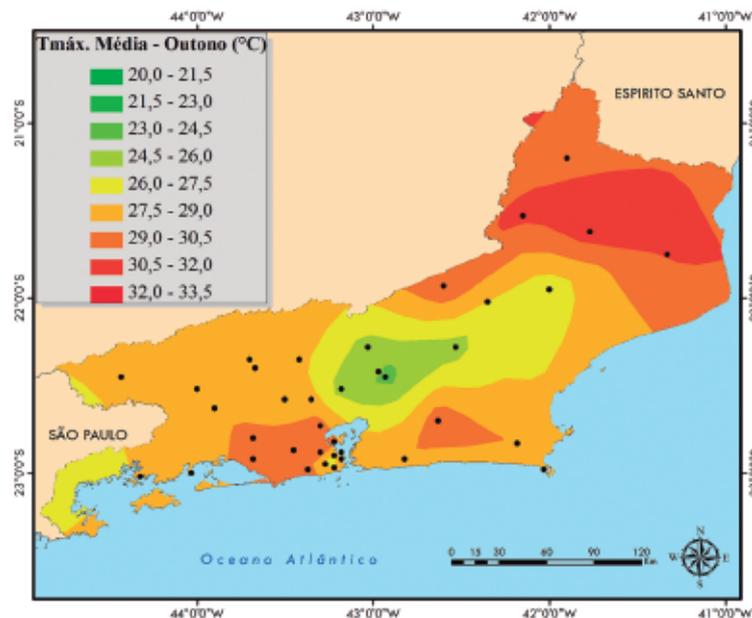


Figura 7 Temperaturas máximas no outono no estado do Rio de Janeiro. Valores médios no período 1961 – 2012 a partir dos dados observacionais do INMET.

Figura 8 Temperaturas máximas no inverno no estado do Rio de Janeiro. Valores médios no período 1961 – 2012 a partir dos dados observacionais do INMET.

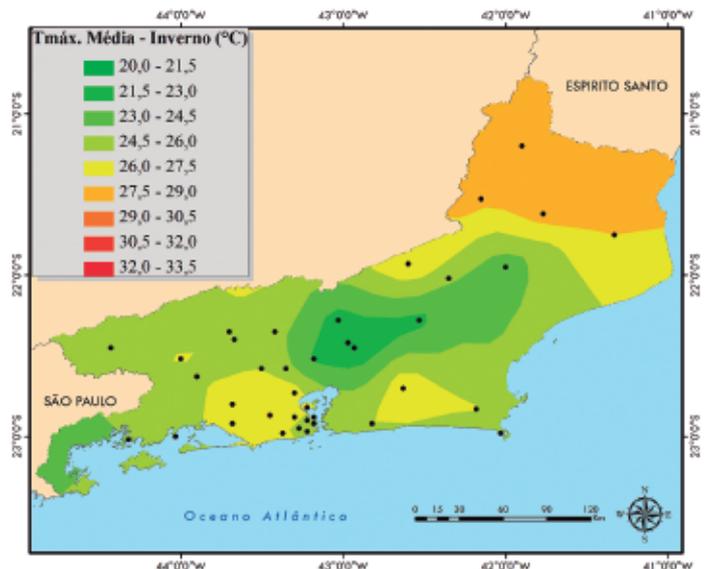


Figura 9 Temperaturas máximas na primavera no estado do Rio de Janeiro. Valores médios no período 1961 – 2012 a partir dos dados observacionais do INMET.

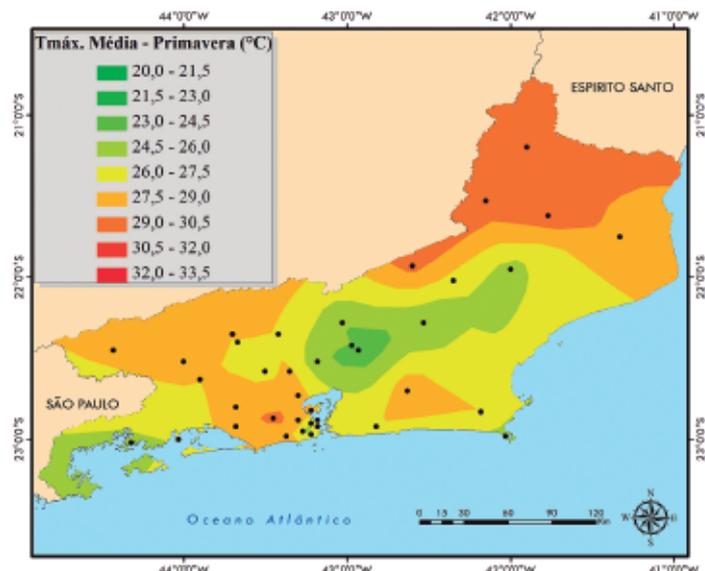
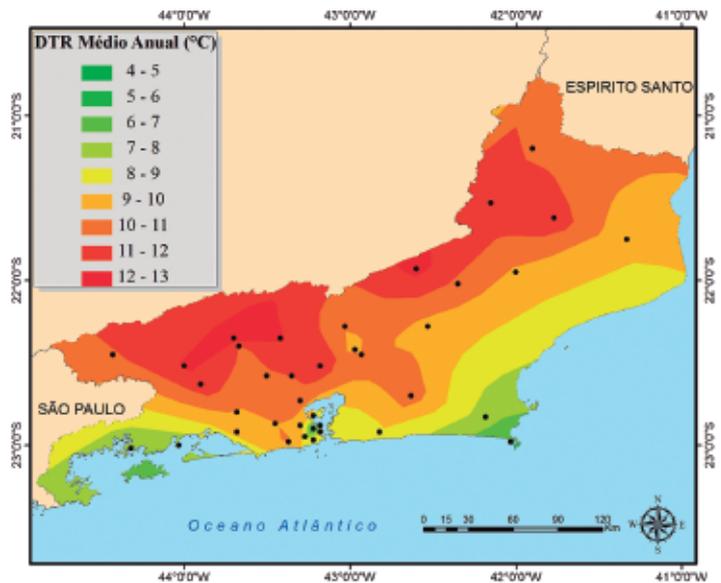


Figura 10 Diferenças entre as temperaturas máximas e mínimas (amplitude térmica, em °C) no estado do Rio de Janeiro. Valores médios no período 1961 – 2012 a partir dos dados observacionais do INMET.



Em contraste, as regiões mais afastadas do oceano possuem um maior DTR (cerca de 10 a 13°C) em função de não sofrerem a influência marítima. Na Zona Oeste da Cidade do Rio de Janeiro, a maior amplitude térmica (por volta de 7 a 10°C) em relação às demais áreas litorâneas pode ser explicada em virtude do elevado adensamento urbano e por localizar-se a sotavento do Maciço da Tijuca e do Maciço da Pedra Branca.

3.3 Precipitação

Assim como a temperatura do ar, a precipitação também sofre considerável influência da topografia, com máximos nas áreas de elevada altitude e mínimos sobre as regiões de baixada e de costa (Figuras 11 a 15). A passagem de Sistemas Frontais (SFs), estabelecimento de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), ocorrência de Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCMs) e a circulação marítima interagem com a orografia local, produzindo irregularidades espaciais no campo de precipitação. De acordo com FIDERJ (1978), o período chuvoso (seco) da região concentra-se nos meses de novembro a abril (maio a outubro).

No estado do Rio de Janeiro, os maiores índices pluviométricos médios anuais encontram-se na divisa da região Metropolitana e das Baixadas Litorâneas com a região Serrana, onde a precipitação varia entre 2.500 e 2.800 mm (Figura 11). Os menores índices pluviométricos anuais são observados nas áreas das Baixadas Litorâneas, mais próximas ao mar (em torno de 700 a 1.300 mm), e na maior parte do Norte/Noroeste Fluminense (alcançando em média 1.000 mm). Na Costa Verde e no Vale do Paraíba, os valores se estabelecem entre 1.300 e 2.200 mm em toda a sua área. Na região Metropolitana, 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.

O padrão de distribuição espacial da precipitação se mantém ao longo do ano. No verão, os índices pluviométricos são os mais elevados especialmente devido ao estabelecimento da ZCAS e de convecção local (Figura 12). No inverno, há redução brusca dos totais de precipitação, conforme mostra a Figura 14, sendo a chuva neste período uma consequência maior de SFs. Na região Serrana e em suas proximidades, o total pluviométrico no verão (inverno) fica em média de 600 a 1.350 mm (até 300 mm). Nas regiões mais próximas ao litoral (incluindo região Metropolitana, Baixadas Litorâneas e Norte Fluminense), este valor fica em torno de 150 a 600

mm no verão (até 300 mm no inverno). No Sul do estado (Vale do Paraíba e Costa Verde), a chuva total fica entre 600 e 1.050 mm no verão (até 300 mm no inverno).

Durante as estações de transição, pode-se notar que a primavera (Figura 15) possui totais pluviométricos ligeiramente maiores que os do outono (Figura 13). Isto provavelmente se deve ao fato da primavera ser a estação do ano com o maior número de passagens de frentes frias pela região Sudeste do Brasil (Justi da Silva & Silva Dias, 2002). Os valores atingem até 600 mm (750 mm) no outono (primavera) em todo o estado, com os maiores totais concentrados próximos à região Serrana e na Costa Verde, e os menores confinados particularmente às áreas litorâneas.

A região Serrana e a vizinhança são as áreas mais chuvosas do estado do Rio de Janeiro enquanto que a região dos Lagos (área costeira das Baixadas Litorâneas) e o litoral norte fluminense são considerados as áreas mais secas. Somente no verão, a região Serrana e proximidades já acumulam toda a chuva que se precipita em um ano inteiro na região dos Lagos, ou seja, um valor em torno de 1.000 mm.

A Figura 16 mostra as médias anuais dos totais máximos de CDD no Rio de Janeiro, que afetam diretamente diversos setores da economia, tais como agricultura, geração de energia, entre outros. Verifica-se um gradiente de CDD orientado na direção norte-sul do estado do Rio de Janeiro. As áreas mais próximas ao litoral apresentam CDD com menor durabilidade (20 a 30 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 um 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 da forçante para a condensação e instabilização, formando nuvens estratiformes que precipitam de forma contínua sobre o litoral (Reinking & Boatman, 1986). As regiões mais distantes do mar não sofrem influência direta deste fenômeno, pois a topografia local funciona como uma 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 11 Totais pluviométricos (mm) anuais no estado do Rio de Janeiro. Valores médios no período 1961 – 2012 a partir dos dados observacionais do INMET, da ANA e do Alerta Rio.

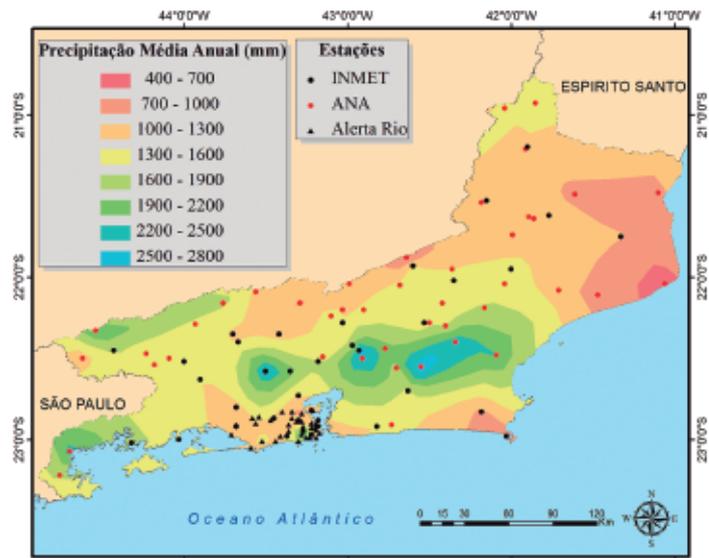


Figura 12 Totais pluviométricos (mm) no verão no estado do Rio de Janeiro. Valores médios no período 1961 – 2012 a partir dos dados observacionais do INMET, da ANA e do Alerta Rio.

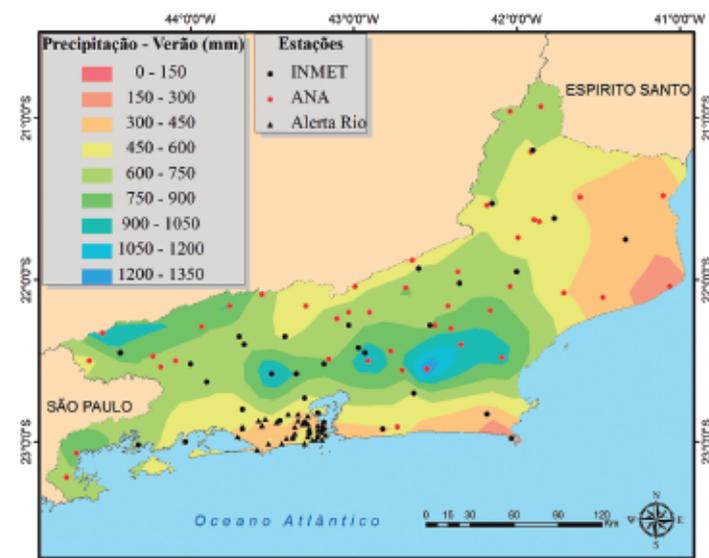
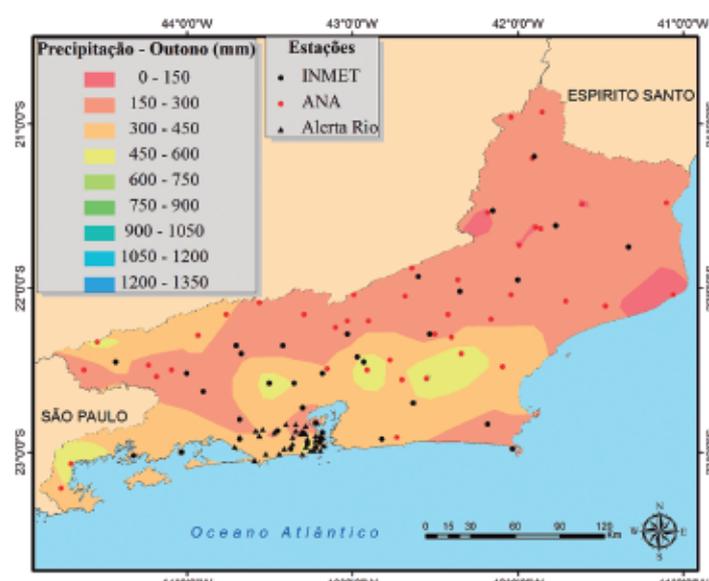


Figura 13 Totais pluviométricos (mm) no outono no estado do Rio de Janeiro. Valores médios no período 1961 – 2012 a partir dos dados observacionais do INMET, da ANA e do Alerta Rio.



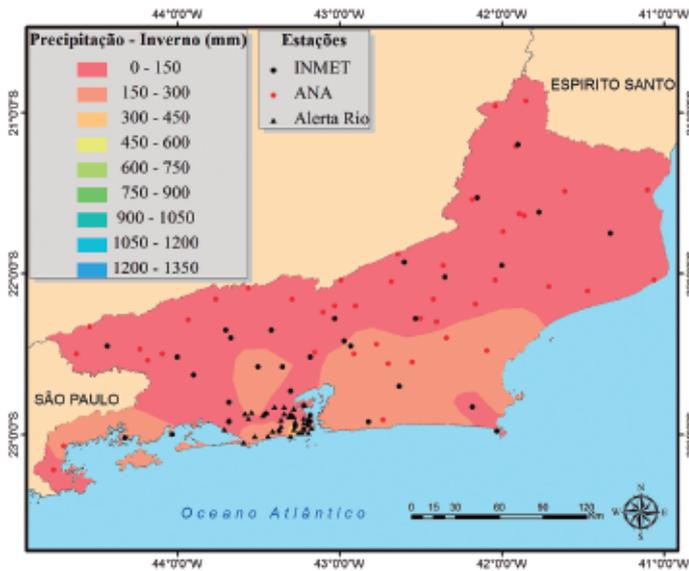


Figura 14 Totais pluviométricos (mm) no inverno no estado do Rio de Janeiro. Valores médios no período 1961 – 2012 a partir dos dados observacionais do INMET, da ANA e do Alerta Rio.

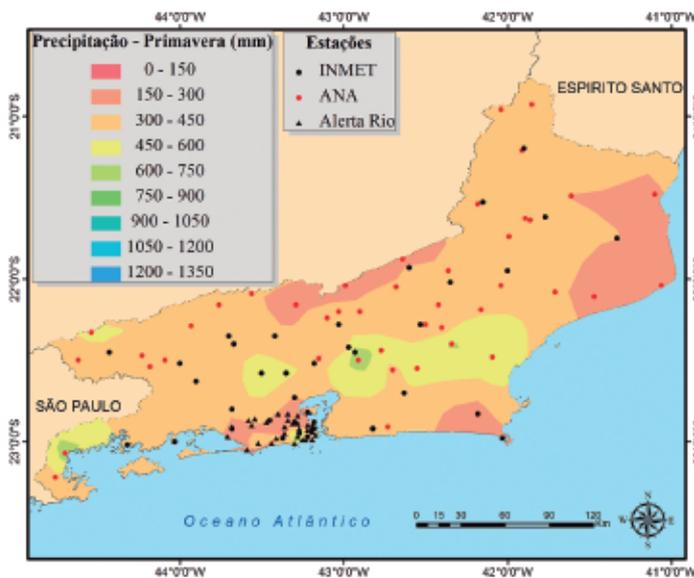


Figura 15 Totais pluviométricos (mm) na primavera no estado do Rio de Janeiro. Valores médios no período 1961 – 2012 a partir dos dados observacionais do INMET, da ANA e do Alerta Rio.

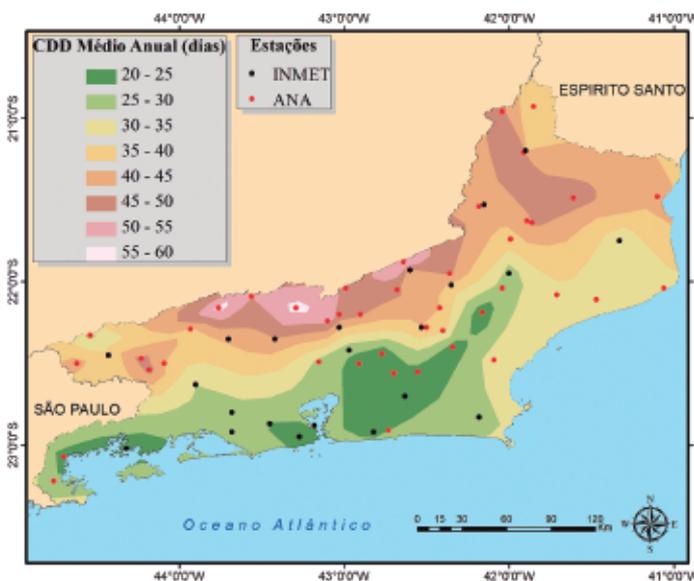


Figura 16 Totais máximos de dias secos consecutivos no ano (CDD) no estado do Rio de Janeiro. Valores médios no período 1961 – 2012 a partir dos dados observacionais do INMET, da ANA e do Alerta Rio.

4 Tendências Observadas em Extremos Climáticos

Neste capítulo são apresentados os resultados das tendências observadas nos indicadores de extremos climáticos de temperatura do ar e de precipitação durante as últimas décadas no estado do Rio de Janeiro.

4.1 Temperatura

As Figuras 17 e 18 apresentam, respectivamente, as distribuições espaciais das magnitudes das tendências observadas nos indicadores TMINmean e TMAXmean no estado do Rio de Janeiro, elaborados através dos dados do INMET. O índice TMINmean (TMAXmean) representa as temperaturas mínimas (máximas) anuais médias. Nota-se que na maior parte da região Metropolitana e do Noroeste do estado ocorre um aumento significativo de ambos os indicadores. Para a temperatura mínima, as magnitudes

de elevação ficam entre $+0,01$ e $+0,04^{\circ}\text{C}/\text{ano}$ nestas áreas, enquanto que para a temperatura máxima, tais valores oscilam entre $+0,01$ e $+0,08^{\circ}\text{C}/\text{ano}$ na região Metropolitana e entre $+0,01$ e $+0,04^{\circ}\text{C}/\text{ano}$ no Noroeste Fluminense. A eminente elevação da temperatura na região Metropolitana certamente está atrelada a seu adensamento urbano. Vale destacar também que esta região, assim como o Noroeste do Rio de Janeiro, já são as áreas mais quentes do estado (Figuras 2 a 9). O indicador TMINmean também exibe tendências significativas de aumento na região Serrana do Rio de Janeiro que alcançam $+0,04^{\circ}\text{C}/\text{ano}$, à medida que o índice TMAXmean mostra uma elevação significativa de até $+0,02^{\circ}\text{C}/\text{ano}$ no Norte do estado. Em contrapartida, uma estação nas Baixadas Litorâneas e outra no Centro-Sul apresentam uma diminuição de TMINmean e TMAXmean, respectivamente. Esta redução fica em cerca de $-0,04$ a $-0,02^{\circ}\text{C}/\text{ano}$, contudo não foi considerada estatisticamente significativa.

Figura 17 Magnitudes das tendências observadas ($^{\circ}\text{C}/\text{ano}$) em TMINmean no estado do Rio de Janeiro, calculadas através da Curvatura de Sen aplicada aos dados do INMET. Pontos vermelhos indicam tendências estatisticamente significativas ao nível de 95%.

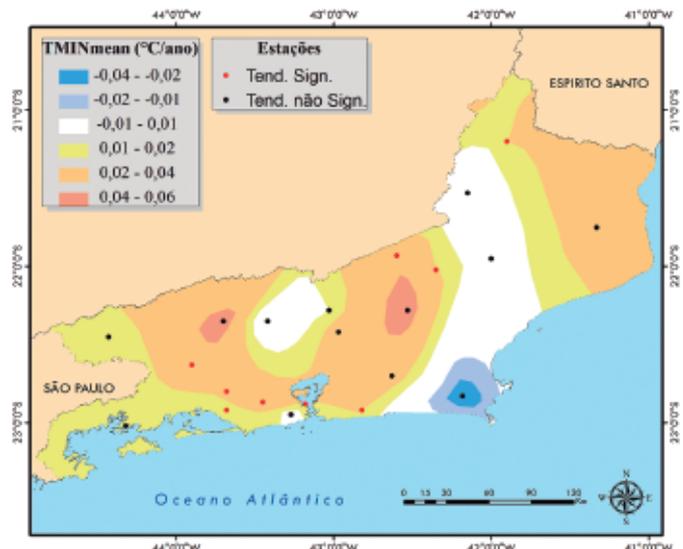
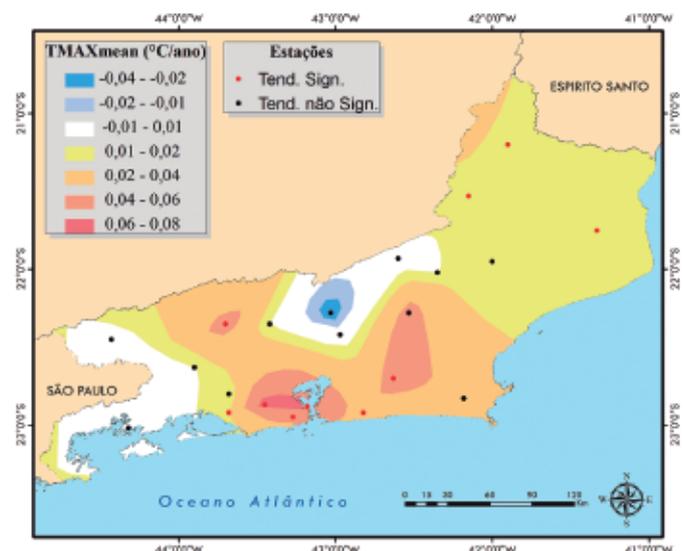


Figura 18 Magnitudes das tendências observadas ($^{\circ}\text{C}/\text{ano}$) em TMAXmean no estado do Rio de Janeiro, calculadas através da Curvatura de Sen aplicada aos dados do INMET. Pontos vermelhos indicam tendências estatisticamente significativas ao nível de 95%.



As distribuições espaciais das magnitudes das tendências observadas das noites frias (TN10p) e dos dias frios (TX10p) no estado do Rio de Janeiro, elaborados através dos dados do INMET, estão representados nas Figuras 19 e 20, respectivamente. Observa-se que a porcentagem de noites frias ao ano está diminuindo a uma taxa estatisticamente significativa que varia entre -0,3 e -0,1 %dias/ano em parte do Vale do Paraíba, da região Metropolitana, da região Serrana e do Norte do estado. A porcentagem de dias frios também está reduzindo de maneira significativa na área central da região Metropolitana (-0,3 a -0,1 %dias/ano), reforçando a tendência de

aquecimento desta área, seja ela de origem natural ou antrópica. Por outro lado, nota-se que há uma tendência significativa de aumento das noites e dos dias frios em parte do Noroeste Fluminense, com valores que oscilam entre +0,1 e +0,7 %dias/ano. Esta elevação pode estar associada a alterações nos terrenos locais, influenciando assim o comportamento das temperaturas mais baixas, ou seja, diminuindo-as ainda mais e estendendo a sua duração. Percebe-se também um aumento significativo das noites frias em parte das Baixadas Litorâneas (+0,1 a +0,5 %dias/ano), provavelmente por motivos similares.

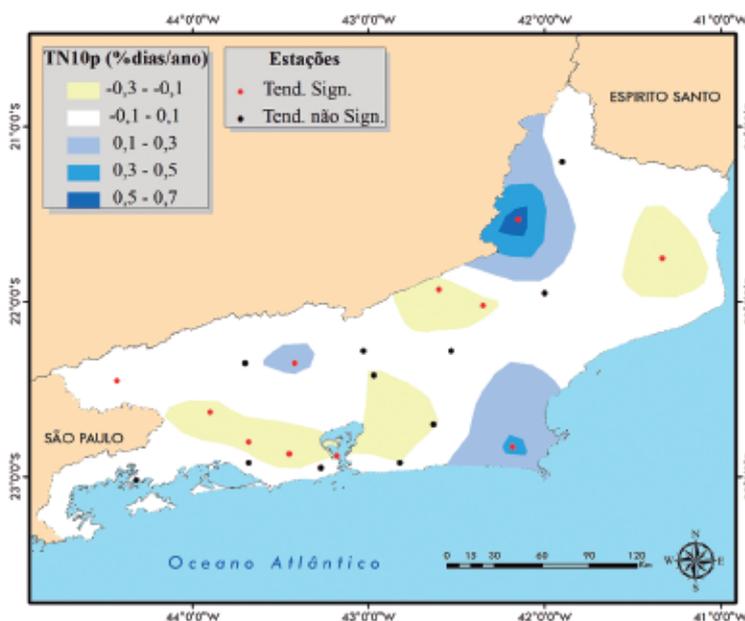


Figura 19 Magnitudes das tendências observadas (%dias/ano) em TN10p no estado do Rio de Janeiro, calculadas através da Curvatura de Sen aplicada aos dados do INMET. Pontos vermelhos indicam tendências estatisticamente significativas ao nível de 95%.

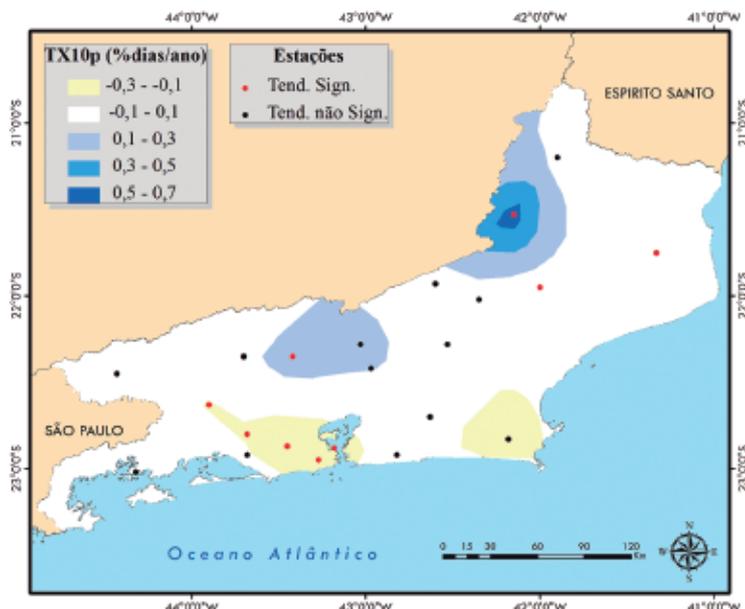


Figura 20 Magnitudes das tendências observadas (%dias/ano) em TX10p no estado do Rio de Janeiro, calculadas através da Curvatura de Sen aplicada aos dados do INMET. Pontos vermelhos indicam tendências estatisticamente significativas ao nível de 95%.

As Figura 21 e 22 mostram, respectivamente, as distribuições espaciais das magnitudes das tendências observadas das noites quentes (TN90p) e dos dias quentes (TX90p) no estado do Rio de Janeiro, elaborados através dos dados do INMET. Verifica-se que há uma tendência generalizada de aumento das noites e dos dias quentes em todo o estado. As porções central e norte do Rio de Janeiro, que já são regiões de elevadas temperaturas em comparação com o restante do estado, apresentam as magnitudes mais estatisticamente significativas desta elevação. O aumento da porcentagem de noites

e de dias quentes no estado varia entre +0,1 e +0,7 %dias/ano. A região Metropolitana, a região Centro-Sul e partes das Regiões Serrana e do Norte/Noroeste Fluminense exibem as maiores taxas de aumento de noites e de dias quentes do Rio de Janeiro, com valores que atingem até cerca de +0,5 a +0,6 %dias/ano, indicando que estas regiões vêm passando por acentuados eventos extremos quentes ao longo dos anos. Somente uma estação na região Serrana exibe uma tendência significativa de diminuição dos dias quentes, com uma taxa de redução em torno de -0,3 %dias/ano.

Figura 21 Magnitudes das tendências observadas (%dias/ano) em TN90p no estado do Rio de Janeiro, calculadas através da Curvatura de Sen aplicada aos dados do INMET. Pontos vermelhos indicam tendências estatisticamente significativas ao nível de 95%.

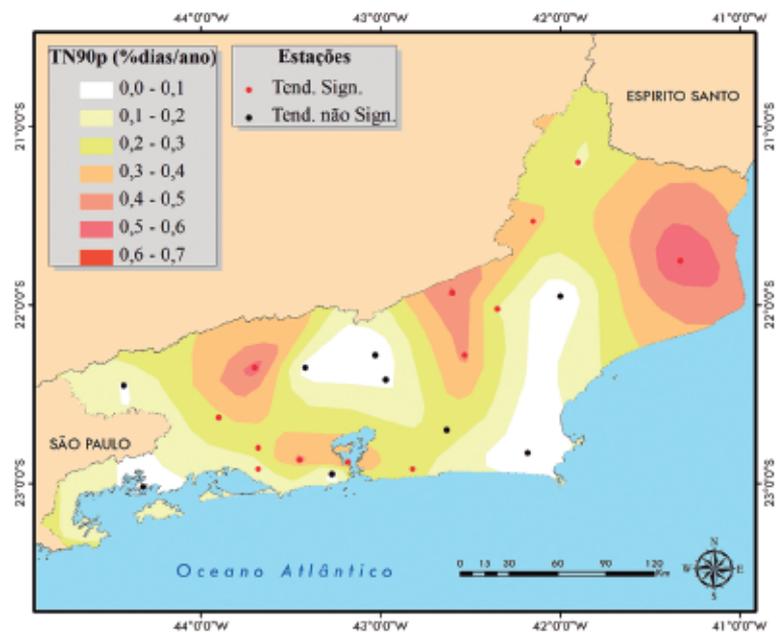
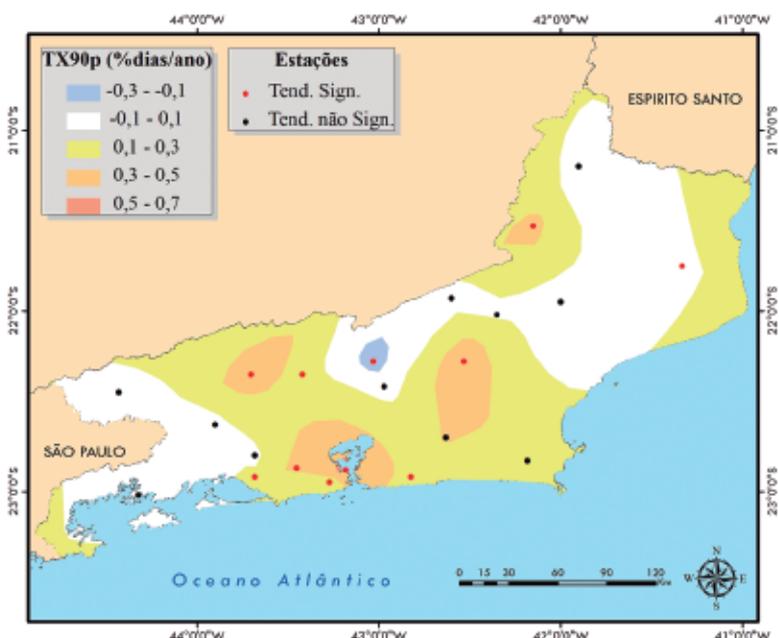


Figura 22 Magnitudes das tendências observadas (%dias/ano) em TX90p no estado do Rio de Janeiro, calculadas através da Curvatura de Sen aplicada aos dados do INMET. Pontos vermelhos indicam tendências estatisticamente significativas ao nível de 95%.



4.2 Precipitação

O mapa das magnitudes das tendências observadas nos totais pluviométricos anuais (PRCPTOT) no estado do Rio de Janeiro, elaborado através dos dados do INMET e da ANA, está apresentado na Figura 23. Nota-se que há uma tendência significativa de aumento de PRCPTOT nas Baixadas Litorâneas, com magnitudes oscilando entre +4,0 e +32,0 mm/ano. No entanto, a porção do Norte Fluminense próxima ao oceano apresenta uma tendência significativa de diminuição das chuvas a uma taxa entre -8,0 e -4,0 mm/ano. Vale destacar que esta região já é uma das que possui o menor índice pluviométrico do estado (Figuras 11 a 15). Outras estações isoladas também mostram uma redução significativa da precipitação no Vale do Paraíba e na região Serrana, sendo que nesta última área a localidade exibe uma diminuição de até -20 mm/ano. Ressalta-se que o comportamento da precipitação no tempo e no espaço é altamente variável, ou seja, duas localidades bastante próximas podem apresentar tendências de sinais contrários. Portanto, se faz necessário uma abordagem bastante cautelosa ao se mencionar tais análises.

As Figuras 24 e 25 apresentam os mapas das distribuições espaciais das magnitudes das tendências observadas das chuvas intensas (R95p) e dos períodos de estiagem (CDD) no estado do Rio de Janeiro, respectivamente, elaborados através dos dados do INMET e da ANA. De um modo geral, a classificação das tendências de R95p está bastante

heterogênea no estado. Entretanto, observa-se de maneira notória a elevação significativa dos totais pluviométricos das chuvas mais fortes do ano nas Baixadas Litorâneas e em parte da região Metropolitana, com magnitudes variando entre +2,0 e +20,0 mm/ano. Além disso, parte das Baixadas Litorâneas também exibe um aumento significativo de CDD de +0,1 a +0,6 dia/ano, isto é, possivelmente as chuvas mais intensas estão se concentrando em períodos mais curtos nesta região. Verifica-se também que os períodos secos estão se reduzindo significativamente em parte do Vale do Paraíba e do Centro-Sul do Rio de Janeiro (-0,6 a -0,1 dia/ano), enquanto que uma elevação também significativa é identificada na porção noroeste do estado (+0,1 a +0,6 dia/ano), onde os períodos de estiagem já são bastante duradouros, como visto na climatologia do estado (Figura 16).

5 Conclusões

Neste trabalho, uma climatologia da temperatura do ar e da precipitação foi elaborada para o estado do Rio de Janeiro com base em dados do INMET, da ANA e do Alerta Rio. Em seguida, foram avaliadas as tendências observadas nos extremos climáticos de tais variáveis meteorológicas ao longo das últimas décadas.

Os resultados da climatologia mostram temperaturas mínimas médias oscilando entre 9,5 e 11°C (15,5 e 17°C) no inverno (verão) na

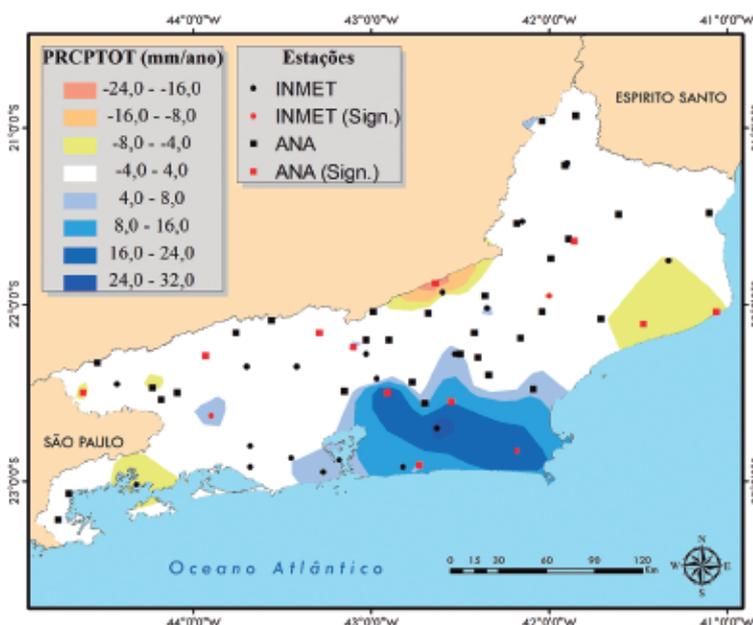


Figura 23 Magnitudes das tendências observadas (mm/ano) nos totais anuais de precipitação (PRCPTOT) no estado do Rio de Janeiro, calculadas através da Curvatura de Sen aplicada aos dados do INMET e da ANA. Pontos vermelhos indicam tendências estatisticamente significativas ao nível de 95%.

Figura 24 Magnitudes das tendências observadas (mm/ano) nas chuvas intensas (R95p) no estado do Rio de Janeiro, calculadas através da Curvatura de Sen aplicada aos dados do INMET e da ANA. Pontos vermelhos indicam tendências estatisticamente significativas ao nível de 95%.

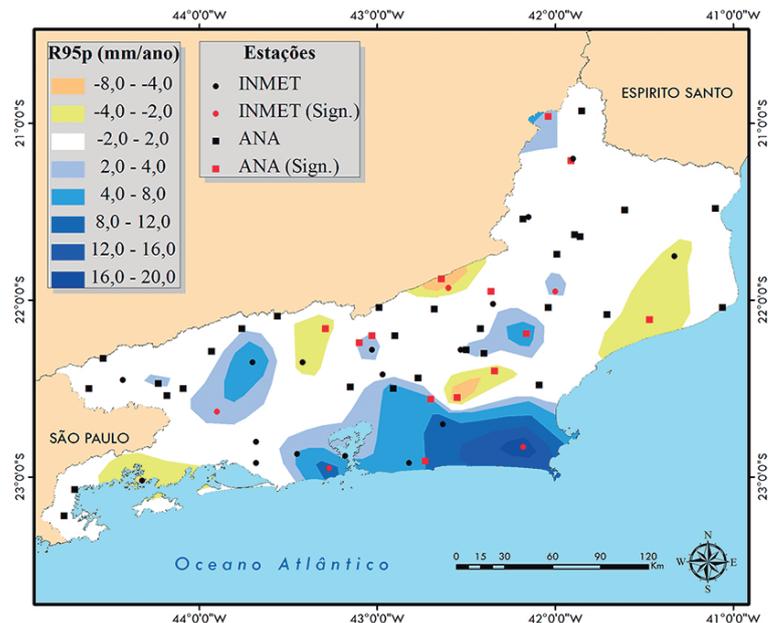
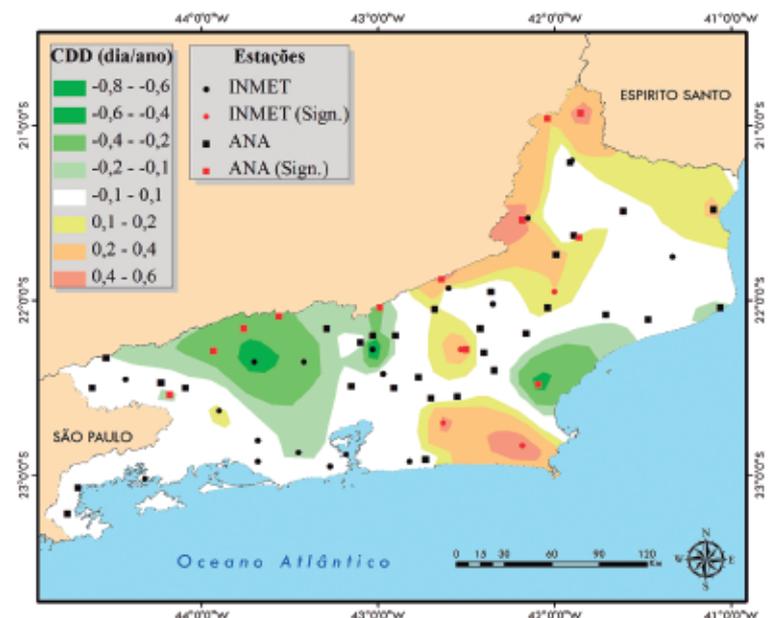


Figura 25 Magnitudes das tendências observadas (dia/ano) nos períodos secos (CDD) no estado do Rio de Janeiro, calculadas através da Curvatura de Sen aplicada aos dados do INMET e da ANA. Pontos vermelhos indicam tendências estatisticamente significativas ao nível de 95%.



região Serrana. Valores mais elevados ocorrem principalmente no litoral, onde as médias de temperatura mínima variam entre 17 e 18,5°C (21,5 e 23°C) no inverno (verão). Já as menores temperaturas máximas médias oscilam entre 21,5 e 23°C (26 e 27,5°C) no inverno (verão) na região Serrana. Os valores mais elevados encontram-se na região Metropolitana e no Norte/Noroeste Fluminense, oscilando entre 26 e 27,5°C (32 e 33,5°C) no inverno (verão). Nota-se que há um gradiente levemente pronunciado da amplitude térmica na direção norte-sul do estado. As regiões costeiras mostram uma amplitude térmica menor (cerca de 4 a 7°C) do que

as áreas mais afastadas do mar (entre 10 e 13°C), em função da grande inércia térmica do oceano.

A precipitação anual apresenta máximos em áreas elevadas (cerca de 2.500 a 2.800 mm ao ano) e mínimos sobre as regiões de baixada e de costa (entre 700 e 1.300 mm ao ano). As áreas mais próximas à costa apresentam os máximos períodos de estiagem com menor durabilidade (20 a 30 dias) do que aqueles observados no interior do estado (35 a 60 dias), em virtude do frequente transporte de umidade do oceano em direção ao litoral.

Para as tendências observadas nos extremos climáticos de temperatura, as magnitudes médias de elevação da temperatura mínima ficam entre +0,01 e +0,04°C/ano em grande parte do estado, especialmente na região Metropolitana, enquanto que para a temperatura máxima, tais valores oscilam entre +0,01 e +0,08°C/ano na capital e entre +0,01 e +0,04°C/ano no Noroeste Fluminense. Notam-se também tendências estatisticamente significativas de elevação na porcentagem de noites e de dias quentes em quase todo o estado (entre +0,1 e +0,6 %dias/ano).

Quanto à chuva, observa-se que há uma tendência estatisticamente significativa de aumento dos totais pluviométricos anuais nas Baixadas Litorâneas (entre +4,0 e +32,0 mm/ano). Também verifica-se uma elevação significativa dos totais pluviométricos das chuvas mais fortes do ano na região dos Lagos e em parte da região Metropolitana, com magnitudes entre +2,0 e +20 mm/ano. Além disso, as Baixadas Litorâneas também apresentam uma elevação no CDD de +0,1 a +0,6 dia/ano, ou seja, possivelmente as chuvas mais severas estão convergindo em períodos mais curtos nesta área.

Em suma, conclui-se que tal pesquisa apresenta características fundamentais do clima e das tendências em seus extremos no Rio de Janeiro e que através da mesma é possível a determinação de métodos de ação em diversas atividades humanas, além de servir como base para a elaboração de estudos em que o conhecimento do comportamento climático no estado seja de essencial importância.

6 Agradecimentos

Os autores agradecem ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), à Agência Nacional de Águas (ANA) e ao Sistema Alerta Rio pela disponibilização dos dados. O primeiro autor agradece à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de Mestrado e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela colaboração através do projeto nº 2008/58161-1 – “Assessment of Impacts and Vulnerability to Climate Change in Brazil and Strategies for Adaptation Options”.

7 Referências

Alexander, L.V.; Zhang, X.; Peterson, T.C.; Caesar, J.; Gleason, B.; Klein Tank, A.M.G.; Haylock, M.; Collins, D.; Trewin, B.; Rahimzadeh, F.; Tagipour, A.; Kumar, K.R.; Revadekar, J.; Griffiths, G.; Vincent, L.; Stephenson, D.B.; Burn, J.; Aguilar, E.; Brunet, M.; Taylor, M.; New, M.;

- Zhai, P.; Rusticucci, M. & Vazquez-Aguirre, J.L. 2006. Global Observed Changes in Daily Climate Extremes of Temperature and Precipitation. *Journal of Geophysical Research*, 111: D05109, doi: 10.1029/2005JD006290.
- Dereczynski, C.P.; Luiz Silva, W. & Marengo, J.A. 2013. Detection and Projections of Climate Change in Rio de Janeiro, Brazil. *American Journal of Climate Change*, 2(1): 25-33, doi: 10.4236/ajcc.2013.21003.
- FIDERJ. 1978. Indicadores Climatológicos do Estado do Rio de Janeiro. Governadoria do Estado do Rio de Janeiro, Secretaria de Planejamento e Coordenação Geral (SECLAN), Fundação Instituto de Desenvolvimento Econômico e Social do Rio de Janeiro (FIDERJ). Sistemas de Informação para o Planejamento Estadual (SIPE).
- Frich, P.; Alexander, L.V.; Della-Marta, P.; Gleason, B.; Haylock, M.; Klein Tank, A.M.G. & Peterson, T. 2002. Observed Coherent Changes in Climatic Extremes during the Second Half of the Twentieth Century. *Climate Research*, 19: 193–212.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. 2010. Banco de dados disponível no sítio eletrônico www.ibge.gov.br.
- Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC. 2013. Climate Change 2013: The Physical Science Basis – Working Group I Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report. Brussels.
- Justi da Silva, M.G.A. & Silva Dias, M.A.F. 2002. A Frequência de Fenômenos Meteorológicos na América do Sul: uma Climatologia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 11. Foz do Iguaçu. Disponível em CD-ROM.
- Luiz Silva, W. 2012. Tendências Observadas e Projeções Futuras de Extremos Climáticos na Cidade do Rio de Janeiro. Departamento de Meteorologia (Instituto de Geociências). Universidade Federal do Rio de Janeiro, 85 p.
- Manley, G. 1958. On the Frequency of Snowfall in Metropolitan England. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 84: 70-72.
- Nunes, L.H.; Vicente, A.K. & Candido, D.H. 2009. Clima da Região Sudeste do Brasil. In: CAVALCANTI, I.F.A., FERREIRA, N.J., JUSTI DA SILVA, M.G.A. & SILVA DIAS, M.A.F. (eds.). *Tempo e Clima no Brasil*. São Paulo, Oficina de Textos, p. 243-258.
- Obregón, G. & Marengo, J.A. 2007. Mudanças Climáticas Globais e seus Efeitos sobre a Biodiversidade. In: CARACTERIZAÇÃO DO CLIMA NO SÉCULO XX NO BRASIL: TENDÊNCIAS DE CHUVAS E TEMPERATURAS MÉDIAS E EXTREMAS. *Ministério do Meio Ambiente: Relatório 2*, 87 p.
- Peixoto, J.P. & Oort, A.H. 1993. Physics of Climate. *American Institute of Physics*: 520 p.
- Reinking, R.F. & Boatman, J.F. 1986. Upslope Precipitation Events. In: Ray, P.S. (Ed.). *Mesoscale Meteorology and Forecasting*, p. 437-471.
- Satyamurty, P.; Nobre, C.A. & Silva Dias, P.L. 1998. South America. Meteorology of the Southern Hemisphere. In: KAROLY, D.J. & VINCENT, D.G. (eds.). *American Meteorological Society*, 27: 119-139.
- Sen, P.K. 1968. Estimates of the Regression Coefficient based on Kendall's Tau. *Journal of American Statistics Association*, 63: 1379-1389.
- Sneyers, R. 1975. Sur l'analyse Statistique des Series D'observations. *Gênevè: Organisation Météorologique Mondiale*: 192 p.
- Zhang, X. & Yang, F. 2004. RCLimDex (1.0) – User Manual. *Climate Research Branch Environment*. Canada Downsview.