ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe

Índices de Detecção de Mudanças Climáticas Derivados da Precipitação Pluviométrica e das Temperaturas em Recife-PE

Werônica Meira de Souza[1]; Pedro Vieira de Azevedo[2]

[1]Prof. Dr[a]. Unidade Acadêmica de Garanhuns, UFRPE. E-mail: weronicameira@gmail.com
[2]Prof. Dr. Departamento de Ciências Atmosféricas, UFCG. E-mail: pvieira@dca.ufcg.br

Artigo recebido em 18/04/2012 e aceito em 20/04/2012

R E S U M O

Este trabalho objetiva verificar as tendências dos índices de detecção de mudanças climáticas derivados da precipitação pluviométrica e das temperaturas máximas e mínimas em Recife, a partir do software RClimdex, com o propósito de averiguar se houve mudanças no comportamento dos elementos climáticos analisados. Foram utilizados dados diários da precipitação pluviométrica e das temperaturas (máximas e mínimas) no período de 1961 a 2008 em Recife, cedidos pelo INMET. Os resultados derivados da precipitação não apresentaram tendências significativas de redução. Por outro lado, diagnosticou-se aumento da frequência de eventos extremos de chuvas a partir da década de 80, com chuvas diárias superiores a 100 mm. Em relação aos índices associados às temperaturas, todos apontam tendências positivas, indicando aumento das temperaturas máximas e mínimas em torno de 1ºC nos 47 anos analisados, com aumento da frequência de dias e noites mais quentes, constatando-se aumento de ondas de calor na região. Apesar dos resultados apresentarem mudanças nos índices climáticos, estas alterações não necessariamente estão associadas a uma mudança climática global, mas principalmente as ações antropogênicas através da modificação do espaço.

Palavras-chave: Mudança climática, precipitação pluviométrica, temperaturas, RClimdex.

Detection Indexes Derived from Climate Change Rainfall and Temperatures in Recife-PE

A B S T R A C T

This study aims to determine the detection rates of climate change derived from rainfall and maximum and minimum temperatures in Recife, through the RClimdex software, with the purpose of investigate whether there were changes in the behavior of climatic elements analyzed. It used daily data of rainfall and temperatures (maximum and minimum) in the period 1961 to 2008 in Recife, assigned by INMET. The results derived from the precipitation did not show significant trends of reduction. On the other hand, was diagnosed with increasing frequency of extreme rainfall events from the 1980, with daily rainfall exceeding 100 mm. Compared to the temperatures associated with, all indicate positive trends, indicating an increase of the maximum and minimum temperatures around 1 °C in 47 years analyzed, with increased frequency of hot days and nights, it noted the increase in heat waves in the region . Although the results present changes in climate indices, these changes are not necessarily associated with global climate change, but mainly through the actions of anthropogenic modification of the space.

Keywords: Climate change, rainfall, temperatures, RClimdex.

1. Introdução

As variabilidades climáticas exercem uma influência significativa sobre as atividades humanas, pois podem oscilar quanto à temperatura, precipitação e frequência de eventos extremos como: secas e chuvas intensas, resultando em impactos na agricultura, nos recursos hídricos, na saúde, sobre o meio ambiente, em escala local ou regional. Uma observação cuidadosa dos

* E-mail para correspondência: weronicameira@gmail.com (Souza, W. M.).

registros climáticos a longo prazo é importante para as sociedades modernas, na medida em que fornece uma base para o conhecimento de tendências climáticas e as suas causas potenciais, uma vez que os impactos das oscilações climáticas na sociedade estão associados aos eventos extremos de precipitação.

As respostas dos ciclos energéticos e hidrológicos sobre a superfície têm um papel crítico na determinação dos impactos da variabilidade e mudanças climáticas. Variabilidades climáticas podem inicialmente modificar os recursos hídricos locais e o albedo da superfície (por exemplo), de forma que o processo pode provocar pequenas ou até grandes modificações na temperatura, precipitação e evaporação, entre outros parâmetros (Silva *et al.*, 2009). Do mesmo modo, modificações na temperatura e precipitação também irão acarretar em modificações nos recursos hídricos, afetando o abastecimento humano, geração de energia e agricultura (Nóbrega, 2008).

Muitos estudos de variabilidade e mudança do clima consideram as variações de precipitação pluvial como um índice de detecção de mudanças climáticas devido aos registros observacionais razoavelmente longos e de qualidade. Diversos estudos usaram a temperatura média global da superfície para estabelecer o grau e o significado das mudanças no clima durante o último século. Isto porque, espera-se que a temperatura média global responda à mudança na forçante radiativa associada com Gases de Efeito Estufa (GEE) crescentes. A temperatura média global também é um indicador simples da variabilidade interna do clima em simulações com modelos e em observações e, também, é comumente usada como o índice mais simples de variabilidade e mudança do clima global (Braganza *et al.*, 2003).

Havia também um desejo de realizar análises mais regionais, com uma necessidade maior de incluir resultados de regiões que faltam estudos publicados. Em particular, países em desenvolvimento, devido, terem recursos insuficientes para empreender tais análises, acesso limitado de dados, menos registros digitalizados e qualidade reduzida de dados para as análises de extremos que são muito sensíveis. O Sudeste da Ásia e o Pacífico foram identificados como uma região fundamental (Manton e Nicholls, 1999), em particular devido a sua vulnerabilidade com respeito à alta densidade populacional, variabilidade de chuva devido ao El Niño/Oscilação Sul e a exposição aos ciclones tropicais. Frich *et al.* (2002) analisaram tendências lineares com dez índices de clima para partes da América do Norte, Europa, Ásia e o Pacífico.

Em geral, as mudanças climáticas locais são medidas por meio de análise de séries históricas de variáveis meteorológicas, a exemplo da temperatura do ar e da precipitação pluvial. De acordo com as tendências destas variáveis para um

determinado local é observado se ocorreram mudanças no clima. Entretanto, para melhor definir esta questão a Organização Meteorológica Mundial (OMM) criou um grupo de trabalho que elaborou índices de detecção de mudanças climáticas. Ao todo foram definidos 27 (vinte e sete) índices, sendo que alguns destes são aplicados para latitudes médias, outros para os trópicos e parte deles são válidos para qualquer local. Destes índices 11 são decorrentes da precipitação e 16 da temperatura do ar (IPCC, 2002).

A Equipe de Especialista em Detecção, Monitoramento e Índices de Mudanças Climáticas (Expert Team on Climate Change Detection, Monitoring and Índices - ETCCDMI) foi estabelecida em conjunto com o CCl/CLIVAR conselho que monitora índices climáticos. Seguindo a publicação de Frich *et al*. (2002), o ETCCDMI identificou regiões fundamentais para promover estudos sobre mudanças climáticas: o Caribe, América do Sul e Central, África e Ásia Central e Oeste. Eles decidiram que o melhor modo de estabelecer pesquisas nestas regiões era através de seminários regionais (Manton *et al.*, 2001). Em 2001 foram organizados dois dos tais seminários: em Marrocos para cobrir os países africanos do norte (Easterling *et al.*, 2003); e na Jamaica para cobrir o Caribe (Peterson et al., 2002).

Em estudo realizado por Haylock *et al.* (2005), sobre tendências nos totais e extremos de chuva para a América do Sul, foi observado que existiam grandes regiões com coerência espacial nos sinais das tendências, bem como, no acordo geral entre os índices. Todos os índices climáticos propostos, referentes à precipitação pluvial, exceto o DCS (Dias Consecutivos Secos), mostraram uma tendência de aumento das condições de umidade. A precipitação total anual (PRCPTOT) mostrou características gerais que também estão presentes em outros índices, tais como: aumento da tendência de umidade na parte mais ao sul do Brasil e Paraguai, nordeste da Argentina e noroeste do Peru e Equador, aumento da tendência de seca na parte mais ao sul do Chile e Peru e sudoeste da Argentina. As estações do norte e nordeste do Brasil não mostraram sinal de tendência consistente. Previamente, Hastenrath e Greischar (1993) e Marengo *et al.* (1998), acharam tendências de chuva positivas no nordeste do Brasil. Na região Nordeste alguns pesquisadores como Souza e Azevedo (2009), Santos e Brito (2009 e 2007), Silva e Azevedo (2008), tem utilizado a ferramenta para monitorar as tendências climáticas em alguns Estados da região.

Conforme o IPCC (2001) há novas e mais fortes evidências de que a maior causa do aquecimento global observado nos últimos 50 anos é atribuível a atividades humanas. Os cenários para os próximos 100 anos (até 2100) são o aumento da temperatura média global entre 1,4 a 5,8 ºC e aumento no nível dos mares causado pela expansão térmica dos oceanos e o derretimento das calotas polares

entre 0,09 e 0,88 metros. Se as previsões se confirmarem, espera-se um aumento na incidência de ondas de calor, inundações e secas. Por isto, o IPCC procura estabelecer normas internacionais de controle de emissões dos GEE, como o Protocolo de Kyoto. O acordo, assinado em 1997, que entrou em vigor, a partir de 14 de fevereiro de 2005.

A comunidade científica tem dado grande ênfase às mudanças climáticas, como resultado do aquecimento global, principalmente a partir da publicação do 4º Relatório do IPCC (IPCC, 2007). Esse relatório menciona que no Brasil os desastres naturais de origem atmosférica tendem a continuar aumentando, com destaque para as tempestades e os eventos de precipitações intensas sobre as regiões sul e sudeste do Brasil e o agravamento da seca no nordeste e avanço sobre as regiões norte e centro-oeste.

A incerteza com relação ao sinal das mudanças na precipitação e na temperatura torna, no momento, impossível estabelecer categoricamente os efeitos das mudanças climáticas globais sobre o meio, principalmente, quando considera-se que, estando a maior parte do país situada em regiões tropicais e subtropicais, fora do alcance de geadas e temperaturas muito baixas (exceção feita ao Sul e áreas montanhosas do Sudeste), o fator climático determinante é o regime de chuvas. Segundo Rocha (2001), há ainda grande incerteza sobre as mudanças nos regimes pluviométricos, em escala regional.

Neste contexto, este trabalho teve como objetivo verificar as tendências dos índices de detecção de mudanças climáticas derivados da precipitação pluviométrica e das temperaturas máximas e mínimas, a partir do software RClimdex, com o propósito de averiguar se houve mudanças no comportamento dos elementos climáticos (precipitação pluviométrica e temperatura) em Recife.

2. Material e Métodos

Os dados utilizados neste trabalho consistem de uma série diária de precipitação, temperaturas máximas e mínimas compreendido no período de 1 de janeiro de 1961 a 31 de dezembro de 2008, referente à estação climatológica do Recife (latitude -8,05º, longitude -34,95º e altitude 10 m), localizada no bairro da Várzea (zona norte do Recife), cedidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Para calcular os índices de detecção de mudanças climáticas existentes em Recife foi utilizado o software RCLIMDEX (versão 2.9.0) para o processamento dos dados. O RClimdex é um programa usado no cálculo de índices de extremos climáticos para monitorar e detectar mudanças climáticas. O RClimdex 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. O software foi elaborado para

proporcionar uma interface amigável para calcular índices de extremos climáticos. Calcula todos os 27 índices básicos recomendados pela equipe de peritos do CCI/CLIVAR para "Climate Change Detection Monitoring and Índices" (ETCCDMI), assim como, outros índices de temperatura e precipitação com limites definidos pelo usuário. O pacote RClimdex 2.9.0, é de distribuição gratuita e está disponível para download no website dos índices da ETCCDMI (http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDMI /). Ressalta-se que, nesse trabalho, dos vinte sete índices de detecção de mudanças climáticas produzidos pelo RClimDex (Zhang e Yang, 2004), utilizou-se quatorze referentes aos dados de precipitação e seis aos dados de temperatura.

Na Tabela 1 estão apresentados os índices climáticos derivados da precipitação pluvial e das temperaturas máxima e mínina recomendados pelo ETCCDMI, gerados pelo software. A saída do RClimdex para todos os índices, fornecem dados estatísticos, tais como: tendência linear calculada pelo método de mínimos quadrados; nível de significância estatística da tendência (valor p); coeficiente de determinação (r2) e erro padrão de estimativa; assim como, os gráficos das séries anuais. Foram consideradas como possíveis tendências climáticas os índices que apresentaram tendência linear (positiva ou negativa) superior ao erro padrão de estimativa e estatisticamente significativa (valor de $p < 0,1$), obtidos pelo teste "t" *Student*, gerado pelo software.

Tabela 1. Índices climáticos dependentes da precipitação pluviométrica diária, temperaturas máxima e mínina com suas definições e unidades.

ID	Nome do Indicador	Definição	Unidade
PRCPTOT	Precipitação total anual nos dias úmidos	Precipitação total anual nos dias úmidos (RR≥1mm)	mm
SDII	Índice simples de intensidade diária	Precipitação total anual dividida pelo número de dias úmidos	mm/dia
DCS	Dias consecutivos secos	Número máximo de dias consecutivos com RR<1mm	dias
DCU	Dias consecutivos úmidos	Número máximo de dias consecutivos com RR≥1mm	dias
Rx1day	Quantidade máxima de precipitação em um dia	Máximo anual de precipitação em 1 dia	mm
Rx5day	Quantidade máxima de precipitação em cinco dias	Máximo anual de precipitação em 5 dias consecutivos	mm
R10	Precipitação de um dia superior a 10mm	Número de dias no ano com precipitação>=10mm	dias

continuação

R20	Precipitação de um dia superior a 20mm	Número de dias no ano com precipitação >=20mm	dias
Rnn	Número de dias com precipitação acima de nnmm, definido pelo usuário	Número de dias em 1 ano em que a precipitação foi ≥nnmm, definido pelo usuário	dias
R95p	Dias muito úmidos	Precipitação anual total em que RR>95 percentil	mm
R99p	Dias extremamente úmidos	Precipitação anual total em que RR>99 percentil	mm
TXx	Valor Máximo da temperatura máxima diária	Valor máximo mensal da temperatura máxima diária	ºC
TNx	Valor máximo da temperatura mínima diária	Valor máximo mensal da temperatura mínima diária	ºC
TXn	Valor mínimo da temperatura máxima diária	Valor mínimo mensal da temperatura máxima diária	ºC
TNn	Valor mínimo da temperatura mínima diária	Valor mínimo mensal da temperatura mínima diária	ºC

3. Resultados e Discussão

Como a precipitação é uma das variáveis meteorológicas mais importantes para os estudos climáticos e para muitas avaliações ambientais, primeiramente foram analisados os índices climáticos dependentes da precipitação pluvial (item 3.1), e posteriormente os índices derivados das temperaturas discutidos no item 3.2.

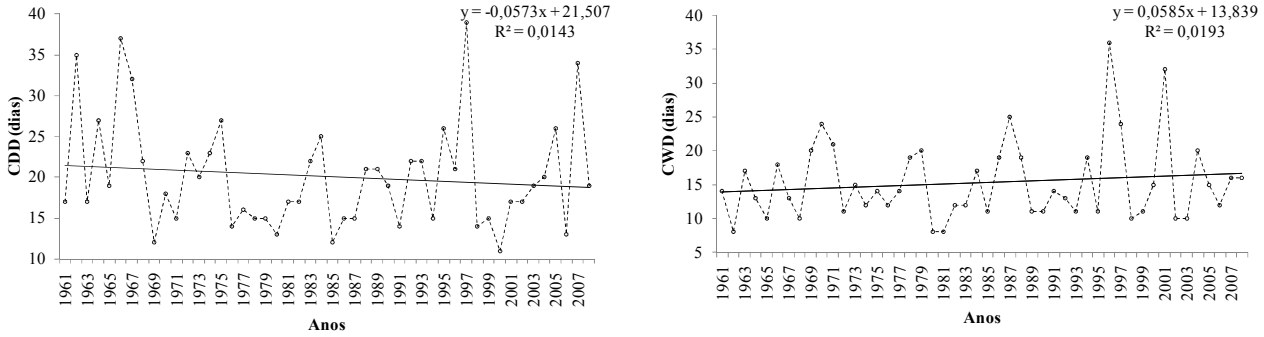
3.1. Análise na detecção de tendências climáticas no padrão pluviométrico

Na Tabela 2 observam-se tendências negativas em praticamente todos os índices, com exceção do R100m e CWD, porém, estas não são estatisticamente significantes e as magnitudes das tendências são inferiores aos seus erros padrões de estimativa. Portanto, não é seguro afirmar que estas tendências realmente estão ocorrendo. Apesar dos índices não apresentarem significância estatística, todos índices foram analisados evidenciando se há tendências positivas e negativas, em virtude da contribuição para entendimento da variabilidade da precipitação.

Analisando os índices CDD e CWD, o quais representam o número máximo de dias consecutivos secos (Figura 1a) e máximo de dias consecutivos úmidos (Figura 1b), percebeu-se uma diminuição dos dias consecutivos sem chuvas e um aumento no número de dias consecutivos com chuvas. Estes resultados concordam com os encontrados por Haylock et al. (2006) para o Nordeste do Brasil e por Santos e Brito (2007).

Tabela 2. Tendências dos índices climáticos dependentes da precipitação pluvial para Recife-PE (*p<0,05: alta significância estatística; p<0,1: boa significância estatística*).

Índices	Inclinação	Erro padrão de estimativa	Valor-p
RX1day	-0.268	0.508	0.6
RX5day	-0.644	0.698	0.362
SDII	-0.038	0.023	0.101
R2.2mm	-0.024	0.173	0.891
R4.2mm	-0.071	0.17	0.678
R18.6mm	-0.121	0.096	0.211
R55.3mm	-0.048	0.031	0.136
R100mm	0.001	0.014	0.967
R150mm	-0.003	0.006	0.546
CDD	-0.057	0.07	0.418
CWD	0.058	0.061	0.346
R95p	-2.676	3.022	0.38
R99p	-0.132	2.138	0.951
PRCPTOT	-4.843	4.971	0.335

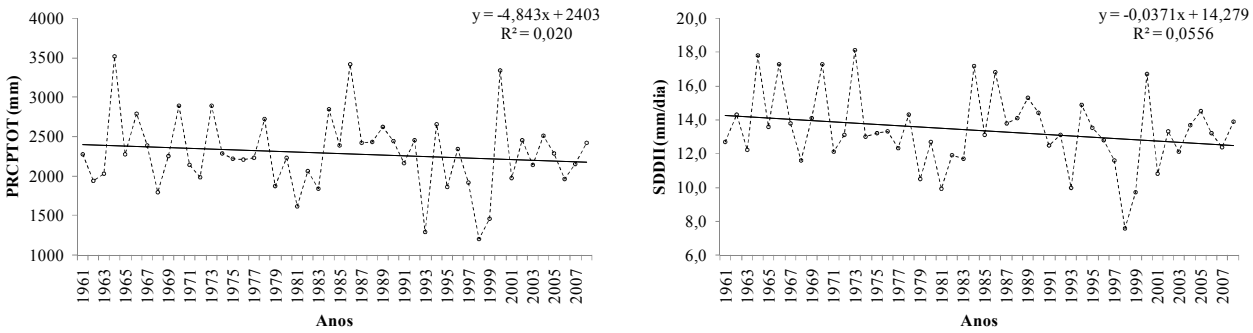


(a) (b)

Figura 1. Número máximo de dias consecutivos secos (CDD) com RR <1 milímetro (a) e número máximo de dias consecutivos úmidos (CWD) com RR> = 1mm (b).

Para o índice PRCPTOT, Figura 2a, observou-se uma diminuição não significativa da precipitação, e para o SDII (Figura 2b) também se identificou tendência negativa, retratando que a precipitação total anual está diminuindo ou o número anual de dias com chuvas está aumentando. Apesar da PRCPTOT está indicando tendência negativa, percebe-se que o número de dias com chuvas, consecutivos ou não, está aumentando. Cabe lembrar que não é seguro afirmar que estas tendências realmente estão ocorrendo. Devido índice SDII ser definido como sendo a precipitação total anual dividida pelo número de dias úmidos em um ano e como a precipitação diminuiu, os valores negativos

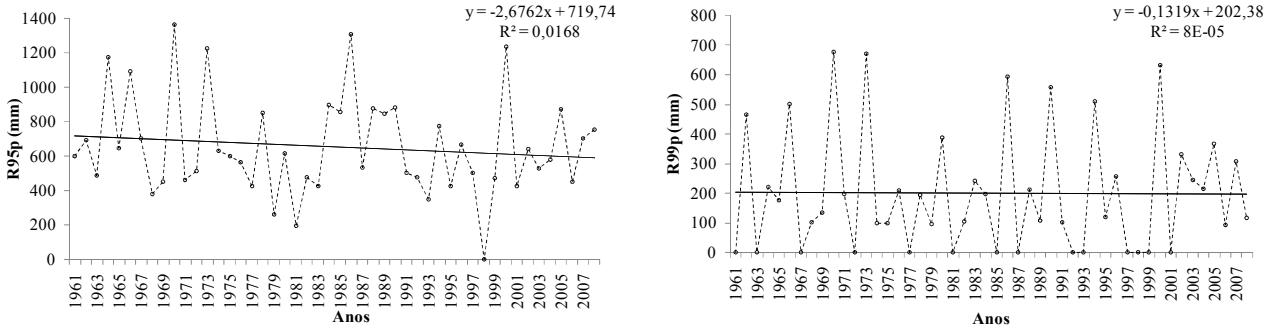
desse índice ocorre devido o aumento do número de dias úmidos, concordando com Haylock *et al*. (2006), que observou um aumento da umidade sobre a América do Sul.



(a) (b)

Figura 2. Total anual nos dias úmidos (≥ 1mm) – PRCPTOT (a) e Índice Simples de Intensidade Diária – SDII (b).

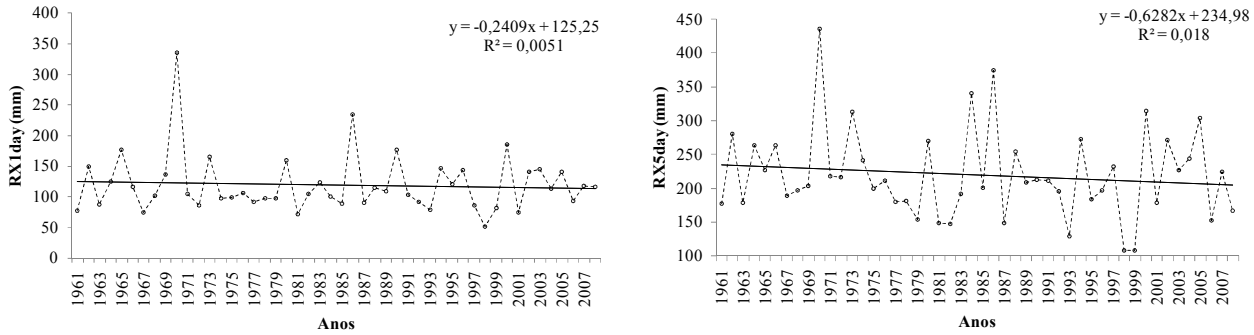
Ao analisar os índices R95p e R99p através das Figuras 3a e b, respectivamente, observou-se tendências negativas não significativas, principalmente no índice R95p, mostrando que, em geral, ocorreu uma diminuição dos dias muito úmidos e extremamente úmidos.



(a) (b)

Figura 3. Total anual PRCP quando RR> 95 º percentil (a) e quando RR> 99 º percentil (b).

Ao investigar os índices Rx1day (Figura 4a) e Rx5day (Figura 4b), observa-se uma tendência de diminuição da quantidade máxima de precipitação observada em um dia e em cinco dias, porém, se consideramos a frequência com chuvas acima de, por exemplo, 100mm em um dia e 200 mm em cinco dias, percebe-se que a partir da década de 80 há um aumento da frequência relacionados a estes índices, revelando que apesar da tendência negativa no período analisado, houve um aumento da frequência com máximos em um dia e em cincos nas duas últimas décadas, indicando aumento de eventos extremos de chuva concentrados em poucos dias.



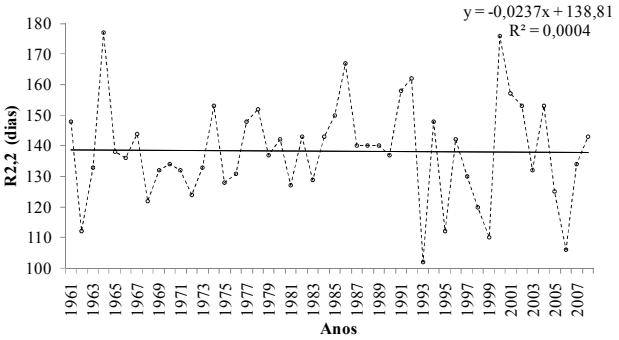
(a) (b)

Figura 4. Quantidade máxima de precipitação em um dia (Rx1day) e em cinco dias (Rx5day) no ano (mm/ano).

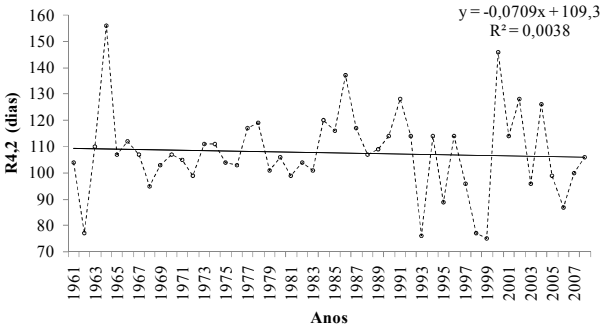
A tendência do número de dias em um ano em que a precipitação foi superior aos limiares definidos na Tabela 2, está demonstrada através da Figura 5a,g. A análise destes índices indicam uma tendência não significativa de diminuição do número de dias no ano com precipitação acima dos limiares adotados, com exceção do R100 (Figura 5f) que apresenta um pequeno aumento do número de dias com precipitação superior a 100 mm. Ressalta-se que não é seguro afirmar que estas tendências realmente estão ocorrendo. Percebe-se nas Figuras 5a, b, c e d que o período posterior a 1985 há uma maior variabilidade interanual. Considerando o número de dias no ano acima de 10 dias com precipitação superior a 55,3mm (Figura 5e), verifica-se uma diminuição da frequência após 1985 com essa intensidade de chuva. Por outro lado, após 1985 verifica-se um aumento da frequência com chuvas acima de 150 mm observados em dois dias (Figura 5g).

Os índices derivados da precipitação durante o período de 1961 a 2008 indicam tendência de diminuição não significativa, com exceção do número de dias consecutivos com chuvas acima de 1mm e do número de dias em um ano com precipitação superior a 100 mm com tendência de aumento. As análises demonstram que após 1985 há um aumento da frequência com chuvas acima de 150 mm observados em dois dias, assim como aumento da frequência da quantidade máxima de precipitação observada em um dia e em cinco dias nas últimas décadas, assim como maior variabilidade interanual dos índices observados.

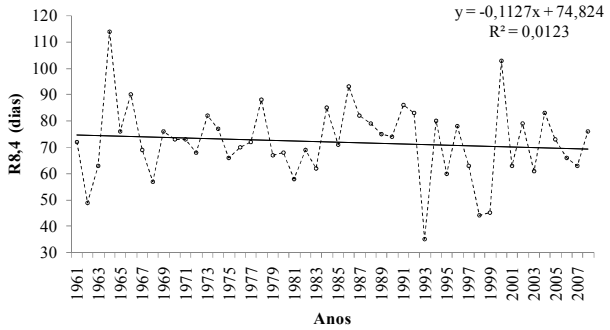
Diagnosticou-se aumento da frequência de eventos extremos de chuvas a partir da década de 80, com precipitações diárias superiores a 100 mm concentrados em um dia. É fato que essas tendências não estão relacionadas com uma mudança global do clima, pois como se trata de um local, que passou por mudanças ao logos dos anos, como exemplo, degradação do solo, ocupações irregulares, ou seja, modificações do seu ambiente natural, alterando o clima local. Portanto, não é seguro afirmar que estas tendências realmente estão ocorrendo.



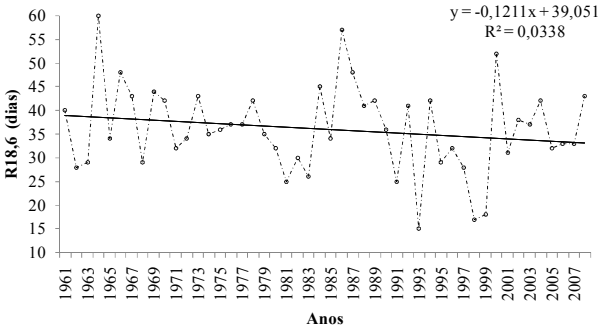
(a)



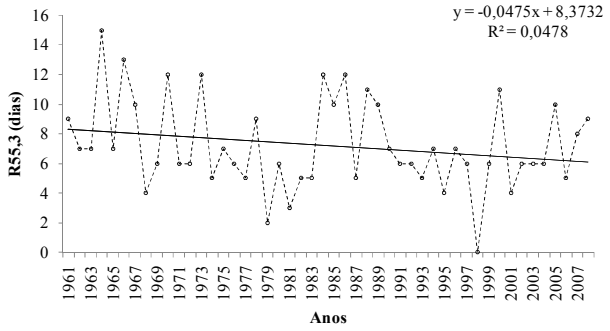
(b)



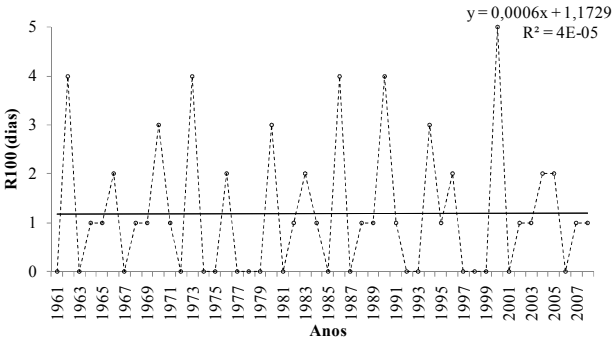
(c)



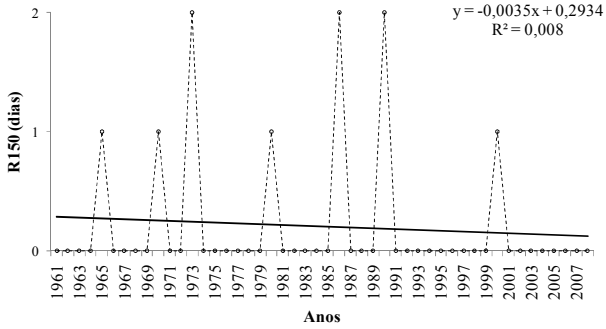
(d)



(e)



(f)



(g)

Figura 5. Número de dias em um ano com precipitação > 2,2 mm (a), > 4,2 mm (b), > 8,4 mm (c), > 18,6 mm (d), > 55,3 mm (e) > 100 mm (f) e > 150mm (g).

3.2. Análise na detecção de tendências climáticas no padrão das temperaturas máximas e mínimas

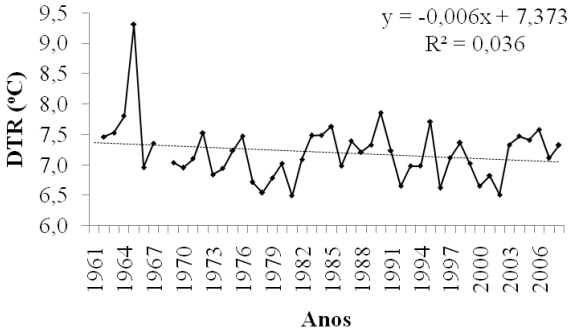
A Tabela 3 apresenta os valores das tendências temporais dos índices de extremos climáticos derivados das temperaturas máximas e mínimas gerado para a localidade do Recife. A maioria dos índices demonstrou tendências de aumento (valor da inclinação positiva) estatisticamente significativas. A propósito a Tabela 3 mostra os valores da inclinação linear dos índices de temperatura, do erro padrão de estimativa e da sua significância estatística (valor p). Os índices com alta significância estatística apresentaram valor de $p<0,05$ (marcado em negrito), com boa significância estatística valores entre $0,05<p<0,1$. Os valores com $p > 0,1$ não apresentam significância estatística.

Tabela 3. Tendências dos índices climáticos dependentes das temperaturas máximas e mínimas para Recife.

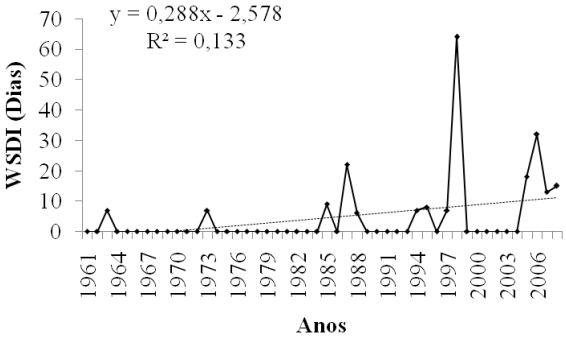
Índices	Inclinação	Erro padrão de estimativa	Valor-p
TXx	0.022	0.012	0.063
TNx	0.019	0.006	**0.004**
TX90p	0.521	0.129	**0**
TN90p	0.424	0.082	**0**
DTR	-0.007	0.005	0.201
WSDI	0.295	0.116	**0.015**

O índice dos máximos valores de temperaturas máxima diária (TXx) apresentou grande variabilidade interanual, com pequena tendência de aumento das temperaturas máximas, em torno de 0,022 º C por ano, no período de 1961 a 2008 (Figura 6a), representando um aumento de 1,03 ^{o}C em 47 anos. Observa-se que as três últimas décadas apresentaram os maiores registros, com destaque para os anos de 1984, 1988 e 1995 que ultrapassaram os 35 º C, representando 6 º C acima da média climatológica. É importante ressaltar o mês de agosto de 1995, com a maior frequência diária de temperaturas elevadas em Recife, com pelo menos 7 dias registrando temperaturas acima de 35,5 º C. A Figura 6b representa o comportamento do valor mensal máximo da temperatura mínima diária (TNx), apresentando, também, tendência de aumento de 0,94 ºC no período estudado. Nos últimos 10 anos verificou-se uma elevação significativa, com registros de até 27,5º C nos anos de 1998 e 2005, representando em média 5,5º C acima da climatologia. Esta tendência de aumento das temperaturas mínimas evidencia a ocorrência de noites mais quentes, que pode estar associado ao aumento do transporte de

umidade do oceano em direção ao continente, devido à elevação das temperaturas durante o dia, favorecendo o aumento da evaporação e a formação de nuvens na região.



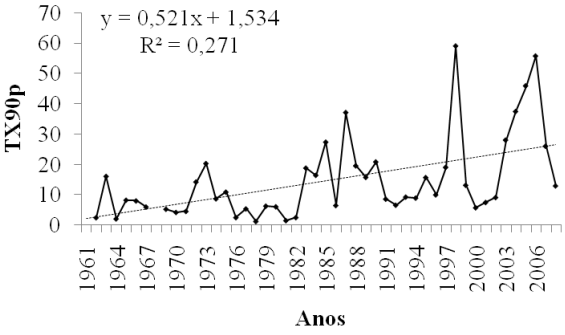
(a)



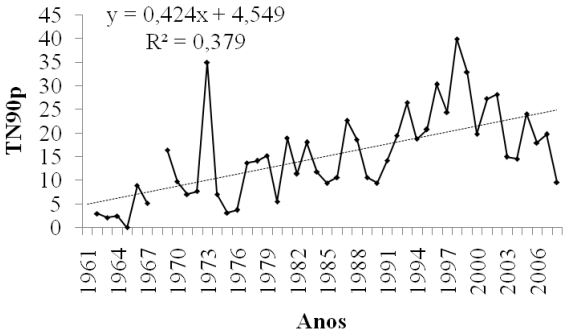
(b)

Figura 6. Comportamento temporal dos índices: TXx - máximo das temperaturas máxima (a) e TNx – mínimo das temperaturas mínimas observados no período de 1961 a 2008 em Recife.

O aumento da temperatura máxima também é observado através do índice TX90p (Figura 7a), onde nota-se claramente o aumento do número de dias com temperaturas máximas acima do percentil 90, destacando o período de 1998 a 2008 que apresentou, em média, 15 a 55 dias quentes, a mais, no ano. O índice TN90p, Figura 7b, aponta para um aumento significativo de noites mais quentes, ou seja, com temperaturas mínimas acima da climatologia (22º C), principalmente a partir da década 1990 com aproximadamente 10 dias a mais com registros de noites mais aquecidas. Diante destes cenários, constata-se com significância estatística que as noites estão mais quentes, e que a elevação das temperaturas pode estar associada à urbanização desenfreada da cidade, com aumento de ruas e avenidas asfaltadas, construção de prédios cada vez mais altos, indústrias, redução de áreas verdes, entre outros, contribuindo para uma modificação no clima da cidade.



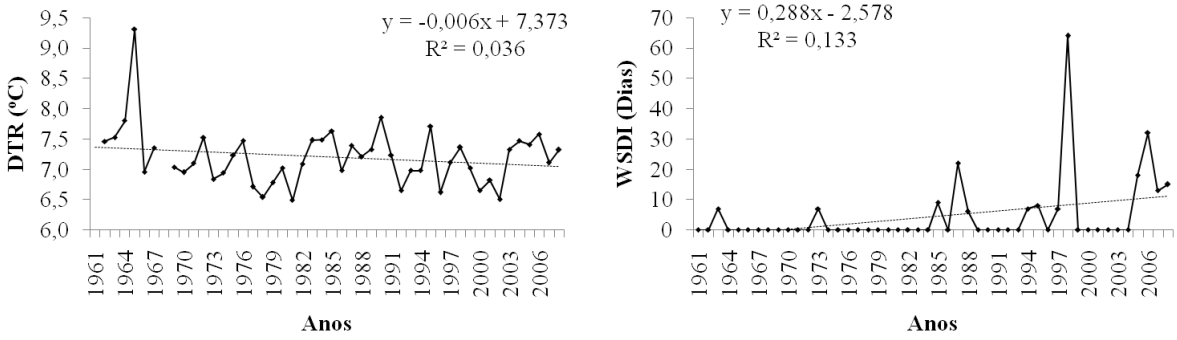
(a)



(b)

Figura 7. Comportamento temporal dos índices TX90p - dias quentes (*a*) e TN90p - noites quentes (b) para o período de 1961 a 2008 em Recife.

Em relação à amplitude térmica diária (Figura 8a), verifica-se graficamente uma tendência de diminuição entre os valores das temperaturas máximas e mínimas, mas não é possível afirmar que está havendo uma diminuição da amplitude térmica, pois não tem significância estatística (p<0,01). É importante mostrar que as ondas de calor tenderam a aumentar nos últimos 47 anos, conforme mostra a Figura 8b. Percebe-se um aumento significativo a partir da década de 1990, destacando o ano de 1998, apresentando mais de 60 dias com pelo menos seis dias consecutivos com temperaturas máximas acima da média (29 ºC). Cabe lembrar que em 1998 houve uma redução considerável das chuvas em Recife, devido à atuação do fenômeno El Niño de intensidade forte, responsável também pela elevação das temperaturas na região.



(a) (b)

Figura 8. Comportamento temporal dos índices DTR - amplitude diária de temperatura (*a*) e WSDI - ondas de calor (b) observados no período de 1961 a 2008 em Recife.

Apesar destas alterações, não pode ser afirmado que as tendências de aumento destes índices estão relacionadas apenas às mudanças climáticas globais, pois as contribuições de vários fatores a nível local podem ter modificado o clima da região, como por exemplo, a substituição de áreas vegetadas por asfaltos, indústrias, prédios, entre outros elementos. Infelizmente, as ações do homem sobre o meio têm implicado no aumento da poluição, desmatamento e queimadas de floresta nativas, formação de ilhas de calor nos grandes centros, dentre outros, contribuindo para alterar o clima local e regional. Neste sentido, é importante a realização de um estudo detalhado sobre o crescimento urbano da cidade, identificando as mudanças no uso do solo e seus impactos no clima local.

4. Considerações Finais

As incertezas em relação às mudanças climáticas ainda representam obstáculos para o planejamento das cidades, apesar deste fato, ações devem ser tomadas para evitar ou minimizar os impactos decorrentes das

possíveis mudanças no clima e das variabilidades climáticas.

Em Recife, diagnosticaram-se mudanças locais relacionadas à precipitação pluviométrica e às temperaturas máxima e mínima durante o período compreendido entre 1961 a 2008. Os índices derivados da precipitação pluviométrica não apresentaram tendências significativas de redução. Apesar do total anual de precipitação pluviométrica não ter sofrido modificação perceptível, constatou-se aumento da frequência de eventos extremos de chuvas a partir da década de 80, com precipitações diárias superiores a 100 mm, ou seja, maior frequência de chuvas intensas em um dia.

É uma realidade que cada vez mais os eventos extremos de chuvas associadas às variabilidades climáticas e possivelmente as mudanças climáticas trazem diversos prejuízos para o homem, principalmente nos grandes centros urbanos dos países mais pobres, como a cidade do Recife. Teme-se que os desastres associados ao aumento da frequência das chuvas extremas produzam mais fatalidades, isso porque têm aumentado o número de pessoas que habitam em áreas de risco sem qualquer infraestrutura adequada, como casas erguidas com argila, taipa e outros materiais frágeis, além dos problemas urbanos como falta de saneamento, lixo nas ruas, solos impermeabilizados, etc., sem estruturas capazes de resistir a eventos extremos. Sem falar, também, no desconhecimento da população, e principalmente do descaso das autoridades sobre o assunto. É preciso ter conhecimento que "as chuvas extremas sempre existiram e sempre irão existir", e que a culpa pelos impactos sociais, econômicos e ambientais não são as chuvas, e sim, a falta de recursos, infraestrutura, educação e política que são os responsáveis pelas consequências dos desastres.

Em relação aos índices associados às temperaturas, todos apontam tendências positivas, indicando aumento das temperaturas máximas e mínimas em torno de 1°C nos 47 anos analisados, constatando-se aumento de ondas de calor na região. Diagnosticaram-se tendências positivas na frequência de noites e dias quentes, consistente com um cenário de aquecimento. Com base nesses resultados é possível inferir que a área em estudo está ficando mais quente, o que indica que é cada vez mais forte a tendência de mudança e não de variabilidade. A tendência de aumento das temperaturas agrava ainda mais a formação das ilhas de calor existentes na cidade, resultado do intenso processo de urbanização ao longo dos anos.

Apesar dos resultados apresentarem mudanças nos índices climáticos derivados da precipitação pluviométrica e das temperaturas máximas e mínimas, estas alterações não necessariamente estão associadas a uma mudança climática global, mas principalmente às ações antropogências através da modificação do espaço, como o

processo de verticalização, impermeabilização do solo, redução de áreas verdes, aumento da frota de veículos, entre outros, todos estes fatores contribuem para alterações do clima local.

5. Agradecimentos

O primeiro autor agradece a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela concessão de bolsa para o desenvolvimento dessa pesquisa, ao INMET pelo fornecimento dos dados e aos autores Zhang e Yang por disponibilizarem gratuitamente o software RClimdex.

6. Referências Bibliográficas

Braganza, K.; Karoly, D.J.; Hirst A.C; Mann, M.E; Stott, P; Stouffer, R.J; Tett S.F.B. (2003). Simple indices of global climate variability and change: Part I - variability and correlation structure, Climate Dynamics, v. 20, n. 5, p. 491-502.

Easterling, D. R.; Alexander, L.; Mokssit, A.; Detemmerman, V. (2003). CCl/CLIVAR workshop to develop priority climate indices. Bulletin of the American Meteorological Society, 84, 1403-1407.

Frich, P.; Alexander, L. V.; Della-Marta, P.; Gleason, B.; Haylock, M.; Tank, A. M. G. K.; Peterson, T. (2002). Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century. Climate Research, 19, 193-212.

Hastenrath, S.; Greischar, L. (1993). Further Work on the Prediction of Northeast Brazil Rainfall Anomalies. Journal of Climate, 6, 743-758.

Haylock, M. R.; Peterson, T. C.; Alves, L. M.; Ambrizzi, T.; Anunciação, Y. M. T.; Baez, J.; Barros, V. R.; Berlato, M. A.; Bidegain, M.; Coronel, G.; Garcia, V. J.; Grimm, A. M.; Karoly, D.; Marengo, J. A.; Marino, M. B.; Moncunill, D. F.; Nechet, D.; Quintana, J.; Rebello,E.; Rusticucci, M.; Santos, J. L.; Trebejo, I.; Vincent, L. A. (2005). Trends in total and extreme South American rainfall 1960-2000 and links with sea surface temperature. Journal of Climate.

Haylock, M. R.; Peterson, T. C.; Alves, L. M.; Ambrizzi, T.; Anunciação, Y. M. T.; Baez, J.; Barros, V. R.; Berlato, M. A.; Bidegain, M.; Coronel, G.; Garcia, V. J.; Grimm, A. M.; Karoly, D.; Marengo, J. A.; Marino, M. B.; Moncunill, D. F.; Nechet, D.; Quintana, J.; Rebello, E.; Rusticucci, M.; Santos, J. L.; Trebejo, I.; Vincent, L. A. (2006). Trends in total and extreme South American rainfall 1960-2000 and links with sea surface temperature. Journal of Climate, v. 19, p. 1490-1512.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL IN CLIMATE CHANGE. (2001). Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Genebra, Suíça.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL

IN CLIMATE CHANGE. (2002). Climate Change and Biodiversity. Cambridge, University Press, 86 p.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL IN CLIMATE CHANGE. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Summary for Policymakers. Disponível em: < http:/www.ipcc.ch/SPM2dez07.pdf> Acesso em: 10 de dezembro de 2007.

ISDR - International Strategy for Disaster Reduction. (2004). Living with Risk: A Global Review of Disaster Reduction Initiatives. ISBN 92-1-101050-0, Sales No.GV.E.03.0.2, Geneva 10, Switzerland. Vol. 1: 454 p., Vol. 2 (Annexes): 130 p.

Manton, M. J.; Della-Marta, P. M.; Haylock, M. R.; Hennessy, K. J.; Nicholls, N.; Chambers, L. E.; Collins, D. A.; Daw, G.; Finet, A.; Gunawan, D.; Inape, K.; Isobe, H.; Kestin, T. S.; Lefale, P.; Leyu, C. H.; Lwin, T.; Maitrepierre, L.; Ouprasitwong, N.; Page, C. M.; Pahalad, J.; Plummer, N.; Salinger, M. J.; Suppiah, R.; Tran, V. L.; Trewin, B.; Tibig, I.; Yee, D. (2001). Trends in extreme daily rainfall and temperature in Southeast Asia and the South Pacific: 1961-1998. International Journal of Climatology, 21, 269-284.

Manton, M. J.; Nicholls, N. (1999). Monitoring trends in extreme climate events. APN Newsletter, 1-3.

Marengo, J.; Tomasella, J.; Uvo, C. (1998). Long-term stream flow and rainfall fluctuations in tropical South America: Amazonia, eastern Brazil and northwest Peru. Journal of Geophysical Research, n. 103, p. 1775-1783.

Nóbrega, R.N. (2008). Modelagem de Impactos do Desmatamento nos Recursos Hídricos da Bacia do Rio Jamari (RO) utilizando dados de Superfície e do TRMM. Campina Grande, PB: UFCG. 2008. 238 pág. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Campina Grande.

Peterson, T. C.; Taylor, M. A.; Demeritte, R.; Duncombe, D. L.; Burton, S.; Thompson, F.; Porter, A.; Mercedes, M.; Villegas, E.; Fils, R. S.; Tank, A. K.; Martis, A.; Warner, R.; Joyette, A.; Mills, W.; Alexander, L.; Gleason, B. (2002). Recent changes in climate extremes in the Caribbean region. Journal of Geophysical Research-Atmospheres, 107, art. no.-4601.

Rocha, E. P. (2001). Balanço de Umidade e Influência de Condições de Contorno Superficiais sobre a Precipitação da Amazônia. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, INPE, São José dos Campos, SP, Brasil.

Santos, C. A. C.; Brito, J. I. B. (2007). Análise dos Índices de Extremos dara o Semi-Árido do Brasil e suas relações com TSM e

IVDN. Revista Brasileira de Meteorologia, v.22, n.3, 303-312.

Santos, C. A. C.; Brito, José Ivaldo Barbosa De; Ramana Rao, T. V. ; Menezes, H. E. A. (2009). Tendências dos índices de precipitação no Estado do Ceará. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 24, p. 39-47.

Silva, G.B.; Azevedo, P.V. (2008). Índices de tendências de mudanças climáticas no Estado da Bahia. Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia, Vol. 5, Nº 3.

Silva, I. F.; Nóbrega, R. S. e Galvíncio, J. G. (maio-agosto 2009). Impacto das Mudanças Climáticas nas Respostas Hidrológicas do Rio Ipojuca (PE) – Parte 2: Cenários de Aumento de Temperatura. Revista Brasileira de Geografia Física (RBGF). Recife-PE, Vol.2 n.02.

Souza, W.M.; Azevedo, P. V. (2009). Avaliação de tendências das temperaturas em Recife-PE: mudanças climáticas ou variabilidade?. Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia. , v.6, p.462 – 472.

Zhang, X., Yang, F. (2004). RClimDex. User Guide. Climate Research Branch Environment Canada. Downsview (Ontario, Canada), 22p.