



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe



Tendências de Mudanças Climáticas na Bacia do Rio Una, Pernambuco – Brasil

Silvana Muniz da Silva Santos¹, Janaina Maria Oliveira de Assis², Werônica Meira de Souza³

¹ Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental do Instituto de Tecnologia de Pernambuco - ITEP, Recife, Pernambuco - Brasil. Email: silvana-muniz@live.com

² Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, Recife, Pernambuco, Brasil. Email: jmoassis@gmail.com

³ Professora da Unidade Acadêmica de Garanhuns da Universidade Federal Rural de Pernambuco – UAG/UFRPE, Garanhuns, Pernambuco, Brasil. Email: weronicameira@gmail.com

Recebido em 18/07/2013 e aceite em 02/04/2014.

RESUMO

Nos últimos anos a bacia do rio Una, localizada no estado de Pernambuco, vem sofrendo desastres causados por cheias. Nos anos de 2000, 2005 e, mais recentemente, em 2010 e 2011, várias cidades da Mata Sul registraram chuvas que foram considerados os maiores da história, podendo ser uma das consequências das possíveis mudanças climáticas ou apenas da variabilidade local do clima, que acabam aumentando a intensidade e o número desses eventos extremos. O objetivo deste trabalho é avaliar a tendência dos índices de detecção de mudanças climáticas dependentes da precipitação pluvial, definidos pela Organização Meteorológica Mundial (OMM). Foram utilizados dados diários de 14 postos pluviométricos da antiga rede de estações pluviométricas da SUDENE, da APAC e do ITEP, os quais apresentaram informações com qualidade confiável de precipitação pluvial com séries históricas de aproximadamente 43 a 49 anos consecutivos, utilizadas de 1963 até 2006 para uns municípios da bacia, e de 1963 até 2012 para outros. Através da utilização do software RCLIMDEX foi possível calcular os índices e suas tendências climáticas. Foram diagnosticadas tendências negativas do índice PRCPTOT e positiva do índice DCU. Na bacia do Una, destaca-se a localidade de Barreiros, localizada no setor leste, que apresentou tendências positivas dos índices R50mm, Rx1day e Rx5day, evidenciado aumento das chuvas intensas (acima de 50 mm) em 24 horas e em cinco dias consecutivos, indicando que o setor leste da bacia do Una está mais sujeita a eventos com chuvas extremas e consequentemente a períodos de enchentes pela ocupação irregular e pelo mau uso do solo.

Palavras-chave: precipitação, bacia hidrográfica, desastres, cheias.

Trends of Climate Change on the Una River Basin, Pernambuco – Brazil

ABSTRACT

In recent years the Una river basin, located in the state of Pernambuco, has suffered disasters caused by floods. In the years 2000, 2005 and most recently in 2010 and 2011, several cities in South Woods recorded rains that were considered the largest in history, being one of the possible consequences of climate change or just variability of the local climate, which end increasing number and intensity of these extreme events. The objective of this study is to evaluate the trend in the rates of detection of climate -dependent changes of rainfall, defined by the World Meteorological Organization (WMO). We used daily data from 14 rainfall stations in the ancient network of rainfall stations SUDENE, APAC and ITEP, which presented information with reliable quality rainfall with historical series of approximately 43 to 49 consecutive years, from 1963 until 2006 used to few municipalities in the basin, and from 1963 to 2012 for others. By using RCLIMDEX software was used to calculate the indices and their climatic trends. Negative trends PRCPTOT positive index and index DCU were diagnosed. In the Una basin, there is the town of Barreiros, located in the eastern sector, which saw positive trends R50mm, Rx1day and Rx5day indexes, evidenced increased intense rainfall (over 50 mm) in 24 hours on five consecutive days, indicating that the eastern sector of the Una basin is subject to more extreme rainfall events and hence the periods of flooding by the illegal occupation and the misuse of land.

Keywords: Precipitation, watershed, disasters, floods.

Introdução

As mudanças climáticas são alterações que ocorrem no clima geral do planeta Terra, e são produzidas em diferentes escalas de tempo em um ou vários fatores meteorológicos como, por exemplo: temperaturas máximas e mínimas, índices pluviométricos, temperaturas dos oceanos, nebulosidade, umidade relativa do ar, promovendo impacto sobre as vidas das gerações atuais e futuras (IPCC, 2007). Ainda de acordo com os 4º relatório do IPCC, (2007), o ano de 2010 foi classificado como o mais quente, considerando a média registrada de temperatura, desde 1998. Também foi um ano marcado por desastres naturais – vulcões, terremotos e enchentes, assim como variações de altas e baixas temperatura. A conclusão é da Organização Meteorológica Mundial (OMM), publicado no 4º relatório do IPCC (2007), ligada às Organizações das Nações Unidas (ONU). Pelos dados da organização, no ranking de anos com temperaturas mais elevadas estão 2010, 2005 e 1998. Para o OMM, outra característica de 2010 foi o elevado número de registros climáticos extremos.

Com a irregularidade na distribuição da população no mundo, é possível estabelecer que a cada ano o percentual de pessoas que habita em áreas onde os desastres naturais como enchentes, secas, ciclones, resultam em numerosos mortos, feridos, bem como em onerosas perdas econômicas vem crescendo, assim como a conscientização e engajamento da população na resolução da problemática (DILLEY et al., 2005; BRAUCH, 2005; CARDONA, 2004). É preciso alertar, desde o início, que o quadro social do mundo agrava os impactos socioambientais das mudanças climáticas. Séculos de segregação social pesam na hora de dimensionar ações para combater as alterações previstas pelos cientistas do Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2007). Parte expressiva da população que vive em áreas de risco estará mais sujeita aos problemas que as camadas mais abastadas e melhor situadas na estrutura social. Por isso, compreender, analisar e propor ações é a primeira medida

para evitar o pior: a perda de vidas humanas decorrentes do aumento de eventos extremos em qualquer parte do mundo.

Segundo relatório do UNDP (2004) desastre natural é um evento físico perigoso que provoca direta ou indiretamente danos extensos que causam perdas materiais, humanas, econômicas e ambientais excedentes à capacidade da comunidade afetada de enfrentar o perigo. O Brasil é um país da América do Sul onde há um número elevado de pessoas afetadas por desastres naturais, seja em função das secas ou das enchentes que assolam o país (MARENGO, 2007). Isto se dar devido ao perfil climático do país, a disponibilidade de água no Brasil está intimamente ligada ao clima, especialmente, durante os meses de verão. Atrasos no início da estação chuvosa podem afetar a agricultura e a geração de energia e, a ocorrência de enchentes e secas de grande escala tem produzido fortes impactos na economia e na população.

Muitas das mudanças observadas no clima e suas causas foram avaliadas no IPCC (2001) onde havia novas e 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 °C, o aumento no nível dos mares causado pela expansão térmica dos oceanos, o derretimento das calotas polares, além das precipitações pluviométricas que apresentaram uma variabilidade mais diferenciada, podendo ora aumentar em algumas regiões, ora diminuir em outras.

A mudança global do clima vem se expandindo de diversas maneiras, destacando-se uma maior frequência e intensidade de fenômenos climáticos extremos (IPCC, 2007). Suas consequências, na região tropical quente e úmida podem ser analisadas a partir da identificação dos processos que influenciam o padrão das distribuições pluviométrica tanto espacial quanto temporal. Sobretudo porque não se pode esquecer a irregularidade na distribuição dos índices pluviométricos, associado à alta variabilidade interanual da

precipitação na região tropical, com anos secos e outros chuvosos. Assim sendo, o aquecimento do clima observado ao longo dos últimos anos está consistentemente associado às mudanças dos componentes do ciclo hidrológico e do sistema hidrológico, tais como os padrões de precipitação.

A crescente preocupação está associada aos diversos estudos e observações que mostram um incremento na frequência e intensidade de desastres naturais associados às variabilidades climáticas e possivelmente às mudanças climáticas (SOUZA, 2011). Essas variabilidades climáticas exercem uma influência bastante significativa sobre as atividades humanas, uma vez que alteram a temperatura, a precipitação e a frequência de eventos extremos como: secas e chuvas intensas, resultando em impactos na agricultura, nos recursos hídricos, na saúde, sobre o meio ambiente, em diversas escalas.

Associada a outros eventos naturais, o processo climático de chuvas intensas é o mais comum e frequentemente registrado no Nordeste do Brasil. Em Pernambuco, a precipitação é uma das variáveis meteorológicas mais importantes, sua variabilidade espacial e temporal é determinante para caracterizar o clima local

(ASSIS, 2012). Na Zona da Mata Pernambucana este fenômeno ocorre normalmente durante a quadra chuvosa, que vai de abril a julho (MENEZES, 2008). Essa característica tem como consequência ocorrências de desastres relacionados às inundações e alagamentos. Tais fenômenos também estão ligados à ocupação humana em áreas susceptíveis (SANTOS E BRITO 2007), a riscos naturais como, por exemplo, áreas marginais aos cursos de água. Diante do exposto, o presente trabalho tem como objetivo analisar as tendências climáticas relacionadas à precipitação pluviométrica e seus impactos na bacia do rio Una, localizada na Zona da Mata, estado de Pernambuco. A escolha desta bacia se deu em função principalmente dos eventos extremos que ocorreram nesta última década.

Material e métodos

Localização da área de estudo

A bacia hidrográfica do rio Una (UP 5) está situada entre $8^{\circ} 17' 14''$ e $8^{\circ} 55' 28''$ de latitude sul, e $35^{\circ} 07' 48''$ e $36^{\circ} 42' 10''$ de longitude a oeste de Greenwich. Por sua configuração, estende-se desde a região Agreste até o litoral do Estado (Figura 1).

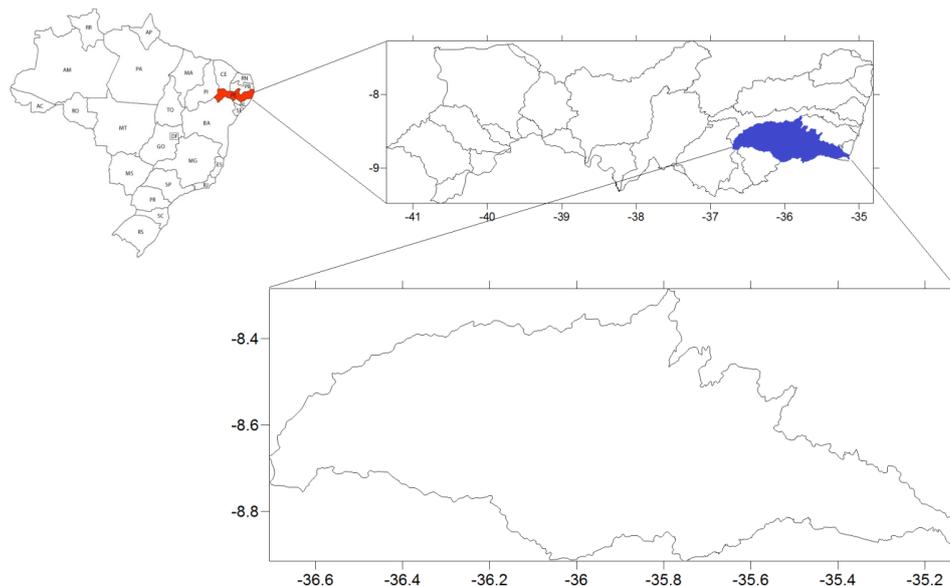


Figura 1. Localização espacial da bacia do rio Una – Pernambuco.

Esta unidade hídrica faz parte de áreas de duas Mesorregiões (Agreste Pernambucano e Mata Pernambucana), de quatro Microrregiões (Vale do Ipojuca, Garanhuns, Brejo Pernambucano e Mata Meridional Pernambucana) e de três Regiões de Desenvolvimento: Agreste Meridional, Agreste Central e Mata Sul (PERNAMBCO, 2006).

O clima da região da bacia hidrográfica em estudo está caracterizado da seguinte forma: na área costeira, localizada na Zona da Mata, apresenta-se quente e úmido, com totais anuais de precipitação elevados (superiores a 1.000 mm). Os maiores índices pluviométricos tem duração de seis meses, iniciando-se no mês de março e prolongando-se até julho/agosto. A região do Agreste Pernambucano é uma área intermediária entre a Zona da Mata e o Sertão, apresentando similaridade ora com uma, ora com outra região. A bacia do rio Una possui claramente esses dois comportamentos climáticos, tendo o espaço territorial do município de Agrestina como o limite desses dois regimes climáticos. As áreas do Agreste mais próxima do Sertão tem o mês de março como o mês mais chuvoso (a precipitação anual média está entre 600 e 800 mm), salientando-se que estas precipitações são menos concentradas do que no Sertão. Já nas áreas da região localizadas próxima da Zona da Mata, o mês mais chuvoso é junho (PERNAMBUCO, 2006).

Dados pluviométricos

Nessa pesquisa foram utilizados dados diários de precipitação pluviométrica, obtidos do banco de dados do Instituto de Tecnologia de Pernambuco (ITEP). Foram analisados, primeiramente, todos os postos pluviométricos existentes na área de estudo, entretanto muitos deles apresentavam dados

faltosos na série pluviométrica, dessa forma, após uma avaliação da qualidade dos dados, foram selecionados 14 postos pluviométricos, localizados em diferentes municípios, os quais apresentaram uma boa distribuição espacial da bacia do rio Una.

Foram utilizadas séries históricas de precipitação pluviométrica com dois períodos distintos, que foram divididas em 2 grupos, de 43 anos e 49 anos, respectivamente. No primeiro grupo, todos os 14 postos foram analisados do período de janeiro 1963 a dezembro de 2006, nesse grupo de postos pluviométricos, não foram utilizados dados mais recentes em função da falta de disponibilidade desses dados, uma vez que alguns desses postos pluviométricos foram desativados no ano de 2007, entretanto como apresentam mais de 30 anos de dados observados, julgou-se satisfatório utilizar-se a série de dados até o ano de 2006. O segundo grupo, com 7 postos pluviométricos, foi analisado o período de janeiro de 1963 a dezembro de 2012. Este segundo grupo corresponde a 7 postos pluviométricos já analisados no primeiro grupo, sendo os únicos a permanecerem ativos até o ano de 2012. Jugou-se pertinente fazer uma nova análise desses 7 postos pluviométricos com o intuito de verificar se houveram mudança no comportamento pluviométrico nesse período de 6 anos (2006 - 20012).

Na Tabela 1 estão indicados os postos pluviométricos que foram utilizados na pesquisa, juntamente com suas respectivas coordenadas geográficas. Os postos utilizados no segundo grupo (1963 – 2012) estão realçados na Tabela, lembrado que eles também foram utilizados nas análises do primeiro grupo. Estas estações pluviométricas estão espacialmente bem distribuídas na área de estudo, conforme mostra a Figura 2.

Tabela1. Postos pluviométricos utilizados e suas respectivas coordenadas geográficas.

POSTOS PLUVIOMÉTRICOS	LONGITUDE	LATITUDE
Altinho	-36,0597 O	-8,4906 S
Barreiros	-35,1975 O	-8,8142 S
Cachoeirinha	-36,2375 O	-8,4839 S

Gameleira	-35,3878 O	-8,6817 S
Ibirajuba	-36,1778 O	-8,5828 S
Jucati	-36,4675 O	-8,6989 S
Jurema	-36,1369 O	-8,7181 S
Lajedo	-36,3178 O	-8,6556 S
Palmares	-35,5797 O	-8,6783 S
Panelas	-36,0078 O	-8,6633 S
Pesqueira	-36,6072 O	-8,6167 S
Quipapá	-36,0125 O	-8,8275 S
São Bento do Una	-36,4594 O	-8,5272 S
São Joaquim do Monte	-35,8133 O	-8,4328 S

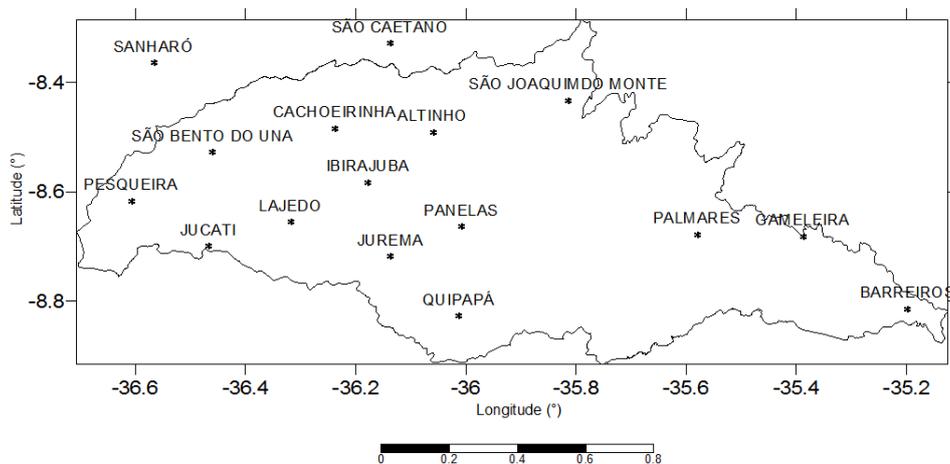


Figura 2. Distribuição espacial dos postos pluviométricos na área de estudo.

Software RCLimdex 2.13.1

O software RCLimdex, recomendado pela OMM é um programa utilizado para o processamento e controle de qualidade dos dados. É baseado no Microsoft Excel, que proporciona um pacote computacional R que é usado no cálculo de índices de extremos climáticos para monitorar e detectar mudanças climáticas. Este software é de distribuição gratuita e está disponível no *website* dos índices da Expert Team for Climate Change Detection Monitoring and Indices - ETCCDMI (<http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDMI>). O mesmo calcula todos os 27 índices básicos (12 para precipitação e 15 para temperatura) recomendados pelo ETCCDMI e fornece, para cada índice calculado, informações

estatísticas, tais como tendência linear calculada pelo método de mínimos quadrados, nível de significância estatística da tendência (valor p), coeficiente de determinação (R^2) e erro padrão de estimativa, além dos gráficos das séries anuais (SANTOS e BRITO, 2007). O valor p calculado pelo teste F representa o nível de significância estatística, caso o valor de p de um índice qualquer seja igual ou inferior a 0,1 a tendência do índice é estatisticamente significativa em 90%, se for igual ou inferior a 0,05 em 95% e para p menor que 0,01 tem-se uma tendência com significância estatística de 99%.

O RCLimdex, foi aplicado, nessa pesquisa, para o cálculo de cinco índices climáticos provenientes da precipitação pluviométrica, conforme está apresentado no Quadro 1.

Quadro 1. Índices climáticos dependente da precipitação pluviométrica diária com definições e unidades.

ÍNDICE	NOME DO INDICADOR	DEFINIÇÃO	UNIDADE
PRCPTOT	Precipitação total anual nos dias úmidos	Precipitação total anual nos dias úmidos ($RR^* \geq 1\text{mm}$)	mm
R50mm	Número de dias com precipitação acima de 50 mm	Número de dias por ano em que a precipitação foi $\geq 50\text{mm}$	dias
Rx1day	Quantidade máxima de precipitação em 1 dia	Máximo mensal de precipitação em 1 dia	mm
Rx5day	Quantidade máxima de precipitação em 5 dias consecutivos	Máximo mensal de precipitação em 5 dias consecutivos	mm
DUC	Dias úmidos consecutivos	Número máximo de dias consecutivos $RR \geq 1\text{mm}$	dias

*RR indica precipitação diária

Os índices climáticos básicos, definidos pelo ETCCDMI, utilizados foram os seguintes:

PRCPTOT (Precipitação total anual dos dias úmidos*)

Seja RR_{ij} a quantidade diária de precipitação num dia i de um período j . Se I representa o número de dias em j , tem-se:

$$PRCPTOT_j = \sum_{i=1}^I RR_{ij}$$

*Considera-se dias úmidos, os dias com precipitação igual ou acima de 1 mm (RCLIMDEX 1.0 – MANUAL DEL USUARIO, 2004).

Rnn (Número de dias acima de nn mm)*

Seja ij RR a quantidade diária de precipitação em um dia i de um período j . Se * nn representa qualquer valor razoável de precipitação diária então, soma-se, então, o número de dias em que:

$$RR_{ij} \geq nn\text{mm}$$

* Neste estudo foi observado $nn = 50$ mm, pois com isto se pode observar o comportamento deste índice, de chuva extrema, na região.

Rx1day (Quantidade máxima de precipitação em um dia)

Seja ij RR o total diário de precipitação num dia i e num período j ; logo, os valores máximos de 1 dia para o período j são:

$$Rx1day_j = \max(RR_{ij})$$

Rx5day (Quantidade máxima de precipitação em cinco dias consecutivos)

Seja kj RR a quantidade de precipitação para o intervalo de cinco dias terminando no dia k do período j ; então, os valores máximos de 5 dias para o período j são:

$$Rx5day_j = \max(RR_{kj})$$

DCU (Dias úmidos consecutivos)

Seja a quantidade diária de precipitação em um dia i no período j . Quanto maior o número de dias consecutivos onde:

$$RR_{ij} \geq 1\text{mm}$$

Resultados

Os valores das tendências temporais, dos índices de extremos climáticos estão apresentados na Tabela 2, para as sete localidades selecionadas da bacia do Una, do período de 1963 a 2012. Nela está a

precipitação total anual (PRCPTOT), dias com precipitação acima de 50 mm (R50mm), máximo mensal de precipitação em 1 dia (Rx1day), máximo mensal de precipitação em 5 dias consecutivos (Rx5day) e dias secos consecutivos (DCU). Os valores destacados em negrito apresentam ótima significância estatística ($p < 0,05$), em itálico boa significância estatística ($p < 0,1$). Os índices

que apresentaram o valor do p superior a 0,1 ($p > 0,1$) não são estatisticamente significantes, com a magnitude das tendências inferiores aos seus erros padrões de estimativa, dessa forma não é seguro afirmar que estas tendências estão realmente ocorrendo. Entretanto seus índices foram calculados e suas tendências fornecidas.

Tabela 2. Postos pluviométricos do período de 1963 a 2012.

POSTOS PLUVIOMÉTRICOS	LONGITUDE	LATITUDE	PRCPTOT	R50mm	Rx1day	Rx5day	DCU
Barreiros	-35,1975	-8,8142	-5,32*	<i>0,08*</i>	1,49*	2,97*	-0,10
Cachoeirinha	-36,2375	-8,4839	<i>4,49*</i>	0,01	0,21	0,55	0,09*
Gameleira	-35,3878	-8,6817	-3,22	-0,04	0,17	0,55	0,19*
Jucati	-36,4675	-8,6989	-3,53*	-0,02	<i>-0,42*</i>	-0,58	0,17*
Palmares	-35,5797	-8,6783	-5,28	-0,01	-0,10	0,59	0,03
Quipapá	-36,0125	-8,8275	-3,82	0,01	-0,14	0,28	-0,02
São Bento do Una	-36,4594	-8,5272	1,53	0,02	0,27	0,33	0,02

* marcados em negrito apresentem uma ótima significância estatística, marcados em itálico apresentam uma boa significância estatística.

Analisando os índices climáticos das sete localidades estudadas na bacia do Una, no período de 1963 a 2012, observaram-se mudanças na precipitação total anual (PRCPTOT), com tendência de diminuição em cinco delas e tendência de aumento em duas, como é mostrado na Figura 3. Pode-se constatar, também, que para o período analisado, a taxa de redução anual da pluviometria foi de 3,22 mm.ano⁻¹ a 5,32

mm.ano⁻¹, com destaque para o município de Barreiros que apresentou o maior índice negativo de redução pluviométrica. Por outro lado o município de Gameleira apresentou a menor taxa de redução da precipitação com um decréscimo apenas de 3,22 mm.ano⁻¹. Em relação às tendências positivas do índice PRCPTOT, teve destaque o município de Cachoeirinha, com um aumento da precipitação de 4,49 mm.ano⁻¹.

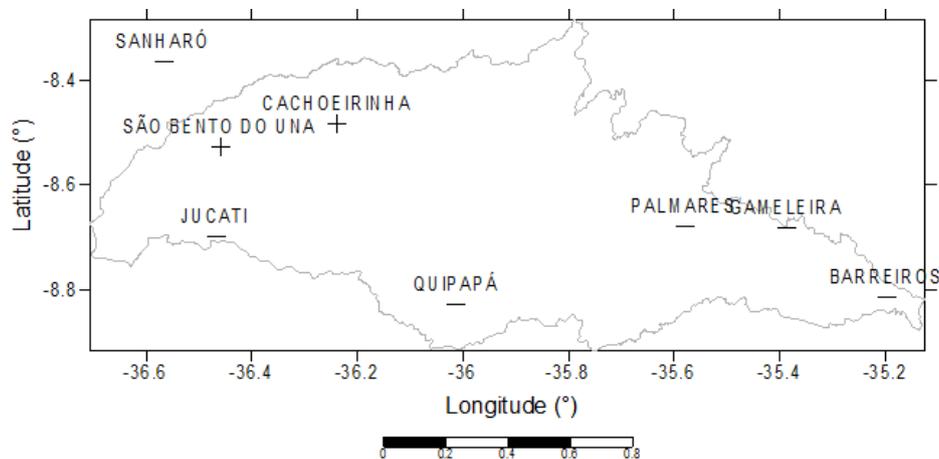


Figura 3. Distribuição espacial da Precipitação Total Anual (PRCPTOT) em mm/ano, do período de 1963 a 2012.

Com relação à distribuição espacial das tendências do índice de dias com precipitação acima de 50 mm (R50mm) em dias/ano (Figura 4), observa-se que houve tendências tanto positivas quanto negativas. O município de Barreiros foi o único que apresentou boa significância estatística, com a taxa de 0,08 dias.ano⁻¹, podendo afirmar que, nesse município, o número de dias com chuvas intensas tem aumentado ao longo do período estudado de 1963 a 2012, embora para o mesmo município o total anual de chuvas tenha apresentado tendência de diminuição. Os municípios de São Bento do Una, Cachoeirinha e Quipapá, apresentaram igualmente tendência de aumento do número de dias com precipitação superior a 50 mm, embora sem significância estatística, entretanto reforçando a evidência de tendências positivas. Já os municípios de Gameleira, Palmares e Jucati, que também não se mostraram significantes

estatisticamente, apresentaram tendência negativa para o mesmo índice climático. Resalta-se que nesses três municípios ocorreu também a diminuição da precipitação total anual, nesse caso, prevalecendo as tendências negativas. Esse índice extremo climático de número de dias com chuvas acima de 50 mm, que de acordo com a literatura para o Nordeste do Brasil é considerado como chuva intensa, é bastante importante na análise dessa bacia, uma vez que a região é sujeita à eventos de cheias, como exemplo dos últimos episódios que ocorreu nos anos de 2010 e 2011 e devastou cidades da Mata Sul do estado de Pernambuco. De acordo com Pernambuco 2011, “as enchentes foram ocasionadas devido às mudanças climáticas, que vem provocando chuvas mais intensas, às características do relevo das bacias hidrográficas e à ocupação indevida de áreas do leito do rio para construções residenciais e comerciais”.

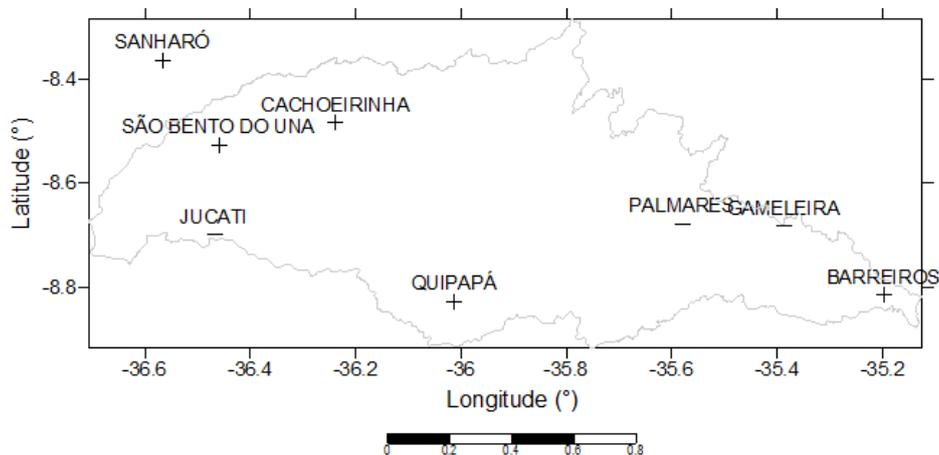


Figura 4. Distribuição espacial do Número de dias com precipitação acima de 50 mm (R50mm), do período de 1963 a 2012.

A análise dos resultados mostrou tendência tanto positiva quanto negativa para o índice Rx1day (Figura 5), apresentando tendência de diminuição para três dos sete municípios estudados na bacia do Una, no período de 1963 a 2012, que foram: Palmares, Quipapá e Jucati. Dentre eles, apenas o município de Jucati apresentou significância estatística, dessa forma, é o único município que se pode afirmar que realmente houve diminuição mensal da quantidade máxima de precipitação em um dia, com a taxa negativa de 0,42

mm.ano⁻¹. Os municípios de Barreiros, Gameleira, Cachoeirinha e São Bento do Una apresentaram tendência positiva do índice Rx1day para o mesmo período analisado, entretanto apenas o município de Barreiros se mostrou significativo estatisticamente, com o índice da tendência linear superior ao erro padrão de estimativa e, portanto é o único município que se pode afirmar categoricamente que apresentou tendência positiva de 1,49 mm.ano⁻¹.

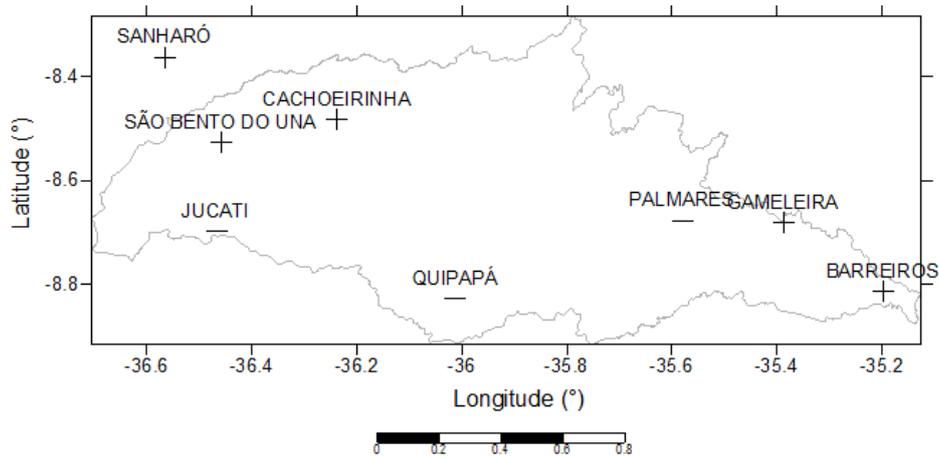


Figura 5. Distribuição espacial da Quantidade máxima de precipitação em 1 dia (Rx1day), no período de 1963 a 2012.

A Figura 6 mostra a distribuição espacial das tendências do índice de quantidade máxima de precipitação em cinco dias consecutivos em mm/ano (Rx5day). Nota-se que houve predominância de tendências positivas, apresentando apenas uma localidade com valor negativo, entretanto sem significância estatística. Com relação às localidades significantes estatisticamente, apenas uma delas apresentou tal característica, que foi o

município de Barreiros, localizado no sudeste da bacia, que apresentou uma taxa positiva de $2,97 \text{ mm.ano}^{-1}$. Esse resultado mostra que no município de Barreiros ocorreu um aumento na precipitação em cinco dias consecutivos, tornando esses eventos chuvosos mais intensos e, segundo Santos e Brito (2007), chuvas intensas prolongadas podem causar grandes perdas econômicas.

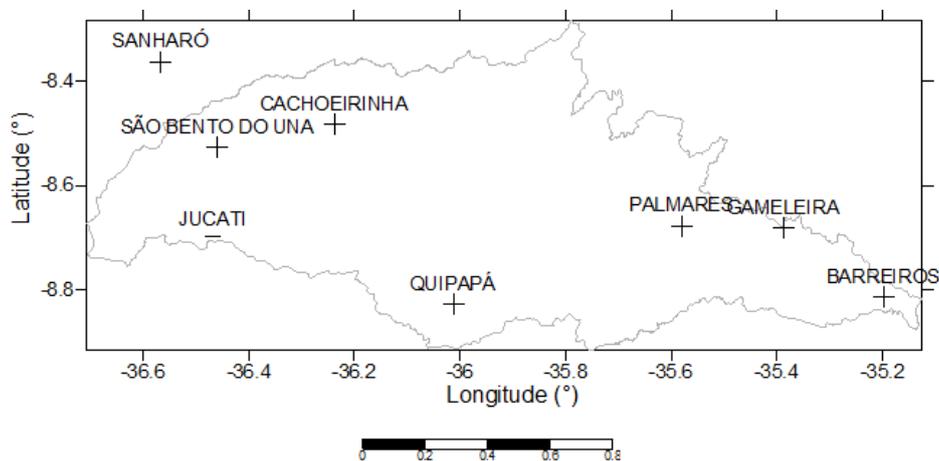


Figura 6. Distribuição espacial da Quantidade máxima de precipitação em 5 dias consecutivos (Rx5day), no período de 1963 a 2012

Na Figura 7 observa-se a distribuição espacial das tendências do índice DUC, em dias/ano. Esse índice corresponde ao número de dias consecutivos com chuva, em um ano. Das sete localidades, cinco apresentaram tendência positiva e duas apresentaram tendência negativa, essas duas localidades com

tendências negativas estão localizadas ao sul da bacia e não mostraram significância estatística. Das tendências positivas, os municípios de Cachoeirinha Gameleira e Jucati apresentaram todos ótima significância estatística, onde o valor de probabilidade “p” foi inferior a 0,05, apresentando uma

tendência com significância estatística de 99%. Dessa forma, se evidencia que ocorreram mudanças nessas localidades, todas mostrando aumento do número de dias consecutivos com chuva, apresentando uma

taxa de 0,09 dias.ano⁻¹, 0,19 dias.ano⁻¹ e 0,17 dias.ano⁻¹, para os municípios de Cachoeirinha, Gameleira e Jucati, respectivamente.

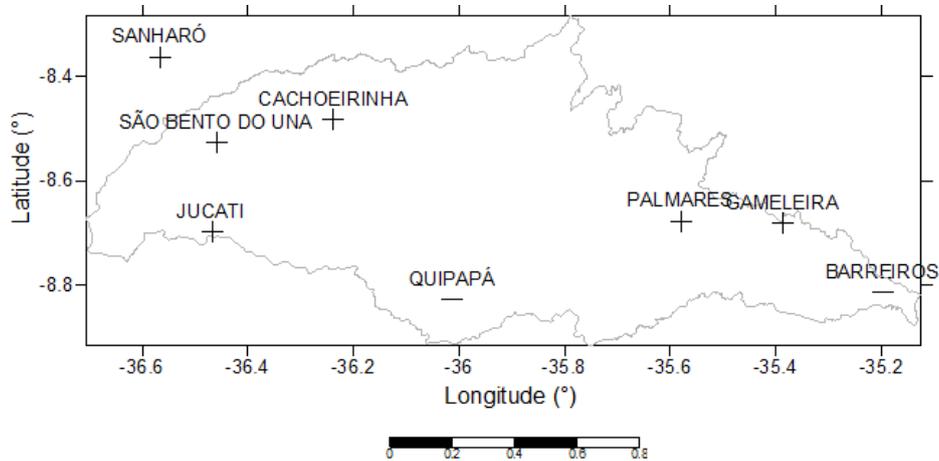


Figura 7. Distribuição espacial da Quantidade de Dias úmidos consecutivos (DUC), do período de 1963 a 2012.

Na Tabela 3 estão apresentados os valores das tendências temporais dos índices climáticos de 14 localidades da bacia hidrográfica do rio Una, do período de 1963 a 2006, dessas 14 localidades, sete delas correspondem às mesmas analisadas no período de 1963 a 2012, entretanto, suas séries foram reduzidas para apresentarem o mesmo período de tempo das demais que só possuíam dados pluviométricos até o ano de 2006. Da mesma forma da análise para o período anterior, serão analisados os índices de a precipitação total anual (PRCPTOT), dias com precipitação acima de 50 mm (R50mm), máximo mensal de precipitação em 1 dia (Rx1day), máximo

mensal de precipitação em 5 dias consecutivos (Rx5day) e dias secos consecutivos (DCU). Os valores destacados em negrito apresentam ótima significância estatística ($p < 0,05$), em itálico boa significância estatística ($p < 0,1$). Os índices que apresentaram o valor do p superior a 0,1 ($p > 0,1$) não são estatisticamente significantes, com a magnitude das tendências inferiores aos seus erros padrões de estimativa, dessa forma não é seguro afirmar que estas tendências estão realmente ocorrendo. Entretanto seus índices foram calculados e suas tendências fornecidas.

Tabela 3. Postos pluviométricos do período de 1963 a 2006.

POSTOS PLUVIOMÉTRICOS	LONGITUDE	LATITUDE	Preptot	R50mm	Rx1day	Rx5day	DCU
Altinho	-36,0597	-8,4906	-1,73	-0,005	-0,27	-0,33	0,07*
Ibirajuba	-36,1778	-8,5828	-6,06*	-0,01	-0,20	-0,69	-0,05*
Jurema	-36,1369	-8,7181	-12,42*	-0,08*	-1,19*	-1,89*	0,02
Lajedo	-36,3178	-8,6556	-11,05*	-0,03	-0,19	-1,01*	-0,01
Panelas	-36,0078	-8,6633	-5,70*	-0,06	-0,23	-0,64*	0,01
Pesqueira	-36,6072	-8,6167	-8,75*	-0,06	0,38	0,42	-0,01
São Joaquim do Monte	-35,8133	-8,4328	-7,92*	0,004	-0,33	-0,27	0,22
Barreiros	-35,1975	-8,8142	-7,25	0,093*	1,18*	3,83*	-0,187*

Cachoeirinha	-36,2375	-8,4839	-0,28	-0,02*	-0,26	-0,251	0,086*
Gameleira	-35,3878	-8,6817	2,40	0,00	-0,135	0,45	0,189*
Jucati	-36,4675	-8,6989	-8,44*	-0,04*	-0,59*	-0,78	0,107*
Palmares	-35,5797	-8,6783	-9,61*	-0,009	-0,93*	-0,513	-0,001
Quipapá	-36,0125	-8,8275	-7,193*	-0,014	-0,32*	-0,256	-0,016
São Bento do Una	-36,4594	-8,5272	-1,00	0,015	0,376	-0,317	0,042

Na análise dos resultados do índice climático PRCPTOT, observa-se que houve mudanças no padrão da precipitação no período de 1963 a 2006, onde predominou uma diminuição da precipitação total anual. Com exceção do município de Gameleira, todos os outros apresentaram tendências negativas (Figura 8), que variaram de 0,28 mm.ano⁻¹ a 12,42 mm.ano⁻¹. Teve destaque o município de Jurema, que mostrou a maior taxa de diminuição da precipitação anual e apresentou uma ótima significância estatística, com o valor de probabilidade $p < 0,05$. Dos 14 municípios analisados, nove deles apresentaram significância estatística. Dessa forma, se evidencia a forte tendência a uma diminuição do regime de chuvas em toda a bacia do Una. Esses resultados são

compatíveis com os resultados encontrados por Assis (2012) em seu estudo para as bacias do Brígida e Pajeú, no período de 1964 a 2004, com 19 postos pluviométricos, em que encontrou tendência de diminuição da precipitação. Moncunill (2006), também identificou uma tendência negativa na precipitação para o estado do Ceará, em sua pesquisa que utilizou 32 estações pluviométricas para o período de 1974 a 2003, em que encontrou tendência negativa em 27 das 32 localidades analisadas. Por outro lado, Santos e Brito (2007) encontrou resultados opostos na análise do mesmo índice (PRCPTOT) para os estados da Paraíba e Rio Grande do Norte, onde ele encontrou o aumento da tendência da precipitação total anual.

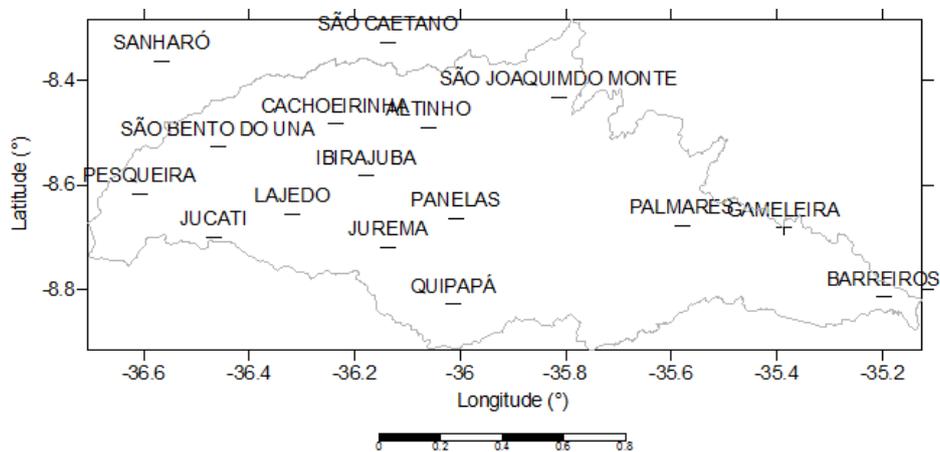


Figura 8. Distribuição espacial da Precipitação Total Anual (PRCPTOT), do período de 1963 a 2006.

Analisando o índice do número de dias com precipitação acima de 50 mm (R50mm), observa-se que houve uma predominância de tendências negativas, onde apenas três dos 14 municípios analisados apresentaram tendência positiva (Figura 9). Ressalta-se que o município de Barreiros foi o único que apresentou aumento do índice R50mm (0,09 dias.ano⁻¹) e apresentou também um aumento

na quantidade da precipitação total, reforçando assim as evidências de tendências positivas para esse município. Além do município de Barreiros, o de São Bento do Una, apresentou tendência positiva igualmente ao período analisado anteriormente, de 1963 a 2012, já o município de Gameleira, que na análise anterior tinha apresentado diminuição do número de dias com chuvas intensas, nessa

nova análise apresentou tendência de aumento desse índice. Vale salientar que dentre os três municípios com tendências de aumento do número de dias com chuva intensa, o município de Barreiros foi o único deles que apresentou significância estatística. Em

relação aos municípios com tendências negativas, três se mostraram estatisticamente significantes, que foram Jurema, Cachoeirinha e Jucati, com taxa negativa de 0,08 dias.ano⁻¹, 0,02 dias.ano⁻¹ e 0,04 dias.ano⁻¹, respectivamente.

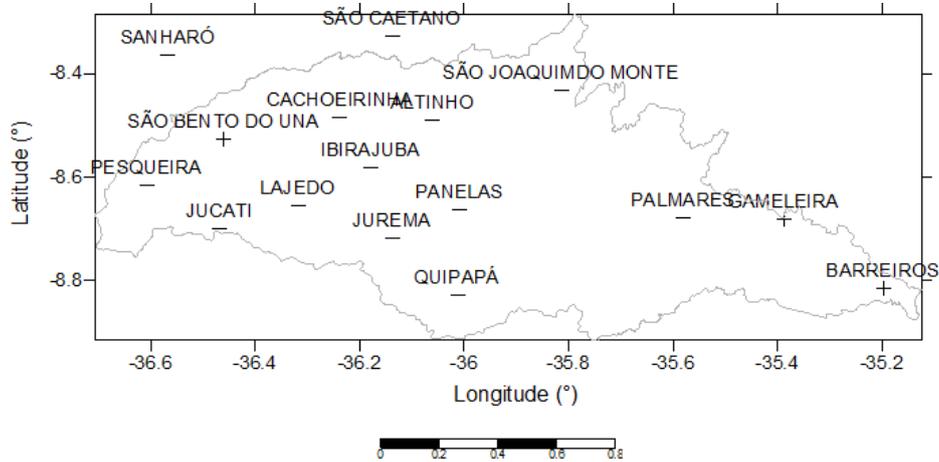


Figura 9. Distribuição espacial do Número de dias com precipitação acima de 50 mm (R50mm), do período de 1963 a 2006.

Em relação ao índice da quantidade máxima de precipitação em um dia (Rx1day), observa-se que no extremo oeste da bacia do Una e no sudeste da bacia, houve tendências positivas, mais precisamente nos municípios de Barreiros, Pesqueira e São Bento do Una. Nos demais municípios há uma predominância de tendências negativas. Em relação aos municípios com significância estatística, quatro deles apresentaram diminuição da quantidade máxima de precipitação em um dia, que foram Jurema (1,19 mm/ano⁻¹), Jucati (0,59 mm/ano⁻¹), Palmares (0,93 mm/ano⁻¹) e Quipapá (0,32 mm/ano⁻¹), dessa forma se pode afirmar que nesses municípios houve realmente uma diminuição mensal da

quantidade máxima de precipitação em um dia. Já o município de Barreiros foi o único que apresentou significância estatística dentre os municípios com tendência positiva, em que o índice da tendência linear foi superior ao erro padrão de estimativa e, portanto, é o único município que se pode afirmar categoricamente que apresentou tendência positiva, com uma taxa de 1,18 mm/ano⁻¹. Comparando-se esse resultado dos anos de 1963-2006 com os resultados da análise anterior (1963-2012), constata-se que o município de Barreiros apresentou características semelhantes. A Figura 10 mostra distribuição espacial do índice climático Rx1day.

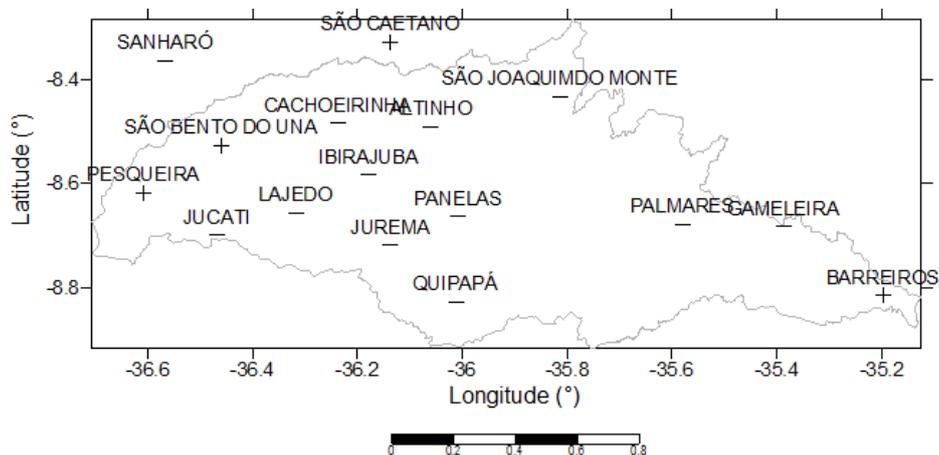


Figura 10. Distribuição espacial da Quantidade máxima de precipitação em 1 dia, no período de 1963 a 2006.

Na análise do índice de quantidade precipitação máxima em cinco dias consecutivos (Rx5day), em mm/ano (Figura 11), se observa características similares ao índice Rx1day, em que apresenta igualmente a predominância de tendências negativas e apenas três municípios com tendências positivas, localizados também no leste e sudeste da bacia do Una, no período de 1963 a 2006. O município de Barreiros mais uma vez se destaca na análise, uma vez que foi o

único município com tendência positiva a apresentar uma ótima significância estatística, o que confere 99% de confiabilidade ao resultado apresentado. Dentre os 11 municípios que apresentaram tendências negativas, apenas três deles são estatisticamente significantes, que são Jurema, Lajedo e Panelas, com taxas de diminuição da precipitação máxima em cinco dias de $1,89 \text{ mm/ano}^{-1}$, $1,01 \text{ mm/ano}^{-1}$ e $0,64 \text{ mm/ano}^{-1}$, respectivamente.

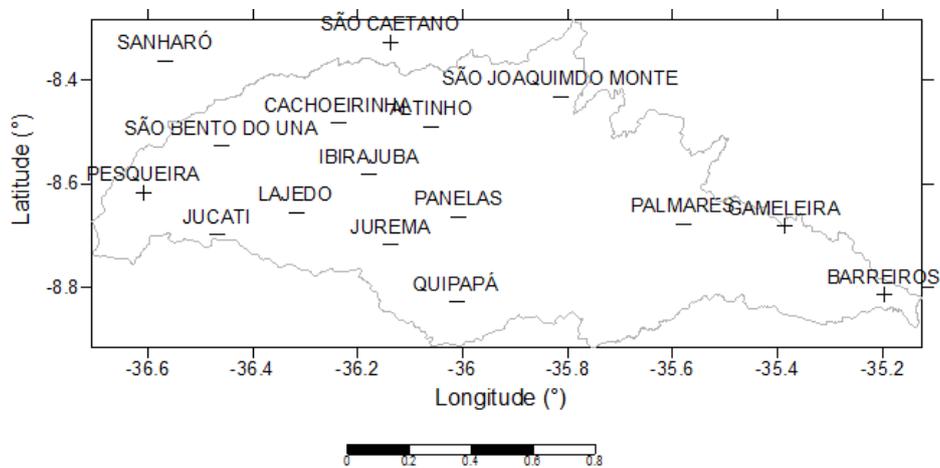


Figura 11. Distribuição espacial da Quantidade máxima de precipitação em 5 dias consecutivos, no período de 1963 a 2006

Na Figura 12 em dias/ano, no período de 1963 a 2006. Dos 14 municípios analisados, oito apresentaram tendências positivas, entretanto dentre eles, apenas quatro se mostraram estatisticamente significantes, que foram: Altinho, Cachoeirinha, Gameleira e Jucati. Dentre os seis municípios que apresentaram tendências negativas, Ibirajuba e Barreiros foram os únicos que apresentaram significância estatística, sendo portanto os

únicos que se pode afirmar que houve realmente redução do dias seguidos com chuva. Fazendo-se uma comparação entre esse período analisado (1963-2006) e o período que foi analisado anteriormente (1963-2012), nota-se que, com exceção do município de Palmares, que antes mostrava tendência positiva e na nova análise apresentou tendência negativa, os seis demais apresentaram as mesmas características.

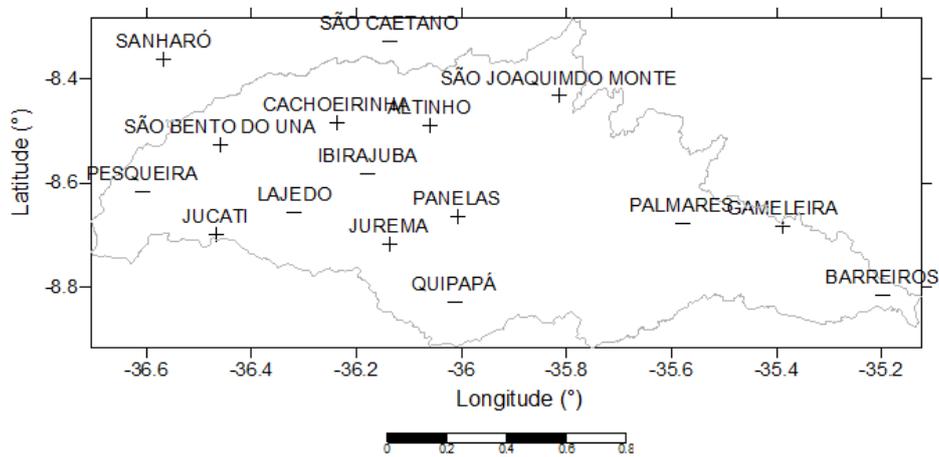


Figura 12. Distribuição espacial da quantidade de dias úmidos consecutivos, do período de 1963 a 2006.

Conclusão

Observou-se que ocorreram mudanças locais na precipitação média da bacia hidrográfica do Rio Una, seja esta para evidenciar o aumento ou a diminuição das precipitações analisadas. Os índices de PRCPTOT (Precipitação Total Anual dos Dias Úmidos), no período de 1963 a 2012, tiveram comportamento diferenciado, uma vez que cinco dos sete municípios analisados apresentaram tendência de diminuição de precipitação, enquanto dois apresentaram tendência de aumento da precipitação. Ao observar-se a distribuição espacial da Precipitação Total Anual (PRCPTOT) em mm/ ano, no mesmo período de 1963 a 2012, destacam-se os anos de 1993 e 1998 foram considerados anos de secas extremas no Nordeste brasileiro. Os índices de R50mm (Número de dias com Precipitação acima de 50mm.), evidenciam que houve tendências tanto positivas quanto negativas, no período de 1963 a 2012. Nesse período o município de Barreiros apresentou um número de dias com chuvas intensas maiores, apesar do total anual de chuvas ter apresentado tendência de diminuição. Os demais municípios apresentaram índices estatísticos de pouca expressão. Vale salientar que este índice é de grande importância para bacia do rio Una uma vez que a área está sujeita a períodos de enchentes pela ocupação irregular e pelo mal uso do solo. Na análise para o índice Rx1day (Quantidade Máxima de Precipitação em 1 Dia), pode-se afirmar que o município de Jucati foi deles o que apresentou significância estatística, dessa forma, observa-se realmente

que houve uma diminuição mensal da quantidade máxima de precipitação em um dia, com a taxa negativa de $0,42 \text{ mm.ano}^{-1}$. No índice Rx5day (Quantidade Máxima de Precipitação, em 5 Dias Consecutivos), observa-se que houve predominância de tendências positivas, e que no município de Barreiros ocorreu um aumento na precipitação em cinco dias consecutivos, tornando esses eventos chuvosos mais intensos. Na análise das tendências lineares da quantidade de máxima de precipitação em 5 dias consecutivos os municípios de Cachoeirinha, Gameleira, Palmares e Quipapá no ano de 2010 apresentou grandes picos de chuva dentro de cinco dias. Na distribuição espacial das tendências do índice DUC (Dias Úmidos Consecutivos) em dias/ano, se evidencia que ocorreram mudanças em algumas localidades, mostrando assim um aumento do número de dias consecutivos com chuva, apresentando uma taxa de $0,09 \text{ dias/ano}^{-1}$, $0,19 \text{ dias/ano}^{-1}$ e $0,17 \text{ dias/ano}^{-1}$.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Instituto de Tecnologia de Pernambuco (ITEP) e à Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC), pela concessão dos dados de precipitação pluviométrica, aos autores do RCLimdex, Xuebin Zhang e Feng Yang por disponibilizarem o “software” gratuitamente.

Referências

Dilley, M. R. S.; Chen, B.; Deichma A. U.; Lerner- Lam, A.; Arnold, M. 2005. Natural disaster hotspots: a global risk analysis. Washington: World Bank Publications.

Cardona, O. D. 2004. The need for rethinking the concepts of vulnerability and risk from a holistic perspective: a necessary review and criticism for effective risk management. *In*: Bankoff, G.; Frerks, G.; Hilhorst, D. (Eds.). Mapping vulnerability: disasters, development, and people. London: Earthscan Publications.

Bracuch, H. G. 2005. Treats, challenges, vulnerabilities and risks in environmental and human security. Bonn: SOURCE (Studies of the University: research, counsel, education)/UNU-EHS, n. 1.

UNDP. 2004. Reducing disaster risk: a challenge for development, a global report. UNDP Bureau for Crisis Prevention and Recovery. New York: UNDP,

Marengo, J. A. 2007. Mudanças Climáticas Globais e seus Efeitos sobre a Biodiversidade: Caracterização do Clima Atual e Definição das Alterações Climáticas para o Território Brasileiro ao Longo do Século XXI. Ministério de Meio Ambiente, Brasília,

Intergovernmental panel on climate change – IPCC. 2001. “Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change”. Cambridge University Press, Cambridge,

Intergovernmental panel on climate change – IPCC. 2007. Climate Change – The physical science basis. Contribution of working group

I to the fourth assessment Report of the IPCC. Cambridge University. Press, Cambridge,

Souza, W. M. 2011. Impactos socioeconômicos e ambientais dos desastres associados às chuvas na cidade do Recife-PE. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. 121 f., Campina Grande-PB,

Assis, J. M. O. 2012. Análise de tendências de mudanças climáticas no semiárido de Pernambuco. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco. Centro de Filosofia e Ciências Humanas. 161 f., Recife,

Menezes, H. E. A.; Brito, J. I. B.; Santos, C. A. C.; Silva, L.L. 2008. A relação entre a temperatura da superfície dos oceanos tropicais e a duração dos veranicos no Estado da Paraíba. Revista Brasileira de Meteorologia, ISSN 0102-7786, v.23 n.2 São Paulo jun.

Santos, C. A.; Brito, J. I. B. 2007. Análise dos índices de extremos para o semi-árido do Brasil e suas relações com TSM e IVDN. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 22, n. 3, p. 303-312,

Pernambuco. Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente. 2006. Atlas de bacias hidrográficas de Pernambuco. Simone Rosa da Silva (Org.), Recife: Ed. A secretaria,

Moncunill, D. F. 2006. The rainfall trend over Ceara and its implications. *In*: 8ª Conferência Internacional de Meteorologia e Oceanografia do Hemisfério Sul, Foz do Iguaçu, Abr, p. 315-323.