



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe



Comportamento da precipitação pluvial e sua relação com o relevo nas microrregiões do Cariri Oriental e Ocidental do estado da Paraíba

Telma Lucia Bezerra Alves¹; Pedro Vieira de Azevedo²; André Aires de Farias³

¹Geógrafa, Mestre e Doutoranda em Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campus Campina Grande, Paraíba, Brasil, telmalucias@hotmail.com (autor correspondente); ²Professor Dr. na Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Campina Grande, Campus Campina Grande, Paraíba, Brasil, azevedopedrovieira@gmail.com. ³Mestre e Doutorando em Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campus Campina Grande, Paraíba, Brasil, andreaires61@hotmail.com.

Artigo recebido em 30/09/2015 e aceito em 28/12/2015

RESUMO

O estudo objetivou investigar o comportamento da precipitação pluvial e sua possível interação com as características físicas do relevo nas microrregiões do Cariri Oriental e Ocidental do Estado da Paraíba. Foram utilizados dados de um modelo digital de elevação (MDE) para obtenção de informações do relevo e dados de precipitação pluvial de 9 municípios da microrregião do Cariri Oriental e 13 do Cariri Ocidental. O teste de Mann-Kendall foi utilizado para identificação de tendência nas séries temporais e o método de Sen para quantificação da tendência. O método de interpolação utilizado para a espacialização dos valores da precipitação pluvial e da estatística MK foi o geoestatístico (kriging). Os principais resultados evidenciam que a precipitação pluvial média anual apresenta variação crescente no sentido Leste - Oeste das microrregiões estudadas, com mínimo de 320 mm.ano⁻¹ em Cabaceiras e máximo de 680 mm.ano⁻¹ nos municípios de Prata e Ouro Velho; a microrregião do Cariri Oriental é menos chuvosa que o Cariri Ocidental, o que se deve, em partes, às baixas altitudes, caracterizando uma região interplanáltica; há uma tendência de redução não significativa da precipitação pluvial na microrregião do Cariri Ocidental, com núcleo mais acentuado no município de Camalaú. Entretanto, na microrregião do Cariri Oriental ocorre um acréscimo significativo da precipitação, com núcleo mais acentuado no município de Cabaceiras.

Palavras-chave: semiárido, análise de tendência, variabilidade espaço-temporal.

Rainfall behavior rain and its relationship with relief in the Regions Cariri of Eastern and Western state of Paraíba

ABSTRACT

The study aimed to investigate the behavior of rainfall and its possible interaction with the physical characteristics of the relief in the regions of Eastern and Western Cariri of Paraíba State. Data from a digital elevation model were used (MDE) to obtain information Relief and rainfall data of 9 municipalities in the Eastern Cariri micro region and 13 in the Western Cariri. The Mann-Kendall test was used to identify trend in time series and Sen method for quantification of the tendency. The interpolation method used for the spatial values of rainfall and statistics MK was the geostatistical (kriging). The main results show that the average annual precipitation has increased variation in the east direction - west of the studied micro-regions, with a minimum of 320 mm.ano⁻¹ in Cabaceiras and maximum of 680 mm.ano⁻¹ in the municipalities of Ouro Velho and Prata; the micro Eastern Cariri is less rainy than the western Cariri, which is due, in part, to low altitudes, featuring a interplanáltica region; there is no significant downward trend of rainfall in the micro region of West Cariri, with stronger core in the municipality of Camalaú. However, in the Eastern Cariri micro region is a significant increase in precipitation, with stronger core in the municipality of Cabaceiras.

Keywords: semiarid, trend analysis, spatial and temporal variability.

Introdução

De modo geral, os estudos que abordam a variabilidade sazonal e anual da precipitação são mais relacionados aos fenômenos de grande

escala, como: Oscilação da Temperatura da Superfície do oceano Pacífico (El Niño Oscilação Sul – ENOS e La Niña), Anomalias de

temperatura da superfície do oceano Atlântico, Ondas de Leste, etc. Em escala regional, o efeito potencial da topografia é pouco estudado e comumente não é representado nos modelos climáticos.

Em relação à precipitação pluvial, Wotling et al. (2000) e Djebou et al. (2014) estudaram a relação do relevo (topografia) com a precipitação pluvial para as regiões da Polinésia Francesa e porção sudoeste dos Estados Unidos, respectivamente, enquanto que Shaohong et al. (2005) e Ahani et al. (2012) realizaram estudos para analisar a tendência desse elemento climático, dentre outros, com base em séries de dados relativamente longas, identificando resultados variados, como: regiões com tendências crescentes e decrescentes da precipitação pluvial e variabilidades ocasionadas pela sazonalidade.

Nesse contexto, destacam-se as chuvas orográficas, as quais ocorrem por ação física do relevo, atuando como barreira à ascensão do ar causada pela advecção livre. O ar úmido e quente, ao ascender próximo às encostas, resfria-se adiabaticamente devido à descompressão causada pela maior densidade do ar nos níveis mais elevados. O resfriamento conduz a saturação do vapor, possibilitando a formação de nuvens que com a continuidade do processo de ascensão, tendem a produzir chuvas. Dessa forma, as vertentes a barlavento são comumente mais chuvosas do que aquelas a sotavento, onde o ar, além de estar menos úmido, é forçado a descer, o que dificulta a formação de nuvens (Mendonça e Danni-Oliveira, 2007; Vianello e Alves, 2012).

Em regiões de clima mediterrâneo, como o sul de Portugal, períodos prolongados de condições excepcionalmente secas reduzem a disponibilidade de recursos hídricos, ampliam a erosão do solo, provocam danos à vegetação, aumentam a vulnerabilidade à salinização, esgotam e degradam as terras agrícolas, entre outros fenômenos que causam a suscetibilidade à desertificação (Costa e Soares, 2012). A variabilidade da precipitação pluvial e suas consequências, decorrentes de condições semiáridas, também são observadas no Brasil (Souza et al. 2004; Conti, 2005; Souza et al. 2010; Aquino et al. 2012).

O Nordeste brasileiro apresenta constantes variabilidades na precipitação pluvial, que estão influenciadas, entre outros fatores, por mecanismos inter-relacionados mencionados e explicados por Ferreira e Mello (2005), e citados a seguir:

- Posição da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), que pode ser definida como

uma banda de nuvens que circunda a faixa equatorial do globo terrestre, formada principalmente pela confluência dos ventos alísios do hemisfério norte com os ventos alísios do hemisfério sul, em baixos níveis (o choque entre eles faz com que o ar quente e úmido ascenda e provoque a formação das nuvens), baixas pressões, elevadas temperaturas da superfície do mar, intensa atividade convectiva e precipitação.

- Fenômeno El Niño – Oscilação Sul (ENOS), quando as águas superficiais da Bacia do Pacífico, em torno do Equador, e sobre o lado centro-leste, estão mais aquecidas, toda a convecção equatorial também se desloca para o leste, alterando assim o posicionamento da Célula de Walker. Devido à continuidade da circulação atmosférica, o ar quente sobre aquela região é empurrado, originando uma célula descendente sobre o Oceano Atlântico, próximo à região Nordeste do Brasil (NEB) e à Amazônia oriental. Dependendo da intensidade dessa célula de circulação e de sua fase de ocorrência, pode haver inibição da formação de nuvens e descida da ZCIT e, conseqüentemente, pode haver deficiência das chuvas na região do NEB.

- Oscilações de temperatura da superfície do mar (TSM), o fenômeno El Niño, pode ser mais intenso quando acontece conjuntamente com o dipolo positivo do Atlântico (Dipolo do Atlântico: diferença entre a anomalia da Temperatura da Superfície do Mar-TSM na Bacia do Oceano Atlântico Norte e Oceano Atlântico Sul), que é desfavorável às chuvas. O fenômeno La Niña (resfriamento anômalo das águas do oceano Pacífico) associado ao dipolo negativo do Atlântico (favorável às chuvas) é normalmente responsável por anos considerados normais, chuvosos ou muito chuvosos na região.

Os elementos climáticos usados com mais frequência para caracterizar o clima sobre qualquer região são a temperatura e a pluviosidade (Mendonça e Danni-Oliveira, 2007). Silva et al. (2002) destacam que o sucesso das culturas implantadas depende da regularidade e quantidade das chuvas. Deste modo, as variabilidades espaciais e temporais da precipitação pluvial nas regiões áridas e semiáridas são fatores limitantes para a agricultura de sequeiro, que é uma prática de sobrevivência realizada por parcela significativa da população do semiárido brasileiro. Mediante estes argumentos, se fazem necessários estudos que avaliem o comportamento da variabilidade climática e sua possível relação com a topografia, a fim de caracterizar e compreender o regime de chuvas das microrregiões do Cariri paraibano.

O Cariri paraibano apresenta deficiência pluviométrica, dentre outros motivos, por localizar-se na vertente a sotavento do Planalto da Borborema, mostrando a influência que a distância do oceano e a morfologia do relevo exercem na distribuição dos climas (Molion e Bernardo, 2002 e Nascimento e Alves, 2008).

Segundo o Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado da Paraíba (AESAs, 2006), ocorrem, nas microrregiões do Cariri Oriental e Ocidental do Estado da Paraíba, com base em uma estrutura hidrogeológica, o *Sistema Cristalino*, que é constituído de três mega-associações lito-estratigráficas:

1) rochas constituintes do embasamento do Sistema, de idades Arqueana e/ou Paleoproterozóica, representadas por migmatitos, ortogneisses e granitóides diversos;

2) rochas constituintes de coberturas supracrustais, de idades Paleo, Meso e Neoproterozóica, representadas por metasedimentos diversos, com predominância de xistos e, subordinadamente, por outros metasedimentos, como quartzitos, meta-arcósios, filitos, calcários cristalinos (mármore) e outras rochas calco-silicáticas;

3) os granitóides diversos (granitos, granodioritos, dioritos, etc.), que penetram as referidas rochas supracrustais ou estão, geneticamente, associados à origem das mesmas, através do processo de migmatização. Este sistema ocupa uma área de cerca de 49.000 km² (87% da área estadual), inserindo-se, todo ele, na região semiárida do estado, tendo os seus recursos repartidos entre as bacias hidrográficas de Piranhas, Paraíba, Jacu, Curimataú, Mamanguape, Miriri, Camaratuba e Gramame.

Com relação aos *Domínios Morfoestruturais*, que ocorrem em escala regional, organizam os fatos geomorfológicos segundo o arcabouço geológico marcado pela natureza das rochas e pela tectônica que atua sobre elas. As microrregiões estudadas estão compreendidas nos Cinturões Móveis Neoproterozóicos. Estes domínios correspondem a extensas áreas representadas por planaltos, alinhamentos serranos e depressões interplanálticas elaboradas em terrenos dobrados e falhados, incluindo principalmente metamorfitos e granitóides associados (IBGE, 2009).

A *unidade geomorfológica* evidente na região é a unidade de relevo mais importante do setor oriental do Nordeste brasileiro, denominado Planalto da Borborema, o qual é composto por um núcleo cristalino arqueado, fazendo parte do cinturão orogênico da faixa atlântica, encontrando-se em posição relativamente isolada (Ross, 2011).

De acordo com Corrêa et al. (2010) compreende-se como sendo parte deste “planalto”, todo o setor de terras altas, acima da isolinha de 200 metros, podendo ultrapassar 1000 m de altitude, situado a norte do rio São Francisco, estruturado nos diversos litotipos cristalinos correspondentes aos maciços arqueanos remobilizados, sistemas de dobramentos brasileiros e intrusões ígneas neoproterozóicas pós-orogênicas. O limite oriental do planalto é genericamente definido pela ruptura de gradiente existente entre a encosta e os patamares rebaixados do piemonte em direção à costa. A depressão sertaneja, a oeste, define o limite ocidental como um semicírculo de terras baixas semiáridas separado do topo do planalto por uma escarpa, que ressalta os controles litológicos e estruturais.

Considerando a premissa de que a variabilidade climática é marcante na região semiárida paraibana e que pode acentuar o processo de degradação das terras, este estudo objetivou analisar o comportamento da precipitação pluvial e sua possível interação com as características do relevo nas microrregiões do Cariri Oriental e Ocidental do Estado da Paraíba.

Material e métodos

Área de estudo

O presente estudo foi conduzido nas microrregiões do Cariri Oriental e Ocidental do Estado da Paraíba (Figura 1) que se encontram localizadas no Centro-Sul da Paraíba, distanciadas de 180 a pouco mais de 300 km de João Pessoa (capital). Essas microrregiões têm uma área de aproximadamente 11.225 km² e englobam 29 municípios, sendo 17 compreendidos na microrregião do Cariri Ocidental e 12 no Cariri Oriental (Tabela 1).

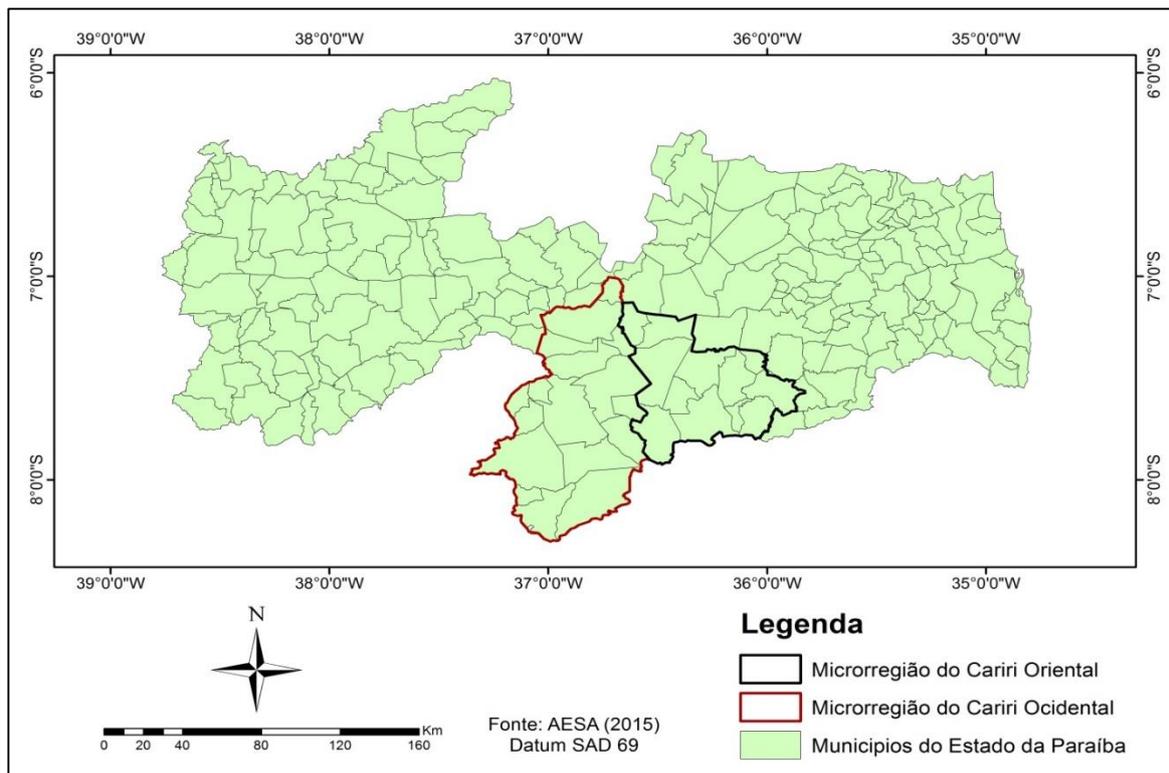


Figura 1. Localização das microrregiões do Cariri Ocidental e Oriental do Estado da Paraíba.

O regime pluviométrico nessas microrregiões apresenta precipitações concentradas no período de fevereiro a maio. Pela localização na faixa equatorial, a região é submetida à incidência de alta radiação solar com um grande número de horas de insolação, em virtude da escassa nebulosidade. O clima da região do Cariri paraibano é do tipo (Bsh), caracterizando-se por ser quente, com elevadas temperaturas (médias anuais superiores a 18 °C), baixas amplitudes térmicas e chuvas escassas, muito irregulares. A temperatura média anual é de 26°C, pouca variação intra-anual e uma distribuição espacial da temperatura altamente dependente do relevo (AESA, 2006). As drenagens são intermitentes e sazonais, relacionadas com o ritmo irregular e pouco frequente das precipitações. As cotas altimétricas variam entre 200 e 1.170 m. Ainda sobre o aspecto climático dominante, de acordo com Nascimento e Alves (2008), o Cariri encontra-se localizado no fim do percurso dos fluxos úmidos que se direcionam para o semiárido nordestino e em situação de sotavento, fazendo parte da diagonal mais seca do Brasil, onde é comum, em determinados setores, o registro pluviométrico médio anual inferior a 300 mm. Além disso, essas precipitações apresentam elevada variabilidade, não apenas a nível anual, mas também, dentro dos

próprios meses considerados chuvosos (fevereiro a maio).

O território do Cariri paraibano equivale a pouco mais de 20% do território estadual, e a localização das sedes municipais são observadas na Figura 2. A atividade agrícola nesses municípios é baixa, devido à falta de água, predominando a pecuária caprina e a extração de lenha (Moreira e Targino, 1997). A falta de alternativas econômicas tem contribuído para uma degradação das terras crescente nos ambientes naturais dessa região, tornando a área inaproveitável para a agricultura.

A vegetação predominante na região corresponde ao Domínio morfoclimático da Caatinga, com características hiperxerófilas, floresta caducifólia e sub-caducifólia e é altamente dependente do regime pluvial. Conforme Ab' Saber (2003) são predominantes nessa região espécies de metabolismo resistentes, hiperxerófitas, com múltiplos espinhos protetores, caducifólias, que perdem suas folhas durante a estação seca, mas quando chegam às primeiras chuvas, tudo reverdece, pois a existência de água na superfície dos solos, em combinação com a forte luminosidade, restaura a funcionalidade da fotossíntese. Estas espécies são adaptadas as condicionantes climáticas que atuam na região. Na Figura 3 observam-se algumas características do relevo e das espécies vegetais, em período de

estiagem (Figura 3A) e na estação chuvosa (Figura 3B) na região do Cariri paraibano.

Tabela 1. Características dos municípios que compõem as microrregiões do Cariri Oriental e Ocidental do Estado da Paraíba.

Município	Latitude (° , ' , ")	Longitude (° , ' , ")	Altitude (m)
Microrregião do Cariri Ocidental			
Assunção	-7 04 26	-36 43 51	574
Taperoá	-7 20 39	-36 82 42	532
Livramento	-7 37 49	-36 94 50	584
Parari	-7 31 32	-36 66 30	498
São José dos Cordeiros	-7 23 27	-36 48 28	545
Amparo	-7 56 24	-37 06 41	635
Sumé	-7 66 02	-36 87 84	532
Serra Branca	-7 48 28	-36 66 34	493
Coxixola	-7 63 14	-36 60 51	475
Congo	-7 78 53	-36 66 08	480
Ouro Velho	-7 61 81	-37 15 17	591
Prata	-7 67 91	-37 07 74	577
Camalaú	-7 88 08	-36 82 26	521
Monteiro	-7 88 08	-37 12 25	599
Zabelê	-8 04 32	-37 05 54	632
São Sebastião do Umbuzeiro	-8 13 82	-37 01 10	594
São João do Tigre	-8 07 19	-36 84 65	577
Microrregião do Cariri Oriental			
Santo André	-7 21 77	-36 63 40	498
Gurjão	-7 24 63	-36 48 68	491
São João do Cariri	-7 39 26	-36 52 28	458
Cabaceiras	-7 58 01	-36 27 87	388
Boqueirão	-7 47 75	-36 12 74	355
Caturité	-7 25 12	-36 01 37	405
São Domingos do Cariri	-7 63 14	-36 42 73	400
Caraúbas	-7 72 96	-36 48 57	451
Barra de São Miguel	-7 74 28	-36 30 52	486
Riacho de Santo Antônio	-7 69 27	-36,1578	440
Alcantil	-7 44 38	-36 03 21	500
Barra de Santana	-7 52 18	-36 00 16	350

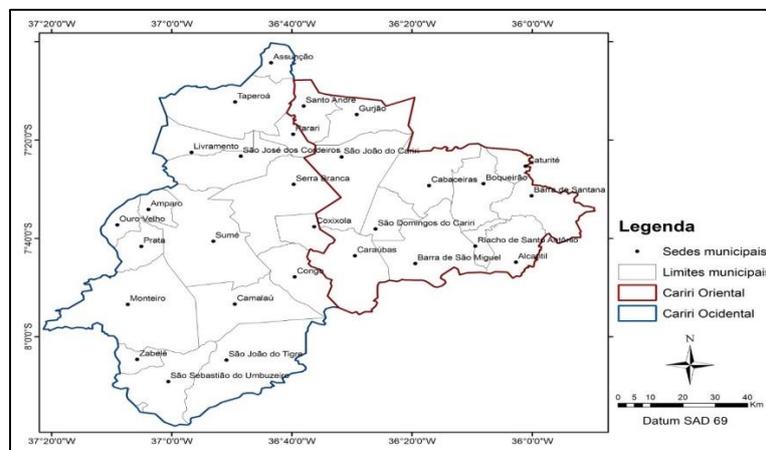


Figura 2. Localização das sedes municipais das microrregiões do Cariri Ocidental e Oriental do Estado da Paraíba.

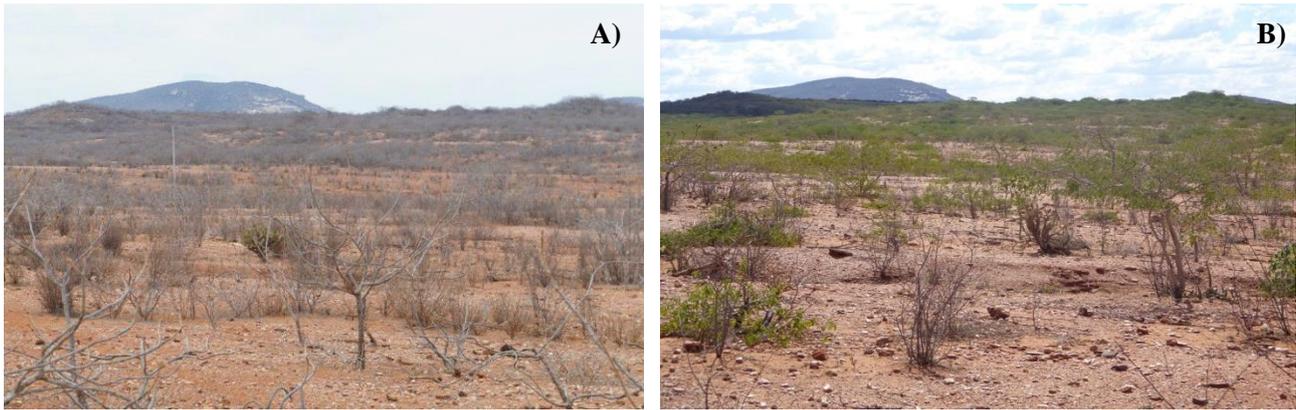


Figura 3. Vegetação desfolhada e solo descoberto, típicos da estação seca na região do Cariri paraibano, dezembro/2012 (A); vegetação recuperando o dossel, apesar das precipitações limitadas, abril/2015 (B), município de Caraúbas - PB.

Dados de elevação

Foi utilizado um modelo digital de elevação (MDE), obtido a partir da imagem SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), coordenada pela NASA (National Aeronautics Space Administration), com resolução de 90 m, copiada do site da AESA (Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba). Com base no MDE, foi realizada a diferenciação entre terrenos montanhosos e áreas mais aplainadas na área de estudo.

Dados de precipitação pluvial

Os dados de precipitação pluvial foram obtidos junto à Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas – UACA, da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG. Utilizou-se predominantemente séries com mais de 30 anos de dados de totais mensais e anuais de precipitação de 9 municípios da microrregião do Cariri Oriental (São João do Cariri, Boqueirão, Caraúbas, Cabaceiras, Barra de São Miguel, São Domingos do Cariri, Gurjão, Riacho de Santo Antônio e Santo André) e 13 do Cariri Ocidental (Serra Branca, Prata, Monteiro, Sumé, Coxixola, Congo, Camalaú, São Sebastião do Umbuzeiro, São João do Tigre, Ouro Velho, Taperoá, São José dos Cordeiros e Amparo). As falhas nas séries de dados pluviais foram preenchidas pelo método de ponderação regional, que toma por base os registros pluviométricos de três estações climaticamente homogêneas, localizadas o mais próximo possível da estação que apresenta falha (Oliveira et al. 2010). Assim, designada por Y, à estação que apresenta falha e por A, B e C as estações circunvizinhas, determinou-se a precipitação pluviométrica da estação Y pela

média ponderada do registro das três estações circunvizinhas, como:

$$P_Y = \frac{1}{3} \left(\frac{N_Y}{N_A} P_A + \frac{N_Y}{N_B} P_B + \frac{N_Y}{N_C} P_C \right) \quad (1)$$

Em que: P_Y é a precipitação mensal a ser obtida; N_Y a precipitação normal anual da estação com falha, $N_{(A, B e C)}$ a precipitação anual das estações circunvizinhas e $P_{(A, B e C)}$ a precipitação mensal das estações circunvizinhas.

Análise estatística

- Medidas de tendência central e de dispersão

Foram obtidas as estatísticas: média e desvio padrão dos valores mensais e anuais da precipitação pluviométrica de cada município das microrregiões do Cariri Oriental e Ocidental do Estado da Paraíba.

- Avaliação da tendência

Neste estudo, a tendência da precipitação pluvial foi determinada por regressão linear, e o teste de Mann-Kendall foi utilizado para determinar se o declive da linha de regressão é significativo. O teste de Mann-Kendall - MK (Back, 2000 e Penereiro e Ferreira, 2011), baseia-se na comparação de cada valor da série temporal com os valores restantes, sempre em ordem sequencial. É contado o número de vezes que os termos restantes são maiores do que o valor analisado. A estatística S é obtida pela soma de todas as contagens, como:

$$S = \sum_{i=2}^n \sum_{j=1}^{i-1} \text{sign}(x_i - x_j) \quad (2)$$

Em que o sinal($x_i - x_j$) é obtido da seguinte forma:

$$\begin{aligned} & -1, \text{ para } x_i - x_j < 0 \\ & 0, \text{ para } x_i - x_j = 0 \\ & 1, \text{ para } x_i - x_j > 0 \end{aligned} \quad (3)$$

A estatística S tende à normalidade para n grande, com média e variância:

$$E[S] = 0,$$

$$Var(S) = \frac{1}{18} [n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q t_p(t_{p-1})(2t_p+5)] \quad (4)$$

Em que: n é o tamanho da série temporal; t_p é o número de passos até o valor; p e q são os números de valores iguais. O teste estatístico Z é dado por:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{Var(S)}} & \text{se } S > 0, \\ 0 & \text{se } S = 0, \\ \frac{S-1}{\sqrt{Var(S)}} & \text{se } S < 0. \end{cases} \quad (5)$$

A presença de uma tendência estatisticamente significativa na série temporal foi avaliada usando-se o valor da estatística Z, para

testar a hipótese nula de que nenhuma tendência existe. O Z é o parâmetro de saída da estatística MK. Valores positivos de Z indicam tendências crescentes, enquanto que negativos indicam tendências decrescentes. Para testar qualquer tendência, crescente ou decrescente, para um nível significativo α , rejeita-se a hipótese nula se o valor absoluto de Z for maior que $Z_{1-\alpha/2}$, obtido na tabela da distribuição normal. Neste trabalho, foi aplicado o nível de significância $\alpha = 0,05$. Assim, se o valor absoluto de Z for maior que 1,96, rejeita-se a hipótese nula ao nível de 5% e as médias são estatisticamente diferentes. Para se compreender melhor o valor do teste é apresentada uma legenda para os valores (Tabela 2). A legenda esclarece o teste, visto que um resultado positivo da estatística Z, maior do que 1,96 indica uma tendência significativa de acréscimo (Tsa), menor que 1,96 a tendência é não significativa de acréscimo (Tnsa), enquanto um valor negativo de Z, menor do que -1,96 indica uma tendência significativa de decréscimo (Tsd) e um valor maior que -1,96 indica tendência não significativa de decréscimo (Tnsd). Se o Z for 0 não existe tendência na série.

Tabela 2: Descrição da legenda correspondente à significância do Teste Mann-Kendall

Significância	Legenda	Z
Sem tendência	St	0
Tendência significativa de acréscimo	Tsa	> + 1,96
Tendência significativa de decréscimo	Tsd	< - 1,96
Tendência não significativa de acréscimo	Tnsa	< + 1,96
Tendência não significativa de decréscimo	Tnsd	> - 1,96

se N' é par (7)
 Onde: N é o número de inclinações calculadas.

- Método de Sen

O método de Sen foi utilizado para estimar a inclinação da tendência, o qual requer uma série temporal de dados igualmente espaçados. A inclinação foi calculada como uma variação na medição por variação no tempo, como:

$$Q = \frac{X_{i'} - X_i}{i' - i} \quad (6)$$

Em que: Q = inclinação entre pontos de dados $X_{i'}$ e X_i ; $X_{i'}$ = medição de dados no tempo i' ; X_i = medição de dados no tempo i ; i' = tempo após o tempo i .

Após o cálculo de inclinação, um estimador da inclinação de Sen foi obtido pela inclinação mediana (Q'), dada pela Equação:

$$S = \text{inclinação mediana} = Q' = Q[(N'+1)/2],$$

se N' é ímpar

$$\text{e } S = Q' = [Q(N'/2) + Q((N'+2)/2)]/2,$$

O método de Sen também permite determinar se a inclinação mediana é estatisticamente significativa.

Um intervalo de confiança foi desenvolvido, com base na estimativa do ranking para os intervalos de confiança superior e inferior e utilizando as pistas correspondentes a estas fileiras para definir o intervalo de confiança efetivo para Q' . Para a análise do intervalo de confiança da inclinação mediana, primeiro foi determinado o Z para um teste de distribuição normal de duas caudas. Por exemplo, se o intervalo de confiança 95% for desejado, será obtido o $Z_{1-0,05/2} = Z_{0,475} = 1,96$.

O intervalo de confiança específico (C_α) foi determinado como:

$$C_{\alpha} = Z_{1-\alpha/2} * \sqrt{VAR(S)} \quad (8)$$

Enquanto que limites: inferior (M_1) e superior (M_2) do intervalo de confiança foram obtidos como:

$$M_1 = \frac{N' - C_{\alpha}}{2}$$

$$M_2 = \frac{N' + C_{\alpha}}{2} \quad (9)$$

Mapas Temáticos

Neste trabalho, o sistema de informação geográfica (SIG) foi utilizado para a espacialização dos valores da precipitação pluvial e da estatística Mann-Kendall (MK), cujo método de interpolação utilizado foi o geostatístico (krigagem). O método é baseado em modelos estatísticos que utilizam a auto correlação, a fim de explicar a variação territorial. Este procedimento é utilizado para calcular o valor da variável climática a um dado ponto, considerando os valores de estações vizinhas a partir de um modelo de variograma para a variável considerada (Fitz, 2010; Croitoru et al. 2013).

Resultados e discussão

Nas microrregiões do Cariri Oriental e Ocidental há uma variação acentuada nas altitudes (Figura 4). As cotas altimétricas mais elevadas (520-1.170m) estão localizadas na microrregião do Cariri Ocidental, onde se encontra inclusive a nascente do Rio Paraíba, no município de Monteiro. Na microrregião do Cariri Oriental, essas cotas variam de 275 a 500 m e a nordeste dessa microrregião a altitude é mais elevada, configurando assim, uma região

interplanáltica, o que pode justificar os menores índices pluviométricos nessa microrregião, além de evidenciar uma acentuada variabilidade espacial na distribuição das chuvas, particularidade climática do Cariri Paraibano.

As vertentes a barlavento nas cadeias montanhosas recebem mais umidade. Neste caso, observa-se que provavelmente as massas de ar úmidas advindas do litoral, e mesmo aquelas decorrentes da atuação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), que se desloca do Hemisfério Norte para o Hemisfério Sul no primeiro semestre do ano, podem ter dificuldades para alcançar a microrregião do Cariri Oriental, e quando alcançam apresentam pouca umidade. Do mesmo modo, as massas úmidas provenientes da porção Oeste do Estado precipitam-se quando encontram as barreiras orográficas.

A distribuição espacial da precipitação pluvial (Figura 5) evidencia que os valores mínimos da precipitação pluvial ocorrem na microrregião do Cariri Oriental, com núcleo mais forte no município de Cabaceiras, conhecido como mais seco do Brasil. Os valores máximos de precipitação pluvial são observados na porção noroeste da microrregião do Cariri Ocidental. Assim, observa-se uma variação crescente da precipitação pluvial entre o mínimo anual de 320 mm em Cabaceiras e um máximo anual de 680 mm nos municípios de Prata e Ouro Velho. Nascimento e Alves (2008) em estudos utilizando balanços hídricos climáticos, apontam que os municípios do Cariri Oriental são mais atingidos por variações sazonais do regime pluviométrico, sendo, por conseguinte, mais secos.

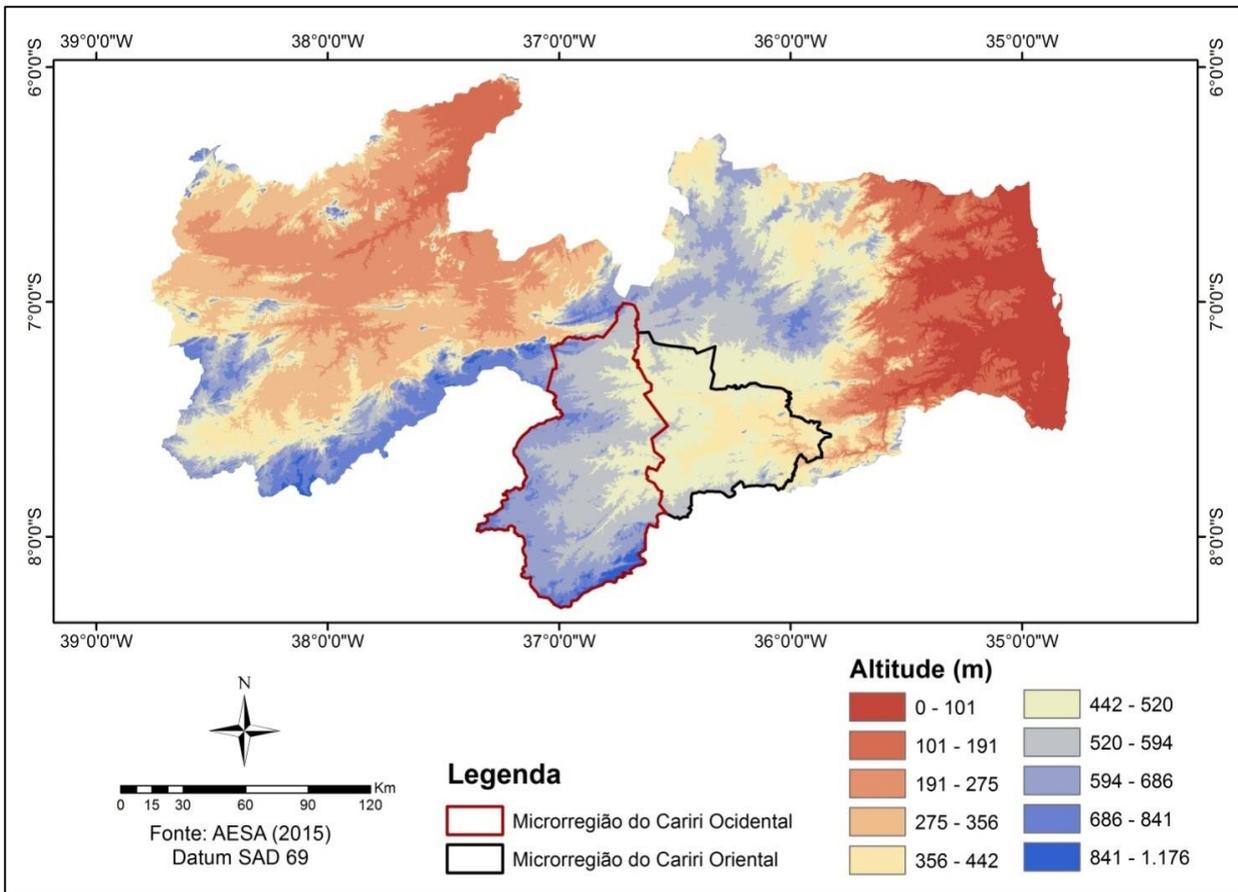


Figura 4. Relevo do Estado da Paraíba, com destaque para as microrregiões do Cariri Oriental e Ocidental.

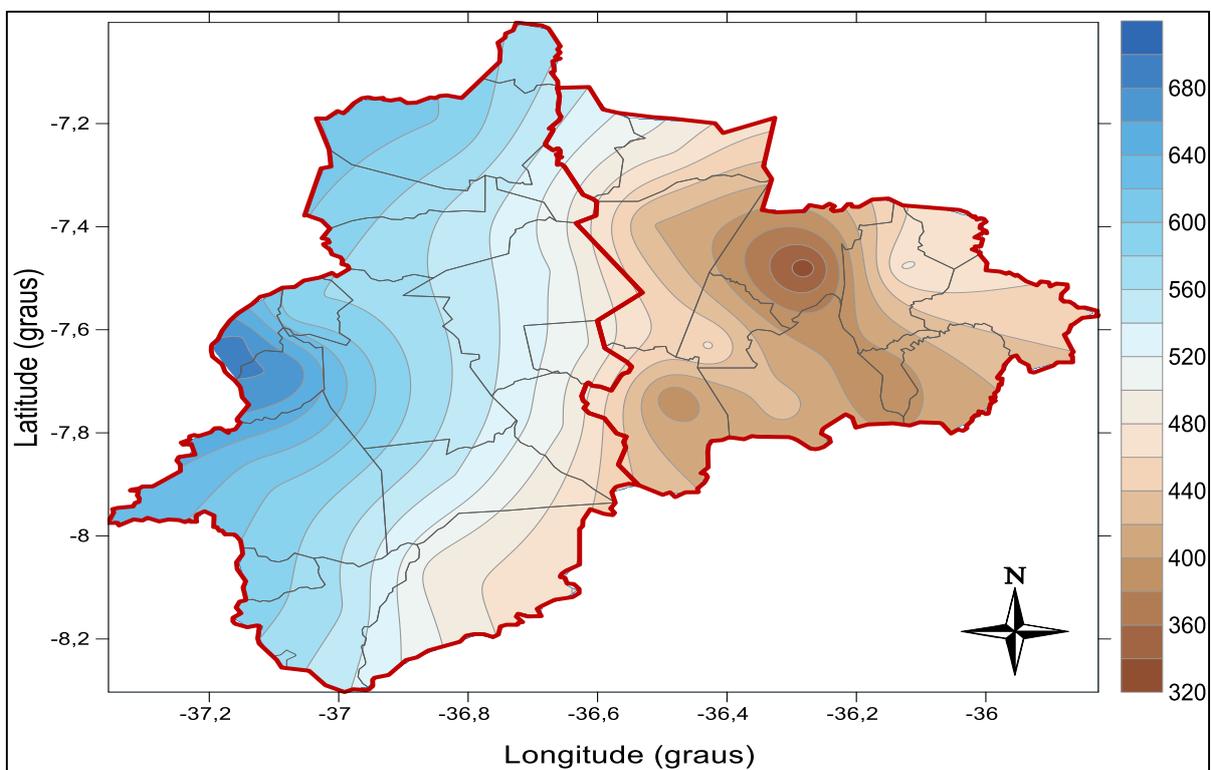


Figura 5. Distribuição espacial da precipitação pluvial nas microrregiões do Cariri Oriental e Ocidental do Estado da Paraíba.

Conforme o Plano Estadual de Combate à Desertificação (PAE-PB, 2011), nas áreas menos chuvosas, como o Cariri Oriental, há uma susceptibilidade maior ao processo de degradação das terras, devido a maior vulnerabilidade proporcionada pelo uso mais intenso das terras. As áreas das microrregiões do Cariri Ocidental e Oriental estão em processo de desertificação, sendo os municípios de Caraúbas, Gurjão, Santo André, Barra de São Miguel, São José dos Cordeiros, Taperoá, Parari, Serra Branca, Coxixola, Congo, São João do Tigre e Camalaú considerados os mais degradados. A combinação de fatores como: menor índice pluviométrico, elevado índice de aridez, uso intensivo das terras (agrícola ou agropecuário) e retirada da cobertura

vegetal, potencializam o processo de degradação das terras (Odorico et al., 2013; Xu et al., 2014).

Na Figura 6 observa-se a distribuição intra-anual da precipitação pluvial nas duas microrregiões. No período seco (agosto, setembro, outubro, novembro e dezembro) não se identifica diferenciações representativas entre as duas regiões estudadas. Quando a comparação é feita no período chuvoso (janeiro, fevereiro, março, abril e maio) fica evidente o incremento na precipitação ocorrida na microrregião do Cariri Ocidental, atingindo valores superiores a 120 mm/mês.

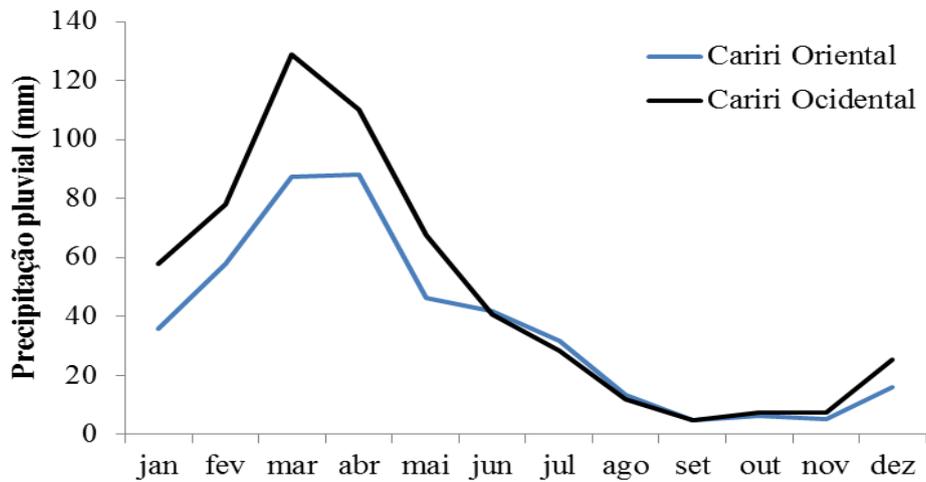


Figura 6. Distribuição mensal da precipitação pluvial média para as microrregiões do Cariri Oriental e Ocidental do Estado da Paraíba.

A distribuição temporal da precipitação pluvial ao longo do período (1911-2013) é observada na Figura 7, evidenciando uma variabilidade marcante desse elemento climático. Para a microrregião do Cariri Oriental (Figura 7A), a precipitação pluviométrica anual apresenta média de 381,1 mm.ano⁻¹ e desvio padrão de 167 mm.ano⁻¹, com uma tendência crescente e

significativa de 1,43 mm.ano⁻¹, no período analisado. Já para a microrregião do Cariri Ocidental (Figura 7B) o valor da média é de 538,9 mm, com desvio padrão de 235 mm.ano⁻¹, e uma tendência decrescente, porém não significativa de 0,227 mm.ano⁻¹. O elevado valor da dispersão é típico de regiões semiáridas.

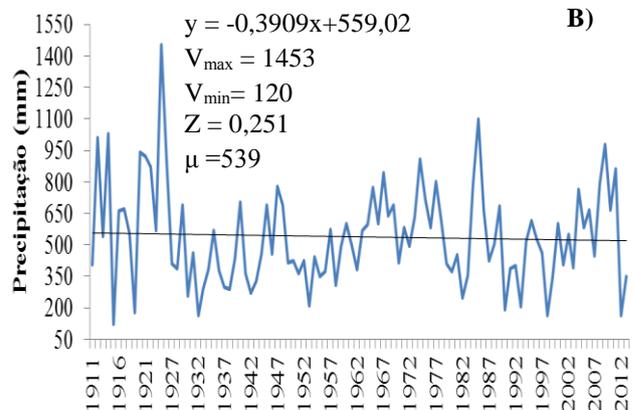
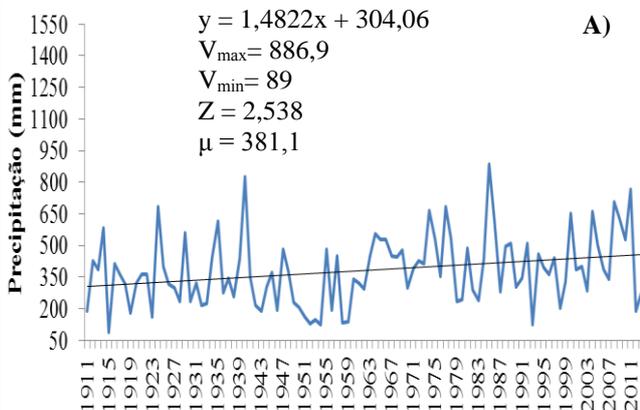


Figura 7. Distribuição da precipitação pluvial para a microrregião do Cariri Oriental (A) e Ocidental (B) do Estado da Paraíba, no período de 1911 a 2013.

Almeida e Silva (2008) também identificaram distribuição de chuvas extremamente irregular, tanto no tempo quanto no espaço geográfico paraibano. Na maioria dos anos, há uma predominância de estação chuvosa com duração de apenas dois a três meses, em outros persistem por até nove meses ou chove torrencialmente num local e quase nada na sua circunvizinhança.

As variações da precipitação pluvial e da temperatura do ar, dentre outras, podem acentuar o processo de degradação das terras, na medida em que condicionam o desenvolvimento das plantas, conforme explica Mao et al. (2010) e He (2014). No entanto, não se tem informações relevantes de que os aspectos climáticos das regiões áridas e semiáridas possam desencadear o processo de degradação das terras.

Os resultados da distribuição espacial da tendência (MK) anual da precipitação pluvial podem ser observados na Figura 8. Tendências negativa e positiva foram identificadas pelo MK para os valores anuais de precipitação pluvial. Observa-se que na porção centro-sul da microrregião do Cariri Ocidental há uma redução (tendência negativa) da precipitação pluvial enquanto que nas áreas mais ao norte da microrregião do Cariri Oriental observa-se tendência crescente. Entretanto, quando se analisa a tendência dos dados ao longo do tempo observa-se que regiões muito secas estão apresentando tendências de aumento da precipitação pluvial, como é o caso do município de Cabaceiras, sendo esta investigação passível de ser aprofundada por outros indicadores, como uso e ocupação do solo e questões relacionadas às mudanças climáticas.

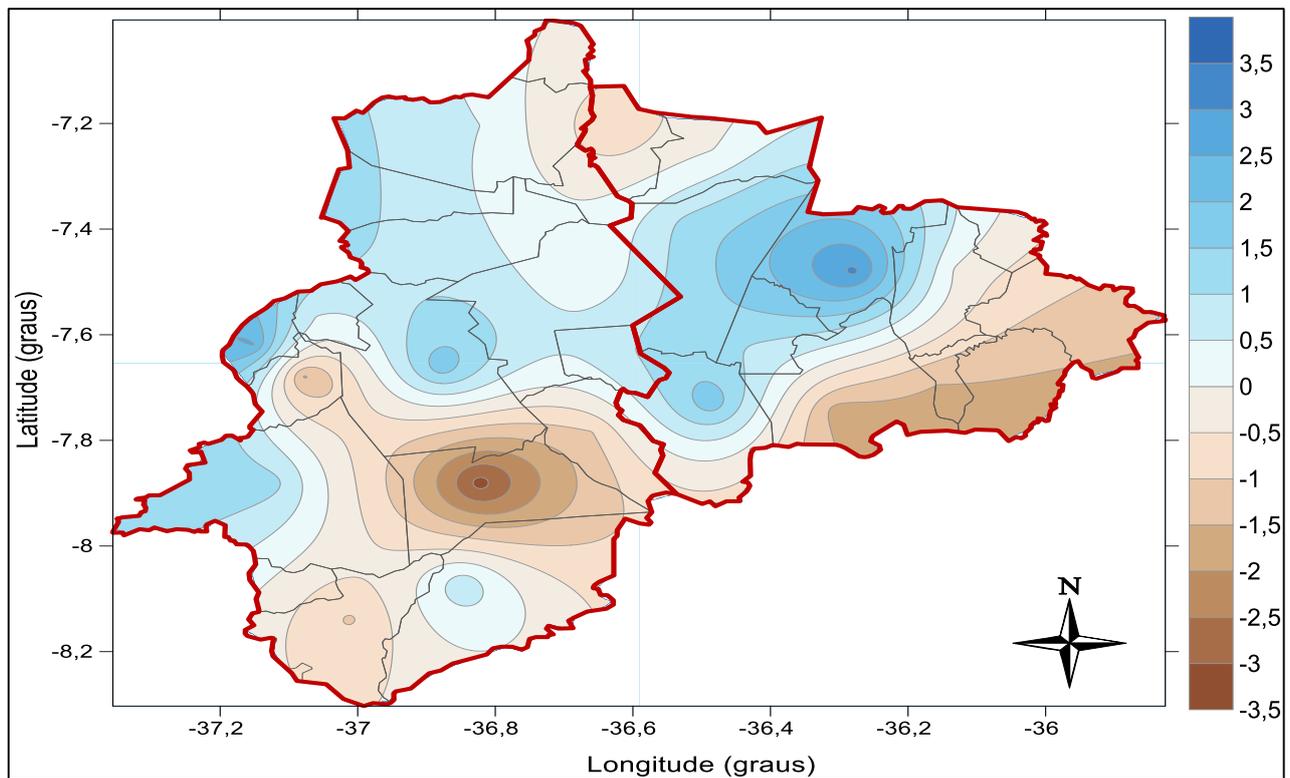


Figura 8. Distribuição espacial da estatística Z do teste de tendência de Mann Kendall (MK) para precipitação pluvial nas microrregiões do Cariri Oriental e Ocidental do Estado da Paraíba.

A Tabela 3 mostra os resultados da regressão linear, estatística MK e do estimador de inclinação Sen para a precipitação pluvial referente a cada município das microrregiões do Cariri Oriental e Ocidental do Estado da Paraíba. Nessa tabela, o (*) indica uma tendência significativa (negativa e positiva) para o nível de significância $\alpha = 0,05$. Observa-se que houve um aumento significativo da precipitação pluvial no

município de Cabaceiras ($Z=3,11$) de aproximadamente $2,1 \text{ mm/ano}^{-1}$. O município de Ouro Velho também apresentou tendência significativa de acréscimo ($Z=2,52$), com aumento de $36,7 \text{ mm/ano}^{-1}$. Já o município de Camalaú apresentou decréscimo significativo da precipitação pluvial ($-3,21$) com redução de $-6,6 \text{ mm/ano}^{-1}$. Os municípios de Sumé e Caraúbas, com p-valor (0,06) e (0,07), respectivamente,

apresentaram acréscimos consideráveis da precipitação pluvial. Os demais municípios apresentaram tendências positivas e ou negativas

de aumento da precipitação, mas sem significância estatística.

Tabela 3. Tendência da precipitação pluvial anual obtida pela regressão linear (Equação da tendência) pelo teste de Mann Kendall com base na estatística (Z) e no estimador de inclinação Sen (Q) para as microrregiões do Cariri Oriental e Ocidental do Estado da Paraíba.

Municípios	Equação da tendência	Z	p valor	Q
Microrregião do Cariri Oriental				
São João do Cariri	$y=1,122x+362,88$	1,171	0,241	0,717
Boqueirão	$y=-0,4907x+493,29$	-0,117	0,906	-0,283
Gurjão	$y=0,8879x+465,58$	-0,047	0,962	-0,019
Santo André	$y=-3,1359x+572,92$	-0,854	0,392	-3,122
Riacho de Santo Antônio	$y=-2,0265x+431,99$	-1,486	0,137	-2,618
Caraúbas	$y=1,6952x+315,93$	1,807	0,070	1,611
Cabaceiras	$y=2,3815x+208,46$	3,110*	0,001	2,081
Barra de São Miguel	$y=-3,2375x+505,09$	-1,688	0,091	-2,897
São Domingos do Cariri	$y=11,714x+363,97$	0,900	0,367	11,98
Microrregião do Cariri Ocidental				
Serra Branca	$y=-0,2491x+523,03$	0,028	0,977	0,234
Prata	$y=-5,2019x+803,92$	-1,549	0,121	-4,319
Monteiro	$y=-0,3427x+624,38$	1,167	0,242	1,116
Sumé	$y=2,5006x+474,98$	1,824	0,068	2,267
Coxixola	$y=2,4368x+437,22$	0,959	0,337	1,712
Taperoá	$y=2,7254x+526,55$	0,511	0,608	0,92
Congo	$y=-3,1938x+579,44$	-1,032	0,302	-2,205
Camalaú	$y=-7,3916x+722,24$	-3,217*	0,001	-6,702
São José dos Cordeiros	$y=2,66x+486,78$	0,482	0,629	1,457
São Sebastião do Umbuzeiro	$y=-2,9729x+640,32$	-1,066	0,286	-2,689
São João do Tigre	$y=0,7108x+462,46$	0,856	0,391	0,894
Ouro Velho	$y=37,898x+360,46$	2,521*	0,011	36,77
Amparo	$y=2,4709x+559,74$	0,540	0,589	6,923

* Z superior a 1,96 ou inferior a -1,96 indica tendência significativa de acréscimo ou decréscimo, respectivamente.

Conclusão

Os resultados da avaliação do comportamento da precipitação pluvial e sua relação com o relevo nas microrregiões do Cariri Oriental e Ocidental do Estado da Paraíba permitem concluir que:

- 1) A precipitação pluvial média anual apresenta variação crescente no sentido Leste - Oeste das microrregiões estudadas, com mínimo de 320 mm.ano⁻¹ em Cabaceiras e máximo de 680 mm.ano⁻¹ nos municípios de Prata e Ouro Velho;
- 2) Evidenciou-se que a microrregião do Cariri Oriental é menos chuvosa que o Cariri Ocidental, o que se deve, em partes, às baixas altitudes, caracterizando uma região interplanáltica que contribui para explicar a

acentuada variabilidade do regime de chuvas do Cariri Paraibano.

- 3) Na microrregião do Cariri Ocidental evidencia-se uma tendência de redução não significativa da precipitação pluvial, com núcleo mais acentuado no município de Camalaú. Entretanto, na microrregião do Cariri Oriental ocorre um acréscimo significativo da precipitação, com núcleo mais acentuado no município de Cabaceiras. Tal conclusão necessita ser confrontada com informações de uso e ocupação do solo para a identificação de possíveis causas dessa variação.

Agradecimento

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pela concessão

de bolsa aos autores.

Referências

- Ab'Saber, A.N., 2003. Os domínios de Natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas, 2 ed. Ateliê Editorial, São Paulo.
- AESA. Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba, 2006. Plano Estadual de Recursos Hídricos – Resumo Executivo. João Pessoa.
- Aquino, C.M.S.de, Almeida, J.A.P.de, Oliveira, J.G.B.de, 2012. Estudo da cobertura vegetal/uso da terra nos anos de 1987 e 2007 no núcleo de degradação/desertificação de São Raimundo Nonato – Piauí. *RA'E GA* 25, 252-278.
- Ahani, H., Kherad, M., Kousari, M.R., Roosmalen, L.V., Aryanfar, R., Hosseini, S. M., 2013. Non-parametric trend analysis of the aridity index for three large arid and semi-arid basins in Iran. *Theoretical and Applied Climatology* 112, 553–564.
- Almeida H.A., Silva, L., 2008. Determinação das características hídricas da microbacia de drenagem da barragem Vaca Brava. *Revista Brasileira de Agrometeorologia* 16, 77-86.
- Back, J.A., 2001. Aplicação de análise estatística para identificação de tendências climáticas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 36, 717-726.
- Conti, J.B., 2005. A questão climática do nordeste brasileiro e os processos de desertificação. *Revista Brasileira de Climatologia* 1, 7-14.
- Correa, A.C.deB., Tavares, B.deA.C., Monteiro, K.de A., Cavalcanti, L.C.S., Lira, D.R.de, 2010. Mega geomorfologia e morfoestrutura do planalto da Borborema. *Revista do Instituto Geológico* 31, 35-52.
- Croitoru, A., Piticar, A., Imbroane, A.M., Burada, D.C., 2013. Spatiotemporal distribution of aridity indices based on temperature and precipitation in the extra-Carpathian regions of Romania. *Theoretical and Applied Climatology* 112, 597–607.
- Costa, A.C., Soares, A., 2012. Local spatiotemporal dynamics of a simple aridity index in a region susceptible to Desertification. *Journal of Arid Environments* 87, 8- 18.
- Djebou, D.C.S., Singh, V.P.; Frauenfeld, O.W., 2014. Analysis of watershed topography effects on summer precipitation variability in the southwestern United States. *Journal of Hydrology* 511, 838–849.
- Ferreira, A.G., Mello, N.G.daS., 2005. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região nordeste do Brasil e a influência dos oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região. *Revista Brasileira de Climatologia* 1, 15-28.
- Fitz, P.R., 2008. Geoprocessamento sem complicação. Oficina de textos, São Paulo.
- He, Y., 2014. The effect of precipitation on vegetation cover over three landscape units in a protected semi-arid grassland: Temporal dynamics and suitable climatic index. *Journal of Arid Environments* 109, 74-82.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2009. Manual técnico de geomorfologia. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. Rio de Janeiro.
- Mao, D., Wang, Z., Luo, L., Ren, C., 2012. Integrating AVHRR and MODIS data to monitor NDVI changes and their relationships with climatic parameters in Northeast China. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 18, 528–536.
- Mendonça, F., Danni-Oliveira, I.M., 2007. *Climatologia: noções básicas e climas do Brasil*. Oficina de Textos, São Paulo.
- Molion, L.C.B., Bernardo, S.O., 2002. Uma revisão da dinâmica das chuvas no nordeste brasileiro. *Revista Brasileira de Meteorologia* 17, 1-10.
- Moreira, E., Targino, I., 1997. Capítulos de Geografia Agrária da Paraíba. Editora Universitária/UFPB, João Pessoa.
- Nascimento, S.S., Alves J.J.A., 2008. *Ecoclimatologia do Cariri Paraibano*. *Revista Geográfica Acadêmica* 2, 28-41.
- Odorico, P., Bhattachan, A., Davis, K.F., Ravi, S., Runyan, C. W., 2013. Global desertification: Drivers and feedbacks. *Advances in Water Resources* 51, 326–344.
- Oliveira, L.F.C., Fioreze, A.P., Medeiros, A.M. M., Silva, M.A.S., 2010. Comparação de metodologias de preenchimento de falhas de séries históricas de precipitação pluviométrica anual. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 14, 1186-1192.
- PAE-PB. Programa de Ação Estadual de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca no Estado da Paraíba, 2011. João Pessoa.
- Penereiro, J.C., Ferreira, D.H.L., 2011. Estatística apoiada pela tecnologia: uma proposta para identificar tendências climáticas. *Acta Scientia* 13, 87-105.
- Ross, J.L.S., 2011. *Geografia do Brasil*. Editora da Universidade de São Paulo. São Paulo.
- Silva, V.deP.R.da, Guedes, M.J.F., Lima, W.F.A., Campos, J.H.B.C., 2002. Modelo de previsão de rendimento de culturas de sequeiro, no semiárido do Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*

- 6, 83-87.
- Souza, B.I., Silans, A.M.B.P., Santos, J.B., 2004. Contribuição ao estudo da desertificação na Bacia do Taperoá. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 8, 292-298.
- Souza, B.I., Suertegaray, D.M.A., Lima, E.R.V., 2010. Políticas Públicas, uso do solo e desertificação nos Cariris Velhos (PB/Brasil). *Scripta Nova* 14, 311-324.
- Shaohong, W.U., Yunhe, Y.I.N., Du, Z., Qinye, Y., 2005. Aridity/humidity status of land surface in China during the last three decades. *Science in China* 48, 1510-1518.
- Wotling, G., Bouvier, C., Danloux, J., Fritsch, J. M., 2000. Regionalization of extreme precipitation distribution using the principal components of the topographical environment. *Journal of Hydrology* 233, 86-101.
- Vianello, R.L., Alves, A.R., 2012. *Meteorologia Básica e Aplicações*. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- Xu, D., Li, C., Song, X., Ren, H., 2014. The dynamics of desertification in the farming-pastoral region of North China over the past 10 years and their relationship to climate change and human activity. *Catena* 123, 11–22.