



Tendências Observadas na Precipitação sobre a Bacia do Riacho do Navio (Pernambuco) Observed Trends in Precipitation over the Riacho do Navio Basin (Pernambuco)

Ailton Alves de Carvalho¹; Iug Lopes^{1,2} & Onáira Fernanda da Silva³

¹Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Engenharia Agrícola,
Rua Manuel de Medeiros s/n, 52171-900, Dois Irmãos, Recife, PE, Brasil

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano,
Campus Bom Jesus da Lapa, Rodovia BR349 s/n, 47600-000, Zona Rural, Bom Jesus da Lapa, BA, Brasil

³Universidade Federal Rural de Pernambuco, Campus Serra Talhada,
Avenida Gregório Ferraz Nogueira s/n, 56909-535, José Tomé de Souza Ramos, Serra Talhada, PE, Brasil
E-mails: ailtonalvesst@hotmail.com; iug.lobes@ifbaiano.edu.br; onaira.fernanda@hotmail.com

Recebido em: 02/05/2019 Aprovado em: 19/07/2019

DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2019_4_56_70

Resumo

A precipitação é um dos mais importantes componentes do sistema hidrológico e o entendimento da sua variabilidade espaço-temporal é de fundamental importância para o manejo de bacias hidrográficas, principalmente as localizadas no semiárido do Brasil. Dessa forma, o objetivo deste trabalho é analisar e classificar as séries históricas de precipitação quanto aos seus perfis e tendências na Bacia Hidrográfica do Riacho do Navio (BHRN), localizada no Estado de Pernambuco. Foram utilizados os dados dos postos pluviométricos de Betânia e de Airi, ambos com séries de mais de 30 anos de registros de precipitação. Os dados de precipitação anual, mensal, máxima em um único dia e número de dias com chuva foram organizados para ajuste do modelo Gumbel, a fim de classificar os anos de muitos secos a muitos chuvosos pela técnica de quantis e determinação de tendência pelo teste não paramétrico de Mann-Kendall. Os postos pluviométricos de Betânia e de Airi apresentaram 15,8 e 15,5% da série considerada como anos muito secos, com precipitação média de 191,0 e 308,1 mm, respectivamente. O teste de Mann-Kendall identificou diminuição da precipitação total anual, com redução de -52,7 mm (-11%) para a estação de Betânia e de -82,2 mm (-10%) para Airi, em 30 anos. O decréscimo dos números de dias com precipitação em 30 anos é de 6 dias para Betânia e 20 dias para Airi. A redução da precipitação e do número de dias com chuva, provavelmente implicará em diminuição da disponibilidade hídrica superficial e subterrânea na BHRN e, conseqüentemente, poderá haver mudanças na dinâmica da vegetação nativa e elevação da erosão do solo, causando dificuldade de rendimento na agricultura de sequeiro desta região.

Palavras-chave: Mudanças Climáticas; Mann-Kendall; Semiárido

Abstract

Rainfall is one of the most important components of the hydrological system and the understanding of its spatio-temporal variability is of fundamental importance for the management of hydrographic basins, especially those located in the semi-arid region of Brazil. In this way, the objective of this work is to analyze and classify the historical series of precipitation as to their profiles and trends in the Watershed of Riacho do Navio (WRN), located in the Pernambuco State. Data from the plains of Betânia and Airi, both with a series of more than 30 years of precipitation records. The total annual, monthly, maximum rainfall in a single day and number of rainy days were organized to fit the Gumbel, in order to classify the years of very dry to very rainy ones by the quantis technique and trend determination by the non-parametric test of Mann-Kendall. The pluviometric stations of Betânia and Airi presented 15.8 and 15.5% of the series considered as very dry years, with an average precipitation of 191.0 and 308.1 mm, respectively. The Mann-Kendall test identified a decrease in total annual rainfall, with a reduction of -52.7 mm (-11%) for the Bethany station and -82.2 mm (-10%) for Airi, in 30 years. The decrease in the number of days with precipitation in 30 years is 6 days for Bethany and 20 days for Airi. The reduction of rainfall and the number of rainy days, will probably imply a reduce the surface water and groundwater in WRN and, consequently, there may be changes in the dynamics of the native vegetation and soil erosion increase, causing difficult in the yield to rainfed agriculture from this region.

Keywords: Climate Changes; Mann-Kendall; Semi-arid



1 Introdução

A precipitação é um dos mais importantes componentes do sistema hidrológico e o seu conhecimento espacial e temporal é necessário, uma vez que mudanças nos padrões pluviométricos afetam a disponibilidade dos recursos hídricos.

A precipitação apresenta elevada variabilidade de tempo e no espaço, condicionada aos fatores de altitude, latitude, a dinâmica das massas de ar e as condições de uso e cobertura do solo (Couto-Santos *et al.*, 2014; Schmidt *et al.*, 2018; Queiroz, 2018). Ao longo do tempo, o regime pluviométrico pode apresentar tendência e seus estudos são essenciais para compreensão do clima de uma região e auxílio no planejamento de projetos hidroagrícolas e preservação dos bioecossistemas (Back *et al.*, 2012; Silva *et al.*, 2015).

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) alerta para as alterações nos regimes pluviométricos resultantes dos efeitos do aquecimento global (IPCC, 2014). Nesse contexto, o estudo do regime e classificação da precipitação, em muito seco, seco, normal, chuvoso e muito chuvoso (Blain, 2013; Lopes *et al.*, 2017), bem como, a análise de tendência nas séries temporais de temperatura e precipitação como ressaltados por Pingale *et al.* (2014) na Índia, Asfaw *et al.* (2018) na Etiópia, Xu *et al.* (2018) na Ásia, Shrestha *et al.* (2019) no Himalaia, Skansi *et al.* (2013) na América do Sul, Duarte (2005), Silva & Dereczynski (2014) e Regoto *et al.* (2018) no Brasil, representam importante análise para planejamento de atividades agrícolas.

A análise de tendências e planejamento de atividades agrícolas em escala de bacia hidrográfica foram desenvolvidos nas bacias dos rios Piracicaba, Mogi-Guaçu, São José dos Dourados, Turvo Grande, Alto do Paranapanema, Aguapeí e Peixe por Groppo *et al.* (2005), no Tietê/Jacaré em São Paulo por Tundisi *et al.* (2008), no Rio Paraíba do Sul nos estados do Rio de Janeiro e São Paulo por Marengo & Alves (2005). Encontram-se também estudos de análise de tendência da precipitação no Nordeste do Brasil, com destaque para a Mesorregião Sul Cearense por Ferreira *et al.* (2018), no Agreste e Sertão Pernambucano por meio de dados de satélite Nóbrega

et al. (2015) e nas bacias hidrográficas dos rios Brígida, Garças, Goiana, Ipanema e Sirinhaém em Pernambuco por Silva *et al.* (2017).

Bacias hidrográficas que passam por constantes mudanças relacionadas ao uso do solo e ao regime pluviométrico colocam em risco a sustentabilidade do meio ambiente. Um exemplo de bacia que é explorada por uso intensivo da vegetação e do solo é a BHRN, que está localizada na Mesorregião do Sertão pernambucano e cuja principal atividade econômica está ligada à pecuária e à agricultura familiar (Ferraz *et al.*, 2006).

A agricultura familiar é uma das formas de cultivos mais afetadas pelas mudanças climáticas devido à sua baixa capacidade adaptativa e sua dependência ao cultivo de sequeiro, a qual não utiliza técnica de irrigação, mas sim apenas a água proveniente da precipitação, sendo assim, muito sensível à variabilidade climática (Asfaw *et al.*, 2018).

Estudos voltados para manejos sustentáveis do solo e dos recursos hídricos na BHRN são necessários, já que está ocorrendo o aumento das condições adversas de moradia e conseqüentemente provocando o êxodo rural em Mesorregiões do Estado de Pernambuco (Lima *et al.*, 2016). Além do mais, por ser uma área localizada em uma região semiárida, torna-se mais vulnerável e susceptível aos efeitos das mudanças ambientais e do processo de desertificação, com sérias implicações econômicas e socioambientais (Ribeiro, 2016). Dessa forma, o objetivo deste trabalho é analisar as séries históricas de precipitação na BHRN através da avaliação das tendências pluviométricas mensais, anuais e do total de dias com chuva na dinâmica agroambiental da bacia.

2 Material e Métodos

2.1 Caracterização da Área de Estudo

O estudo foi realizado na BHRN, entre as latitudes 8° 0' 00" e 8° 45' 00" S e longitudes 37° 45' 00" e 38° 45' 00" W. Localizada no Sertão do Estado de Pernambuco, a bacia possui duas estações pluviométricas com série de registros com mais 30 anos (Betânia e Airi). Entre as duas estações está localizada a barragem da Barra do Juá (Figura 1).

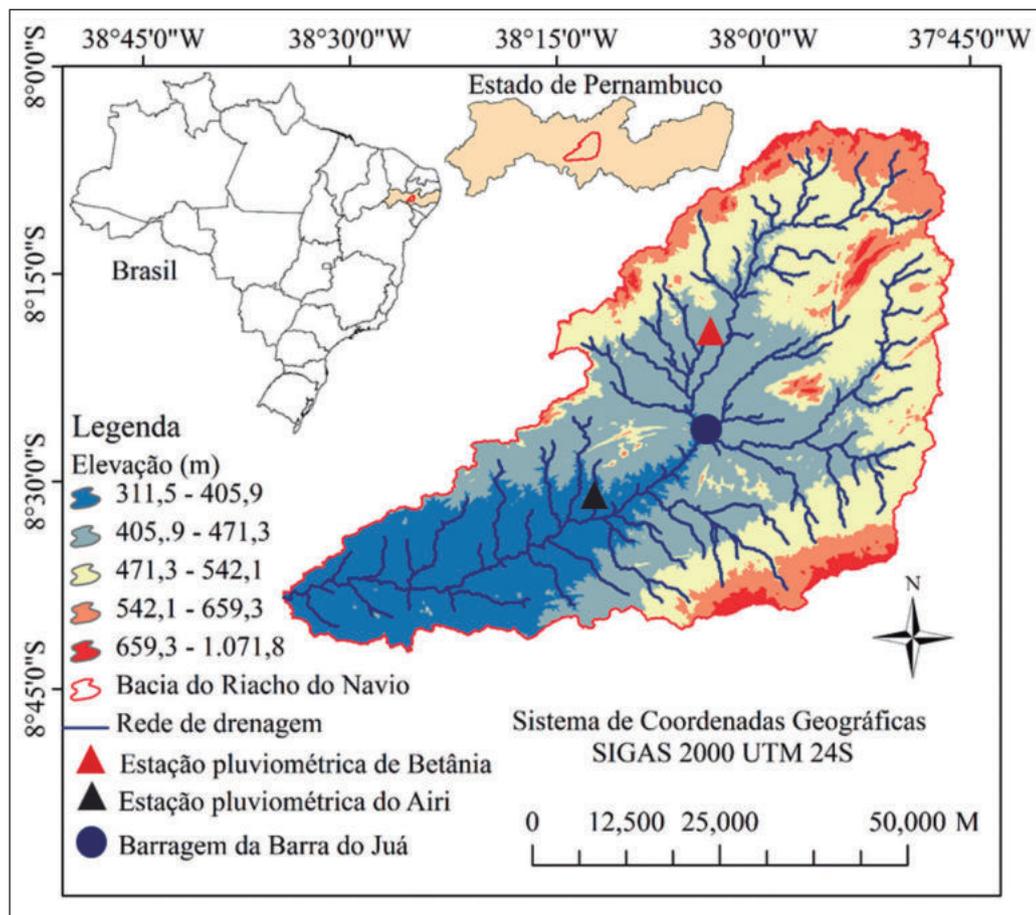


Figura 1 Modelo digital de elevação do terreno (MDE), linha de drenagem e localização das estações pluviométricas de Betânia e de Airi e da barragem da Barra do Juá na BHRN.

A parte alta da rede de drenagem do Riacho do Navio está localizada entre os municípios de Betânia e de Custódia, drenando para a barragem da Barra do Juá, localizada no município de Floresta. A barragem tem uma expressiva capacidade de armazenamento de água (71.474.000 m³), a qual contribui para perenizar o Riacho do Navio a jusante, com vazão de 680 l s⁻¹ (ANA, 2019).

2.2 Processamento de Imagens

O mapeamento do uso e da ocupação do solo foi realizado por meio do processamento de imagens de satélite, obtida pelo sensor TM/Landsat 8, para a qual utilizou-se uma composição colorida 6R5G4B para classificação supervisionada. O tratamento da imagem foi realizado através do software SPRING® (Camara *et al.*, 1996).

Os passos metodológicos percorridos foram: coleta, análise, interpretação e discussão dos dados. As categorias de uso definidas para a fotointerpreta-

ção foram caatinga aberta, caatinga fechada, corpo hídrico, mata de algaroba e agricultura. Neste estudo, adotou-se a técnica de classificação multiespectral da máxima verossimilhança, que considera a ponderação das distâncias entre médias dos níveis digitais das classes, utilizando parâmetros estatísticos. Além do mais, para a melhoria na precisão do método, é necessário identificar conjuntos de pixels (áreas) na imagem, para cada treinamento (Camara *et al.*, 1996). A identificação dos pixels com as categorias de uso do solo foram baseadas em visitaçao e coleta das coordenadas com auxílio de GPS nas áreas com distintos usos do solo na bacia.

2.3 Caracterização Pluviométrica

Os dados de precipitação diária foram coletados para dois postos pluviométricos. O primeiro é o posto 93 (estação de Betânia) da rede pluviométrica da Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC), com período de informações de 1943 até

2018. O segundo posto é o 838000 (estação de Airi) da rede da Agência Nacional de Água (ANA), com registros de 1934 até 2018.

Com os dados de precipitação máxima diária foi possível avaliar pelo teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov e a distribuição de Gumbel (1958) se os dados ajustam-se aos níveis de 1 e 5% de probabilidade. Com a verificação teórica pela distribuição de Gumbel é possível estimar os valores máximos de precipitação diária para os períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 30, 50, 100, 200 e 300 anos.

A Equação 1 é a função de probabilidade acumulada da distribuição de Gumbel, que permite calcular a precipitação máxima diária em função do tempo de retorno a partir de sua inversa (Equação 2).

$$F_y(y) = \exp \left[-\exp \left(-\left(\frac{y-\beta}{\alpha} \right) \right) \right] \quad (1)$$

$$y(T) = \mu - \alpha \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right] \quad (2)$$

em que: $y(T)$ - precipitação máxima diária em função do tempo de retorno; T - tempo de retorno (anos); μ - parâmetro de forma; β - parâmetro de forma; α - parâmetro de escala.

Os parâmetros desta distribuição de probabilidade são estimados pelo Método do Momento, conforme as Equações 3 e 4:

$$\mu = \bar{X} - 0,451 * s \quad (3)$$

$$\alpha = \frac{1,2826}{s} \quad (4)$$

em que: \bar{X} - média dos dados; s - desvio padrão.

Para análise da série climatológica das precipitações anuais, os dados foram acumulados anualmente para a aplicação da técnica dos quantis (medidas de separação para as distribuições da amostra) no período estudado. A técnica baseia-se na distribuição da frequência acumulada (anual) descrita por Xavier & Xavier (1987) e Xavier (2001). As classes quantílicas são definidas em: muito seco (MS: 0 – 15%), seco (S: 15 – 35%), normal (N: 35 – 65%), chuvoso (C: 65 – 85%) e muito chuvoso (MC: 85 – 100%).

2.4 Análise de Tendência

A análise de tendência foi realizada para a série de precipitação e do número de dias com chuva (mensal e anual) pelo teste estatístico não paramétrico de Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975). A estatística do teste (S) é descrita pela Equação 5:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (5)$$

em que, n é o número de pontos de dados, x_j e x_i referem-se a cada uma das medições em diferentes etapas de tempo i e j , com $i \neq j$; e $\text{sgn}(x_j - x_i)$ é definido pela Equação 6:

$$\text{Sgn} = \begin{cases} 1, & \text{se } (x_j - x_i) > 0 \\ 0, & \text{se } (x_j - x_i) = 0 \\ -1, & \text{se } (x_j - x_i) < 0 \end{cases} \quad (6)$$

Se o conjunto de dados for distribuído de forma idêntica e independente, então a média de S é zero e a variância de S é dada pela Equação 7:

$$\text{Var}(S) = [n(n-1)(2n+5) - \sum_{t=1}^q t(t-1)(2t+5)]/18 \quad (7)$$

onde: n - é o número do conjunto de dados; t - é o número de dados com valores repetidos em um determinado grupo; q - é o número de grupos contendo valores repetidos.

Durante uma longa série temporal, o valor estatístico S pode ser transformado em Z , de acordo com as seguintes condições, dadas pela Equação 8:

$$Z \left(\frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}, S>0; 0, S=0; \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}, S<0 \right) \quad (8)$$

Quando $-1,96 \leq Z \leq 1,96$, aceita-se a hipótese nula (H_0), o que indica que não existe uma tendência estatisticamente significativa na série temporal. A tendência é significativa no nível de confiança de 90% se $|Z| > 1,64$, no nível de confiança de 95% se $|Z| > 1,96$ e no nível de confiança de 99% se $|Z| > 2,58$. Um valor de Z positivo indica que a sequência tem uma tendência de aumento, enquanto que um Z negativo reflete uma tendência decrescente.

Após a identificação das tendências, realiza-se análise da magnitude da tendência por meio do teste da Curvatura de Sen (Sen, 1968), como de acordo com a Equação 9:

$$Q_i = \left(\frac{x_j - x_k}{j - k} \right), \text{ para } i = 1, 2, 3, \dots, N \quad (9)$$

em que, x_j e x_k são os valores dados nos tempos j e k ($j > k$), respectivamente. A mediana desses valores de N de Q_i é o estimador da declividade Sen. Quando os valores são positivos a tendência é positiva e quando os valores são negativos a tendência é negativa.

A análise de tendência de Mann-Kendall foi realizada com o auxílio do RStudio versão 1.1.463 (RStudio Team, 2015).

3 Resultados e Discussão

A classificação de uso e ocupação do solo da BHRN, resultante da composição colorida 6-vermelho, 5-verde e 4-azul (6R5G4B), permitiu identificar cinco classes de uso e ocupação do solo (Figura 2A) da área total da BHRN (3.309,7 km²).

A área de agricultura ocupa 477,6 km² (14,40%), a de caatinga aberta 703,9 km² (21,27%), de caatinga fechada 2.126,7 km² (64,26%), de corpo hídrico 1,4 km² (0,04%) e a mata de Algaroba (*Prosopis juliflora*) ocupa 1,1 km² (0,03%). Elevada quantidade de vegetação de Algaroba foi detectada nas proximidades da rede de drenagem ao longo da BHRN. De acordo com Barros *et al.* (2018), a sua conservação pelos agricultores está associada à alimentação animal, produção de madeira para venda,

construção de cercas e fabricação de carvão como fonte de energia. Além disso, a sua presença nas propriedades rurais com o seu uso racional é uma alternativa para a nutrição de pequenos ruminantes, sobretudo em épocas de estiagem.

A classificação por imagens de satélite na data de 07/12/2016 conseguiu detectar água apenas na barragem da Barra do Juá. Essa baixa quantidade de água superficial está diretamente associada às sequências de anos muitos secos à montante da barragem, como explicado por Lopes *et al.* (2018) através de balanços hídricos para diferentes classes pluviométricas.

Na BHRN, observa-se baixo índice de biomassa verde, como demonstrado pelos valores de NDVI na faixa de -0,127 até 0,228 em mais de 95% da bacia (Figura 2B). Este fato pode estar associado às ações de desmatamento na região, como relatado por Silva *et al.* (2018), que caracterizam áreas degradadas e de solo exposto com valores no intervalo de 0,15 a 0,80 para o bioma Caatinga. Ribeiro (2016) identificou, a partir de índices de vegetação, que diversos pontos na bacia do Rio Pajeú encontram-se susceptíveis ao processo de desertificação e que um dos principais fatores está ligado à acentuada ação antrópica.

Matos *et al.* (2013) identificaram, através do NDVI, baixa biomassa verde em análise de sensoriamento remoto na Bacia do Rio Pajeú (bacia na qual BHRN está inserida). Além do mais, foram cons-

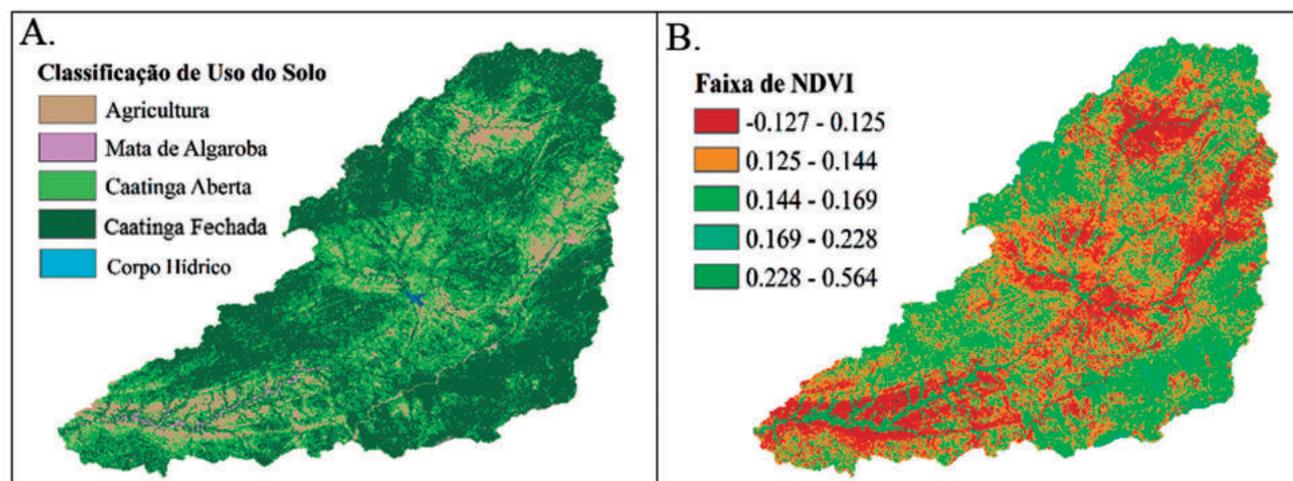


Figura 2 A. Mapa de uso e ocupação do solo; B. Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) da BHRN.

tatados diversos processos de desmatamento, áreas com restrição agrícola em função do baixo volume hídrico disponível e dos solos com problemas de sais e drenagem, além de pouca afinidade para pastagem. Dessa forma, as precipitações mais intensas e concentradas em menos dias podem elevar a degradação dos solos agrícolas e da caatinga aberta, principalmente na época de estiagem na região.

Na Figura 3, são ilustradas a distribuição das precipitações máximas diárias (PMD) observadas e estimadas pelo modelo de Gumbel (Distribuição de Gumbel) para os postos de Betânia (Figura 3A) e de Airi (Figura 3B) e o tempo de retorno da PMD para as duas estações (Figura 3C).

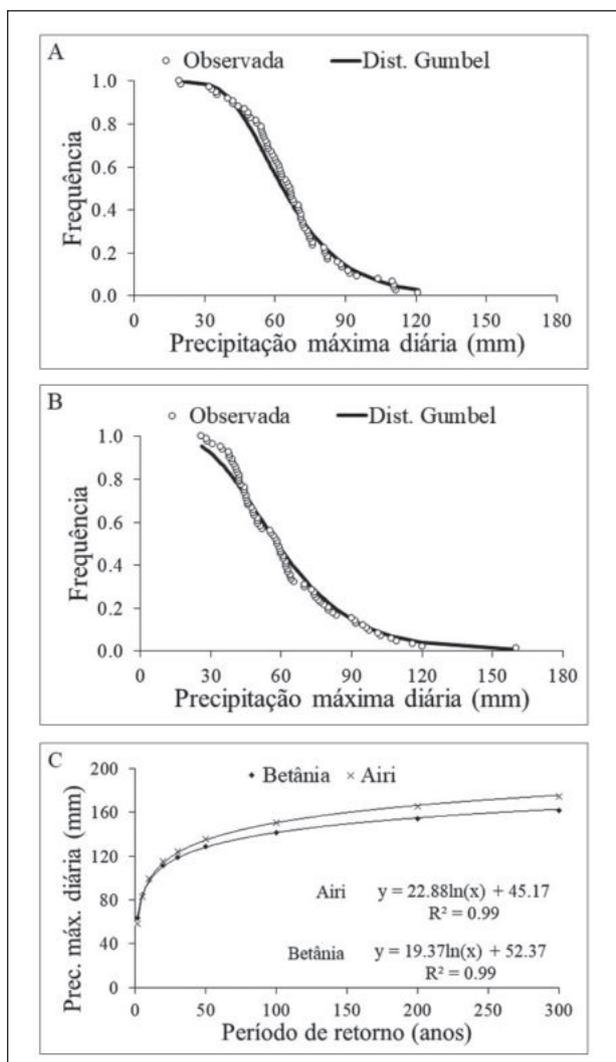


Figura 3 A. Distribuição das precipitações máximas diárias (PMD) observadas e estimadas pelo modelo de Gumbel para Betânia; B. Airi; C. PMD em função do tempo de retorno.

Quando observada a série climatológica de precipitação constatou-se boa aderência entre a distribuição histórica e a teórica de Gumbel (Figura 3A e 3B), verificada nas distribuições de precipitações máximas da série histórica e as estimadas pelo modelo de Gumbel para Betânia e Airi.

As PMD em função do tempo de retorno apresentam um comportamento de modelo logarítmico, com tendência de estabilizar os valores de período de retorno próximo de 250 a 300 anos (Figura 3C). Tais evidências assemelham-se com os resultados de outros autores, os quais obtiveram resultados semelhantes para bacias hidrográficas vizinhas, no que tange a classificação climática de tempo de retorno por Gumbel (Guimarães *et al.*, 2016; Lopes *et al.*, 2017).

A análise da série histórica de precipitação apresenta regimes pluviométricos anuais bem distribuídos nas classes quantílicas para Betânia no período de 1943 a 2018 (Tabela 1) e para Airi de 1935 a 2018 (Tabela 2). Destaca-se a existência de anos seguidos com o mesmo regime pluviométrico para ambos os postos, o que pode representar excesso ou falta de disponibilidade de água no ano seguinte da ocorrência de anos chuvosos ou secos, respectivamente.

Nas Tabelas 1 e 2, constatou-se 12 anos classificados como muito seco para Betânia e 13 para Airi, respectivamente. Além disso, destaca-se para Airi (Tabela 2), uma sequência de 7 anos caracterizado como muito seco, que ocorreram de 2012 a 2018. De acordo com Lopes *et al.* (2017), essa situação de anos consecutivos secos ultimamente estão sendo frequentes em todas as Mesorregiões de Pernambuco.

O posto pluviométrico de Betânia apresenta 15,8% da série de 76 anos classificados como muito secos com uma média de 191,0 mm, 15,8% como muito chuvosos com média de 785,6 mm e 29,0% de anos normais com média de 460,1 mm (Tabela 1). Para o posto de Airi (Tabela 2), os anos secos (20,2%) possuem média de 308,1 mm, 743,8 mm de média para anos normais (28,6%) e 1419,0 mm de média para anos muito chuvosos (20,2%).

Observou-se semelhança na precipitação média mensal de Betânia e Airi. Os maiores valores nas duas estações geralmente ocorrem entre os meses de janeiro e abril e os menores de agosto a outubro (Figura 4).

Tendências Observadas na Precipitação sobre a Bacia do Riacho do Navio (Pernambuco)
Ailton Alves de Carvalho; Iug Lopes & Onáira Fernanda da Silva

Classes Quantílicas	Muito Seco		Seco		Normal		Chuvoso		Muito Chuvoso	
	Ano	Prec.(mm)	Ano	Prec. (mm)	Ano	Prec. (mm)	Ano	Prec. (mm)	Ano	Prec. (mm)
	1958	241,3	1949	376,3	1943	400,8	1947	641,9	1950	693,2
	1961	217,5	1951	308,5	1944	497,7	1954	642,5	1960	741,7
	1997	196,4	1952	325,7	1945	490,1	1957	567,8	1967	826,2
	1998	171,7	1955	320,9	1946	473,9	1964	596,8	1974	977,5
	1999	147	1962	348,2	1948	509,0	1966	630,6	1975	694,5
	2000	300,2	1968	374,1	1953	400,8	1970	652,3	1977	783,5
	2001	149,4	1982	332,1	1956	381,9	1972	589,6	1984	661,1
	2005	142,7	1990	366,4	1959	440,2	1976	583,9	1985	747,2
	2012	134,4	1991	320,6	1963	495,5	1978	534,5	1988	945,0
	2013	279,8	1992	311,2	1965	488,2	1979	546,2	1989	774,6
	2015	128,5	1993	316,1	1969	483,6	1983	594,6	1995	803,1
	2016	182,8	1994	321	1971	516,7	2003	543,0	2011	779,5
			2002	380,4	1973	414,6	2004	612,8		
			2007	329,7	1980	439,4	2008	619,5		
			2017	376,2	1981	477,0	2009	604,3		
					1986	423,5				
					1987	467,9				
					1996	428,4				
					2006	489,4				
					2010	424,6				
					2014	480,4				
					2018	499,5				
Média (mm)		190,9		340,4		460,1		597,3		785,5
Máximo (mm)		300,2		380,4		516,7		652,3		977,5
Mínimo (mm)		128,5		308,5		381,9		534,5		661,1
Desvio padrão (mm)		57,7		26,8		39,9		37,3		95,3
CV (%)		30,2%		7,8%		8,6%		6,2%		12,1%
Frequência (%)		15,8%		19,7%		29,0%		19,7%		15,8%

Tabela 1 Classes quantílicas e respectivas estatísticas descritivas para o posto de Betânia sendo, Prec - precipitação; CV - coeficiente de variação.

Classes Quantílicas	Muito Seco		Seco		Normal		Chuvoso		Muito Chuvoso	
	Ano	Prec (mm)	Ano	Prec (mm)	Ano	Prec (mm)	Ano	Prec (mm)	Ano	Prec (mm)
	1951	427,6	1936	641,2	1937	810,8	1935	1136,6	1940	1582,6
	1956	385,6	1938	465,6	1939	686,4	1945	883,6	1947	1306,0
	1991	393,1	1942	645,2	1941	864,0	1949	899,2	1966	1228,6
	1993	246,6	1943	485,6	1948	769,8	1950	935,0	1967	1419,2
	1998	320,0	1944	625,6	1952	785,8	1954	1019,4	1974	1655,4
	2007	297,3	1946	637,4	1953	721,6	1964	1181,6	1978	1535,8
	2012	151,9	1955	641,8	1957	685,0	1965	1037,0	1981	1246,0
	2013	257,3	1958	560,6	1960	866,2	1968	954,4	1985	1674,1
	2014	388,3	1959	630,0	1961	653,4	1969	1138,2	1986	1498,0
	2015	252,6	1971	623,6	1962	698,6	1975	973,2	1989	1422,9
	2016	226,2	1982	584,6	1963	647,8	1976	946,2	1996	1202,2
	2017	252,9	1984	613,0	1970	695,0	1977	903,6	2000	1298,0
	2018	407,0	1990	518,0	1972	651,2	1980	1067,4	2004	1379,4
			2001	599,0	1973	709,6	1988	1138,5		
			2009	617,1	1979	709,0	1994	978,0		
			2010	570,6	1983	704,4	1997	1140,8		
			2011	640,5	1987	839,6	2005	910,9		
					1992	792,0				
					1995	670,0				
					1999	873,8				
					2002	744,0				
					2003	744,4				
					2006	800,9				
					2008	729,8				
Média (mm)		308,1		594,0		743,8		1014,3		1419,0
Máximo (mm)		427,6		645,2		873,8		1181,6		1674,1
Mínimo (mm)		151,9		465,6		647,8		883,6		1202,2
Desvio padrão (mm)		85,4		56,4		70,7		101,2		160,6
CV (%)		27,7%		9,5%		9,5%		9,9%		11,3%
Frequência (%)		15,5%		20,2%		28,6%		20,2%		15,5%

Tabela 2 Classes quantílicas e respectivas estatísticas descritivas para o posto de Airi. Sendo, Prec - precipitação; CV - coeficiente de variação.

Tendências Observadas na Precipitação sobre a Bacia do Riacho do Navio (Pernambuco)

Ailton Alves de Carvalho; Iug Lopes & Onáira Fernanda da Silva

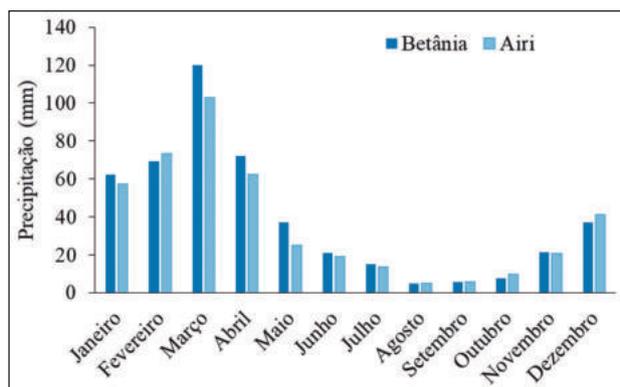


Figura 4 Precipitação média mensal (mm/mês) para as estações de Betânia (1943 a 2018) e Airi (1934 a 2018).

A precipitação média em janeiro, fevereiro, março e abril são de 62, 70, 120 e 72 mm para Betânia e 57, 73, 103 e 62 mm para Airi, respectivamente.

te. O plantio de sequeiro geralmente ocorre de janeiro até março na região, principalmente com culturas anuais de ciclo rápido, como destacado por Ferraz *et al.* (2006) para as culturas do feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* L.) e milho (*Zea mays* L.).

Na Tabela 3 são apresentadas as informações dos valores mínimos (Mín.), médios (Méd.) e máximos (Máx.) e a análise da tendência de Mann-Kendall com os parâmetros: estatística *Z* e *p-value* (significância da tendência aos níveis de 1% ($p < 0,01$), 5% ($p < 0,05$) e 10% ($p < 0,1$)), considerada para identificar a tendência crescente ou decrescente na série temporal mensal e anual da Precipitação (Prec.), do Número de Dias de Precipitação (NDP) (dias/ano) e da PMD para as estações de Betânia e de Airi.

Variáveis	Betânia					Airi				
	Min.	Med.	Max.	Z	p-value	Min.	Med.	Max.	Z	p-value
Precipitação anual	128,50	478,70	977,50	-1,64	0,10	151,90	803,33	1674,10	-1,73	0,08
NDP	16	38	93	-2,96	0,00	28,00	90,11	172,00	-4,08	0,00
PMD	19,00	66,74	121,00	-1,28	0,20	26,00	61,96	160,00	-1,61	0,11
Pre - Janeiro	0,00	64,57	370,00	-0,74	0,46	0,00	106,56	752,80	-0,35	0,73
Pre - Fevereiro	0,00	70,41	248,60	0,28	0,78	2,00	131,95	523,20	-0,99	0,32
Pre - Março	0,00	121,58	429,40	-1,57	0,12	2,00	192,74	699,60	-1,58	0,10
Pre - Abril	0,00	72,80	274,40	-0,79	0,43	0,30	116,77	601,80	-1,16	0,24
Pre - Maio	0,00	37,00	172,00	-1,2	0,23	0,00	44,09	174,20	-2,03	0,04
Pre - Junho	0,00	21,12	164,00	-1,96	0,05	2,00	34,77	248,80	-0,20	0,84
Pre - Julho	0,00	14,99	92,00	-0,78	0,44	0,00	25,79	136,00	-0,45	0,65
Pre - Agosto	0,00	4,77	39,00	-0,99	0,32	0,00	8,56	43,40	-2,50	0,01
Pre - Setembro	0,00	5,69	67,80	-1,81	0,07	0,00	10,54	148,20	-3,04	0,00
Pre - Outubro	0,00	7,75	99,80	0,31	0,76	0,00	18,08	156,00	-2,51	0,01
Pre - Novembro	0,00	21,10	147,00	-1,64	0,10	0,00	39,08	268,00	-1,38	0,17
Pre - Dezembro	0,00	36,30	213,30	-1,51	0,13	0,00	74,40	446,40	-1,24	0,21
NDP - Janeiro	0	4	13	0,00	1,00	0,00	9,28	34,00	0,67	0,50
NDP - Fevereiro	0	4	11	0,55	0,58	0,00	9,82	30,00	-0,33	0,74
NDP - Março	0	7	24	-1,72	0,09	0,00	15,32	40,00	-1,17	0,24
NDP - Abril	0	5	18	-1,49	0,14	0,00	11,61	34,00	-0,70	0,48
NDP - Maio	0	4	16	-1,98	0,05	0,00	8,78	36,00	-1,01	0,31
NDP - Junho	0	4	16	-2,49	0,01	0,00	8,73	38,00	-0,54	0,59
NDP - Julho	0	3	16	-1,20	0,23	0,00	8,45	42,00	-0,09	0,93
NDP - Agosto	0	1	9	-1,51	0,13	0,00	3,48	14,00	-2,06	0,04
NDP - Setembro	0	1	5	-2,24	0,03	0,00	2,05	14,00	-0,74	0,46
NDP - Outubro	0	1	7	0,24	0,81	0,00	2,17	14,00	-0,64	0,52
NDP - Novembro	0	2	7	-2,25	0,02	0,00	4,16	20,00	0,37	0,71
NDP - Dezembro	0	3	13	-2,29	0,02	0,00	6,27	24,00	-0,68	0,50

Tabela 3 Valores mínimos, médios, máximos, *Z* e *p-value* para precipitação e NDP. Valores em negrito representam os anos e meses que apresentaram tendência estatisticamente significativas ao nível de confiança de 95% de acordo com o teste Mann-Kendall para precipitação e NDP.

A precipitação média, a mínima e a máxima anual foram de 478,7 mm (série histórica), 128,5 mm (ano de 2015) e 977,5 mm (ano de 1974) para Betânia e de 803,3 mm (série histórica), 151,9 mm (ano de 2012) e 1674,1 mm (ano de 1985) para Airi, respectivamente.

Historicamente, os meses com maior concentração de precipitação são de janeiro a abril para as duas estações (Figura 4) e os maiores valores históricos da PMD são de 121 mm para Betânia e 160 mm para Airi. Já para NDP, a média, o máximo e o mínimo anual foram de 38, 93 e 16 dias para Betânia e de 90, 172 e 28 dias para Airi, respectivamente. Apesar das estações estarem situadas praticamente na mesma altitude em relação ao nível do mar (cerca de 400 m) e a uma distância de 30 km, Airi apresenta precipitação um pouco mais elevada e podendo estar associada ao processo de formação das chuvas e direções dos ventos predominantes.

Uma tendência de redução de NDP anual estatisticamente significativo ao nível de 95% de confiança foi observado para Betânia ($Z = -2,96$) e para Airi ($Z = -4,08$) e mensal de redução para maio, junho, setembro, novembro e dezembro em Betânia e agosto em Airi. Os meses de junho, setembro e novembro em Betânia e maio, agosto, setembro e outubro em Airi apresentaram tendência de redução da precipitação. Não foram constatadas tendências para PMD.

A tendência de redução da precipitação e dos dias com chuva em Betânia (observados de modo mais expressivo) e Airi, alertam a população e autoridades públicas para a possibilidade de redução das áreas de cultivo em sequeiro e do aumento de perdas na produção agrícola e na pecuária extensiva da região. Nos períodos de estiagem prolongada o manejo alimentar geralmente é comprometido em função da escassez de alimentos, ficando os animais soltos na caatinga, sobrevivendo com a pouca pastagem disponível (Barros *et al.*, 2018).

A tendência de Mann-Kendall para precipitação total anual, PMD ocorrida no ano, NDP anual, e a diferença da precipitação em relação à média (resíduos) são ilustradas na Figura 5 com os valores de probabilidade (p), derivados a um nível de signifi-

cância de 1% ($p < 0,01$), 5% ($p < 0,05$) e 10% ($p < 0,10$) e a magnitude da tendência (β).

Foi constatada tendência para precipitação total anual ($p < 0,10$) com taxa de redução de 52,7 mm em 30 anos para Betânia. Para Airi ($p < 0,10$) a taxa de redução foi de 82,2 mm em 30 anos. Uma redução da precipitação também foi constatada por Lopes *et al.* (2018) para a estação de Cabrobó, localizada na mesma condição climática no estado de Pernambuco. Os autores estudaram a influência de elementos meteorológicos na mudança de padrões de aridez na Mesorregião do Semiárido pernambucano e observaram a elevação da condição de aridez, evidenciadas não só pelo aumento da temperatura, mas também pela redução dos valores de precipitação.

Uma tendência de redução de NDP em 30 anos foi observada nas duas estações, porém de modo mais enfático em Airi (20 dias) do que em Betânia (6 dias). A redução no NDP pode representar maior concentração da precipitação. Caso ocorra a concentração, o número de enchentes pode ser mais elevado, assim como a degradação do solo. De acordo com Silva *et al.* (2012), caso as precipitações intensas sejam uma realidade nos próximos anos, os processos de erosão poderão ser agravados no semiárido em regiões de solos rasos e com deficitárias condições de drenagem natural. Além dos solos rasos e dos problemas de drenagem relatados por Matos *et al.* (2013), a BHRN apresenta extensas áreas com caatinga aberta (21,3%) e agricultura (14,4%). Além do mais, toda a área de caatinga fechada durante maior parte do ano apresenta índice de biomassa verde (NDVI) baixo. Esses fatores podem acelerar os processos de degradação do solo.

Analisando a variação pluviométrica em relação à média anual para Betânia, no período do estudo, observa-se que os anos de 1974, 1988 e 1967 apresentaram as maiores anomalias positivas, com 499, 466 e 348 mm, respectivamente. Já os anos 2005, 2012 e 2015 foram os que apresentaram maiores variações negativas, com -336, -344 e -350 mm, respectivamente (Figura 5G).

Na estação do Airi observou-se que os anos de 1978, 1974 e 1985 apresentaram as maiores va-

Tendências Observadas na Precipitação sobre a Bacia do Riacho do Navio (Pernambuco)
 Ailton Alves de Carvalho; Iug Lopes & Onáira Fernanda da Silva

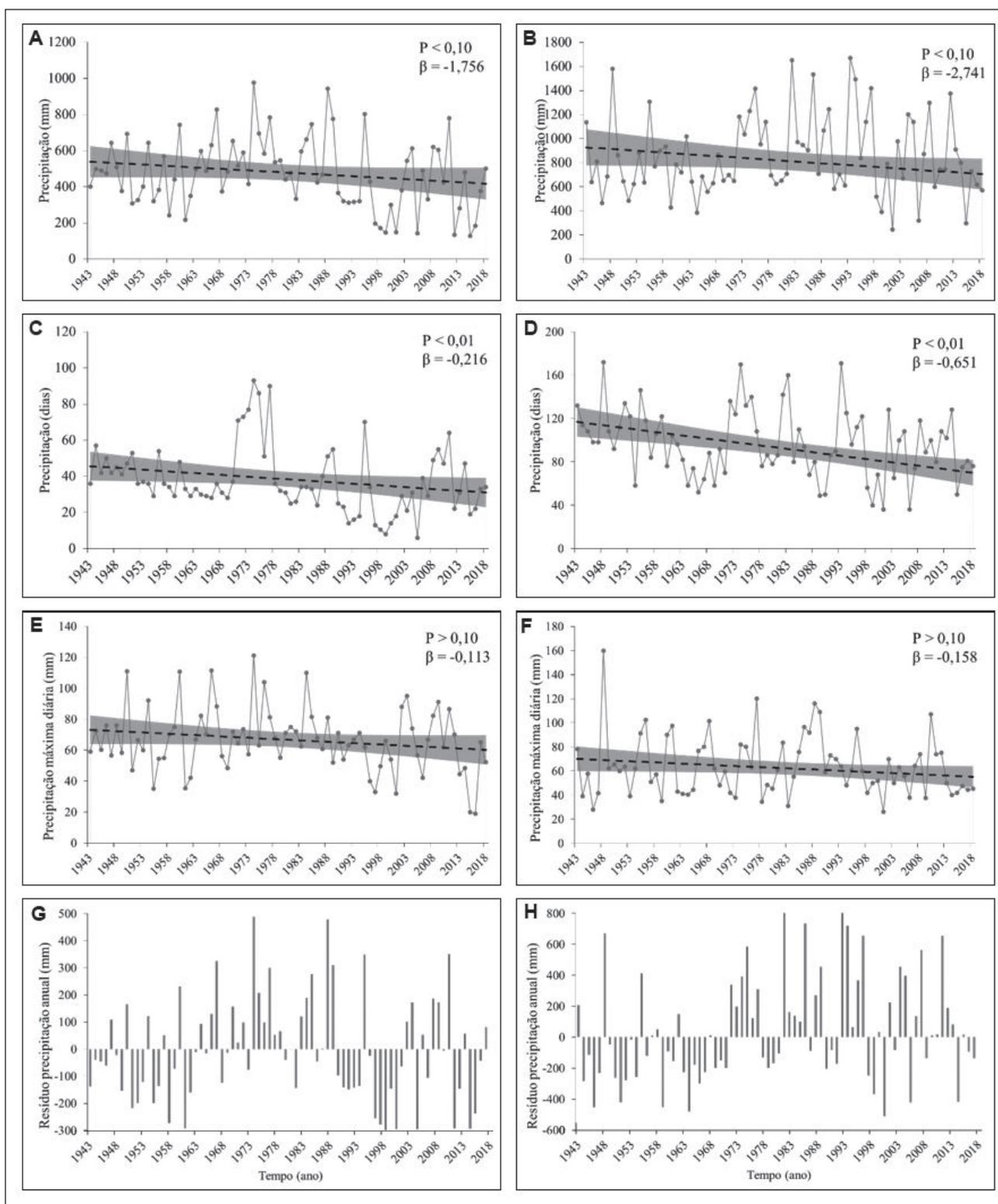


Figura 5 Série histórica dos acumulados pluviométricos anuais (A. Betânia; B. Airi), de NDP (C. Betânia; D. Airi), de precipitação máxima (E. Betânia; F. Airi) e suas respectivas análises de tendência Mann-Kendall, e diferença da precipitação em relação à média (G. Betânia; H. Airi) para os postos pluviométricos localizado na BHRN. A área hachurada em cinza representa o intervalo de confiança de 95% da reta da tendência linear.

riações positivas, com 735, 843 e 894 mm, respectivamente. Já os anos 1956, 1993 e 2012 foram os que apresentaram maiores variações negativas, com -480, -510 e -548 mm, respectivamente (Figura 5H).

Na Figura 6 são ilustrados os índices “p” da análise de tendência da precipitação de acordo com o teste Mann-Kendall e a magnitude da inclinação da reta pelo índice β , para os meses de junho ($p < 0,05$, $\beta = -0,134$), setembro ($p < 0,10$, $\beta = -0,137$) e novembro ($p < 0,10$, $\beta = -0,166$) em Betânia e março ($p < 0,10$, $\beta = -0,798$), maio ($p < 0,05$, $\beta = -0,254$), agosto ($p < 0,01$, $\beta = -0,051$), setembro ($p < 0,01$, $\beta = -0,032$) e outubro ($p < 0,01$, $\beta = -0,032$) em Airi. Esses meses são apresentados devido à significância das tendências mostradas anteriormente na Tabela 3.

Nos meses de junho, setembro e novembro há tendência de redução da precipitação para Betânia, com valores de redução de 4,0 mm (19%), 4,1 mm (72%) e 5,0 mm (24%) em 30 anos e nos meses de março, maio, agosto, setembro e outubro para Airi, com tendência de redução de 23,9 (12%), 7,6 (17%), 1,5 (18%), 1 (9%) e 1 (5%) mm também em 30 anos. Essas reduções comprometem as áreas de plantio de sequeiro realizado geralmente entre os meses de janeiro e março ao longo da BHRN.

Silva *et al.* (2017) encontraram tendências de diminuição da precipitação total anual nas bacias hidrográficas dos rios Brígida (40%), Garças (25%), Goiana (25%), Ipanema (33%) e Sirinhaém (50%), também no Estado de Pernambuco. Ainda assim, Siqueira *et al.* (2018) constataram a necessidade de aumento do número de estações meteorológicas na região do Sertão de Pernambuco, para facilitar as constatações de mudanças em padrões ambientais.

Além do comprometimento dos cultivos agrícolas, de acordo com Xavier *et al.* (2014), essas alterações nos regimes pluviométricos podem ameaçar a biodiversidade dos biomas brasileiros. Aqui destaca-se a caatinga, que vem sofrendo impactos significativos, em parte devido à diminuição da vegetação nativa, tornando diversas áreas susceptíveis à desertificação.

De acordo com Souza *et al.* (2015), essas áreas em desertificação devem ser consideradas

como um problema ambiental complexo, que compromete a capacidade e o suporte dos ecossistemas. Logo, pesquisas sobre tendências da precipitação e do número de dias chuvosos são de grande relevância para suporte agrícola, industrial e ao manejo ambiental sustentável.

Queiroz (2018), trabalhando em área de Caatinga no Sertão Pernambucano, constatou redução equivalente a 5% da precipitação em área desmatada em comparação a área de caatinga preservada. Nesse contexto, medidas de conservação da vegetação de caatinga da BHRN devem ser consideradas no processo de evapotranspiração do ciclo hidrológico, podendo contribuir na elevação ou melhor distribuição da precipitação e dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos.

A redução da precipitação na estação de Betânia pode comprometer gravemente o abastecimento da barragem da Barra do Juá, prejudicando assim o abastecimento de água para uso doméstico e dos lotes irrigados na sua margem e à jusante.

A tendência pelo teste Mann-Kendall para NDP mensais foram constatadas (Tabela 3) para os meses de março ($p < 0,10$; $\beta = -0,134$), maio ($p < 0,05$; $\beta = -0,134$), junho ($p < 0,01$; $\beta = -0,134$), setembro ($p < 0,05$; $\beta = -0,134$) novembro ($p < 0,05$; $\beta = -0,134$) e dezembro ($p < 0,05$; $\beta = -0,134$) para Betânia e para agosto ($p < 0,05$; $\beta = -0,134$) para Airi. Essas tendências são apresentadas na Figura 7.

A magnitude da tendência demonstra redução de 13, 21, 24, 4, 57 e 27% para NDP para os meses de março, maio, junho, setembro, novembro e dezembro para Betânia, respectivamente e agosto com redução de 73% para Airi. Tendência no aumento nos dias consecutivos secos vêm sendo observada no Agreste e Sertão Pernambucano (Nóbrega *et al.*, 2015). Grande variabilidade da precipitação e do NDP no Nordeste brasileiro foi observada por Silva *et al.* (2011), que alertam para os possíveis danos ambientais e socioeconômicos relacionados à agricultura de sequeiro.

Silva *et al.* (2017) verificaram uma aceleração no processo de aridez das bacias dos rios Ipanema e Garças em Pernambuco, em decorrência da redução

Tendências Observadas na Precipitação sobre a Bacia do Riacho do Navio (Pernambuco)
 Ailton Alves de Carvalho; Iug Lopes & Onáira Fernanda da Silva

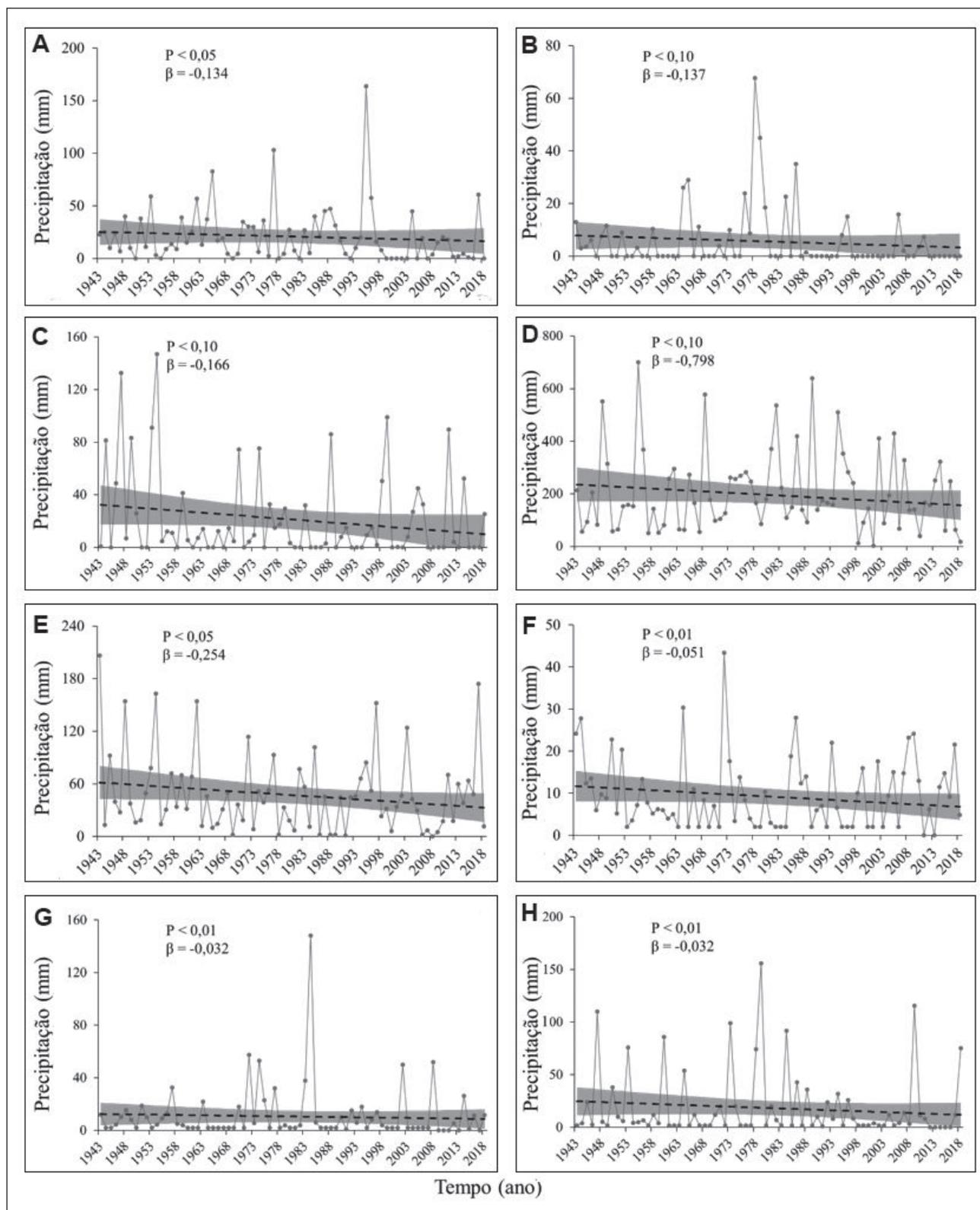


Figura 6 Série histórica mensal de precipitação e respectiva análise de tendência Mann-Kendall para os postos pluviométricos de Betânia; A. junho; B. setembro; C. novembro e Airi; D. março; E. maio; F. agosto; G. setembro; H. outubro, localizados na BHRN. A área hachurada em cinza representa o intervalo de confiança de 95% da reta da tendência linear.

Tendências Observadas na Precipitação sobre a Bacia do Riacho do Navio (Pernambuco)
 Ailton Alves de Carvalho; Iug Lopes & Onáira Fernanda da Silva

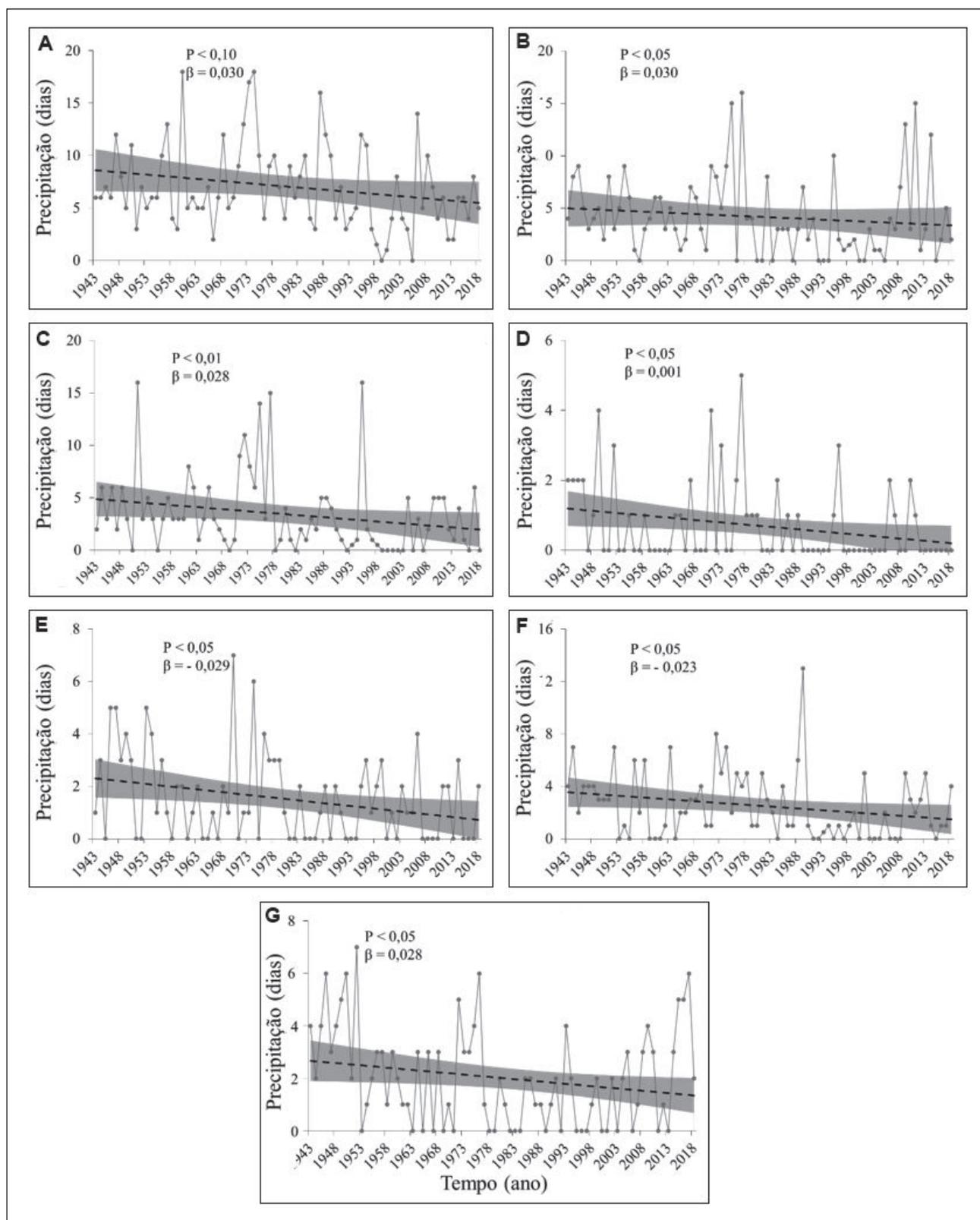


Figura 7 Série histórica mensal de NDP e respectiva análise de tendência Mann-Kendall para os postos pluviométricos localizado na BHRN, para Betânia: A. março; B. maio; C. junho; D. setembro; E. novembro; F. dezembro e Airi: G. agosto. A área hachurada em cinza representa o intervalo de confiança de 95% da reta da tendência linear.

da precipitação e aumento dos dias secos consecutivos, na ordem de -50% e +25%, respectivamente.

A tendência de redução da precipitação e NDP mensal e anual eleva os riscos na produção agrícola no sistema de cultivo de sequeiro em toda a BHRN. Além do mais, existe a possibilidade de redução ao longo do tempo dos recursos hídricos superficial e subterrâneo, podendo provocar mudanças da dinâmica da vegetação nativa, uma vez que as precipitações tendem a ser concentradas em menos dias, elevando os problemas de erosão, resultante da falta de proteção da vegetação nativa. Dessa forma, são necessárias ações conjuntas da sociedade e das autoridades públicas para discutir os problemas e traçar as melhores estratégias para uma boa harmonia do setor ambiental e agrícola na BHRN.

4 Conclusões

Neste trabalho, analisou-se o perfil e a tendência da precipitação em séries históricas, buscando contribuir com a população na adaptação aos possíveis efeitos de mudanças climáticas na BHRN.

Os resultados da climatologia mostram que da estação de Betânia com série de 76 anos, 15,79% enquadraram-se como anos muito seco e 19,74% como seco. Além do mais, destaca-se que, dos últimos 20 anos 12 estão nessas classificações. Na estação de Airi, da série de 84 anos, 15,47% foi classificada como muito seco e 20,24% como seco, sendo que, os últimos 7 anos foram classificados como muito secos. Esse número elevado nos anos mais recentes classificados como muito seco e seco para as estações demonstram mudanças nos padrões pluviométricos.

Os resultados relacionados à tendência indicam redução da precipitação total anual, com taxa de redução de 52,7 mm (-11% da precipitação) para a estação de Betânia e 82,2 mm (-10% da precipitação) para Airi, em 30 anos. A taxa de redução dos números de NDP é de 6 dias para Betânia e 20 dias para Airi, em 30 anos.

A redução das precipitações e NDP consequentemente irá resultar em redução da disponibilidade de recursos hídricos de forma superficial e sub-

terrâneo na BHRN, podendo provocar mudanças da dinâmica da vegetação nativa, elevar os problemas de erosão e dificultar o cultivo em sequeiro na região.

Considerando a redução da precipitação total no Nordeste brasileiro por meio de modelagem (Skansi *et al.*, 2013) e a elevação da escassez hídrica em regiões semiáridas do planeta (IPCC, 2014), bem como, da constatação de redução da precipitação em escala de bacia e NDP, sugere-se para futuras pesquisas, que sejam avaliados os impactos na atividade agropecuária e na susceptibilidade ambiental da BHRN.

5 Referências

- ANA. 2019. Agência Nacional de Águas. Termo de alocação de água 2018/2019. Reservatório da Barra do Juá. Bacia Hidrográfica do Rio Pajeú. Disponível em: < http://www.apac.pe.gov.br/download/t_1074_15295864935b2ba33dd1603_termo_alocacao_agua_barra_do_jua_2018_2019_completo_doc_n_038095_2018...pdf >. Acesso em: 21 de fev. de 2019.
- Asfaw, A.; Simane, B.; Hassen, A. & Bantider, A. 2018. Variability and time series trend analysis of rainfall and temperature in north-central Ethiopia: A case study in Woleka sub-basin. *Weather and Climate Extremes*, 19: 29-41.
- Back, A.J.; Oliveira, J.L.R. & Henn, A. 2012. Relações entre precipitações intensas de diferentes durações para desagregação da chuva diária em Santa Catarina. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 16(4): 391-398.
- Barros, J.R.L.; Cruz, G.R.B.; Melo, D.A. & Santos, D.G. 2018. Caracterização do manejo alimentar de caprinos e ovinos na microrregião do cariri ocidental do estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Agroecologia*, 13(4): 144-151.
- Blain, G.C. 2013. The Mann-Kendall test: the need to consider the interaction between serial correlation and trend. *Acta Scientiarum Agronomy*, 35(4): 393-402.
- Camara, G.; Souza, R.C.M.; Freitas, U.M. & Garrido, J. 1996. Spring: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. *Computers & Graphics*, 20(3): 395-403.
- Couto-Santos, F.R.; Luizão, F.J. & Carneiro Filho, A. 2014. The influence of the conservation status and changes in the rainfall regime on forest-savanna mosaic dynamics in Northern Brazilian Amazonia. *Acta Amazonica*, 44: 197-206.
- Duarte, A.F. 2005. Variabilidade e tendência das chuvas em Rio Branco, Acre, Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 20(1): 37-42.
- Ferraz, J.S.F.; Albuquerque, U.P. & Meunier, I.M.J. 2006. Valor de uso e estrutura da vegetação lenhosa às margens do riacho do Navio, Floresta, PE, Brasil. *Acta Botanica Brasilica*, 1: 125-134.
- Ferreira, P.S.; Souza, W.M.; Silva, J.F. & Gomes, V.P. 2018. Variabilidade Espaço-Temporal das Tendências de Precipitação na Mesoregião Sul Cearense e sua Relação com as Anomalias de TSM. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 33(1): 141-152.
- Groppo, J.D.; Moraes, J.M.D.; Beduschi, C.E. & Martinelli, L.A. 2005. Análise de séries temporais de vazão e precipitação em algumas bacias do Estado de São Paulo com diferentes graus de

- intervenções antrópicas. *Geociências*, 24(2), 181-193.
- Guimarães, M.J.M.; Lopes, I.; Silva, W.P. & Silva, A.S. 2016. Estudo das precipitações máximas para o município de Cruz das Almas/BA. *Magistra*, 27 (3): 326-332.
- Gumbel, E.J. 1958. *Statistical of extremes*. New York, Columbia University Press, 375 p.
- IPCC. 2014. Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: global and sectoral aspects. In: FIELD, C. B. et al. (Ed.). *Contribution of working group 2 to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. Cambridge: Cambridge University Press. Disponível em: <https://ipcc-wg2.gov/AR5/images/uploads/WGIIAR5-PartA_FINAL.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2019.
- Lima, H.F.; Vasconcelos, F.P.; Moraes, A.A. & Andrade, G.S. 2016. Análise da população rural e urbana do território agreste central e setentrional pernambucano: notas iniciais. *Rural & Urbano*, 1: 89-95.
- Lopes, I.; Melo, J.M.M.; Carvalho, A.A.; Moura, G.B.A. & Leal, B.G. 2018. Análise multivariada no estudo da variação do Índice de Aridez da Bahia e Pernambuco. *Agrometeoros*, 26(1): 93-102.
- Lopes, I.; Melo, J.M.M.; Montenegro, A.A.A.; Guimaraes, M.J.M.; Lopes, B. & Leal, B.G. 2017. Rainfall characterization, high precipitations and water balance for different pluviometric regimes in Pernambuco state mesoregions. *Revista Brasileira de Agrotecnologia*, 7: 20-33.
- Kendall, M.G. 1975. *Rank Correlation Methods*. London, Charles Griffin, 199 p.
- Mann, H.B. 1945. Non-parametric test against trend. *Econometrica*, 13: 245-259.
- Matos, R.C.M.; Candeias, A.L.B. & Tavares Júnior, J.R. 2013. Mapeamento da vegetação, temperatura e albedo da bacia hidrográfica do Pajeú com imagem MODIS. *Revista Brasileira de Cartografia*, 1(65): 139-160.
- Marengo, J.A. & Alves, L.M. 2005. Tendências hidrológicas da bacia do rio Paraíba do Sul. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 20(2), 215-226.
- Nóbrega, R.S.; Farias, R.F.L. & Santos, C.A.C. 2015. Variabilidade temporal e espacial da precipitação pluviométrica em Pernambuco através de índices de extremos climáticos. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 30(2): 171-180.
- Pingale, S.M.; Khare, D.; Jat, M.K. & Adamowski, J. 2014. Spatial and temporal trends of mean and extreme rainfall and temperature for the 33 urban centers of the arid and semi-arid state of Rajasthan, India. *Atmospheric Research*, 138: 73-90.
- Queiroz, M.G. 2018. *Impacto do desmatamento na interação biosfera-atmosfera do Domínio Caatinga*. Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Tese de Doutorado, 221p.
- Regoto, P.; Dereczynski, C.P.; Silva, W.L.; Santos, R. & Canfalomieri, U. 2018. Trends in Extreme Precipitation over Espírito Santo State - Southeast Brazil. *Anuário do Instituto de Geociências*, 41(1): 365-381.
- Ribeiro, E.P. 2016. *Mudanças ambientais e desertificação na bacia hidrográfica do rio Pajeú*. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Pernambuco, Tese de Doutorado, 178p.
- RStudio Team (2015). *RStudio: Integrated Development for R*. RStudio, Boston, MA, 2015. Disponível em: <<http://www.rstudio.com/>>.
- Schmidt, D.M.; Lima, K.C. & Jesus, E.S. 2018. Variability Climatic of Water Availability in the Semiarid of the State of Rio Grande do Norte. *Anuário do Instituto de Geociências*, 41: 483-491.
- Sen, P.K. 1968. Estimates of the Regression Coefficient based on Kendall's Tau. *Journal of American Statistician Association*, 63(324): 1379-1389.
- Shrestha, S.; Yao, T. & Adhikari, T.R. 2019. Analysis of rainfall trends of two complex mountain river basins on the southern slopes of the Central Himalayas. *Atmospheric Research*, 215: 99-115.
- Silva, B.M.; Montenegro, S.M.G.L.; Silva, F.B. & Araújo Filho, P.F. 2012. Chuvas Intensas em Localidades do Estado de Pernambuco. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 17: 135-147.
- Silva, W.L. & Dereczynski, C.P. 2014. Caracterização Climatológica e Tendências Observadas em Extremos Climáticos no Estado do Rio de Janeiro. *Anuário do Instituto de Geociências*, (UFRJ. Impreso), 37(2): 123-138.
- Silva, D.A.; Silva, J.L.B.; Silva, T.S.S.; Santos, P.R.; Lopes, I. & Santos, C.G. 2018. Impacto da alteração do uso do solo usando dados orbitais no baixo São Francisco. *Revista Ambientale*, 10: 71-85.
- Silva, V.P.R.; Pereira, E.R.R.; Azevedo, P.V.; Sousa, F.A.S & Sousa, I.F. 2011. Análise da pluviometria e dias chuvosos na região Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 15: 131-138.
- Silva, R.O.B.; Montenegro, S.M.G.L. & Souza, W.M. 2017. Tendências de mudanças climáticas na precipitação pluviométrica nas bacias hidrográficas do estado de Pernambuco. *Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental*, 22(3): 579-589.
- Silva, W.L.; Dereczynski, C.P.; Chang, M.; Freitas, M.; Machado, B. J.S.; Chargel, L.T. & Ruggeri, J. 2015. Tendências observadas em indicadores de extremos climáticos de temperatura e precipitação no estado do Paraná. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 30: 181-194.
- Siqueira, A.A.; Santos, S.M.; Lopes, I.; Leal, B.G. & Montenegro, A.A.A. 2018. Analysis of the statistical representativeness of meteorological data for a region of São Francisco Submidlle. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 11: 798-813.
- Skansi, M.M.; Brunet, M.; Sigró, J.; Aguilar, E.; Groening, J.A.A.; Bantancur, O.J.; Geier, Y.R.C.; Amaya, R.L.C.; Jácome, H.; Ramos, A.M.; Rojas, C.O.; Pasten, A.M.; Mitro, S.S.; Jiménez, C.V.; Martínez, R.; Alexander, L.V. & Jones, P.D. 2013. Warming and wetting signals emerging from analysis of changes in climate extreme indices over South America. *Global and Planetary Change*, 100: 295-307.
- Souza, B.I.; Artigas, R.C. & Lima, E.R.V. Caatinga e desertificação. 2015. *Mercator*, 14(1): 131-150.
- Tundisi, J.G.; MaTsuMura-Tundisi, T.; Pareschi, D.C.; Luzia, A.P.; Von Haelling, P.H. & Frollini, E.H. 2008. A bacia hidrográfica do Tietê/Jacaré: estudo de caso em pesquisa e gerenciamento. *Estudos avançados*, 22(63), 159-172.
- Xavier, D.R.; Barcellos, C.; Barros, H.S.; Magalhães, M.A.F.M.; Matos, V.P. & Pedroso, M.M. 2014. Organização, disponibilização e possibilidades de análise de dados sobre desastres de origem climática e seus impactos sobre a saúde no Brasil. *Ciência & Saúde Coletiva*, 19: 3657-3668.
- Xavier, T.M.B.S. 2001. *Tempo de chuva: estudos climáticos e de previsão para o Ceará e Nordeste setentrional*. Fortaleza, ABC Editora, 478 p.
- Xavier, T.M.B.S. & Xavier, A.F.S. 1987. Classificação e Monitoração de Períodos Secos ou Chuvosos e Cálculo de Índices Pluviométricos para a Região Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia - Caderno de Recursos Hídricos*, 5(2): 7-31.
- Xu, M.; Kang, S.; Wu, H. & Yuan, X. 2018. Detection of spatio-temporal variability of air temperature and precipitation based on long-term meteorological station observations over Tianshan Mountains, Central Asia. *Atmospheric Research*, 203: 141-163.