ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>

Análise de índices climático para avaliação do efeito de mudanças climáticas

Guilherme Giorgi Leite de Almeida¹; Anderson Luiz Ribeiro de Paiva²; Leidjane Maria Maciel de Oliveira³; Haylla Rebeka de Albuquerque Lins Leonardo⁴

¹Graduando, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife, Pernambuco, Brasil, guisystem@hotmail.com; ²Professor do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental e da Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife, Pernambuco, Brasil, anderson.paiva@ufpe.br; ³Professora do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental e da Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologia da Geoinformação, Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife, Pernambuco, Brasil, leidjaneoliveira@hotmail.com; ⁴Graduanda, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife, Pernambuco, Brasil, hayllarebeka.hr@gmail.com.

Received 01 Jan 2020; accepted 20 March 2020

RESUMO

Neste presente artigo objetivou-se analisar mudanças climáticas ocorridas no Estado de Pernambuco, observando os impactos no aspecto climático por meio de índices físicos, com enfoque na região semiárida, caracterizada por problemas de escassez hídrica. A partir da avaliação da variabilidade temporal da precipitação em diversas bacias hidrográficas do Estado empregando o índice de anomalia de chuva (IAC), assim como índice de aridez (IA); análise da tendência das séries pluviométricas, e por fim identificação das áreas com vulnerabilidade à desertificação, a partir de estudos realizados em séries temporais no período entre 2000 e 2018, com dados de 13 postos pluviométricos. Para realizar o estudo, foram utilizados testes estatísticos nas análises de tendências, por meio do software Trend e pela regressão linear; para o cálculo do índice de anomalia de chuvas foram realizados o preenchimento de falhas pelo método do vetor regional e a consistência dos dados foi realizada pelo método da dupla massa. Utilizaram-se os dados pluviométricos obtidos no site da APAC para os municípios de três mesorregiões Pernambucanas (Metropolitana, Agreste e Sertão). Entre os postos analisados, apenas os seguintes postos apresentaram tendência: Belo Jardim, Caruaru, Serra Talhada, Betânia, Ibimirim, Recife, Abreu e Lima e Camaragibe. Todos apresentaram tendências de queda na precipitação. Em relação à vulnerabilidade ao processo de desertificação, observado por meio do índice de anomalia de chuvas, foi observado que as mesorregiões do Sertão Pernambucano, e Agreste Pernambucano apresentaram maiores quantidades de períodos secos ou muito secos.

Palavras-chave: Series Pluviométricas; Índices Físicos; Desertificação

Climate index analysis for evaluating the effect of climate change

ABSTRACT

The present article aimed at analyzing climatic changes occurring in the State of Pernambuco, observing the impacts on the climatic aspect through Physical Indices, focusing on the semi-arid region, characterized by problems of water scarcity. From the evaluation of the temporal variability of precipitation in several watersheds of the state using the Rainfall Anomaly Index (IAC), as well as aridity index (IA); analysis of the Trend of the rainfall series, and finally identification of the areas with vulnerability to desertification, based on studies carried out in time series between 2000 and 2018, with data from 13 pluviometric stations. In order to carry out the study, statistical tests were used in the analysis of Trends through Trend Software and Linear Regression; for the calculation of the Rainfall Anomaly index, Fault Filling was performed by the Regional Vector method and the data consistency was performed by the Double Mass Method. The rainfall data obtained from the APAC website for the municipalities of three meso-regions of Pernambuco (Metropolitan, Agreste and Sertão) were used. Among the stations analyzed, only the following stations had a tendency: Belo Jardim, Caruaru, Serra Talhada, Betânia, Ibimirim, Recife, Abreu e Lima, and Camaragibe. All presented Fall Trends in precipitation. In relation to the vulnerability to the desertification process, observed through the rainfall anomaly index, it was observed that the mesoregions of Sertão Pernambucano and Agreste Pernambucano presented higher amounts of dry or very dry periods.

Keywords: Pluviometric Series; Physical Indices; Desertification

1. Introdução

Pernambuco é o estado do país mais pobre em quantidade de água por habitante. Além disso, aproximadamente 89% do território do Estado estão inseridos na região semiárida, onde as chuvas são escassas e ocorrem de forma concentrada em poucos meses do ano. Em 2019, o estado de Pernambuco apresentou um dos municípios na sexta posição no ranking da seca, como pode ser observado na Figura 1. As características morfológicas, por sua vez, em geral não permitem a construção de grandes reservatórios de água. Pernambuco possui também grande variabilidade sazonal e interanual de seus recursos hídricos e enfrenta problemas frequentes com ciclos de enchentes e secas. Portanto, os desafios da gestão de recursos hídricos no estado são ainda maiores do que em outras regiões do Brasil, especialmente pela diversidade de problemas envolvidos.

Segundo dados do site Letras Ambientais (2019), e segundo um relatório do Centro de Estudos e Pesquisas em Engenharia e Defesa Civil (CEPED, 2019), no período de 1995-2014, os danos materiais e prejuízos (públicos e privados) causados por desastres naturais, derivados de eventos climáticos no Brasil, foram estimados em R\$ 100 bilhões. Deste total, cerca de 75% estão diretamente vinculados às estiagens e secas, a afetam frequentemente o Nordeste e as demais regiões do Brasil. No Nordeste, o custo total de danos e prejuízos, derivados de eventos climáticos, foi cerca de R\$ 47 bilhões. O valor inclui os prejuízos privados nos setores da agricultura, pecuária, indústria e serviços.

Fonte: Lapis.

Figura 1. Ranking da seca nos municípios do Nordeste. Fonte: Letras Ambientais (2019).

Segundo Yevjevich (1972) define tendência em uma série temporal como uma mudança sistemática e contínua em qualquer

parâmetro de uma dada amostra, excluindo-se mudanças periódicas ou quase periódicas. Para Silva et al. (2017), a análise da tendência de séries históricas de precipitação é uma das maneiras de se determinar a ocorrência de mudança climática local. Segundo Freitas (1999) pesquisas realizadas pela Organização Mundial das Nações Unidas - OMM mostraram que um terço da população mundial vive em regiões de moderado a alto estresse hídrico, e que as estatísticas demonstraram claramente que nos próximos 30 anos a situação global das reservas tenderá consideravelmente a piorar, caso não ocorram ações emergenciais para melhoria da oferta em relação à demanda d'água.

Segundo os estudos de Nimer (1979), em que foi comparado os percentuais pluviométricos de meses consecutivos com os totais anuais das zonas da Mata, Agreste e Sertão do estado de Pernambuco, verificou-se que além do Sertão Pernambucano possuir os totais anuais muito inferiores em relação aos apresentados pela Zona da Mata, seu regime anual é muito mais concentrado em poucos meses.

A motivação para o presente trabalho é incrementar o conhecimento das diferentes bacias hidrográficas no estado de Pernambuco e projetar cenários de possíveis impactos sobre os recursos hídricos de mudanças climáticas, mudanças de uso do solo e medidas adaptativas e de gestão da oferta, da demanda e de infraestruturas hídricas. Dada a importância das mudanças climáticas, do crescente aumento de eventos extremos de secas no Sertão e Agreste e da necessidade de melhor compreender as escalas da variabilidade das precipitações pluviométricas, o presente artigo tem como objetivo avaliar a variabilidade temporal da precipitação na bacia hidrográfica empregando o IAC (índice de anomalia de chuva), assim como índice de aridez (IA), número de dias sem precipitação, precipitação acumulada, índice de vegetação da diferença normalizada (NVDI).

Material e métodos

Área de estudo

Foram utilizados postos pluviométricos situados no estado de Pernambuco, obtidos a partir dos dados da Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC, 2019). A escolha dos postos principais foi realizada de acordo com sua localização de forma a abranger da melhor forma o Estado de Pernambuco, para que pudesse ocorrer a sua devida caracterização. Os postos

secundários foram escolhidos de forma que tivessem altitude semelhante aos postos principais devendo os mesmos serem próximos aos postos principais (Figura 2).

Outro fator importante relativo à escolha dos postos secundários foi o seu fator de correlação com os postos principais. Foi realizada a consistência de dados e o preenchimento de falhas entre 2000 a 2018 para os postos pluviométricos a partir do método vetor regional, tendo os coeficientes de correlação variando entre 0,6 a 0,89. No total foram usados cerca de 131 postos de precipitação com o intuito de analisar o regime de chuvas no Estado de Pernambuco (Tabela 1 e Figura 3). A consistência dos dados

foi realizada pelo método da dupla massa. O desvio de precipitação mensal entre 2000 a 2018 foi calculado a partir da diferença entre a média mensal entre 2000 a 2017 e a média mensal histórica para cada posto de precipitação. Os dados de temperatura de 2015 a 2018 foram obtidos a partir dos dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2019) (Tabela 2 e Figura 4) e foi utilizado o método de Thornthwaite (1948) para o cálculo da evapotranspiração potencial. Em relação os dados do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NVDI) foram obtidos do Laboratório de Análise e Processamento de Imagens de Satélite (LAPIS, 2019).

Tabela 1. Postos pluviométricos com suas respectivas latitudes, longitudes e altitudes.

Posto	Mesorregião	Entidade	Código	Latitude	Longitude	Altitude (m)
Abreu e lima	RMR	APAC	198	-7.9281	-34.9	43
Igarassu	RMR	APAC	100	-7.8281	-34.915	31
São Lourenço da Mata	RMR	APAC	267	-8.0403	-35.1653	108
Paulista	RMR	APAC	451	-7.9428	-34.8847	21
Camaragibe	RMR	APAC	201	-8.0217	-34.9922	46
Jaboatão dos Guararapes	RMR	APAC	268	-8.1636	-34.9228	12
Recife	RMR	APAC	30	-8.05	-34.9167	10
Cabo	RMR	APAC	490	-8.2903	-35.0294	31
Olinda	RMR	APAC	199	-7.99	-34.85	08
Moreno	RMR	APAC	205	-8.1122	-35.1003	122
Belo Jardim	AP	APAC	20	-8.3337	-36.4253	611
B.M. Deus	AP	APAC	113	-8.1819	-36.1942	475
Pesqueira	AP	APAC	18	-8.3531	-36.6972	667
Sanharó	AP	APAC	144	-8.3639	-36.5664	656
São Bento do Una	AP	APAC	21	-8.5272	-36.4594	627
Bonito	AP	APAC	469	-8.4742	-35.7836	451
Gravatá	AP	APAC	58	-8.2006	-35.5431	496
Caruaru	AP	APAC	24	-8.2383	-35.9158	653
Bezerras	AP	APAC	67	-8.2433	-35.7528	488
São Caetano	AP	APAC	122	-8.3283	-36.1375	557
Riacho das Almas	AP	APAC	56	-8.2006	-35.5431	496
São Joaquim do Monte	AP	APAC	123	-8.8769	-36.3667	714
Garanhuns	AP	APAC	19	-8.8833	-36.4878	869
Brejão	AP	APAC	443	-9.0161	-36.5356	704
Paranatama	AP	APAC	154	-8.9192	-36.6583	867
Caetés	AP	APAC	286	-8.7728	-36.6211	837
Capoeira	AP	APAC	287	-8.7342	-36.6267	888
Jucati	AP	APAC	157	-8.7067	-36.4928	841
Santa Cruz do Capibaribe	AP	APAC	86	-7.9533	-36.2036	444
Toritama	AP	APAC	70	-8.0106	-36.0564	347
Frei Miguelinho	AP	APAC	218	-7.9347	-35.8469	395
Surubim	AP	APAC	203	-7.8369	-35.7628	391
Vertentes	AP	APAC	437	-7.9047	-35.9739	389
Bom Jardim	AP	APAC	139	-7.8017	-35.5678	330
Vertente do Lúrio	AP	APAC	277	-7.775	-35.8497	444
João Alfredo	AP	APAC	523	-7.8539	-35.5886	383
Afogados do Ingazeira	SP	APAC	290	-7.7569	-37.6331	541
Carnaíba	SP	APAC	184	-7.8078	-37.7981	489
Iguaraci	SP	APAC	148	-7.8325	-37.5128	565

Flores	SP	APAC	183	-7.8669	-37.9739	465
São Jose do Egito	SP	APAC	92	-7.4444	-37.2806	659
Arcoverde	SP	APAC	16	-8.4336	-37.0556	687
Alagoinha	SP	APAC	140	-8.4661	-36.7739	730
Buíque	SP	APAC	145	-8.6147	-37.1547	837
Pedra	SP	APAC	208	-8.8625	-36.9428	433
Pesqueira	SP	APAC	18	-8.3531	-36.6972	667
Sertânia	SP	APAC	185	-8.075	-37.2639	551
Betânia	SP	APAC	93	-8.2708	-38.0331	439
Serra Talhada	SP	APAC	13	-7.9306	-38.2886	513
Custodia	SP	APAC	147	-8.0864	-37.645	539
Floresta	SP	APAC	32	-8.6167	-38.5667	325
Ibimirim	SP	APAC	14	-8.5978	-37.6786	394
Carnaubeira da Penha	SP	APAC	288	-8.3222	-38.7403	453
Bodocó	SP	APAC	50	-7.7806	-39.9375	442
Ipubi	SP	APAC	84	-7.6522	-40.1469	544
Exu	SP	APAC	51	-7.5161	-39.7294	525
Ouricuri	SP	APAC	175	-7.8525	-40.3389	494
Parnamirim	SP	APAC	172	-8.0889	-39.5775	392
Moreilândia	SP	APAC	81	-7.6075	-39.55	552
Brejinho	SP	APAC	473	-7.3478	-37.2847	737
Santa Terezinha	SP	APAC	471	-7.3747	-37.4997	832
Itapetim	SP	APAC	155	-7.3767	-37.2006	635
Inajá (CHESF)	SP	APAC	33	-8.9	-37.8167	361
Tupanatinga	SP	APAC	141	-8.7547	-37.3422	713
Salgueiro	SP	APAC	8	-8.0733	-39.1297	444
Terra Nova	SP	APAC	179	-8.2272	-39.3772	373
Mirandiba	SP	APAC	54	-8.1158	-38.7272	438
Serrita (Cartório)	SP	APAC	180	-7.9447	-39.2931	423
Verdejante	SP	APAC	181	-7.9286	-38.9694	505
Calumbi	SP	APAC	91	-7.9394	-38.1539	451
Santa Cruz da Baixa Verde	SP	APAC	336	-7.8203	-38.1511	855
Triunfo	SP	APAC	182	-7.8372	-38.1061	1059
Araripina	SP	APAC	3	-7.5767	-40.5058	636
Santa Cruz da Venerada	SP	APAC	164	-8.2406	-40.3369	513
Solidão	SP	APAC	357	-7.6007	-37.6581	695
Tuparetama	SP	APAC	529	-7.6867	-37.2214	604

Fonte: Autores (2019).

Tabela 2. Postos de temperatura com suas respectivas latitudes, longitudes e altitudes.

Posto	Mesorregião	Entidade	Código	Latitude	Longitude	Altitude
Arcoverde - A309	SP	INMET	81953	-8.434	-37.055	684
Caruaru - A341	AP	INMET	81956	-8.236	-35.986	570
Ibimirim - A349	SP	INMET	81954	-8.510	-37.712	434
Ouricuri - A366	SP	INMET	81910	-7.886	-40.103	458
Palmares- A357	MP	INMET	81957	-8.667	-35.568	164
Recife- A301	RMR	INMET	81958	-8.059	-34.959	11
Salgueiro-A370	SP	INMET	81949	-8.058	-39.096	447
Serra Talhada- A350	SP	INMET	81912	-7.954	-38.295	499
Surubim - A328	AP	INMET	81917	-7.840	-35.801	421
São Luís do Quitunde	AL	INMET	81997	-9.287	-35.566	14
Garanhuns-A322	AP	INMET	81955	-8.911	-36.493	828

Fonte: Autores (2019).

Figura 2. Curva de nível dos postos de estudo. Fonte: Autores (2019).

Figura 3. Postos pluviométricos de estudo. Fonte: Autores (2019).

Figura 4. Postos de temperatura utilizados no estudo. Fonte: Autores (2019).

Estudo da variabilidade pluviométrica

Inicialmente, procedeu-se ao processo de correlação dos dados de precipitação média mensal dos postos pluviométricos situados próximos aos postos principais onde apresentaram boa correlação. Após a correlação dos dados, foi observada a variação da precipitação média anual e calculado o desvio de precipitação mensal. Os postos principais foram:

Mesorregião: Região Metropolitana do Recife

Recife
Jaboatão dos Guararapes

Camaragibe
Abreu e Lima

Mesorregião: Agreste Pernambucano

Bezerros
Belo Jardim
Caruaru

Santa Cruz do Capibaribe
Surubim
Garanhuns

Mesorregião: Sertão Pernambucano

Afogados do Ingazeira
Betânia
Bodocó
Brejinho
Exú

Arcoverde
Serra Talhada
Ibimirim
Salgueiro
Ouricuri

Tendência da precipitação pluviométrica

Para analisar a tendência da precipitação foi utilizado o software Trend. A partir dos resultados do Trend, para os postos que apresentaram tendência foram realizados o cálculo da regressão linear sobre os dados de precipitação utilizando o software BioEstat.

3. Resultados e discussão

Análise da variabilidade pluviométrica

Mesorregião: Região Metropolitana do Recife

Na Mesorregião da Região Metropolitana do Recife, os postos de estudos apresentaram um comportamento pluviométrico próximos com pequena assimetria nos dados, como pode ser observado na Figura 5. O coeficiente de correlação ficou entre 0,72 a 0,87, enquanto o coeficiente de determinação ficou entre 0,8 a 0,9. Os menores valores de precipitação encontrados, entre 2000 a 2018, foram nos anos de 2003, 2006, 2010 e 2012, sendo o menor valor encontrado no ano de 2018 no município de Abreu e Lima. Enquanto os maiores valores de precipitação foram nos anos de 2000, 2004 e 2011 onde o maior valor foi encontrado no ano de 2000 no município de Recife. Em relação a precipitação diária, foi observado que os municípios de Recife e Camaragibe apresentaram os maiores valores em relação a precipitação diária acumulada entre 2000 e 2018, enquanto os municípios de Abreu e Lima e Jaboatão dos Guararapes apresentaram as maiores quantidades de dias sem precipitação entre 2000 e 2018. A maior precipitação observada foi nos municípios de Camaragibe e Recife. A precipitação média diária de Recife e Camaragibe apresentaram tendência de queda.

Figura 5. Variabilidade pluviométrica da Região Metropolitana do Recife. Fonte: Autores (2019).

Mesorregião: Agreste Pernambucano

Na Mesorregião da Região Agreste Pernambucano, os postos de estudos apresentaram um comportamento pluviométrico diferentes em alguns locais, como pode ser observado na Figura 6. Isto pode ser explicado devido a variação da topografia na região. Os menores valores de precipitação observados entre os anos de 2000 a 2018, foram nos anos de 2001, 2003, 2007 e 2012, sendo observado o menor valor no ano de 2012 no município de caruaru enquanto que os maiores valores de precipitação foram nos anos de 2002, 2004, 2009 e 2010, onde o maior valor foi encontrado no ano de 2010 no município de belo Jardim. Em relação ao número de dias sem

precipitação, os municípios de Belo Jardim, Surubim e Santa Cruz do Capibaribe apresentaram os maiores valores, sendo o município de Santa Cruz do Capibaribe o que apresentou a maior quantidade de dias sem precipitação. Analisando a precipitação diária acumulada entre 2000 e 2018, o município de caruaru apresentou o maior Valor. Em relação a precipitação média diária, os municípios de Caruaru e Santa Cruz do Capibaribe apresentaram tendência de queda. Os municípios de Belo Jardim e Bezerros apresentaram tendência de queda, enquanto o município de caruaru apresentou tendência de aumento

Figura 6. Variabilidade pluviométrica do Agreste Pernambucano. Fonte: Autores (2019).

Mesorregião: Sertão Pernambucano

Na Mesorregião da Região do Sertão Pernambucano, os postos de estudos apresentaram um comportamento pluviométrico próximos com pequena assimetria nos dados, como pode ser observado na Figura 7. Os menores valores de precipitação encontrados, entre 2000 a 2018, foram nos anos de 2001, 2003, 2005, 2007, 2009, 2010, 2012, 2015 e 2017, sendo o município de Betânia, no ano de 2012, o município que apresentou o menor valor de precipitação, enquanto que os maiores valores de precipitação foram nos anos de 2002, 2004, 2006, 2008, 2011, 2014 e 2018, sendo o município de Brejinho, no ano de 2009, o município que apresentou o maior

valor de precipitação. Os municípios de Bodocó e Betânia apresentaram as maiores quantidades de dias sem precipitação entre 2000 a 2018, enquanto os municípios de Arcoverde, Afogados da Ingazeira, Brejinho e Serra Talhada apresentaram os maiores valores de precipitação diária acumulada entre 2000 a 2018, sendo o município de Brejinho aquele que apresentou o maior valor. Os municípios de Bodocó, Ibimirim e Ouricuri apresentaram tendência de queda para a precipitação média diária, enquanto o município de Serra Talhada apresentou tendência de aumento. Serra Talhada também apresentou tendência de queda na quantidade de dias sem precipitação.

Figura 7. Variabilidade pluviométrica da região do Sertão Pernambucano. Fonte: Autores (2019).

Precipitação diária acumulada entre 2000 e 2018

Analisando a Figura 8, observa-se que os menores valores de precipitação diária acumulada, entre 2000 a 2018, localizam-se, principalmente, na região do São Francisco e no Sertão Pernambucano, sendo o município de Cabrobó aquele que apresentou o menor valor. Entre os municípios que apresentaram precipitação diária acumulada menor que 16000 mm foram Afrânio,

Ouricuri, Ibimirim, Brejinho, Exú, Afogados da Ingazeira, Dormentes, Petrolina, Floresta, Cabrobó, Belém de São Francisco, Ferreiros, Surubim, Santa Cruz do Capibaribe e Bezerros. Os municípios que apresentaram os maiores valores de precipitação diária acumulada foram: Recife, Camaragibe, Jaboatão dos Guararapes, Abreu e Lima, Gameleira, Vitória de Santo Antão, Palmares, Igarassu, Olinda, Itapissuma e Paulista.

Figura 8. Precipitação diária acumulada entre 2000 – 2018 no Estado de Pernambuco. Fonte: Autores (2019).

Índice de anomalia de chuvas anual (IAC)

Mesorregião: Região Metropolitana do Recife

Analisando os resultados do índice de anomalia de chuvas anual, Figura 9, observa-se que todos os municípios apresentaram em sua maioria períodos chuvosos e muito chuvosos. Os municípios apresentaram período de seca no ano de 2012. Os municípios de Camaragibe, Abreu e Lima e Jaboatão dos Guararapes apresentaram

períodos de seca consecutivos entre os anos de 2015 a 2018, sendo o município de Abreu e Lima aquele que apresentou a seca mais forte no mês de novembro de 2017. O município de Abreu e Lima apresentou a maior quantidade de meses com períodos de seca, entre os meses de junho de 2016 a junho de 2017. Para o município de Abreu e Lima, o índice de anomalia de chuvas apresentou tendência de queda.

Figura 9. Índice de anomalia de chuvas anual. Fonte: Autores (2019).

Mesorregião: Agreste Pernambucano

Em relação ao índice de anomalia de chuvas anual, Figura 10, tem-se que a maioria dos municípios apresentaram maiores períodos de seca, enquanto os municípios de Caruaru, Garanhuns e Surubim apresentaram maiores quantidades de períodos chuvosos. Todos os

municípios apresentaram períodos de seca nos anos de 2001, 2003, 2012 e 2016. Os municípios de Belo jardim e Santa Cruz do Capibaribe apresentaram as maiores quantidades meses secos, sendo o município de Bezerros aquele que apresentou a seca mais forte, no mês de novembro de 2015.

Figura 10. Índice de anomalia de chuvas anual. Fonte: Autores (2019).

Mesorregião: Sertão Pernambucano

Para a região do sertão Pernambucano, o índice de anomalia de chuvas anual, Figuras 11 e 12, variaram entre -11,11 a + 9,78, onde os municípios de Bodocó, Exu, Ouricuri e Igarapé apresentaram maiores períodos de seca consecutivos entre 2015 a 2018. Todos os municípios apresentaram períodos de seca nos anos 2012, 2015, 2016 e 2017, em especial no ano

de 2012, onde a maioria dos municípios apresentou período de seca forte devido à seca. O período de seca mais severo ocorreu no município de Betânia, em 2012. Os municípios de Afogados da Ingazeira, Betânia e Brejinho apresentaram as maiores quantidades de períodos chuvosos. Os municípios de Betânia e Igarapé apresentaram tendência de queda para o índice de anomalia de chuvas.

Figura 11. Índice de anomalia de chuvas anual. Fonte: Autores (2019).

Figura 12. Índice de anomalia de chuvas anual. Fonte: Autores (2019).

Índice de aridez anual (IA)

Mesorregião: Região Metropolitana do Recife

A partir dos cálculos do índice de aridez, Figura 13, foi observado que os municípios da região Metropolitana do Recife apresentaram zona climática Subúmido e úmido entre 2015 a 2018, onde os municípios apresentaram um comportamento bastante homogêneo entre si, onde os municípios de Abreu e Lima e Jaboatão dos Guararapes tiveram um índice de aridez muito

semelhante. Não houve uma diferença significativa nas temperaturas média anual dos municípios de região, sendo 26,125 °C a média das temperaturas observadas. As menores temperaturas foram observadas no mês de julho e agosto entre 2015 a 2018, enquanto que as maiores temperaturas foram observadas no ano de 2017 nos meses de janeiro, fevereiro, março, abril, maio e dezembro, chegando a temperatura média de 28,15°C.

Figura 13. Índice de aridez da região Metropolitana do Recife. Fonte: Autores (2019).

Mesorregião: Agreste Pernambucano

A Partir dos cálculos do índice de aridez, foi observado que os municípios do Agreste Pernambucano, apresentaram zonas climáticas áridas, semiáridas e Subúmidas, sendo a Zona semiárida a classe climática de maior presença, onde os municípios de Bezerros e Belo Jardim apresentaram um comportamento bastante homogêneo entre si, como pode ser observado na Figura 14. Os municípios de Garanhuns e caruaru

apresentaram os maiores valores, enquanto que o município de Santa Cruz do Capibaribe apresentou índice de aridez com valores de 0,17. As menores Temperaturas foram observadas no mês de julho de 2017, onde a menor temperatura média foi de 18,55 °C, no município de Garanhuns, enquanto que as maiores temperaturas foram observadas no mês de dezembro de 2017, no município de Santa Cruz do Capibaribe e Surubim.

Figura 14. Índice de aridez do Agreste Pernambucana. Fonte: Autores (2019).

Mesorregião: Sertão Pernambucano

A Partir dos cálculos do índice de aridez, foi observado que os municípios da Sertão Pernambucano apresentaram zona climática Árida e Semiárida entre 2015 a 2018, onde a maior parte dos municípios apresentaram um comportamento semelhante, exceto o município de Arcoverde e Brejinho, como pode ser observado na Figura 15.

O índice de aridez variou entre 0,189 a 0,572, onde o município de Arcoverde apresentou o maior valor enquanto que o município de Ouricuri apresentou os menores. A menor temperatura média observada entre 2015 a 2018 foi de 18,55 °C pelo município de Ibimirim enquanto que a maior temperatura observada foi de 30,75°C obtida pelo município de Ouricuri.

Figura 15. Índice de aridez do Sertão Pernambucano. Fonte: Autores (2019).

NVDI do Estado de Pernambuco nos anos de 2007 e 2016.

Segundo o diagnóstico da Seca 2011-2016 em Pernambuco, nas regiões do Agreste e Litoral/Mata do Estado, o acumulado das precipitações em 2012 somou apenas 30% e 60% das médias climatológicas respectivas. Essa situação caracterizou a chegada dos efeitos da estiagem ao litoral e à Zona da Mata Pernambucanos. O final de 2012 e os três primeiros meses de 2013 foram caracterizados pela ocorrência de chuvas mal distribuídas no Sertão do Estado, com aumento de acumulação insignificante em praticamente todos os reservatórios utilizados para abastecimento de água. Segundo o mesmo trabalho, o período chuvoso entre 2013 e 2016 no litoral e na Mata aconteceu em situação de normalidade ou próxima a normalidade, o que permitiu a restauração do abastecimento normal para a região metropolitana do Recife. No semiárido, a situação de déficit hídrico nos mananciais se manteve. Segundo o

prognóstico para o verão, do INMET (2019), o nordeste brasileiro passou por cinco anos consecutivos de seca (2012-2016), e em alguns estados, como é o caso do Ceará, observou-se a maior seca desde o ano de 1910. Analisando as imagens referentes ao NVDI, entre 2007 a 2016, presentes na figura 16, observar-se que os municípios de Cabrobó, Dormentes, Belém de São Francisco, Ouricuri, Joaquim Nabuco, São Benedito do Sul e Palmares apresentaram os menores valores do NVDI, em relação a outros municípios do estado de Pernambuco, caracterizando-as como locais mais onde houve um período de seca mais forte. No ano de 2012, boa parte do estado de Pernambuco apresentou NVDI relativamente baixo, caracterizando esse período como um dos períodos mais secos, concordando com os resultados obtidos pelo índice de anomalia de chuvas, pois neste período, a maioria dos municípios analisados apresentou índice de anomalia de chuvas muito baixo, menores que -4.

Figura 16. NVDI Médio de 2007 e 2016. Fonte: LAPIS (2019)

Observando tanto a imagem referentes as áreas afetadas pela desertificação como a imagem referente as áreas susceptíveis a desertificação presente na figura 17, observa-se um dos núcleos de desertificação localiza-se na região do São Francisco, próximo dos municípios de Belém de São Francisco, Cabrobó, Floresta, enquanto que a região que afetada pela desertificação com nível grave localiza-se no sertão Pernambucano,

próximo aos municípios de Petrolina, Afrânio e dornentes. Algumas dessas áreas citadas obtiveram resultados, tanto do índice de anomalia de chuvas (IAC), como do índice de aridez (IA) e do índice de vegetação da diferença normalizada (NVDI) que mostram que essas áreas apresentaram indícios que indicam possíveis mudanças climáticas ocorrendo nestes locais.

Figura 17. Áreas afetadas pela desertificação e áreas susceptíveis a desertificação. Fonte: LAPIS (2019)

Resultados da análise de tendência da precipitação pluviométrica

Analisou-se os resultados obtidos pelo software Trend em relação à série histórica de cada posto de precipitação, observamos que todos os postos apresentaram tendências significativas de queda. A análise do trabalho realizado por Silva (2013) e os relatórios publicados pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2013), possibilitou a observação que é esperado que o aquecimento global venha a modificar os padrões pluviométricos em diversas

regiões do mundo , diminuindo o volume das chuvas e aumentando a quantidade de fenômenos de seca , afetando principalmente regiões que dependem das atividades associadas à agricultura de subsistência e afetar a geração de energia hidroelétrica que ocorrem no estado de Pernambuco , onde a tendência de queda na precipitação total anual da intensidade média diária de chuvas, concordando com os resultados obtidos pelo Trend.

Mesorregião: Região Metropolitana do Recife

Tabela 3. Resultados da análise de tendência da precipitação pluviométrica

Estatística	Jaboatao dos Guararapes	Camaragibe	Recife	Abreu e Lima
Mann-Kendall	NS	S (0.05)	S (0.1)	S (0.1)
Spearman's Rho	NS	S (0.05)	S (0.1)	S (0.1)
Linear regression	NS	S (0.05)	S (0.1)	S (0.1)
Cusum	NS	NS	NS	NS
Cumulative deviation	NS	NS	NS	NS
Worsley likelihood	NS	S (0.1)	S (0.1)	S (0.1)
Rank Sum	NS	NS	NS	NS
Student's t	NS	NS	NS	NS
Median Crossing	S (0.05)	NS	NS	NS
Turning Point	NS	NS	NS	NS
Rank Difference	NS	NS	NS	NS
Auto Correlation	NS	NS	NS	NS

Legenda: NS - Nenhuma significância estatística; S - significância estatística

Fonte: Autores (2019).

Tabela 4. Análise de tendência da precipitação pluviométrica por posto.

Posto Pluviométrico	Análise de Tendência
Jaboatao dos Guararapes	Os Dados Não Mostram Tendências Estatisticamente Significativas
Recife	Os Dados Mostram Tendências Estatisticamente Significativas de Diminuição
Abreu e Lima	Os Dados Mostram Tendências Estatisticamente Significativas de Diminuição
Camaragibe	Os Dados Mostram Tendências Estatisticamente Significativas de Diminuição

Fonte: Autores (2019).

Mesoregião: Agreste de Pernambuco

Tabela 5. Resultados da análise de tendência da precipitação pluviométrica.

Estatística	Belo Jardim	Bezerros	Caruaru	Garanhuns	Santa Cruz do Capibaribe	Surubim
Mann-Kendall	S (0.1)	NS	S (0.1)	NS	NS	NS
Spearman's Rho	S (0.1)	NS	S (0.05)	NS	NS	NS
Linear regression	NS	NS	S (0.1)	NS	NS	NS
Cusum	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Cumulative deviation	S (0.1)	NS	S (0.05)	NS	NS	NS
Worsley likelihood	NS	NS	S (0.1)	NS	NS	NS
Rank Sum	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Student's t	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Median Crossing	NS	S (0.01)	NS	S (0.05)	NS	NS
Turning Point	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Rank Difference	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Auto Correlation	S (0.05)	NS	NS	NS	NS	NS

Legenda: NS - Nenhuma significância estatística; S - significância estatística

Fonte: Autores (2019).

Tabela 6. Análise de tendência da precipitação pluviométrica por posto

Posto Pluviométrico	Análise de Tendência
Belo Jardim	Os Dados Mostram Tendências Estatisticamente Significativas de Diminuição
Bezerros	Os Dados Não Mostram Tendências Estatisticamente Significativas
Caruaru	Os Dados Mostram Tendências Estatisticamente Significativas de Diminuição
Garanhuns	Os Dados Não Mostram Tendências Estatisticamente Significativas
Santa Cruz do Capibaribe	Os Dados Não Mostram Tendências Estatisticamente Significativas
Surubim	Os Dados Não Mostram Tendências Estatisticamente Significativas

Fonte: Autores (2019).

Mesoregião: Sertão Pernambucano

Tabela 7. Resultados da análise de tendência da precipitação pluviométrica.

Estatística	Afogados do Ingazeira	Betania	Bodoco	Brejinho	Exu
Mann-Kendall	NS	S (0.1)	NS	NS	NS
Spearman's Rho	NS	S (0.1)	NS	NS	NS
Linear regression	NS	S (0.1)	NS	NS	NS
Cusum	NS	NS	NS	NS	NS
Cumulative deviation	S (0.1)	S (0.05)	NS	NS	NS
Worsley likelihood	NS	S (0.05)	NS	NS	NS
Rank Sum	S (0.05)	S (0.01)	NS	NS	NS
Student's t	S (0.05)	S (0.05)	NS	NS	NS
Median Crossing	NS	NS	NS	NS	S (0.05)
Turning Point	NS	NS	NS	S (0.01)	NS
Rank Difference	S (0.1)	S (0.05)	NS	S (0.01)	NS
Auto Correlation	S (0.05)	S (0.01)	NS	S (0.01)	NS

Legenda: NS - Nenhuma significância estatística; S - significância estatística

Fonte: Autores (2019).

Tabela 8. Resultados da análise de tendência da precipitação pluviométrica.

Estatística	Arcoverde	Serra Talhada	Ibimirim	Salgueiro	Ouricuri
Mann-Kendall	NS	NS	S (0.1)	NS	NS
Spearman's Rho	NS	NS	S (0.1)	NS	NS
Linear regression	NS	NS	NS	NS	NS
Cusum	NS	NS	S (0.05)	NS	NS
Cumulative deviation	NS	NS	S (0.05)	S (0.1)	NS
Worsley likelihood	NS	NS	NS	NS	NS
Rank Sum	NS	NS	S (0.05)	NS	NS
Student's t	NS	NS	S (0.1)	NS	NS
Median Crossing	NS	NS	NS	NS	NS
Turning Point	NS	NS	NS	NS	NS
Rank Difference	NS	NS	NS	S (0.1)	NS
Auto Correlation	NS	NS	S (0.1)	S (0.1)	NS

Legenda: NS - Nenhuma significância estatística; S - significância estatística

Fonte: Autores (2019).

Tabela 9. Análise de tendência da precipitação pluviométrica por posto.

Posto Pluviométrico	Análise de Tendência
Afogados do Ingazeira	Os Dados Não Mostram Tendências Estatisticamente Significativas
Betania	Os Dados Mostram Tendências Estatisticamente Significativas de Diminuição
Bodoco	Os Dados Não Mostram Tendências Estatisticamente Significativas
Brejinho	Os Dados Não Mostram Tendências Estatisticamente Significativas
Exu	Os Dados Não Mostram Tendências Estatisticamente Significativas
Arcoverde	Os Dados Não Mostram Tendências Estatisticamente Significativas
Serra Talhada	Os Dados Não Mostram Tendências Estatisticamente Significativas
Ibimirim	Os Dados Mostram Tendências Estatisticamente Significativas de Diminuição
Salgueiro	Os Dados Não Mostram Tendências Estatisticamente Significativas
Ouricuri	Os Dados Não Mostram Tendências Estatisticamente Significativas

Fonte: Autores (2019).

4. Conclusões

Os índices climáticos utilizados tiveram resultados compatíveis com a realidade, visto que tanto as áreas afetadas como as áreas susceptíveis pela desertificação apresentaram índices que indicaram zonas climáticas áridas e semiáridas, bem como, baixos valores de precipitação acumulada como também grandes quantidades de dias sem precipitação, aumentando as chances de ocorrência de mudanças climáticas. Mesmo os índices climáticos utilizados apresentarem diferenças em suas metodologias, seus resultantes foram semelhantes, colaborando para a análise de possíveis mudanças climáticas. Nem todos os postos pluviométricos apresentaram tendências significativas, porém aqueles que não apresentaram tendências possuem características relacionados tanto ao seu regime de precipitação, como a precipitação acumulada e a quantidade de dias sem precipitação, como valores respectivos ao índice de anomalia de chuva, índice de aridez e o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada que permitem analisar possíveis cenários a longo prazo. Alguns municípios como Belém de São Francisco, Floresta e Dormentes, além de apresentarem, baixos valores nos índices climáticos utilizados, também apresentaram tendências de queda na precipitação média anual, apresentando uma chance maior de ocorrer seca ou período de estiagem severo, que podem trazer prejuízos diversos tanto nas biodiversidades locais como nas atividades econômicas desenvolvidas nestes locais como a pecuária e agricultura.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Instituto nacional de meteorologia, a agência Pernambucana de águas e clima e o laboratório de análise e processamento de Imagens e satélite por disponibilizar os dados climáticos das estações estudadas e os dados de índice de vegetação da diferença normalizada já processados, e também a Universidade federal de Pernambuco pela disponibilidade do espaço no laboratório de hidráulica do departamento de recursos hídricos.

Referências

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Superintendia de Informações Hidrológicas. Águas Subterrâneas. Brasília (DF): ANA, agosto 2002, 85 p.
- AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA. Dados dos postos pluviométricos. Recife: APAC, 2019. Disponível em: <http://www.apac.pe.gov.br/meteorologia/m>
- onitoramento-pluvio.php. Acesso em: 16 mai. 2019.
- AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE MEIO AMBIENTE. Plano Estadual de Mudanças Climáticas - (Proposta para Debate com a Sociedade). Recife: CPRH, 2011. 94 p.
- CEPED – Centro de Estudos e Pesquisas em Engenharia e Defesa Civil. Disponível em: <http://www.ceped.ufsc.br/>. Acesso: 14 de maio 2019.
- Freitas, M. A V. O estado das águas no Brasil: Perspectivas de Gestão e da Informação de recursos Hídricos. In: ANEEL. Brasília - DF, 1999.
- INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. Dados meteorológicos, estações automáticas, PE-Recife. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>. Acesso: 16 de maio 2019.
- IPCC. Climate Change 2013: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge: Cambridge University Press, 2013. 1535p.
- LAPIS – Laboratório de Análise e Processamento de Imagens e Satélite. Disponível em: <http://www.lapismet.com.br/>. Acesso: 14 de maio 2019.
- Nimer, E. Pluviometria e recursos hídricos dos estados de Pernambuco e Paraíba. Rio de Janeiro: IBGE, 1979. 120p.
- Silva, R. O. B.; Montenegro, S. M. G. L.; Souza, W. M. de. Tendências de mudanças climáticas na precipitação pluviométrica nas bacias hidrográficas do estado de Pernambuco. Eng. Sanit. Ambient., v.22 n.3, p. 579-589, mai./jun. 2017.
- Silva, R. O. B. Tendências de mudanças climáticas na precipitação pluviométrica no estado de Pernambuco. 2013. 94 f. Dissertação (mestrado) - UFPE, Centro de Tecnologia e Geociências, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, 2013.
- Yevjevich, V. Probability and statistics in hydrology. Fort Collins: Water Resources Publication, 1972. 276p.