



## **IMPACTOS E VARIABILIDADE NO CLIMA URBANO DE RECIFE – PE (BRASIL)**

---

Raimundo Mainar de Medeiros  
*Universidade Federal de Pernambuco*

### **Resumo**

Tem-se como objetivo identificar oscilações e tendências mensais e anuais das variáveis meteorológicas: temperaturas máxima e mínima do ar, precipitação, umidade relativa do ar, número de dias com chuva, insolação total, intensidade do vento e cobertura de nuvens. Utilizou-se da distribuição teórica de probabilidade: Weibull, Log-normal e Logística para o ajuste dos valores das variáveis supracitadas. Foi utilizado o teste Kolmogorov-Smirnov para verificar o ajuste das funções teóricas. Os dados utilizados foram adquiridos do Instituto Nacional de Meteorologia, compreendendo a série do período de 1962 a 2015. Para a determinação das distribuições teóricas de probabilidade ajustadas aos extremos anuais dos dados em estudo, utilizou-se dos métodos de máxima verossimilhança para estimar os parâmetros das distribuições. O teste Kolmogorov-Smirnov foi usado para comparar os ajustes e selecionar as melhores distribuições teóricas. Os ajustes também foram avaliados em gráficos. O desmatamento da vegetação nativa para construção de bairros, favelas e edificações superiores a seis pavimentos vem registrando impacto urbano, altas incidências de queimadas nas circunvizinhanças, os elevados índices de desertificação, assoreamento dos rios, riachos, córregos, poços, cacimba, lagos, lagoas vem ocasionando o rebaixamento do lençol freático e reduzindo o volume de água subterrânea. As distribuições Weibull e Logística foram que melhores se ajustaram à precipitação, à insolação, à umidade relativa, à temperatura mínima e à cobertura de nuvem.

**Palavras-chave:** elementos meteorológicos, oscilações climáticas, distribuição de probabilidade.

## ***IMPACTS AND VARIABILITY IN URBAN CLIMATE IN THE RECIFE – PE (BRAZIL)***

---

### **Abstract**

The objective is to identify monthly and annual variations and trends in meteorological variables: maximum and minimum air temperatures, precipitation, relative humidity, number of rainy days, total sunshine, wind intensity and cloud cover. We used the theoretical probability distribution: Weibull, Log-normal and Logistics for the adjustment of the values of the aforementioned variables. The Kolmogorov-Smirnov test was used to verify the adjustment of the theoretical

functions. The data used were acquired from the National Meteorological Institute, comprising the series from the period 1962 to 2015. For the determination of the theoretical distributions of probability adjusted to the annual extremes of the data under study, we used the maximum likelihood methods to estimate the parameters of distributions. The Kolmogorov-Smirnov test was used to compare the fit and select the best theoretical distributions. The adjustments were also evaluated in graphs. The deforestation of native vegetation for the construction of districts, favelas and buildings over six floors has recorded urban impact, high incidences of fires in the surrounding areas, high desertification rates, silting of rivers, streams, wells, cacimba, lakes, ponds has led to the lowering of the water table and reducing the volume of groundwater. The Weibull and Logistics distributions were the best fit for precipitation, insolation, relative humidity, minimum temperature and cloud cover.

**Keywords:** meteorological elements, climatic oscillations, probability distribution.

## INTRODUÇÃO

Climatologicamente a região Nordeste do Brasil (NEB) é considerada semiárida por mostrar-se com variações temporal e espacial pluviométrica irregular intermunicipal, assim como elevadas temperaturas ao longo do ano (AZEVEDO et al., 1998). De acordo com Mendes (2015), a variabilidade climática do NEB é influenciada pelo fenômeno El Niño, associado a grandes eventos de secas na região, o que ocasiona prejuízos às populações desta região.

O conforto ambiental é um dos fatores climáticos que interferem na qualidade de vida das pessoas. Uma das grandes preocupações da comunidade científica na última década diz respeito às alterações climáticas e as consequências para a humanidade. O aquecimento nas cidades é fato intra e interurbano que vem ocorrendo desde os primórdios da civilização, em decorrências da falta de planejamento urbano, envolvendo agressões ao meio natural. Os aquecimentos urbanos são integrados à cidade, mesmo que sejam pequenos aglomerados urbanos, pois as construções civis verticais, novos bairros, faltam de espaço verde (praças), cobertura asfálticas em grandes proporções, a ausência da arborização e a compactação do solo vem gerando ilha de calor proporcional ao crescimento urbano.

Em áreas com região de clima contrastantes entre chuvoso e semiárido, como o NEB e em especial o estado do Pernambuco, o monitoramento térmico é de fundamental interesse para tomada de decisões, que tragam benefício aos habitantes. As informações sobre as condições climáticas históricas são importantes para o planejamento e manejo de culturas agrícolas, para análise da intensidade da variabilidade térmica, podendo ser evitado, ao máximo a interferência da temperatura do ar destacando-se na condução de estudos concernentes à ordenação agrícola: uso do solo, zoneamento ecológico, aptidão climática, época de semeadura, estimativa do ciclo das culturas e o bem estar da população, dentre outras conforme afirmação de Oliveira Neto et al. (2002).

Segundo Teixeira et al. (2009) as flutuações climáticas devem-se ao imperceptível balanceamento entre a intensidade de radiação solar incidente e o efeito estufa, proporcionado principalmente pela quantidade de CO<sub>2</sub> na atmosfera.

Melo et al. (2016) utilizaram-se das funções de distribuição teórica de probabilidade de Weibull, Log-normal e Logística para o ajuste dos valores das variáveis meteorológicas: temperaturas máxima e mínima do ar, precipitação, umidade relativa do ar, número de dias com chuva, insolação total, intensidade vento e cobertura de nuvens no município de Parnaguá – PI. Estes autores usaram o teste Kolmogorov-Smirnov (KS) para verificar o ajuste das funções teóricas. Para as quatro distribuições teóricas de probabilidade ajustadas aos extremos anuais dos dados referenciados, utilizou-se dos métodos de máxima verossimilhança.

Melo et al. (2015) mostraram que são importantes os planejamentos urbano, rural e ambiental, assim como o armazenamento de água para múltiplos fins. Identificaram as flutuações e tendências mensais e anuais das variáveis meteorológicas: temperaturas máxima e mínima do ar, precipitação, umidade relativa do ar, número de dias com chuva e insolação total no município de Bom Jesus – PI. Utilizaram-se das funções de distribuição teórica de probabilidade de Weibull, Log-normal e Logística para o ajuste dos valores das variáveis supracitadas. O teste Kolmogorov-Smirnov (KS) foi utilizado para averiguar o ajuste das funções teóricas. Os resultados revelaram aumento da temperatura máxima e redução da temperatura mínima, condição importante para o processo de desertificação na área estudada. Essa variação provoca estresse hídrico nas culturas agrícolas e, em consequência, baixa produção.

Medeiros et al. (2012) calcularam a temperatura do ar média diária com o emprego de diferentes metodologias para os municípios de Parnaíba, Picos e Gilbués localizados, respectivamente, na área litorânea, na região central do Estado do Piauí e pertencentes à região semiárida, em terras do cerrado e desertificadas. Foram utilizados quatro métodos para o cálculo da temperatura média diária do ar, sendo adotado como padrão o recomendado pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET. Os quatro métodos avaliados em relação ao padrão possuíram desempenho classificado como “muito bom e ótimo”, com índice de confiança variando entre 0,83 a 0,98%. Os resultados ainda indicaram que, nas condições climáticas da região de estudo, os quatro métodos avaliados em relação ao padrão (INMET) podem ser utilizados nas estimativas das temperaturas médias diárias do ar.

As constantes mudanças no clima estão provocando aumento nas ocorrências de eventos climáticos extremos no mundo inteiro. No Brasil, esses eventos ocorrem, principalmente, como enchentes (fortes chuvas) e secas prolongadas, conforme Marengo et al. (2010). No NEB, os impactos são ainda maiores, devido à grande variabilidade na ocorrência de precipitação desta região. Os principais sistemas responsáveis pela ocorrência de precipitação no NEB são: Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), Vórtices Ciclônico de Altos Níveis (VCAN), Linha de Instabilidade (LI), Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), Brisas (Marítima e Terrestres) e Perturbações Ondulatórias nos ventos Alísios (POAS), em conformidade com Molion et al. (2002). O El Niño – Oscilação Sul (ENOS) é outro

modo de variabilidade climática que influencia na ocorrência de precipitação do NEB.

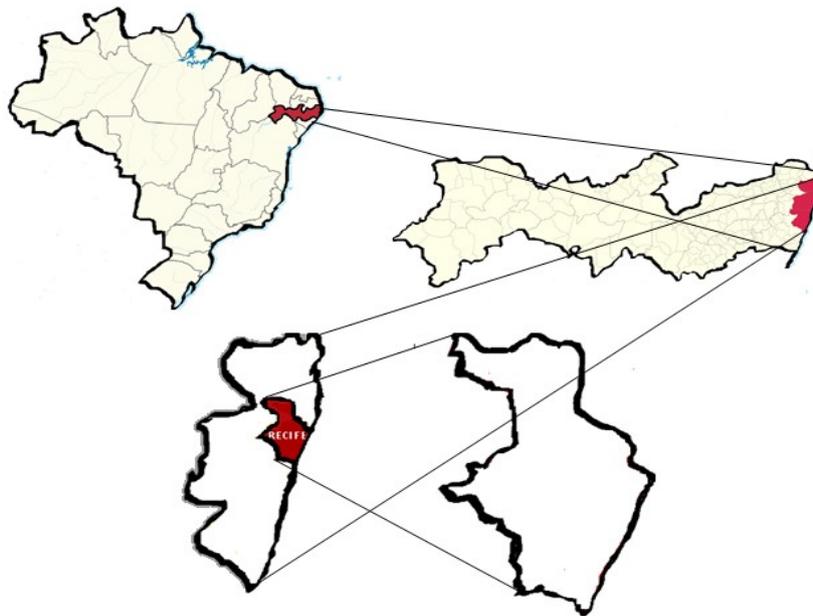
O processo de crescimento urbano acelerado é alvo de estudos para fins de avaliação da dinâmica da paisagem, pelas transformações ocorridas nas últimas décadas no Brasil, desde o processo de integração das regiões interioranas do país ao espraiamento da indústria em direção as cidades médias, segundo Stamm et al. (2010). O aquecimento urbano pode receber influência dos ventos, da baixa umidade e também do aumento do nível do mar.

A redução de precipitações nos centros urbanos provenientes de efeitos da variabilidade natural do clima e da variabilidade induzida pelo homem torna o clima mais quente, inviabilizando as atividades humanas e agrícolas, ainda que haja alguma previsão de aumento de chuva no futuro. De acordo com Marengo (2008), a redução das chuvas e da vazão nos rios vai limitar os esgotos e o transporte fluvial, comprometendo as estações de tratamento de água e de esgotamento sanitário. A geração de energia também ficará afetada com a falta de chuvas e incidirão altas taxas de evaporação e evapotranspiração, devido ao aquecimento, em algumas regiões.

Objetiva-se analisar as oscilações climáticas dos elementos meteorológicos e climáticos, como precipitação, dias com ocorrências de chuvas, insolação, umidade relativa do ar, cobertura de nuvens, intensidade do vento e as flutuações das temperaturas máximas e mínimas do ar no município de Recife - PE, fornecendo subsídios seguros aos tomadores de decisões e as autoridades municipais, estadual e federal, para a realização de planejamentos rurais, urbanos, abastecimento e represamento d'água, geração de energia, agropecuária e irrigação, visando o desenvolvimento real e sustentável.

## **MATERIAL e MÉTODOS**

Recife está entre as três maiores aglomerações urbanas do Nordeste. Ocupa uma posição central, com distância em torno de 800 km das outras metrópoles, Salvador e Fortaleza, disputando com estas o espaço estratégico de influência na Região. Com área territorial de 330 km<sup>2</sup>, limita-se ao norte com as cidades de Olinda e Paulista, ao sul com o município de Jaboatão dos Guararapes, a oeste com São Lourenço da Mata e Camaragibe, a leste com o Oceano Atlântico. Segundo os dados do recenseamento de 2010, a Cidade do Recife possui população superior a dois milhões de habitantes (IBGE, 2010). Localiza na latitude 08°01'S; longitude 34°51'W, com altitude média em relação ao nível do mar de 72 m (Figura 1).



**Figura 1.** Localização do município de Recife. Fonte: Adaptada por Kozmhinsky (2017).

Os sistemas atmosféricos que contribuem na precipitação da Região Metropolitana do Recife são os sistemas frontais, os Distúrbios Ondulatórios de Leste e as Brisas Marítimas e Terrestres, sendo estes últimos originados no Oceano Atlântico. As Ondas de Leste são comuns no outono/inverno, auxiliadas pelos ventos alísios de sudeste. As Ondas atingem a costa oriental do Nordeste, provocando chuvas fortes. A Zona da Convergência Intertropical (ZCIT) é um dos principais sistemas provocadores de chuva, perturbação associada à expansão para o hemisfério sul do equador térmico. A ZCIT atinge o Recife, principalmente no outono, e causa chuvas com trovoadas e mudança na direção dos ventos de SE para NE, ou mesmo, calmarias. As formações dos sistemas de Vórtices Ciclones de Altos Níveis (VCAS), nos meses de fevereiro a abril, possuem bordas sobre o NEB, em especial acima do estado do Pernambuco, aumentam a cobertura de nuvem e provocam chuvas de moderada à forte intensidade em curto intervalo de tempo, causando prejuízo às comunidades como alagamento, enchentes, inundações, cheias e ao setor socioeconômico e agropecuário.

O estudo do comportamento temporal espacial da pluviosidade diária e mensal, temperaturas máximas e mínimas, umidade relativa do ar, insolação, cobertura de nuvem, intensidade do vento utilizado foi adquirido do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), o período de dados compreende a série de 1962 a 2015.

As análises das tendências nas variáveis climáticas do município do Recife, o qual se adotou o procedimento dos cálculos das médias móveis e os cálculos da regressão linear tendendo o ajuste do comportamento das séries histórico o que os levou a fazer-se um pré-julgamento da eventual ocorrência das suas tendências. Utilizou-se do teste de Kolmogorov-Smirnov (KS) para averiguar a

adequação dos dados à distribuição de probabilidade. A distribuição de Weibull obteve ajuste a insolação anual e a umidade relativa do ar e a cobertura de nuvem.

Para as plotagens dos dados e elaboração dos gráficos e tabelas, utilizou-se do software em planilhas eletrônicas. Usou-se dos dados observados nos horários sinóticos (09:00; 15:00 e 21:00) aplicaram-se análises de estatística descritiva (média, desvio padrão, cálculos dos valores máximos e mínimos absolutos e coeficiente de variância), com a finalidade de obter mais clareza quanto aos resultados.

Com a aquisição, levantamento e organização dos dados, foram desenvolvidos os modelos matemáticos e estatísticos, empregando-se programa com planilhas eletrônicas. Para as análises estatísticas, aplicaram-se os métodos de regressão linear, estimaram-se os coeficientes da regressão obtidos ao nível de 5%, por meio das médias móveis, usaram-se diferentes distribuições de probabilidade, escolhidas entre as mais frequentemente utilizadas, incluindo a de Logística, Log-Normal e Weibull, respectivamente, as funções de densidade de probabilidade acumulada como descrito abaixo:

$$P(x) = 1 - \exp(-\alpha x^\beta) \text{ (Weibull)}$$

$$P(x) = \frac{1}{1 + \exp\left\{\frac{-\pi(x-\mu)}{\sigma\sqrt{3}}\right\}}, x, \mu \in \mathbb{R}, \sigma > 0 \text{ (Logística)}$$

$$f(x) = \frac{1}{B(\alpha, \beta)} \frac{(x-c)^{\alpha-1} (d-x)^{\beta-1}}{(d-c)^{\alpha+\beta-1}}, \text{ com } \alpha, \beta > 0, x \in [c, d] \text{ (Beta4)}$$

A distribuição beta4 foi obtida por transformação de uma variável de tal modo que a distribuição ocorreu num intervalo [c, d], em que c e d puderam assumir qualquer valor.

$$F(x) = \exp\left\{-\left[1 + \xi\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)\right]^{\frac{1}{\xi}}\right\} \text{ (GEV)}$$

Definida em  $-\infty < x < \mu - \sigma/\xi$  para  $\xi < 0$  e  $\mu - \sigma/\xi < x < \infty$ , sendo  $\mu, \sigma \in \xi$  os parâmetros de posição, escala e de forma respectivamente, com  $\sigma > 0$ . Os ajustes e a seleção das melhores repartições teóricas foram feitos por teste Kolmogov-Smirnov, que compara as distribuições empíricas acumuladas com as teóricas. Este teste mede a distância máxima entre os resultados de um compartilhamento a ser testada e os valores associados à hipoteticamente verdadeira. A estatística do teste é dada por D, representando a diferença máxima entre as funções acumuladas de probabilidade teórica (F(x)) e empírica (F(a)). O teste apresenta a seguinte forma:

$$D = \max |F(x) - F(a)|$$

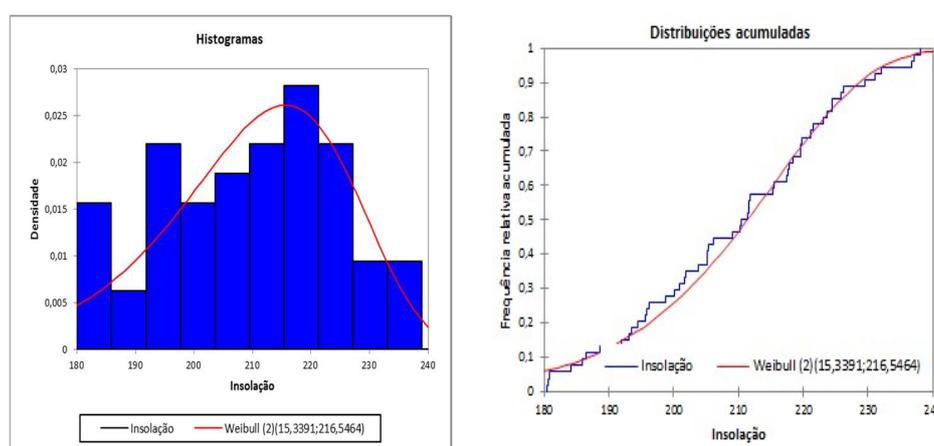
A aceitação do ajuste dos dados à função pretendida foi exigente, visto que considerou-se o nível de significância de 5%. Desta forma, foi possível inferir se e quando ocorre tendência numa determinada série histórica para a amostra estudada.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os testes mostraram que a distribuição de Logística foi a que melhor se ajustou aos dados de precipitação total anual e de temperatura mínima do ar anual. A distribuição GEV ajustou-se à intensidade do vento. A temperatura máxima do ar anual teve ajuste à distribuição Normal. Os resultados das diferentes análises das séries estudadas apresentam concordância entre os testes estatísticos aplicados, que indicaram mudanças significativas nas séries dos dados anuais. A Distribuição de Probabilidade acumulada Weibull para a variabilidade da insolação total (Figura 2) apresentou coeficiente angular negativo de 0,1226, com teste de significância KS com valor de 0,95.

**Tabela 1.** Resultados do teste de Kolmogorov-Smirnov e da análise de regressão linear em Recife – PE no período de 1962 a 2015.

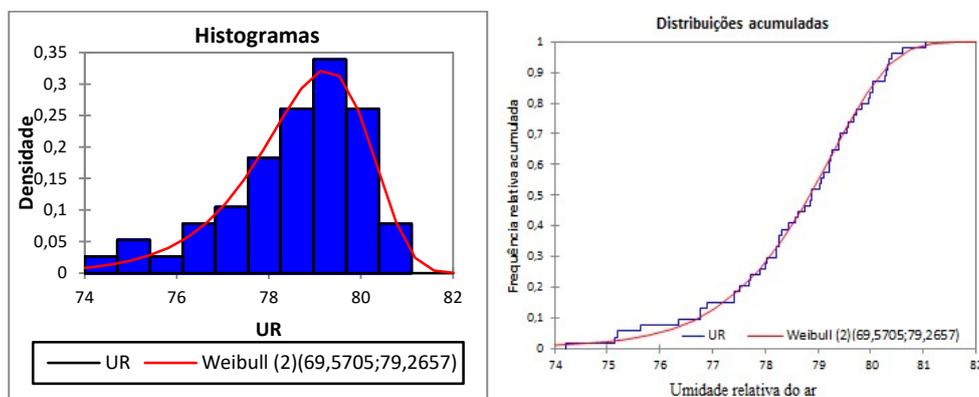
Variáveis Analisadas	Teste Kolmogorov-Smirnov	Coefficiente angular
Insolação Anual	0,95 (Weibull)	-0,1226
Umidade Relativa do ar Anual	1,00 (Weibull)	0,9156
Precipitação Anual	0,85 (Logística)	0,0843
Temperatura Máxima do ar Anual	0,82 (Normal)	-0,3444
Temperatura Mínima do ar Anual	0,81 (Logística)	-1,7056
Cobertura de nuvem anual	0,90 (Weibull)	-0,3936
Intensidade vento	0,1 (GEV)	-0,4784



**Figura 2.** Função densidade de probabilidade e função de distribuição acumulada que melhor se ajustou ao dado de insolação total em Recife – PE, no período de 1962 a 2015.

Medeiros (2018) realizou o monitoramento de insolação como sendo atividade relevante para a agricultura, energia renovável e fonte de calor, analisando o comportamento decadal e seu comparativo com a média histórica da insolação frente à variação temporal ocorrida no período de 1962-2011 na cidade do Recife. Mostrou que as incidências de insolação acima dos padrões normais na região condicionados à baixa incidência de cobertura de nuvens, a flutuações de temperatura acima da normalidade e a ocorrência de queimadas. Observa-se que os desvios positivos superaram os desvios negativos, na sua maioria predominaram os desvios negativos entre os anos de 1972 a 1992, demonstrando reduções de até 15% nos seus valores mensais e anuais. Parte da variabilidade interanual da insolação esta associada à ocorrência dos efeitos locais e regionais e as contribuições dos fenômenos de larga e meso escala registrados no período de estudo. Estas variabilidades estão associadas às condições termodinâmicas do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul, que inibindo a formação de nuvens, favorece um aumento no fluxo radiativo de ondas curtas e aumento no fluxo do saldo de radiação, potencializando, assim, doenças a população que, por meio de aquecendo da Camada Limite Atmosférica, implicará em pré-disposição desta área a proliferação de vetores. Estes resultados corroboram com os dados do estudo em desenvolvimento.

O coeficiente angular foi positivo em 0,9156, com teste de significância KS, com valor de 1,00 para a variabilidade da umidade relativa do ar (Figura 3). Demonstraram variabilidade de maiores ocorrências entre 78 a 80% com maiores significâncias no período chuvoso.

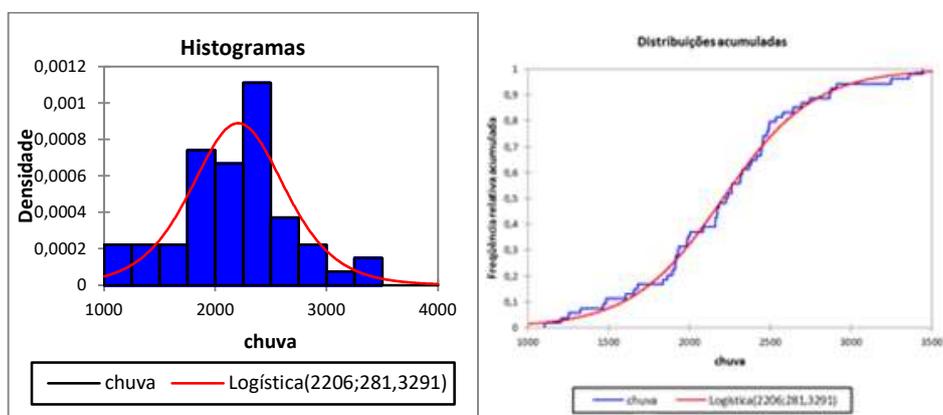


**Figura 3.** Função densidade de probabilidade e função de distribuição acumulada que melhor se ajustou ao dado de umidade relativa do ar em Recife – PE, no período de 1962 a 2015.

Comparando-se os resultados da umidade relativa do ar neste estudo com outros estudos já realizados para a região do Nordeste do Brasil, detectaram-se semelhanças com os resultados de Melo et al. (2016).

O teste de significância KS com valor de 0,85 é com um coeficiente angular de 0,0843 para a precipitação total anual para a probabilidade acumulada logística (Figura 4). Demonstram variabilidade irregular e tendência de mudanças de clima entre a série estudada. A distribuição logística mostra maiores probabilidade de ocorrências dos índices pluviométricos entre 2000 a 2500 mm onde a mediana tem maior confiabilidade de ocorrência.

O período crítico de estiagem entre os meses de outubro, novembro, dezembro e janeiro, registram as menores médias pluviais fazendo com que o teste de tendência subestime seus índices. Nos meses de abril a julho que corresponde ao período chuvoso o teste de tendência prediz um grau de confiabilidade maior. Uma vez que o teste leva em consideração os dados médios, foi considerado de maior significância o período chuvoso.



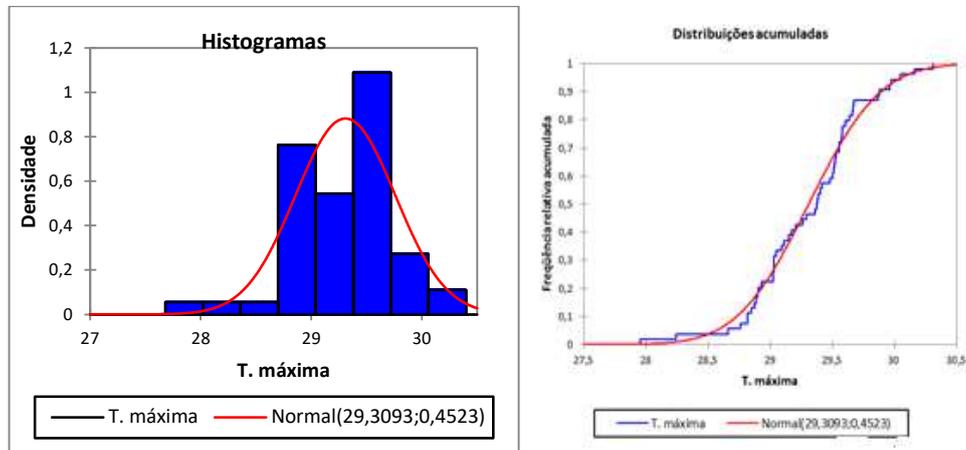
**Figura 4.** Função densidade de probabilidade e função de distribuição acumulada que melhor se ajustou ao dado de precipitação em Recife – PE, no período de 1962 a 2015.

Comparando-se o estudo com outros estudos realizados para a região NEB, observaram-se analogias com os resultados de Nobre (2001) e Alves (2003). A região NEB, principalmente na porção semiárida, periodicamente é afetada pela ocorrência de estiagens que comprometem o abastecimento de água, e conseqüentemente a recarga hídrica, devido principalmente à irregularidade da estação chuvosa na região, com predominância de chuvas intensas e de curta duração em conformidade com Andrade (2011) e Carvalho (2014).

A função de distribuição de probabilidade que melhor se ajustou aos dados de temperatura máxima e mínima foi efetuada pelo teste Kolmogorov-Smirnov (KS) ao nível de 5% de probabilidade, onde se utilizou dados médios de temperatura da série de 1962-2015.

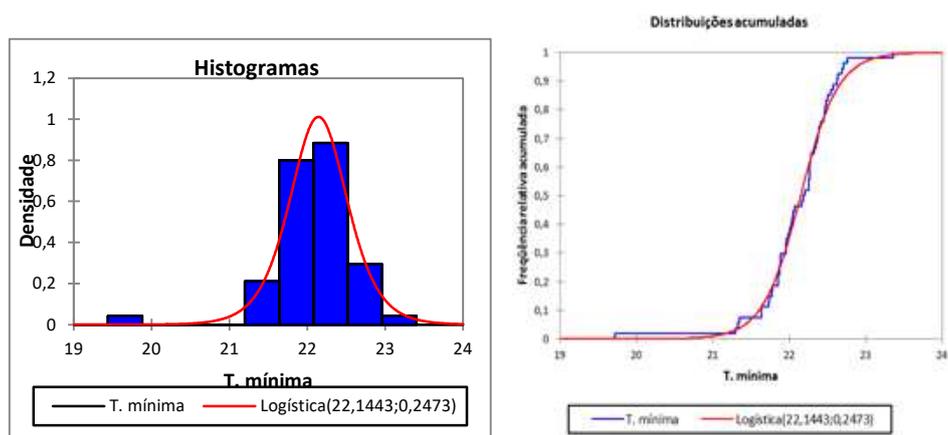
A distribuição de probabilidade acumulada normal para a variabilidade da temperatura máxima (Figura 5) com teste de significância KS é de 0,82, e com coeficientes angulares negativo de 0,3444.

Melo et al. (2016) encontraram variabilidade de aumentos da temperatura máxima com flutuações superiores a 30 °C para os municípios de Bom Jesus e Parnaíba – PI. Este resultado colabora com os da pesquisa realizada.



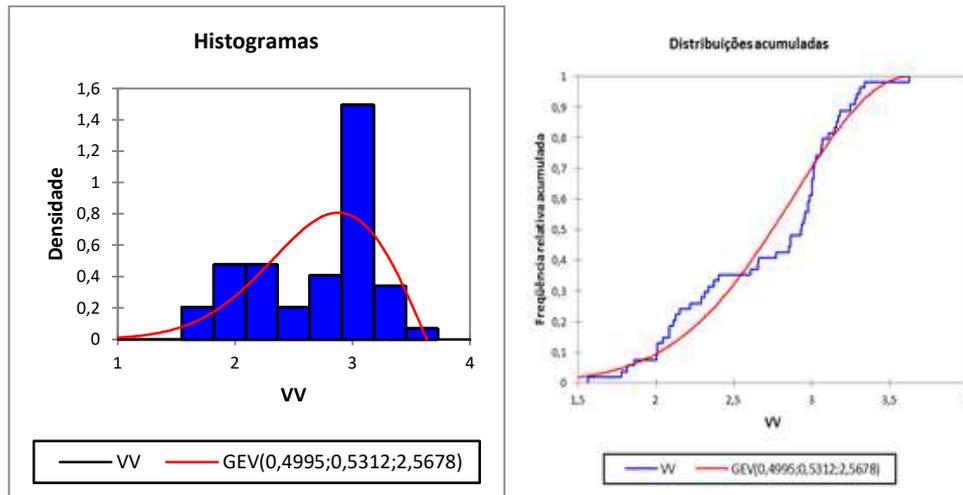
**Figura 5.** Função densidade de probabilidade e função de distribuição acumulada que melhor se ajustou ao dado de temperatura máxima em Recife – PE, no período de 1962 a 2015.

A distribuição de probabilidade acumulada logística para a variável da temperatura mínima (Figura 6) com teste de significância KS de 0,81 e com coeficiente angular negativo de 1,7056. Em conformidade com os testes descritos pela Tabela 1, as variáveis climáticas com valores negativos não possuem probabilidade de ocorrência. Destacam-se flutuações de acréscimos entre 21 °C a 23 °C na série estudada. Resultados semelhantes foram estabelecidos por Melo et al. (2016) que demonstrou variabilidade de aumentos da temperatura mínima no período do amanhecer, deixando as madrugadas mais quente que a normalidade.

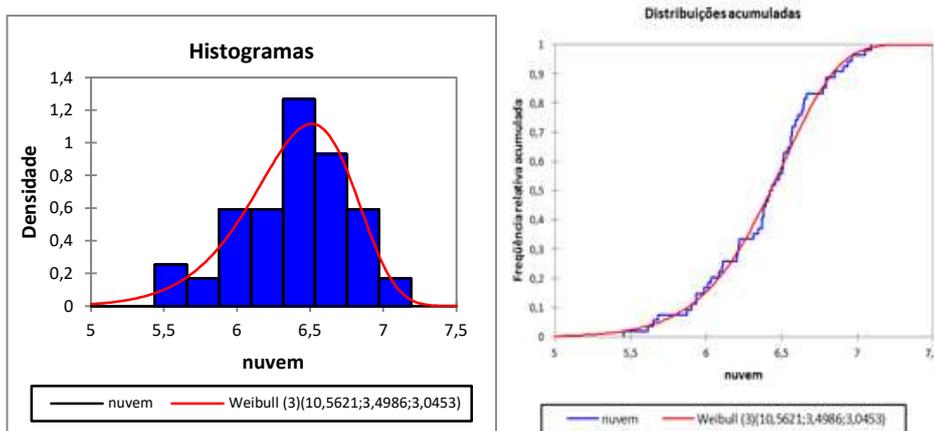


**Figura 6.** Função densidade de probabilidade e função de distribuição acumulada que melhor se ajustou ao dado de temperatura mínima em Recife – PE, no período de 1962 a 2015.

O teste de significância KS com valor de 0,1 e com coeficiente angular negativo de 0,4784 para a intensidade do vento anual para a distribuição de probabilidade acumulada GEV (Figura 7). Observa-se que a distribuição de probabilidade GEV apresenta nos seus testes valores subestimados. Tais resultados foram encontrados também por Medeiros et al. (2016) para a área dos cerrados piauienses. A distribuição de Probabilidade Weibull para a cobertura de nuvem com teste de significância foi de 0,90 e coeficiente angular de -0,3936 (Figura 8).



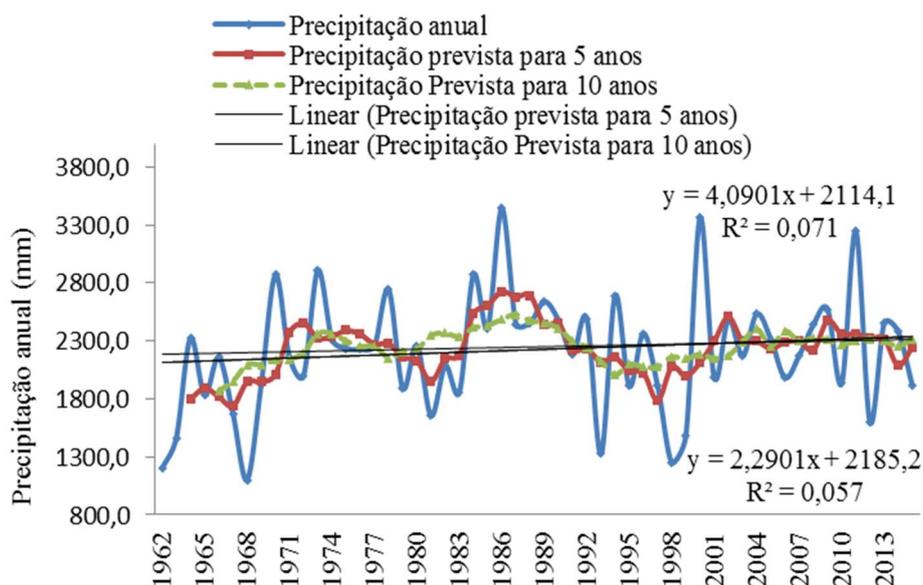
**Figura 7.** Função densidade de probabilidade e função de distribuição acumulada que melhor se ajustou ao dado de intensidade do vento em Recife – PE, no período de 1962 a 2015.



**Figura 8.** Função densidade de probabilidade e função de distribuição acumulada que melhor se ajustou ao dado de cobertura de nuvem em Recife – PE, no período de 1962 a 2015.

O período crítico de estiagem entre os meses de outubro, novembro, dezembro e janeiro, registram as menores cobertura de nebulosidade fazendo com que o teste de tendência subestime seus índices. Nos meses de abril a julho que corresponde ao período chuvoso o teste de tendência prediz grau de confiabilidade com maior significância. Uma vez que o teste leva em consideração os dados médios levou-se em consideração o de maior significância o período chuvoso fato que auxilia na maior cobertura de nuvem, fatores semelhantes foram encontrados nos resultados de Nobre (2001), Carvalho (2014) e Melo et al. (2016).

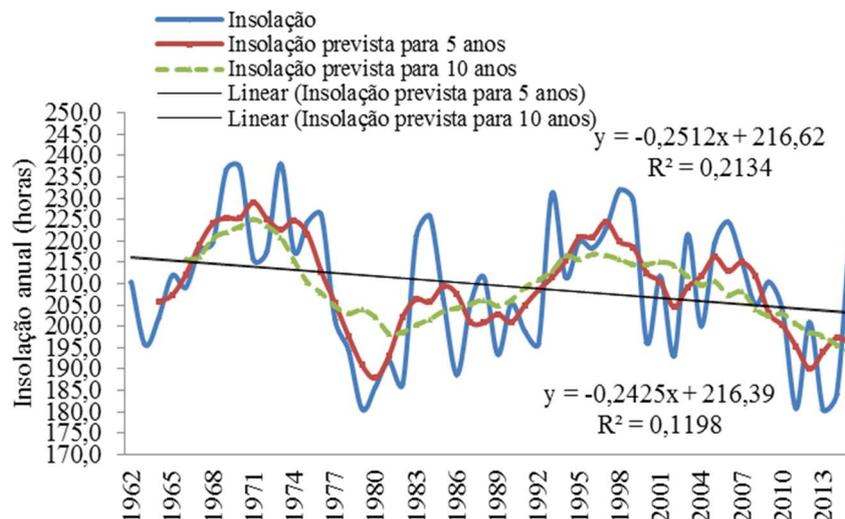
A variabilidade dos índices pluviométrico anual em Recife-PE e a variabilidade da média móvel, com ajustes lineares (Figura 9). Verificou-se tendência de aumento nos índices pluviométricos para o período de 1962 a 2015. A equação linear (Figura 9) indica coeficiente angular positivo para as tendências de 5 e 10 anos e de baixo nível de significância. Não ocorre tendência expressiva para os índices pluviométricos estudados. Resultados análogos foram mostrados por Galvncio (2002) e Medeiros et al. (2018).



**Figura 9.** Precipitação anual com a média móvel dos 5 e 10 anos em Recife – PE, no período de 1962 a 2015.

Observa-se que ocorre adequação linear nas médias móveis com coeficiente angular negativo e com probabilidade de ocorrência de tendência com redução na série de dados de insolação em estudo (Figura 10). O aumento da incidência de insolação solar pode ocorrer devido às construções civis desordenadas, como edificações verticais acima de seis pavimentos, aberturas de novos bairros e invasões de favelas sem planejamentos e estrutura de sobrevivência, impermeabilização do solo, faltam de arborização, cobertura asfáltica que provoca aumento da carga térmica, alta incidência de frota automotiva e a falta

da circulação do vento natural. A alta incidência de isolação poderá prejudicar os plantios diretos, afetar o conforto humano. A ampliação da insolação na área de estudo se deve ao fato da falta de planejamento das áreas urbanas. Tais informações foram estudadas por Medeiros (2016).



**Figura 10.** Insolação total com a média móvel dos 5 e 10 anos em Recife – PE, no período de 1962 a 2015.

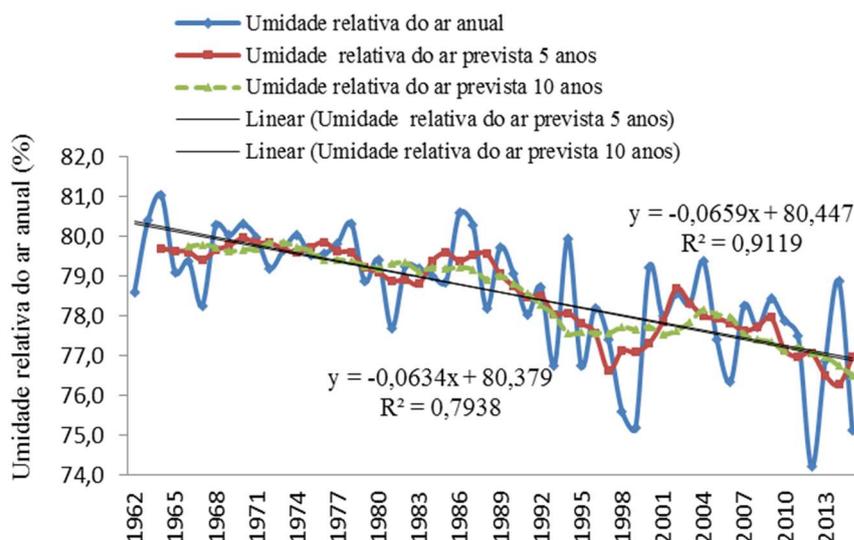
Observa-se decréscimo da umidade relativa do ar (Figura 11), pois no meio urbano, o elevado índice de impermeabilização do solo, a deficiência de áreas verdes, tais como praça, arborizações de ruas e avenidas, disponibilidade de água na superfície, reduzem a troca de calor por evaporação e evapotranspiração, fazendo com que os níveis de umidade relativa sejam reduzidos e a maior parte da energia radiante seja utilizada para aquecer o ar. Relata que na umidade relativa do ar prevista, ocorreram reduções significativas quando comparada com a umidade real, tanto no tempo, como em magnitude para os próximos cinco e dez anos. Tais variabilidades apresentaram coerências no estudo da variação média mensal e anual da umidade relativa do ar na bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto – Piauí em conformidade com Medeiros et al. (2016).

As temperaturas máximas do ar real são prevista e demonstram indícios de elevação, os coeficientes angulares das retas são positivos.  $R^2$  tem alta significância (Figura 12). Na década de 2000, observou-se tendência de aumento na variabilidade da temperatura máxima do ar anual. Estudo sobre a bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto (2016) apresentam valores similares ao estudado.

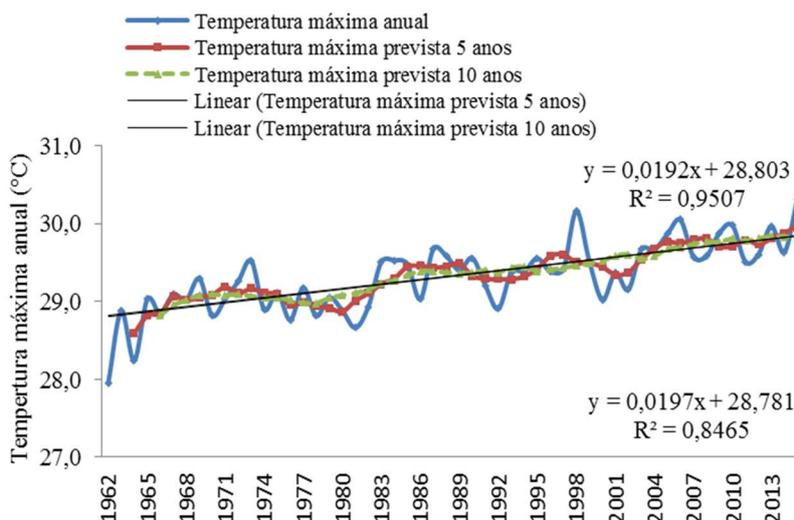
Destaca-se aumento linear significativa na temperatura mínima anual e na previsão (Figura 13). O coeficiente angular é positivo e  $R^2$  tem boa significância. Baseando-se em tendências observadas, assim como de estudos feitos, considerando as projeções climáticas do futuro derivadas dos modelos climáticos o Intergovernamental Painel of Climate Change (IPCC, 2007), pode-se considerar

que a região metropolitana deva tornar-se ainda mais quentes, com ocorrências de inundações, enchentes, alagamentos e desmoronamentos de encostas. Assim como a madrugada ficando mais quentes. Estando de acordo com o estudo de Marengo et al. (2008).

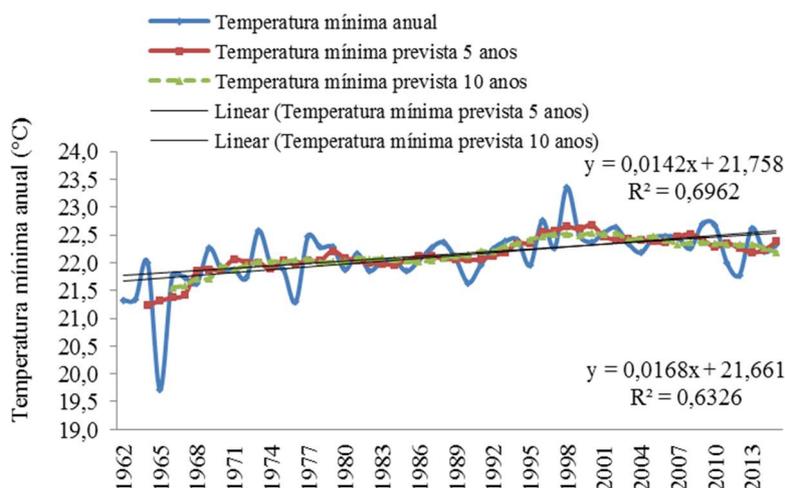
A cobertura de nebulosidade em décimo tem o coeficiente angular positivo e o valor de R próximo, não indicando boa correlação (Figura 14). Espera-se aumento na cobertura de nuvens, com ocorrência de probabilidade com chuvas extremas, em curto intervalo de tempo e de alta magnitude. Estas flutuabilidades estão relacionadas com os resultados obtidos por Medeiros (2016) para a área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto.



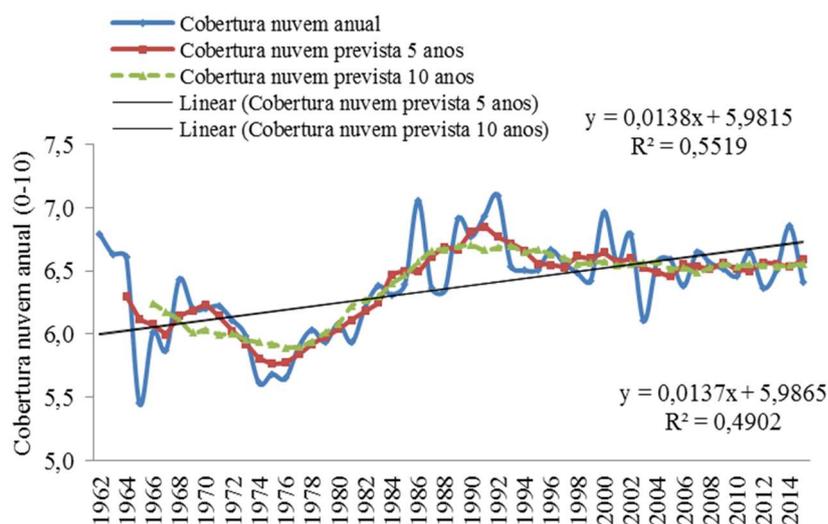
**Figura 11.** Umidade relativa do ar com a média móvel dos 5 e 10 anos em Recife – PE, no período de 1962 a 2015.



**Figura 12.** Temperatura máxima com a média móvel dos 5 e 10 anos em Recife – PE, no período de 1962 a 2015.

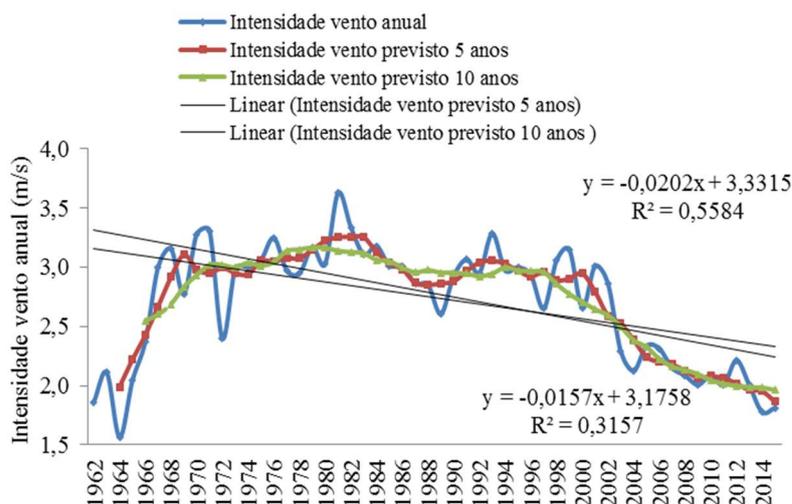


**Figura 13.** Temperatura mínima com a média móvel dos 5 e 10 anos em Recife – PE, no período de 1962 a 2015.



**Figura 14.** Cobertura de nuvem com a média móvel dos 5 e 10 anos em Recife – PE, no período de 1962 a 2015.

A intensidade do vento com a média móvel dos 5 e 10 anos em Recife - PE no período de 1962 a 2015 (Figura 15) tem coeficiente angular negativo, com tendências de reduções nas intensidades, tanto reais como nas intensidades previstas para cinco e dez anos.  $R^2$  tem significância moderada, mostrando que a tendência do vento sofrer redução, em conformidade com Medeiros (2016) e Melo et al. (2015). As características idênticas foram registradas na área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto. As funções de probabilidades aplicadas aos elementos meteorológicos estudados, assim como as flutuações das médias móvel de 5 e 10 mostraram-se significância adequadas as variabilidades climáticas local.



**Figura 15.** Intensidade vento com a média móvel dos 5 e 10 anos em Recife – PE, no período de 1962 a 2015.

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

A distribuição de probabilidade Weibull demonstrou melhor ajuste aos elementos insolação, umidade relativa do ar e cobertura de nuvem. A distribuição Logística ajustou a precipitação e temperatura mínima. A temperatura máxima foi mais representada pela distribuição normal e a intensidade do vento ajustou-se a distribuição GEV. Não foram detectados indícios acumulativos de precipitação com visão de acréscimo e/ou redução na área em estudo, porém visualizaram-se deslocamentos dos meses chuvosos.

Observa-se variabilidade das temperaturas máximas e mínimas, fato que auxilia o processo de desertificação na área estudada, no setor agrícola as plantas sofrerão estresse hídrico se a quantidade de água disponível no solo não atingir a capacidade de campo, podendo vim a não desenvolvem uma floração correta e, conseqüentemente, acarretar baixa produção.

As flutuações das temperaturas máximas, mínimas registram tendências de aumentos provocados por implantações de asfaltos desproporcionais, a retiradas da vegetação urbana, altos teores de CO<sub>2</sub> repelidos pelos transportes urbanos, a compactação do solo e falta de infraestrutura no crescimento vertical.

As instabilidades e/ou estabilidade da umidade relativa do ar, registrada nas áreas urbanas, quando acompanhada de temperaturas elevadas, produzem um desconforto ambiental difícil de ser descrito através das reações fisiológicas, emocionais e comportamentais experimentadas pela população, não proporcionando bons condicionamentos térmicos.

### REFERÊNCIAS

ALVES, E. O. Influência em Curta Duração de Ondas Planetárias na Dinâmica das Marés Atmosféricas Observadas nos Ventos Meteóricos de São João do Cariri-PB. Tese (doutorado) UFCG, Campina Grande, 2003.

ANDRADE, M. C. A Terra e o Homem no Nordeste. Cortês, Recife, 2011.

AZEVEDO, P. V.; SILVA, B. B.; RODRIGUES, M. F. G. Previsão estatística das chuvas de outono no Estado do Ceará. *Revista Brasileira de Meteorologia* 13, 19-30. 1998.

CARVALHO, C. P. O. Manuel Correia de Andrade e a Economia Política do Nordeste. *Revista Economica do Nordeste*, Fortaleza, n. 2 , 2014.

GALVÍNCIO, J. D.; SOUSA, F. A. S.; SOUSA, I. F. Uso de modelos auto-regressivo e médias-móveis para geração de vazões médias mensais na bacia hidrográfica do alto São Francisco. XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Foz de Iguaçu-PR, p.1852-1857, 2002. IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2010. Disponível em <http://www.ibge.gov.br>.

INMET. INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, Normais Climatológicas do Brasil, 1961– 1990. Edição revista ampliada. Brasília: INMET, 87p. 2009.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, edited by S. Solomon et al., Cambridge Univ. Press, Cambridge, U. K. 2007.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. *Klimate der Erde*. Gotha: Verlag Justus Perthes. Wall-map 150cmx200cm.1928.

MARENGO, J. A.; SCHAEFFER, R.; ZEE, D.; PINTO, H. S. Mudanças climáticas e eventos extremos no Brasil. Disponível em: <[http://www.fbds.org.br/cop15/FBDS\\_MudancasClimaticas.pdf](http://www.fbds.org.br/cop15/FBDS_MudancasClimaticas.pdf)>. Acesso em: 2018.

MARENGO, J.; SILVA, D. P. Mudanças climáticas globais e seus impactos nos recursos hídricos. Capítulo 3 em *Águas Doces do Brasil: Capital Ecológico, Uso e Conservação*, p.63-109, Eds. A. Rebouças, B., Braga e J. Tundisi. Editoras Escrituras, SP. 2008.

MARENGO, J. A.; SCHAEFFER, R.; ZEE, D.; PINTO, H. S. Mudanças climáticas e eventos extremos no Brasil. Disponível em: [http://www.fbds.org.br/cop15/FBDS\\_MudancasClimaticas.pdf](http://www.fbds.org.br/cop15/FBDS_MudancasClimaticas.pdf). 2010. Acessado em 2018.

MEDEIROS, R. M. Insolação decadal para o município Recife – PE, Brasil. *Revista Geográfica Acadêmica.* , v.12, p.124 - 137, 2018.

MEDEIROS, R. M.; HOLANDA, R. M.; SILVA, V. P. Tendências pluviiais e análise da média móvel para São Bento do Uma - PE, Brasil. *Revista de Geografia (Recife)* V. 35, No. 5, 2018.

MEDEIROS, R. M. Estudo climatológico da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto-PI. Editora da Universidade Federal de Campina Grande – EDUFCEG, Universidade Federal de Campina Grande – UFCG. Editora@ufcg.edu.br. Formato: E-book. 2016.

MEDEIROS, R. M.; GOMES FILHO, M. F. BRITO, J. I. B. variação média mensal e anual da Umidade relativa do ar. Formato: E-book. Estudo climatológico da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto-PI. Editora da Universidade Federal de Campina Grande – EDUFCEG, Editora@ufcg.edu.br. 2016.

MEDEIROS, R. M.; TAVARES, A. L.; KASSAR, C. B.; SILVA, J. A. S.; SILVA V. P. R. Metodologias de cálculo da temperatura média diária do ar: aplicação para os municípios de Parnaíba, Picos e Gilbués, PI. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada v.6, nº. 4, p. 283 - 295, ISSN 1982-7679 (On-line).Fortaleza, CE, INOVAGRI – <http://www.inovagri.org.br> .DOI: 10.7127/rbai.v6n400093.2012.

MELO, V. S.; MEDEIROS, R. M.; SOUSA, L. F.; SOUSA, E. P.; SOUSA, F. A. S. O clima urbano e seus impactos em Parnaguá – PI. Agropecuária Científica no Semiárido, v.12, n.2, p.181-198, 2016.

MELO, V. S.; MEDEIROS, R. M.; SOUSA, F. A. S. Impactos do clima urbano em Bom Jesus – PI. I Workshop de Recursos Naturais. Campina Grande, 15 e 16 de dezembro 2015. Universidade Federal de Campina Grande – PB. 2015.

MENDES, S. M. Impacto das mudanças climáticas na disponibilidade hídrica do bioma Caatinga. Dissertação (Mestrado). Recife, UFPE. 2015.

MOLION, L. C. B.; BERNARDO, S. Uma revisão da dinâmica das chuvas no Nordeste brasileiro. Revista Brasileira de Meteorologia, v.17, p.1-10, 2002.

NOBRE, P.; MELO, A. B. C. Variabilidade climática intrasazonal sobre o Nordeste do Brasil em 1998 – 2000. Climanálise, CPTEC/INPE, São Paulo. 2001.

OLIVEIRA NETO, S. N.; REIS, G. G.; REIS, M. G. F.; LEITE, H. G.; COSTA, J. M. N. Estimativa de temperaturas mínima, média e máxima do território brasileiro situado entre 16 e 24º latitude sul e 48 e 60º longitude oeste. Engenharia na Agricultura, Viçosa, MG, v. 10, n. 1-4, p. 57-61, 2002.

STAMM, C.; WADI, Y. M.; STADUTO, J. A. R. São as cidades médias responsáveis pelo espraiamento espacial da riqueza nacional? Rede Brasileira de Estudos sobre Cidades Médias – REDBCM REDES, Santa Cruz do Sul, v. 15, n. 2, p. 66-91, maio-ago. 2010.

SUDENE – Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste. Dados pluviométricos mensais do Nordeste – Paraíba. Recife, (Série Pluviometria, 2). 1990.

TEIXEIRA, W.; FAIRCHILD, T. R.; TOLEDO, M. C. M.; TAIOLI, F. Decifrando a terra. 2 ed. Companhia editora nacional, São Paulo. 2009.

Contato com o autor: Raimundo Mainar de Medeiros <[mainarmedeiros@gmail.com](mailto:mainarmedeiros@gmail.com)>

Recebido em: 20/12/2018

Aprovado em: 15/03/2020