

Variabilidade urbana em Recife - PE, por meio das contribuições: precipitação, temperatura e umidade relativa do ar

Urban variability in Recife - PE, through contributions: precipitation, temperature and relative air humidity

Variabilidad urbana en Recife - PE, mediante aportes: precipitación, temperatura y humedad relativa del aire

Recebido: 19/01/2022 | Revisado: 23/01/2022 | Aceito: 23/01/2022 | Publicado: 25/01/2022

Raimundo Mainar de Medeiros

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7361-1281>
Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil
E-mail: mainarmedeiros@gmail.com

Romildo Morant de Holanda

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7945-3616>
Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil
E-mail: romildomorant@gmail.com

Manoel Viera de França

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4973-9327>
Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil
E-mail: manoelevieira.ufrpe@gmail.com

Luciano Marcelo Fallé Saboya

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7586-6867>
Universidade Federal de Campina Grande, Brasil
E-mail: lsaboya@hotmail.com

Moacyr Cunha Filho

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3466-8143>
Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil
E-mail: Moacyr.cunhafo@ufrpe.br

Wagner Rodolfo de Araújo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7203-0338>
Universidade Estácio de Sá, Brasil
E-mail: wagneraraujops@gmail.com

Resumo

Objetiva-se estudar a variabilidade urbana, por meio das contribuições dos índices pluviométricos, temperaturas e umidade relativa do ar, comparando-se os períodos 1931-1960; 1961-1990 e 1991-2016 para a precipitação e os períodos de 1962-1990 e de 1991-2016 para temperatura e umidade relativa do ar com as médias de 1931-2016 e 1962-2016 respectivamente, procurando quantificar as alterações climáticas e identificar a influência de eventos climáticos de larga escala El Niño(a), visando contribuir com os gestores responsáveis pelo planejamento urbano e melhoria da qualidade de vida dos habitantes e do ecossistema. Foram utilizados os dados das precipitações, temperaturas e umidade do ar, do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Foram calculados parâmetros estatísticos básicos assim como as variações das anomalias anuais com objetivo de identificar flutuabilidade nos dados e a influência de eventos extremos. Estas flutuações nos índices pluviométricos registrados nos períodos de 1931-1960; 1961-1990 e 1991-2016 poderão estar relacionados aos seguintes fatores ou fatos: A expansão do município tanto na vertical como na horizontal; a troca do local do pluviômetro do meio urbano para próximo da zona da mata e próximo ao rio; e devido à arborização urbana. A cidade do Recife sofreu com o crescimento desordenado, sem padrões específicos de planejamento na urbanização que provocaram variações no microclima da *urbis*, acarretando desconforto térmico e redução da qualidade de vida dos seus habitantes. Registra-se intenso fluxo de veículos automotivos e pessoas durante todo dia decorrente de atividades relativas a trabalho, comércio e serviços, além da concentração de várias construções, áreas impermeabilizadas bem como edifícios dificultando a circulação do ar local. Sugere-se aumento de áreas verdes interbairros a partir da arborização que vem se mostrando como alternativa para a melhoria da qualidade de vida nos espaços urbanos.

Palavras-chave: Flutuabilidades meteorológicas; Eventos extremos; Mudanças climáticas.

Abstract

The objective of this study is to study urban variability, through the contributions of pluviometric indices, temperatures and relative humidity, comparing the periods 1931-1960; 1961-1990 and 1991-2016 for precipitation and the 1962-1990 and 1991-2016 periods for temperature and relative humidity of the 1931-2016 and 1962-2016 averages respectively, attempting to quantify climate change and to identify the Influence of large-scale El Niño events, aiming to contribute to the managers responsible for urban planning and improving the quality of life of the inhabitants and the ecosystem. Rainfall, temperature and humidity data were used by the National Institute of Meteorology (INMET). Basic statistical parameters were calculated as well as variations of the annual anomalies in order to identify buoyancy in the data and the influence of extreme events. These fluctuations in the pluviometric indices registered in the periods of 1931-1960; 1961-1990 and 1991-2016 may be related to the following factors or facts: The expansion of the municipality both vertically and horizontally; The exchange of the place of the rain gauge from the urban area to near the zone of the forest and near the river; And due to urban afforestation. The city of Recife suffered from disorderly growth, with no specific patterns of planning in urbanization that caused variations in the microclimate of the urbis, causing thermal discomfort and reducing the quality of life of its inhabitants. There is an intense flow of automotive vehicles and people throughout the day due to activities related to work, commerce and services, as well as the concentration of various buildings, waterproofed areas as well as buildings making circulation of local air difficult. It is suggested an increase of green areas interbarrios from the afforestation that has been shown as an alternative for the improvement of the quality of life in urban spaces.

Keywords: Meteorological fluctuations; Extreme events; Climatic changes.

Resumen

El objetivo es estudiar la variabilidad urbana, a través de los aportes de precipitaciones, temperaturas y humedad relativa del aire, comparando los períodos 1931-1960; 1961-1990 y 1991-2016 para precipitación y los periodos 1962-1990 y 1991-2016 para temperatura y humedad relativa del aire con los promedios de 1931-2016 y 1962-2016 respectivamente, buscando cuantificar el cambio climático e identificar la influencia de grandes fenómenos meteorológicos de escala El Niño(a), con el objetivo de contribuir a los gestores responsables de la planificación urbana y mejorar la calidad de vida de los habitantes y el ecosistema. Se utilizaron datos de precipitación, temperatura y humedad del aire, del Instituto Nacional de Meteorología (INMET). Se calcularon los parámetros estadísticos básicos y las variaciones anuales de las anomalías para identificar la flotabilidad de los datos y la influencia de los eventos extremos. Estas fluctuaciones en las precipitaciones registradas en los períodos 1931-1960; 1961-1990 y 1991-2016 puede estar relacionado con los siguientes factores o hechos: La expansión del municipio tanto vertical como horizontalmente; cambiar la ubicación del pluviómetro del entorno urbano a cerca del área forestal y cerca del río; y debido a la forestación urbana. La ciudad de Recife padecía un crecimiento desordenado, sin normas de planificación específicas en la urbanización que provocaban variaciones en el microclima de las urbis, provocando malestar térmico y reducción de la calidad de vida de sus habitantes. Durante todo el día se presenta un intenso flujo de vehículos automotores y personas producto de actividades relacionadas con el trabajo, el comercio y los servicios, además de la concentración de diversas edificaciones, áreas impermeabilizadas así como edificaciones que dificultan la circulación del aire local. Se sugiere un incremento de áreas verdes entre barrios a partir de la forestación que se ha mostrado como una alternativa para mejorar la calidad de vida en los espacios urbanos.

Palabras clave: Flotabilidad meteorológica; Eventos extremos; Cambios climáticos.

1. Introdução

A precipitação pluviométrica é uma variável climática que possui uma distribuição aleatória no espaço e no tempo, exercendo forte influência nas condições ambientais. Os equipamentos comumente utilizados para medir a quantidade de chuva que cai sobre uma região são chamados de pluviômetros e pluviógrafos. Existindo um conjunto destes, forma-se uma rede que possibilita o estudo climatológico de uma determinada área seja uma bacia hidrográfica ou o limite administrativo de um município em conformidade com os autores Tucci (2001); Moulin (2005) e Caram (2007).

Considerando a importância da precipitação exercendo influência direta sobre as condições ambientais, agindo diretamente sobre o balanço de água no solo e indiretamente através de outros elementos como temperatura e umidade do ar e do solo e radiação solar, existe grande esforço no sentido de delinear as previsões de ocorrência e da variação espacial, que são de interesse prático em estudos específicos, como conforto humano e estudos gerais do clima.

A umidade relativa do ar é influenciada por alguns importantes controles climáticos como a temperatura, mesmo que não ocorra aumento ou redução da umidade, ou seja, é inversamente proporcional ao ponto de saturação da temperatura. A umidade

está fortemente concentrada nas baixas camadas da atmosfera (nos primeiros 2.000 metros de altitude), geralmente ocorre uma diminuição da umidade com o aumento da altitude. O uso do solo e a cobertura vegetal predominantes numa dada região expressam as interações existentes entre a energia disponível (saldo de radiação) ao sistema superfície-atmosfera e sua partição em fluxos de calor sensível (aquecimento do ar) e latente (evaporação). Sabe-se também, que locais com solo exposto e seco, tendem a possuir temperaturas mais elevadas e umidade relativa mais reduzida quando comparados àqueles ambientes com cobertura vegetal mais preservada e, conseqüentemente, mais úmido, para uma mesma quantidade de energia disponível.

Melo et al (2015), delimitaram a variabilidade da umidade relativa do ar (UR) para 11 municípios do estado de Pernambuco no período de 1961-1990. Com o desenvolvimento e a expansão urbana, grandes áreas estão sendo desmatadas, não levando em consideração a contribuição de elementos meteorológicos entre eles em especial a UR, que podem minimizar a ocorrência de prejuízos dos efeitos anômalos que por ventura aconteçam. Os autores utilizaram dados de umidade relativa do ar como as médias mensais, anuais, máximos e mínimos valores. Observaram a variabilidade da umidade relativa do ar para a área em estudo ao longo dos anos, foi possível delimitar o trimestre mais úmido e seus valores mensais e anuais, assim como os valores máximos e mínimos absolutos observados. A determinação dos trimestres mais úmidos e as informações das épocas de menor umidade relativa do ar servem de alerta às autoridades federais, estaduais e municipais e dos tomadores de decisões, para definir melhor planejamento urbano e rural.

Existem também os efeitos da umidade sobre a sensação térmica, pois quanto mais úmido for o ambiente, maiores serão os efeitos da temperatura sobre a população da cidade. Assim sendo, onde estiver fazendo calor, se a umidade aumentar, aumentará o “abafamento”, fazendo com que a sensação térmica seja bem superior à temperatura real do ar. Por outro lado, se está fazendo frio e a umidade é acentuada, os efeitos do frio tendem a ser maior, diminuindo a sensação térmica. O ideal, para muitos, é o frio seco e o calor seco, embora seja importante que os níveis de umidade relativa do ar não sejam extremamente baixos.

Um dos efeitos mais importantes da radiação solar é a temperatura do ar. Parte da energia radiante que atinge a superfície terrestre é utilizada para aquecer o solo, o qual por sua vez, aquece o ar em contato com a superfície, através do transporte do calor sensível por condução molecular e difusão turbulenta na massa de ar em conformidade com Ometto (1981). Na camada de ar em contato com o solo, as temperaturas máximas do solo e do ar ocorrem simultaneamente, no entanto, à medida que se afasta da superfície, o instante de ocorrência da máxima temperatura do ar vai sendo retardado em relação ao instante de ocorrência da máxima temperatura do solo de acordo com Pereira et al. (2002).

Estudos sobre eventos extremos realizados na América do Sul através da análise das tendências de índices de temperatura de acordo com Vincent et al. (2005) indicaram aumento da temperatura mínima e demonstrando que vem ocorrendo redução de noites frias e ficando escassas e provocando ampliação da amplitude térmica, esta confirmação foi relatada também por Berlato e Althaus (2010).

Na última década têm sido observados aumentos significativos na temperatura de diferentes cidades do mundo em conformidade com o IPCC (2007); Marengo (2001); Kalnay e Cai (2003). Sobre a bacia Amazônica, Marengo (2001) estimou o aquecimento na ordem de +0.85 °C/100 anos. Esse autor mostrou ainda que, o aquecimento pode variar por região, e pode se dar por causa de fatores naturais ou fatores antropogênicos como ilha de calor e o efeito de urbanização das grandes cidades, ou devido à combinação dos dois. Mudanças na superfície terrestre, como a urbanização, que tem como efeito a substituição de superfícies naturais por edificações, têm aumentado a impermeabilização dos solos e a irradiação de calor para a atmosfera conforme afirmações de Sousa e Ferreira (2012) e de Chen et al. (2006). Uma das mais conhecidas influências antropogênicas no clima é o fenômeno de aquecimento urbano. O aumento da temperatura da superfície ou do ar sobre uma área urbana em relação

às áreas rurais ou suburbanas vizinhas é denominado Ilha de Calor em conformidade com os autores Arya (2001); Freitas e Dias (2005). E a diferença da temperatura do ar de uma área urbana em relação à sua vizinhança fornece a intensidade da ilha de calor conforme Memon et al (2009) e Hung et al. (2006).

Varejão-Silva (2005), afirma que pode ser bastante modificado sob situações atmosféricas capazes de alterar a temperatura e a razão de mistura ou ambas, assim como as variações no teor de umidade do ar, associadas à temperatura, estabelecendo o nível de conforto ambiental aos ecossistemas. A sensação do desconforto térmico é devida em maior intensidade à variabilidade da umidade do ar do que propriamente à temperatura do ambiente. O conforto térmico pode ser visto e analisado, sob dois aspectos: do ponto de vista pessoal e do ponto de vista ambiental.

Atualmente, mais de 50% da população mundial vive em cidades e espera-se que esse percentual chegue a 81% em 2030 segundo a UNFPA (2007). O processo de urbanização global acelerou-se tanto em intensidade como em área física, o que conduziu a um interesse crescente no entendimento de suas implicações na saúde humana, no funcionamento dos ecossistemas, no tempo e, possivelmente, no clima, como um contribuinte para o aquecimento global de acordo com Imhoff et al. (2010).

A intensificação da urbanização vem causando uma série de problemas às cidades seja de cunho ambiental, climático, social ou todos combinados. O aumento desordenado da população urbana, a retirada da cobertura vegetal, a atividade humana aliada ao grande número de edificações e veículos em circulação, o aumento de superfícies asfaltadas e a atividade das indústrias modificam significativamente o microclima urbano.

O clima é um conjunto de elementos físicos, químicos e biológicos que caracterizam a atmosfera de um local e influenciam nos seres que nele se encontram (Pereira et al, 2001). Por isso, considera-se uma das variáveis mais importantes do ambiente. No entanto, as atividades humanas podem contribuir de maneira negativa, mudando gradativamente o meio ambiente interferindo no ecossistema urbano, causando assim alterações na qualidade de vida da sociedade em geral. A diferença de resposta térmica entre o ambiente urbano e o rural é principalmente marcada pelo desenvolvimento de ilhas de calor nas áreas urbanas conforme afirmação de Rocha (2011). Parker (2010) esclarece que as ilhas de calor são resultadas das propriedades físicas dos edifícios e de outras estruturas. Além disso, ocorre a emissão de calor pelas atividades humanas.

Embora existam estudos que busquem compreender como a temperatura, umidade relativa e a precipitação estão modificando em escala anual, essa compreensão para as temperaturas extremas, umidade e precipitação em escala mensal é escassa. Deste modo, surge a necessidade de estudos mais específicos, que visem compreender como essas modificações ocorreram.

Silva et al (2011), analisaram as séries climatológicas normais referentes aos anos de 1931–1960 e de 1961 - 1990 do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) dos seguintes elementos meteorológicos: temperaturas (máxima, mínima e média), umidade relativa do ar, precipitação, deficiência e excedente hídrico, realizaram-se os cálculos do balanço hídrico climatológico para os períodos estudados. Foram realizadas a classificação climática e as análises das indicações de mudanças climáticas no município de Recife do estado de Pernambuco. Para tanto, as metodologias de cálculo do Balanço Hídrico Climático foram utilizados de acordo com Thornthwaite e Mather (1955) e as abordagens das mudanças climáticas e de classificação de Thornthwaite (1955). Realizou-se um levantamento histórico para o município de Recife-PE, visando entender as possíveis variações do tempo e clima com as mudanças ocorridas entre bairros, vilas, córregos e aterros que vem contribuindo para indícios de mudanças climáticas na área referenciada.

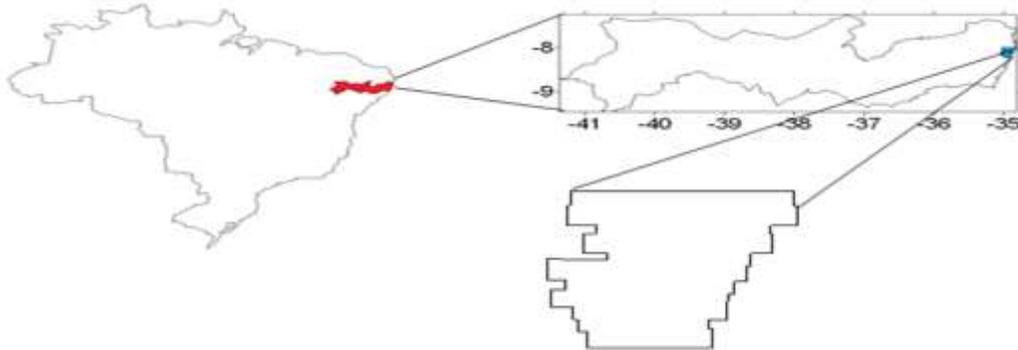
Melo et al (2015), mostraram que a temperatura é um dos mais importantes elementos meteorológicos e em grande parte do território nacional a escassez de dados meteorológicos é um dos fatores que mais limitam a realização de estudos suficientemente detalhados sobre os tipos climáticos.

Objetiva-se a estudar e analisar a variabilidade climática urbana do município de Recife - PE, usando os fatores meteorológicos: precipitação, temperaturas do ar e a umidade relativa do ar, dos períodos de 1931-1960; 1961-1990; 1991-2016 e comparando entre a normal climatológica do período (1962-2016) buscando quantificar possíveis alterações climáticas nos valores das precipitações pluviométricas, das temperaturas máximas, mínimas e média e da umidade relativa do ar, também será analisada as anomalias relacionadas com as ocorrências dos eventos climáticos extremos de El Niño(a) visando subsídios a população ao poder público e aos tomadores de decisões com seus planejamento urbano e ambientais visando melhoria na qualidade de vida humana e animal e em caso de ocorrência de eventos extremos com vista às melhorias nas condições, agropecuário, socioeconômicos, no abastecimento e armazenamento de água da área em estudo.

2. Metodologia

Recife 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, e a leste com o Oceano Atlântico. Localiza na latitude 08°01'S; Longitude 34°51'W, com altitude média em relação ao nível do mar de 72 metros (Figura 1).

Figura 1. Localização do município de Recife – PE.



Fonte: Medeiros (2022).

Utilizaram-se dados de precipitação pluvial, temperatura e umidade relativa do ar, cedidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2016), para Recife - PE, dos períodos de 1931-1960; 1961-1990; 1991-2016 e da Normal climatológica de 1931-2016 para precipitação e de 1962-2016 (temperatura e umidade relativa do ar), e foram comparados entre si, para observar aumento ou redução de chuvas e nos valores das temperaturas e da umidade relativa do ar, na área de estudo. Calcularam-se os valores totais médios mensais e anuais e cálculos estatísticos como a média, desvio-padrão e coeficiente de variação, onde o desvio-padrão e o coeficiente de variação medem a variabilidade das séries analisadas, a fim de comparar com o padrão climatológico, das Normais estudadas. Com base nas médias calcularam-se as anomalias anuais ($X_i - X$), onde X_i é a variável e X é a média da Normal Climatológica, para mostrar o quanto, cada ano se afasta do valor médio climatológico e esses afastamentos, podem ser negativos (períodos secos) ou positivos (período chuvoso). Com os valores obtidos, foram elaboradas gráficos, com a

finalidade de constatar possíveis alterações e/ou transformações, sendo através dos cálculos das anomalias que serão identificados os anos de ocorrência de EL Niño (a), definindo assim, a variabilidade dos elementos meteorológicos em estudo.

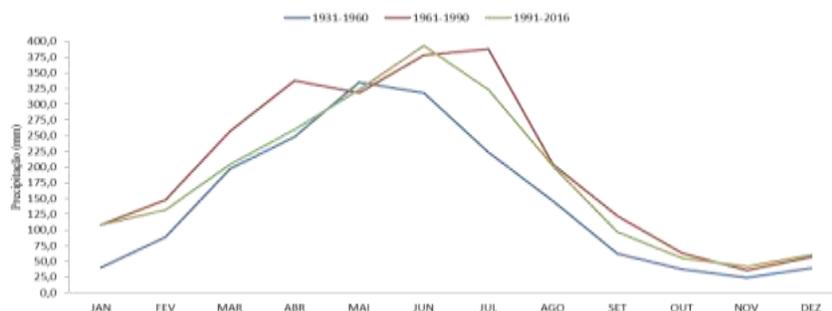
Conforme Sousa et al. (2013) os sistemas atmosféricos, que mais contribuem na precipitação da Região Metropolitana do Recife, são os Sistemas Frontais (em menor frequência), os Distúrbios Ondulatórios de Leste e a Brisas Marítimas e Terrestres, sendo estes últimos originados no Oceano Atlântico; as Ondas de Leste são mais comuns no outono/inverno, empurradas pelos alísios de sudeste, elas atingem a costa oriental do Nordeste, trazendo chuvas fortes, outro indutor de precipitações é a ZCIT (Zona da Convergência Intertropical), perturbação associada à expansão para o hemisfério sul do equador térmico (zona de ascensão dos alísios por convecção térmica).

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. Devido à irregularidade espaço temporal de sua ocorrência, de ano para ano é sujeita à grande variabilidade. As formações dos sistemas de Vórtices Ciclones de Altos Níveis (VCAS) quando de suas formações nos meses de fevereiro a abril e com suas bordas sobre o NEB em especial acima do estado de Pernambuco aumenta a cobertura de nuvem e provocam chuvas de alta intensidade e curto intervalo de tempo, causando prejuízo às comunidades como alagamento, enchentes, inundações e ao setor socioeconômico. As fortes chuvas que ocorrem na região, no período chuvoso, são influenciadas pela massa equatorial continental, que condiciona movimentos convectivos dos alísios de Nordeste e Sudeste; Zona de Convergência Intertropical (ZCIT); os efeitos da brisa marítima/terrestre e a temperatura da superfície do mar, no período seco a precipitação registrada é causada pelas contribuições locais formando nuvem seguida de precipitações isoladas.

3. Resultados e Discussão

Na Figura 2 tem-se o demonstrativo das precipitações dos períodos 1931-1960; 1961-1990; 1991-2016 para Recife – PE apresentando período chuvoso compreendido entre os meses de abril a julho, ocorrendo maior concentração da precipitação no referido quadrimestre, com 63,8% (1931-1960), no quadrimestre seco que corresponde aos meses de outubro, novembro, dezembro e janeiro os índices pluviométricos contribuem com 8,1% da total da precipitação. No período de 1961-1990 o quadrimestre chuvoso contribui com 58,8% das chuvas ocorridas e no quadrimestre seco a contribuição foi de 18,5%. No quadrimestre chuvoso ocorreu contribuição de 59,9% e no quadrimestre seco com 20,5% das chuvas ocorridas para o período de 1991-2016. Observa-se contribuição de aumento da precipitação pluviométrica média mensal para o período seco nos dois últimos períodos estudados, e equilíbrio dos índices pluviométricos para o quadrimestre chuvoso. Destaca-se mudança de mês na ocorrência de picos máximo entre os três períodos estudados.

Figura 2. Precipitações dos períodos 1931-1960; 1961-1990; 1991-2016 para Recife – PE.



Fonte: Medeiros (2022).

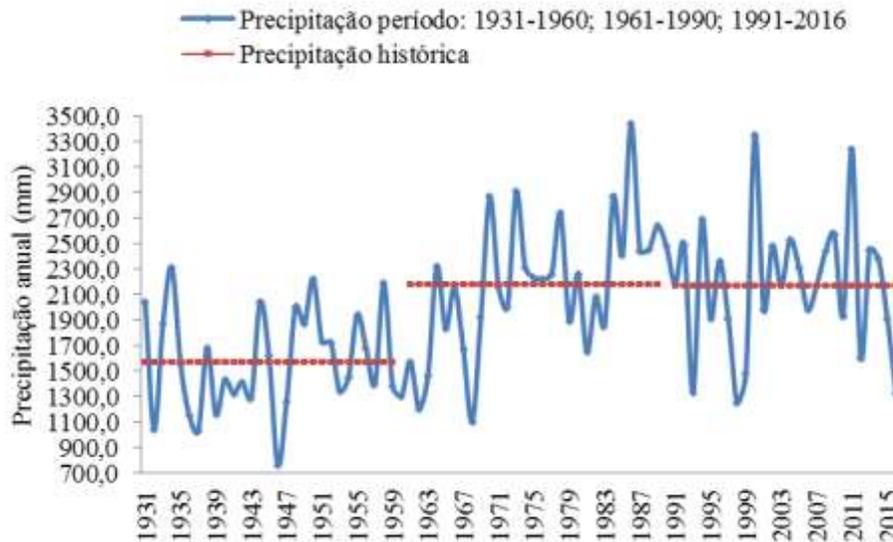
A Figura 3 demonstra as variabilidades dos totais anuais pluviométricos dos períodos de 1931-1960; 1961-1990 e 1991-2016 seguidos das respectivas Normais Climatológicas. Destaca-se uma flutuabilidade interanual irregular com chuvas oscilando entre 762,4 mm no ano de 1946 a 2.315,2 mm no ano de 1934 para o período de 1931-1960. O desvio padrão da precipitação nesse período em relação à média histórica oscilou entre 35 a 124,4 mm e o coeficiente de variância fluiu entre 0,40 a 1,4 registrando tendência de aumento na precipitação pluviométrica. Os valores máximos absolutos foram registrados no mês de fevereiro de 1934 com 700,2 mm; em março de 1934 com 485,2 mm; abril de 1950 com 510,4 mm; maio de 1934 com 523,8 mm; junho de 1931 com 632 mm e julho de 1958 com 586,5 mm. As ocorrências dos menores índices pluviométricos mínimos absolutos foram registradas no mês de setembro 1957 com 6,7 mm; em outubro de 1941 com 6,2 mm; nos meses de novembro e dezembro de 1936 registraram-se os menores mínimos da série em estudo com 0,3 e 1,1 mm; em janeiro de 1942 ocorreram 2,1 mm e em fevereiro de 1946 registrou-se 9,7 mm.

No período de 1961-1990 os valores extremos fluíram entre 1.102,2 a 3.441,1 mm/ano. O desvio padrão em relação à média oscilou entre 22,4 a 185,4 mm. O coeficiente de variância ficou entre 0,3 a 0,83 demonstrando ajuste de tendência de aumento. A média histórica dos 30 anos que compreende o período de 1961-1990 é de 2.182,4 mm e suas oscilações mensais são de 34,3 mm em novembro a 367,4 mm no mês de julho. Os maiores valores máximos absolutos da série ocorreram nos meses de abril de 1973 com 770,4 mm; julho de 1988 com 657,3 mm e agosto de 1970 com 613,5 mm. Os menores valores mínimos registrado ocorreram nos meses de novembro, dezembro e janeiro de 1967 com 1,3; 2,1 e 6,5 mm respectivamente. Comparando o período de 1931-1969 e 1961-1990 registrou-se um acréscimo nas médias históricas anuais em 38,6%.

No período de 1991-2016 os anos com maiores índices pluviométricos foram 1994; 2000 e 2011 com 2.688,8 mm; 3.359,0 e 3.245,7 mm respectivamente. Os menores índices pluviométricos registrados foram os anos 1993; 1998 e 1999 com 1.326,3 mm; 1.249,7 e 1.483,9 mm respectivamente. Os extremos de precipitações registrados no período de 1991 a 2016 foram de 1.248,7 no ano de 1998 e 3.359 mm no ano de 2000. O mês de junho de maior índice em 2011 registrou valor máximo absoluto de 755,7 mm ao passo que em junho de 2005 este valor foi de 709 mm. Os meses de outubro e novembro de 2006 e 2005 registraram o mínimo valor absoluto de 8,7 mm e em dezembro de 1995 este valor foi de 6,5 mm. No referido período teve um aumento pluviométrico de 12,9%.

Não foi detectada influência da ocorrência do fenômeno El Nino (a) durante a série estuda mesmo com flutuações significativas nos totais mensais e anuais precipitados. As flutuações com elevadas precipitações provocaram enchentes, alagamentos, enchentes, desmoronamento de barreiras, transbordamentos dos rios, riachos, córregos, lagos e lagoas foram provocadas pelos efeitos das brisas, aquecimento da temperatura da água do Pacífico Sul e as oscilações de 30 a 60 dias.

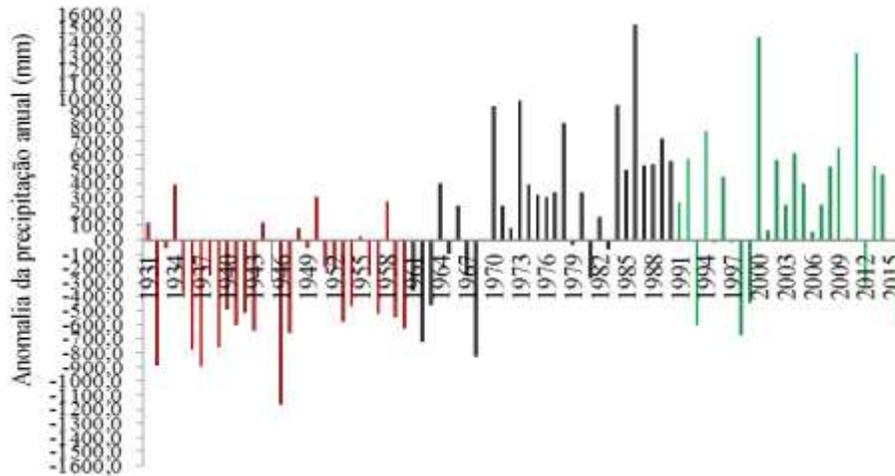
Figura 3. Precipitação anual para os períodos de 1931-1960; 1961-1990 e 1991-2016 seguidamente de suas médias climatológicas para o município de Recife – PE.



Fonte: Medeiros (2022).

Na Figura 4 tem-se o demonstrativo das Anomalias anuais das precipitações pluviométricas em relação às respectivas médias climatológicas da área estudada. No período de 1931-1960 destacam-se os anos de 1931; 1934; 1944; 1948; 1950 e 1958 com anomalias positivas, nos demais anos registrou-se anomalias negativas com flutuações entre 53,7 a 1.161,5 mm, estas flutuabilidades estão relacionadas às circulações locais auxiliados pelos efeitos das brisas e ocorreram os maiores déficit de chuvas. Destacam-se os anos de 1961 a 1965 e os anos de 1967, 1968 1979, 1981 e 1983 como anos de anomalias negativas e os demais anos da serie todas as anomalias foram registradas como positivas. No período de 1991 a 2016 destaca-se apenas 5 anos com anomalias negativas. Para o período de anos de 2000 a 2011as flutuabilidades das anomalias fluíram entre 0,5 a 74,6 mm. Tais anomalias mostraram o quanto ocorreu de excedentes e de déficits de chuvas, em relação ao valor médio climatológico. Mas outros fatores de escalas globais como ZCIT, linhas de instabilidade, e fatores locais e a expansão urbana desordenada, podem influenciar no aumento das chuvas no período de 1991 a 2016.

Figura 4. Anomalias da precipitação anual, para os períodos 1931-1960; 1961-1990 e 1991-2016 para o município de Recife – PE.

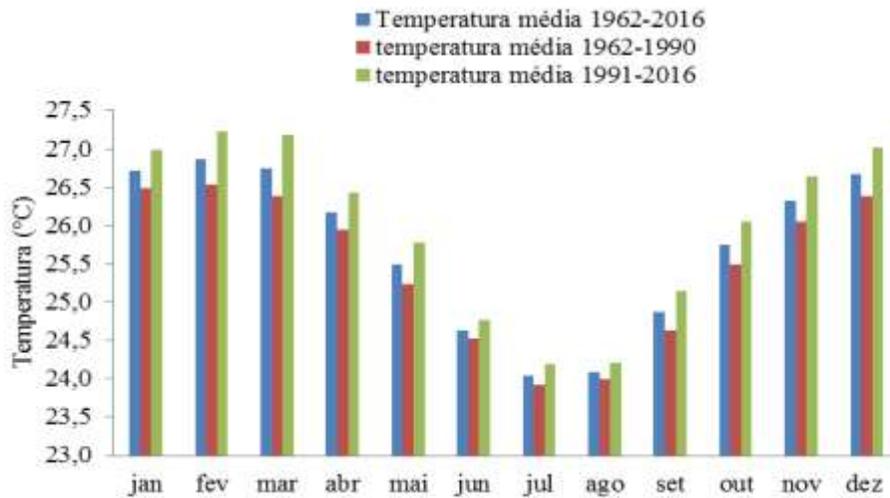


Fonte: Medeiros (2022).

Na figura 5 tem-se a variabilidade da temperatura do ar média mensal, para o período de 1962-1990 e de 1991 a 2016 comparado com a série de 1962 a 2016 para o município do grande Recife – PE. Destaca-se que no período de 1991-2016 a temperatura média compensada registrou aumento oscilando entre 0,4 a 1,2 °C quando comparada com a mesma temperatura do período 1962-1990. Comparando a temperatura média do período de 1962 a 2016 com as demais temperaturas percebem-se as variações caracterizando como regime térmico aquecido, com a presença de altas temperaturas, o que significa dizer que, essas elevações na temperatura do ar podem ser devido aos fatores locais, natureza do solo, nebulosidade, radiação incidente e a variabilidade do vento.

As variabilidades médias da temperatura anual no período de 1991-2016 registraram 26 °C e suas variabilidades mensais fluíram entre 24,2 °C nos meses de julho/agosto a 27,2 °C nos meses de fevereiro/março. Com temperatura anual de 25,5 °C e temperaturas mensais fluindo entre 23,9 °C no mês de julho a 26,5 °C nos meses de janeiro e fevereiro sendo esse o comportamento do período de 1962-1990. O período de 1962-2016 apresentou temperatura anual de 25,7 °C e suas oscilações mensais variaram entre 24 °C no mês de julho a 26,9 °C em fevereiro. O desvio padrão oscilou entre 0,3 °C no mês de junho a 0,7 °C no mês de março e abril, ao passo que o coeficiente de variância registrados em todos os meses foi de 0 °C, demonstrando menores dispersões em torno da média.

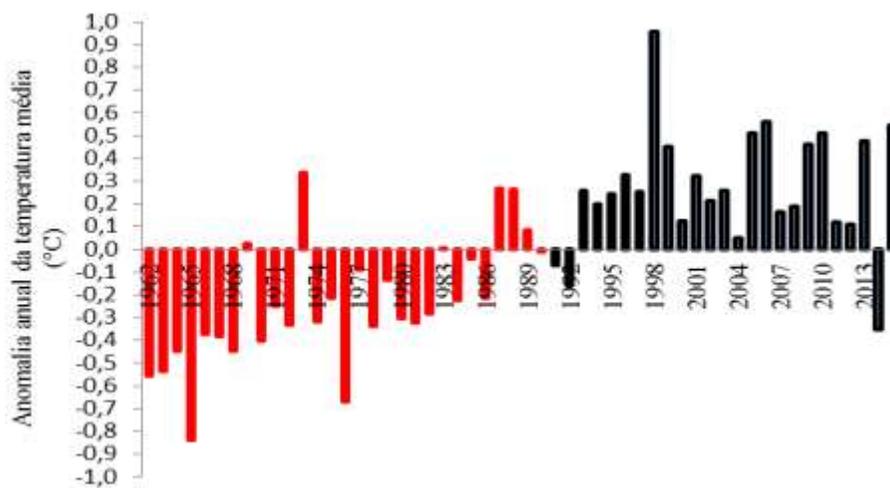
Figura 5. Temperatura média mensal do ar dos períodos de 1962-1990 e 1991-2016 comparado com a média da temperatura entre os anos 1962-2016.



Fonte: INMET (1962-2016).

Destacam-se na figura 6 as anomalias da temperatura média para os períodos de 1961-1990 e 1991-2016 para o município de Recife – PE. Observa-se que no período de 1962-1990, em sua maioria, as anomalias foram negativas com oscilações entre 0,1 a 0,9 °C exceto os anos 1967; 1973, 1983, 1987 a 1989 que suas anomalias foram positivas com oscilações entre 0,1 a 0,4 °C. No período de 1991 a 2016 ocorreram anomalias positivas em quase todos os anos com variabilidades de 0,1 a 1 °C demonstrando que nos últimos 26 anos as temperaturas médias vêm sofrendo aumentos exceto para os anos de 1991, 1992 e 2013.

Figura 6. Anomalias da temperatura média, para os períodos 1962-1990; 1991-2016 e seu comparativo com temperatura média da série e 1962 – 2016 para o município de Recife – PE.

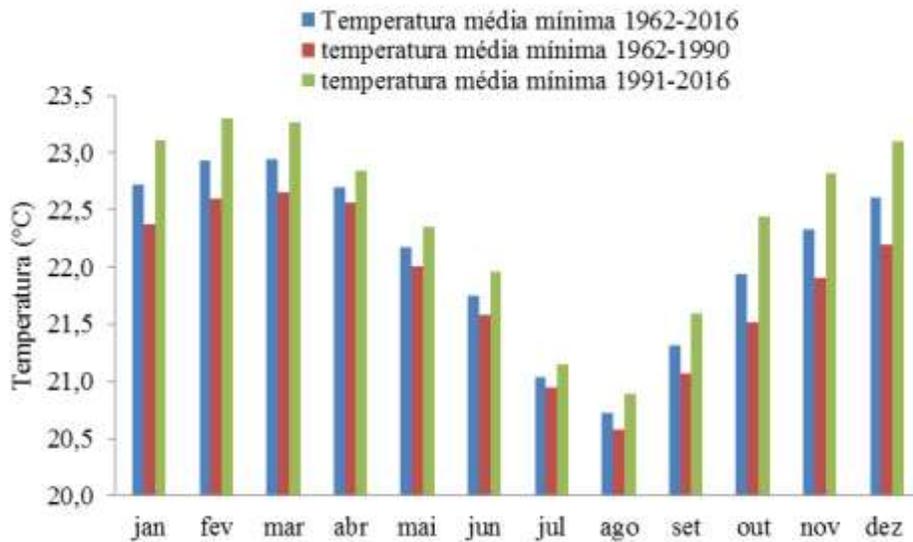


Fonte: INMET (1962-2016).

Na Figura 7 tem-se a variabilidade da temperatura do ar média mínima mensal para os períodos 1962-1990 e 1991-2016 e seu comparativo com temperatura média da série de 1962 – 2016 para o município de Recife – PE.

A temperatura média mínima do período de 1991-2016 apresentou oscilação entre 20,9 °C no mês de agosto a 23,4 °C nos meses de fevereiro e março com uma temperatura mínima anual de 22,4 °C. A temperatura anual de 21,8 °C com oscilações entre 20,6 em agosto a 22,7 °C no mês de março foram as condições de temperatura de 1962-1990 para o município de Recife – PE. A temperatura anual de 22,1°C e as respectivas oscilações de 20,7 °C no mês de agosto 22,4 °C no mês de fevereiro a março foram as condições de registro na serie de temperatura mínima de 1962-2016. Os desvios padrão da série de 1962-2016 fluíram entre 0,6 a 1,1 °C e seus coeficiente de variância oscilaram entre 0 e 0,1 °C, demonstrando maiores dispersões em torno da média.

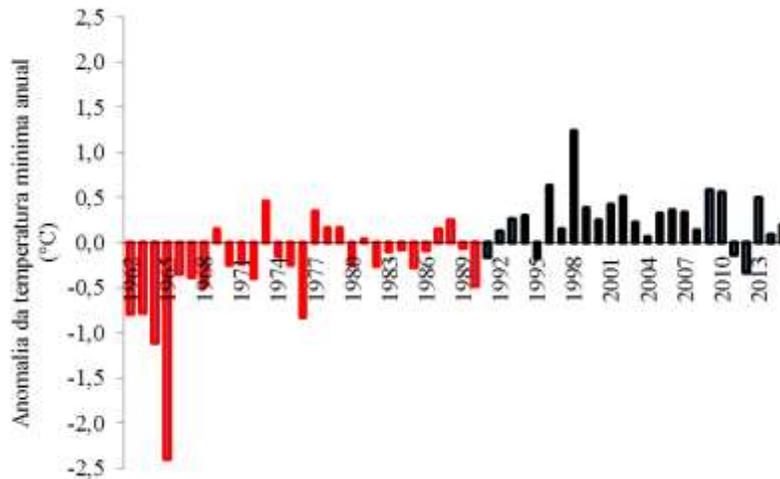
Figura 7. Temperatura do ar média mínima mensal para os períodos 1962-1990 e 1991-2016 e seu comparativo com temperatura média da série e 1962 – 2016 para o município de Recife – PE.



Fonte: INMET (1962-2016).

Observam-se nos períodos em conformidade com a figura 8, as anomalias da temperatura mínima para os períodos 1962-1990; 1991-2016 para o município de Recife – PE. Destaca-se que no período 1991-2016 as anomalias foram mais significativas no referido período quando comparados com o período de 1962-1990. Têm-se oito anomalias positiva no período de 1962-1990 e quatro anomalias negativas no período 1991-2016. As temperaturas mínimas vêm elevando-se do ano de 1966 até os dias atuais exceto os anos de 2011 e 2012 de acordo com a Figura 8.

Figura 8. Anomalias da temperatura mínima, para os períodos 1962-1990; 1991-2016 para o município de Recife – PE.



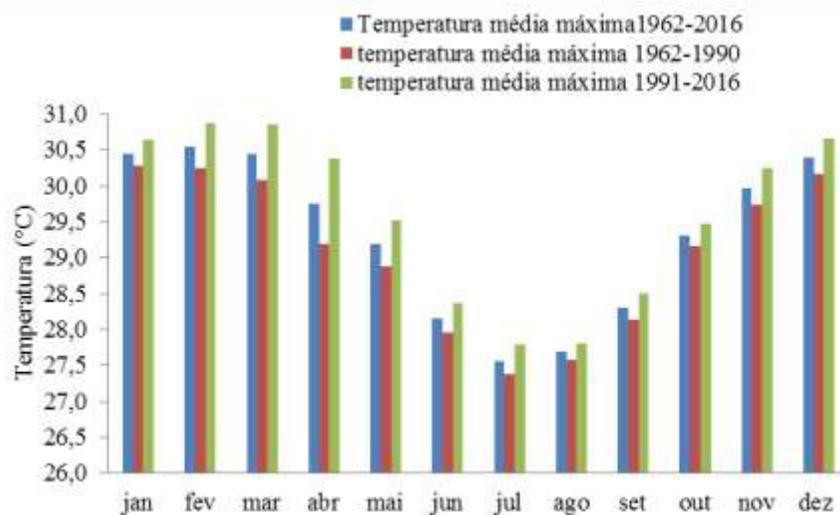
Fonte: INMET (1962-2016).

Na Figura 9 tem-se a variabilidade da temperatura do ar média máxima mensal para os períodos 1962-1990 e 1991-2016 e seu comparativo com a temperatura média da série e 1962 – 2016 para o município de Recife – PE.

A temperatura máxima oscila entre 30,5 °C nos meses de janeiro, fevereiro e março a 27,6 °C no mês de julho, com uma média anual de 29,3 °C. O coeficiente de variância máximo foi de 0,1 °C. O desvio padrão em relação à média oscila entre 0,5 a 1,5 °C demonstrando maiores dispersões em torno da média.

No período de 1962-1990 registrou-se temperatura anual de 29,1 °C com oscilações mensais de 27,4 °C em julho a 30,3 °C em janeiro. A temperatura máxima anual de 29,6 °C para o período de 1991-2016 e suas flutuações mensais ocorreram entre 27,8 °C nos meses de julho e agosto a 30,9 °C nos meses de março e abril.

Figura 9. Temperatura do ar média máxima mensal para os períodos 1962-1990 e 1991-2016 e seu comparativo com temperatura média da série e 1962 – 2016 para o município de Recife – PE.



Fonte: Medeiros (2022).

Na Figura 10 tem-se a anomalias da temperatura máxima, para os períodos 1962-1990; 1991-2016 para o município de Recife – PE.

As anomalias da temperatura máxima para o período de 1962 a 1990 apresentaram-se em sua maioria com anomalias negativas oscilando de $-0,1$ a $-1,4^{\circ}\text{C}$ para os anos de 1962 1986, exceto os anos de 1973, 1983, 1984, 1985, 1987, 1988, 1989 e 1990 que teve anomalia positiva e com flutuações de $0,1$ a $0,4^{\circ}\text{C}$. Neste período predominaram temperaturas máximas dentro da normalidade.

No período de 1991-2016 tem-se predominância de anomalia positiva em quase todos os anos com oscilações de $0,1$ a $1,1^{\circ}\text{C}$. Nos anos 2000 ocorreram as maiores flutuações na anomalia. Destaca-se que nos anos 1991, 1992, 2000 e 2003 registraram-se anomalias negativas com oscilações entre $0,1$ a $0,5^{\circ}\text{C}$.

Figura 10. Anomalias da temperatura máxima, para os períodos 1962-1990; 1991-2016 para o município de Recife – PE.

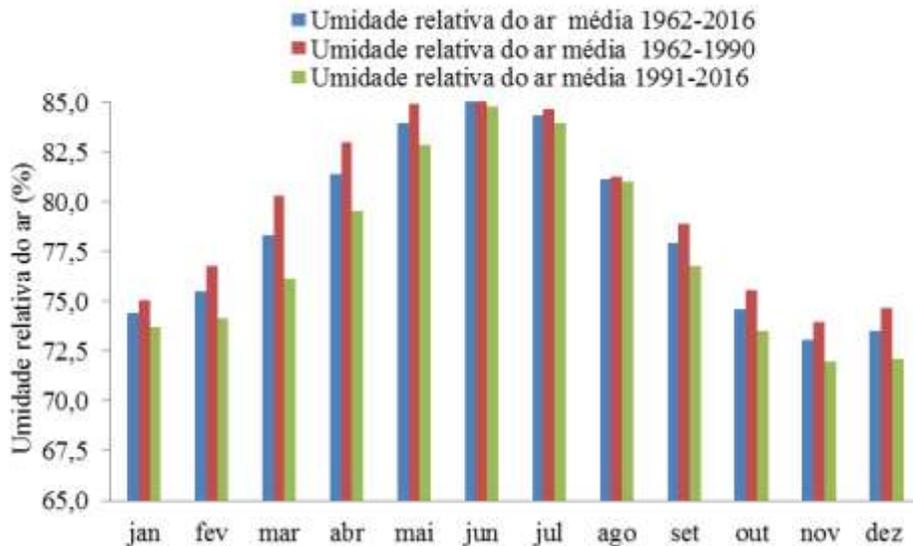


Fonte: INMET (1962-2016).

Figura 11 tem o demonstrativo da umidade relativa do ar média mensal para os períodos 1962-1990 e 1991-2016 e seu comparativo com a temperatura média da série de 1962 – 2016 para o município de Recife – PE.

As variabilidades inter períodos demonstram que a umidade relativa do ar média (URM) do período 1991-2016 durante todos os meses ficou abaixo da normalidade em relação aos dois períodos em estudo, destaca-se os meses de junho, julho e agosto onde a URM quase se equilibrou com as demais. A URM do período 1962-2016 ficou abaixo da série 1962-1990 e acima dos valores médios da série de 1991-2016. Estas flutuabilidades estão correlacionadas com a variabilidade da temperatura, cobertura de nuvens, intensidade da radiação e do vento.

Figura 11. Umidade relativa do ar média mensal para os períodos 1962-1990 e 1991-2016 e seu comparativo com temperatura média da série e 1962 – 2016 para o município de Recife – PE.

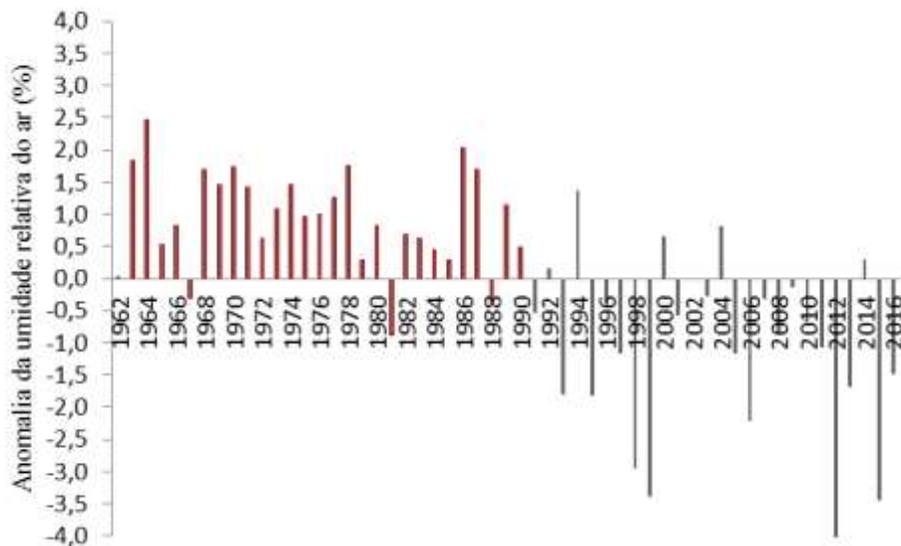


Fonte: INMET (1962-2016).

Na Figura 12 tem a variabilidade das anomalias da umidade relativa do ar, para os períodos 1962-1990; 1991-2016 para o município de Recife – PE.

Comparando-se os dois períodos de anomalias da URM, destaca-se que o período 1962-1990 a URM manteve-se com anomalias positivas com elevações superiores a do período 1991-2016 exceto os anos de 1967 e 1981. No período de 1991-2016 a predominância da URM foi negativa com oscilações entre -0,1 a -4%.

Figura 12. Anomalias da umidade relativa do ar, para os períodos 1962-1990; 1991-2016 para o município de Recife – PE.



Fonte: INMET (1962-2016).

4. Considerações Finais

Estas flutuabilidades nos índices pluviométricos registrados nos períodos de 1931-1960; 1961-1990 e 1991-2016 poderão estar relacionadas aos seguintes fatores ou fatos: A expansão do município tanto vertical como horizontal; a troca de local do pluviômetro do meio urbano para próximo da zona da mata e próximo ao rio; e à arborização urbana.

O fenômeno El Niño e La Niña não altera os índices pluviométricos regional, estes aumentos devem-se às contribuições dos efeitos locais como a brisa marítima-terrestre, à contribuição das formações das linhas de instabilidade gerando aglomerados convectivos e à contribuição da ZCIT auxiliado pelos aquecimentos das águas do Pacífico (Dipolo).

A ocorrência de tendência na urbanização e crescimento sem planejamento provoca variações no microclima urbano, acarretando em desconforto térmico e na redução da qualidade de vida dos seus habitantes. Sugere-se aumento das áreas verdes interbairros a partir da arborização que vem se mostrando como alternativa para a melhoria da qualidade de vida nos espaços urbanos.

Nas últimas décadas destaca-se um crescente investimento habitacional seja por programas governamentais ou empresas privadas que não vem contribuindo com plantio de novas arvores nestes conjuntos, para tanto se destaca aumento de estimativa da temperatura mínima por volta de 5 °C ao passo que a temperatura máxima teve registro mais uniformemente.

Registra-se intenso fluxo de veículos automotivos e pessoas durante todo dia decorrente de atividades relativas a trabalho, comércio e serviços, além da concentração de várias construções, áreas impermeabilizadas bem como edifícios dificultando a circulação do ar local.

As flutuações dos índices de chuvas podem estar sendo causadas por fatores de grande escala, como ZCIT e eventos climáticos extremos como movimentos convectivos, linhas de instabilidades que ocorreram nos períodos estudados e por fatores de microescala, como os efeitos locais e o crescimento urbano desordenado, provocando aquecimento da superfície, e formação de nuvens na área de estudo.

Os aumentos dos índices pluviométricos podem ser justificados, porque os grandes centros urbanos, devido o desmatamento e a expansão do crescimento urbano desordenado, se tornam mais quentes e isso causa aumento de temperatura do ar, podendo causar tempestades mais severas e na época menos chuvosa, essas tempestades podem ocorrer com rajadas de vento fortes, chuvas isoladas e de alta magnitude e de curta duração, seguidos de descargas.

Referências

- Arya, S. P. (2001) *Introduction to Micrometeorology. International Geophysics Series*, 79. Academic Press
- Berlato, M. A., & Althaus, D. (2010). Tendência observada da temperatura mínima e do número de dias de geada do Estado do Rio Grande do Sul. *Pesquisa Agropecuária Gaúcha* 16, 7-16.
- Caram, R. O. (2007). Reconstrução de séries e análise geoestatística da precipitação no Estado de Minas Gerais. Dissertação (Magister Scientiae) – Universidade Federal de Viçosa.
- Chen, X. L., Zhao, H. M., Li, P. X. & Yin, Z. Y. (2006). Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes. *Remote Sensing of Environment*, 104, 133-146.
- Freitas, E. D., & Dias, P. L. S. (2005). Alguns efeitos de áreas urbanas na geração de uma ilha de calor. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 20, 355-366.
- Hung, T., Uchihama, D., Ochi S. & Yasuoka, Y. (2006). Assessment with satellite data of the urban heat island effects in Asian mega cities. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 8, 34-48.
- Imhoff, M. L., Zhang, P., Wolfe, R. & Bounoua, L. (2010). Remote sensing of the urban heat island effect across biomes in the continental USA. *Remote Sensing of Environment*, 114, 504-513.
- INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Normas climatológicas (1961 - 1990). 1992.

IPCC. Summary for Policymakers, in *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. edited by M.

Kalnay, E., & Cai, M. (2003). Impact of urbanization and land-use change on climate. *Nature*, 423, 528-531.

Marengo, J. A. (2001). Mudanças climáticas globais e regionais: Avaliação do clima atual do Brasil e projeções de cenários climáticos do futuro. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 16, 1-18.

Melo, V. S., Medeiros, R. M. & Souza, F. A. S. (2015). Variação média mensal e anual da umidade relativa do ar para 11 municípios no estado de Pernambuco, Brasil. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia, CONTECC' 2015. Centro de Eventos do Ceará - Fortaleza – CE. 15 a 18 de setembro de 2015.

Melo, V. S., Medeiros, R. M. & Souza, F. A. S. (2015). Flutuabilidade da temperatura máxima e mínima do ar mensal e anual de 10 municípios do estado de Pernambuco. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia, CONTECC' 2015. Centro de Eventos do Ceará - Fortaleza – CE. 15 a 18 de setembro de 2015.

Memon, R. A., Leung, D. Y. C. & Liu, C. H. (2009). An investigation of urban heat island intensity (UHII) as indicator of urban heating. *Atmospheric Research*, 94, 91-500.

Moulin, G. D. (2005). *Técnicas de entropia e de geoestatística no dimensionamento de redes pluviométricas*. Dissertação (Mestre em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo.

Ometto, J. C. (1981). *Bioclimatologia vegetal*, Ceres, 440p.

Parker, D. (2010). Urban Heat Island Effects on Estimates of Observed Climate Change. *Interdisciplinary Review*, 1, 123-133. CrossRef.

Pereira, A. R., Angelocil, L. R. & Centelhas, P. C. (2001). *Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas*. Guaíba: Agropecuária.

Pereira, A. R., Angelocci, L. R. & Sentelhas, P. C. (2002). *Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas*. Guaíba: Agropecuária, 478p.

Rocha, L. M. V., Souza, L. C. L. & Castilho, F. J. V. (2011). Ocupação do solo e ilha de calor noturna em avenidas marginais a um córrego urbano. *CEP*, 13565, 905.

Silva, V. M. A., Medeiros, R. M., Patricio, M. C. M., Tavares, A. L. & Melo, M. M. S. (2011). *Estimativa de mudanças climáticas a partir da classificação do balanço hídrico em Recife (PE). III Workshop de Mudanças Climáticas e Recursos Hídricos do Estado de Pernambuco e I Workshop da Rede PELD SerCaatinga* 1, 143 – 158.

Sousa, W. S., Assis, J. M. O., Silva, R. F. & Correia, A. M. (2013). Análise do comportamento das chuvas durante os últimos 50 anos (1961 – 2011), na cidade do Recife/PE. *Revista Pernambucana de Tecnologia*. 1(1). ITEP.

Tucci, C. E. M. (2001). *Hidrologia: ciência e aplicação*. (2a ed.), Ed. Universidade/ UFRGS: ABRH.

Thornthwaite, C. W., & Mather, J. R. (1955). *The Water Balance. Publications In Climatology*. Drexel Institute of Technology, 104p.

UNFPA. (2007). *The state of world population 2007: Unleashing the potential of urban growth*. United Nations Population Fund, United Nations Publications 1 p.

Varejão, S. M. A. (2006). *Meteorologia e climatologia*. Versão Digital 2, Recife, 463p.

Vincent, L. A., Peterson, T. C. & Barros, V. R. (2005). Observed trends in indices of daily temperature extremes in South America 1960-2000. *Journal of Climate* 18, 5011-5023.