



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

**A INFLUÊNCIA DA URBANIZAÇÃO NO CLIMA DA CIDADE DE CAMPINA
GRANDE-PB**

ISAIER FARIAS DE SOUSA JÚNIOR

Campina Grande – PB

Março de 2006

ISAIER FARIAS DE SOUSA JÚNIOR

A INFLUÊNCIA DA URBANIZAÇÃO NO CLIMA DA CIDADE DE CAMPINA

GRANDE-PB

Dissertação apresentada ao curso de
Mestrado em Meteorologia da
Universidade Federal de Campina
Grande, em cumprimento às exigências
para a obtenção do Grau de Mestre.

Área de concentração: Meteorologia de Meso e Grande Escalas

Subárea de concentração: Climatologia estatística

Francisco de Assis Salviano de Sousa
Orientador

Vicente de Paulo Rodrigues da Silva
Orientador

Campina Grande – PB

Março de 2006

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA
CENTRAL DA UFCG

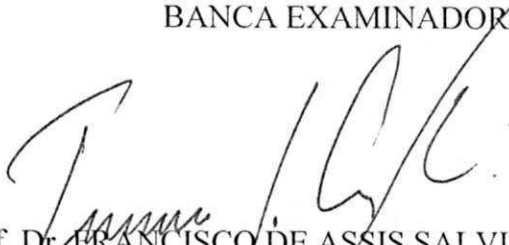
S725i	<p>Sousa Júnior, Isaier Farias de. A influência da urbanização no clima da cidade de Campina Grande - PB / Isaier Farias de Sousa Júnior. - Campina Grande, 2006. 94 f.</p> <p>Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2006. "Orientação : Prof. Dr. Francisco de Assis Salviano de Sousa, Prof. Dr. Vicente de Paulo Rodrigues da Silva". Referências.</p> <p>1. Climatologia Urbana. 2. Urbanização no Clima - Influência. 3. Urbanização - Clima - Campina Grande - PB. 4. Dissertação - Meteorologia. I. Sousa, Francisco de Assis Salviano de. II. Silva, Vicente de Paulo Rodrigues da. III. Universidade Federal de Campina Grande - Campina Grande (PB). IV. Título</p> <p>CDU 551.588.7(813.3)(043)</p>
-------	---

ISAIER FARIAS DE SOUSA JÚNIOR


A INFLUÊNCIA DA URBANIZAÇÃO NO CLIMA DA CIDADE DE CAMPINA GRANDE-PB

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 31/3/2006


BANCA EXAMINADORA



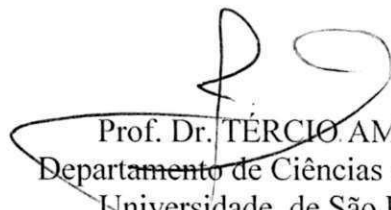
Prof. Dr. FRANCISCO DE ASSIS SALVIANO DE SOUSA
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande



Prof. Dr. VICENTE DE PAULO RODRIGUES DA SILVA
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande



Prof. Dr. BERNARDO BARBOSA DA SILVA
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande



Prof. Dr. TÉRCIO AMBRIZZI
Departamento de Ciências Atmosféricas
Universidade de São Paulo

A meus pais, Izaier Farias e Tereza Bezerra, e ao meu amigo Alexandre César (*In Memoriam*) pelo apoio e incentivo na realização deste trabalho.

As minhas amadas esposa e filha,
Erika e Rebeca,
OFEREÇO.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelas graças da vida e da inteligência;

Ao curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande, pela estrutura didático-científica;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pela concessão de bolsa de estudo;

Aos professores Dr. Francisco de Assis Salviano de Sousa e Dr. Vicente de Paulo Rodrigues da Silva pela orientação acadêmica;

Aos professores da Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas pela atenção e amizade;

À prefeitura de Campina Grande pelo fornecimento de mapas e fotografias;

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA Algodão), pelo fornecimento dos dados climatológicos;

A Divanete Cruz Rocha, pelo apoio logístico da secretaria do curso;

Aos amigos, conquistados no decorrer do curso, João, Lincoln, Mary, Hudson, pela ajuda nas disciplinas;

Ao amigo e colega de curso Alexandre César (*In Memoriam*), pelo incentivo na escolha do curso e pelo apoio nos momentos difíceis.

SUMÁRIO

	Pg.
Lista de Tabelas	08
Lista de Figuras	10
Resumo	15
Abstract	16
1. INTRODUÇÃO	17
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
3. MATERIAL E MÉTODOS	32
3.1. Dados climatológicos	32
3.2. Características climáticas e localização geográfica	33
3.3. Análise estatística	37
3.3.1. Autocorrelação amostral	37
3.3.2. Teste de Mann-Kendall	39
3.3.3. Teste t-Student	40
3.3.4. Índice climático UNEP	41
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
4.1. Precipitação pluviométrica	43
4.2. Temperatura máxima do ar	48
4.3. Temperatura mínima do ar	52
4.4. Temperatura média do ar	56
4.5. Pressão atmosférica	60
4.6. Umidade relativa do ar	64
4.7. Evaporação do Tanque Classe “A”	68
4.8. Velocidade do vento	72

4.9. Insolação	76
4.10. Índice UNEP (P/ETp)	80
4.11. Evolução da área e do número de habitantes da cidade	84
5. CONCLUSÕES	86
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	88

Lista de Tabelas

	Pg.
Tabela 4.1. Parâmetros estatísticos da precipitação pluviométrica durante os períodos de pré-urbanização intensa (PRÉ-UI), pós-urbanização intensa (PÓS-UI) e período total (1963-2004) em Campina Grande. CV é o coeficiente de variação (%).	47
Tabela 4.2. Parâmetros estatísticos da temperatura máxima do ar (C°) durante os períodos de pré-urbanização intensa (PRÉ-UI), pós-urbanização intensa (PÓS-UI) e período total (1963-2004) em Campina Grande. CV é o coeficiente de variação (%).	51
Tabela 4.3. Parâmetros estatísticos da temperatura mínima do ar (C°) durante os períodos de pré-urbanização intensa (PRÉ-UI), pós-urbanização intensa (PÓS-UI) e período total (1963-2004) em Campina Grande. CV é o coeficiente de variação (%).	55
Tabela 4.4. Parâmetros estatísticos da temperatura média do ar (C°) durante os períodos de pré-urbanização intensa (PRÉ-UI), pós-urbanização intensa (PÓS-UI) e período total (1963-2004) em Campina Grande. CV é o coeficiente de variação (%).	59
Tabela 4.5. Parâmetros estatísticos da pressão atmosférica (hPa) durante os períodos de pré-urbanização intensa (PRÉ-UI), pós-urbanização intensa (PÓS-UI) e período total (1963-2004) em Campina Grande. CV é o coeficiente de variação (%).	63
Tabela 4.6. Parâmetros estatísticos da umidade relativa (%) durante os períodos de pré-urbanização intensa (PRÉ-UI), pós-urbanização intensa (PÓS-UI) e	

período total (1963-2004) em Campina Grande. CV é o coeficiente de variação (%). 67

Tabela 4.7. Parâmetros estatísticos da evaporação do Tanque Classe “A” (mm) durante os períodos de pré-urbanização intensa (PRÉ-UI), pós-urbanização intensa (PÓS-UI) e período total (1963-2004) em Campina Grande. CV é o coeficiente de variação. 71

Tabela 4.8. Parâmetros estatísticos da velocidade do vento (m/s) durante os períodos de pré-urbanização intensa (PRÉ-UI), pós-urbanização intensa (PÓS-UI) e período total (1963-2004) em Campina Grande. CV é o coeficiente de variação (%). 75

Tabela 4.9. Parâmetros estatísticos da insolação (h) durante os períodos de pré-urbanização intensa (PRÉ-UI), pós-urbanização intensa (PÓS-UI) e período total (1963-2004) em Campina Grande. CV é o coeficiente de variação (%). 79

Tabela 4.10. Parâmetros estatísticos do índice UNEP (P/ETP) durante os períodos de pré-urbanização intensa (PRÉ-UI), pós-urbanização intensa (PÓS-UI) e período total (1963-2004) em Campina Grande. CV é o coeficiente de variação (%). 83

Lista de Figuras

	Pg.
Figura 3.1. Localização da cidade de Campina Grande no estado da Paraíba.	34
Figura 3.2. Evolução temporal da população da cidade de Campina Grande, no estado da Paraíba, no período de 1970-2005.	35
Figura 3.3. Evolução da Rua Maciel Pinheiro na cidade de Campina Grande: (a) 1930; (b) 1940; (c) 1950; (d) 1960; (e) 1970; (f) 1980.	35
Figura 3.4. Evolução urbana em área da cidade de Campina Grande: (a) 1790; (b) 1864; (c) 1907; (d) 1918; (e) 1937; (f) 1943; (g) 1960; (h) 1985; (i) 1992; (j) 2004.	36
Figura 4.1. Tendência da precipitação pluviométrica anual na cidade de Campina Grande, no período 1963-2004.	45
Figura 4.2. Médias mensais da precipitação pluviométrica na cidade de Campina Grande, nos períodos pré-urbano (1963-1985) e pós-urbano (1986-2004).	45
Figura 4.3. Autocorrelação da precipitação pluviométrica anual na cidade de Campina Grande, no período de 1963-2004.	46
Figura 4.4. Variabilidade intra-anual da precipitação pluviométrica na cidade de Campina Grande, no período de 1963-2004.	46
Figura 4.5. Figura 4.5. Desvios acumulados da precipitação pluviométrica em relação à sua média climatológica na cidade de Campina Grande, no período de 1963-2004.	47
Figura 4.6. Tendência da temperatura máxima do ar anual na cidade de Campina Grande, no período 1963-2004.	49

Figura 4.7.	Médias mensais da temperatura máxima do ar na cidade de Campina Grande, no período pré-urbano (1963-1985) e pós-urbano (1986-2004).	49
Figura 4.8.	Autocorrelação da temperatura máxima do ar anual na cidade de Campina Grande, no período de 1963-2004.	50
Figura 4.9.	Variabilidade intra-anual da temperatura máxima do ar na cidade de Campina	50
Figura 4.10.	Desvios acumulados da temperatura máxima do ar em relação à sua média climatológica na cidade de Campina Grande, no período de 1963-2004.	51
Figura 4.11.	Tendência da temperatura mínima do ar anual na cidade de Campina Grande, no período 1963-2004.	53
Figura 4.12.	Médias mensais da temperatura mínima do na cidade de Campina Grande, no período pré-urbano (1963-1985) e pós-urbano (1986-2004).	53
Figura 4.13.	Autocorrelação da temperatura mínima do ar anual na cidade de Campina Grande, no período de 1963-2004.	54
Figura 4.14.	Variabilidade intra-anual da temperatura mínima do ar na cidade de Campina Grande, no período de 1963-2004.	54
Figura 4.15.	Desvios acumulados da temperatura mínima do ar em relação à sua média climatológica na cidade de Campina Grande, no período de 1963-2004.	55
Figura 4.16.	Tendência da temperatura média do ar anual na cidade de Campina Grande, no período 1963-2004.	57
Figura 4.17.	Médias mensais da temperatura média do ar na cidade de Campina Grande, no período pré-urbano (1963-1985) e pós-urbano (1986-2004).	57
Figura 4.18.	Autocorrelação da temperatura média do ar anual na cidade de	

	Campina Grande, no período de 1963-2004.	58
Figura 4.19.	Variabilidade intra-anual da temperatura média do ar na cidade de Campina Grande, no período de 1963-2004.	58
Figura 4.20.	Desvios acumulados da temperatura média do ar acumulada na cidade de Campina Grande, no período de 1963-2004.	59
Figura 4.21.	Tendência da pressão atmosférica anual na cidade de Campina Grande, no período 1963-2004.	61
Figura 4.22.	Médias mensais da pressão atmosférica na cidade de Campina Grande, no período pré-urbano (1963-1985) e pós-urbano (1986-2004).	61
Figura 4.23.	Autocorrelação da pressão atmosférica anual na cidade de Campina Grande, no período de 1963-2004.	62
Figura 4.24.	Variabilidade intra-anual da pressão atmosférica na cidade de Campina Grande, no período de 1963-2004.	62
Figura 4.25.	Desvios acumulados da pressão atmosférica em relação à sua média climatológica na cidade de Campina Grande, no período de 1963-2004.	63
Figura 4.26.	Tendência da umidade relativa média anual na cidade de Campina Grande, no período 1963-2004.	65
Figura 4.27.	Médias mensais da umidade relativa na cidade de Campina Grande, no período pré-urbano (1963-1985) e pós-urbano (1986-2004).	65
Figura 4.28.	Autocorrelação da umidade relativa média anual na cidade de Campina Grande, no período de 1963-2004.	66
Figura 4.29.	Variabilidade intra-anual da umidade relativa na cidade de Campina Grande, no período de 1963-2004.	66
Figura 4.30.	Desvios acumulados da umidade relativa em relação à sua média climatológica na cidade de Campina Grande, no período de 1963-2004.	67

- Figura 4.31. Tendência da evaporação anual do Tanque Classe “A” na cidade de Campina Grande, no período 1977-2004. 69
- Figura 4.32. Médias mensais da evaporação do Tanque Classe “A” na cidade de Campina Grande, no período pré-urbano (1977-1985) e pós-urbano (1986-2004). 69
- Figura 4.33. Autocorrelação da evaporação anual do Tanque Classe “A” anual na cidade de Campina Grande, no período de 1963-2004. 70
- Figura 4.34. Variabilidade intra-anual da evaporação do Tanque Classe “A” anual na cidade de Campina Grande, no período de 1977-2004. 70
- Figura 4.35. Desvios acumulados da evaporação do Tanque Classe “A” em relação à sua média climatológica na cidade de Campina Grande, no período de 1977-2004. 71
- Figura 4.36. Tendência da velocidade do vento média anual na cidade de Campina Grande, no período 1963-2004. 73
- Figura 4.37. Médias mensais da velocidade do vento na cidade de Campina Grande, no período pré-urbano (1963-1985) e pós-urbano (1986-2004). 73
- Figura 4.38. Autocarrelação da velocidade do vento média anual na cidade de Campina Grande, no período de 1963-2004. 74
- Figura 4.39. Variabilidade intra-anual da velocidade do vento na cidade de Campina Grande, no período de 1963-2004. 74
- Figura 4.40. Desvios acumulados da velocidade do vento em relação à sua média climatológica na cidade de Campina Grande, no período de 1963-2004. 75
- Figura 4.41. Tendência da insolação anual na cidade de Campina Grande, no período 1963-2004. 77
- Figura 4.42. Médias mensais da insolação na cidade de Campina Grande, no

	período pré-urbano (1963-1985) e pós-urbano (1986-2004).	77
Figura 4.43.	Autocarrelação da insolação anual na cidade de Campina Grande, no período de 1963-2004.	78
Figura 4.44.	Variabilidade intra-anual insolação na cidade de Campina Grande, no período de 1963-2004.	78
Figura 4.45.	Desvios acumulados da insolação em relação à sua média climatológica na cidade de Campina Grande, no período de 1963-2004.	79
Figura 4.46.	Tendência do índice UNEP (P/ETp) na cidade de Campina Grande, no período 1963-2004.	81
Figura 4.47.	Médias mensais do índice UNEP (P/ETp) na cidade de Campina Grande, no período pré-urbano (1963-1985) e pós-urbano (1986-2004).	81
Figura 4.48.	Autocarrelação do índice UNEP na cidade de Campina Grande, no período de 1963-2004.	82
Figura 4.49.	Variabilidade intra-anual do índice UNEP (P/ETp) na cidade de Campina Grande, no período de 1963-2004.	82
Figura 4.50.	Valores acumulados do índice UNEP (P/ETp) em relação à sua média climatológica na cidade de Campina Grande, no período de 1963-2004.	83
Figura 4.51.	Área urbana acumulada em Campina Grande no período 1790-2004.	85
Figura 4.52.	Populacional acumulado em Campina Grande no período 1970-2004.	85

RESUMO

A expansão de cidades produz diversos impactos no ambiente urbano causado por atividades antropogênicas. Este estudo avaliou o efeito da urbanização no clima da cidade de Campina Grande utilizando dados mensais de temperatura do ar (máxima, mínima e média), precipitação pluviométrica, pressão atmosférica, umidade relativa do ar, evaporação do Tanque Classe “A”, velocidade do vento, insolação e índice UNEP (P/ETp) para o período de 1963 a 2004. O método de desvios cumulativos foi utilizado para detectar mudanças abruptas nas séries temporais: Dois períodos de estudo foram estabelecidos: pré-urbano intenso PRÉ-UI (1963-1985) e pós-urbano intenso PÓS-UI (1986-2004). Para cada variável climática foram obtidas algumas estatísticas como: médias, desvio-padrão, coeficiente de variação (CV) e autocorrelação serial. Foram avaliadas as diferenças entre as médias dos períodos PRÉ-UI e PÓS-UI através do teste de t-Student. Também foi usado o teste Mann-Kendall para avaliar as tendências das séries temporais para o período total estudado. A evapotranspiração de referência foi obtida pelo método de Hargreaves para estimar o índice UNEP (P/ETp). As temperaturas do ar máxima, mínima e média apresentaram tendências crescentes, enquanto umidade relativa apresentou tendência decrescente, todas estatisticamente significantes ao nível de 1% através do teste de Mann-Kendall. As séries de precipitação pluviométrica, evaporação e o índice UNEP não apresentaram tendências estatisticamente significantes. A variabilidade da precipitação pluviométrica intra-anual, expressa pelo CV, é muito alta e variou de 30 a 89% durante o período analisado. A variabilidade anual da precipitação pluviométrica é cerca de 30% da variabilidade intra-anual. A temperatura do ar demonstrou persistência natural através dos valores do coeficiente de autocorrelação, para os primeiros lags.

ABSTRACT

Expansion of cities has several impacts on urban environment caused by anthropogenic activities, and so it may develop climate variability. This study attempts to assess the effect of urbanization on the climate in Campina Grande city ($7^{\circ}12'S$; $35^{\circ}51'W$; 508 m a.s.l), Brazil. Monthly data of air temperature (maximum, minimum and mean), sunshine, relative humidity, rainfall, atmospheric pressure, wind speed and UNEP index (P/ETp) for the 1963 to 2004 time period were used. In order to detect the period of abrupt changes the method of cumulative departures from the long-term mean has been adopted. Thus, two study sub period were established as following: intense pre- urban (1963-1985) and intense post-urban (1986-2004). For each climatic variable during the study periods it was obtained some statistical parameters such as mean, standard deviation, coefficient of variation (CV) and serial autocorrelation. Difference between means of intense pre- urban and intense post-urban time period for all climatic variables was evaluated by t-Student test. Also, it was used the Mann-Kendall test to assess the trends of the time-series during the 1963 to 2004 time period. Reference evapotranspiration was obtained by Hargreaves method for finding UNEP index (P/ETp). Maximum, mean and minimum air temperature presented increased trend (statistically significant at $p < 0.01$) by Mann-Kendall test. Relative humidity showed decreasing trend also statistically significant at $p < 0.01$. However, rainfall, class "A" pan evaporation and UNEP index had not statistically significant trend. The rainfall intra-annual variability in Campina Grande city, expressed as a CV, is very high, which ranged from 30 to 89% during analyzed period. On average, the rainfall annual variability is about 30% of the intra-annual variability. Air temperature (maximum, mean and minimum) demonstrated the nature persistence in the time-series by autocorrelation coefficient at the first lags.

1. INTRODUÇÃO

A Revolução Industrial mudou sobremaneira a vida dos seres vivos sobre a superfície da Terra. A primeira grande mudança diz respeito à migração populacional do campo para as cidades e tem sido vertiginosamente acelerado nas últimas décadas. A partir de então, devido ao aglomerado de pessoas em cidades, tem ocorrido mudanças importantes no padrão de consumo e na demanda por novos serviços da população urbana. Para atender a demanda há necessidade de novos investimentos empresariais que fatalmente irão contribuir para o desequilíbrio das condições climáticas urbanas.

Como constatado pelo “Intergovernmental Panel on Climate Change” - IPCC (2001), o desenvolvimento do mundo moderno, pós-Revolução Industrial, tem provocado mudanças importantes no clima do planeta, principalmente em cidades de médio e grande portes. Segundo Mendonça (1995) no estudo de clima urbano destacam-se vários fatores que podem influenciar o clima de uma cidade. Por exemplo, a ocupação do solo por construções de concreto, a pavimentação de asfalto e/ou de pedra e o índice de desmatamento são alguns deles. O processo de urbanização crescente acentua a importância desses fatores no comportamento climático de áreas urbanas. As conseqüências danosas desse processo podem

ser notadas na formação de ilha de calor, desconforto térmico, poluição do ar e do solo, inundação, e má qualidade de vida da população. Os autores que estudam mudanças climáticas (Elagib e Mansell, 2000; Silva; 2004 Modarres e Silva, 2006) sugerem que se utilize a análise de tendência para investigar possíveis mudanças de comportamento de séries temporais.

Nas últimas duas décadas a população da cidade de Campina de Grande, situada a 520 m de altitude, na parte mais alta da região oriental do Planalto da Borborema paraibano, tem reclamado do comportamento climático da cidade, principalmente do calor, mesmo em meses considerados frios. Na busca de uma explicação científica que possa constatar possíveis causas do aumento da temperatura, formulou-se a hipótese de que o processo de urbanização provocou mudança climática na cidade de Campina Grande. Assim, o objetivo deste trabalho é o de analisar o comportamento temporal de dez séries temporais de variáveis climáticas a fim de detectar possíveis influências da urbanização no clima da cidade de Campina Grande.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os primeiros estudos sobre clima urbano foram realizados em Londres. Foi nessa cidade, em 1661, que se constatou que a poluição produzida pela queima de carvão provocava alterações na temperatura da cidade. Após a Revolução Industrial foram verificadas modificações do clima devido à urbanização e à concentração de poluentes. No entanto, a percepção de que há diferenças térmicas entre a área da cidade e área rural vem desde a época do Império Romano. Após a Segunda Guerra Mundial ocorreu a explosão de crescimento de áreas metropolitanas e o aumento da industrialização. A partir daí, intensificaram-se os estudos sobre clima urbano, frente a evidente contaminação da atmosfera de grandes cidades. Em 1937, foi publicada a primeira obra sobre clima urbano, com o título de "O Clima da cidade" (traduzido para o português). Após esses estudos pioneiros realizados em Londres, vários outros relacionados ao clima urbano foram empreendidos, principalmente em locais de latitudes temperadas.

Em geral, a área urbana se constitui em grande modificador do clima. Na cidade a camada de ar mais próxima do solo é mais aquecida do que em áreas rurais. A atividade humana, o grande número de veículos, indústrias, prédios, o asfalto das ruas e a diminuição das áreas verdes propiciam mudanças importantes na atmosfera local, em consequência há

modificações na direção e velocidade do vento, no teor de umidade atmosférica, na distribuição diária de temperatura do ar e no padrão local de chuvas.

Tucci (2002) apresentou definições para variabilidade climática, modificação climática e clima urbano, as quais são comumente utilizadas na literatura e que interessa diretamente ao tema aqui abordado. Essas definições refletem a dificuldade existente de se separar o efeito das atividades humanas sobre a variabilidade climática natural. Neste texto, serão adotadas as seguintes terminologias para efeito de análise: variabilidade climática é a variação de clima em função dos condicionantes naturais do globo terrestre e suas interações. Já a modificação climática resultou alterações permanentes da variabilidade climática devido às atividades e intervenções humanas no meio físico. O clima urbano pode ser definido como sendo a modificação substancial do clima local que, em relação às condições climáticas das demais áreas circunvizinhas, apresenta maior quantidade de calor e modificações na composição da atmosfera.

Heino (1979), em sua pesquisa relacionada à relocação de estações meteorológicas, por motivo de transferências de aeroportos para a periferia de cidades, observou que os registros contínuos de variáveis atmosféricas ao longo do tempo têm mostrado aparentes tendências, que podem ser atribuídas à taxa de desenvolvimento da cidade. O autor destaca o resultado para a série temporal de temperatura média diária do ar. Essa série apresentou tendência de longo prazo relacionada ao aumento da população da cidade. A magnitude dessa tendência variou entre 0,05 e 0,1° C por década. Em cidades maiores foi verificado que a magnitude pode variar de 0,3 a 0,4° C por década.

Segundo Landsberg (1981) em 1820 Luke Haward publicou um trabalho sobre as temperaturas médias do ar da cidade de Londres. Naquela época Luke observou a ocorrência de certo aquecimento no centro da cidade no período estudado. Esse aquecimento atualmente é conhecido como ilha de calor, e está associado ao intenso crescimento da cidade.

Lombardo (1985) estudou a relação entre os tipos de uso do solo e a variação da temperatura do ar à superfície na cidade de São Paulo. Os resultados indicaram alta correlação entre essas variáveis na área urbana. O autor mostrou que as altas temperaturas se verificam, principalmente, nos setores mais industrializados, em áreas residenciais, com destacado crescimento vertical de edificações. Nessas áreas a densidade demográfica encontra-se acima de trezentos habitantes por hectare, e a vegetação é escassa.

Lee (1990) em seus estudos conclui que há variação de temperatura do ar entre duas regiões distintas, na cidade de Londres, no período de 1962 a 1989. Durante as noites houve aumento de temperatura do ar e, entretanto, durante os dias ocorreu diminuição. Adicionalmente, ele afirmou que as edificações urbanas e o consumo de energia estão diretamente relacionados ao fenômeno da ilha de calor.

Stulpnagel et al. (1990) observaram que as árvores exercem influência positiva no clima das cidades, principalmente nos valores das variáveis temperatura e umidade relativa do ar. Na mesma linha de pesquisa, Lombardo (1985) e Lombardo (1990) apud Maitelli (1994) avaliam as relações entre clima e vegetação em cidades tropicais. Nesses estudos o autor conclui que o uso, de forma adequada, da vegetação em áreas urbanizadas, pode minimizar os efeitos de desconforto térmico produzido pelo aumento da temperatura do ar.

Jáuregui e Cruz (1992), estudando variações intensas de temperaturas do ar entre locais urbanos e áreas rurais na cidade do México, concluíram que houve diferença de temperatura de até de 3,0° C, no mês de março, entre um parque suburbano e o centro da cidade.

Brádzil (1994) comparou séries de temperaturas do ar entre áreas urbanas e rurais e constatou tendências positivas entre 0,07 – 0,08 °C por década. Conclui seu trabalho afirmando que essa tendência positiva pode estar associada ao crescimento da população.

Maitelli (1994), quando estudou o clima urbano da cidade de Cuiabá, MT, utilizou três abordagens: uma análise estatística de série temporal no período de 1920 a 1992: medidas

horizontais de temperatura e umidade do ar em pontos fixos e móveis e medidas verticais para determinar o balanço de energia. Como resultado principal, ele afirma que a urbanização influenciou positivamente os valores das séries temporais de temperaturas mínimas médias do ar. No centro da cidade encontrou ilha de calor de cerca de 5 °C na estação seca do ano.

Goldreich (1995) estudou o efeito da urbanização sobre o excesso de chuva em cidades de Israel e suas vizinhanças. A metodologia utilizada foi análise de correlação múltipla para identificar tendências nas diversas séries temporais em relação à distribuição espacial dos postos pluviométricos. De posse dos resultados da análise de correlação, o autor sugeriu diversas equações de regressão para estimar chuva a partir de informações de altitude e latitude e longitude. Não ficaram claras para o autor, porém, quais as causas dominantes que influenciaram o excesso de chuvas em Israel.

Karaca et al. (1995) estudaram a mudança no clima regional e investigam os efeitos da urbanização sobre os climas de grandes cidades da Turquia: (Istambul e Ankara), com base em séries temporais de temperatura do ar. As ferramentas estatísticas utilizadas para estudar as mudanças climáticas foram: regressão linear, análise de tendência e o teste de Mann-Kendall. As principais conclusões dos autores foram que as diferenças de temperaturas mínima e média em Istambul mostraram tendência de mudanças climáticas e que a urbanização afeta a cidade predominantemente à noite. Eles observaram, ainda, que há flutuações nos valores das séries temporais das temperaturas anuais, as quais podem estar relacionadas à variabilidade climática em torno de cada local de coleta dos dados. Em Ankara foi difícil analisar os efeitos da urbanização sobre o clima, usando séries temporais, visto que as tendências entre estações meteorológicas não podem ser desprezadas devido à altitude, bem como porque as séries temporais não eram suficientemente longas.

Segundo Mendonça (1994) as características climáticas de uma cidade são influenciadas pelos equipamentos fixos que ela possui. Dessa forma, as áreas onde se

concentram edifícios, trânsito de veículos, indústrias e pessoas, os valores da temperatura do ar tendem a ser mais elevados do que em áreas verdes e de baixa densidade de edificações e pessoas. O autor mostra no seu trabalho que os valores de temperatura apresentam tendência de elevação em decorrência do crescimento urbano.

Zamparoni (1995) realizou estudo com séries de temperaturas do ar de duas cidades de pequeno porte, no norte do estado de Mato Grosso, Brasil. Nesse estudo foi observado que a vegetação nativa e o acelerado processo de asfaltamento e a cimentação de ruas e avenidas estão aquecendo as cidades. Adicionalmente, foi identificado ilhas de calor de até 5° C no centro das cidades.

Heino (1996) observou que a urbanização tende a diminuir a umidade do ar e a velocidade do vento. O efeito negativo da urbanização na umidade relativa do ar pode ser explicado pela presença de superfícies secas, com menor evaporação e drenagem mais rápida das águas das chuvas. Por outro lado, a tendência decrescente dos valores da série temporal de velocidade do vento é uma consequência da fricção causada pela rugosidade dos edifícios mais altos.

Munn (1996) constatou que as construções de concreto e superfícies de asfalto nas cidades têm alta capacidade de absorver calor e favorece a condutividade térmica. Outro material que contribui para o aumento de armazenamento de calor nas cidades é o vidro das janelas das construções modernas. Devido à presença desses materiais nos centros urbanos, o armazenamento diário de calor nessas áreas é maior do que nos arredores de cidades. Durante a noite, o calor armazenado ao longo do dia é liberado desses materiais resulta em maiores temperaturas do ar na área urbana quando comparada com a zona rural de cidades.

Elagib e Mansell (2000) analisaram 13 séries temporais de temperaturas do ar do Sudão no período 1941–1996, para identificar possíveis tendências temporais. Na análise dos dados os autores também utilizaram o Índice de Anomalia Padronizada (IAP), coeficiente de

variabilidade intra-anual e coeficiente de autocorrelação. Adicionalmente, eles estudaram a consistência dos padrões sazonais e anuais das séries temporais. Os autores encontraram tendências nas séries temporais anuais, principalmente nas estações úmidas do ano. A área localizada ao norte do país não revelou mudanças nas séries de temperatura do ar. Os autores observaram ainda que desde os anos quarenta, as temperaturas anuais e do período úmido aumentaram cerca de 0,076 a 0,20°C e 0,082 a 0,293°C por década, respectivamente. O período de maior calor no Sudão parece coincidir com a depleção da chuva. Notou-se aumento generalizado nos valores dos coeficientes de variação (CV) das séries de temperaturas mensal e intra-anual. Esse aumento é estatisticamente significativo na região norte e na maioria das localidades do centro do país. Pesquisa semelhante foi realizada por Silva (2004) a fim de estudar a variabilidade climática no Nordeste do Brasil. No estudo, o autor utilizou o teste de Mann-Kendall para analisar o comportamento temporal de oito variáveis climáticas da região.

Azevedo (2001a), trabalhando com registros horários de duas estações meteorológicas da região metropolitana de São Paulo (RMSP), conclui que os valores da temperatura média do ar, da velocidade do vento e da precipitação tendem a ser significativamente maiores nos dias úteis, enquanto que os de pressão atmosférica são menores. O aumento da atividade urbana nos dias úteis, implica no aumento significativo de energia dissipada pela população e suas atividades, já que a parcela de energia dissipada a partir da queima de combustíveis fósseis, da atividade industrial, comércio e serviços respondem por mais de 3/4 do total. Em tese, deve ocorrer aumento dos valores da temperatura do ar e, conseqüentemente, deformação local no campo barométrico, tendência de aumento da convergência dos ventos de superfície, intensificação dos processos convectivos e aumento na frequência e intensidade das chuvas, sobretudo nos finais de tarde e início de noites. No entanto, o aumento da atividade urbana pode implicar em incremento de emissão de poluentes e em ré-suspensão de

material particulado, devido o aumento da turbulência junto ao solo, em função do maior número de veículos em circulação. O autor argumentou ainda que esse material particulado tem papel preponderante no balanço de radiação urbano, pois implica na atenuação da radiação global ao nível do solo. Portanto, é perfeitamente aceitável a hipótese de que, tomado isoladamente, ele atue no sistema do clima urbano, reduzindo indiretamente a temperatura do ar. Ou seja, sob o “domínio” da poluição por material particulado, deve haver tendência à estabilização da camada de mistura, maior tendência à formação de inversões térmicas e redução significativa da frequência e intensidade da chuva.

Azevedo (2001b) verificou que as temperaturas máximas diárias do ar da RMSP (Região Metropolitana de São Paulo) dos dias centrais da semana tendem a ser menores do que nos finais de semana, no período de 1975 a 1986. Situação inversa se verificou no período de 1987 a 1999. Coerentemente, o total de chuva acumulado por dia na semana apresentou a mesma tendência. O autor faz uma ressalva do seu estudo: os registros utilizados foram de uma única estação meteorológica.

Azevedo (2001c) selecionou 19 postos pluviométricos do Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo, cujos registros cobriram o período de 1968 a 1997, em dias úteis e não-úteis. Ele totalizou a precipitação de cada um dos 19 postos em 5 períodos consecutivos de 6 anos. Comparando o total das duas classes, em cada posto e em cada período, calculou o desvio percentual em relação à distribuição esperada, pois a probabilidade de um evento qualquer ocorrer num dia útil é naturalmente maior. Totalizou em cada período o número de postos em que o desvio dos dias úteis foi, com confiança de 98%, menor, igual ou maior em relação aos dias não-úteis. Os resultados confirmaram a hipótese de que de 1968 a 1979 choveu menos nos dias úteis em 14 dos 19 postos. No período de 1986 a 1997 choveu mais nos dias úteis, de 1980 a 1985 choveu equitativamente nos dias úteis e não-úteis. Embora esses resultados corroborem com a hipótese de que há um

ritmo antropogênico embutido no clima da RMSP, ainda há dúvidas pertinentes a serem esclarecidas, sobretudo no caso da precipitação atmosférica. O incremento de calor nos dias de maior atividade urbana deve ser incorporado de forma diversa, de acordo com o tempo atmosférico em escala regional. Ou seja, o incremento na frequência e intensidade de impactos pluviais concentrados em dias de maior atividade urbana deve concentrar-se nos dias que são favoráveis ao desenvolvimento vertical de nuvens cúmulos.

Bach (2001) usou os testes de Mann-Kendall e de Petit para identificar possíveis tendências nas séries anuais de temperatura e precipitação pluviométrica. Foram usadas as séries históricas de precipitação pluviométrica e temperatura média do ar, no período de 1924 a 1998, coletadas na estação meteorológica de Urussunga. O autor conclui que ambos os testes utilizados apresentam concordância entre seus resultados e podem ser utilizados na identificação de tendências de séries temporais.

Ferron et al. (2001) analisam a série temporal de temperatura do ar da Ilha Rei George (IRG) no período 1947 a 1995, construída a partir das médias mensais registradas em várias estações meteorológicas. Os resultados indicam tendência de aquecimento de $0,022\text{ }^{\circ}\text{C/ano}$, representando um aumento total de $1,08^{\circ}\text{C}$, causada principalmente pelo aumento da temperatura nos meses de inverno. Os registros apresentam ciclos de 5,3 e 9,6 anos, semelhantes àqueles registrados na península Antártica. No período 1976 a 1995 essa série temporal é comparada com dados de temperatura do gelo marinho, na longitude 60°W , visto que ele responde a variações de temperatura com retardo de um mês na IRG. A maior variabilidade mensal (representada pelo desvio padrão) ocorreu no mês de agosto. A análise de correlação cruzada entre o gelo e a temperatura média anual, mostrou que a maior correlação ocorre com retardo (*lag*) de um mês e o valor do coeficiente de correlação é igual 0,7, com nível de significância de 1%. As séries temporais de locais mais ao sul da IRG apresentaram tendências mais pronunciadas, como é o caso de Faraday no período de 1945 a

1990. A tendência de aquecimento mais pronunciada na IRG (0,037 °C/ano) ocorreu entre 1960 e 1985. A análise sazonal dos dados durante o período 1947 a 1995 mostrou que o aumento da temperatura nos meses de inverno (gradiente de 0,038°C/ano) foi a principal causa para o aquecimento regional. Nessa estação, ocorreu grande oscilação nos valores diários de temperatura, com variação de até 14 °C. Os ciclos de 5,3 e 9,6 anos presentes nas séries estão de acordo com os resultados obtidos em estudos realizados na Base Faraday (península Antártica) e com dados do IPCC.

Cunico et al. (2002) verifica os efeitos na temperatura do ar, causados pelas diferentes formas de uso do solo, em escala topoclimática, em áreas distribuídas no centro da cidade de Curitiba. Os autores observaram que os ambientes de maior adensamento urbano correspondem aos de aquecimento mais rápido da temperatura do ar. Já em áreas verdes houve retardamento no aquecimento em cerca de 2h 30 min.

Sant'anna Neto et al. (2002) defendem que o clima urbano surge da interação do crescimento urbano desmedido com a dinâmica das múltiplas relações e ações antrópicas que vão provocar profundas mudanças na atmosfera local. Além disso, promove modificações no padrão e no índice pluviométrico, bem como no comportamento climatológico, o que por sua vez vai ser refletido nas condições ambientais da população, ameaçando a qualidade de vida dos habitantes. Em suma, as cidades dos países não-desenvolvidos, principalmente as localizadas em latitudes tropicais, notadamente as de médio e de pequeno porte, somente há pouco tempo começaram a despertar a atenção para a elaboração de estudos de seus ambientes urbanos.

Tomás (2002) investigou o campo higrométrico da cidade de São Paulo, Brasil, e a sua relação com o processo de urbanização com base em dados de umidade relativa do ar. As estações de coleta dos dados foram as do IAG (Instituto Astronômico e Geofísico), do Mirante de Santana e do Aeroporto de Congonhas. O período estudado foi de 1961 a 1997, já

para o acompanhamento da evolução urbana no entorno das estações meteorológicas, por meio de interpretação de fotografias aéreas, utilizou os anos de 1962, 1972 e 1994. A análise conjunta de dados de umidade relativa e da evolução urbana das áreas do entorno das estações indicou tendência negativa da umidade relativa para Mirante de Santana e IAG, enquanto em Congonhas não foi verificado nenhum tipo de tendência. O autor concluiu seu trabalho afirmando que os resultados demonstram os aspectos geo-ecológicos e geo-urbanos, e que esses aspectos atuam sobre o comportamento da umidade relativa, de maneira que produzem diferenciações climáticas locais, não subordinadas às condições de meso escala climática.

Tucci (2002) mostrou a esquematização dos possíveis impactos nos recursos hídricos de uma cidade à medida que se potencializa o processo de urbanização e, conseqüentemente as variações e/ou mudanças climáticas. Nesse processo destacam-se ainda a elevação da temperatura local, visto que as superfícies impermeáveis absorvem parte da energia solar, aumentando a temperatura ambiente e produzindo ilhas de calor na parte central dos centros urbanos, onde predomina o concreto e o asfalto. O aumento de temperatura cria, também, condições de movimento de ar ascendente que pode redundar em aumento de precipitação. Silveira (1997), citado pelo autor, mostrou que a parte central de Porto Alegre apresenta maior índice pluviométrico do que a sua periferia, atribuindo essa tendência à urbanização. Como na área urbana as chuvas críticas são as mais intensas e de curta duração, essas condições contribuem para aumentar a frequência de cheias urbanas.

Choi et al. (2003) realizaram importante estudo usando procedimentos estatísticos sistemáticos, para detectar a influência da urbanização nas séries de temperaturas do ar da Coréia do Sul. A aplicação do procedimento mediana rank-score mostrou que as séries de temperaturas médias anuais de 16 estações exibem não-homogeneidade. O procedimento amostral sistemático foi usado para estimar a influência urbana nas séries de temperaturas

médias sazonais e anuais para três grupos de estações urbanas. As formações desses grupos foram baseadas na densidade populacional do ano de 1995. Os resultados desse estudo mostram que quanto mais urbana (maior densidade populacional em torno da estação) seja a estação, tanto maior será a tendência nas séries de temperatura do ar. Foi notado também que a magnitude dessa tendência vem crescendo desde o final da década de 80. As séries de temperaturas do ar de estações da periferia das cidades mostraram tendências menos acentuadas desde o final da década de 80. Em resumo, o efeito da urbanização nas séries temporais de temperaturas pôde ser verificado para cidades de todos os tamanhos, pequenas, médias e grandes, da Coréia do Sul.

Garcia-Barrón et al. (2004) observaram que modificação das condições ambientais, devida à expansão das zonas povoadas ou a mudança de uma estação meteorológica urbana para um novo local, pode provocar a não-homogeneidade das séries históricas de registros de variáveis meteorológicas. Nesse trabalho, eles apresentam o efeito produzido nos registros de temperaturas, máximas e mínimas diárias, na cidade de Badajoz, localizada na zona sul ocidental da Península Ibérica. Utilizando o coeficiente de correlação de Pearson, eles analisaram e concluíram que as séries de temperaturas, para o período de 1955 a 1983, foram afetadas pelo processo de urbanização da cidade em aproximadamente 2° C nas séries de temperaturas mínimas e 0,5° C nas séries de temperaturas máximas.

Silva e Rodrigues (2004) argumentaram que o interesse pelo estudo relacionado ao clima intensificou-se nos últimos anos, principalmente em cidades que estão mais sujeitas aos impactos das variáveis meteorológicas, devido às atividades antrópicas. Ao alterar o meio ambiente, seja na cidade ou no campo, o homem cria um ambiente artificial que pode ser traduzido em alterações das variáveis atmosféricas e climáticas. Desse modo, o ambiente artificial causa alterações de micro e meso escalas climáticas, com conseqüências danosas nas séries históricas de temperatura, de chuvas, de umidade relativa do ar e de direção e

velocidade do vento. A urbanização altera o clima do espaço ocupado pelas cidades, pois modifica a superfície física do solo através da impermeabilização, causando o aumento da produção de calor, alterando o efeito dos ventos e, conseqüentemente, o regime de distribuição de chuvas. Os autores concluíram seu trabalho para a cidade de Uberlândia, MG, afirmando que em todas as variáveis climáticas analisadas ocorreram modificações consideráveis, seja por aumento como nos casos da temperatura e da insolação, seja por diminuição como no caso da precipitação pluviométrica. Essas modificações nos valores das variáveis se acentuam nos anos em que há atuação do fenômeno El-Niño.

Veríssimo e Mendonça (2004) fizeram algumas considerações acerca do clima urbano da cidade de Curitiba e afirmam que não há dúvida de que as relações do homem com a natureza tornaram-se bem mais complexas após o aparecimento dos aglomerados urbanos e com o crescimento desordenado. Argumentaram, ainda, que o homem produziu intenso impacto sobre o meio ambiente natural, com repercussões negativas na sua qualidade de vida. Segundo os autores, as condições climáticas, representadas principalmente pela radiação solar, temperatura, velocidade e direção do vento, precipitação e umidade atmosférica, são modificadas pelo processo de urbanização. Os principais impactos estão relacionados ao desconforto térmico, à poluição do ar, às inundações e ao deslizamento de encostas. Na cidade de Curitiba, PR, vários estudos mostram as conseqüências do crescimento urbano acelerado e desordenado da cidade sobre o clima e a população urbana.

Burian e Shepherd (2005) analisaram as chuvas diárias coletadas em 19 pluviômetros, localizados dentro e nas proximidades da cidade de Huston – EUA, a fim de quantificar o impacto da urbanização da área metropolitana no padrão das chuvas. As séries temporais de longo prazo (1940-1999) foram subdivididas em duas séries menores e denominadas de pré-urbana: de 1940 a 1958 e pós-urbana: de 1984 a 1998. A comparação estatística dessas séries indicou que a distribuição da precipitação diurna na área urbana é muito diferente daquela das

áreas adjacentes à cidade no período de 1984-1999. Em média, verificou-se, no verão, aumento na magnitude da chuva diurna na área urbana, em torno de 50%. Esse aumento foi atribuído ao impacto da urbanização na precipitação pluviométrica diurna. Por outro lado, nas vizinhanças da cidade o aumento foi cerca de 30%. Adicionalmente, a ocorrência de chuvas extremas diurnas, na área urbana, foi cerca de 80% superior à ocorrida nas vizinhanças da cidade.

Kolokotroni et al (2005) observaram diferenças entre as temperaturas horárias do ar do centro urbano da cidade de Londres e a região rural circunvizinha. Essa variação na temperatura entre os locais ocorreu sempre no horário noturno. Os autores observaram aumento na temperatura da madrugada Londrina e, entretanto, na região rural essa variação não foi tão intensa.

Stabler et al (2005) argumentaram que o aumento da área impermeabilizada de cidades, tais como: revestimento com pedras, asfalto e/ou cimento ou a áreas ocupadas por edificações, inibe o processo de infiltração da água no solo, promove inundação e diminui a capacidade do solo transpirar normalmente. A consequência disso é a mudança no microclima da área urbana que favorece o desconforto de suas populações.

Como a alteração do clima atinge diretamente a qualidade de vida nas cidades, a necessidade de se estudar a influência da urbanização no clima de cidades de médio e grande porte, como no caso da cidade de Campina Grande na Paraíba, tem grande importância para planejamentos futuros com o intuito de se evitar problemas relativos ao bem estar dos seus habitantes.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Dados climatológicos

Neste estudo foram analisadas as séries temporais de temperatura do ar (máxima, mínima e média diárias), precipitação pluviométrica, insolação, velocidade do vento, umidade relativa do ar, pressão atmosférica, evaporação do Tanque Classe “A” e do índice climático UNEP da cidade de Campina Grande – PB (latitude 7° 13’, longitude 35° 53’ e altitude 547,5 m), no período de 1963 a 2004. Os dados da evolução temporal da área da cidade foram obtidos através de mapas em Autocad no período de 1790 a 2004. As informações sobre a evolução da população da cidade foram obtidas de acordo com os censos realizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) no período de 1970 a 2005. Os dados faltosos das séries temporais analisadas foram preenchidos de acordo com o procedimento adotado por Qureshi e Khan (1994). Esse método consiste em utilizar a média dos três valores anteriores e posteriores ao valor faltoso da série temporal.

Dois períodos de estudo foram selecionados em função do método dos desvios acumulados dos valores das variáveis em relação à sua média climatológica (1963-2004).

Esse método tem sido utilizado para detectar mudanças muito nítidas no comportamento das séries temporais (Kraus, 1955; Reynolds, 1956; Elagib e Mansell, 2000). Assim, o período anterior à abrupta mudança de comportamento das séries temporais analisadas foi denominado de pré-urbanização intensa (PRÉ-UI) e o período posterior a essa mudança foi denominado de pós-urbanização intensa (PÓS-UI). A análise dos dados climáticos evidenciou que o período PRÉ-UI foi de 1963 a 1985 enquanto o período PÓS-UI foi de 1986 a 2004. Os dados do número de habitantes e da área da cidade também evidenciam que a partir do ano de 1985 a cidade de Campina Grande passou por intenso processo de urbanização e conseqüente aumento na população. A variabilidade intra-anual das variáveis atmosféricas foi avaliada com base no cálculo do coeficiente de variação (CV) de todos os meses de cada ano. A variabilidade anual dessas variáveis, com base nos totais e nas médias anuais, também foi avaliada para o período total de estudo (1963-2004) e para os períodos intermediários (PRÉ-UI e Pós-UI).

3.2. Características climáticas e localização geográfica

A cidade de Campina Grande tem clima do tipo Aw'i, segundo a classificação climática de Köppen e é considerado como seco sub-úmido. O período chuvoso está situado entre os meses de março a julho e a normal climatológica é cerca de 800 mm (1974-2004). A temperatura máxima média anual é de 28,7 °C e a mínima de 19,8 °C variando pouco ao longo do ano. A Figura 3.1 exibe a localização geográfica da cidade de Campina Grande.

A Figura 3.2 exibe a evolução temporal do número de habitantes da cidade de Campina Grande, enquanto a Figura 3.3 apresenta vários cenários da área urbana na cidade entre 1930 a 1980. Por outro lado, a Figura 3.4 apresenta a evolução da área urbana da cidade de

Campina Grande nos seguintes anos: (a) 1790; (b) 1864; (c) 1907; (d) 1918; (e) 1937; (f) 1943; (g) 1960; (h) 1985; (i) 1992; (j) 2004.

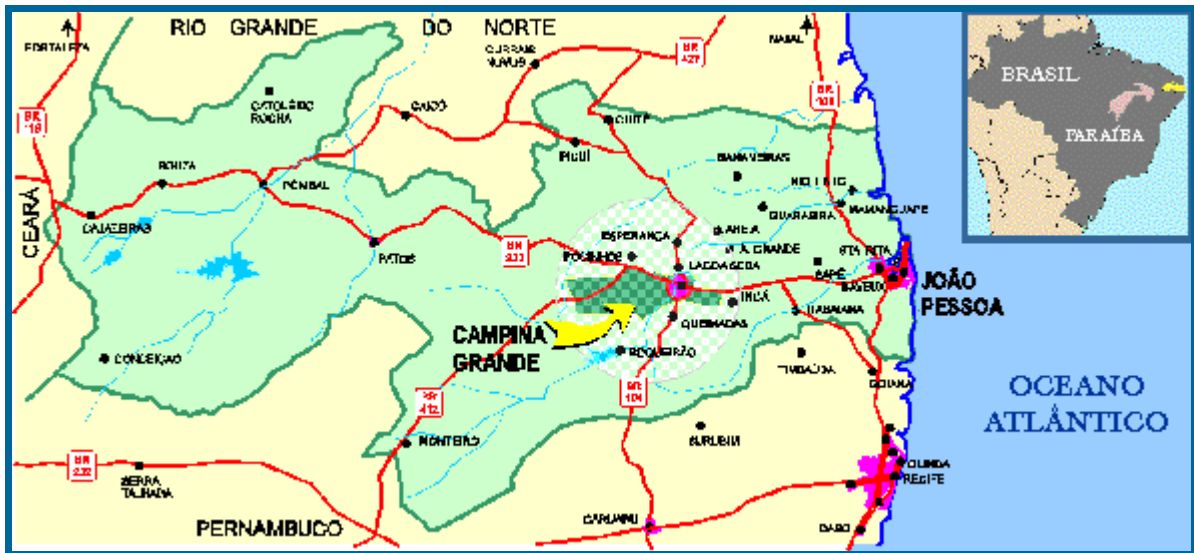


Figura 3.1. Localização da cidade de Campina Grande no estado da Paraíba.

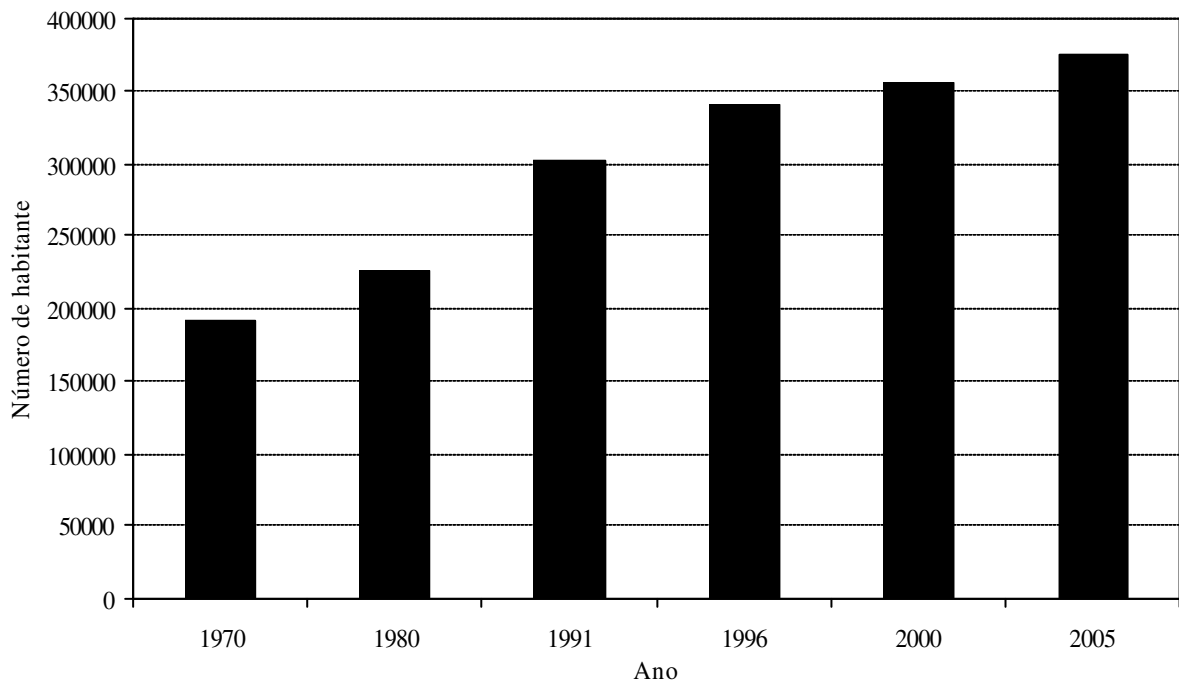


Figura 3.2. Evolução temporal da população da cidade de Campina Grande, no estado da Paraíba, no período de 1970-2005.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Figura 3.3. Evolução da rua Maciel Pinheiro na cidade de Campina Grande: (a) 1930; (b) 1940; (c) 1950; (d) 1960; (e) 1970; (f) 1980.

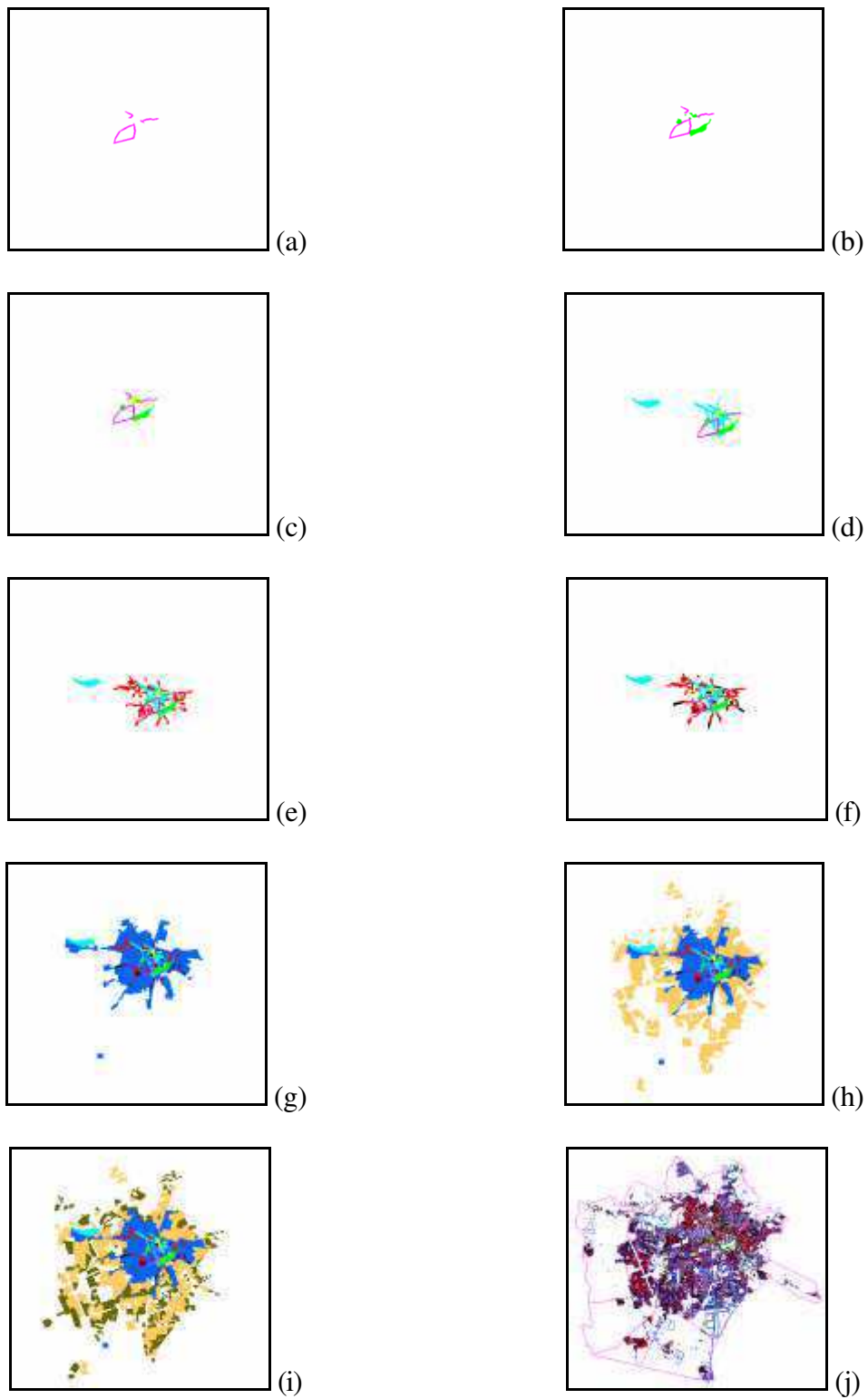


Figura 3.4. Evolução urbana em área da cidade de Campina Grande: (a) 1790; (b) 1864; (c) 1907; (d) 1918; (e) 1937; (f) 1943; (g) 1960; (h) 1985; (i) 1992; (j) 2004.

Fonte: Secretaria de Planejamento e Geoprocessamento – SEPLAG/PMCG.

3.3. Análise estatística

3.3.1. Autocorrelação amostral

A dependência ou aleatoriedade das observações adjacentes das séries temporais foi examinada através da análise de correlação amostral. O método sugere que para n pares de observações das variáveis x e y o coeficiente de correlação amostral r é dado por:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (3.1)$$

em que \bar{x} e \bar{y} são as médias das observações.

A autocorrelação entre as observações de uma mesma variável em diferentes horizontes de tempo consiste nas correlações entre as observações defasadas 1, 2, ..., n períodos de tempo. Assim, dadas n observações x_1, \dots, x_n de uma série temporal discreta é possível formar os pares $(x_1, x_2), \dots, (x_{n-1}, x_n)$. Considerando x_1, \dots, x_{n-1} e x_2, \dots, x_n , como duas variáveis, o coeficiente de autocorrelação entre x_t e x_{t+1} é dado por:

$$r_1 = \frac{\sum_{t=1}^{n-1} (x_t - \bar{x}_1)(x_{t+1} - \bar{x}_2)}{\sqrt{\sum_{t=1}^{n-1} (x_t - \bar{x}_1)^2 \sum_{t=1}^{n-1} (x_{t+1} - \bar{x}_2)^2}} \quad (3.2)$$

As médias amostrais foram obtidas por:

$$\bar{x}_1 = \frac{1}{n-1} \sum_{t=1}^{n-1} x_t \quad (3.3)$$

$$\bar{x}_2 = \frac{1}{n-1} \sum_{t=2}^n x_t \quad (3.4)$$

Como o coeficiente r_t mede as correlações entre observações sucessivas ele é chamado de coeficiente de *autocorrelação serial*.

É usual simplificar a Eq (3.2) utilizando-se a média de todas as observações, ou seja:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n x_t \quad (3.5)$$

Já que,

$$\bar{x}_1 = \bar{x}_2$$

Considerando a variância constante, a versão simplificada da Eq (3.2) pode ser apresentada da seguinte forma:

$$r_1 = \frac{\sum_{t=1}^{n-1} (x_t - \bar{x})(x_{t+1} - \bar{x})}{(n-1) \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (x_t - \bar{x})^2} \quad (3.6)$$

Alguns autores ainda retiram o termo $(n-1)/n$ que é próximo da unidade, quando n não é muito pequeno. A Eq. (3.6) pode ser generalizados para se estimar a correlação entre observações defasadas de k períodos de tempo, por:

$$r_k = \frac{\sum_{t=1}^{n-k} (x_t - \bar{x})(x_{t+k} - \bar{x})}{\sum_{t=1}^n (x_t - \bar{x})^2} \quad (3.7)$$

Assim, a Eq. (3.7) fornece o coeficiente de autocorrelação de ordem k .

3.3.2. Teste de Mann-Kendall

O teste de Mann-Kendall consiste em comparar cada valor da série temporal com os valores restantes, sempre em ordem seqüencial. É contado o número de vezes que os termos restantes são maiores do que o valor analisado. A estatística S é obtida pela soma de todas as contagens, dado como se segue:

$$S = \sum_{i=2}^n \sum_{j=1}^{i-1} \text{Sinal}(x_i - x_j) \quad (3.8)$$

em que o $\text{Sinal}(x_i - x_j)$ é obtido da seguinte forma:

-1 para $x_i - x_j < 0$,

0 para $x_i - x_j = 0$,

1 para $x_i - x_j > 0$.

A estatística S tende a normalidade para n grande, com média e variância definidas como se segue:

$$E\{S\} = 0, \quad (3.9)$$

$$\text{Var}\{S\} = \frac{1}{18} \left[n(n-1)(2n+5) \right], \quad 3.10$$

em que n é o tamanho da série temporal. O teste estatístico Z é dado por:

$$Z = \frac{S - 1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} \quad \text{se } S > 0 \quad (3.11)$$

A presença de uma tendência estatisticamente significativa na série temporal é avaliada usando-se o valor de Z. Essa estatística é usada para testar a hipótese nula que nenhuma tendência existe. O valor positivo de Z indica uma tendência crescente. Para testar qualquer tendência constante, crescente ou decrescente para um nível significativo de p , é rejeitada a hipótese nula se o valor absoluto de Z é maior que $Z_{1-p/2}$, o qual é obtido na tabela da distribuição normal. Neste trabalho foram aplicados os níveis de significância de $p = 0,01$ e $0,05$.

3.3.2. Teste t-Student

Os valores médios das variáveis meteorológicas nos períodos pré-urbanização intensa (PRÉ-UI) e pós-urbanização intensa (PÓS-UI) foram avaliados pelo teste t-Student ao nível de 5% de significância. Estabeleceu-se a hipótese nula como sendo a de que não existe diferença significativa entre as médias; e a hipótese alternativa é aquela que efetivamente existe diferença significativa entre as médias nesse nível de significância. A estatística do teste é a seguinte:

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{m}{(s_1^2 + s_2^2)}}} \quad (3.13)$$

em que:

m é o tamanho da amostra de dados da variável meteorológica;

μ_1 e s_1^2 são, respectivamente, a média aritmética e variância da variável meteorológica no período PRÉ-UI;

μ_2 e s^2_2 são, respectivamente, a média aritmética e variância da variável meteorológica no período PÓS-UI.

Se a estatística t for menor do que 1,96 (nível de 5% de significância) ou menor que 2,57 (nível de 1% de significância) se aceita a hipótese nula, ou seja, não há diferença entre as médias, aos níveis de 0,05 e 0,01, respectivamente. Por outro lado, se t estiver entre 1,96 e 2,57 ou maior do que 2,57 rejeita-se a hipótese nula aos níveis de significância 5 e 1%, respectivamente. Assim, as médias são estatisticamente diferentes nesses níveis de significância.

3.3.3. Índice climático UNEP

O índice climático UNEP, proposto pelo “United Nations Environmental Program” (UNEP), foi obtido pela relação entre os valores médios anuais da precipitação pluviométrica (P) e a evapotranspiração potencial (ETp). Esse índice tem sido amplamente utilizado para categorizar condições climáticas de uma região, quais sejam: árida, semi-árida, seca úmida e seca sub-úmida (UNEP, 1992; Hare, 1993).

A evapotranspiração potencial diária (ETp) foi obtida pelo método de Hargreaves & Samani (1985), de acordo com a seguinte equação:

$$ET_0 = 0,0023Q_0(T + 17,8)(T_{\max} - T_{\min})^{0,5} \quad (3.14)$$

em que:

ET_0 - evapotranspiração potencial, mm d^{-1} ;

Q_0 - radiação solar extraterrestre, mm d^{-1} ;

T_{\max} - temperatura máxima diária do ar, $^{\circ}\text{C}$;

T_{\min} - temperatura mínima diária do ar, °C;

T - temperatura média diária do ar, °C.

Com base nos valores diários de ETp foram obtidos os totais mensais e anuais para a determinação do índice UNEP (P/ETp).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A influência da urbanização no clima da cidade de Campina Grande/PB é analisada a seguir, com base nas séries temporais de dez variáveis climáticas. O período total de estudo (1963-2004) foi dividido em dois subperíodos, denominados de pré-urbanização intensa (PRÉ-UI), que compreende os anos de 1963 a 1985 e de pós-urbanização intensa (PÓS-UI), que compreende os anos de 1986 a 2004. Nas subseções subseqüentes são apresentadas as Figuras 4.1 a 4.5 e Tabelas 4.1 a 4.10, que descrevem o comportamento das seguintes variáveis meteorológicas: precipitação pluviométrica, temperatura do ar (máxima, mínima e média), pressão atmosférica, umidade relativa, insolação, evaporação do Tanque Classe “A”, velocidade do vento e índice UNEP.

4.1. Precipitação pluviométrica

A precipitação pluviométrica anual apresentou comportamento estacionário ao longo do período estudado (Figura 4.1). O período total (1963-2004) apresentou média e desvio-padrão de $794,2 \pm 211,1$ mm, enquanto os períodos PRÉ-UI e PÓS-UI apresentaram médias e desvios-padrão de $800,3 \pm 160,7$ mm e $786,8 \pm 264,4$ mm, respectivamente (Tabela 4.1). As

médias dos períodos PRÉ-UI e PÓS-UI foram muito próximas, logo não apresentaram diferença estatisticamente significativa aos níveis de significância utilizados neste estudo pelo teste t-Student. Entretanto, o desvio-padrão e o coeficiente de variação (CV) do período PRÉ-UI foram menor do que no período PÓS-UI. Por exemplo, o CV do período PRÉ-UI foi aproximadamente 60% menor do que no período PÓS-UI. Além disso, a variabilidade intra-anual da precipitação apresenta tendência levemente crescente ao longo do período de estudo (Figura 4.4). As médias do CV intra-anual períodos PRÉ-UI e PÓS-UI foram 83,3 e 91,9%, respectivamente, enquanto a média do período total foi de 87,2%. Entretanto, a variabilidade anual foi bem menor, ou seja, as médias dos CVs nos períodos PRÉ-UI, PÓS-UI e total foram 20,1; 33,6 e 26,6%, respectivamente. Por outro lado, a precipitação pluviométrica apresentou valores de autocorrelação estatisticamente significativa nos “lags” 1, 2, 4, 7, 13 e 15 (Figura 4.3). Os desvios acumulados da precipitação pluviométrica em relação à sua média climatológica exibiram ponto máximo em torno 1986, indicando mudança abrupta nesse ano na série temporal (Figura 4.5). A precipitação pluviométrica foi maior no período PRÉ-UI do que no PÓS-UI, principalmente nos meses mais chuvosos (Figura 4.2). Dinpashoha et al. (2004), analisando a variabilidade da precipitação pluviométrica no Iran, encontraram coeficiente de variação (CV) variando de 18%, no norte do país, a 75% no sudoeste. Também em estudos sobre a precipitação pluviométrica do Iran, Modares & Silva (2006) encontraram CV de 26,7% na parte semi-árida do país. Por outro lado, Elagib & Mansell (2000), analisando a variabilidade intra-anual da temperatura do ar no Sudão, encontraram CV variando entre 10 a 25%. Ainda com base nesse estudo eles observaram alta variabilidade durante a estação quente e baixa variabilidade no período quente. Os resultados encontrados no presente estudo, quando comparados com outras pesquisas realizadas para outras áridas e semi-áridas do mundo, sugerem que a variabilidade da precipitação pluviométrica em Campina Grande é bastante alta.

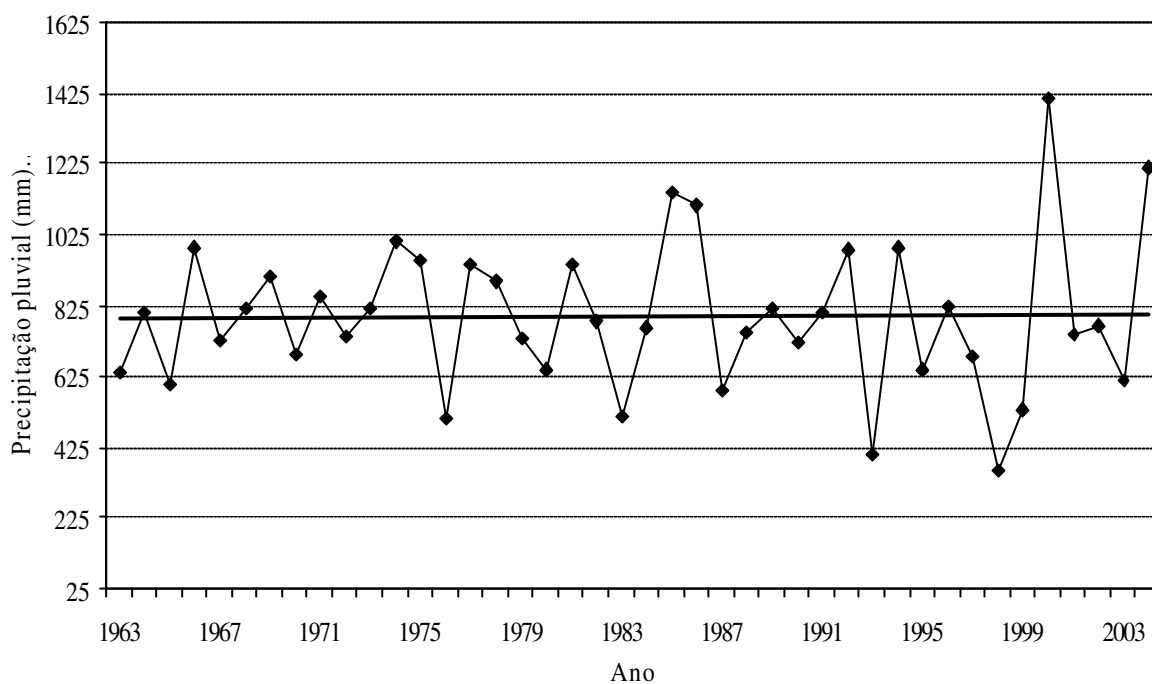


Figura 4.1. Tendência da precipitação pluviométrica anual na cidade de Campina Grande, no período 1963-2004.

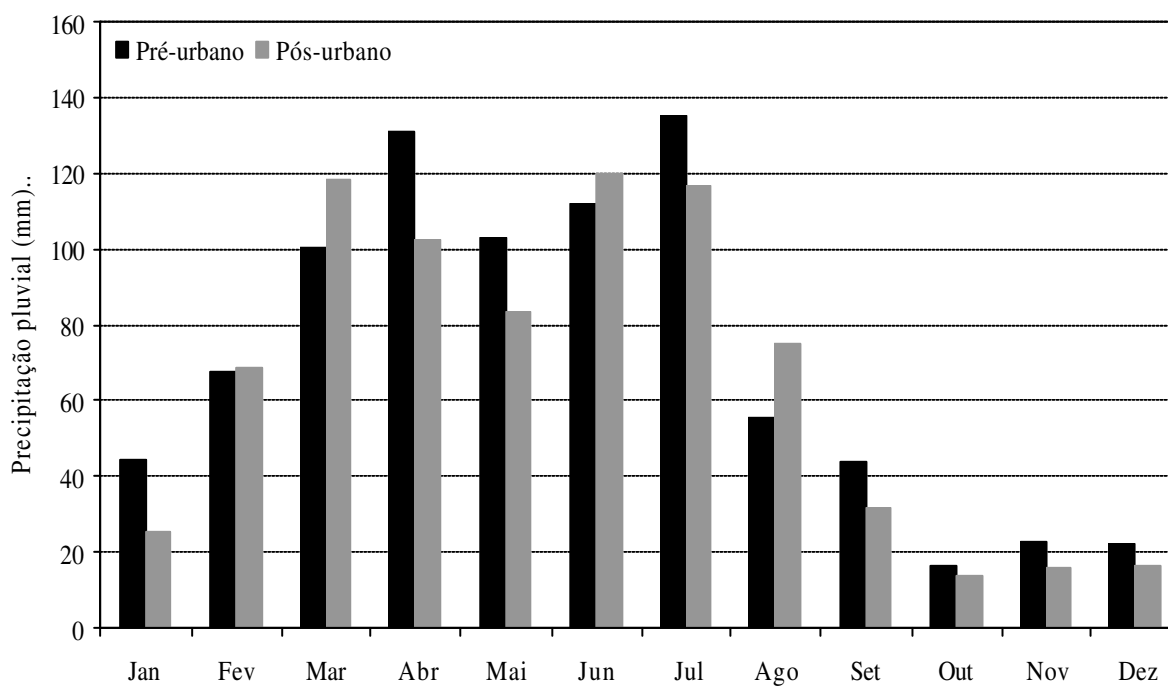


Figura 4.2. Médias mensais da precipitação pluviométrica na cidade de Campina Grande, nos períodos pré-urbano (1963-1985) e pós-urbano (1986-2004).

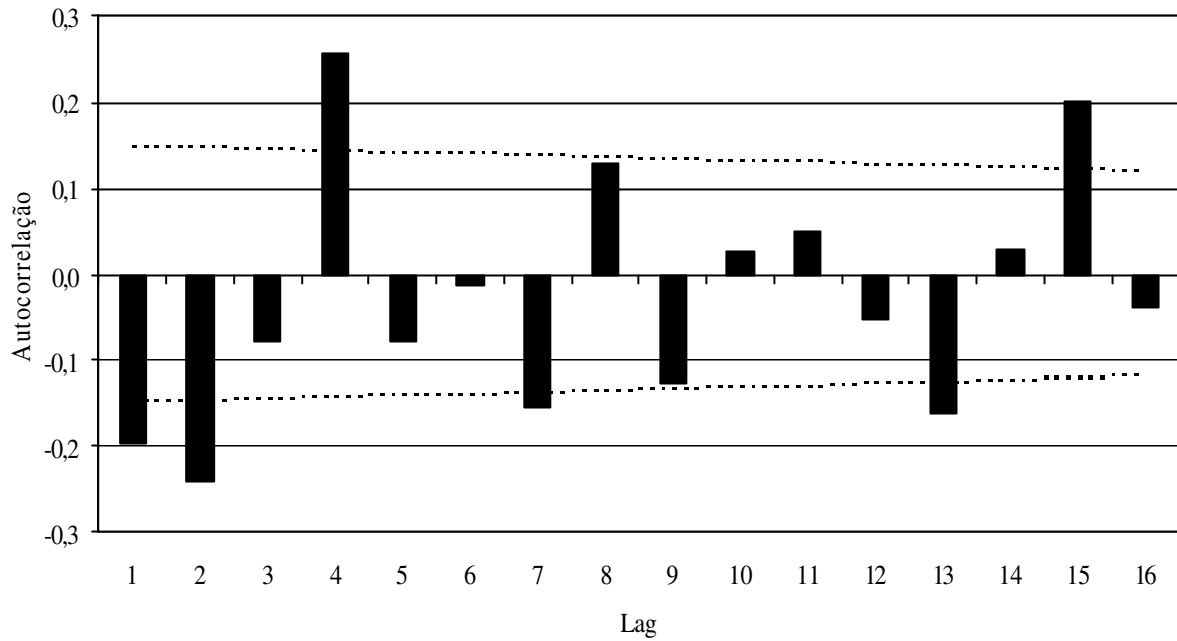


Figura 4.3. Autocorrelação da precipitação pluviométrica anual na cidade de Campina Grande, no período de 1963-2004.

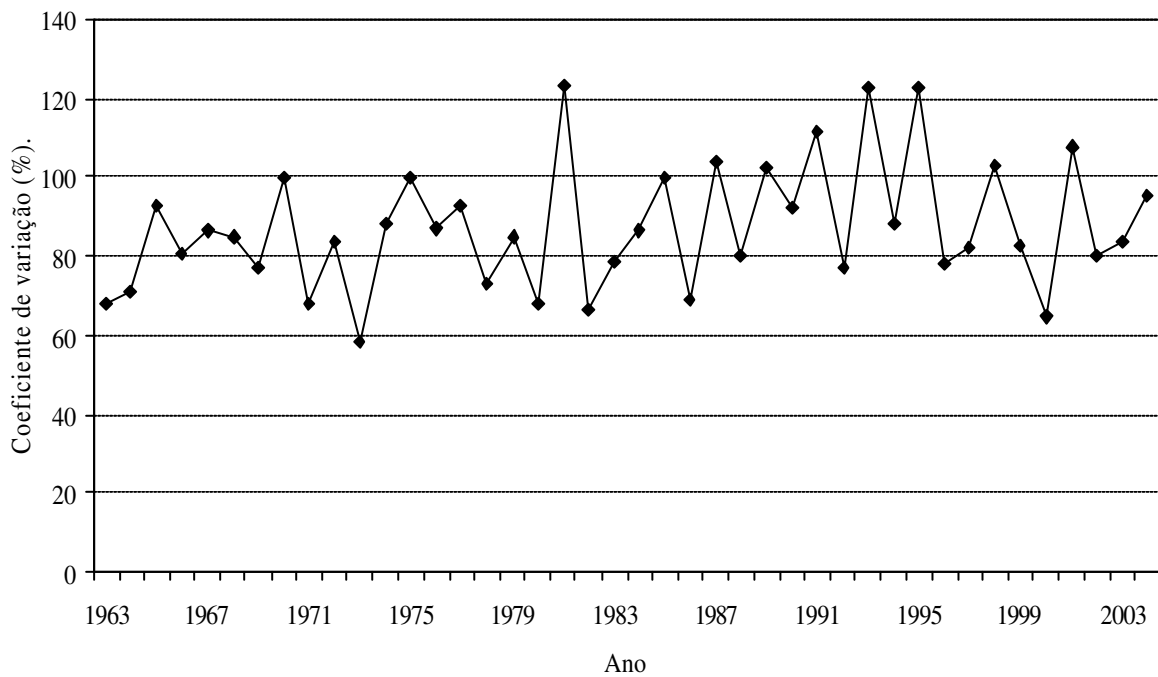


Figura 4.4. Variabilidade intra-anual da precipitação pluviométrica na cidade de Campina Grande, no período de 1963-2004.

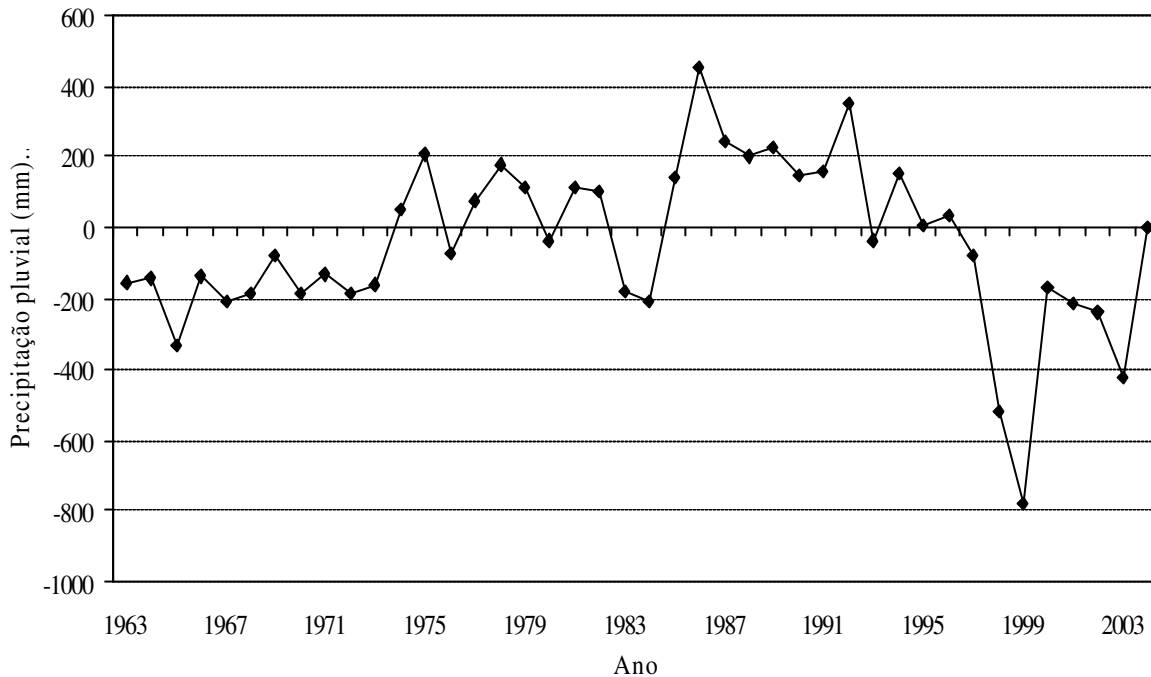


Figura 4.5. Desvios acumulados da precipitação pluviométrica anual em relação à sua média climatológica na cidade de Campina Grande, no período de 1963-2004.

Tabela 4.1. Parâmetros estatísticos da precipitação pluviométrica anual durante os períodos de PRÉ-UI, PÓS-UI e período total (1963-2004) em Campina Grande. CV é o coeficiente de variação (%).

Parâmetros	PRÉ-UI	PÓS-UI	Período total
Média (mm) ^{ns}	800,3	786,8	794,2
Desvio-padrão (mm)	160,7	264,4	211,1
Tendência (mm/ano) ^{ns}	-	-	0,31
Média do CV ⁺ intra-anual (%) ^{ns}	83,3	91,9	87,2
Média do CV anual (%)	20,1	33,6	26,6

* Diferença entre as médias (PRÉ-UI e PÓS-UI) e as tendências são estatisticamente significante ao nível de 1% de probabilidade pelos testes t-Student e Mann-Kendall, respectivamente.

** Diferença entre médias e tendência são estatisticamente significante ao nível de 5% de probabilidade pelos testes t-Student e Mann-Kendall, respectivamente.

^{ns} Diferença entre as médias (PRÉ-UI e PÓS-UI) e as tendências não são estatisticamente significante pelos testes t-Student e Mann-Kendall, respectivamente.

4.2. Temperatura máxima do ar

O comportamento temporal da temperatura máxima do ar anual (Figura 4.6) apresenta acentuada tendência crescente. A tendência da temperatura máxima do ar é de $0,0464\text{ }^{\circ}\text{C/ano}$, que corresponde ao acréscimo de $1,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante o período estudado, que foi de 42 anos. Essa tendência é estatisticamente significativa pelo teste Mann-Kendall, ao nível de 1% de probabilidade (Tabela 4.2). A diferença entre as médias dos períodos PRÉ-UI ($27,6\text{ }^{\circ}\text{C}$) e PÓS-UI ($28,8\text{ }^{\circ}\text{C}$) é estatisticamente significativa pelo teste t-Student ao nível de 1% de probabilidade. O desvio-padrão no período PRÉ-UI ($1,96\text{ }^{\circ}\text{C}$) foi muito maior do que no período PÓS-UI ($0,58\text{ }^{\circ}\text{C}$) e no período total ($0,81\text{ }^{\circ}\text{C}$). Por outro lado, as médias dos CVs dos três períodos foram muito próximas, sem nenhuma significância estatística, em torno de 7% no caso da variabilidade intra-anual e em torno de 2% no caso da variabilidade anual. Ao contrário da precipitação pluviométrica, a temperatura máxima do ar em Campina Grande apresenta baixa variabilidade, apesar do CV do período PRÉ-UI ter sido levemente superior ao CV do PÓS-UI (Tabela 4.2). Elagib e Mansell (2000) encontram alta variabilidade intra-anual da temperatura do ar, com CV variando entre 10 e 25% em algumas localidades do Sudão. A temperatura máxima do ar em Campina Grande no período PRÉ-UI, em todos os meses do ano, foi inferior àquela do período PÓS-UI (Figura 4.7). Isso reforça a hipótese de que a temperatura do ar tem aumentado ao longo do tempo em face da intensa urbanização dessa cidade. Essa série temporal exibe valores de autocorrelação significantes ao nível de 5% de probabilidade nos “lags” de 1 a 5 e 8 a 10 (Figura 4.8). Esse resultado sugere a persistência de períodos quentes e frios na cidade de Campina Grande. Os desvios acumulados da temperatura do ar em relação à sua média climatológica são apresentados na Figura 4.10. Tal como no caso da precipitação pluviométrica, observa-se uma mudança abrupta na série temporal em torno de 1985.

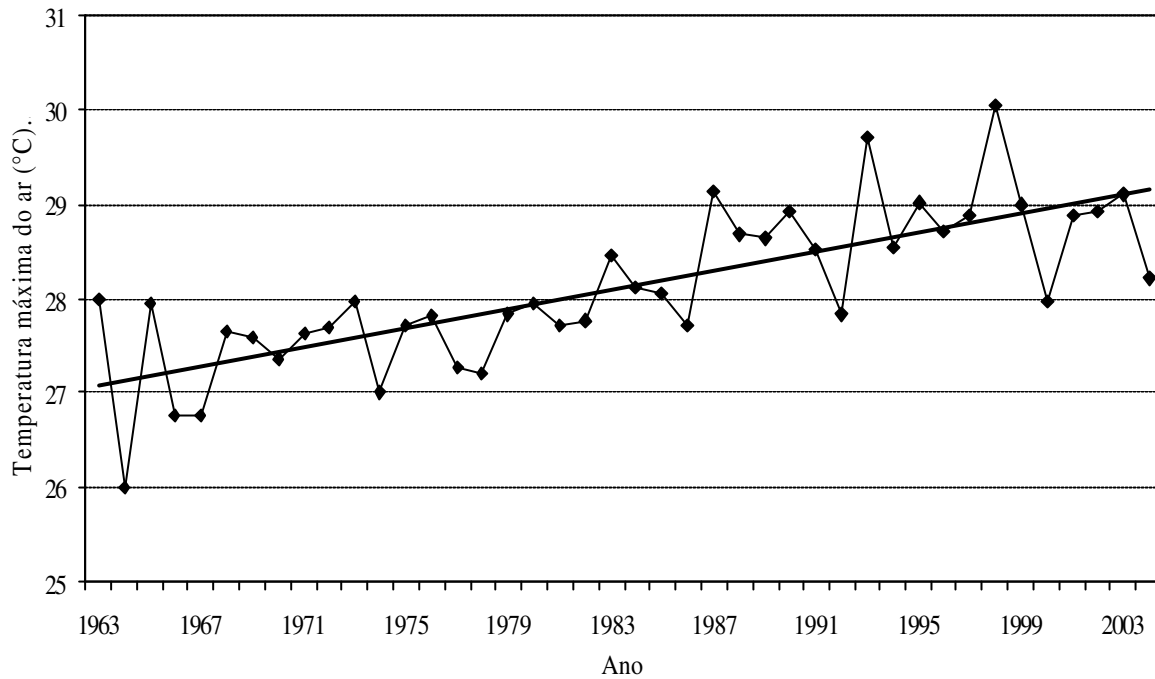


Figura 4.6. Tendência da temperatura máxima do ar anual na cidade de Campina Grande, no período 1963 - 2004.

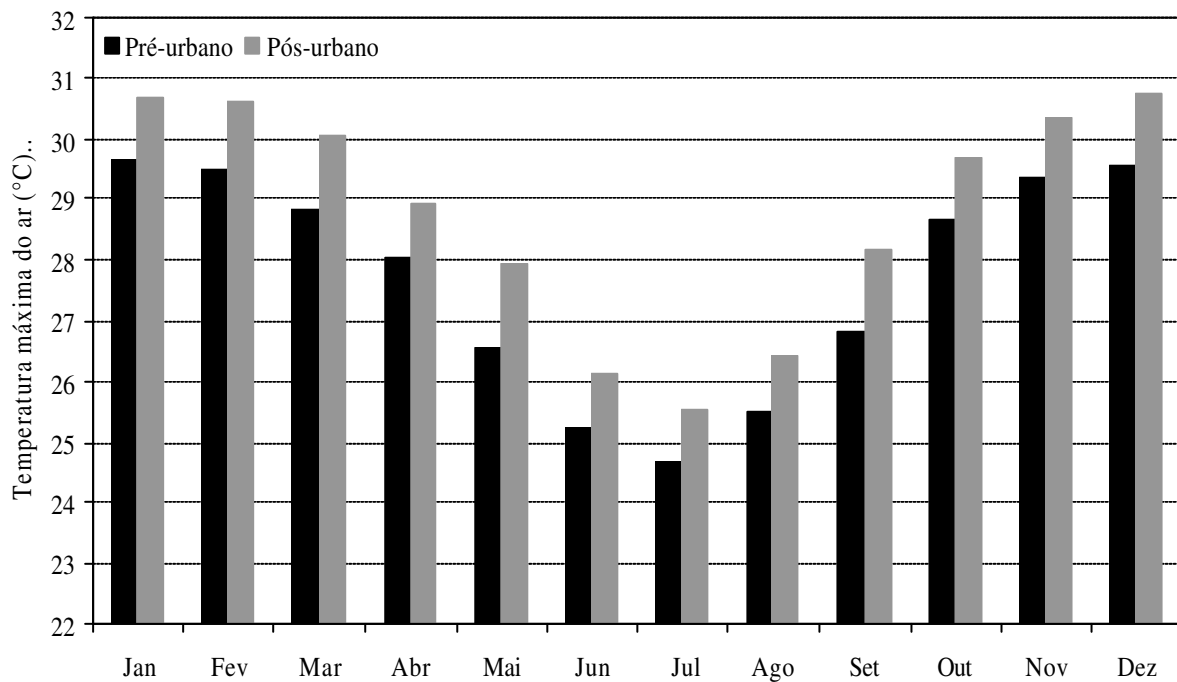


Figura 4.7. Médias mensais da temperatura máxima do ar na cidade de Campina Grande, no período pré-urbano (1963 - 1985) e pós-urbano (1986 - 2004).

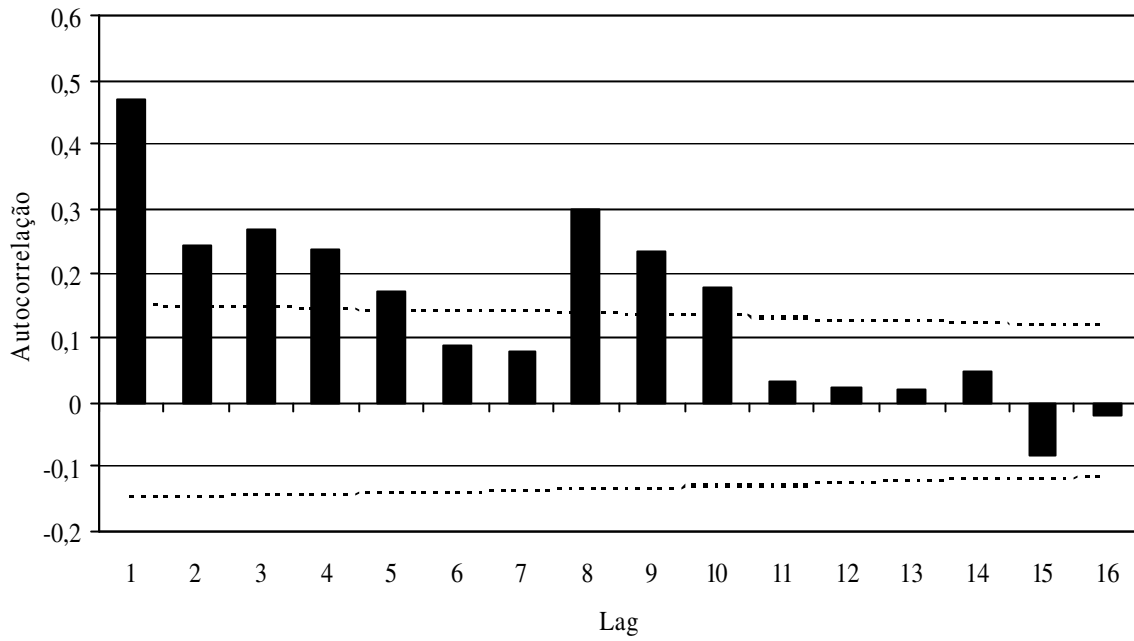


Figura 4.8. Autocorrelação da temperatura máxima do ar anual na cidade de Campina Grande, no período de 1963 a 2004.

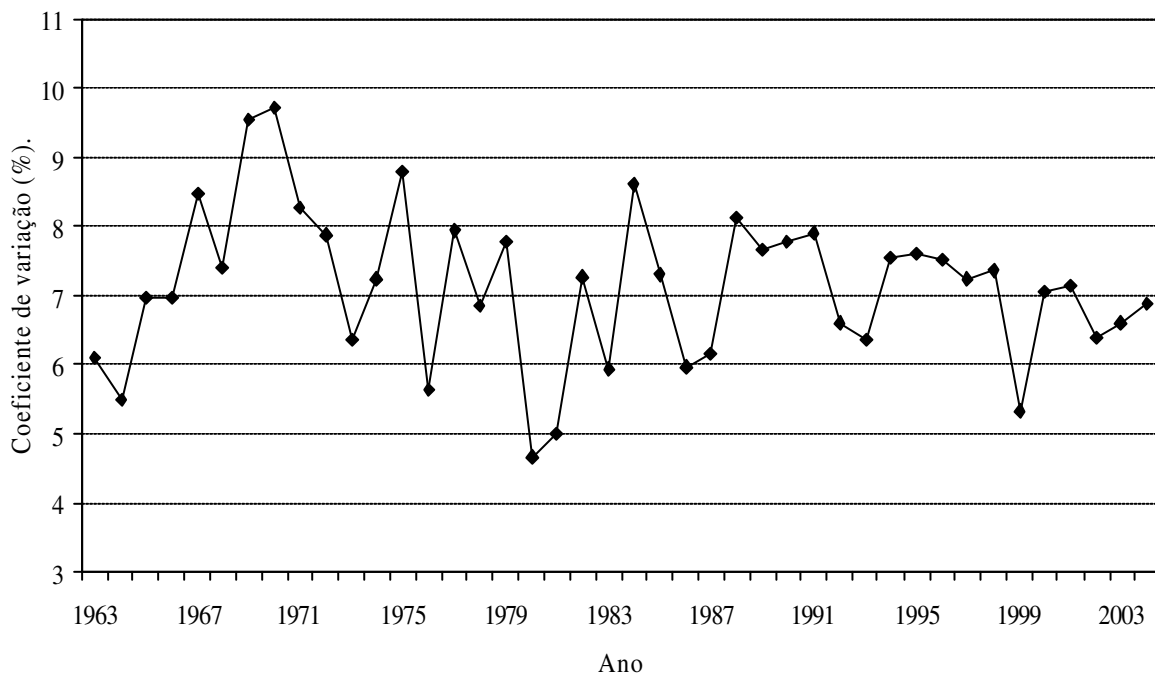


Figura 4.9. Variabilidade intra-anual da temperatura máxima do ar média na cidade de Campina Grande, no período de 1963 a 2004.

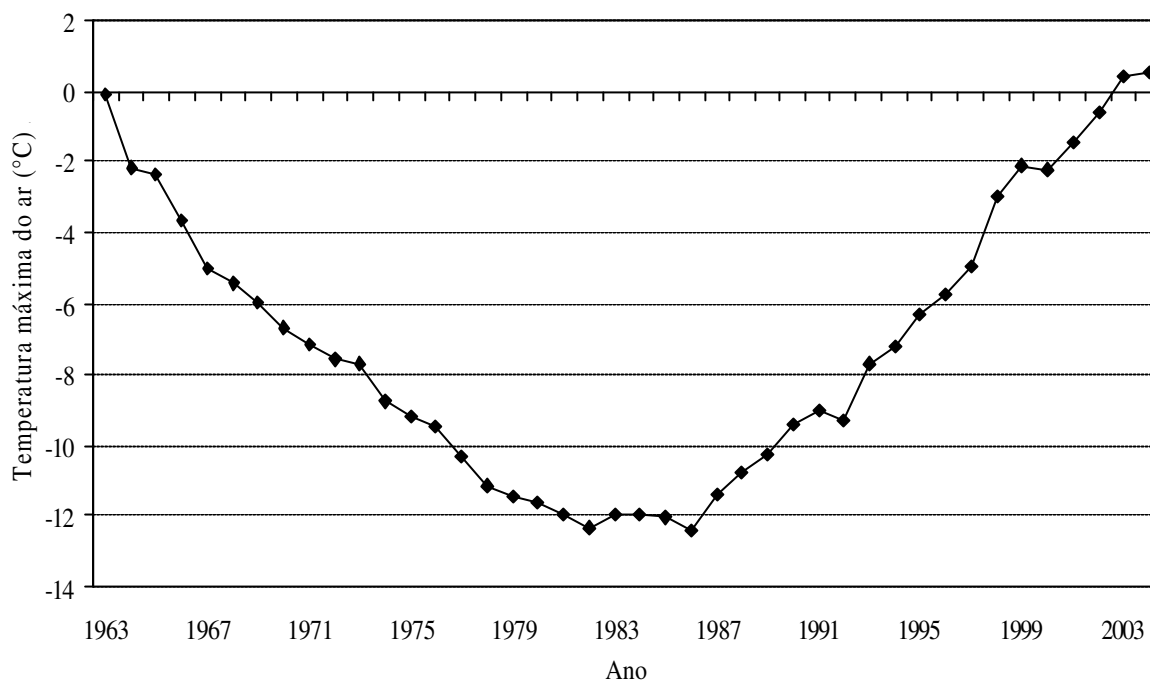


Figura 4.10. Desvios acumulados da temperatura máxima do ar anual em relação à sua média climatológica na cidade de Campina Grande, no período de 1963 a 2004.

Tabela 4.2. Parâmetros estatísticos da temperatura máxima do ar durante os períodos de pré-urbanização intensa (PRÉ-UI), pós-urbanização intensa (PÓS-UI) e período total (1963 a 2004) em Campina Grande. CV é o coeficiente de variação (%).

Parâmetros	PRÉ-UI	PÓS-UI	Período total
Média (°C) *	27,6	28,8	28,1
Desvio-padrão (°C)	1,96	0,58	0,81
Tendência (°C/ano) *	-	-	0,0464
Média CV ⁺ intra-anual (%) ^{ns}	7,23	7,02	7,13
CV anual (%)	1,96	2,00	2,88

* Diferença entre as médias (PRÉ-UI e PÓS-UI) e as tendências são estatisticamente significante ao nível de 1% de probabilidade pelos testes t-Student e Mann-Kendall, respectivamente.

** Diferenças entre médias e tendência são estatisticamente significante ao nível de 5% de probabilidade pelos testes t-Student e Mann-Kendall, respectivamente.

^{ns} Diferença entre as médias (PRÉ-UI e PÓS-UI) e as tendências não são estatisticamente significante pelos testes t-Student e Mann-Kendall, respectivamente.

4.3. Temperatura mínima do ar

O comportamento temporal da temperatura mínima do ar anual em Campina Grande é apresentado na Figura 4.11. Observa-se acentuada tendência crescente $0,0531\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{ano}$, que corresponde ao acréscimo de $2,23\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante o período de 1963 a 2004. Portanto, a tendência da temperatura mínima do ar é ainda maior do que a da temperatura máxima. Essa tendência é estatisticamente significativa pelo teste Mann-Kendall ao nível de 1% de probabilidade (Tabela 4.2). A diferença entre as médias dos períodos PRÉ-UI ($19\text{ }^{\circ}\text{C}$) e PÓS-UI ($20,1\text{ }^{\circ}\text{C}$) é estatisticamente diferente pelo teste t-Student. O desvio-padrão de $0,80\text{ }^{\circ}\text{C}$ do período PRÉ-UI foi superior a 100% quando comparado ao do período PÓS-UI, com valor igual a $0,30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tal como no caso da temperatura máxima, as médias dos CVs intra-anual dos três períodos foram muito próximas e a diferença entre elas não apresenta nenhuma significância estatística. O curso temporal da variabilidade intra-anual da temperatura mínima do ar é apresentado na Figura 4.14. Nela observa-se CV de 9% no ano de 1974; nos anos seguintes, especialmente no período PÓS-UI, os valores dos CVs situam-se em torno de 5%.

A temperatura máxima do ar em Campina Grande também apresenta baixa variabilidade anual e intra-anual. Entretanto, a média do CV anual do período PÓS-UI foi inferior a 50% daquela do período PRÉ-UI. A série temporal de autocorrelação de temperatura mínima do ar em Campina Grande apresentou valores de autocorrelação positivos e significativos entre os “lags” 1 e 11 (Figura 4.13). Também a temperatura mínima apresenta alta persistência, a exemplo da temperatura máxima. A série temporal dos desvios acumulados da temperatura mínima do ar em relação à sua média climatológica também apresentou mudança abrupta, em torno da metade do período de estudo (Figura 4.15).

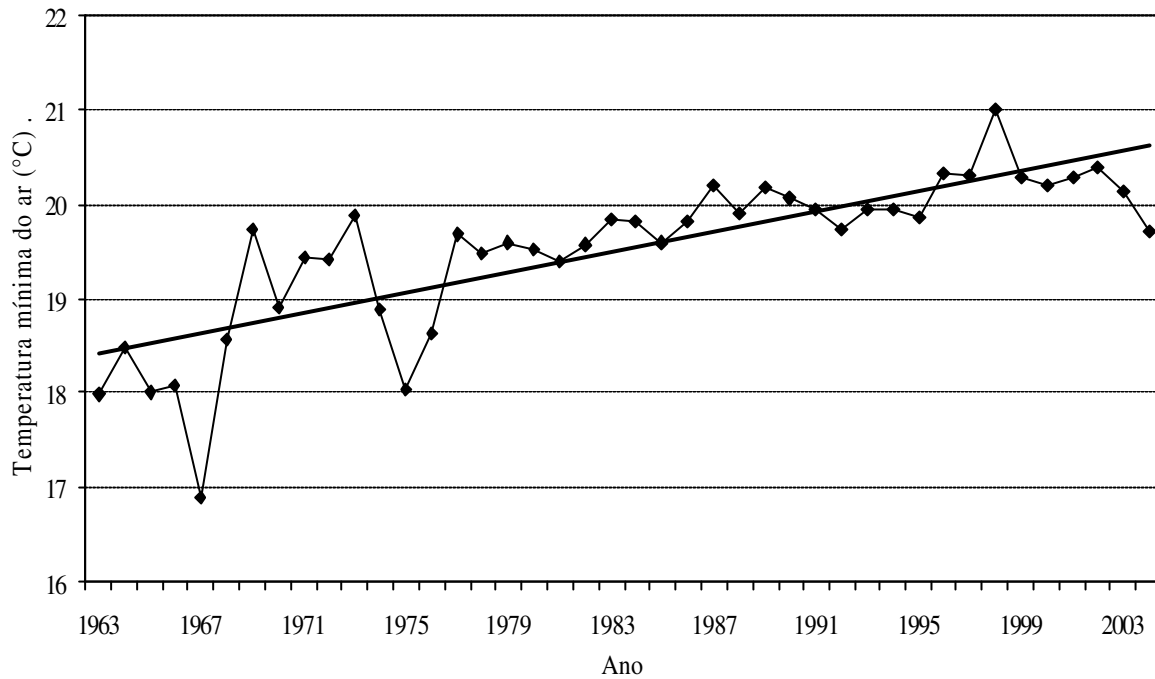


Figura 4.11. Tendência da temperatura mínima do ar anual na cidade de Campina Grande, no período 1963 a 2004.

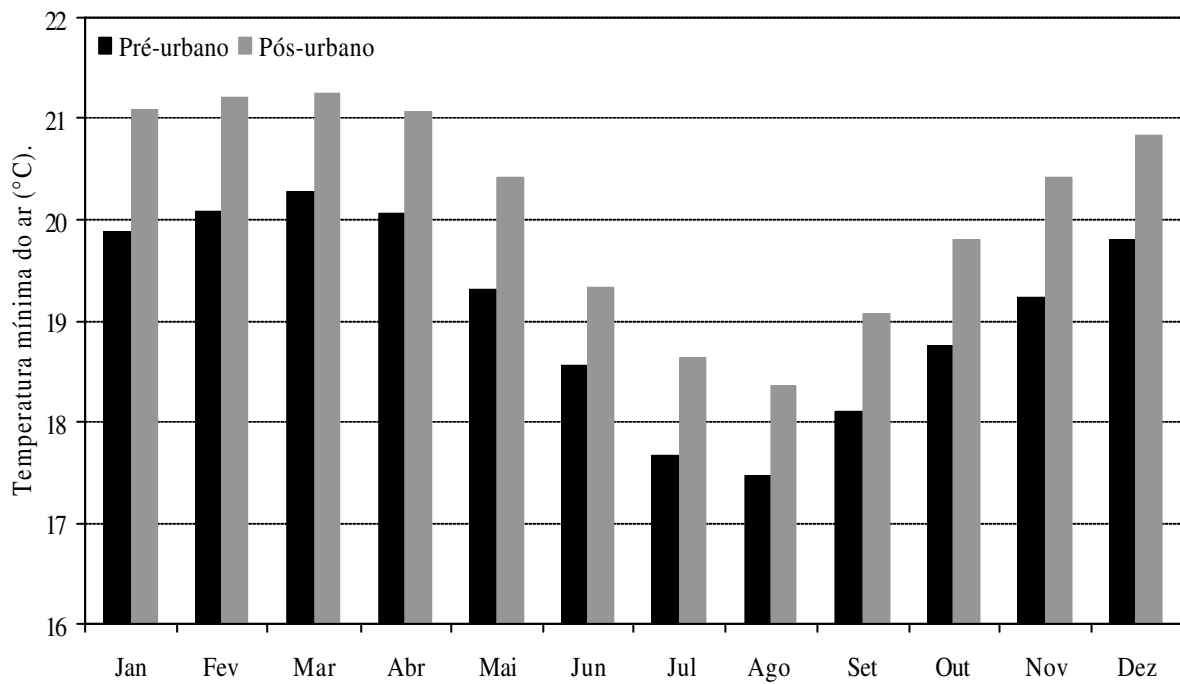


Figura 4.12. Médias mensais da temperatura mínima do ar na cidade de Campina Grande, no período pré-urbano (1963 a 1985) e pós-urbano (1986 a 2004).

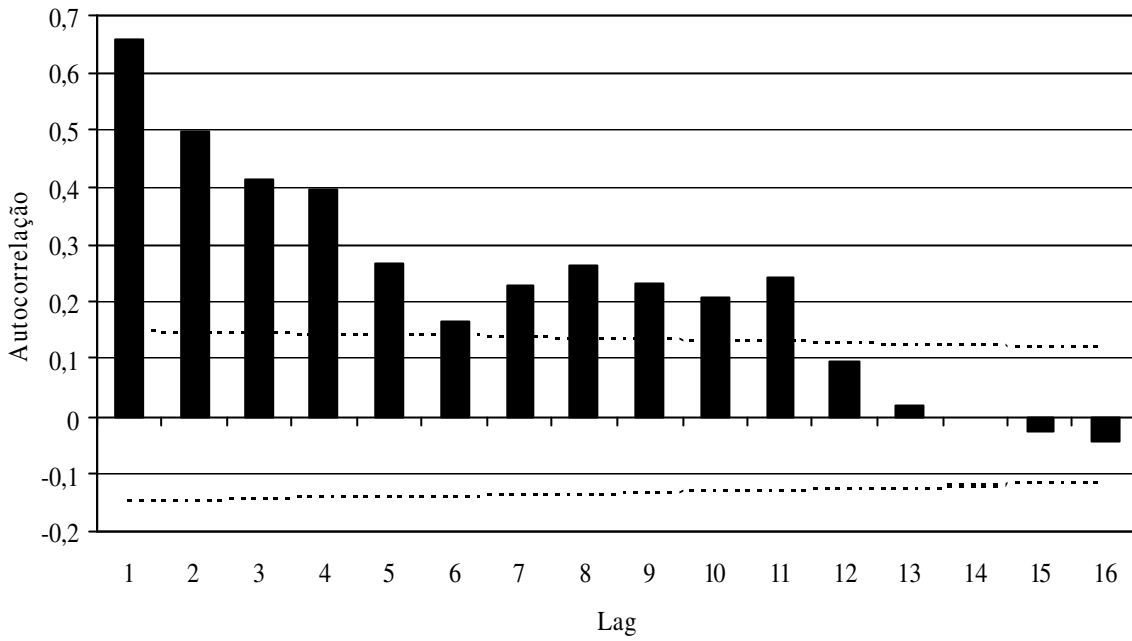


Figura 4.13. Autocorrelação da temperatura mínima do ar anual na cidade de Campinas Grande, no período de 1963 a 2004.

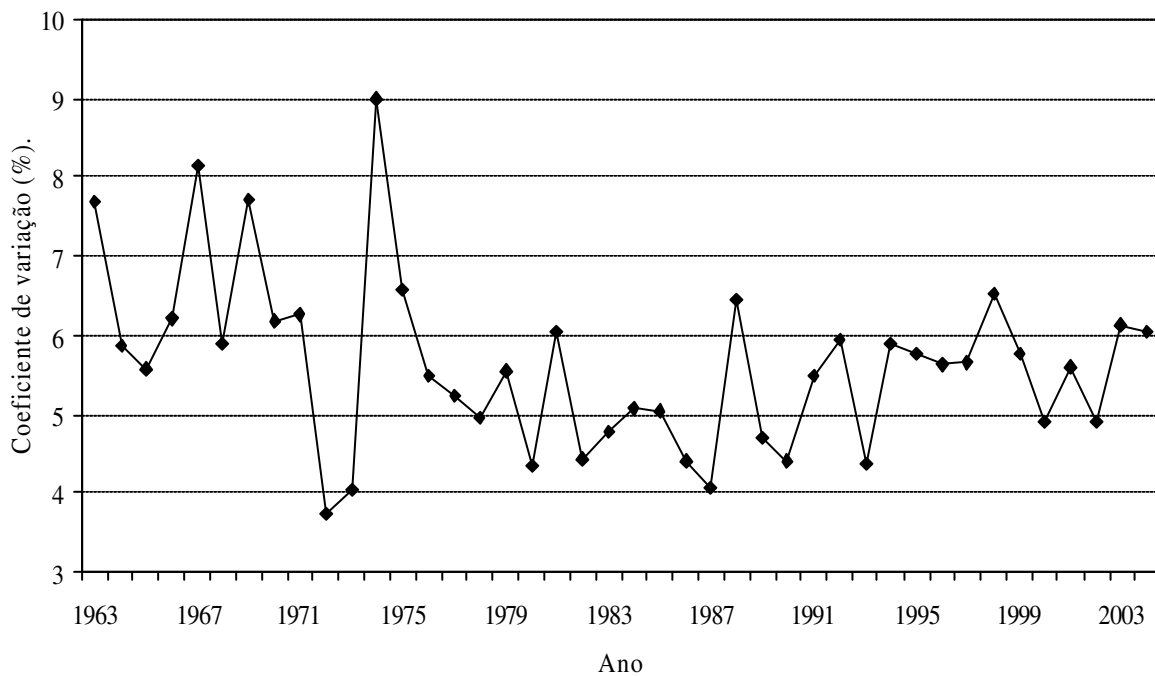


Figura 4.14. Variabilidade intra-anual da temperatura mínima do ar na cidade de Campinas Grande, no período de 1963 a 2004.

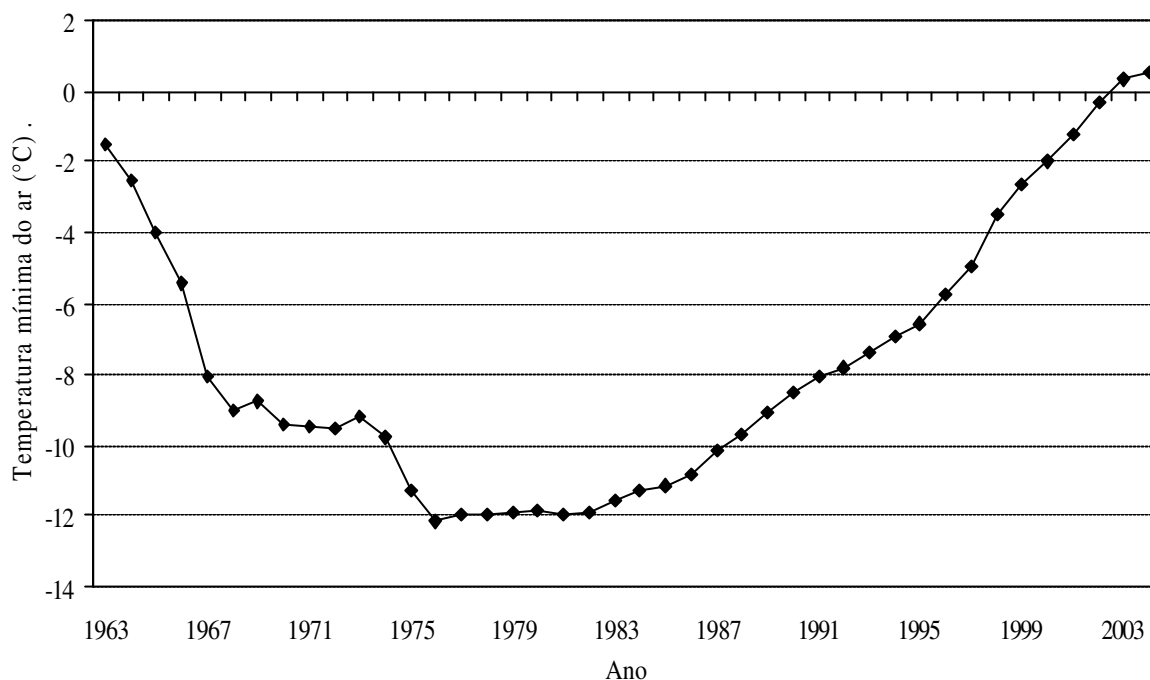


Figura 4.15. Desvios acumulados da temperatura mínima do ar anual em relação à sua média climatológica na cidade de Campina Grande, no período de 1963 a 2004.

Tabela 4.3. Parâmetros estatísticos da temperatura mínima do ar durante os períodos de pré-urbanização intensa (PRÉ-UI), pós-urbanização intensa (PÓS-UI) e período total (1963 a 2004) em Campina Grande. CV é o coeficiente de variação (%).

Parâmetros	PRÉ-UI	PÓS-UI	Período total
Média (°C) *	19,0	20,1	19,5
Desvio-padrão (°C)	0,80	0,30	0,83
Tendência (°C/ano) *	-	-	0,0531
Média CV ⁺ intra-anual (%) ^{ns}	5,82	5,40	5,63
CV anual (%)	4,20	1,49	4,25

* Diferença entre as médias (PRÉ-UI e PÓS-UI) e as tendências são estatisticamente significante ao nível de 1% de probabilidade pelos testes t-Student e Mann-Kendall, respectivamente.

** Diferença entre médias e tendência são estatisticamente significante ao nível de 5% de probabilidade pelos testes t-Student e Mann-Kendall, respectivamente.

^{ns} Diferença entre as médias (PRÉ-UI e PÓS-UI) e as tendências não são estatisticamente significante pelos testes t-Student e Mann-Kendall, respectivamente.

4.4. Temperatura média do ar

Tal como as temperaturas máxima e mínima do ar, a temperatura média do ar anual em Campina Grande apresenta tendência crescente bastante acentuada durante o período de estudo (Figura 4.16). Em todos os meses do ano, o período PÓS-UI foi mais quente do que no período PRÉ-UI (Figura 4.17). Isso é natural porque a tendência da série temporal é crescente. Entretanto, a temperatura média de qualquer mês no período PÓS-UI foi quase 1°C superior daquela do mesmo mês do período PRÉ-UI. A autocorrelação serial da temperatura média do ar também apresenta alta persistência, com coeficientes de autocorrelação positivos e significativos ao nível de 1% de probabilidade entre os “lags” 1 e 12 (Figura 4.18). A Figura 4.19 exhibe a variabilidade intra-anual da temperatura média do ar anual em Campina Grande. Observa-se que CV situa-se em torno de 5,5 % durante o período de estudo, com picos de máximo do período PRÉ-UI e de mínimos no período PÓS-UI. Por outro lado, o curso temporal dos desvios acumulados da temperatura média do ar em relação à sua média climatológica exhibe mudança abrupta na década de 80 (Figura 4.20). Os parâmetros estatísticos da temperatura média do ar em Campina Grande, nos três períodos analisadas, são exibidos na Tabela 4.4. Observa-se que as diferenças entre as médias de cada período são estatisticamente diferentes pelo teste t-Student. Os desvios-padrão são muito baixos e muito próximos. Entretanto, a tendência da temperatura do ar é crescente e estatisticamente significativa ao nível de 1% de probabilidade pelo teste de Mann-Kendall. A variabilidade intra-anual da temperatura média do ar também é muito baixa nos três períodos analisados, com valores de CVs entre 5 e 6%. O CV anual é menor ainda nos três períodos, com valores em torno de apenas 2%. Entretanto, os valores médios dos CVs anual e intra-anual do período PRÉ-UI foram sempre inferiores daqueles do período PÓS-UI. Entretanto, a diferença entre as médias dos valores dos CVs intra-aneais não são estatisticamente significantes.

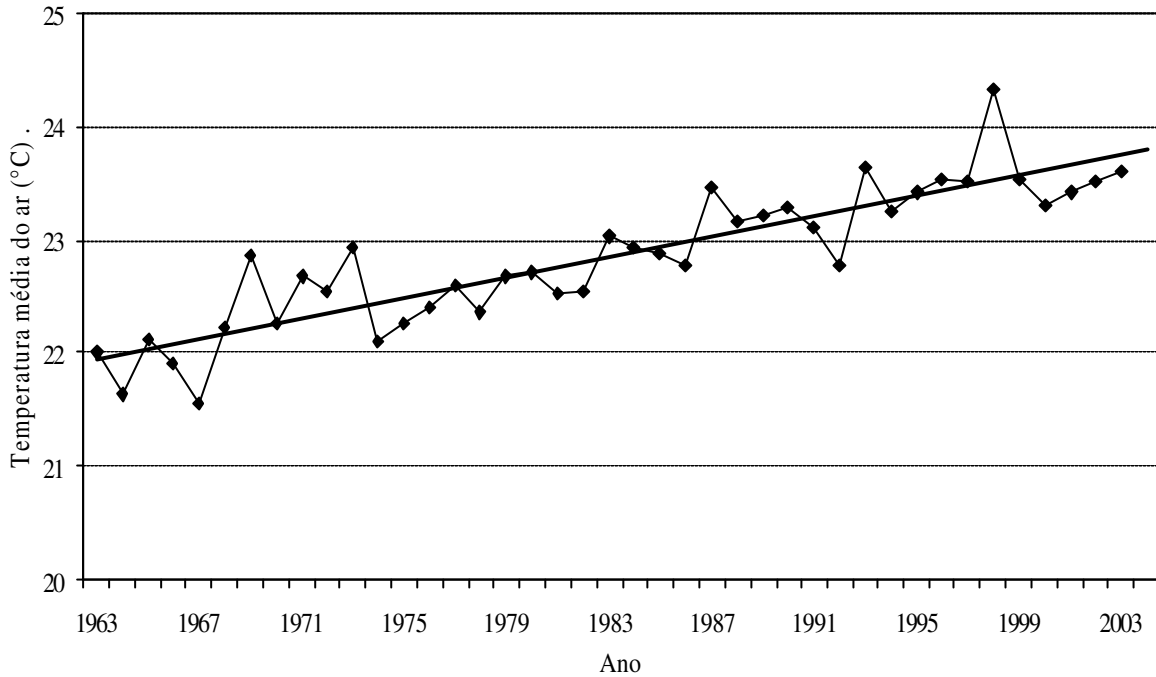


Figura 4.16. Tendência da temperatura média do ar anual na cidade de Campina Grande, no período 1963 a 2004.

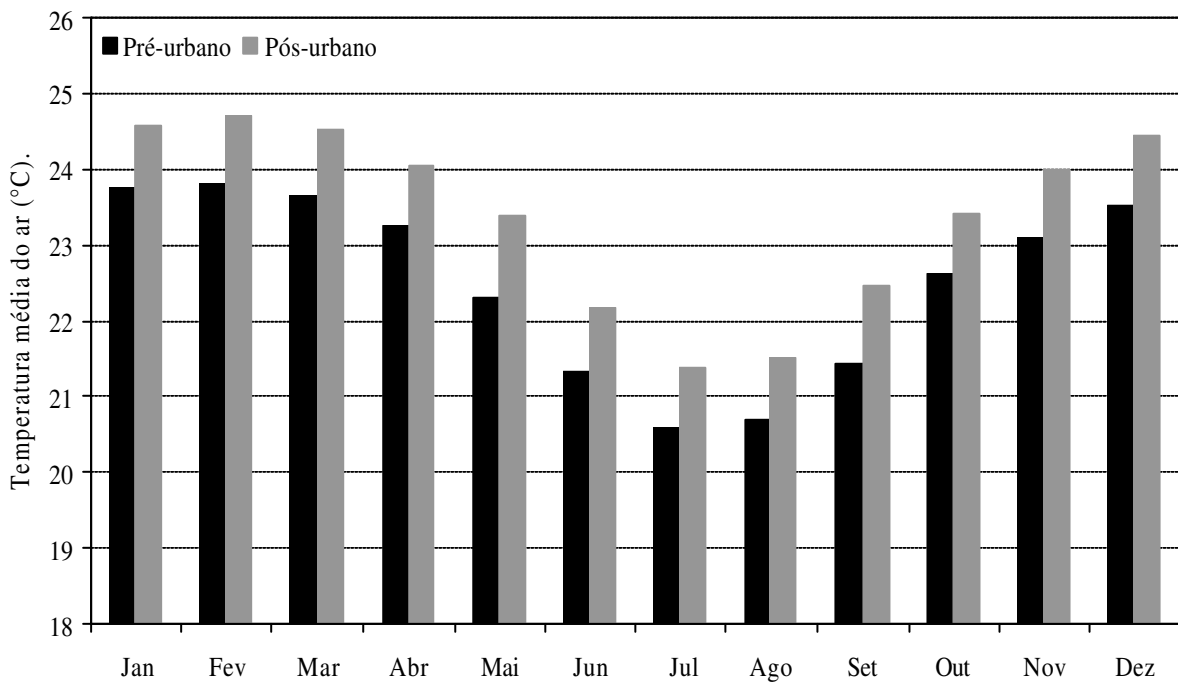


Figura 4.17. Médias mensais da temperatura média do ar na cidade de Campina Grande, no período pré-urbano (1963 a 1985) e pós-urbano (1986 a 2004).

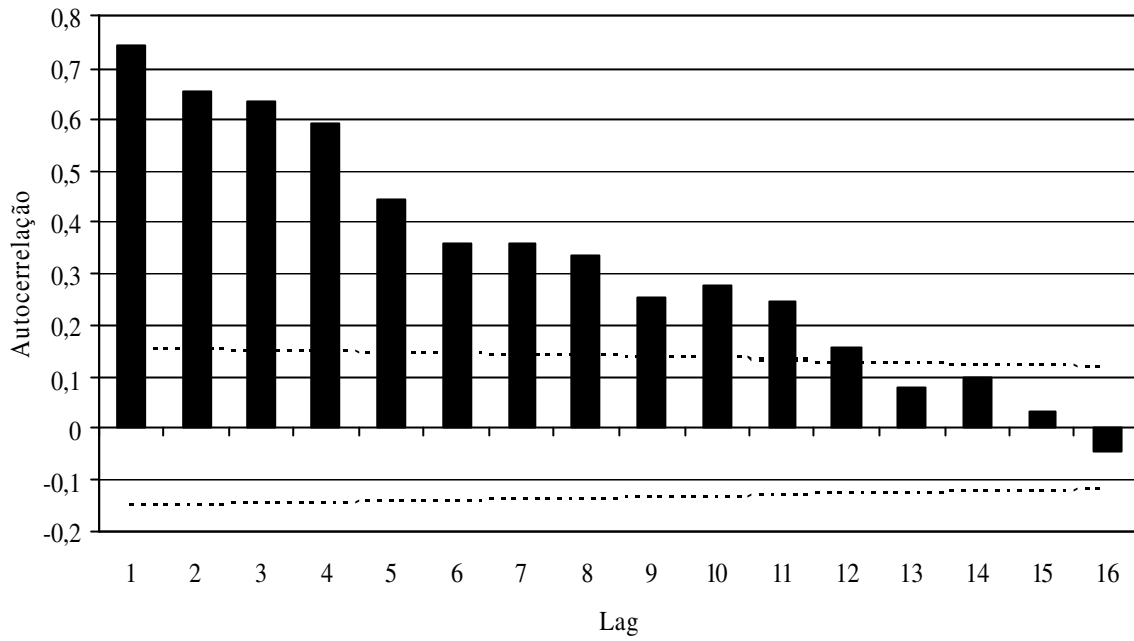


Figura 4.18. Autocorrelação da temperatura média do ar anual na cidade de Campina Grande, no período de 1963 a 2004.

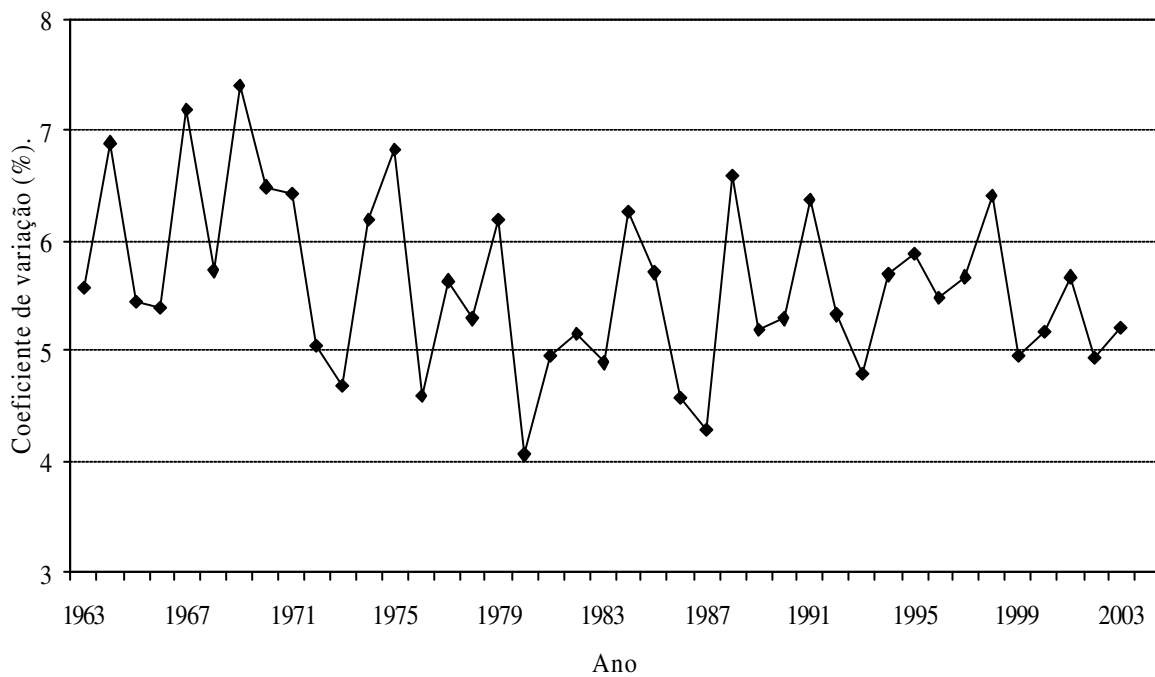


Figura 4.19. Variabilidade intra-anual da temperatura média do ar na cidade de Campina Grande, no período de 1963 a 2004.

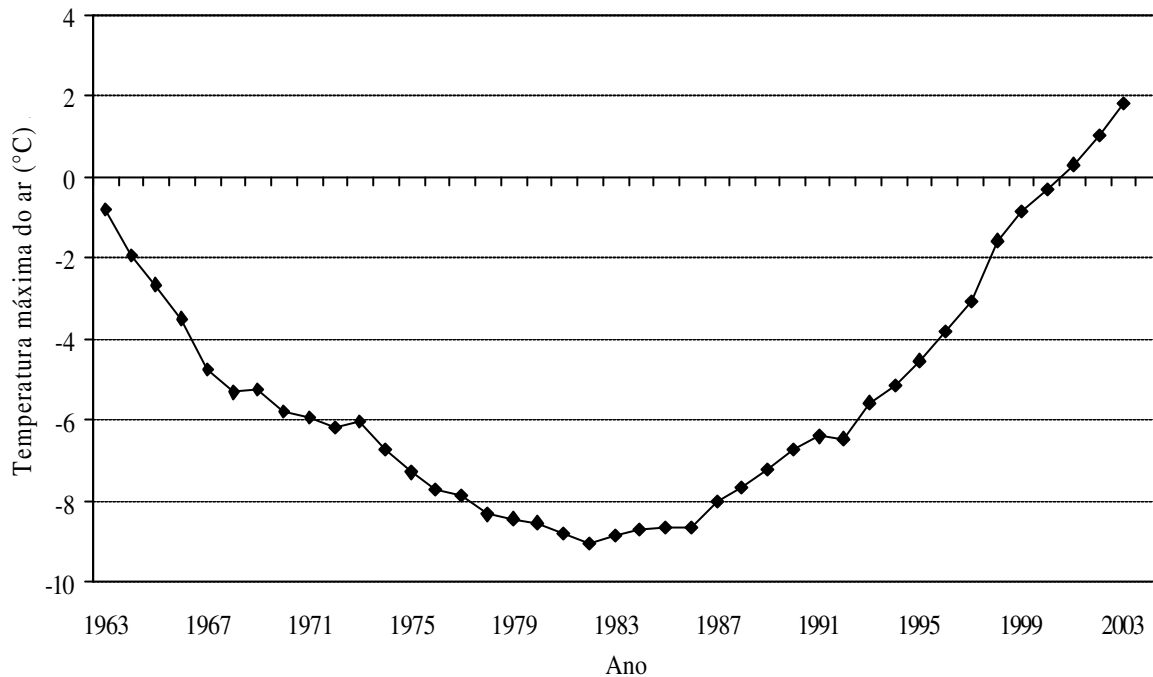


Figura 4.20. Desvios acumulados da temperatura média do ar anual acumulada na cidade de Campina Grande, no período de 1963 a 2004.

Tabela 4.4. Parâmetros estatísticos da temperatura média do ar durante os períodos de pré-urbanização intensa (PRÉ-UI), pós-urbanização intensa (PÓS-UI) e período total (1963 a 2004) em Campina Grande. CV é o coeficiente de variação (%).

Parâmetros	PRÉ-UI	PÓS-UI	Período total
Média (°C) *	22,4	23,4	22,8
Desvio-padrão (°C)	0,41	0,35	0,61
Tendência (°C/ano) *	-	-	0,0449
Média CV ⁺ intra-anual (%) ^{ns}	5,74	5,42	5,60
CV anual (%)	1,81	1,49	2,67

* Diferença entre as médias (PRÉ-UI e PÓS-UI) e as tendências são estatisticamente significante ao nível de 1% de probabilidade pelos testes t-Student e Mann-Kendall, respectivamente.

** Diferença entre médias e tendência são estatisticamente significante ao nível de 5% de probabilidade pelos testes t-Student e Mann-Kendall, respectivamente.

^{ns} Diferença entre as médias (PRÉ-UI e PÓS-UI) e as tendências não são estatisticamente significante pelos testes t-Student e Mann-Kendall, respectivamente.

4.5. Pressão atmosférica

A tendência temporal da pressão atmosférica média anual na cidade de Campina Grande é exibida na Figura 4.21. Observa-se comportamento crescente que, segundo o teste de Mann-Kendall, é estatisticamente significativo ao nível de 1% de probabilidade (Tabela 4.5). Obviamente, quando a tendência é crescente, especialmente quando significativa, os valores médios das variáveis do período PÓS-UI é sempre maior do que àqueles do período PRÉ-UI. Isso se verificou com a pressão atmosférica da cidade de Campina Grande. Entretanto a diferença é muito pequena, menor do que 1,0 hPa, exceto nos meses de julho, agosto, setembro e dezembro (Figura 4.22). Essa série temporal também exibe alta persistência, especialmente entre os “lags” 1 e 5. Nesse intervalo os coeficientes de autocorrelação são todos positivos e estatisticamente significantes ao nível de 5% de probabilidade.

A variabilidade intra-anual da pressão atmosférica na cidade de Campina Grande é exibida na Figura 4.24. Os coeficientes de variação variam em torno de 15%, com valores máximos de 21% no período PRÉ-UI. O curso temporal dos desvios acumulados da pressão atmosférica em relação à sua média climatológica não apresenta comportamento bem definido como o das variáveis anteriormente analisadas; entretanto, sugere mudança abrupta em torno da metade da série temporal (Figura 4.25). A Tabela 4.5 apresenta os parâmetros estatísticos da pressão atmosférica da cidade de Campina Grande. Observa-se que as diferenças entre as médias da pressão atmosférica, nos dois períodos analisados (PRÉ-UI e PÓS-UI), são estatisticamente diferentes pelo teste t-Student. Igualmente, a diferença entre as médias de CVs intra-anuais nos dois períodos são estatisticamente diferentes. As variabilidades anual e intra-anual, expressas em termos dos CVs, são muito baixas, chegando a ser inferior a 1%. Esses resultados asseguram que a pressão atmosférica em Campina Grande teve acréscimo de 2,2 hPa durante o período analisado.

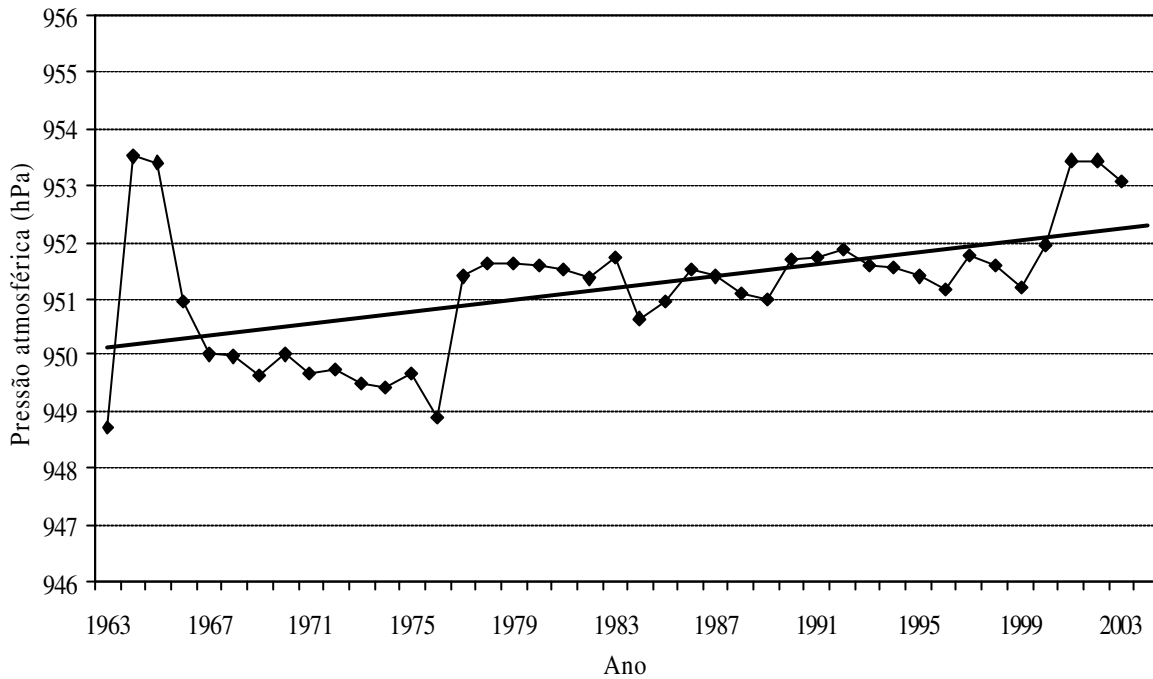


Figura 4.21. Tendência da pressão atmosférica média anual na cidade de Campina Grande, no período 1963-2004.

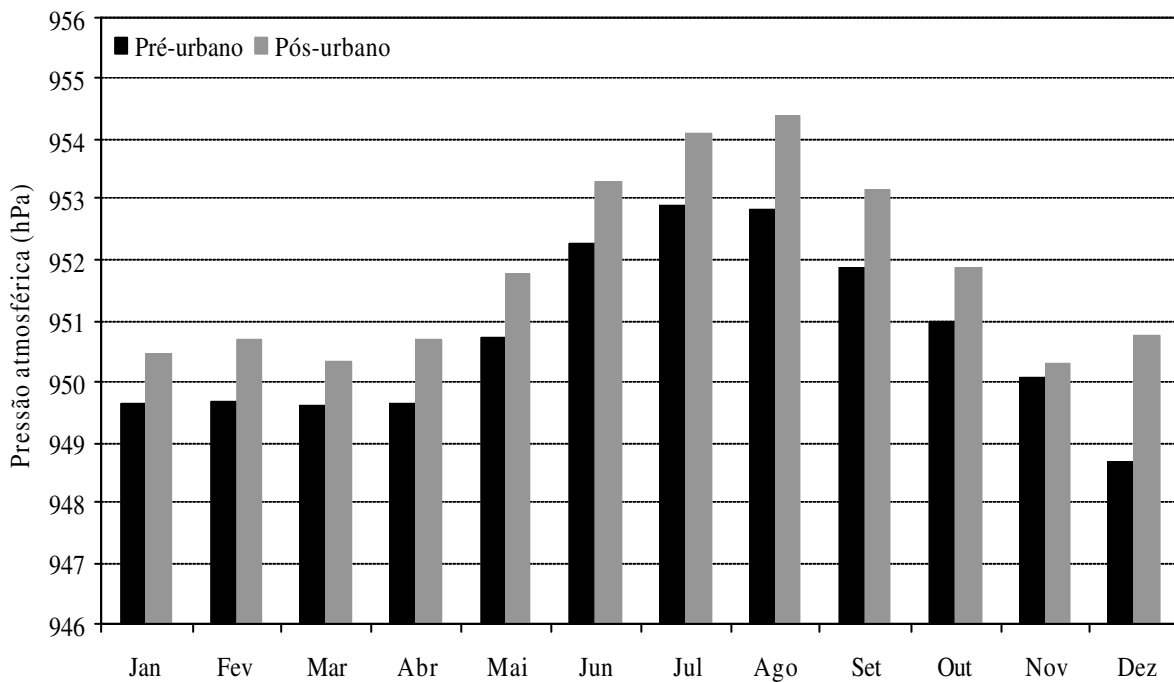


Figura 4.22. Médias mensais da pressão atmosférica na cidade de Campina Grande, no período pré-urbano (1963-1985) e pós-urbano (1986-2004).

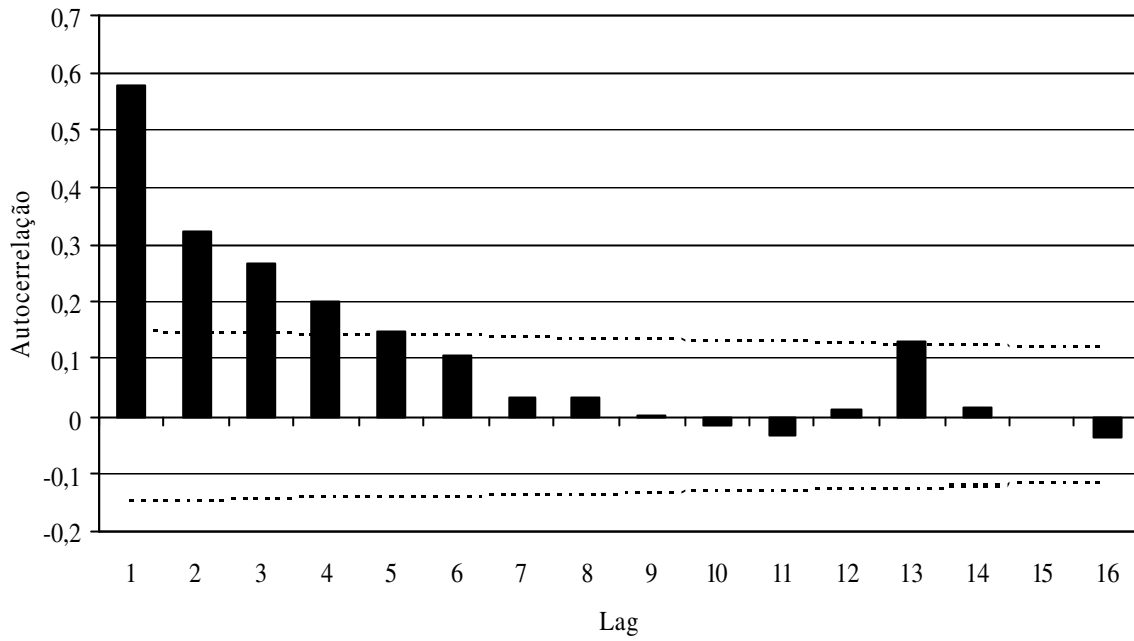


Figura 4.23. Autocorrelação da pressão atmosférica média anual na cidade de Campina Grande, no período de 1963-2004.

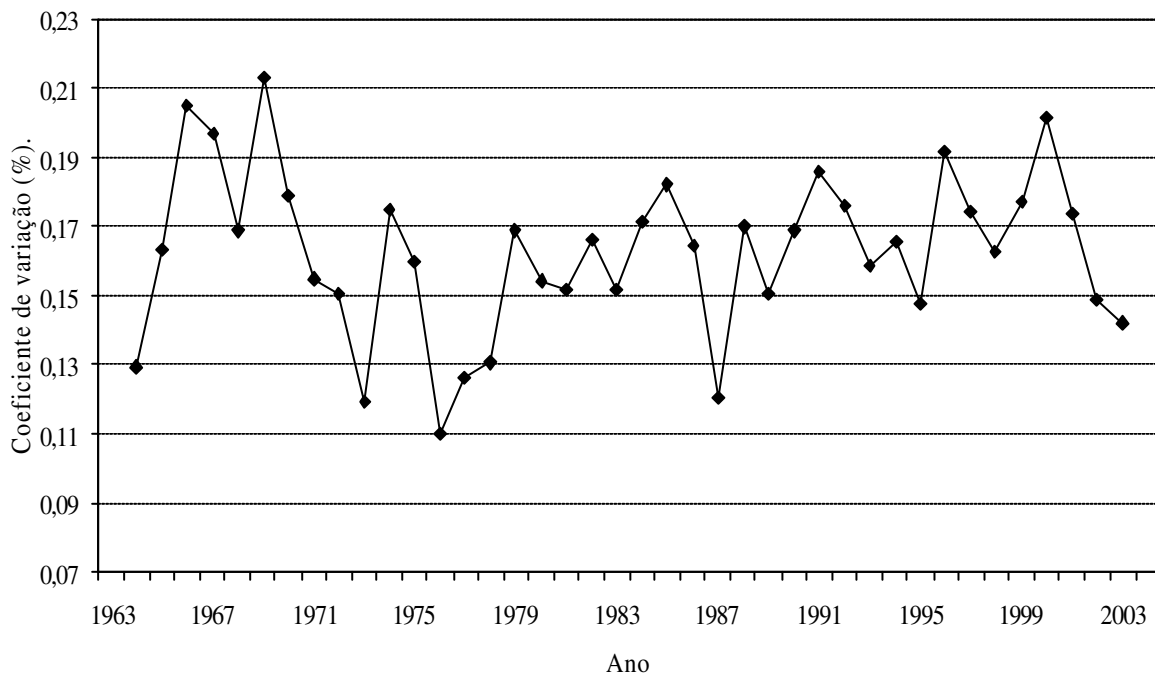


Figura 4.24. Variabilidade intra-anual da pressão atmosférica na cidade de Campina Grande, no período de 1963-2004.

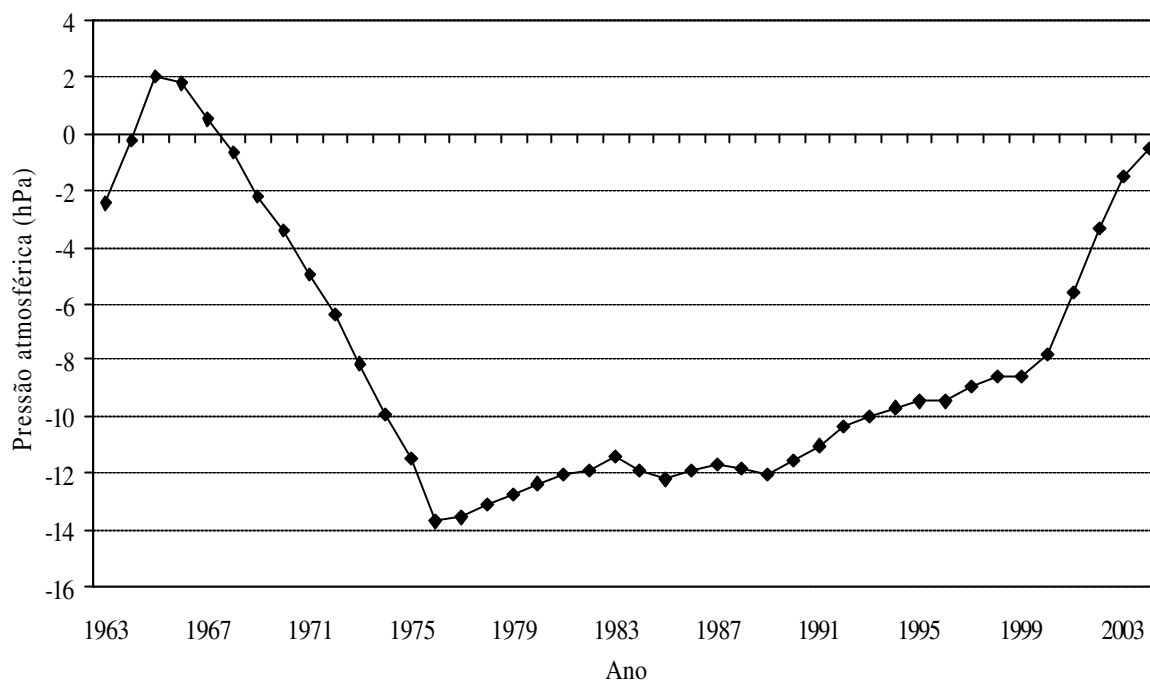


Figura 4.25. Desvios acumulados da pressão atmosférica em relação à sua média climatológica na cidade de Campina Grande, no período de 1963-2004.

Tabela 4.5. Parâmetros estatísticos da pressão atmosférica durante os períodos de pré-urbanização intensa (PRÉ-UI), pós-urbanização intensa (PÓS-UI) e período total (1963-2004) em Campina Grande. CV é o coeficiente de variação (%).

Parâmetros	PRÉ-UI	PÓS-UI	Período total
Média (hPa) *	950,7	951,8	951,2
Desvio-padrão (hPa)	1,28	0,75	1,21
Tendência (hPa /ano) *	-	-	0,0524
Média CV ⁺ intra-anual (%) *	0,16	0,17	0,16
CV anual (%)	0,13	0,08	0,13

* Diferença entre as médias (PRÉ-UI e PÓS-UI) e as tendências são estatisticamente significante ao nível de 1% de probabilidade pelos testes t-Student e Mann-Kendall, respectivamente.

** Diferença entre médias e tendência são estatisticamente significante ao nível de 5% de probabilidade pelos testes t-Student e Mann-Kendall, respectivamente.

^{ns} Diferença entre as médias (PRÉ-UI e PÓS-UI) e as tendências não são estatisticamente significante pelos testes t-Student e Mann-Kendall, respectivamente.

4.6. Umidade relativa do ar

A tendência da umidade relativa do ar na cidade de Campina Grande é exibida na Figura 4.26. Nela pode ser notado que há acentuada tendência decrescente no período estudado, da ordem de $-0,251\%/ano$. De acordo com o teste de Mann-Kendall, essa tendência é estatisticamente significativa ao nível de 1% de probabilidade. Assim, pode-se afirmar que a umidade relativa do ar em Campina Grande, durante o período de 42 anos, decresceu $10,5\%$. A umidade relativa do ar média no período PRÉ-UI é sempre menor do que os valores médios do período PÓS-UI, durante todos os meses do ano (Figura 4.27). Em resumo, esses resultados evidenciam os efeitos da urbanização intensa sobre o clima da cidade. Isso é mais evidente do que aparente porque o aumento da temperatura do ar foi acompanhado pelo acréscimo da umidade relativa. Resultados semelhantes foram obtidos por Silva (2004) em estudos realizados sobre a variabilidade climática no Nordeste do Brasil. Esse autor encontrou indícios de que Campina Grande, dentre outras cidades do Nordeste do Brasil, passa por forte processo de ressecamento ambiental. A umidade relativa do ar apresenta alta persistência, com valores de autocorrelação positivos e significativos entre os “lags” 1 e 11 (Figura 4.28). A variabilidade intra-anual oscila em torno do CV de 7% e apresenta comportamento estacionário ao longo do período de estudo (Figura 4.30). O curso temporal dos desvios acumulados da umidade relativa anual em relação à sua média climatológica também apresenta mudança abrupta em torno da metade do período de estudo (Figura 4.30). A diferença entre as médias da umidade relativa nos períodos PRÉ-UI e PÓS-UI é estatisticamente diferente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t-Student. Entretanto, a diferença entre as médias dos CVs dos períodos PRÉ-UI e PÓS-UI não é estatisticamente diferente, cujos valores variam entre 6 e 8% . Entretanto, a variabilidade anual expressa em termos do CV anual, é bem menor, em torno de 3 a 4% (Tabela 4.6).

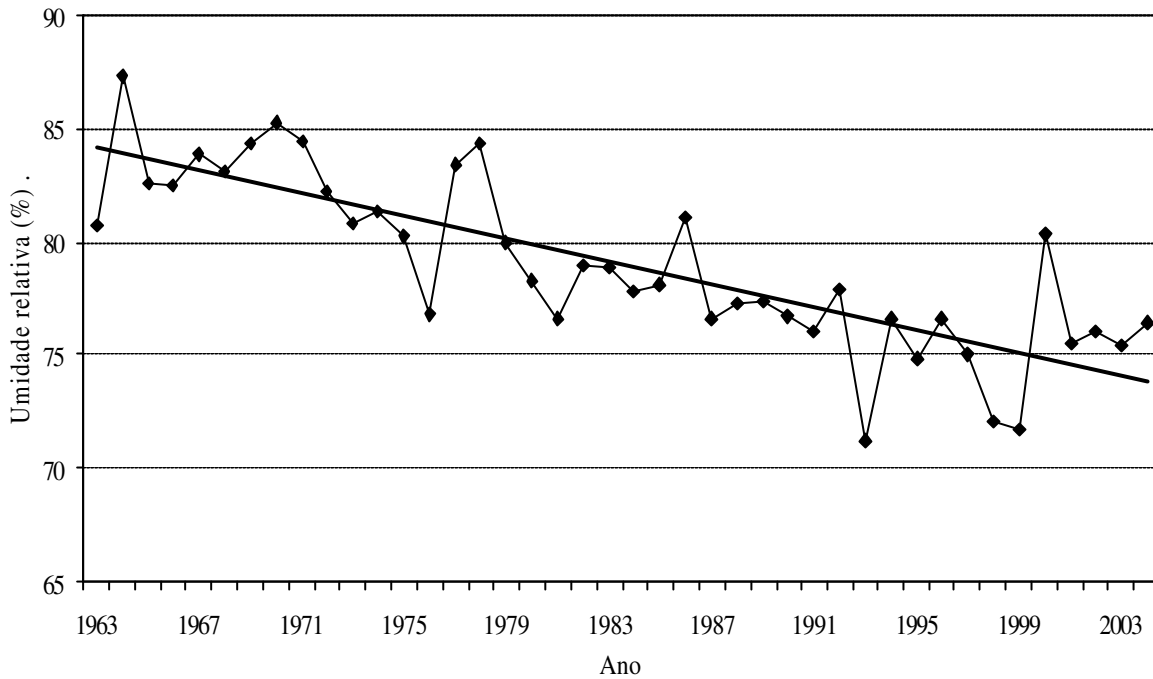


Figura 4.26. Tendência da umidade relativa média anual na cidade de Campina Grande, no período 1963-2004.

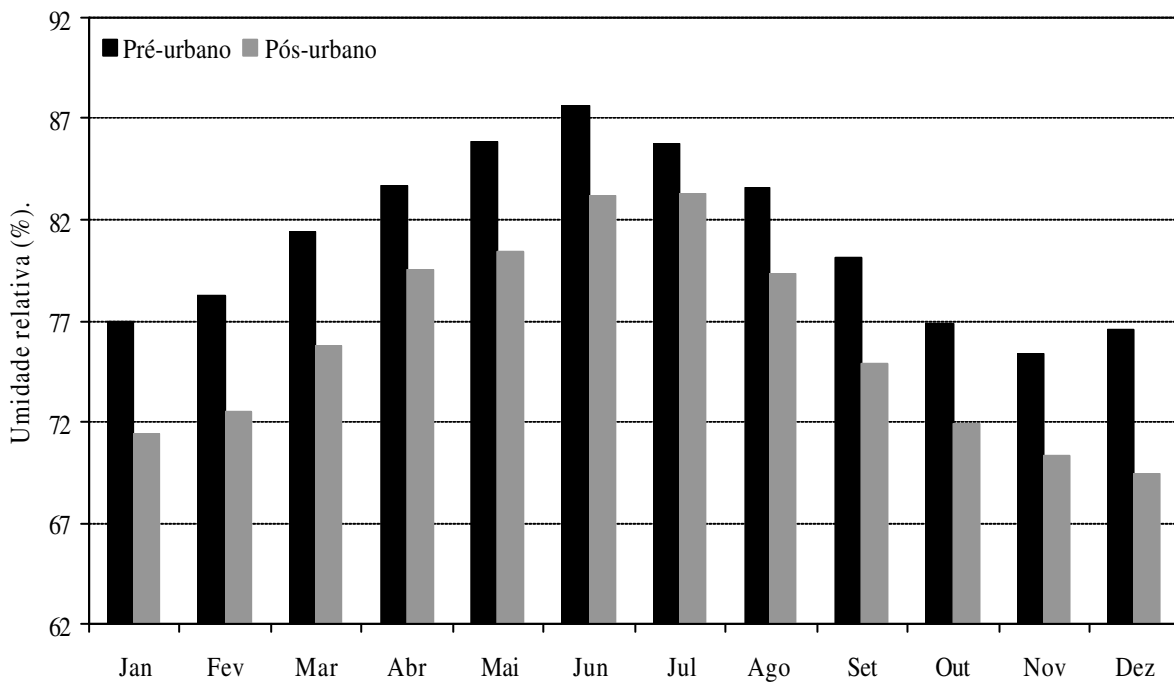


Figura 4.27. Médias mensais da umidade relativa na cidade de Campina Grande, no período pré-urbano (1963-1985) e pós-urbano (1986-2004).

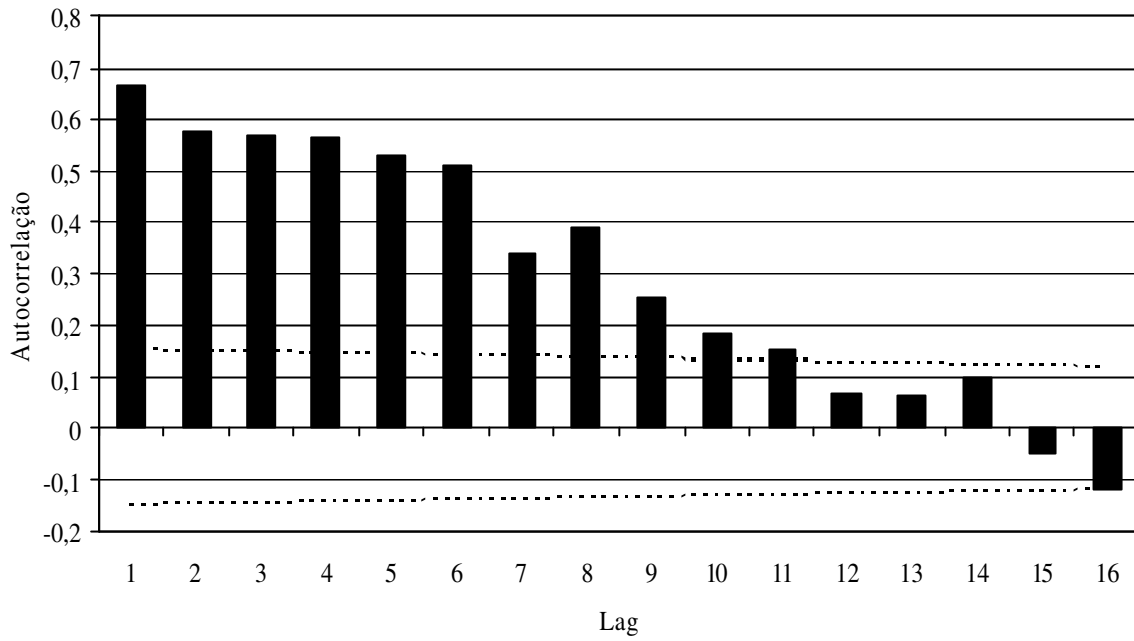


Figura 4.28. Autocorrelação da umidade relativa média anual na cidade de Campina Grande, no período de 1963-2004.

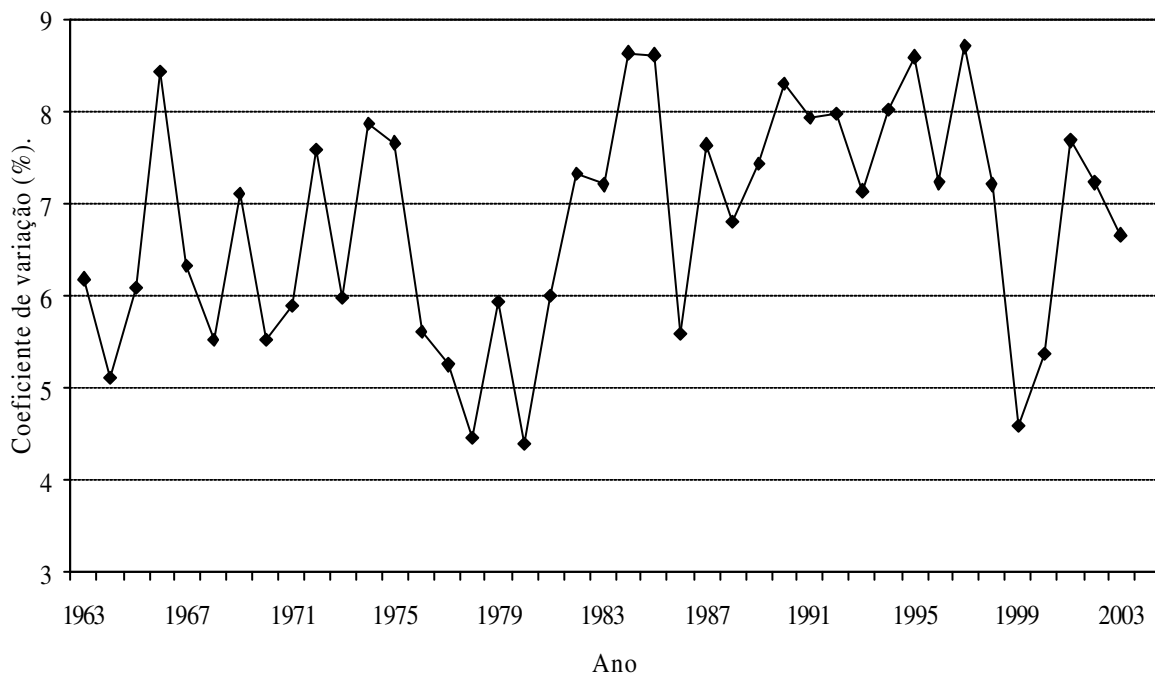


Figura 4.29. Variabilidade intra-anual da umidade relativa na cidade de Campina Grande, no período de 1963-2004.

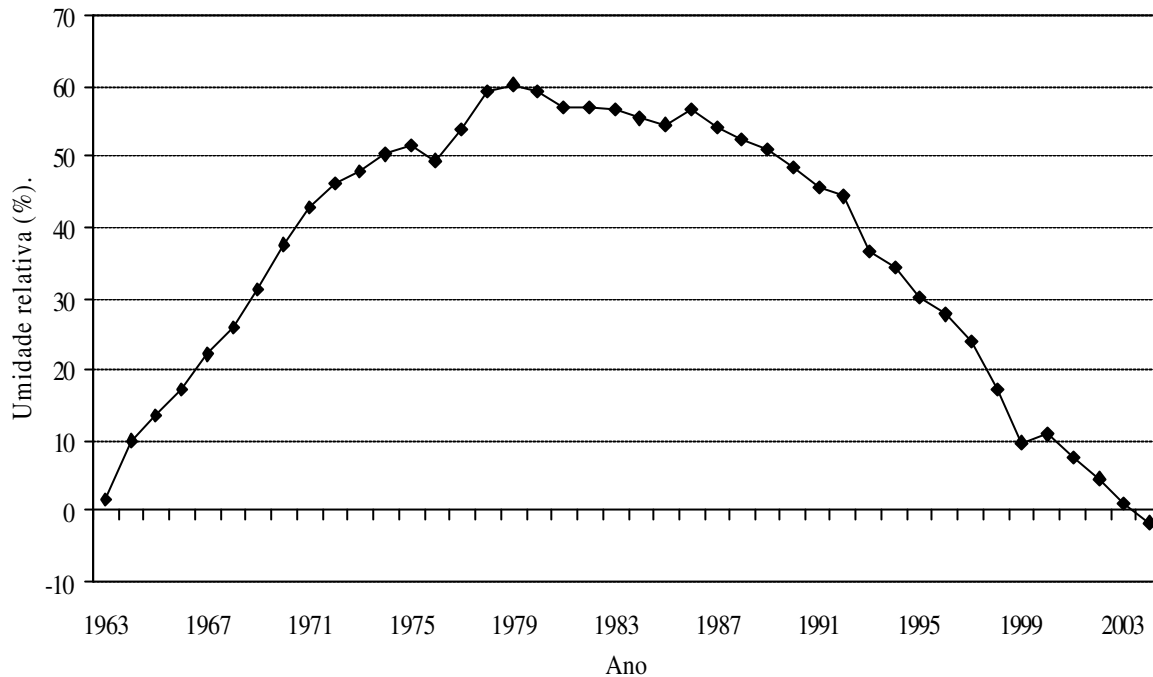


Figura 4.30. Desvios acumulados da umidade relativa em relação à sua média climatológica na cidade de Campina Grande, no período de 1963-2004.

Tabela 4.6. Parâmetros estatísticos da umidade relativa durante os períodos de pré-urbanização intensa (PRÉ-UI), pós-urbanização intensa (PÓS-UI) e período total (1963-2004) em Campina Grande. CV é o coeficiente de variação (%).

Parâmetros	PRÉ-UI	PÓS-UI	Período total
Média (%) ^{**}	81,4	76,0	79,0
Desvio-padrão (%)	2,91	2,50	3,81
Tendência (%/ano) [*]	-	-	-0,2514
Média CV ⁺ intra-anual (%) ^{ns}	6,47	7,22	6,80
CV anual (%)	3,58	3,29	4,83

* Diferença entre as médias (PRÉ-UI e PÓS-UI) e as tendências são estatisticamente significante ao nível de 1% de probabilidade pelos testes t-Student e Mann-Kendall, respectivamente.

** Diferença entre médias e tendência são estatisticamente significante ao nível de 5% de probabilidade pelos testes t-Student e Mann-Kendall, respectivamente.

^{ns} Diferença entre as médias (PRÉ-UI e PÓS-UI) e as tendências não são estatisticamente significante pelos testes t-Student e Mann-Kendall, respectivamente.

4.7. Evaporação do Tanque Classe “A”

O curso temporal da evaporação anual do Tanque Classe “A” apresenta comportamento estacionário ao longo do período de estudo (Figura 4.32) e Tabela 4.7. Os valores médios mensais da evaporação nos períodos PRÉ-UI e PÓS-UI apresentam padrão característico de séries temporais estacionárias, ou seja, às vezes a umidade relativa foi maior no período PRÉ-UI e em outra ocasião isso ocorria no período PÓS-UI. A evaporação não apresentou persistência nos primeiros “lags”, com coeficientes de autocorrelação significantes ao nível de 5% de probabilidade (Figura 4.33). Isso indica que a evaporação do Tanque Classe “A” tem natureza aleatória. Entretanto, essa série temporal apresenta coeficientes de autocorrelação significativos para “lags” superiores, ou seja, de ordem 11, 12 e 15. Essa série temporal apresentou alta variabilidade intra-anual, com CVs variando entre 20 e 50% ao longo do período de estudo (Figura 4.34).

O curso temporal dos desvios acumulados da umidade relativa em relação à sua média climatológica não apresentou comportamento bem definido, como nas outras variáveis analisadas, porque o período de estudo desta variável é diferente das outras (1977-2004). Entretanto, ela exibiu mudança abrupta exatamente no ano de 1985. Esse ano foi considerado como limite para definir as séries temporais PRÉ-UI e PÓS-UI. Na Tabela 4.7 observa-se que a diferença entre as médias dos períodos PRÉ-UI e PÓS-UI não foram estatisticamente significantes pelo teste t-Student. Entretanto, a diferença entre as médias dos CVs, desses dois períodos, também não foram estatisticamente significante pelo mesmo teste. A variabilidade intra-anual da evaporação do Tanque Classe “A” é maior do que a variabilidade anual. A média dos CVs intra-anual nos três períodos estudados variou em torno de 35%, enquanto a média dos CVs anual foi em torno de 15%. A tendência dessa variável não é estatisticamente significante de acordo com o teste de Mann-Kendall.

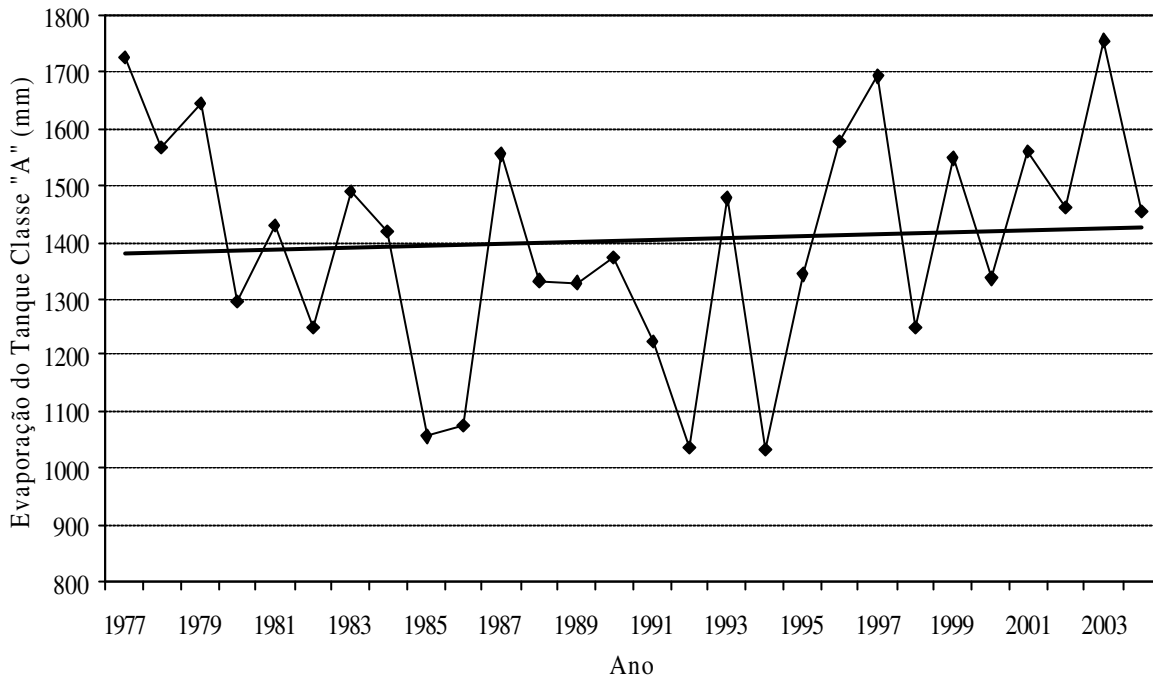


Figura 4.31. Tendência da evaporação anual do Tanque Classe “A” na cidade de Campina Grande, no período 1977-2004.

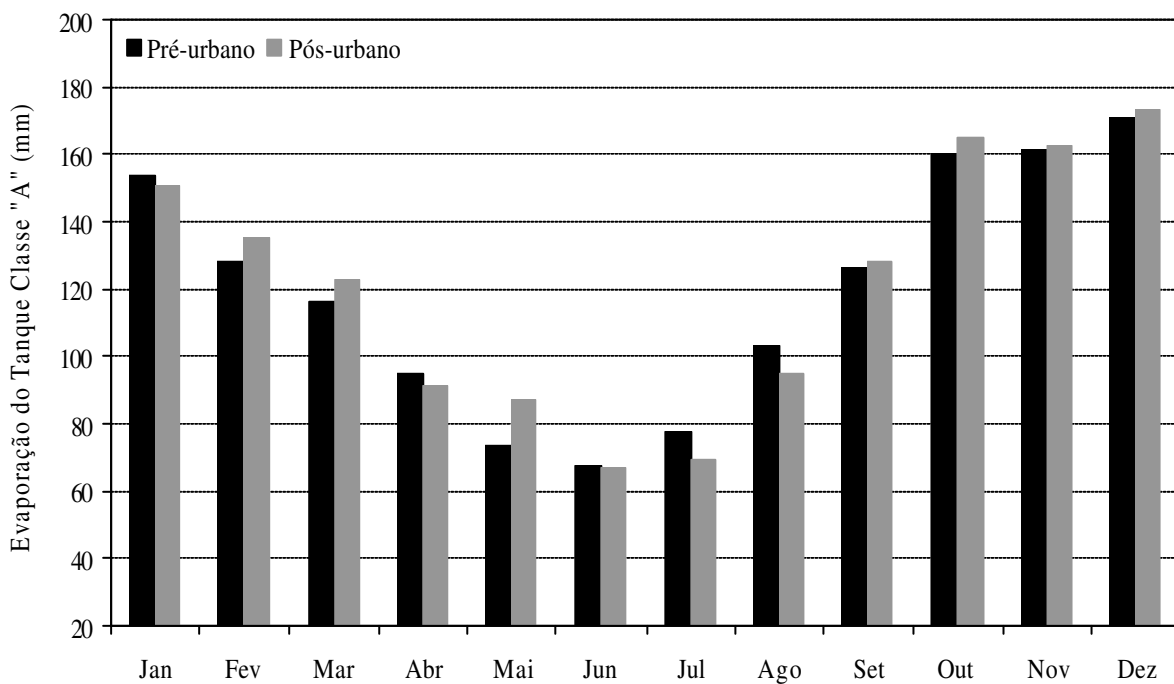


Figura 4.32. Médias mensais da evaporação do Tanque Classe “A” na cidade de Campina Grande, no período pré-urbano (1977-1985) e pós-urbano (1986-2004).

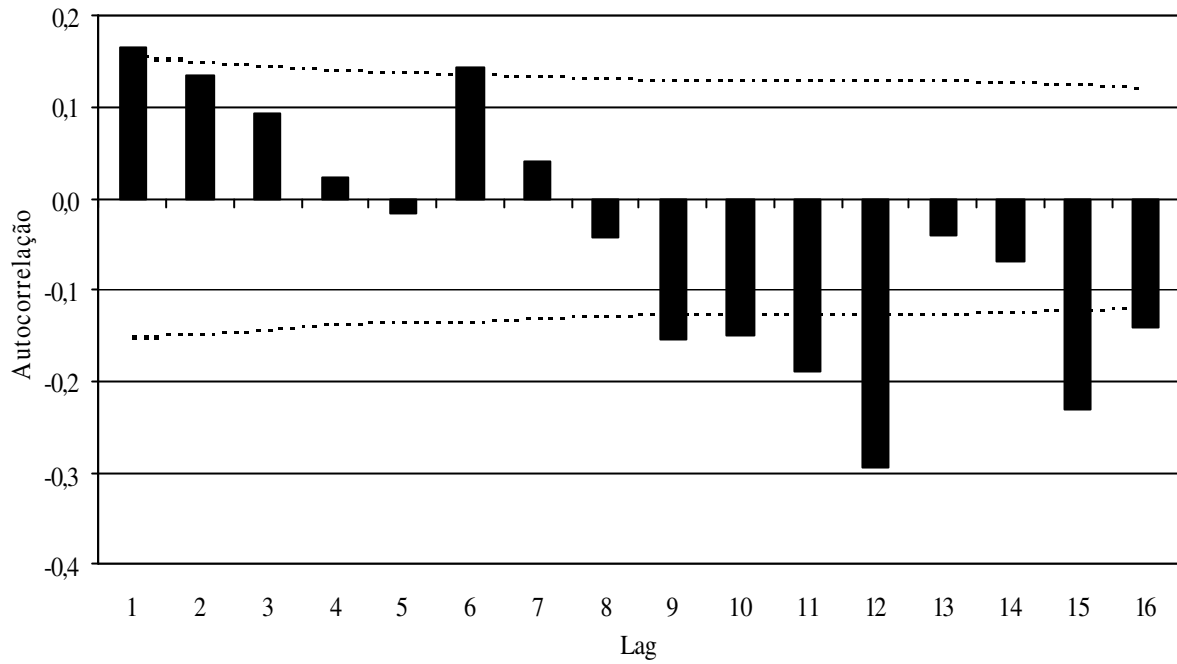


Figura 4.33. Autocorrelação da evaporação anual do Tanque Classe “A” na cidade de Campina Grande, no período de 1963-2004.

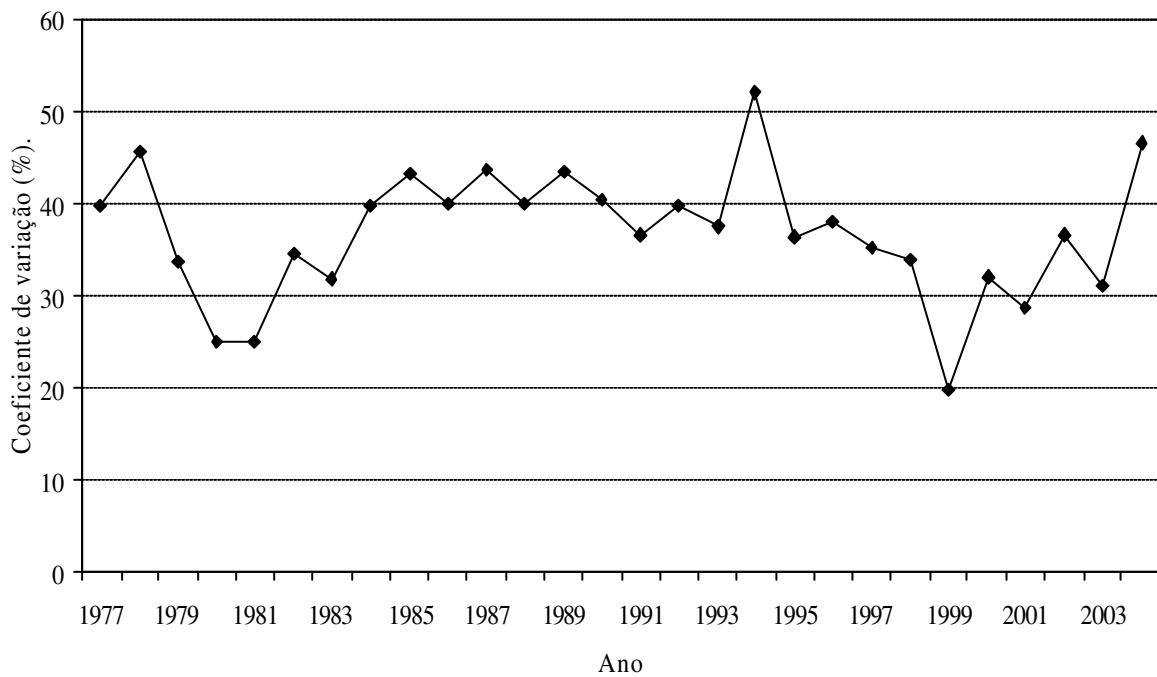


Figura 4.34. Variabilidade intra-anual da evaporação do Tanque Classe “A” na cidade de Campina Grande, no período de 1977-2004.

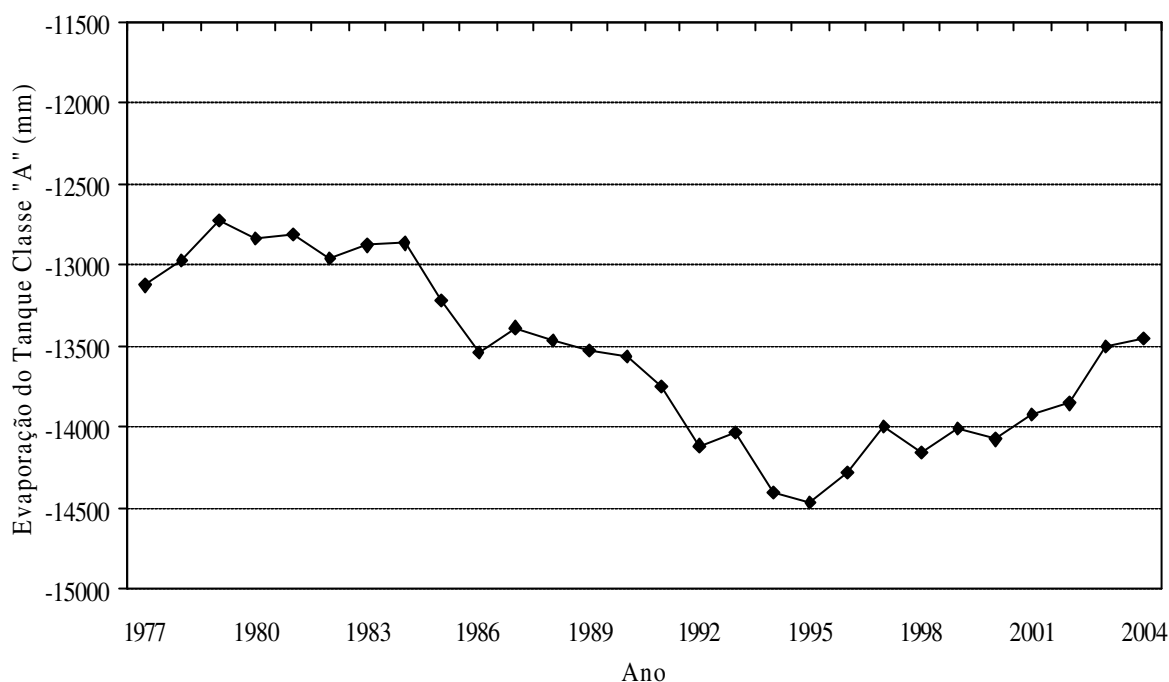


Figura 4.35. Desvios acumulados da evaporação do Tanque Classe “A” em relação à sua média climatológica na cidade de Campina Grande, no período de 1977-2004.

Tabela 4.7. Parâmetros estatísticos da evaporação do Tanque Classe “A” durante os períodos de pré-urbanização intensa (PRÉ-UI), pós-urbanização intensa (PÓS-UI) e período total (1963-2004) em Campina Grande. CV é o coeficiente de variação.

Parâmetros	PRÉ-UI	PÓS-UI	Período total
Média (mm) ^{ns}	1002,6	1389,9	1196,3
Desvio-padrão (mm)	545,5	206,4	451,7
Tendência (mm/ano) ^{ns}	-	-	-0,2710
Média CV ⁺ intra-anual (%) ^{ns}	35,35	37,45	36,78
CV anual (%)	14,55	14,85	14,54

* Diferença entre as médias (PRÉ-UI e PÓS-UI) e as tendências são estatisticamente significante ao nível de 1% de probabilidade pelos testes t-Student e Mann-Kendall, respectivamente.

** Diferença entre médias e tendência são estatisticamente significante ao nível de 5% de probabilidade pelos testes t-Student e Mann-Kendall, respectivamente.

^{ns} Diferença entre as médias (PRÉ-UI e PÓS-UI) e as tendências não são estatisticamente significante pelos testes t-Student e Mann-Kendall, respectivamente.

4.8. Velocidade do vento

A tendência temporal da velocidade do vento na cidade de Campina Grande é exibida na Figura 4.36. Observam-se valores crescentes ao longo do período de estudo, cuja tendência é estatisticamente significativa ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Mann-Kendall (tabela 4.8). Portanto, como a tendência é crescente, os valores médios da velocidade do vento durante todos os meses do ano no período PÓS-UI foram sempre superiores àqueles do período PRÉ-UI (Tabela 3.37). Durante o período de estudo a velocidade do vento aumentou 1,44 m/s. Por outro lado, os valores de autocorrelação evidenciam alta persistência da velocidade do vento nos três primeiros “lags”, os quais são positivos e estatisticamente significantes ao nível de 5% de probabilidade (Figura 4.38).

A Figura 4.39 exhibe o curso temporal da variabilidade intra-anual da velocidade do vento em Campina Grande. Exceto no período PRÉ-UI, que teve pico superior a 50%, os CVs variaram em torno de 13%. O curso temporal dos desvios acumulados da velocidade do vento em relação à sua média climatológica exhibe comportamento diferente daqueles exibidos pelas demais variáveis meteorológicas, ou seja, a mudança abrupta não ocorreu no meio da série temporal (Figura 4.40). A razão disso, possivelmente, deve-se a erros de observações durante o período PRÉ-UI, onde são encontrados valores muito próximos de zero, mais precisamente nos anos de 1973, 1974 e 1975. Na Tabela 4.8 encontram-se alguns parâmetros estatísticos da velocidade do vento em Campina Grande. A média da velocidade do vento no período PRÉ-UI foi 3,3 m/s, enquanto no período PÓS-UI foi de 3,8 m/s. A diferença entre esses valores é estatisticamente diferente pelo teste t-Student ao nível de 1% de probabilidade. A média da velocidade do vento no período total foi 3,5 m/s, com desvio-padrão de apenas 0,80 m/s. A média dos CVs no período PRÉ-UI foi 22,0 m/s, enquanto no período PÓS-UI foi de 13,0 m/s. A diferença entre essas médias, apesar de aparentemente grande, não são estatisticamente significativos pelo teste t-Student.

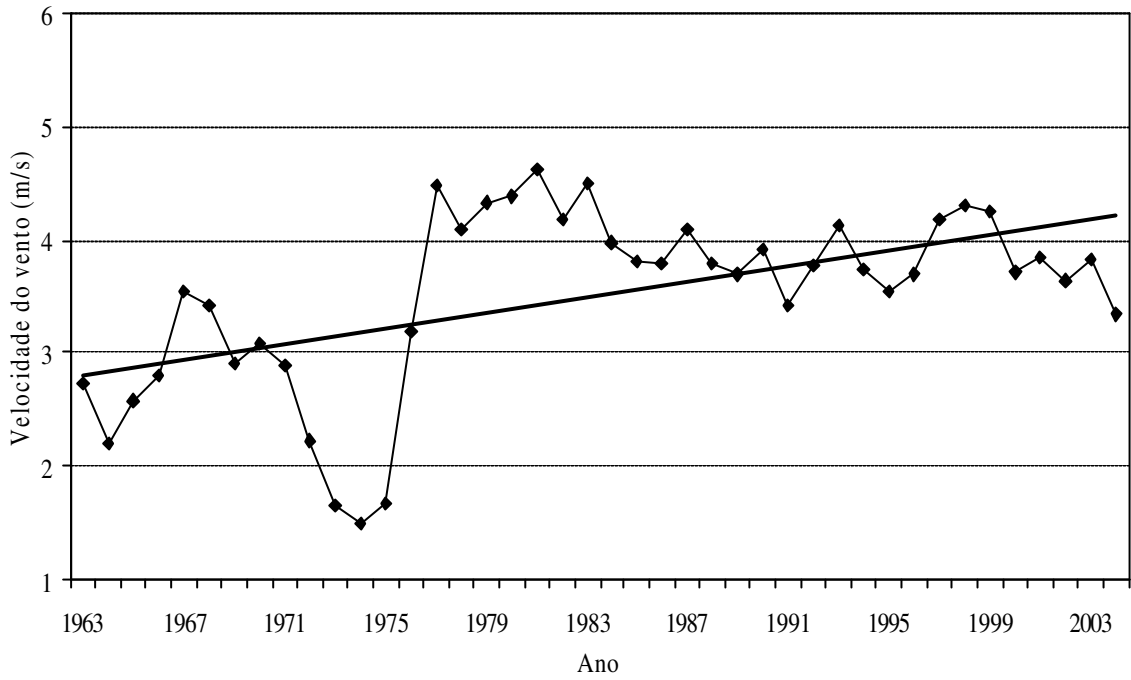


Figura 4.36. Tendência da velocidade do vento média anual na cidade de Campina Grande, no período 1963-2004.

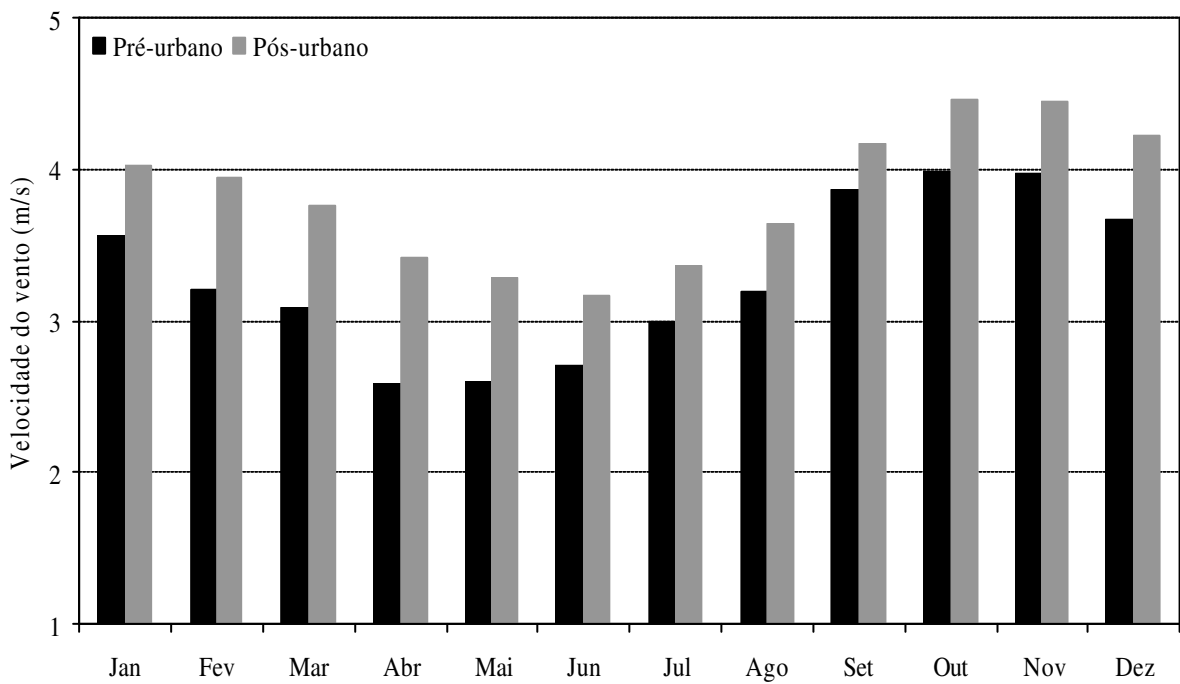


Figura 4.37. Médias mensais da velocidade do vento na cidade de Campina Grande, no período pré-urbano (1963-1985) e pós-urbano (1986-2004).

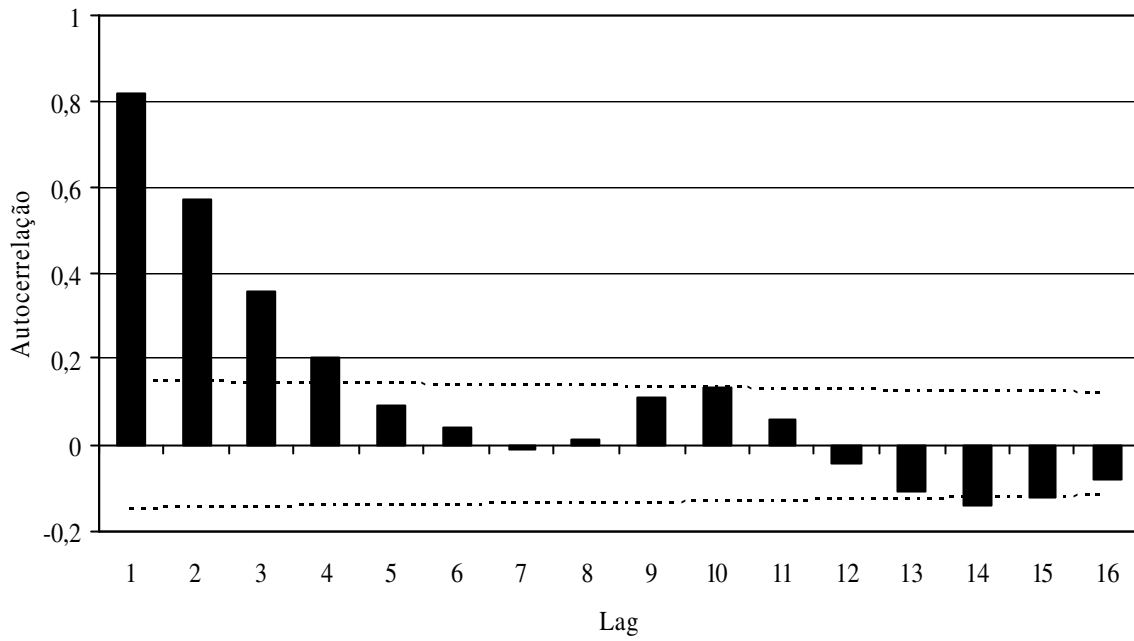


Figura 4.38. Autocorrelação da velocidade do vento média anual na cidade de Campina Grande, no período de 1963-2004.

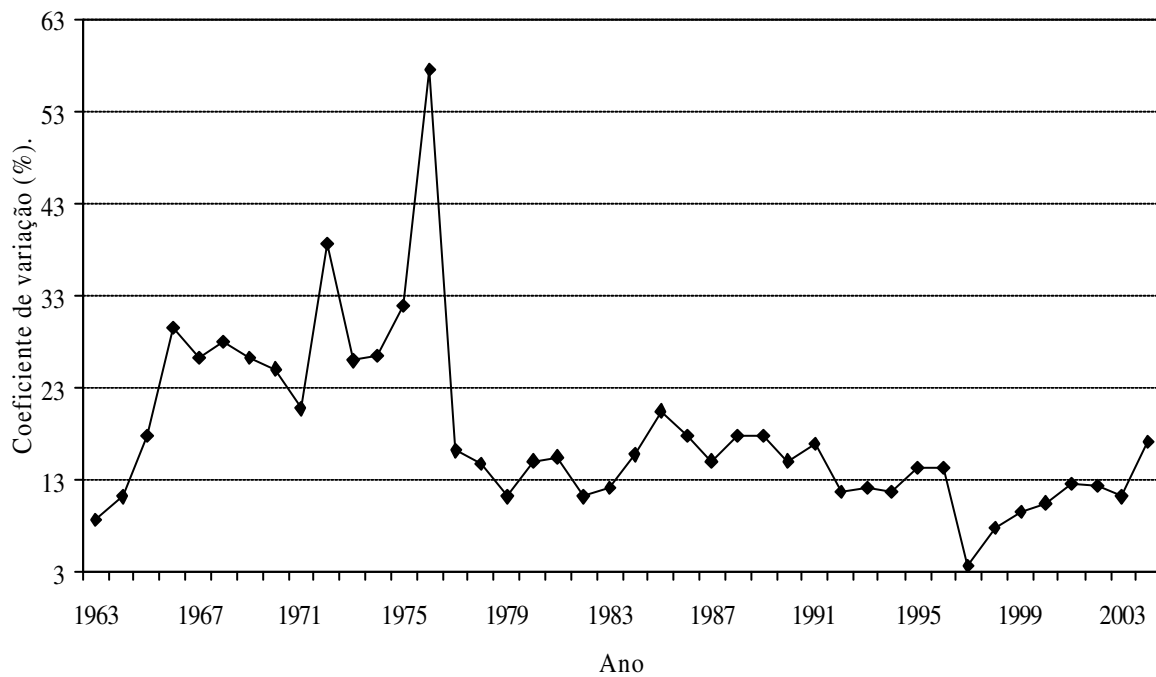


Figura 4.39. Variabilidade intra-anual da velocidade do vento na cidade de Campina Grande, no período de 1963-2004.

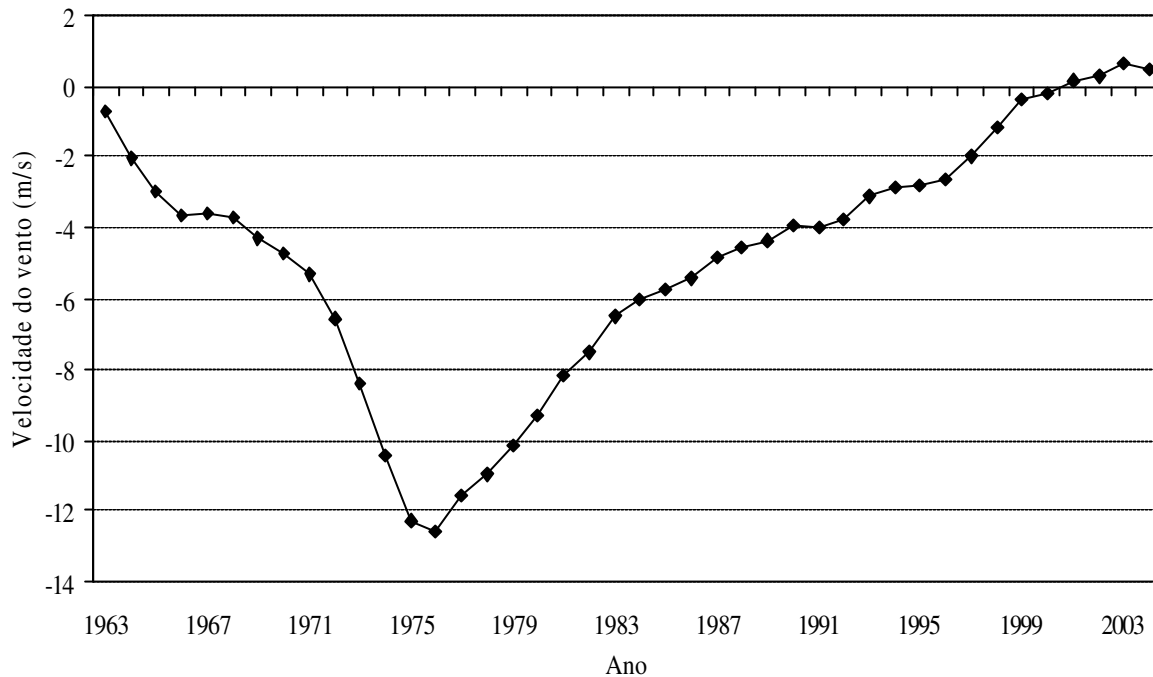


Figura 4.40. Desvios acumulados da velocidade do vento em relação à sua média climatológica na cidade de Campina Grande, no período de 1963-2004.

Tabela 4.8. Parâmetros estatísticos da velocidade do vento durante os períodos de pré-urbanização intensa (PRÉ-UI), pós-urbanização intensa (PÓS-UI) e período total (1963-2004) em Campina Grande. CV é o coeficiente de variação (%).

Parâmetros	PRÉ-UI	PÓS-UI	Período total
Média (m/s)*	3,3	3,8	3,5
Desvio-padrão (m/s)	0,98	0,27	0,80
Tendência (m/s/ano)**	-	-	0,0342
Média CV ⁺ intra-anual (%)*	22,01	13,09	17,97
CV anual (%)	30,24	7,00	22,67

* Diferença entre as médias (PRÉ-UI e PÓS-UI) e as tendências são estatisticamente significante ao nível de 1% de probabilidade pelos testes t-Student e Mann-Kendall, respectivamente.

** Diferença entre médias e tendência são estatisticamente significante ao nível de 5% de probabilidade pelos testes t-Student e Mann-Kendall, respectivamente.

^{ns} Diferença entre as médias (PRÉ-UI e PÓS-UI) e as tendências não são estatisticamente significante pelos testes t-Student e Mann-Kendall, respectivamente.

4.9. Insolação

A insolação anual em Campina Grande apresentou acentuada tendência crescente ao longo do período estudado (Figura 4.41), que de acordo com o teste Mann-Kendall é estatisticamente significativa ao nível de 1% de probabilidade (Tabela 4.9). De acordo com a linha de tendência os valores variam de aproximadamente 195 horas de sol no ano de 1963 a 215 horas no final do período de estudo. Os valores médios mensais de insolação foram maiores no período PÓS-UI do que no período PRÉ-UI, exceto no mês de julho (Figura 4.42). Por outro lado, a Figura 4.43 exibe a autocorrelação da insolação em Campina Grande, com valores positivos na maioria dos “lags”. Essa série temporal apresenta persistência com valores de autocorrelação estatisticamente significantes nos primeiros seis “lags”.

A variabilidade intra-anual da insolação em Campina Grande durante o período estudado é apresentada na Figura 4.44. Observa-se que essa variável meteorológica apresenta valores de CVs em torno de 23% e um máximo de 43% no ano de 1967. O curso temporal dos desvios acumulados da insolação em relação à sua média climatológica é exibido na Figura 4.45. A inspeção dessa figura revela que houve mudança abrupta na série temporal em 1985.

A Tabela 4.9 exibe alguns parâmetros estatísticos da insolação na cidade de Campina Grande. A média da insolação no período PRÉ-UI foi 203 horas e no período PÓS-UI foi de 217,8 horas. A diferença entre essas médias é estatisticamente diferente pelo teste t-Student ao nível de 1% de probabilidade. De acordo com essa tabela, durante o período de estudo a insolação em Campina Grande aumentou menos de uma hora. Os desvios-padrão das três séries temporais analisadas (PRÉ-UI, PÓS-UI e total) foram, respectivamente, 10,34; 13,84 e 14,16 horas. Por outro lado, as médias dos CVs intra-anual nos períodos PRÉ-UI e PÓS-UI foram, respectivamente, 22,4 e 22,07 horas.

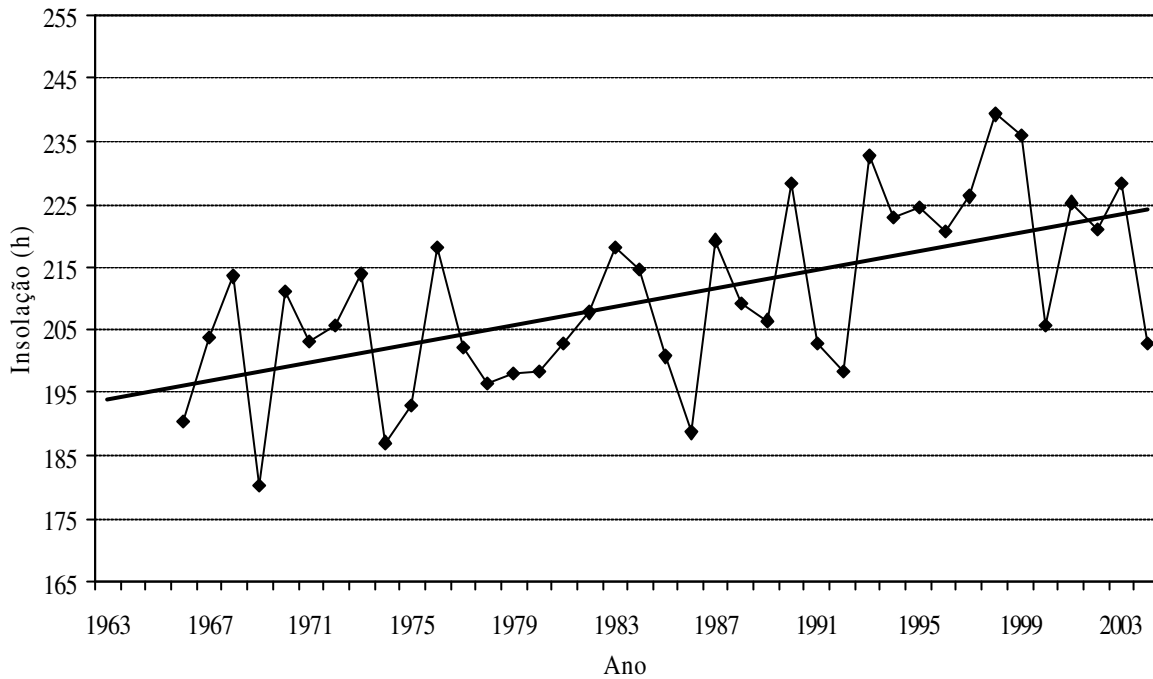


Figura 4.41. Tendência da insolação média anual na cidade de Campina Grande, no período 1963-2004.

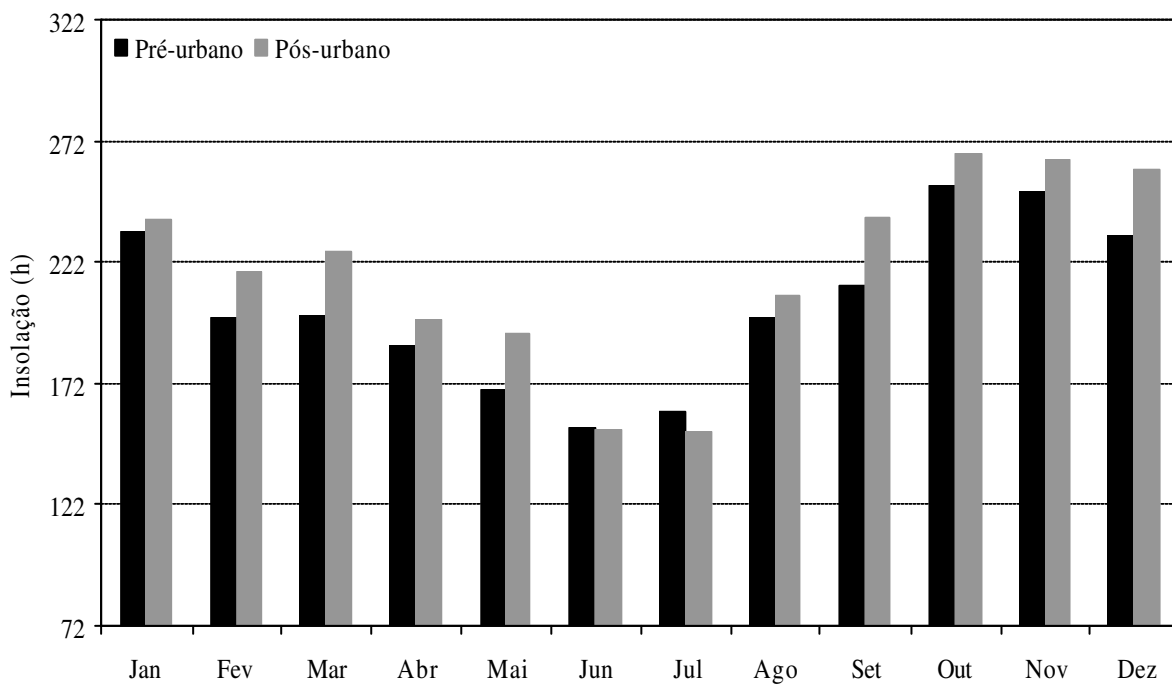


Figura 4.42. Médias mensais da insolação na cidade de Campina Grande, no período pré-urbano (1963-1985) e pós-urbano (1986-2004).

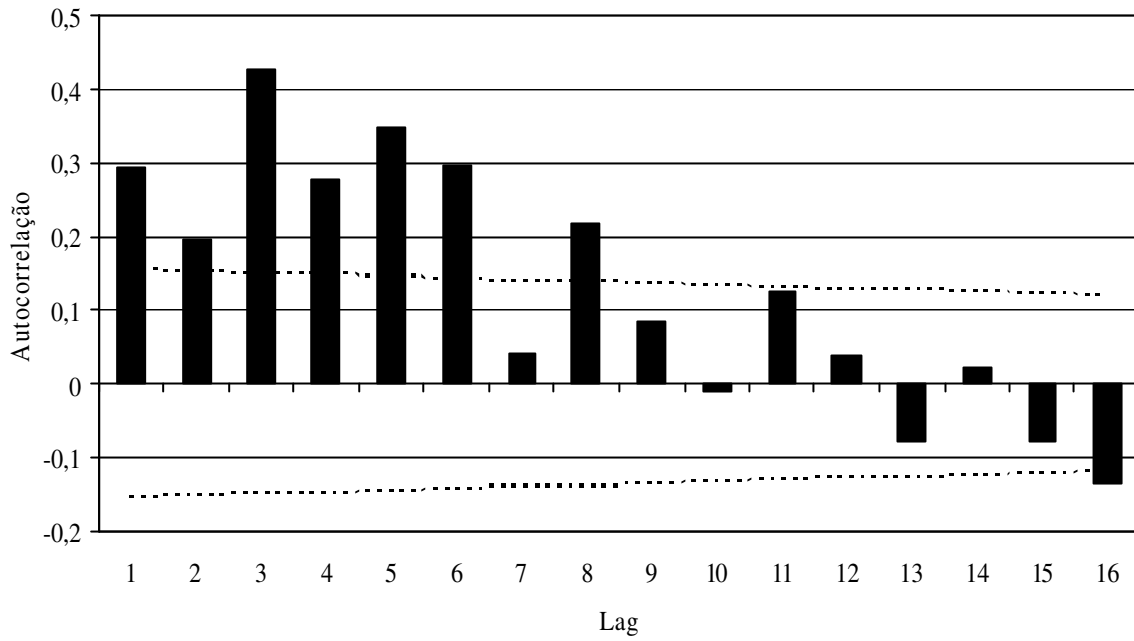


Figura 4.43. Autocorrelação da insolação média anual na cidade de Campina Grande, no período de 1963-2004.

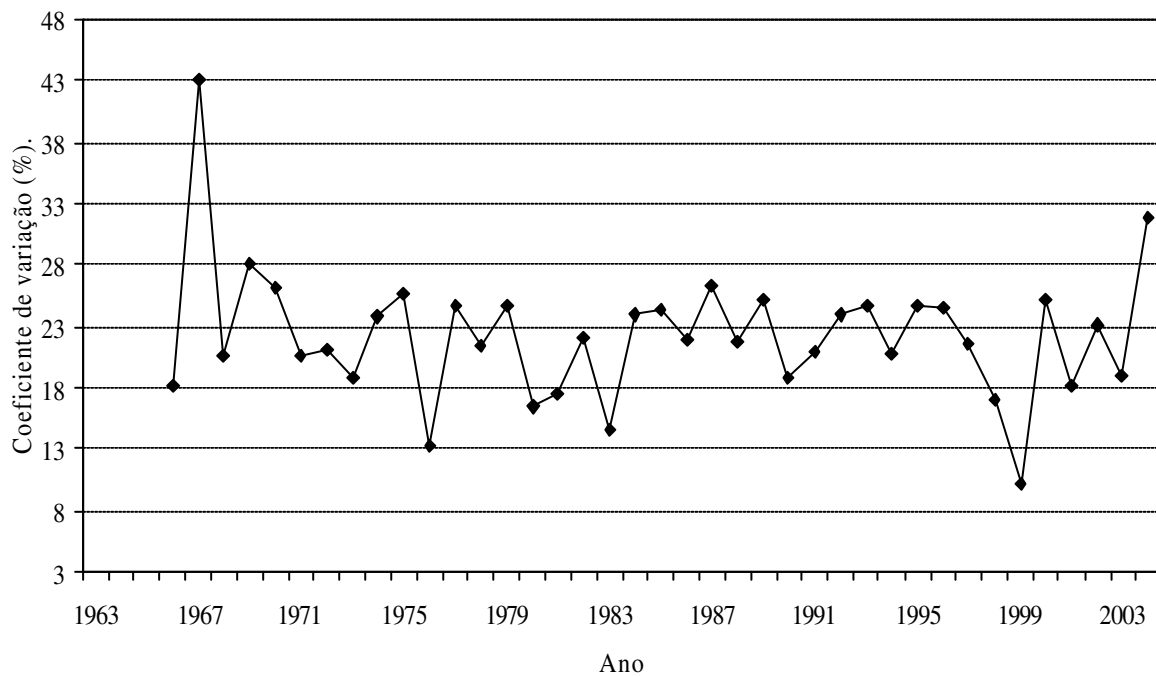


Figura 4.44. Variabilidade intra-anual insolação na cidade de Campina Grande, no período de 1963-2004.

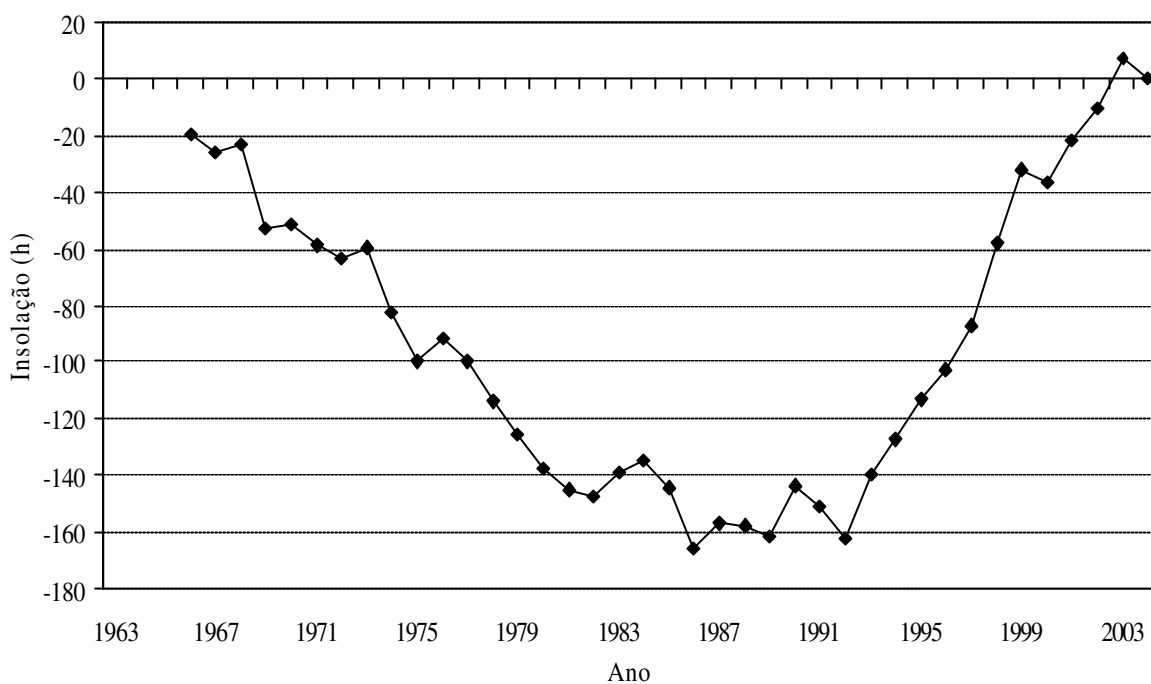


Figura 4.45. Desvios acumulados da insolação em relação à sua média climatológica na cidade de Campina Grande, no período de 1963-2004.

Tabela 4.9. Parâmetros estatísticos da insolação anual durante os períodos de pré-urbanização intensa (PRÉ-UI), pós-urbanização intensa (PÓS-UI) e período total (1963-2004) em Campina Grande. CV é o coeficiente de variação (%).

Parâmetros	PRÉ-UI	PÓS-UI	Período total
Média (h) ^{ns}	203,0	217,80	210,20
Desvio-padrão (h)	10,34	13,84	14,16
Tendência (h/ano) *	-	-	0,6602
Média CV ⁺ intra-anual (%) ^{ns}	22,44	22,07	22,26
CV anual (%)	5,10	6,35	6,73

* Diferença entre as médias (PRÉ-UI e PÓS-UI) e as tendências são estatisticamente significante ao nível de 1% de probabilidade pelos testes t-Student e Mann-Kendall, respectivamente.

** Diferença entre médias e tendência são estatisticamente significante ao nível de 5% de probabilidade pelos testes t-Student e Mann-Kendall, respectivamente.

^{ns} Diferença entre as médias (PRÉ-UI e PÓS-UI) e as tendências não são estatisticamente significante pelos testes t-Student e Mann-Kendall, respectivamente.

4.10. Índice UNEP (P/ETp)

Observa-se na Figura 4.46 que o comportamento temporal do índice UNEP que é estacionário, sem nenhuma tendência estatisticamente significativa pelo teste de Mann-Kendall. De acordo com a Tabela 4.10 essa tendência foi de apenas 0,0015. Pode ser visto na Figura 4.47 que o índice UNEP exibe valores alternados nos períodos PRÉ-UI e PÓS-UI, sem nenhuma consistência, como nos casos de séries temporais de outras variáveis meteorológicas já analisadas. A persistência dessa série temporal também é bastante variada, com valores de autocorrelação positivos e negativos e significantes ao nível de 5% de probabilidade, principalmente nos primeiros “lags” (Figura 4.48) Por outro lado, o índice UNEP apresenta alta variabilidade intra-anual durante o período analisado, com valores de CVs superiores a 140%, como no caso do ano de 1993. O comportamento da variabilidade intra-anual do índice UNEP é semelhante àquele da precipitação pluviométrica (Figura 4.4). Ou seja, a precipitação pluviométrica e o índice UNEP são as variáveis atmosféricas de maior variabilidade. A razão disso é que o índice UNEP tem dependência direta com a precipitação pluviométrica. O comportamento temporal dos desvios acumulados do índice UNEP em relação à sua média climatológica é apresentado na Figura 4.50. Observa-se mudança abrupta nessa série temporal no ano de 1985. De acordo com a Tabela 4.10, as médias do índice UNEP nos períodos PRÉ-UI e PÓS-UI foram 7,4 e 7,5, respectivamente. A diferença entre essas médias não é estatisticamente significativa pelo teste t-Student. Os valores médios dos CVs intra-anual nos períodos PRÉ-UI e PÓS-UI foram 90,76 e 101,53, respectivamente. A diferença entre essas médias também não é estatisticamente significativa pelo teste t-Student. O índice UNEP na cidade de Campina Grande tem variabilidade intra-anual extremamente alta, superior a 100%, como é o caso da média do período PÓS-UI. A variabilidade anual do índice UNEP é bem menor do que a variabilidade intra-anual. As médias dos CVs anuais foi cerca de 20 a 30% das médias dos CVs intra-anual.

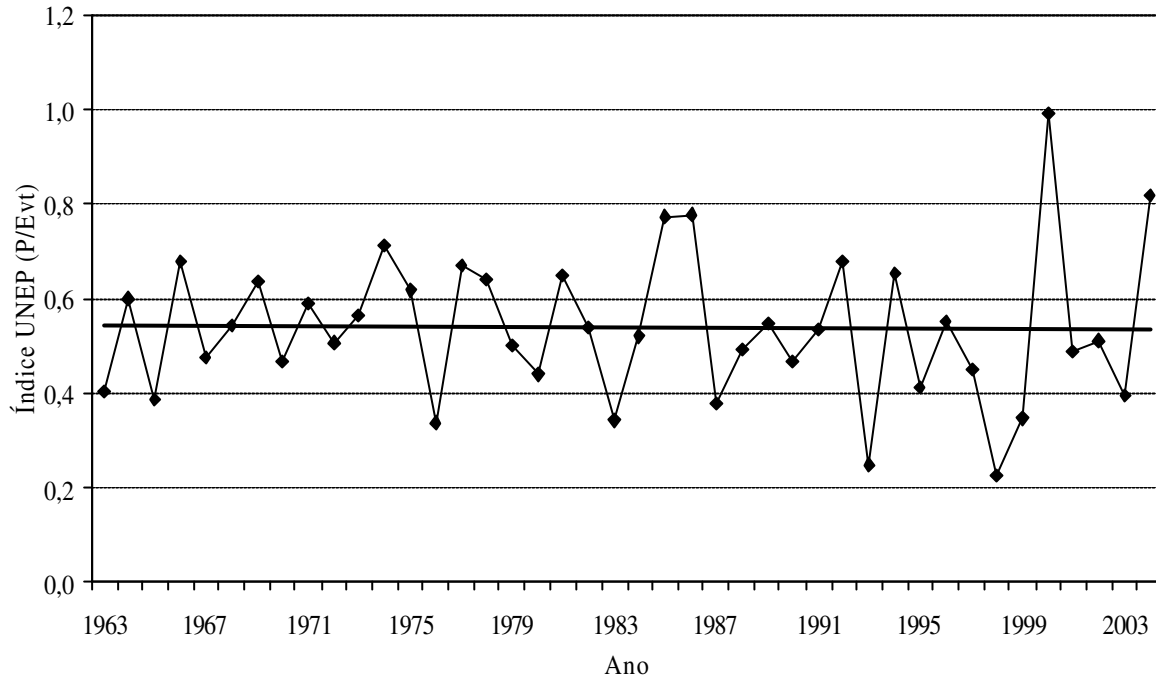


Figura 4.46. Tendência do índice UNEP (P/ETp) na cidade de Campina Grande, no período 1963-2004.

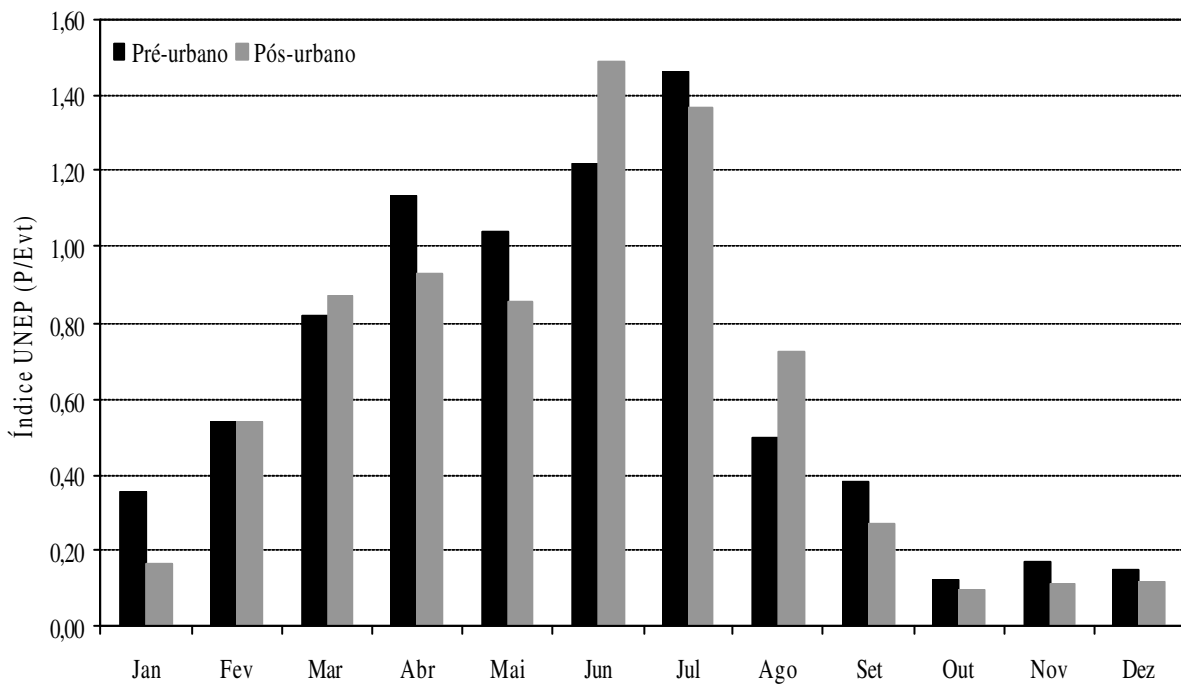


Figura 4.47. Médias mensais do índice UNEP (P/ETp) na cidade de Campina Grande, no período pré-urbano (1963-1985) e pós-urbano (1986-2004).

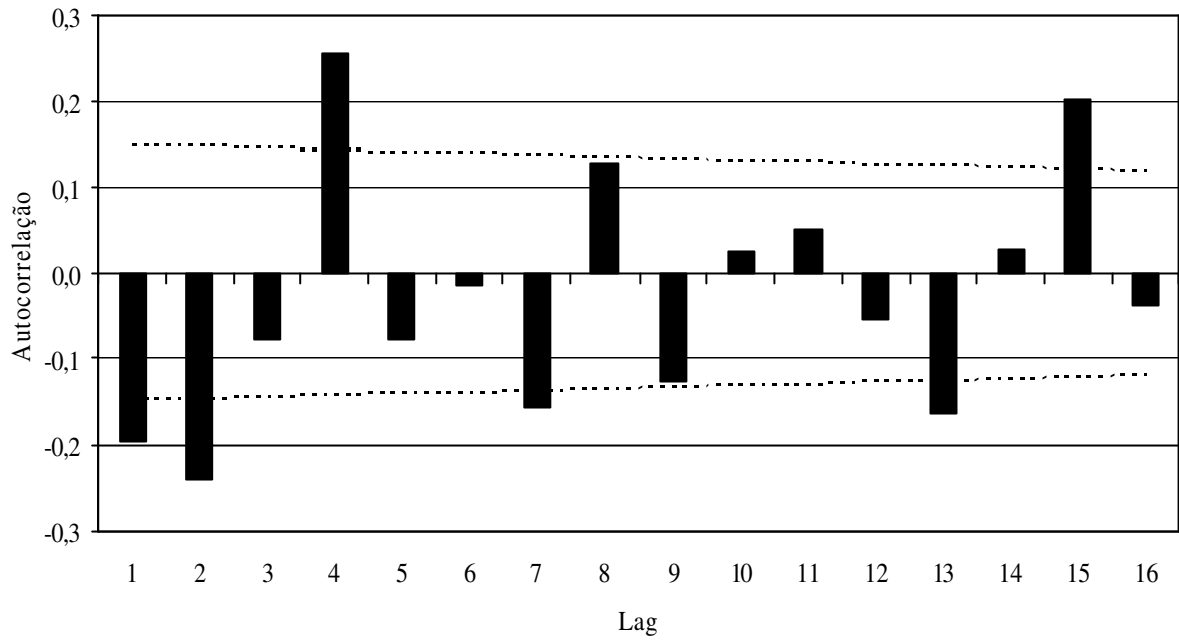


Figura 4.48. Autocorrelação do índice UNEP na cidade de Campina Grande, no período de 1963-2004.

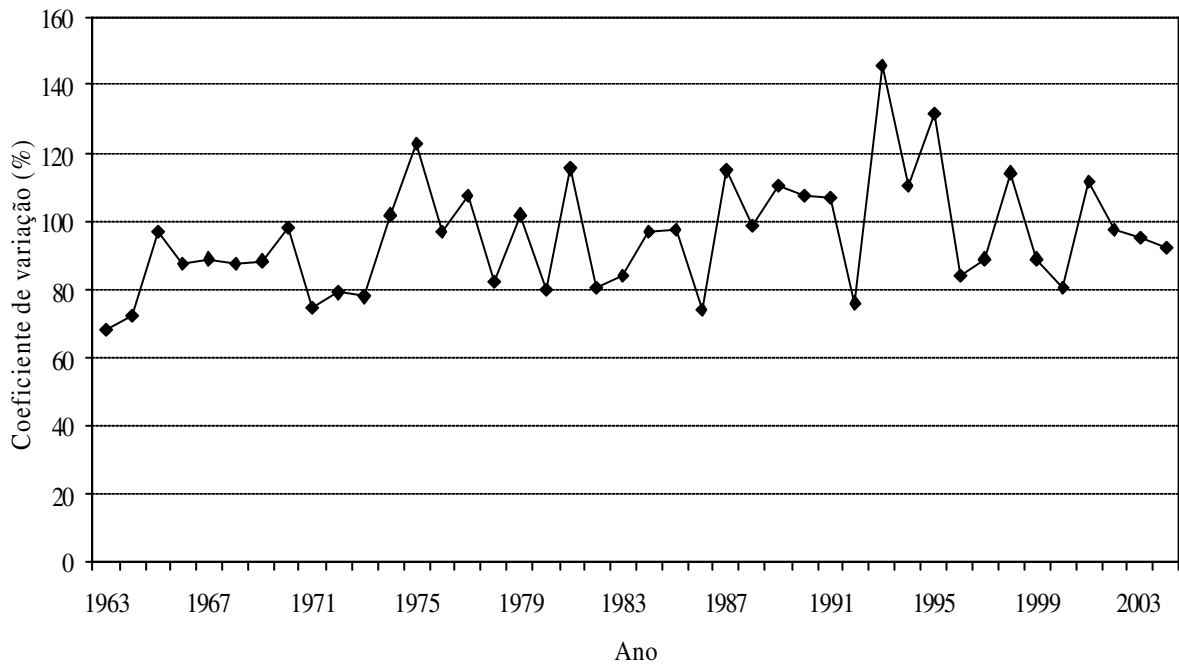


Figura 4.49. Variabilidade intra-anual do índice UNEP (P/ETp) na cidade de Campina Grande, no período de 1963-2004.

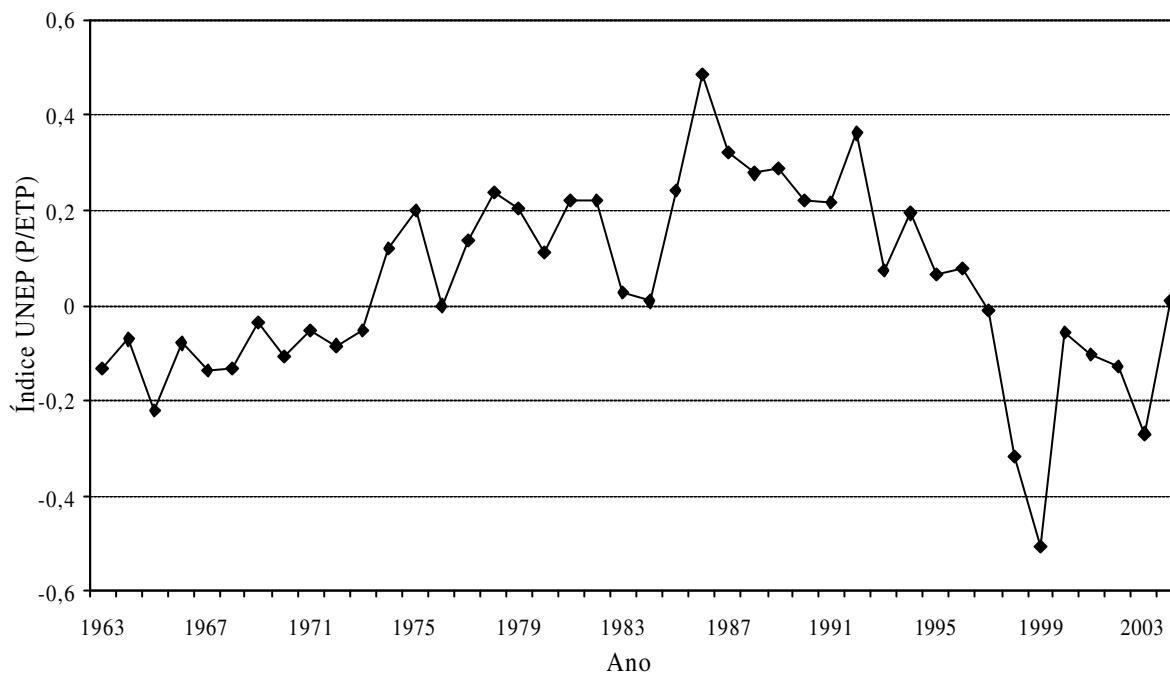


Figura 4.50. Valores acumulados do índice UNEP (P/ETp) em relação à sua média climatológica na cidade de Campina Grande, no período de 1963-2004.

Tabela 4.10. Parâmetros estatísticos do índice UNEP (P/ETP) durante os períodos de pré-urbanização intensa (PRÉ-UI), pós-urbanização intensa (PÓS-UI) e período total (1963-2004) em Campina Grande. CV é o coeficiente de variação (%).

Parâmetros	PRÉ-UI	PÓS-UI	Período total
Média ^{ns}	0,68	0,63	0,66
Desvio-padrão	1,78	2,63	2,17
Tendência (valor/ano) ^{ns}	-	-	0,0015
Média CV ⁺ intra-anual (%) ^{ns}	90,76	101,53	95,63
CV anual (%)	23,90	34,95	29,08

* Diferença entre as médias (PRÉ-UI e PÓS-UI) e as tendências são estatisticamente significante ao nível de 1% de probabilidade pelos testes t-Student e Mann-Kendall, respectivamente.

** Diferença entre médias e tendência são estatisticamente significante ao nível de 5% de probabilidade pelos testes t-Student e Mann-Kendall, respectivamente.

^{ns} Diferença entre as médias (PRÉ-UI e PÓS-UI) e as tendências não são estatisticamente significante pelos testes t-Student e Mann-Kendall, respectivamente.

4.11. Evolução da área e do número de habitantes da cidade

A Figura 4.51 exibe a área urbana acumulada da cidade de Campina Grande no período de 1790 a 2004. O maior índice de crescimento urbano da cidade ocorreu a partir do ano de 1985. Nesse ano a cidade tinha 31,66 Km² (58,97%) enquanto no ano de 2004 a sua área urbana era de 53,69 Km². A população acumulada da cidade de Campina Grande é apresentada na Figura 4.52. Observa-se que a população cresceu aproximadamente na mesma proporção da área urbana a partir do ano de 1985. Assim, no período inferior a 20 anos a área urbana da cidade praticamente dobrou de tamanho. Evidentemente, a população da cidade também aumentou substancialmente nesse período que, de acordo com censos realizados pelo IBGE, em 1980, Campina Grande registrava 225.887 habitantes, enquanto no ano de 2005 a cidade tinha 376.132 habitantes. Portanto, nesse período de apenas 25 anos a cidade de Campina Grande aumentou a sua população em 40%.

Ainda de acordo com a Figura 4.51, a área da cidade de Campina Grande desde a sua fundação até o ano de 1943 era em torno de 5,0 Km². Entretanto, a partir de 1960 o crescimento da cidade foi exponencial, partindo de aproximadamente 18,0 Km² nesse ano para 53,69 Km² no ano de 2004. Por outro lado, de acordo com a Figura 4.52, a população da cidade duplicou no período de apenas 35 anos (1970-2005).

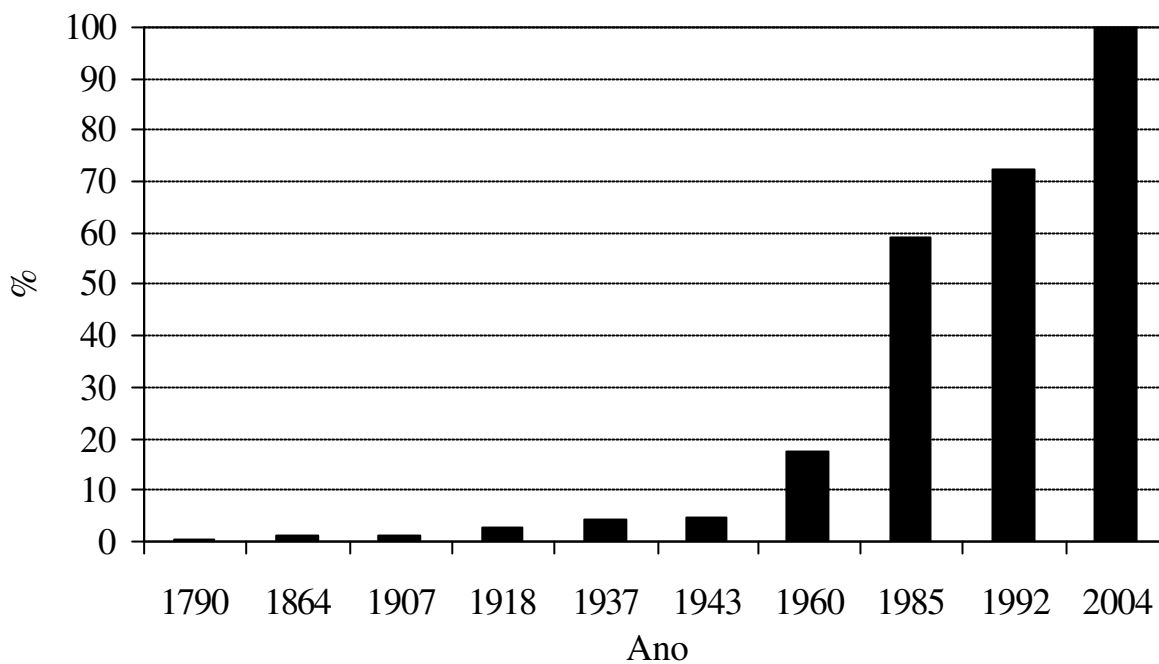


Figura 4.51. Área urbana percentual acumulada de Campina Grande no período 1790-2004.

Fonte: Secretaria de Planejamento e Geoprocessamento – SEPLAG da Prefeitura Municipal de Campina Grande.

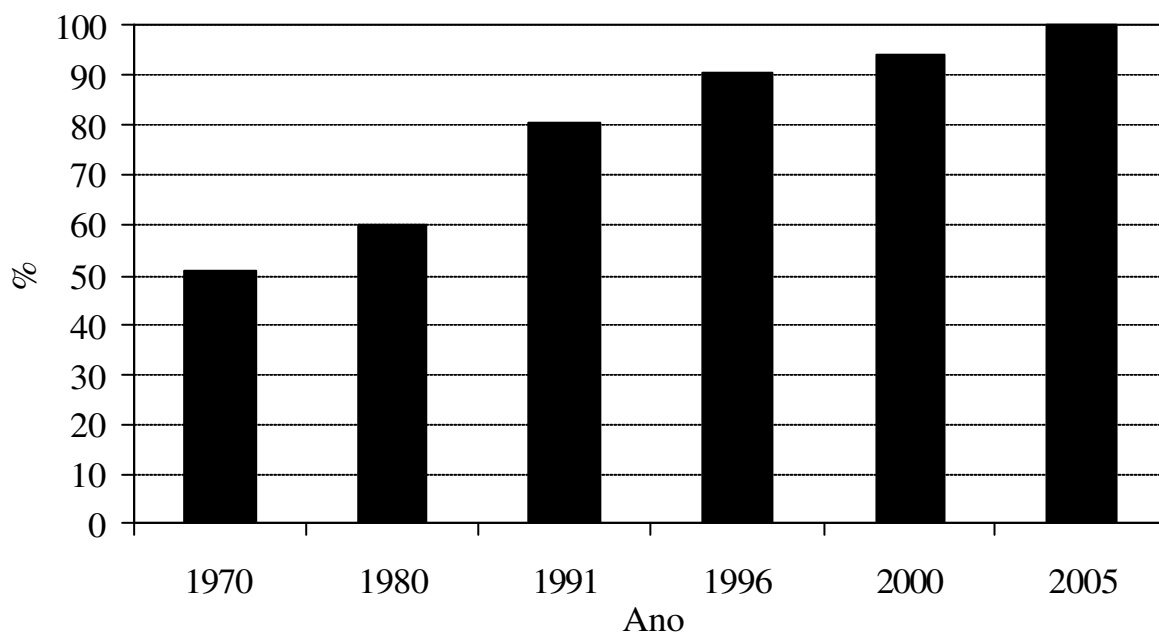


Figura 4.52. População percentual acumulada de Campina Grande no período 1970-2004.

Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE.

5. CONCLUSÕES

Com base nas análises das variáveis meteorológicas, detalhadas nos gráficos e tabelas anteriores, constatou-se que houve mudança significativa no comportamento temporal da maioria das séries analisadas. Não houve mudança significativa nas séries temporais de precipitação pluviométrica, evaporação do Tanque Classe “A” e do índice UNEP. As tendências crescente ou decrescente, conforme a variável meteorológica analisada, são estatisticamente significantes pelo teste de Mann-Kendall aos níveis de 1 e 5% de probabilidade. Através do método dos desvios acumulados da variável meteorológica em relação à sua média climatológica constatou-se que absolutamente todas as séries exibiram mudança abrupta em seus comportamentos temporais em torno do ano de 1985. Além disso, observou-se que nesse ano a cidade de Campina Grande tinha 58,97% da área urbana do ano de 2004. Essas constatações serviram de base para definir 1985 como o ano limite para o estabelecimento dos períodos de pré-urbanização intensa (PRÉ-UI) e pós-urbanização intensa (PÓS-UI). Tal como na análise da tendência com teste de Mann-Kendall, a diferença entre as médias de todas as variáveis dos períodos PRÉ-UI e PÓS-UI, exceto para precipitação pluviométrica, evaporação do Tanque Classe “A” e para o índice UNEP, foram

estatisticamente significantes pelo teste t-Student. É razoável que o índice UNEP não tenha apresentada nenhuma significância estatística, uma vez que ele expressa a condição permanente do clima. As médias do índice UNEP para Campina Grande, nos três períodos analisados, variam em torno 0,6. Esse valor caracteriza o clima da cidade de Campina Grande como seco sub-úmido de acordo com esse índice. Esses resultados indicam que o processo de urbanização influenciou significativamente o clima da cidade de Campina Grande. Entretanto, o processo acelerado de urbanização da cidade a partir do ano de 1985 não foi suficiente para alterar o tipo climático permanente de seco sub-úmido para outro tipo de clima. Portanto, a urbanização produziu variabilidade climática significativa, com forte ressecamento ambiental.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFONSO, S. (2001). Landscape and Environment in Architecture and Urban Design. In PEREIRA, F. O. R. et al. (Ed.) – Anais da XVIII International Conference on Passive and Low Energy Architecture. Renewable Energy for a Sustainable Development of the Built Environment. Florianopolis, pg. 7-9.

AKBARI, H. (2001). Cool Surfaces and Shade Tress to Reduce Energy use and Improve Air Quality in Urban Areas. Solar Energy. Vol. 70.

AZEVEDO, T.R. (2001a). Dramas Climáticos e Responsabilidade Social: A Relação entre o Ritmo das Atividades Econômicas – Dias de Trabalho e Descanso – e o Clima Urbano, Política e Trabalho, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, n° 17.

AZEVEDO, T.R. (2001b). Derivação Antrópica do Clima na Região Metropolitana de São Paulo Abordada como Função do Ritmo Semanal das Atividades Humanas. Tese de doutorado FFLCH, Universidade de São Paulo, São Paulo.

AZEVEDO, T.R. (2001c). Atividade Urbana Faz Com Que Os Dias “Úteis” Sejam Mais Chuvosos Na Região Metropolitana de São Paulo. Anais do IX Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, Universidade Federal do Recife, Recife.

BACK, A. J. (2001). Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 36, n° 5, pg. 717-726.

BAKER, L.A.; BRAZEL, A.J.; SELOVAR, N.; MARTIN, C.A. McINTYRE, N.; STEINER, F.R.; NELSON, A.; MUSACCHIO, L. (2002). Urbanization and warming of Phoenix (Arizona USA): impact, feedbacks and mitigation. Urban Ecosystems vol. 6, pg. 188-203.

BRÁDZIL, R. (1994). Climatic fluctuation in the Czech lands during the last millennium. Geo Journal. Vol. 32, pg. 199-205.

BURIAN, S.J. and SHEPHERD, J.M. (2005). Effect of Urbanization on the Diurnal Rainfall Pattern in Houston. Hydrological Processes, vol. 19, pg. 1089-1103.

CHANDLER, T.J. (1965). The climate of London, first ed. Hutchinson & Co (Publishers) Ltd.

CHOI, Y.; JUNG, H.; NAM, K. and KWON, W. (2003). Adjusting Urban Bias in the Regional Mean Surface Temperature Series of South Korea. (1968-1999). International Journal of Climatology, vol.23, pg. 577-591.

CUNICO, C; GLUFKE, D; KRÖKER, R; RAKSSA, M; DANNI-OLIVEIRA, I. M; FRAGA, N. (2002). Episódios chuvosos e seus impactos em Curitiba/PR (1999-2000). Anais do VSBCG, Curitiba, pg. 615-623.

DANNI-OLIVEIRA, I.M. (1999). Aspectos Climáticos de Curitiba-PR: uma contribuição para o ensino médio. RA'E O Espaço Geográfico em Análise, Curitiba, n° 03, pg. 229-253.

DANTAS, I. C., SOUZA, C. M. C. (2004). Arborização urbana da cidade de Campina Grande/PB: Inventário e suas espécies, Revista de Biologia e Ciências da Terra, vol. 4, n° 2.

DINPASHOHA, Y.; FAKHERI-FARDA, A.; , MOGHADDAMB, M., JAHANBAKHSHC S.; MIRNIAD, M. (2004). Selection of variables for the purpose of regionalization of Iran's precipitation climate using multivariate methods. Journal of Hydrology, pg. 109-123.

EHLERS R.S. (2004), Análise de Séries Temporais, Departamento de Estatística, Universidade Federal do Paraná – UFPR, 2ª edição.

ELAGIB, N.A. e MANSELL, M.G. (2000). Recent Trends and Anomalies in Mean Seasonal and Annual Temperatures Over Sudan. Journal of Arid Environments, vol. 45, pg. 263-288.

EMMANUEL, R. (2004). Thermal comfort implications of urbanization in a warm-humid city: the Colombo Metropolitan Region (CMR), Sri Lanka, Department of Architecture, University of Moratuwa, Moratuwa 10400, Sri Lanka.

ENDLICHER, W. (1981). L'îlot de Chaleur Urban d'Annecy: Quelques Remarques Sur le Climate Local d'une Ville Alpine, Revue Geographic Alpine Grenoble, Tome LXIX, 3, Imprimiere de L'avenir, AIX LES BAINS.

FERRON, F.A.; SIMÕES, J.C. e AQUINO, F.E. (2001). Série Temporal de Temperatura Atmosférica para a Ilha Reigeorge, Antártica. Revista do Departamento de Geografia, vol.14, pg. 25-32.

GARCIA – BARRION, L.; GONZALEZ, M.I. y RAMIREZ A. (2004). Influencia del Efecto Urbano; Inhomogeneidad y Sistema de conversión de las Series de Temperatura em Badajoz. Revista de Climatologia.

GOLDREICH Y. (1995). The climate of Israel. Bar Ilan University , Ramat – Gan, in press (in Hebrew).

HARE, F.K. (1993). Climate variations, drought and desertification. WMO, n° 653, pg. 44.

HARGREAVES, G.H.; SAMANI, Z.A. (1985). Reference crop evapotranspiration from temperature. Applied Engineering in Agriculture, vol. 1, vol. 2, pg. 96-99.

HEINO, R. (1979). Urban effect on climatic elements in Finland. Geophysics, vol. 15, pg. 171-188.

HEINO, R. (1996). Homogeneity of long-term urban records. In: International Conference on Urban Climatology. June 10-14. Essen, Germany, pg. 61-63.

JÁUREGUI, E. GONDINEZ. L. and CRUZ. F. (1992). Aspects of heat-island development in Guadalajara, Mexico. Atmospheric Environment. Vol. 26B. nº 3 pg. 391-396.

KARACA, M.; TAYANC† M. e HUSEYIN, T. (1995). Effects of Urbanization on Climate of Istanbul and Ankara. Atmospheric Environment vol. 29, nº 23, pg. 3411-3422.

KOLOKOTRONI, M.; GIANNITSARIS, I.; WATKINS, R. (2005). The effect of the London urban heat island on building summer cooling demand and night ventilation strategies. Solar Energy, pg. 1-10.

KRAUS, E.B. (1955). Secular changes of tropical rainfall regimes. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, nº 81, pg. 198-210.

LANDSBERG, H. (1981). The urban climate (Ed). Academic Press.

LEE, D.O. (1990). An analysis of recent trends in London's heat island weather. 47, 50-56.

LOMBARDO, M. A. (1985). Ilha de Calor nas Metr6poles – O Exemplo de São Paulo, Editora Hucitec, São Paulo, São Paulo, pg. 244.

MAITELLI, G. T. (1994). Uma abordagem tridimensional de clima urbano em área tropical continental: O exemplo de Cuiabá – MT, Tese de Doutorado, Departamento de Geografia, F. F. L. C. H., USP, São Paulo.

MENDONÇA, F.A. e VERRÍSSIMO, M.E.Z. (1994). O Clima e o Planejamento Urbano de cidades de porte médio e pequeno-proposição metodológica para estudo e sua aplicação à cidade de Londrina-PR. Tese de Doutorado em Geografia USP, pg. 300.

MODARES, R.; SILVA, V.P.R. (2006). Rainfall trends in arid and semi-arid regions of Iran. *Journal of Arid Environments*, In Press.

MONTEIRO, C.A.F. (1976). Teoria e Clima Urbano. IGEO, USP, Série Teses e Monografias, nº 25, São Paulo.

MUNN, R. E. (1996). Descriptive Micrometeorology. *Advances in Geophysic*, Academic Press, Vol. I, pg. 199.

QURESHI, S. and KHAN, N. (1994). Estimation of climatic transition in Riyadh (Saudi Arábia) in global warming perspectives. *GeoJournal*, nº 33, vol. 4, pg. 423-432.

REYNOLDS, G. (1956). Abrupt changes in rainfall regimes. *Weather*, vol. 11, pg. 249-254.

SILVA, A. P. L. M. (1998). Mudanças climáticas urbanas. Dissertação de Mestrado, Dep. de Ciências Atmosféricas – DCA – CMM TD nº 3.

STABLER, L.B.; MARTIN, C.A.; BRAZEL, A.J. (2005). Microclimates in a desert city were related to land use and vegetation index. *Urban forestry & urban greening*, pg. 137-147.

TOMÁS, D.D. (2002). Estudio del Comportamiento de la Humedad Relativa del Aire en Centros Urbanos. Departament de Geografia, Universidade de São Paulo (USP). Boletín de la A.G.E. n° 33, vol. 202, pg. 159-170.

TUCCI, C.E.M. (2002). Flood Control and Urban Drainage Management in Brazil. Institute of Hydraulic Research. Federal University of Rio Grande do Sul – Porto Alegre – RS Brazil. Water Waterlines, vol. 20 n°4, april, pg. 8.

UNEP (1992). World atlas of desertification. London/New York? Melbourne/Auckland: Edward Arnold. 69 plates.

ZAMPARONI, C. A. G. P. (1995). Ilha de calor em Barra do Garças e Tanguara da Serra MT: Uma contribuição ao estudo de clima urbano em cidades de pequeno porte em área tropical. Dissertação de Mestrado, Dep. De Geografia, F. F. L. C. H., USP, São Paulo.