



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
CURSO DE MESTRADO EM METEOROLOGIA**

**ESTUDO DAS ALTERAÇÕES DOS ELEMENTOS
METEOROLÓGICOS NO ESTADO DE PERNAMBUCO NO
PERÍODO DE 1961 A 2000.**

WERÔNICA MEIRA DE SOUZA

Campina Grande – PB

Novembro de 2001

ESTUDO DAS ALTERAÇÕES DOS ELEMENTOS METEOROLÓGICOS NO
ESTADO DE PERNAMBUCO NO PERÍODO DE 1961 A 2001.

DISSERTAÇÃO APRESENTADA AO
CURSO DE MESTRADO EM
METEOROLOGIA DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DA PARAÍBA EM
CUMPRIMENTO ÀS EXIGÊNCIAS PARA
A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE.

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: METEOROLOGIA DE MESO E GRANDE ESCALA
SUB-ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: CLIMATOLOGIA

ORIENTADOR: RENILSON TARGINO DANTAS

ALUNA: WERÔNICA MEIRA DE SOUZA



5729e Souza, Werônica Meira de.
Estudo das alterações dos elementos meteorológicos no estado de Pernambuco no período de 1961 a 2001 / Werônica Meira de Souza. - Campina Grande, 2001.
104 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2001.
"Orientação : Prof. Dr. Renilson Targino Dantas".
Referências.

1. Variações Climáticas - Pernambuco (PE). 2. Elementos Meteorológicos - Alterações. 3. Precipitação. 4. Meteorologia - Dissertação. I. Dantas, Renilson Targino. II. Universidade Federal da Paraíba - Campina Grande (PB). III. Título

CDU 551.583(813.4)(043)

WERÔNICA MEIRA DE SOUZA

ALTERAÇÕES DOS ELEMENTOS METEOROLÓGICOS NO ESTADO DE
PERNAMBUCO

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 22/11/01

BANCA EXAMINADORA



Dr. RENILSON TARGINO DANTAS
Universidade Federal da Paraíba



Dr. TANTRAVAHÍ VENKATA RAMANA RAO
Universidade Federal da Paraíba



Dr. ROBERTO FERNANDO DA FONSECA LYRA
Universidade Federal de Alagoas

DEDICATÓRIA

*Ao meu esposo, **RANULFO BARBOSA DOS SANTOS FILHO**, pelo o amor, companheirismo, compreensão, dedicação, amizade, apoio, incentivo, e principalmente, pelos momentos de felicidade.*

Obrigada por estar presente na minha vida!

"O meu mundo hoje é belo, é inexplicável, não há nada que me abale ou me derrube, desde que você esteja ao meu lado, a sua força é algo que transcende qualquer tentativa otimista de achar que tudo vai dar certo, ou seja, estar ao teu lado, dignifica a existência de qualquer pessoa que busca ser feliz..."

Ranulfo B. Santos Filho

*A minha eterna amiga **ROMÊNIA LACERDA** (in memoriam) pela amizade, alegria, apoio, dedicação e incentivo, principalmente, nas horas mais difíceis. E pelos ensinamentos do que é ter coragem, perseverança, sonho, luta e esperança pela vida...*

Descanse em paz!

HOMENAGEM

• *Aos meus pais,*
Ediluze & Luiz (in memorian),
e a minha tia, ***Maria Souza***,
que através do amor, carinho,
dedicação, perseverança e esperança,
mostraram-me o caminho da vida!
Meu Muito obrigada!

• *Aos meus eternos e queridos*
irmãos: Waldênio, Waléria e
Wavilson (in memorian),
pelo o amor, dedicação,
companheirismo e união.
Meu desejo é muito
SUCESSO e FELICIDADE!

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por sempre estar presente em todos os momentos da minha vida, pela fé e luz, e por todas as decisões nos momentos certos!

Ao curso de Mestrado em Meteorologia do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, pela estrutura didático-científica.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, CAPES, pelo suporte financeiro.

Ao professor Dr. Renilson Targino Dantas pela orientação, amizade e paciência durante a realização deste trabalho.

Ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e a Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) pela concessão dos dados utilizados na pesquisa.

Aos professores do Departamento de Ciências Atmosféricas (DCA), em especial aos Professores Manoel Gomes e Mário Miranda pela orientação, incentivo e amizade.

Aos funcionários do DCA, em especial as funcionárias Divanete Cruz Rocha, Eng^a. Eyres Diana Ventura Silva e a Miryan, pela assistência, dedicação e amizade.

Aos amigos de trabalho do DEHI/SRH-PE: Ana Mônica, Rodrigo, Adriani, Aparecida, Cristina e Ioneide pelo companheirismo e amizade conquistada; em especial, a minha chefe Francis Lacerda pela oportunidade, dedicação, incentivo e carinho.

Aos meus eternos amigos e companheiros: José Alberto, Ewerton, Edgley, Durce Ana Paula, Anna Bárbara, Carmem Becker, Gildarte e Gertrudes pela sincera amizade conquistada ao longo destes anos, pelos momentos de alegrias e desespero, e pelo incentivo durante a realização deste trabalho. *Minhas Saudades!*

A Ewerton, pelo programa Fortran, pois sem a sua ajuda iriam existir mais obstáculos.

Aos meus tios Tarciano e Cida, e a todos os meus familiares e amigos não citados, que sempre estiveram ao meu lado incentivado-me e dando-me força para dar continuidade aos meus estudos. Meu muito obrigada!

ABSTRACT

Temperature and relative humidity of the air, wind velocity and rainfall data of Recife, Pesqueira, Triunfo, Garanhuns, Cabrobó and Petrolina, which are located in the State of Pernambuco, were utilized to evaluate the temporal changes in the referred meteorological parameters. The data were collected for the period between 1961 and 2000. In the first place, the 40 year data was distributed into four sub-periods of 10 years each (1961-1970, 1971-1980, 1981-1990 and 1991-2000) and the behavior of the climatic parameters was analyzed for all the locations. Using the normalized deviations and the method of least squares for the period of 1961 to 2000, the tendencies and their regression lines of rainfall, wind velocity, air temperature and relative humidity were evaluated. Harmonic analyses of these meteorological elements was conducted to identify the major important cycles. Results show that there was a decrease of 247,0 mm in the precipitation over the last decade in Recife, this reduction is associated with the two intense episodes of the phenomenon of El Niño during 1993 and 1997/1998. A decrease in relative humidity of about 3,1% was observed during the period of 1991-2000 for the locality of Pesqueira. A global increase of about 0,02° C was noted in the air temperature in the last 40 years. In the last 10 years there were specific cases where air temperature varied between 0,2° C and 0,5° C. The wind velocities were decreased in certain regions and increased in some regions of the State of Pernambuco, characterizing its sensibility to the changes and irregularities in the underlying surface. It is also verified, through the harmonic analysis, that the rainfall, wind velocity, air temperature and relative humidity present periodicities around the harmonic of maximum contribution, influenced by the atmospheric and oceanic phenomenon, characterized in its tendency and independent of its variations.

RESUMO

Foram utilizados dados de precipitação, velocidade do vento, temperatura e umidade relativa do ar no período compreendido entre 1961 a 2000 de Recife, Pesqueira, Triunfo, Garanhuns, Cabrobó e Petrolina, todos localizados no estado de Pernambuco, com o objetivo de avaliar as alterações nos referidos parâmetros meteorológicos ao longo do tempo. Em primeiro lugar, a série de 40 anos foi distribuída em períodos de 10 anos, ou seja, 1961-1970, 1971-1980, 1981-1990 e 1991-2000 onde foram analisados o comportamento dos parâmetros climáticos; depois foi utilizado o desvio normalizado e o método dos mínimos quadrados no período de 1961-2000 para a avaliação das tendências e suas respectivas retas de regressão da precipitação, velocidade do vento à superfície, temperatura e umidade relativa do ar. Utilizou-se, também, a análise harmônica nas séries destes elementos meteorológicos para identificação de ciclos de maior importância para constituição da série. Atendendo aos objetivos, constatou-se que houve diminuição da precipitação principalmente na última década (1991-2000), onde a mesma diminuiu até 247,0 mm em Recife, que está associado a dois episódios intensos do fenômeno El Niño que atuaram em 1993 e 1997/1998. Quanto à umidade relativa do ar ao longo deste período, observou-se uma diminuição média mensal, principalmente no período de 1991-2000 onde as mesmas diminuíram em até 3,1% em Pesqueira; com relação a temperatura do ar, constatou-se aumento global, em torno de 0,02° C nos últimos 40 anos, embora haja casos específicos em que nos últimos 10 anos houve um aumento médio mensal entre 0,2° C e 0,5° C, e finalmente, com relação ao perfil destes elementos, pode-se verificar que os ventos à superfície apresentam características físicas bem diferenciadas, intensificando-se em algumas regiões do estado de Pernambuco e reduzindo-se em outras regiões, caracterizando, desta forma, como um dos elementos mais sensíveis às irregularidades e alterações da superfície no decorrer do tempo. Verificou-se ainda, através da análise harmônica, que a precipitação, velocidade do vento à superfície, temperatura e umidade relativa do ar apresentaram periodicidade em torno do harmônico de maior contribuição, influenciado por fenômenos atmosféricos e oceânicos, caracterizados na sua tendência, independente das suas variações.

SUMÁRIO

	Pág
LISTA DE MAPAS	<i>iv</i>
LISTA DE FIGURAS	<i>v</i>
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1. Precipitação	4
2.2. Velocidade do Vento à superfície	8
2.3. Temperatura do ar	11
2.4. Umidade relativa do ar	16
2.5. Mudanças climáticas	19
3. MATERIAL E MÉTODOS	24
3.1. Caracterização da área em estudo	24
3.2. Métodos	28
3.2.1. Desvio Normalizado	29
3.2.2. Método dos mínimos quadrados	29
3.2.3. Análise harmônica	30
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	33
5. CONCLUSÕES	94
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	96

LISTA DE MAPAS

	Pág.
Mapa 3.1 - Localização do Estado de Pernambuco na região Nordeste do Brasil.	25
Mapa 3.2 - Localização dos municípios estudados no Estado de Pernambuco.	25

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 01a - Médias mensais da precipitação nos períodos de 1961-1970, 1971-1980, 1981-1990 e 1991-2000 em Recife-PE.	34
Figura 01b - Médias mensais da velocidade do vento nos períodos de 1961-1970, 1971-1980, 1981-1990 e 1991-2000 em Recife-PE.	35
Figura 01c - Médias mensais da temperatura do ar nos períodos de 1961-1970, 1971-1980, 1981-1990 e 1991-2000 em Recife-PE.	36
Figura 01d - Médias mensais da umidade relativa do ar nos períodos de 1961-1970, 1971-1980, 1981-1990 e 1991-2000 em Recife-PE.	37
Figura 02a - Desvio normalizado da precipitação anual no período de 1961-2000 em Recife-PE.	38
Figura 02b - Desvio normalizado da velocidade do vento anual no período de 1961-2000 em Recife-PE.	39
Figura 02c - Desvio normalizado da temperatura do ar anual no período de 1961-2000 em Recife-PE.	40
Figura 02d - Desvio normalizado da umidade relativa do ar anual no período de 1961-2000 em Recife-PE.	41
Figura 03a - Contribuição do harmônico anual para a precipitação em Recife-PE.	43
Figura 03b - Contribuição do harmônico anual para a velocidade do vento em Recife-PE.	43
Figura 03c - Contribuição do harmônico anual para a temperatura do ar em Recife-PE.	43
Figura 03d - Contribuição do harmônico anual para a umidade relativa do ar em Recife-PE.	43
Figura 04a - Médias mensais da precipitação nos períodos de 1961-1970, 1971-1980, 1981-1990 e 1991-2000 em Pesqueira-PE.	44
Figura 04b - Médias mensais da velocidade do vento nos períodos de 1961-1970,	45

1971-1980, 1981-1990 e 1991-2000 em Pesqueira-PE.	
Figura 04c - Médias mensais da temperatura do ar nos períodos de 1961-1970, 1971-1980, 1981-1990 e 1991-2000 em Pesqueira-PE.	46
Figura 04d - Médias mensais da umidade relativa do ar nos períodos de 1961-1970, 1971-1980, 1981-1990 e 1991-2000 em Pesqueira-PE.	47
Figura 05a - Desvio normalizado da precipitação anual no período de 1961-2000 em Pesqueira-PE.	48
Figura 05b - Desvio normalizado da velocidade do vento anual no período de 1961-2000 em Pesqueira-PE.	49
Figura 05c - Desvio normalizado da temperatura do ar anual no período de 1961-2000 em Pesqueira-PE.	50
Figura 05d - Desvio normalizado da umidade relativa do ar anual no período de 1961-2000 em Pesqueira-PE.	51
Figura 06a - Contribuição do harmônico anual para a precipitação em Pesqueira-PE.	53
Figura 06b - Contribuição do harmônico anual para a velocidade do vento em Pesqueira-PE.	53
Figura 06c - Contribuição do harmônico anual em a temperatura do ar em Pesqueira-PE.	53
Figura 06d - Contribuição do harmônico anual em a umidade relativa do ar em Pesqueira-PE.	53
Figura 07a - Médias mensais da precipitação nos períodos de 1961-1970, 1971-1980, 1981-1990 e 1991-2000 em Garanhuns-PE.	54
Figura 07b - Médias mensais da velocidade do vento nos períodos de 1961-1970, 1971-1980, 1981-1990 e 1991-2000 em Garanhuns-PE.	55
Figura 07c - Médias mensais da temperatura do ar nos períodos de 1961-1970, 1971-1980, 1981-1990 e 1991-2000 em Garanhuns-PE.	56
Figura 07d - Médias mensais da umidade relativa do ar nos períodos de 1961-1970, 1971-1980, 1981-1990 e 1991-2000 em Garanhuns-PE.	57
Figura 08a - Desvio normalizado da precipitação anual no período de 1961-2000 em Garanhuns-PE.	58

Figura 08 <i>b</i> - Desvio normalizado da velocidade do vento anual no período de 1961-2000 em Garanhuns-PE.	59
Figura 08 <i>c</i> - Desvio normalizado da temperatura do ar anual no período de 1961-2000 em Garanhuns-PE.	60
Figura 08 <i>d</i> - Desvio normalizado da umidade relativa do ar anual no período de 1961-2000 em Garanhuns-PE.	61
Figura 09 <i>a</i> - Contribuição do harmônico anual para a precipitação em Garanhuns-PE.	63
Figura 09 <i>b</i> - Contribuição do harmônico anual em a velocidade do vento em Garanhuns-PE.	63
Figura 09 <i>c</i> - Contribuição do harmônico anual para a temperatura do ar em Garanhuns-PE.	63
Figura 09 <i>d</i> - Contribuição do harmônico anual para a umidade relativa do ar em Garanhuns-PE.	63
Figura 10 <i>a</i> - Médias mensais da precipitação nos períodos de 1961-1970, 1971-1980, 1981-1990 e 1991-2000 em Triunfo-PE.	64
Figura 10 <i>b</i> - Médias mensais da velocidade do vento nos períodos de 1961-1970, 1971-1980, 1981-1990 e 1991-2000 em Triunfo-PE.	65
Figura 10 <i>c</i> - Médias mensais da temperatura do ar nos períodos de 1961-1970, 1971-1980, 1981-1990 e 1991-2000 em Triunfo-PE.	66
Figura 10 <i>d</i> - Médias mensais da umidade relativa do ar nos períodos de 1961-1970, 1971-1980, 1981-1990 e 1991-2000 em Triunfo-PE.	67
Figura 11 <i>a</i> - Desvio normalizado da precipitação anual no período de 1961-2000 em Triunfo-PE.	68
Figura 11 <i>b</i> - Desvio normalizado da velocidade do vento anual no período de 1961-2000 em Triunfo-PE.	69
Figura 11 <i>c</i> - Desvio normalizado da temperatura do ar anual no período de 1961-2000 em Triunfo-PE.	70
Figura 11 <i>d</i> - Desvio normalizado da umidade relativa do ar anual no período de 1961-2000 em Triunfo-PE.	71
Figura 12 <i>a</i> - Contribuição do harmônico anual para a precipitação em Triunfo-PE.	73

Figura 12 <i>b</i> - Contribuição do harmônico anual para a velocidade do vento em Triunfo-PE.	73
Figura 12 <i>c</i> - Contribuição do harmônico anual para a temperatura do ar em Triunfo-PE.	73
Figura 12 <i>d</i> - Contribuição do harmônico anual para a umidade relativa do ar em Triunfo-PE.	73
Figura 13 <i>a</i> - Médias mensais da precipitação nos períodos de 1961-1970, 1971-1980, 1981-1990 e 1991-2000 em Cabrobó-PE.	74
Figura 13 <i>b</i> - Médias mensais da velocidade do vento nos períodos de 1961-1970, 1971-1980, 1981-1990 e 1991-2000 em Cabrobó-PE.	75
Figura 13 <i>c</i> - Médias mensais da temperatura do ar nos períodos de 1961-1970, 1971-1980, 1981-1990 e 1991-2000 em Cabrobó-PE.	76
Figura 13 <i>d</i> - Médias mensais da umidade relativa do ar nos períodos de 1961-1970, 1971-1980, 1981-1990 e 1991-2000 em Cabrobó-PE.	77
Figura 14 <i>a</i> - Desvio normalizado da precipitação anual no período de 1961-2000 em Cabrobó-PE.	78
Figura 14 <i>b</i> - Desvio normalizado da velocidade do vento anual no período de 1961-2000 em Cabrobó-PE.	79
Figura 14 <i>c</i> - Desvio normalizado da temperatura do ar anual no período de 1961-2000 em Cabrobó-PE.	80
Figura 14 <i>d</i> - Desvio normalizado da umidade relativa do ar anual no período de 1961-2000 em Cabrobó-PE.	81
Figura 15 <i>a</i> - Contribuição do harmônico anual para a precipitação em Cabrobó-PE.	83
Figura 15 <i>b</i> - Contribuição do harmônico anual para a velocidade do vento em Cabrobó-PE.	83
Figura 15 <i>c</i> - Contribuição do harmônico anual para a temperatura do ar em Cabrobó-PE.	83
Figura 15 <i>d</i> - Contribuição do harmônico anual para a umidade relativa do ar em Cabrobó-PE.	83
Figura 16 <i>a</i> - Médias mensais da precipitação nos períodos de 1961-1970, 1971-1980, 1981-1990 e 1991-2000 em Petrolina-PE.	84
Figura 16 <i>b</i> - Médias mensais da velocidade do vento nos períodos de 1961-1970,	85

1 - INTRODUÇÃO

No Brasil, a grande região semi-árida compreendida pelo "Polígono das Secas" do Nordeste, abrangendo nove estados, desde o Piauí até o Norte de Minas Gerais; é caracterizada por condições climáticas adversas. As regiões semi-áridas se caracterizam pela fragilidade dos seus ecossistemas em relação ao clima e à ocupação humana. A variabilidade do clima, tanto num mesmo ano como entre anos diferentes, é muito acentuada, e qualquer variação climática pode provocar grandes catástrofes sociais e econômicas.

O clima de uma região é, de uma maneira geral, a resposta natural aos fenômenos oceânicos-atmosféricos, a fisiografia da região, a distribuição de continentes e oceanos e a latitude. No entanto, ele pode ser modificado através de atividades humanas, principalmente em ecossistemas frágeis. Como exemplo dessas atividades estão o uso inadequado do solo, desflorestamento, queimadas e irrigação os quais normalmente são realizados sem o conhecimento de evitar possíveis degradações ambientais.

A existência de determinados comportamentos da circulação de grande escala e escala sinótica, considerados algumas vezes anômalos, causa secas e enchentes severas, e as áreas mais afetadas se encontram no chamado Polígono das Secas. Os efeitos econômicos associados à esses eventos climáticos podem ter graves conseqüências especialmente nos países que estão em desenvolvimento, os quais dependem fortemente da agricultura, principalmente, pelos sérios e desastrosos impactos ambientais e sócio-econômicos causados à população.

No mundo inteiro, vem sendo notado um grande interesse não apenas da comunidade científica nacional e internacional, como também, da sociedade sobre as

alterações dos elementos meteorológicos que afetam o clima de uma região, que são responsáveis em linhas gerais, pelas condições de conforto ambiental reinante sobre as cidades e também pela condição de qualidade do ar, principalmente pela qualidade de vida (animal e vegetal).

O conhecimento da distribuição e da variabilidade temporal e espacial dos principais elementos climáticos de uma região é de considerável importância, pois permite uma melhor avaliação das disponibilidades climáticas para os mais variados fins de aplicações tais como agricultura, pecuária, defesa civil, preservação do meio ambiente, entre outros usos.

A precipitação é uma das variáveis meteorológicas mais importantes para os estudos climáticos das diversas regiões do Brasil. Tal importância deve-se às conseqüências que estas podem ocasionar, quando ocorridas em excesso (precipitação intensa), para os setores produtivos da sociedade tanto econômico e social (agricultura, transporte, hidrologia, etc.), causando enchentes, assoreamento dos rios, quedas de barreiras, entre outros.

O vento é um dos parâmetros meteorológicos mais importantes na atmosfera terrestre, visto que serve como meio de transporte, como por exemplo, no deslocamento de sistemas atmosféricos das altas para as médias e baixas latitudes, ou no transporte de vapor d'água dos trópicos para as latitudes médias. Além do mais, o vento próximo à superfície é um agente de fundamental importância no balanço de energia, uma vez que é um fator direto na indução de fluxos de calor sensível e calor latente.

Um possível exemplo de mudança no clima, é ocasionado pela urbanização, onde o progresso tem levado a grande concentração de áreas construídas, parques industriais, adensamento populacional, implantação de asfalto, revestimento de artérias, que associados à estes, vêm as concentrações de poluentes, criando condições para modificar o comportamento da baixa troposfera, sendo agravada pela ausência de vegetação que também contribui para alteração no clima urbano, pois, as plantas exercem influência positiva no clima, principalmente sobre a temperatura e a umidade relativa do ar, que são fatores determinantes na qualidade do conforto da população de uma cidade.

O objetivo desse trabalho é estudar as alterações dos elementos meteorológicos (precipitação, velocidade do vento à superfície, temperatura e umidade relativa do ar) sobre o Estado de Pernambuco, como forma de identificar as possíveis tendências e ciclos de variabilidade e mudanças no comportamento desses elementos.

2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - Precipitação

A precipitação é o resultado final, já em retorno ao solo, do vapor d'água que se condensou e se transformou em gotas de dimensões suficientes para quebrar a tensão de suporte, e cair. Essa água em trânsito entre nuvem e solo, chamada chuva, tem aparentemente regular seu aspecto quantitativo para cada local no globo, mas sua distribuição, durante o ciclo anual é declaradamente irregular, Ometto (1981).

Godoy *et al.* (1961) trabalhando com uma série de 67 anos (1890 a 1956) de chuva em Campinas-SP, concluíram que a incidência em cada mês é um fenômeno puramente casual, sem nenhuma tendência secular e, que as chuvas daquela região permaneciam sem grandes alterações. Desse modo, as oscilações dos totais mensais e anuais seriam apenas casuais, sem que para isto exista regra que possa ser estabelecida.

O “Polígono das Secas” (região semi-árida) que está inserido no Nordeste do Brasil, é caracterizado por condições climáticas adversas. No que diz respeito ao clima do semi-árido, a parte central da região apresenta uma temperatura média elevada entre 24 e 29°C, com precipitações pluviométricas irregulares, com grande variabilidade no tempo e na distribuição espacial. A existência de determinados comportamentos da circulação de grande escala e escala sinótica, considerados algumas vezes anômalos, causa secas e enchentes severas, e as áreas mais afetadas se encontram no chamado Polígono das Secas, onde a precipitação total média anual é inferior a 800mm, caindo para 500mm no

interior com algumas localidades com precipitação correspondente a 300mm (Aragão, 1976).

Encontra-se sobre o Nordeste uma alta variedade climática, levando-se em conta o regime de chuvas, podendo-se verificar desde o clima semi-árido no interior da Região, com precipitação acumulada inferior a 500 mm/ano, até clima chuvoso, observado principalmente na costa leste da Região, com precipitação acumulada anual superior a 1500 mm (Kousky & Chu, 1978).

A homogeneidade térmica no tempo e no espaço contrasta violentamente com a notável heterogeneidade espacial e temporal do regime pluviométrico, pela má distribuição espacial da altura anual e extrema irregularidade dos valores quantitativos dos totais mensais, sazonais e anuais. Nimer (1979), comparando os agrupamentos de máximos percentuais de contribuição pluviométrica de meses consecutivos com os totais anuais das Zonas da Mata, Agreste e Sertão do estado de Pernambuco, verificou uma enorme desvantagem do regime de precipitação do sertão semi-árido: além do sertão possuir totais anuais muito inferiores aos da Zona da Mata, seu regime anual é muito mais concentrado em poucos meses. Na Zona da Mata litorânea, embora haja um decréscimo acentuado de precipitação durante cerca de 5 a 6 meses, existem chuvas em quantidades acima das necessidades, durante cerca de 8 a 11 meses. Ao contrário, no sertão o balanço hídrico demonstra um déficit biológico de água durante 6 a 12 meses.

Rebouças (1981) afirmou que, na prática, chove todo ano, porém é a extrema irregularidade da ocorrência dessas chuvas, tanto no espaço como no tempo, o verdadeiro problema da distribuição dos valores médios anuais, de tal forma que a seca do Nordeste não é um fenômeno de ausência de chuvas, mas sim, de sua ocorrência num ritmo incompatível com as necessidades das culturas alimentares. Dentro deste contexto, abordou, além das principais componentes físicas da problemática nordestina, os aspectos sociais do perfil do flagelado, algumas medidas de combate às secas e a questão de reservas disponíveis *versus* demanda. Entre outros fatores, considerou que a pluviometria relativamente abundante que se abate sobre a região proporciona cerca de 700 bilhões de metros cúbicos de água por ano, somente no Polígono das Secas. Distribuindo-se estes recursos, a disponibilidade efetiva seria da ordem de 9 bilhões de metros cúbicos de água

por ano. Concluiu então, que se a população atual do Polígono das Secas, cerca de 20 milhões, atingisse o nível de consumo das regiões mais desenvolvidas, isto é, 100 m³/habitante/ano, considerando aí embutida a demanda industrial, representaria uma demanda de 2 bilhões de metros cúbicos de água por ano.

Landsberg (1981) afirma que existe uma probabilidade crescente de precipitação nas cidades em que há uma conseqüência natural do aumento da poluição térmica, da poluição atmosférica, da turbulência e da convecção térmica.

Oke (1987) & Arya (1988) afirmam que no processo de urbanização, a poluição do ar afeta a transferência de radiação, aumentando o número de núcleos de condensação no ar, e assim propicia aumento da precipitação. A densidade e a geometria dos prédios criam uma superfície rugosa que influenciam a circulação do ar e o transporte de calor de vapor d'água. Os materiais de construção e o asfaltamento das ruas aumentam o armazenamento de calor, e a impermeabilização do solo aumenta a possibilidade de enchentes. Estes fatores, associados a outros, alteram o balanço de energia e favorecem a formação de ilhas de calor urbano.

Com relação às diferenças de precipitação, no que se refere à quantidade e distribuição, é importante ressaltar o albedo da superfície, cobertura de nuvens, circulação geral e constituição da atmosfera com respeito aos gases e aerossóis. Algumas análises de séries de precipitação foram feitas por muitos investigadores de forma global ou para regiões específicas. Srikanuthan & Stewart(1991) e Folland (1992) concluíram estudos científicos com séries temporais de precipitação, evidenciando flutuações em diferentes intervalos de tempo com tendência significativa para os termos de longo período.

Diferentes regimes de chuvas são identificados no Nordeste (NE). No norte da Região a estação chuvosa principal é de março a maio, no sul e sudeste as chuvas ocorrem principalmente durante o período de dezembro a fevereiro e no leste a estação chuvosa é de maio a julho. A principal estação chuvosa do NE, incluindo o norte e leste da região, que explica 60% da chuva anual é de abril a julho e a estação seca, para maior parte da região, ocorre de setembro a dezembro (Rao *et al.*, 1993).

Paiva & Clarke (1995) realizaram um estudo observacional estatístico sobre a tendência temporal da distribuição de chuvas na região Amazônica e, embora os autores tenham encontrado desvios positivos e negativos na região, há uma tendência das anomalias negativas (redução da precipitação) se concentrar em áreas à oeste e central da Amazônia, onde principalmente no estado de Rondônia, ocorre uma alta taxa de desmatamento.

Oliveira & Souza (1997), estudando os elementos meteorológicos no período de 1896 a 1995 na cidade de Belém, observaram que a elevada precipitação que foi registrada no período estudado tem como uma de suas conseqüências a massa de ar equatorial continental que ocorre na região, condicionando movimentos convectivos que são intensificados pela convergência dos alísios de nordeste e sudeste, fazendo com que Belém seja tradicionalmente reconhecida como sujeita a chuvas abundantes. Os autores concluíram que a precipitação interanual em Belém, apresentou uma distribuição regular durante o período observado. A normalização da precipitação anual com relação ao desvio-padrão da série apresentou variação de 2,68 a -1,86, sendo que o valor de 2,68 está associado ao ano de 1989, considerando como o mais chuvoso, com 3752 mm e -1,86 ao ano de 1903, como o menos chuvoso, com 2025 mm. Da série temporal, caracterizaram um movimento cíclico ao longo do período, mas com uma tendência de aumento.

Após o intenso episódio El Niño/Oscilação Sul (ENOS) de 1982/83, o fenômeno ocorreu novamente em 1986/87, porém com menor intensidade, e de 1990 ao início de 1995, onde este foi considerado o mais longo evento nos últimos 50 anos, sendo comparável apenas com o episódio de 1911-1915, (Halpert *et al.*, 1996). No Nordeste houve um extenso período de seca de 1990 a 1993, onde a precipitação na estação chuvosa foi abaixo da média, de 28% em 1990 e 13% em 1991 (Climanálise, 1992a). Em 1992, as precipitações ficaram abaixo da média, 30% no mês de março, 34,7% em abril e 87% no mês de maio (Climanálise, 1992b). Na estação chuvosa de 1993 as precipitações ficaram 63% abaixo da média (Climanálise, 1993), e em 1994 a estação chuvosa do Nordeste voltou a se normalizar com precipitações um pouco acima do normal (Cavalcanti, 1996).

A chuva é um dos elementos meteorológicos que exerce influência direta sobre as condições ambientais, agindo diretamente sobre o balanço de água no solo e, indiretamente

através de outros elementos (temperatura do ar e do solo, umidade relativa do ar, e radiação solar), que atuando em conjunto limitam ou favorecem o crescimento e desenvolvimento das plantas (Galvani *et al.*, 1997).

2.2 – Velocidade do Vento à Superfície

O vento é o movimento do ar em relação à superfície terrestre. É gerado pela ação de gradientes de pressão atmosférica, mas sofre influências modificadoras do movimento de rotação da Terra, da força centrífuga ao seu movimento e do atrito com a superfície terrestre, Tubelis & Nascimento (1973). Essa quantidade de movimento pode ser transferida aos obstáculos que se interpõem na trajetória, provocando danos de intensidades proporcionais ao "Momentum" transferido (Ometto, 1981).

Segundo Aragão (1976), as brisas marítimas e terrestres, resultam do contraste térmico entre oceano e continente, e são de fundamental importância no processo de formação e intensificação de sistemas atmosféricos próximos à Costa. Além de amenizar as temperaturas diárias, leva umidade para o interior do continente e não encontrando barreiras orográficas atingem até cerca de 300 km continente a dentro.

Outro fator que deve ser considerado é a variação sazonal dos ventos na costa que é relacionada à posição da alta pressão subtropical do Atlântico Sul. Segundo Hastenrath & Lamb (1977) a alta subtropical começa a se intensificar nas estações frias alcançando o máximo em julho. O estudo dos ventos sobre o Atlântico Sul feito por Servain & Lukas (1990) mostrou que os ventos na costa do nordeste são de Leste/Nordeste no começo do ano e de Sudeste durante o período de abril a julho, o que coincide com a época chuvosa no leste da região. Portanto, durante a estação chuvosa de outono/inverno sobre o leste do NE, os ventos sopram perpendiculares à costa. Estes ventos parecem favorecer a ocorrência da zona de convergência noturna associada à brisa terrestre.

Acredita-se que a variabilidade interanual no NEB pode não ser tão importante, dependendo da região escolhida. Os ventos alísios, no litoral, dominam o regime de ventos; os quais conduzem uma certa homogeneidade no regime cólico. No interior, espera-se uma influência variável durante o ano e mesmo ano a ano, devido a passagem de diversos sistemas de escala sinótica (frentes frias no sul, ZCIT no norte do nordeste), Bandeira (1990).

Estudando a concentração de poluentes do ar em determinadas áreas e ruas da cidade de Essen na Alemanha, Kuttler & Schwegler (1996) verificaram que as áreas urbanas expostas a tráfego pesado têm uma concentração mais baixa de poluentes primários, e são menos poluídos do que as ruas, quando os prédios ao redor são homogêneos. Observou-se também, que a diminuição do monóxido de nitrogênio (NO) durante a tarde é responsável pela baixa redução do nível de ozônio nas áreas urbanas, enquanto à noite, o acúmulo de poluentes primários no ar pode ser causado pela diminuição da velocidade do vento.

Romero *et al.* (1996) analisando configurações do fluxo de vento associados a variações climatológicas, poluentes atmosféricos, orografia e tráfego urbano em Santiago do Chile, concluíram que o fluxo de vento e transporte de poluentes nas diferentes partes da cidade, devem ser estimados cuidadosamente para implementar um novo planejamento urbano, projetos e regularizações de uso da terra. Estes autores afirmam que é importante dar suporte climatológico à localização das fontes de poluição e áreas saturadas, alocações de uso da terra, projetos de construções, largura e direção das ruas, planejamento do desmatamento de áreas, incorporação de cinturões verdes, dentre outras medidas, deveriam ser tomadas para reverter a pobre condição de ar nas cidades chilenas mais importantes.

Haberfeld *et al.* (1996) afirmam que áreas urbanas costeiras, devido ao desenvolvimento de ilha de calor, afetam o padrão do fluxo de ar em mesoescala e especificamente a propagação de brisa. A brisa influencia o transporte diurno de calor sensível e latente, bem como de poluentes. Por outro lado, a distribuição e as características geométricas das construções afetam não apenas o padrão geral do fluxo do ar, mas também determina a extensão da ventilação que pode ser alcançada em uma área urbana.

Radlgruber & Prabha (1996) estudando os efeitos das diferentes condições da camada limite na concentração de poluente acima da cidade industrial de Linz (213.000 habitantes), observaram estreita relação dos fortes efeitos gerados pela cidade e pela topografia na estrutura vertical da camada limite. Sob condições de céu claro e favorável escoamento de mesoescala, foram observadas situações de forte velocidade vertical gerada diretamente acima dos edifícios na presença de forte inversão.

Ao estudar a circulação urbana de Friburgo, situado na margem oeste da Floresta Negra, Ernest (1996) verificou que o vento noturno da montanha influencia a estrutura vertical do vento e a temperatura sobre diferentes condições climáticas. Os resultados obtidos demonstraram que os perfis de vento da montanha são dependentes da cobertura de nuvens, bem como da força e direção do vento. Antes de penetrar numa área urbana em noites sem nuvens, o vento da montanha tem baixa inversão de movimento próximo a superfície e uma corrente principal com movimento mais rápido. Condições inversas reduzem a altura e a força do vento de montanhas.

Sang (1996), ao analisar o fluxo de ar e a estrutura de temperatura no inverno, observou que, em noites de ventos fracos, a força do gradiente de pressão em direção ao centro da cidade induz convergência na camada limite. Como o vento é suave pela manhã, a radiação solar é enfraquecida pela alta concentração de fumaça. Sendo assim, a cidade torna-se uma ilha de calor fria, o que retarda o desenvolvimento da camada limite convectiva, causando estagnação dos poluentes. Quando o vento é forte, a frequência de inversão noturna é baixa, especialmente no centro, ocorrendo efeito de fricção urbana convergente na parte superior da cidade, e divergência na parte inferior.

Com objetivo de caracterizar o comportamento do vento à superfície para fornecer informações adicionais à climatologia dos Estados Unidos, Klink (1999) estudou a variação média da velocidade do vento mensal, direção e velocidade (o vetor médio resultante), usando os dados do período de 1961-1990 em 216 estações dos Estados Unidos. O autor observou que as médias mensais da direção do vento e campo da velocidade mostraram uma típica progressão sazonal de ventos de oeste e noroeste no inverno, para ventos de sul no verão.

A estação meteorológica da Universidade Federal do Pará, instalada no início de 1982, teve sua área em volta invadida no final dos anos 90, descaracterizando a cobertura natural do solo, provocando possíveis modificações no microclima local, devido a ocupação urbana desordenada. Oliveira *et al.* (1999) estudando a tendência média mensal e anual dos elementos meteorológicos na UFPa no período de 1983 a 1997, onde foram calculados subperíodos distintos, período anterior a invasão (1983 a 1990) e período posterior a ocupação (1991 a 1997). No estudo estatístico, observou-se uma tendência de elevação da temperatura, insolação e pressão atmosférica em todos os subperíodos estudados, enquanto que a precipitação, umidade relativa, evaporação e velocidade do vento, apresentaram uma diminuição na média mensal e anual.

2.3 - Temperatura do Ar

A temperatura do ar, de acordo com Ayoade (1983), pode ser definida em termos do movimento de moléculas, de modo que quanto mais rápido o deslocamento mais elevado será a temperatura. Mais comumente, ela é definida em termos relativos tomando-se por base o grau de calor que um corpo possui. A temperatura é a condição que determina o fluxo de calor que passa de uma substância para outra, ou seja, o calor desloca-se de um corpo que tem uma temperatura mais elevada para outro com temperatura mais baixa. A temperatura do ar varia de lugar e com o decorrer do tempo em uma determinada localidade, e vários fatores influenciam na sua distribuição sobre a superfície da terra, tais como: a insolação recebida, a natureza da superfície, a distância dos corpos hídricos, o relevo, a natureza dos ventos predominantes e as correntes oceânicas.

Munn (1966) explica que uma das causas da formação de ilha de calor nas cidades é a redução da evaporação (pela ausência da vegetação e água disponível); a radiação solar que não é usada na evaporação é conduzida para o aquecimento das ruas, edifícios e do ar da cidade.

Com interesse em investigar a estagnação do ar associada à presença de anticiclones, Wanner & Herting (1984), descreveram os métodos e resultados de quatro programas de pesquisa em climatologia, realizados em algumas cidades suíças. Utilizaram experimentos meteorológicos de campo, medições de poluição do ar e estudos de modelagem, incluindo estações de superfície, torres meteorológicas, unidades móveis, sondagens verticais, naves aéreas, satélites e dados terrestres. Os experimentos de campo e modelos físicos demonstraram que as investigações das interações entre fenômenos induzidos pela urbanização, ventos e sistemas sinóticos causados topograficamente (vale/montanha), são de grande importância e mostraram a estrutura típica de estratificação de temperatura nos padrões de circulação das cidades suíças. A modelagem permitiu definir a persistência de uma ilha de calor estável, que representa a situação mais crítica relativa à estagnação do ar e possibilidade de poluição atmosférica.

Utilizando dados de seis décadas passadas, com estações observacionais em cinco cidades e seus arredores, Cayan & Douglas (1984) realizaram estudos sobre a influência urbana no sudoeste dos EUA. Constataram elevadas temperaturas tanto à noite quanto ao dia, em estações situadas em centros industriais e de população densa. Por outro lado, nos locais não urbanos examinaram um desvio de crescimento de temperatura principalmente à noite, enquanto as cidades mostraram um grande acúmulo termal, favorecendo a formação de ilha de calor.

Ao analisar o crescimento de cidades e a degradação da qualidade de vida nas grandes aglomerações dos países de crescimento acelerado, Lombardo (1985) concluiu que as pessoas se tornam mais vulneráveis às enfermidades cardiovasculares, principalmente as de idade avançada, e que o tamanho cada vez maior das cidades passa a ser inconveniente à população. As áreas urbanas de grande edificação e acumulação de calor produz *stress* térmico (ilha de calor), que em clima tropical pode ser persistente, causando desconforto térmico que ultrapassa os limites de tolerância dos habitantes.

Lombardo (1985) afirma que a poluição do ar e ilhas de calor constituem exemplos importantes das alterações que o processo urbano impõe às condições climáticas locais. A ilha de calor urbana corresponde a uma área na qual a temperatura do ar é mais elevada do que nos seu arredores, o que propicia o surgimento de uma circulação característica do ar.

A tendência de aquecimento observada nos últimos anos e que tem modificado a temperatura média à superfície em escala global e hemisférica, pode estar relacionada com o crescimento urbano ao redor das estações meteorológicas, visto que os efeitos de ilha de calor produzem uma variação na temperatura, similar ao relacionado com o aumento do efeito estufa dos gases na atmosfera, (Kukla *et al.*, 1986). Stulpnagel *et al.* (1990) afirmam que as plantas exercem influência positiva no clima da cidade, principalmente no que se refere à temperatura e a umidade.

Kimura & Takamashi (1991), ao analisar os efeitos do uso do solo e do aquecimento antropogénico na temperatura do ar da área metropolitana de Tokyo, adotaram um modelo numérico e classificaram a superfície em várias categorias: áreas construídas, áreas verdes, pavimentadas, de solo nu e superfície de água. Neste estudo, foi encontrada uma ilha de calor no centro de Tokyo, com intensidade de 3°C no período noturno e cerca de 1°C para o período diurno.

Segundo Kimura & Takamashi (1991), o progresso tem levado a maioria das cidades de grande e médio portes, à significativas modificações de suas estruturas urbanas, principalmente quanto a implantação de asfalto em suas ruas e revestimento de artérias. Com isso, as áreas urbanas têm experimentado um razoável aumento de temperatura, denominado ilha de calor. Tais efeitos são causados principalmente pelo asfaltamento das ruas e estruturas de concreto, pois o asfalto tem uma grande capacidade de armazenar calor e, conseqüentemente, transferi-lo para a atmosfera, (Munn, 1996; Lee, 1992).

Oke *at al.* (1992), ao investigarem o balanço de energia na cidade do México, observaram que o fluxo de calor sensível na maioria das vezes foi mais elevado que o fluxo de calor latente.

Numa análise das tendências nas temperaturas médias no Brasil, que inclui a cidade de Curitiba, Sansiolo *et al.* (1992) atribuiu a existência de tendência a efeitos de urbanização. Neste estudo, a série de temperaturas de Curitiba foi analisada com o objetivo de detectar tendências e variações cíclicas de baixa freqüência, entre elas possíveis influências da Oscilação Sul. A análise da tendência foi detalhada de modo a situá-la no

decorrer do ano. Verificou-se também a hipótese de que a tendência seja decorrência da urbanização.

Barros & Camilloni (1994) encontraram uma correlação negativa para o período de 1929-1991 entre a média anual da diferença de temperatura entre áreas urbanas e rurais, com a temperatura da zona rural de Buenos Aires - Argentina. Isso justifica-se quando a temperatura da área rural é representativa de condições atmosféricas regionais, e existe relação entre intensidade de ilha de calor urbano próximo à superfície, com a taxa de variação vertical da temperatura e estabilidade atmosférica.

A modificação dos parâmetros da superfície e da atmosfera pela urbanização deu origem à formação das ilhas de calor, associadas às ilhas secas em alguns pontos da cidade. Elas refletem as características do uso do solo, com a concentração de edifícios e grandes avenidas pavimentadas. Em Cuiabá, a intensidade média da Ilha de calor foi de 3,8°C no período noturno da estação seca, com máximos de até 5°C, sob condições de tempo estável, céu limpo e calmaria, e de 1,8°C no período chuvoso, com valores máximos de até 2,3°C, (Maitelli, 1994).

Oliveira *et al.* (1995), utilizando dados de temperatura do ar obtido em nove postos de observação localizados na área intensamente urbanizada no município de Belém, um posto na ilha de Outeiro, que caracteriza o clima mais litorâneo e sem influência de urbanizações intensas e outro situado no município de Benevides com características rurais. Verificou que os resultados obtidos para a temperatura do ar, mostram uma tendência para maior aquecimento nos locais da cidade ocupados por edifícios, observados no centro da cidade, enquanto que os valores mínimos dessa variável, encontram-se próximo à orla litorânea e nos pontos mais próximos da periferia. Observou ainda, que os menores valores de temperatura foram registrados em Benevides, certamente, em função das características naturais desta área não terem sofrido alterações significativas, como foi verificado na Ilha de Outeiro. Entretanto, na Ilha, a brisa é, também, um fator determinante para a suavização do aquecimento.

Sabe-se que o processo de degradação ambiental ocorre de várias maneiras e em vários níveis temporais e espaciais, portanto, a temperatura do ar associada com outros

fenômenos como ilha de calor, poluição do ar, chuvas intensas, inundações e desabamentos estão interrelacionados e devem ser compreendidos através do estudo das variabilidades e mudanças de comportamento das diversas variáveis climáticas.

Oliveira & Souza (1997), estudando os elementos meteorológicos no período de 1896 a 1995 na cidade de Belém, observaram uma certa variabilidade interanual da temperatura média do ar e perceberam a existência de uma tendência a um aquecimento da região, à partir da década de 40, havendo no entanto, a intercalação de alguns períodos de declínio. Provavelmente esse aquecimento que vem ocorrendo nas décadas mais recentes, podem estar relacionados com as modificações impostas nas características da superfície, tais como albedo e tipo de vegetação, uma vez em que áreas de florestas, o aquecimento do ar é amortecido pela intensa evapotranspiração. Onde não existem florestas ou tem pouca vegetação, a energia solar é usada intensivamente no aquecimento do ar, ocasionando então valores elevados de temperatura.

Estudando o clima urbano das cidades de Campina Grande e Patos, nos períodos de inverno (julho-agosto) e verão (dezembro) de 1997, através de observações com transecto móvel na cidade de Patos, Silva (1998) mostrou que a falta de arborização pode contribuir para aumentar a temperatura em até 1,8°C sobre rua asfaltada e 1,3°C em rua de calçamento. A autora concluiu, com base nos resultados obtidos nas duas cidades estudadas, que não é aconselhável o uso de cores escuras nas paredes, pois isto também contribui para elevar a temperatura. Em Patos, verificou-se uma diferença de 5,0°C do lado sombreado para o lado ensolarado numa parede de cor azul.

Embora sujeitas à dinâmica da circulação regional, a temperatura do ar à superfície, é também influenciada pelo uso do solo, como os desmatamentos e a implantação das atividades urbanas. Maitelli *et al.* (1999) observou uma tendência de aumento da temperatura média anual de 0,0592°C por ano na Bacia do Médio Teles Pires num período de 23 anos.

2.4 - Umidade Relativa do Ar

Ometto (1981) define a umidade relativa do ar como a relação entre o teor em vapor d'água que o ar contém e o teor máximo que poderia conter, à temperatura ambiente. Ayoade (1983) afirma que a umidade relativa é, todavia, grandemente influenciada pela temperatura do ar, mas ela não oferece informação sobre a quantidade de umidade na atmosfera, mas informa quão próximo o ar está da saturação. Embora o vapor d'água represente somente 2% da massa total da atmosfera e 4% de seu volume, ele é o componente atmosférico mais importante na determinação do tempo e do clima, e é também um importante fator que determina a temperatura sentida pela pele humana e, em decorrência, o conforto humano.

Os efeitos das variações espacial e temporal na infra-estrutura física urbana e a vegetação são responsáveis basicamente pelas variações nos efeitos de urbanização sobre a umidade. Entretanto, a redução da cobertura vegetal e a quantidade de vapor retido sobre a superfície são os fatores principais que são responsáveis pela baixa umidade dentro das cidades (Changnon, 1969).

Comparando os efeitos do crescimento urbano no comportamento da umidade do ar em Edmonton a dados de duas estações climatológicas situadas em área rural e área urbana, Hage (1975) concluiu que a cidade era mais seca em todos os horários quanto às taxas de umidade relativa e mais úmida à noite, quanto ao teor de umidade absoluta.

Ao analisarem o impacto rápido da urbanização em Phoenix, área metropolitana do estado do Arizona, Balling & Brazel (1987) verificaram que as mudanças na quantidade das razões de evaporação são uma resposta ao inchaço urbano, aumento de temperatura e velocidade de vento, decréscimo no ponto de orvalho e da umidade relativa, e alterações substanciais nas condições de superfície. Os autores concluíram que a razão destas mudanças foi a troca das terras agrícolas por paisagens urbanas, fazendo com que houvesse uma diminuição da evapotranspiração, resultando em uma maior proporção de energia

sendo convertida em aquecimento da atmosfera, ou seja, um aumento na evapotranspiração potencial.

Adebayo (1987) examinando alguns aspectos das variações diurna, sazonal e espacial de umidade relativa em Ibadan, analisou dados de 20 anos (1961-1980) de uma estação local numa área rural comparados com dados de uma estação localizada numa área urbana na Ibandan. O autor mostrou que alguns aspectos de condições da umidade relativa são afetados pela urbanização, enquanto a diferença média rural-urbana foi cerca de 3% às 9:00h, aumentando para cerca de 5% às 15:00 h. Tais tendências aparentes foram a diferença na infra-estrutura da superfície entre as áreas rural e urbana, o efeito da população da cidade, as variações diurnas e sazonais na evapotranspiração e o efeito da cobertura vegetal da zona rural.

Maitelli (1994), ao estudar o clima urbano de Cuiabá - MT, utilizando três abordagens: uma análise estatística de série temporal do período de 1920-1992; medidas horizontais de temperatura e umidade relativa do ar em pontos fixos e transectos móveis e medidas verticais para determinar o balanço de energia, encontrou ilha de calor de 5°C na estação seca, e concluiu que a urbanização influenciou positivamente nas temperaturas mínimas médias.

Oliveira *et al.* (1995), observou que a umidade relativa do ar, foi sempre superior a 75%, o que proporciona um certo desconforto, associado ao aumento da temperatura. Os menores valores de umidade relativa do ar, foram observados no centro da cidade de Belém, enquanto que, os máximos foram observados na orla litorânea, na Ilha de Oiteiro, apresentando portanto, um comportamento inverso ao da temperatura do ar.

Holmer & Eliasson (1996) observaram que a pressão de vapor d'água urbano em Goteberg, na costa oeste da Suécia (700 mil habitantes) em noites de inverno, sob condições anticiclônicas, aumenta de 1 a 2 hPa e um pouco menos durante o período noturno. No verão, o aumento noturno era bem maior e existia um déficit de vapor durante o período diurno.

Heino (1996) afirma que a urbanização tende a diminuir a umidade do ar e a velocidade do vento. O efeito de urbanização na umidade relativa do ar pode ser explicado pela presença de superfícies secas, menos evaporação e drenagem rápida das águas precipitadas. Tendência decrescente da velocidade do vento é uma consequência da fricção causada pelas construções mais altas de muitas cidades em crescimento.

Endlicher & Schultz (1996) observaram que o clima subtropical do Noroeste da Argentina é caracterizado por calor e condições muito úmidas no verão e, frio e seco durante o inverno, com condições fracas de dispersão. Isto se deve a poeira espalhada pelo vento oriunda de pistas não pavimentadas nas áreas residenciais e de solos erosivos.

Oliveira & Souza (1997), estudando os elementos meteorológicos no período de 1896 a 1995 na cidade de Belém, afirmaram que o curso interanual da umidade relativa do ar acompanha os cursos interanuais da cobertura do céu e da precipitação; isso vem mostrar que existe uma forte correlação entre elas. O comportamento da umidade relativa do ar reflete uma grande influência do fator térmico, já que a tensão de saturação do vapor d'água é diretamente proporcional a temperatura, além disso, os altos valores de umidade relativa registrados em Belém-PA, devem-se provavelmente a sua proximidade com o Oceano Atlântico Sul Oeste, que adveceta ar úmido para a região, que além de manter elevada a umidade relativa, faz com que apresente pequena variação interanual. A variabilidade média interanual, oscilou entre 82% e 93%, mostrando os anos de 1958 e 1965 com os menores valores e o ano de 1900 com o valor máximo, o que caracteriza a região como bastante úmida, e que gera um grande desconforto ambiental.

Costa *et al.* (1997), utilizando observações meteorológicas horárias de superfície durante os dias 24 e 25 de outubro de 1996, considerado dias da estação menos chuvosa no Campus Universitário do Guamá (UFPA), situado à margem direita do rio Guamá, verificaram que o comportamento da umidade relativa do ar apresentou variações inversas com a temperatura, seguindo os padrões já conhecidos. Observaram também, que durante o dia, o maior valor da umidade relativa ocorreu nos pontos mais arborizados. Como o calor específico das áreas sem arborização é menor do que nas áreas arborizadas, estas perdem calor por radiação mais rapidamente que as áreas arborizadas, consequentemente, apresentam menores valores de umidade relativa do ar nestes horários.

Preste *et al.* (1999) estudando o comportamento médio horário dos elementos meteorológicos no município de Peixe-Boi/PA, associados à influência de diferentes tipos de cobertura vegetal do solo, bem como, diferentes tipos de atividades humanas, visando o impacto das modificações causadas pela ação do homem, revelaram que a umidade relativa apresentou diminuição no sentido inverso da temperatura do ar, mas não o suficiente para diminuir o desconforto provocado pelo aquecimento. Este município apresenta altos valores de temperatura e umidade, e se não for devidamente arborizado causará grande desconforto à população, o que justifica a criação e conservação de áreas arborizadas a fim de melhorar a qualidade de vida do ser humano.

2.5 - Mudanças Climáticas

As características atmosféricas mudam de lugar para lugar e com o decorrer do tempo em qualquer lugar e em escalas de tempo que variam desde os microssegundos até centenas de anos. Existem interações importantes dentro da atmosfera, que podem ser resultantes ou mesmo causadoras de tais mudanças. Assim, as mudanças dentro da atmosfera podem ser internamente induzidas dentro do sistema Terra-Atmosfera ou externamente induzidas por fatores extraterrestres. O tempo atmosférico é extremamente variável, porém, a existência de mudanças diurnas e sazonais não pode ser negada. As mudanças climáticas agregadas formam o clima. Existem evidências de flutuações ou variações no próprio clima, onde estas flutuações seguem uma tendência climática, que também podem fornecer ciclos climáticos. Por um longo período de tempo, as flutuações climáticas podem ocorrer de tal forma que passam a provocar uma mudança no tipo de clima predominante sobre determinada área, que neste caso fala-se numa mudança climática (Ayoade, 1983).

Eagleman (1974) investigando modificações climáticas em três áreas urbanas de diferentes tamanhos na parte central dos Estados Unidos, nas cidades de Topeka, Lawrence e Kansas City, num período de 16 meses (junho de 1971 a outubro de 1972), indicou um

aumento sistemático na temperatura, no índice de conforto e na evapotranspiração, e uma redução na umidade relativa. Para estas áreas urbanas a população varia de aproximadamente 45.000 até 100.000 habitantes. A média das mudanças nos parâmetros climáticos foi de um aumento de 5,2° F na temperatura, uma redução de 9,5% na umidade relativa, um aumento de 3,2 no índice de conforto e de 0,09 por dia na evapotranspiração potencial. Estas mudanças climáticas urbanas são raramente relacionadas com a magnitude das áreas urbanizadas através de uma relação logarítmica indicando a possibilidade de prever modificações resultantes de futuras expansões urbanas.

Observações históricas dos elementos do clima na superfície foram utilizadas para se identificar a existência ou não de sinais de mudanças climáticas nas observações hidrometeorológicas (Diaz, 1991). É conhecido o fato de a correspondência entre chuva e vazões de rios ser fortemente linear, no entanto, é correto assumir que grandes anomalias de precipitação resultam em anomalias de descarga de rios de mesmo sinal. Isto acontece porque as vazões integram a variabilidade espacial da precipitação dentro da bacia. A importância do estudo da variabilidade em vazões de rios está no fato de que esta encontra-se diretamente ligada ao gerenciamento de águas e ao uso dos recursos hídricos, o que por sua vez afeta assentamentos urbanos, a disponibilidade de água tanto em ambiente urbano quanto em atividades rurais, e diversas outras atividades.

Maitelli *et al.* (1991) mostraram que a transformação do espaço natural de forma abrupta, repercute em desequilíbrios ambientais na área atingida e circunvizinhança. A implantação de uma cidade, modifica significativamente a paisagem local com o processo de urbanização e substituição da vegetação natural. A concentração de construções, impermeabilização do solo, através do asfaltamento das ruas e avenidas, aumento do fluxo de pessoas e automóveis, fatores urbanos característicos, contribuem para alterar o comportamento das variáveis climatológicas a nível local que repercute a nível regional, com destaque a umidade relativa do ar.

De acordo com Molion (1991), o mais importante e o mais ativo dos gases atuantes no "Efeito-Estufa", é o vapor d'água (H₂O), que é um gás que ocorre naturalmente; sua concentração é função da temperatura do ar apenas, e varia de 1% a 4% por volume, em média, dependendo da região e das condições do tempo e do clima. Em segundo lugar,

aparece o gás carbônico (CO₂) com concentração igual a 0,03% por volume, ou seja, cerca de trinta a cem vezes inferior ao vapor d'água. A hipótese da intensificação do "Efeito-Estufa" baseia-se no fato de que, aumentando as concentrações dos gases absorvedores de radiação térmica, mais calor fica aprisionado no sistema Terra-Atmosfera e a temperatura do planeta aumenta.

Como resultado das emissões de dióxido de carbono e de outros gases, tem-se falado muito sobre uma prospectiva mudança climática no Planeta. Embora não haja certeza de como a biosfera irá responder à acumulação desses gases, grande parte da comunidade científica internacional acredita na elevação do nível dos oceanos. Um aumento médio, entre 1° e 5° C, na temperatura do Globo é considerada provável de ocorrer nos próximos 50 anos, (Chang *et al.*, 1992). Ao lado dessa idéia predominante, existe praticamente um consenso de que haverá também uma modificação no regime pluvial em muitas regiões.

Izrael (1992) afirma que a nível regional, as mudanças climáticas globais poderão resultar em desertificação em algumas zonas. Várias centenas de quilômetros quadrados de terras poderão ser atingidos pela degradação e pela desertificação, e a sua recuperação pode tornar-se impossível. As florestas boreais e as regiões semi-áridas, por exemplo, são muito vulneráveis às mudanças climáticas. O autor diz que a variação climática produzida pela emissão descontrolada de gases estufa aumentará os efeitos negativos dos fatores naturais. Tornou-se evidente que as avaliações regionais e a ocorrência de eventos extremos são de importância vital para as avaliações das conseqüências da variação climática.

As enchentes, ligadas à elevação do nível do mar provocada pela variação climática, seguidas por mudanças na precipitação, podem resultar numa migração humana substancial. As conseqüências mais graves devem ocorrer nas áreas urbanas com grande densidade populacional. Tais conseqüências podem manifestar-se em dificuldades relativas ao abastecimento de água, ao aumento da pressão térmica e às condições que favorecem a disseminação de infecções. As mudanças na precipitação e na temperatura podem alterar radicalmente o alastramento de doenças transmitidas por vetores, transferindo-as para latitudes mais elevadas, Izrael (1992).

A interação clima e sociedade precisa ser melhor compreendida, especialmente quando se trata de regiões castigadas pelo clima. No caso das regiões semi-áridas, deve-se identificar que as atividades humanas aumentam a vulnerabilidade à mudança e variabilidade climáticas. O crescimento populacional e as emigrações durante as secas aumentam a vulnerabilidade dos sistemas naturais e sociais, tanto nas regiões semi-áridas quanto nas áreas ao seu redor, (Magalhães, 1992).

A maior parte do conhecimento atual sobre mudanças climáticas provém dos resultados de experimentos com modelos de circulação geral da atmosfera (MCGA), os quais simulam numericamente o comportamento do sistema climático da terra. Um dos resultados obtidos com a simulação de aumento da concentração de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera apresentou, como consequência, um aumento na temperatura média do ar e das áreas desérticas no planeta incluindo o Nordeste Brasileiro (NEB), Diermeyer & Shukla (1994).

Um estudo de séries temporais de precipitação e de vazões/cotas de rios em diversas regiões do Brasil, foi realizado por Marengo & Uvo (1996) com o objetivo de observar a existência de variações sistemáticas nesses parâmetros que indicariam mudanças climáticas. Neste estudo, não foram observadas mudanças climáticas consistentes com os dados de rios analisados no Brasil e na América do Sul em geral. Entretanto, um forte sinal do El Niño-Oscilação Sul (ENSO), isto é, de uma variabilidade interanual, é evidente no Nordeste do Brasil e com certa limitação no oeste da Amazônia

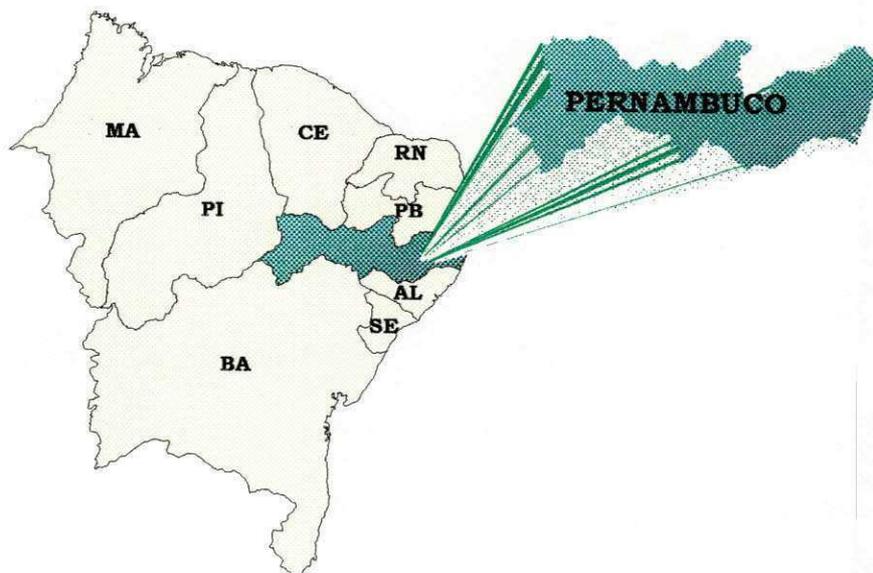
Saraiva *et al.* (2000) utilizando uma série temporal de dados mensais de precipitação pluviométrica e temperatura do ar no período de 1924 a 1990 para a obtenção do índice de aridez no município de Campina Grande. Neste estudo, avaliou-se o comportamento temporal do índice de aridez usando o método dos mínimos quadrados e testou o grau de ajustamento por T-Studente, ao nível de significância de 1%. Verificou-se, que a utilização de apenas um parâmetro não pode levar a uma afirmação categórica a respeito da variabilidade climática de uma região ou localidade, tendo em vista que esta é consequência de modificações de diversas características fisiográficas e climáticas.

3 - MATERIAL E MÉTODOS

3.1 - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO

A Região Nordeste do Brasil (Mapa 3.1), excluindo restritas áreas, apresenta um alto grau de homogeneidade espacial e temporal no que diz respeito ao regime de temperatura: forte frequência de temperaturas altas em qualquer estação do ano, insignificantes amplitudes térmicas anuais, raras ocorrências de mínimas diárias baixas e notável amplitude diária durante todo o ano, Nimer (1979).

Entretanto, a homogeneidade térmica no tempo e no espaço contrasta violentamente com a notável heterogeneidade espacial e temporal do regime pluviométrico. Em outras palavras, a péssima distribuição espacial da altura anual de precipitação se conjuga à extrema irregularidade dos valores quantitativos dos totais mensais sazonais e anuais, uma vez que esta variabilidade espacial e temporal podem resultar nas mais importantes conseqüências ecológicas, econômicas, sociais e políticas. Nas latitudes baixas (zona intertropical), o traço mais marcante do regime climático é definido por duas estações: a chuvosa e a seca, ou aquela em que as precipitações são muito frequentes e copiosas e aquela em que há um sensível declínio de chuvas, onde justamente está localizada a área a que se refere o Estado de Pernambuco, visto que seus pontos extremos Norte e Sul se encontram, respectivamente, entre os paralelos de 7° 15' e 9° 27' de latitude Sul. Na direção Leste/Oeste seus pontos extremos se localizam entre os meridianos de 34° 48' e 41° 19' de longitude Oeste de Greenwich (Mapa 3.2).



Mapa 3.1 - Localização do Estado de Pernambuco na Região Nordeste do Brasil.



Mapa 3.2 - Localização dos municípios estudados no Estado de Pernambuco.

Situado em latitudes baixas, com altitudes que só muito raramente ultrapassam os 1000 metros, o Estado de Pernambuco é caracterizado por médias térmicas anuais relativamente altas. Excluindo as áreas litorâneas, fortemente influenciadas pela ação moderadora dos alísios de leste a sudeste (ventos divergentes do anticiclone tropical do Atlântico Sul), todo o sertão deste território apresenta temperaturas médias anuais superiores a 24°C, ultrapassando os 26°C nas depressões abaixo de 200 a 250 metros de altitude (vale do rio São Francisco em Pernambuco).

Embora a variação anual da temperatura média não seja muito importante, com amplitude térmica anual quase sempre inferior a 5°C, deve ser salientado que as temperaturas mais altas na primavera (outubro, novembro e dezembro) e verão (janeiro, fevereiro e março) são muito significantes, uma vez que esta época do ano é justamente aquela em que há maior deficiência de chuvas, tornando o solo e as plantas mais carentes de água, pela intensificação da evapotranspiração. Todo estado de Pernambuco possui médias relativamente altas, acima de 26°C, atingindo valores superiores a 28°C nas baixas superfícies do sertão do São Francisco.

Entretanto, enquanto no litoral só raramente se registram máximas diurnas superiores a 33°C, no interior, valores superiores a 35°C são muito comuns, resultando em médias das máximas muito altas, superiores a 34°C, chegando a ultrapassar valores de 36°C no vale do São Francisco, onde máximas diárias de cerca de 40°C não devem ser consideradas excepcionais.

A redução dos valores térmicos nos meses de inverno (julho, agosto e setembro) é pouco significativa, tanto no que diz respeito às médias mensais, quanto às máximas diárias. No entanto, nesta época, além de serem menos comuns registros de máximas diárias acima de 30°C, costuma registrarem-se mínimas relativamente muito baixas, por efeito conjugado da continentalidade, altitude e massas de ar polar em transição para tropical. Por exemplo, as localidades de Garanhuns e Pesqueira, situadas a 927m e 657m de altitude, respectivamente, já registraram mínimas de 10°C, no inverno. Contudo, localidades situadas na Zona da Mata, próximas ao nível do mar, porém afastadas do litoral, já registraram temperaturas mínimas inferiores a 13°C, descendo a quase 10°C.

A orografia possui também grande influência no acréscimo da precipitação pela formação de vale montanha durante o dia e montanha vale à noite, por exemplo, a estação climatológica de Triunfo situada a 1.010 m de altitude na divisa de Pernambuco com Ceará, recebe em média, 1.243mm de chuvas durante o ano, isto é, um total semelhante aos alcançados na Zona da Mata litorânea.

Contudo, a área de maiores totais de precipitação, situa-se a leste do referido corredor mais seco. Trata-se da chamada Zona da Mata, onde os totais médios decrescem bruscamente do litoral para o interior. Nesta zona as baixas superfícies litorâneas registram mais de 1500 mm, chegando a ultrapassar 2000 mm no sul de Pernambuco.

A distribuição geral de declínio de precipitação para o interior sofre interferência da ação do relevo que resulta, por vezes, em locais onde os totais médios de precipitação tendem a subir por acréscimos de chuvas orográficas, como exemplo, Garanhuns com 908 mm. Ao contrário, na Borborema, as mais profundas depressões do relevo, em virtude do ressecamento do ar por transformação térmica adiabática, registram totais pluviométricos tão baixos que chegam a ser semelhantes aos totais do corredor mais seco: Tara, na bacia do rio Cordeiro, afluente do rio São Francisco (398 mm); e Caruaru, no vale do rio Ipojuca (363 mm).

Existem pelo menos seis sistemas atmosféricos que produzem precipitação no Estado de Pernambuco: a zona de convergência intertropical (ZCIT), as bandas de nebulosidade associadas às frentes frias, os distúrbios ondulatórios de leste, os ciclones na média e alta troposfera do tipo baixas frias (conhecidos como vórtices ciclônicos de ar superior-VCAS), as brisas terrestres e marítimas e as oscilações de 30-60 dias (Lacerda, 1998).

O eixo de observação neste trabalho, abrange cinco municípios do Estado de Pernambuco (Mapa 3.2), os quais ficam localizados nas mesorregiões do Agreste, Litoral e Sertão, tendo como microrregiões: Recife (região Metropolitana do Recife), Pesqueira (microrregião do Vale do Ipojuca), Garanhuns (microrregião de Garanhuns), Triunfo (microrregião do Pajeú), Cabrobó (microrregião de Petrolina) e Petrolina (microrregião de Petrolina).

3.2. - Métodos

Os dados utilizados, nesse trabalho, referem-se à uma série de totais mensais de precipitação, médias mensais de vento à superfície, temperatura e umidade relativa do ar compreendendo o período de 1961 a 2000 das seguintes estações: Recife (8°03'S; 34°55' W; 5m), Garanhuns (8°53'S; 36°29' W; 866m), Pesqueira (8°22'S; 36°42' W; 650m), Petrolina (9°23'S 40°30' W; 376m), Cabrobó (8°,30'S; 39°,19' W; 350m) e Triunfo (7°50'S; 38°07' W; 1010m).

As séries utilizadas foram extraídas de um conjunto de dados representativos, cedido pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), outra parte, para complementação dos dados, pela Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE).

Primeiramente, a série de 40 anos (1961-2000) foi distribuída em quatro períodos da seguinte forma: 1961-1970; 1971-1980; 1981-1990 e 1991-2000. Depois, foram feitas médias aritméticas de 10 em 10 anos para avaliar o comportamento dos parâmetros climáticos nas últimas 4 décadas e comparar com a média climatológica.

Na avaliação das tendências e suas respectivas retas de regressão da precipitação, do vento à superfície, da temperatura e umidade relativa do ar foi utilizado o desvio normalizado e o método dos mínimos quadrados.

Utilizou-se, também, a análise harmônica nas séries de precipitação, do vento à superfície, da temperatura e umidade relativa do ar, para identificar ciclos de maior importância para constituição da série, e se possível, relacionar com algum fenômeno físico.

3.2.1. - Desvio Normalizado

O desvio normalizado foi obtido pela relação, Moura *et al.* (1998):

$$DN = \left(\frac{X - \bar{X}}{\sigma} \right) E$$

X = valor observado anual do elemento meteorológico (precipitação, vento à superfície, temperatura e umidade relativa do ar);

\bar{X} = média do elemento meteorológico referente à série de 40 anos (precipitação, vento à superfície, temperatura e umidade relativa do ar);

σ = desvio padrão da série temporal (precipitação, vento à superfície, temperatura e umidade relativa do ar).

$E = \frac{\sigma}{X}$, onde a partir deste erro (E) determina-se quando o ano é considerado normal ($y = \pm E$); acima da média ($y > E$); muito acima da média ($y > 2E$); abaixo da média ($y < E$) e muito abaixo da média ($y < 2E$).

3.2.2. - Método dos mínimos quadrados

Para evitar o critério individual na construção de retas, parábolas ou outras curvas de ajustamento que se adaptem ao conjunto de dados, é necessário instituir uma definição da "melhor reta de ajustamento", da "melhor parábola de ajustamento", etc.

A reta de mínimo quadrado que se ajusta ao conjunto de pontos (X_1, Y_1) (X_2, Y_2) , ..., (X_N, Y_N) será representada pela equação (Spiegel, 1961):

$$Y = a_0 + a_1 X \quad (1)$$

Em que, as constantes a_0 e a_1 são determinadas mediante a resolução simultânea do sistema de equações:

$$\sum Y = a_0 N + a_1 \sum X \quad (2)$$

$$\sum XY = a_0 \sum X + a_1 \sum X^2$$

que são denominadas equações normais da reta de mínimo quadrado.

As constantes a_0 e a_1 da equação (2), se for desejado, podem ser também determinadas por meio das fórmulas:

$$a_0 = \frac{(\sum Y)(\sum X^2) - (\sum X)(\sum XY)}{N\sum X^2 - (\sum X)^2} \quad (3)$$

$$a_1 = \frac{N\sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{N\sum X^2 - (\sum X)^2}$$

3.2.3. - Análise Harmônica

A técnica de análise harmônica, que será exposta de forma sucinta, é dada de acordo com Panofsky & Brier (1958). O método de análise harmônica determina a amplitude (C_k) e o ângulo de fase (δ_k) da periodicidade para o qual os dados constituem unicamente uma perfeita curva de seno e coseno de períodos conhecidos (T) e múltiplos do

O desenvolvimento do co-seno da soma da equação (8) aplicando-se a propriedade $\cos(a-b) = \cos a \cos b + \sin a \sin b$ é:

$$X(t) = \bar{X} + \sum_{k=1}^n C_k \cos(\omega_k t - \delta_k) \quad (12)$$

A equação (6) é a amplitude de um dado harmônico que pode ser escrita, na forma:

$$C_k = \sqrt{A_k^2 + B_k^2} \quad (13)$$

Entretanto, o ângulo de fase do n-ésimo harmônico pode ser obtido com:

$$\delta_k = \arctan \left| \frac{B_k}{A_k} \right| \quad (14)$$

Por outro lado, para cada harmônico é possível obter o dado de ocorrência do máximo como:

$$t = (2\pi + \delta_k) \frac{T}{2\pi k} \quad (15)$$

Finalmente, a contribuição do harmônico k à variância da série pode ser calculada de acordo com:

$$V_k = \frac{C_k^2}{2} \quad (16)$$

4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 - Recife

As Figuras 01*a*, *b*, *c* e *d* representam as médias mensais de 10 anos nos subperíodos de 1961-1970; 1971-1980; 1981-1990 e 1991-2000 da precipitação, velocidade do vento à superfície, temperatura e umidade relativa do ar.

Na Figura 01*a* verifica-se grande variabilidade intrasazonal da precipitação existente nos quatro subperíodos estudados. Os meses considerados mais chuvosos são maio, junho e julho e os menos chuvosos são outubro, novembro e dezembro. De uma maneira geral, observa-se um decréscimo da precipitação no período de 1991-2000 comparando com os outros períodos. Isto deve-se ao fato de que nesta última década houve dois episódios intensos do fenômeno El Niño, com o de 1997-1998 considerado um dos mais fortes do século. Destaca-se o mês de junho no período de 1961-1970 e o mês de julho na década de 1981-1990, com valores médios de 416,1 mm e 447,2 mm, respectivamente.

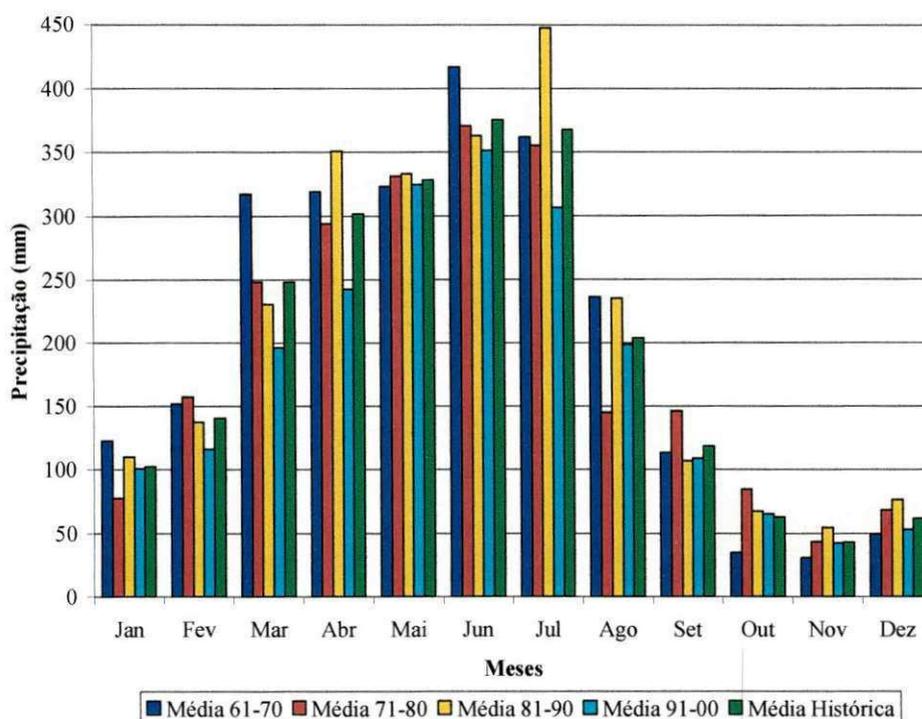


Figura 01a - Médias mensais da precipitação nos períodos de 1961-1970; 1971-1980; 1981-1990 e 1991-2000 em Recife-PE.

Considerando a média de 10 anos para cada período (Figura 01b), observa-se que a velocidade do vento, em praticamente todas as décadas, aumentou de março até novembro, decrescendo no período de dezembro a fevereiro. Os maiores valores de velocidade do vento são observados nos meses de agosto a setembro com valores próximos a 3,3 m/s, que pode ser explicado pela intensificação da Alta Subtropical do Atlântico Sul com ventos fortes de sudeste e dos distúrbios ondulatórios de leste. Os menores são observados nos meses de março, abril e maio com valores médios em torno de 2,3 m/s. Verifica-se que o período de 1961-1970 apresentou os menores valores em todos os meses, com os maiores valores observados nas décadas de 1971-1980 e 1981-1990, voltando a decrescer no período de 1991-2000. Essa diminuição da velocidade do vento nos últimos 10 anos é devido ao aumento de construção de prédios e fábricas, diminuição de áreas verdes, entre outros, quem vem crescendo num ritmo muito acelerado na cidade do Recife, que é uma das mais que se desenvolvem no país.

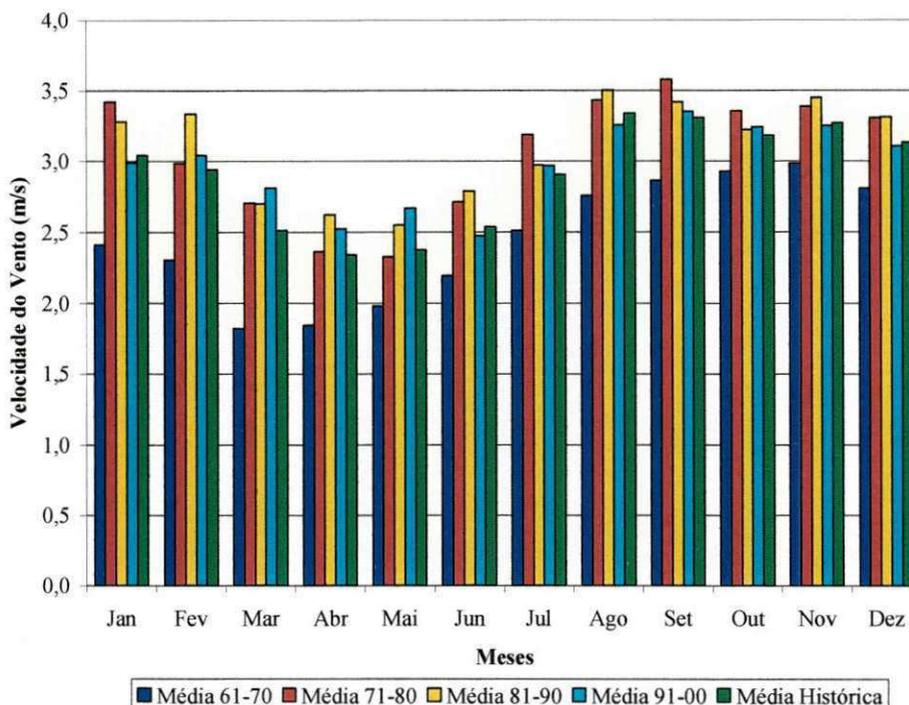


Figura 01b - Médias mensais da velocidade do vento nos períodos de 1961-1970; 1971-1980; 1981-1990 e 1991-2000 em Recife-PE.

Na Figura 01c, observa-se que as temperaturas mais baixas ocorrem principalmente nos meses de julho e agosto, que é considerado o período de inverno para o hemisfério sul, com temperaturas em torno de $24,0^{\circ}$ C. Os maiores valores são registrados nos meses de dezembro, janeiro, fevereiro e março próximo a $26,5^{\circ}$ C. A década de 1961-1970 apresentou os menores valores em praticamente todos os meses, exceto nos meses de setembro e outubro. Verifica-se um aumento significativo das temperaturas na década de 1991-2000 em quase todos os meses, com exceção de junho e agosto, comparado com os outros períodos. Os maiores valores médios de temperaturas foram observados nessa última década, nos meses de janeiro a março com temperaturas acima de $27,0^{\circ}$ C, e os menores valores nos meses de junho a agosto no período de 1961-70, com a menor temperatura observada no mês de julho ($23,7^{\circ}$ C).

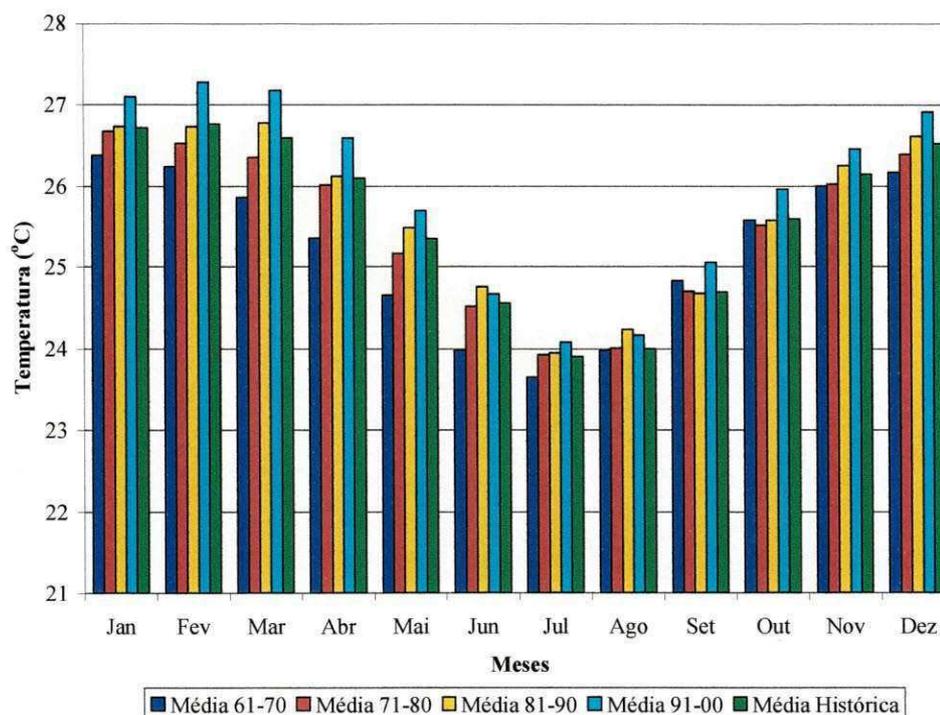


Figura 01c - Médias mensais da temperatura do ar nos períodos de 1961-1970; 1971-1980; 1981-1990 e 1991-2000 em Recife-PE.

De uma maneira geral, a Figura 01d mostra que a umidade relativa do ar em todos os meses do ano dos quatro períodos estudados é considerada alta, com valores acima de 70%. Os maiores valores ocorrem nos meses de maio, junho e julho com valores em torno 85%, enquanto que os menores são observados em novembro, dezembro e janeiro próximo a 74%. Os períodos de 1961-1970 e 1971-1981 apresentaram os maiores valores de umidade, em praticamente todos os meses. Já na última década, nos meses de janeiro a dezembro observam-se os menores valores de umidade relativa comparado com os outros períodos, com exceção para o mês de novembro na década de 1961-1970 que teve um valor menor.

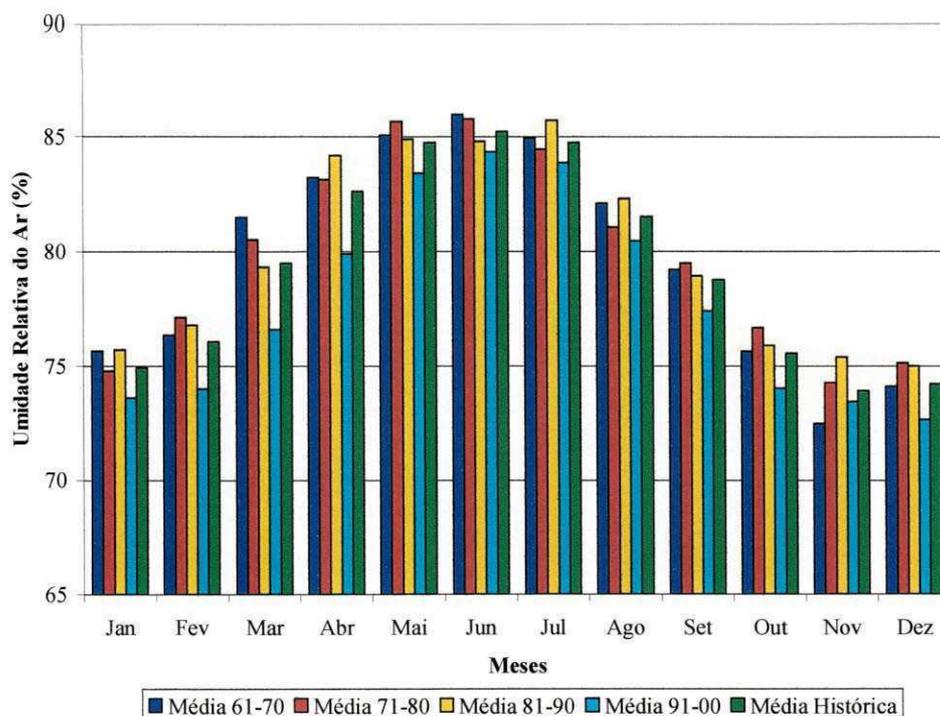


Figura 01d - Médias mensais da umidade relativa do ar nos períodos de 1961-1970; 1971-1980; 1981-1990 e 1991-2000 em Recife-PE.

As Figuras 02a, b, c e d representam os desvios normalizados anuais no período de 1961-2000 da precipitação, vento à superfície, temperatura e umidade relativa do ar para Recife.

Verifica-se grande variabilidade das chuvas de ano para ano, com uma média anual de 2345,5 mm e um erro calculado em torno de 23,2%. Na Figura 02a observaram-se que houve dois anos considerados chuvosos (1970 e 1973) com desvios acima de +23,2%, e os anos de 1964, 1986 e 2000 extremamente chuvosos com desvios positivos acima de +50%, com valores reais de precipitação de 3525,5 mm, 3856,8 mm e 3482,0 mm, respectivamente; que segundo Lacerda *et al.* (2000) a atuação de ondas de leste no final do mês de julho e início de agosto de 2000 ocasionou chuvas muito fortes, que praticamente todos os bairros da região metropolitana do Recife ficaram inundados, ocasionando desabamentos, com ocorrência de mortes, além de muitos transtornos para a população e para a defesa civil. Toda a Zona da Mata e Litoral de Pernambuco enfrentaram grandes problemas com cinco dias consecutivos de chuvas abundantes. Ao contrário disto, os anos de 1981 e 1999 foram secos com desvios abaixo de -23%, destacando-se 1993 e 1998 que

foram classificados muito secos, com desvios negativos abaixo de -44%. Estes anos de seca severa trouxeram grandes problemas para a população comprometendo as reservas hídricas, falta de abastecimento de água para a vida humana e animal, chegando a ficar 8 dias sem água e um dia com pouca água durante muito tempo. A Figura mostra que houve uma redução da precipitação de -0,24% nos 40 anos estudados que corresponde a uma diminuição de 2,3 mm; e que esta última década apresentou sérios problemas de escassez d'água para Recife, podendo ser explicado pela atuação de dois episódios intensos do fenômeno El Niño.

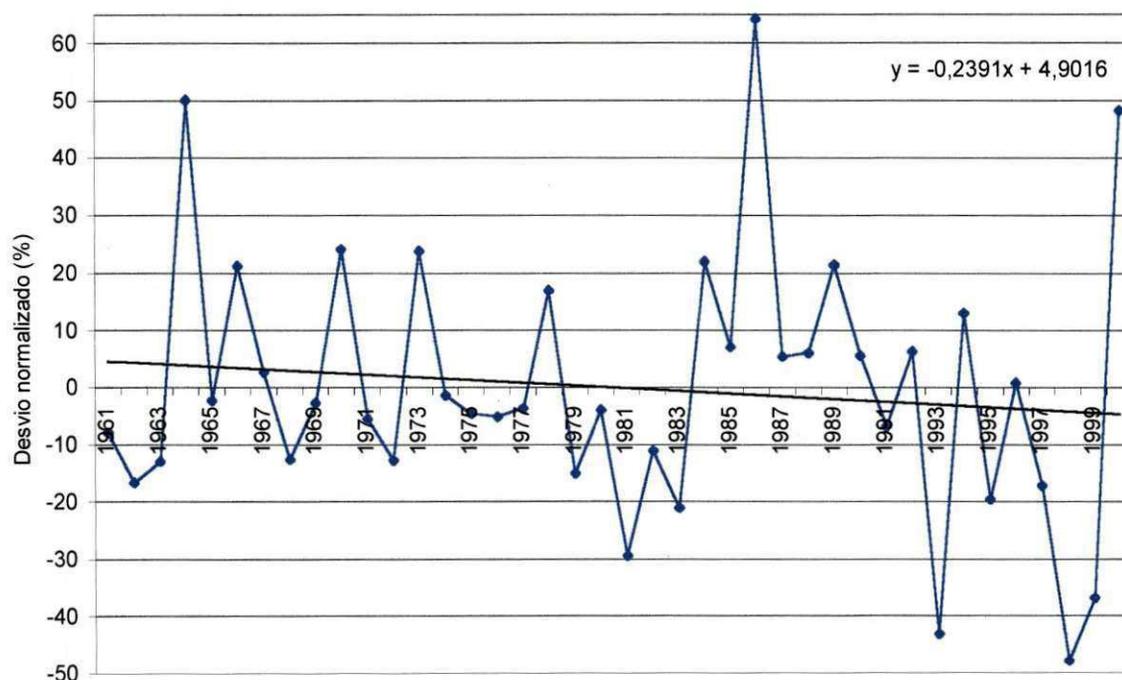


Figura 02a – Desvio normalizado da precipitação anual no período de 1961-2000 para Recife-PE (Média: 2345,52 mm; DP: 545,81; Erro: $\pm 23,2\%$).

Com relação ao vento à superfície (Figura 02b), a média anual é de 2,91 m/s, com um erro calculado de 14,7%. No período de 1961 a 1966, os ventos foram considerados muito fracos. De 1967 a 2000, os ventos estiveram em torno da média histórica, próximo a 3,0 m/s. Os anos de 1969, 1971, 1987 e 1997 ficaram com valores abaixo e em torno da média climatológica. Na Figura, destaca-se um período de 15 anos (1972-1986) com valores acima ou em torno da média. Em 1981, verifica-se o maior desvio desses últimos

40 anos, com uma velocidade de aproximadamente 4,0 m/s no ano, que pode ser devido a intensificação anômala da alta subtropical do Atlântico Sul nos meses de junho a setembro (Figura 01b), fazendo com que os ventos fossem mais intensos e de sudeste, pois são nesses meses que se observam os maiores valores da velocidade do vento à superfície nessa região, concordando com Servain & Lucas (1990) que dizem que durante a estação chuvosa do setor leste do Nordeste, os ventos sopram perpendiculares à costa, de sudeste, favorecendo a ocorrência da zona de convergência noturna associada à brisa terrestre. A linha de tendência mostra um aumento de +0,55% da velocidade do vento, que corresponde a 0,02 m/s no intervalo de 1961-2000.

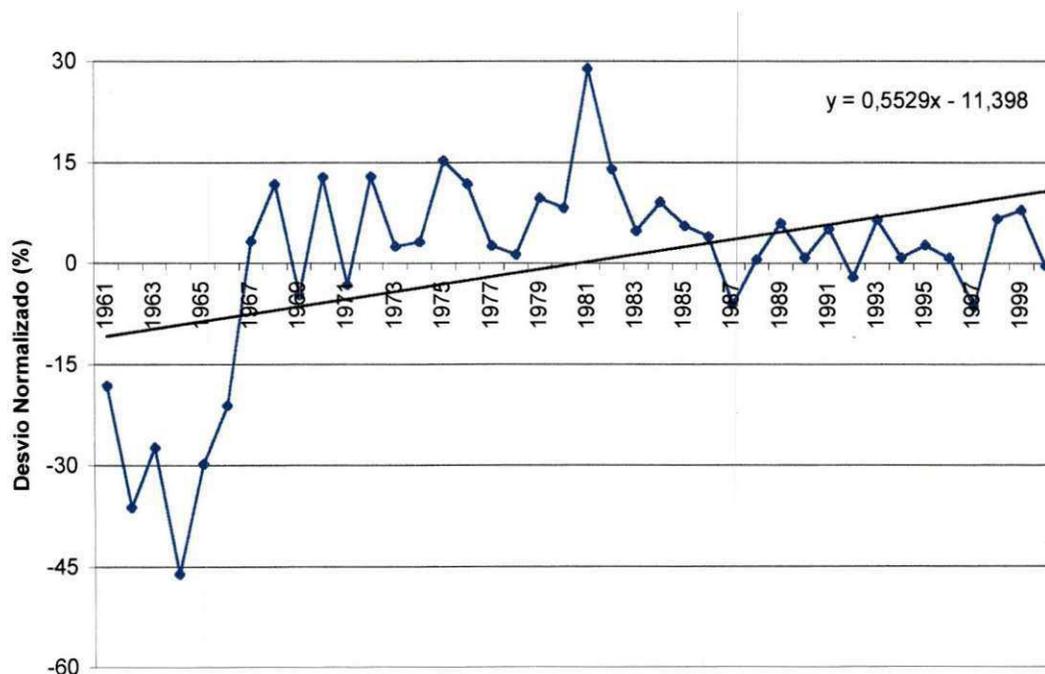


Figura 02b – Desvio normalizado da velocidade do vento à superfície no período de 1961-2000 para Recife-PE (Média: 2,91 m/s; DP: 0,427; Erro: $\pm 14,7\%$).

Na Figura 02c verifica-se grande homogeneidade temporal da temperatura do ar, com valor médio anual de 25,6° C e um erro de $\pm 1,5\%$. Os anos de 1973, 1988, 1995, 1996 e 1999 apresentaram desvios positivos acima de +1,5%, considerados com temperaturas elevadas, com destaque para 1998 com desvio de +4,2% sendo classificado um ano extremamente quente com temperatura média próximo a 27,0° C. Já os anos de 1962, 1963, 1965, 1968 e 1976 foram classificados com temperaturas baixas, com desvios

abaixo de -1,5%, destacando-se 1961 com desvio de -3,3% com temperatura de 24,7° C, ano este considerado o mais frio dos últimos 40 anos. Observa-se que no período de 1961-1970 os desvios foram negativos, com as temperaturas mais baixas, enquanto que na década de 1991-2000 apresentou os maiores desvios positivos, exceto para o ano de 1992, com as temperaturas mais elevadas. No entanto, pode-se dizer que houve um aumento de +0,09% (equivalente a um aquecimento de 0,02° C) da temperatura do ar nos últimos 40 anos, sendo a última década com temperaturas mais elevadas. Esse aumento significativo da temperatura no período de 1991-2000 deve estar associado ao aumento principalmente da construção de prédios, aumento do número de carros circulando nas ruas, diminuição de áreas verdes, que segundo Lombardo (1985) as áreas urbanas de grande edificação e acumulação de calor produz ilhas de calor, causando grande desconforto térmico para os habitantes de uma cidade.

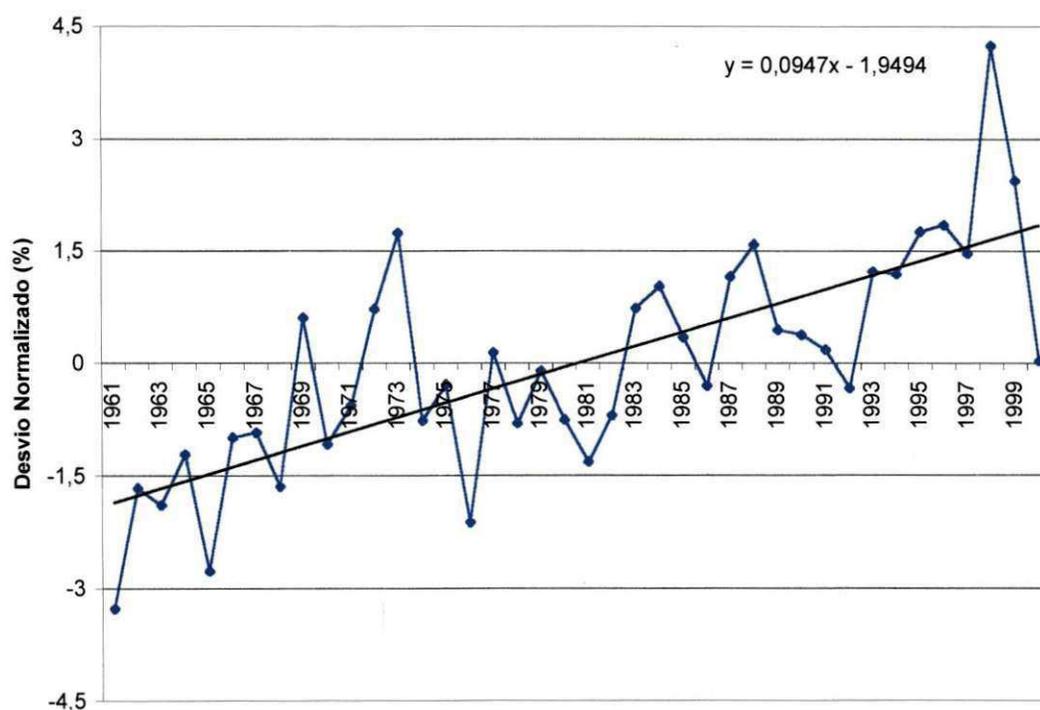


Figura 02c – Desvio normalizado da temperatura do ar anual no período de 1961-2000 para Recife-PE (Média: 25,6° C; DP: 0,380; Erro: ± 1,5%).

Quanto a umidade relativa do ar (UR), observa-se na Figura 02d que não há uma grande variabilidade interanual com relação ao tempo. No Recife, a UR é considerada relativamente alta com média anual de 79,3%, com um erro calculado em torno de ± 1,7%.

Os anos de 1961, 1964, 1986 e 1987 apresentaram desvios acima de +1,7%, sendo classificados com UR altas, enquanto que 1993 e 1997 com desvios abaixo de -1,7%, destacando-se os anos de 1995, 1998 e 1999 que apresentaram os maiores desvios negativos de -3,7%, -4,2% e -5,1%, respectivamente, sendo considerados anos com umidade muito baixa. Nesta Figura, também se observa um período de 13 anos com valores acima e em torno da média histórica (1968-1980). A linha de tendência mostra que houve uma diminuição da umidade relativa do ar próximo a -0,07% nos últimos 40 anos que equivale a uma redução de 0,06% na umidade, e que na década de 1991-2000, a UR diminuiu consideravelmente. Changnon (1969) afirma que os efeitos das variações espacial e temporal da infra-estrutura física e urbana, ou seja, que a diminuição de áreas verdes e a quantidade de vapor retido sobre a superfície são os fatores principais responsáveis pela baixa umidade dentro das cidades.

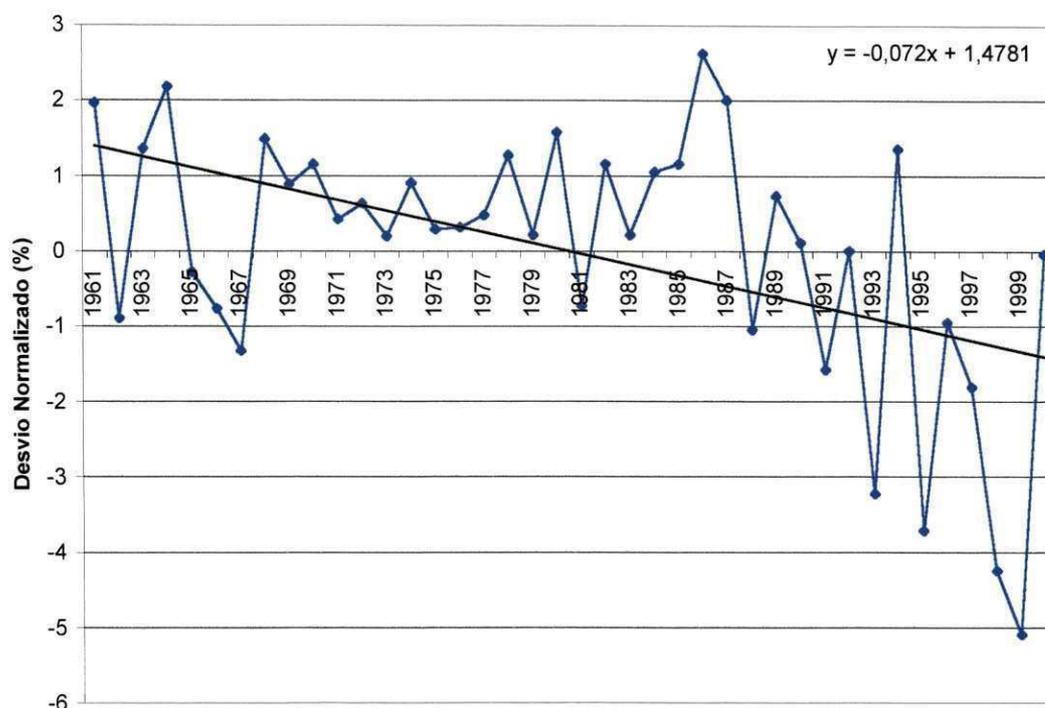


Figura 02d – Desvio normalizado da umidade relativa do ar anual no período de 1961-2000 para Recife-PE (Média: 79,33%; DP: 1,37; Erro: $\pm 1,7\%$).

As Figuras 03a, b, c e d representam os três primeiros harmônicos anuais que possuem maior contribuição para a variância da precipitação, velocidade do vento à superfície, temperatura e umidade relativa do ar para Recife.

Os harmônicos que possuíram maior contribuição foram os harmônicos 3, 4 e 7, que representam 17%, 15% e 10% da variância total da precipitação de toda a série. Na Figura 03a observa-se que o harmônico 3 é o mais representativo apresentando um ciclo de 13 anos, com sua primeira fase negativa de 6 anos observada nos intervalos de 1964-1970, 1977-1984 e 1991-1997 contribuindo para uma redução da precipitação, e com fase positiva de 7 anos contribuindo para um aumento significativo das chuvas evidente, principalmente, nos intervalos de 1970-1977 e 1983-1990. O harmônico 4 apresentou ciclos de 10 anos com fases negativas primeiramente de 5 anos (evidente no intervalo de 1964-1969) e positivas de 5 anos (evidente em 1969-1974), e o harmônico 7 com ciclo em torno de 6 anos com sua primeira fase negativa no intervalo de 1963-1966 e positiva em 1966-1969, com continuidade destes ciclos nos restante da série estudada.

A Figura 03b mostra que os harmônicos 1, 3 e 2 possuíram maior contribuição correspondendo a 48%, 11% e 7% da variância total da velocidade do vento, ou seja, 66% de toda a série. Na Figura, observa-se que a contribuição dos três harmônicos é bastante evidente, principalmente para o primeiro harmônico que representa 48% da variância total da série. O harmônico 1 possui um ciclo de 40 anos, sendo considerado o mais representativo, com fase negativa no período de 1961-1967 e 1988-2000 e com fase positiva de 20 anos no período de 1968-2000 evidenciando um aumento da velocidade do vento, que também pode ser observado de forma sucinta na Figura 02b. O harmônico 3 apresentou ciclos de 20 anos com fase negativa de 10 anos (evidente nos intervalos de 1961-1968 e 1978-1988) e positivas de 10 anos (evidente em 1968-1978 e 1988-2000), e o harmônico 2 com ciclo em torno de 13 anos com 3 fases negativas e 3 positivas.

Com relação a temperatura do ar, os harmônicos que possuem maior contribuição são os harmônicos 8, 3 e 11, os quais representam 25%, 18% e 11% da variância total da série. No entanto, verifica-se na Figura 03c que o harmônico 8 possui um ciclo em torno de 13 anos, com sua primeira fase negativa de 6,5 anos observada no intervalo de 1961-1968, e positiva nos outros cinco anos no intervalo de 1968-1975, com continuidade deste ciclo no restante da série. O último ciclo positivo observado na ainda nesta Figura, também pode ser visto na Figura 02c, que apresenta um aumento bastante significativo da temperatura do ar. Os harmônicos 3 e 11 apresentam ciclos em torno de 6 e 4 anos, com suas primeiras fases positivas.

Os harmônicos com maior contribuição foram os harmônicos 1, 11 e 17 que representam 27%, 12% e 10% da variância total da umidade relativa do ar, valores estes significativos. O harmônico 11 apresenta um ciclo de 40 anos com fase negativa nos primeiros 12 anos (1961-1972) e nos últimos 8 anos (1992-2000) que pode ser explicado através do aumento da temperatura do ar, principalmente na década de 90, que houve um aumento da população, de carros circulando pelas ruas, construção de edifícios, entre outros, que por sua vez influencia no clima de uma cidade gerando um certo desconforto. A sua fase positiva é de 20 anos observada no período de 1972-1992 contribuindo para um aumento da umidade relativa do ar. Os harmônicos 1 e 12 possuem ciclos em torno de 4 anos 3 anos (Figura 03d).

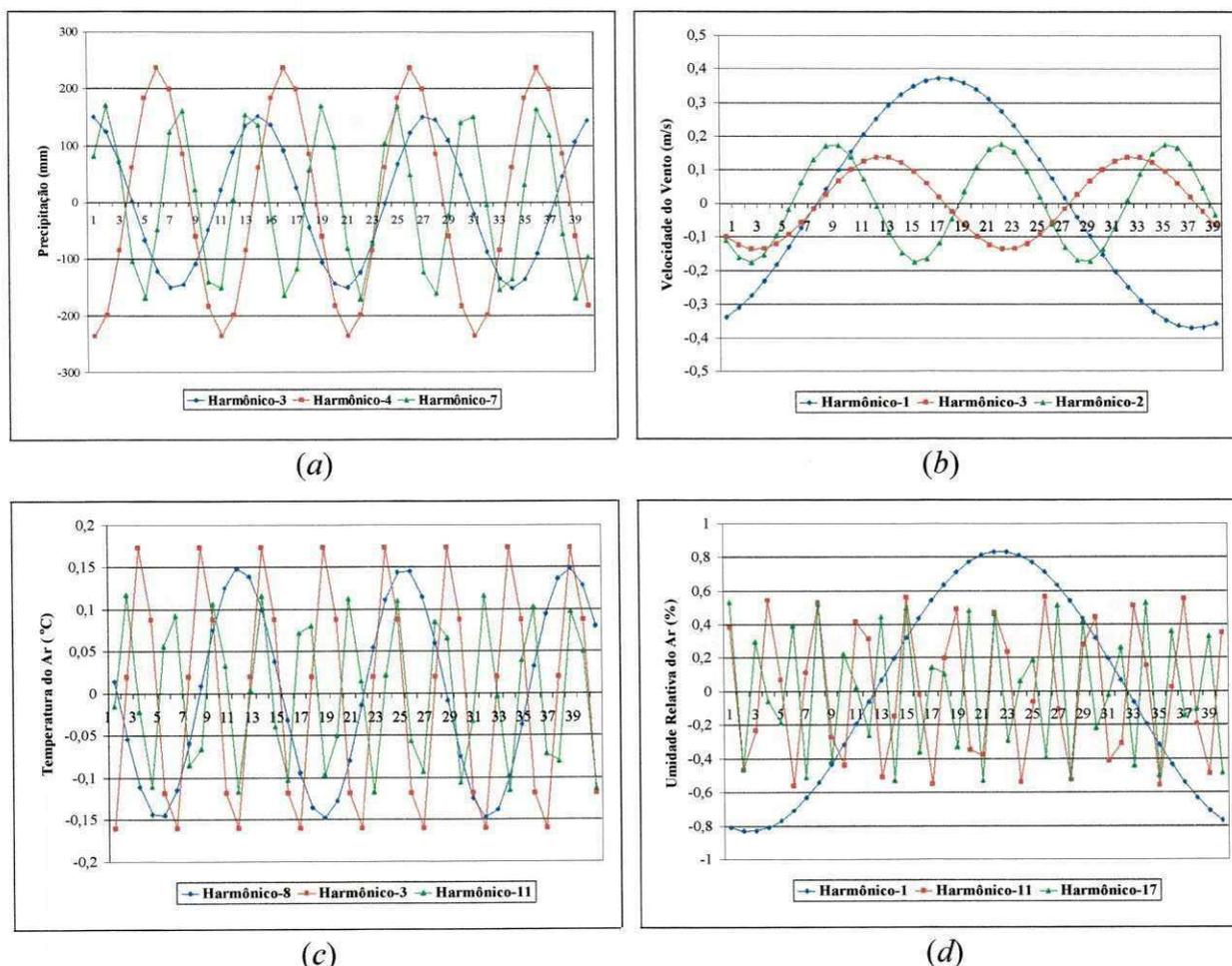


Figura 03 - Contribuição do harmônico anual para a precipitação (a), velocidade do vento (b), temperatura (c) e umidade relativa do ar (d) para Recife-PE no período de 1961-2000.

4.2 - Pesqueira

As Figuras 04 *a*, *b*, *c* e *d* representam as médias de 10 anos nos períodos de 1961-1970; 1971-1980; 1981-1990 e 1991-2000 da precipitação, velocidade do vento à superfície, temperatura e umidade relativa do ar.

Na Figura 04*a*, observa-se que os meses mais chuvosos são março, abril e maio, com destaque para o mês de março onde são registrados os maiores valores de chuva em torno de 120,0 mm, enquanto que os meses menos chuvosos são setembro, outubro e novembro com 18,0 mm, em média. Na década de 1961-1970, verifica-se que em praticamente todos os meses os valores observados ultrapassaram a média histórica. Os maiores valores observados no período chuvoso foram na década de 1981-1990 no mês de abril com 45% acima da média, e no mês de março de 1961-1970 com 24%, e o menor valor foi registrado no mês de abril no período de 1991-2000 com 50% abaixo da média climatológica. No período de 1991-2000 há uma redução considerável da precipitação em todos os meses, principalmente no trimestre considerado mais chuvoso.

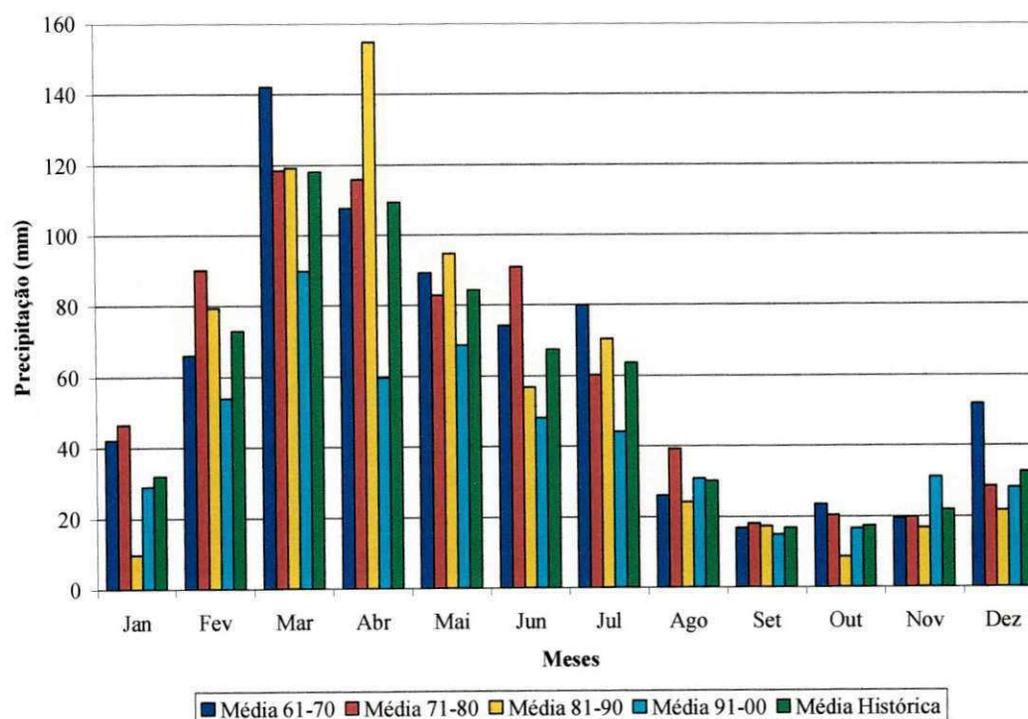


Figura 04*a* - Médias mensais da precipitação nos períodos de 1961-1970; 1971-1980; 1981-1990 e 1991-2000 em Pesqueira-PE.

A Figura 04b mostra que os maiores valores de velocidade do vento são nos meses de outubro a dezembro, com valores médios em torno de 4,5 m/s, e os menores em abril, maio e junho próximo a 3,0 m/s. Os ventos se intensificam mais a partir do mês de agosto com seus picos máximos em outubro e novembro, voltando a diminuir no mês de fevereiro, conforme a Figura.

O período de 1981-90 apresentou os maiores valores em praticamente todos os meses, com exceção de abril. Os maiores valores de velocidade do vento foram observados nos meses de outubro e novembro de 1981-90 com 5,0 m/s, e o menor no mês de abril de 1961-70 com 2,3 m/s. Nota-se que a velocidade do vento diminuiu na década de 1991-2000, quando comparada com o período de 1981-1990.

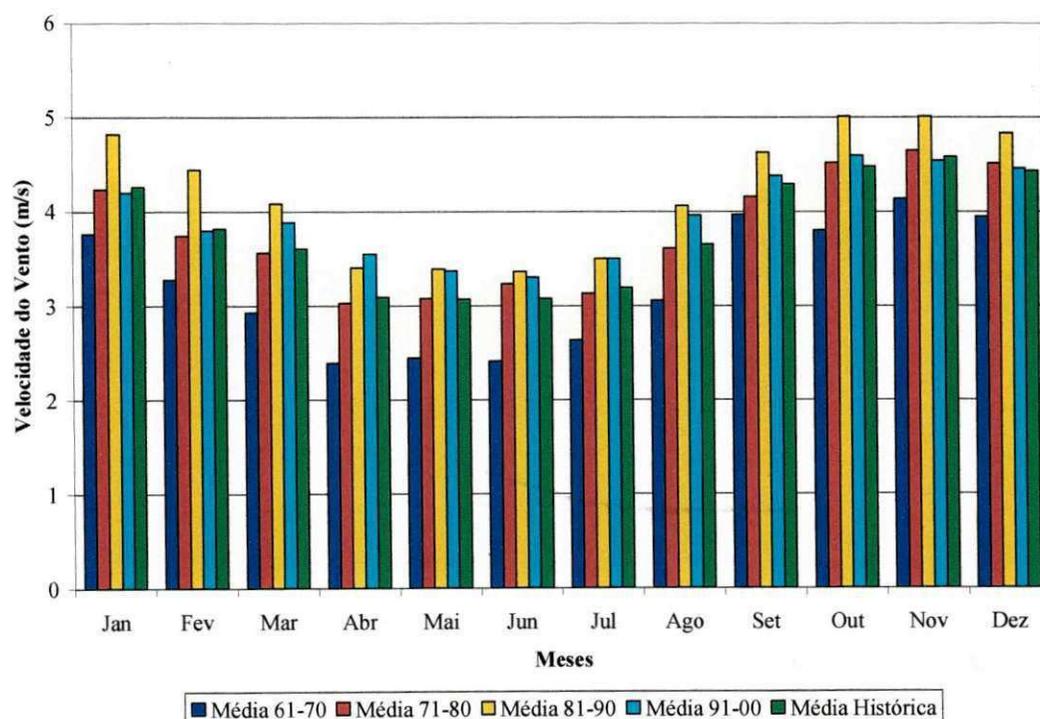


Figura 04b - Médias mensais da velocidade do vento nos períodos de 1961-1970; 1971-

observou que na década de 1981-1990 apresentou um valor menor. No entanto, nota-se claramente que a temperatura aumentou em todos os meses de década para década, e que no período de 1991-2000 as temperaturas foram mais elevadas na maioria dos meses. Na Figura verificou-se que a maior temperatura registrada foi no mês de janeiro de 1981-1990 com 25,0° C, e a menor foi observada em julho de 1961-1970 com 19,8° C.

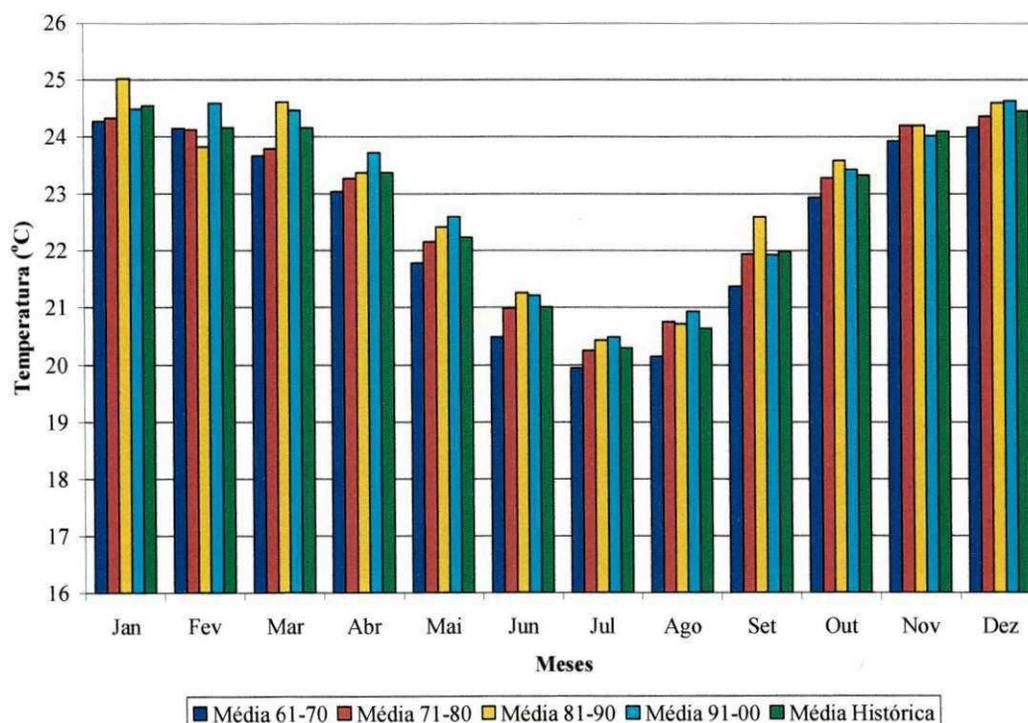


Figura 04c - Médias mensais da temperatura do ar nos períodos de 1961-1970; 1971-1980; 1981-1990 e 1991-2000 para Pesqueira-PE.

Ao contrário da temperatura, os maiores valores de umidade relativa do ar foram observados nos meses de maio, junho e julho com valores médios acima de 80%, e os menores em torno de 60% nos meses de outubro, novembro e dezembro (Figura 04d). A umidade relativa foi maior na década de 1981-1990 com 85%, e menor no período de 1991-2000 com 58%. No entanto, observa-se que a umidade relativa na década de 1991-2000 reduziu em praticamente todos os meses.

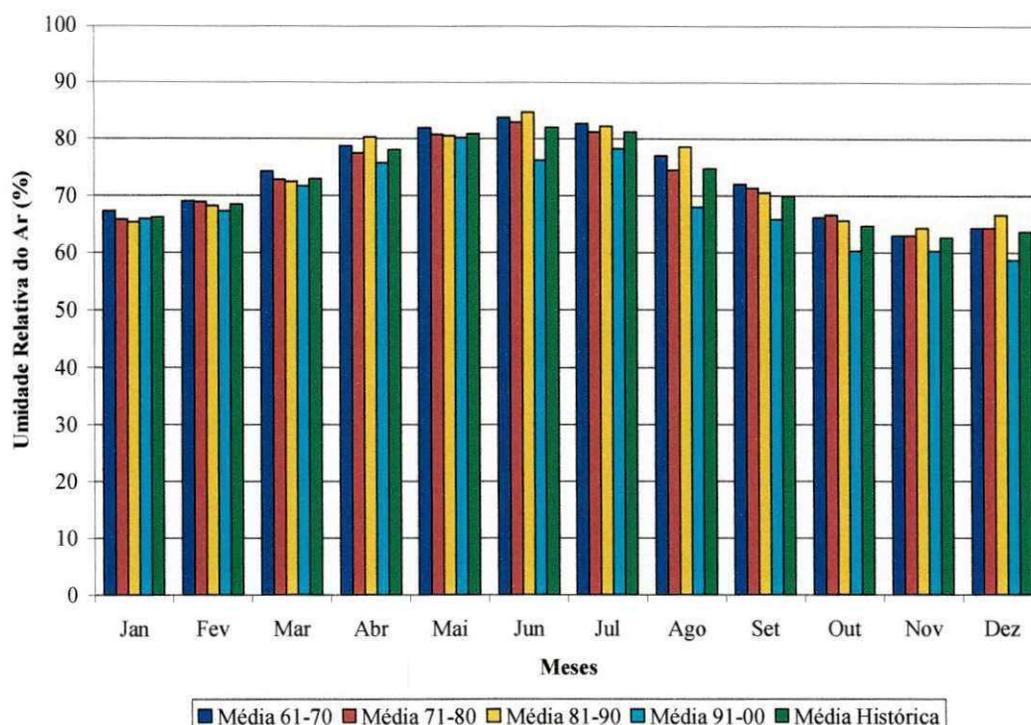


Figura 04d - Médias mensais da umidade relativa do ar nos períodos de 1961-1970; 1971-1980; 1981-1990 e 1991-2000 para Pesqueira-PE.

As Figuras 05a, b, c e d mostram os desvios normalizados anuais com suas respectivas retas de regressão para a precipitação, velocidade do vento à superfície, temperatura e umidade relativa do ar no período de 1961 a 2000.

A Figura 05a mostra que houve uma redução da precipitação próxima a -1,13% que corresponde a uma diminuição de 7,4mm nos últimos 40 anos, com um erro em torno de $\pm 34\%$. Também se observa, claramente, que na última década (1991-2000) apresentaram os maiores desvios negativos, quando comparados com as outras décadas. Verifica-se 25 anos com desvios que oscilaram entre -34% a +34%, anos estes considerados em torno da média histórica (652,1 mm), com grande variabilidade temporal, com anos com desvios abaixo e próximo à media, e anos com desvios acima e em torno da média climatológica. Nota-se também, 8 anos com desvios acima de +33%, sendo classificados anos chuvosos, com o maior desvio em 1989, com 1043mm. Foram observados 5 anos secos, com desvios abaixo de -33%, com destaque para os anos de 1992 e 1998 que apresentaram desvios de -68% e -72%, anos estes classificados muito secos. De acordo com Hapert *et al.* (1996), o episódio El Niño/Oscilação Sul de 1990 ao início de 1995, foi considerado o mais longo

evento nos últimos 50 anos, sendo comparável apenas com o episódio de 1911-1915, onde houve um extremo período de seca, principalmente, de 1990 a 1993.

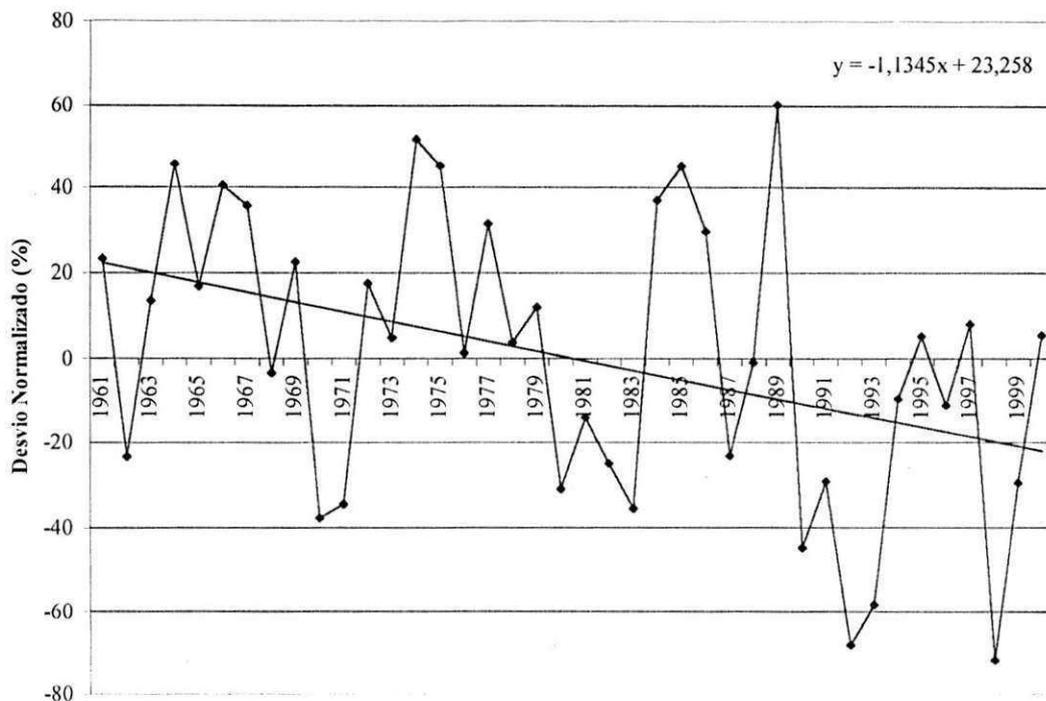


Figura 05a - Desvio normalizado da precipitação anual para Pesqueira-PE (Média: 652,14mm; DP: 220,76; Erro: +/-33,85%.

Quanto a velocidade do vento à superfície, verifica-se na Figura 05b que houve um aumento em torno +0,52% (correspondente a 0,02 m/s) nos 40 anos estudados. Na Figura, considera-se que os desvios entre -10 e +10% são classificados como anos normais, com valores em torno da média. Os anos que oscilaram entre 10 e 20%, são considerados com ventos fortes, e acima de 20% ventos muito fortes. Na Figura, observa-se que num período de 16 anos (1961-1976) os desvios foram negativos, com 8 anos com desvios abaixo de -10%, anos estes considerados com ventos fracos, e um ano com desvio abaixo de -20% com ventos muito calmos, e 7 anos com valores abaixo e próximo à media climatológica, sendo classificados como anos normais. O período de 1977-1993 (17 anos) apresentou desvios positivos, com 8 anos acima de +10% (ventos fortes), 9 anos com desvios abaixo de +10% classificados como anos normais e o ano de 1983 com desvio de +20%, ano este considerado com ventos muito fortes. Já no período de 1994-2000 os ventos estão dentro da categoria do normal variando entre -6% a +5%.

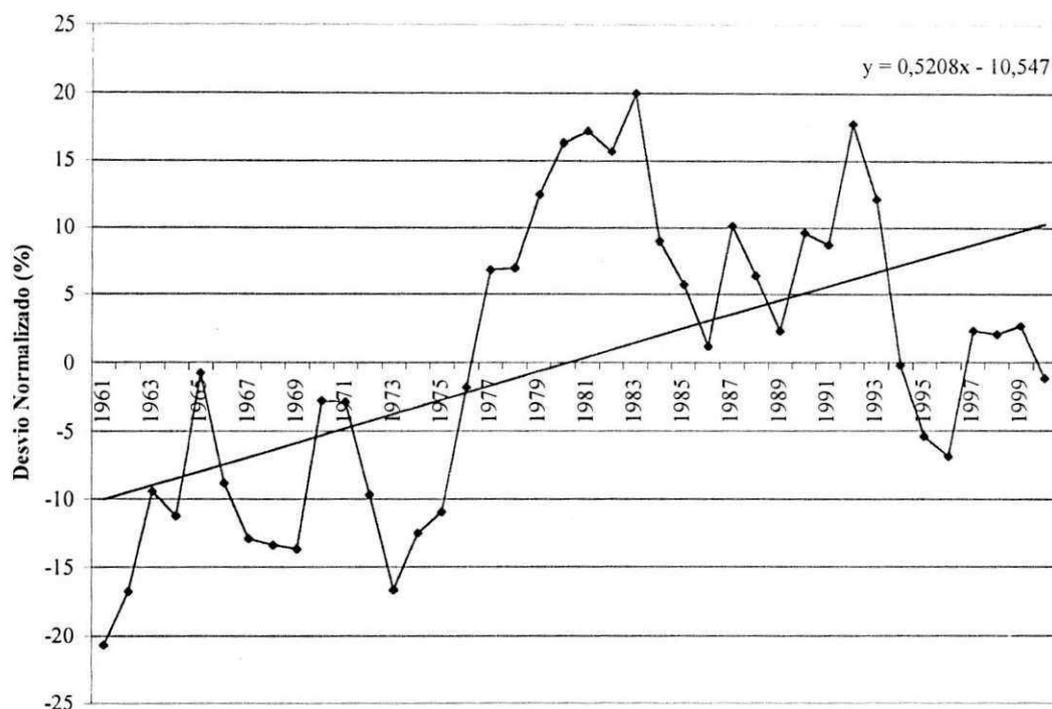


Figura 05b - Desvio normalizado da velocidade do vento anual para Pesqueira-PE (Média: 3,84m/s; DP: 0,419; Erro: +/-10%).

Observa-se que não há uma variabilidade no tempo, com relação a temperatura do ar, com uma média anual para o município de Pesqueira de $22,8^{\circ}\text{C}$, considerando um desvio de +/-2%. A Figura 05c mostra pela linha de tendência um aumento significativo da temperatura próximo +0,09% (equivalente a $0,02^{\circ}\text{C}$) nos 40 anos. O período de 1961-1970 com temperaturas mais baixas e a década de 1991-2000 com temperaturas mais elevadas. Os anos de 1973, 1983 e 1990 foram quentes, com desvios acima de +2%, enquanto que 1987 e 1993 apresentaram desvios positivos de +4,5% e +4,2%, sendo considerados com temperaturas anuais muito elevadas para Pesqueira, com $23,9^{\circ}\text{C}$ e $23,8^{\circ}\text{C}$, respectivamente. Já os anos de 1961, 1964 e 1969 foram considerados frios com desvios abaixo de -2%, destacando-se 1968 com desvio de -5,4%, ano este classificado com temperatura muito baixa, próximo a $21,5^{\circ}\text{C}$. Os anos que não foram citados ficaram dentro da categoria de uma ano normal, com temperaturas em torno de $22,8^{\circ}\text{C}$.

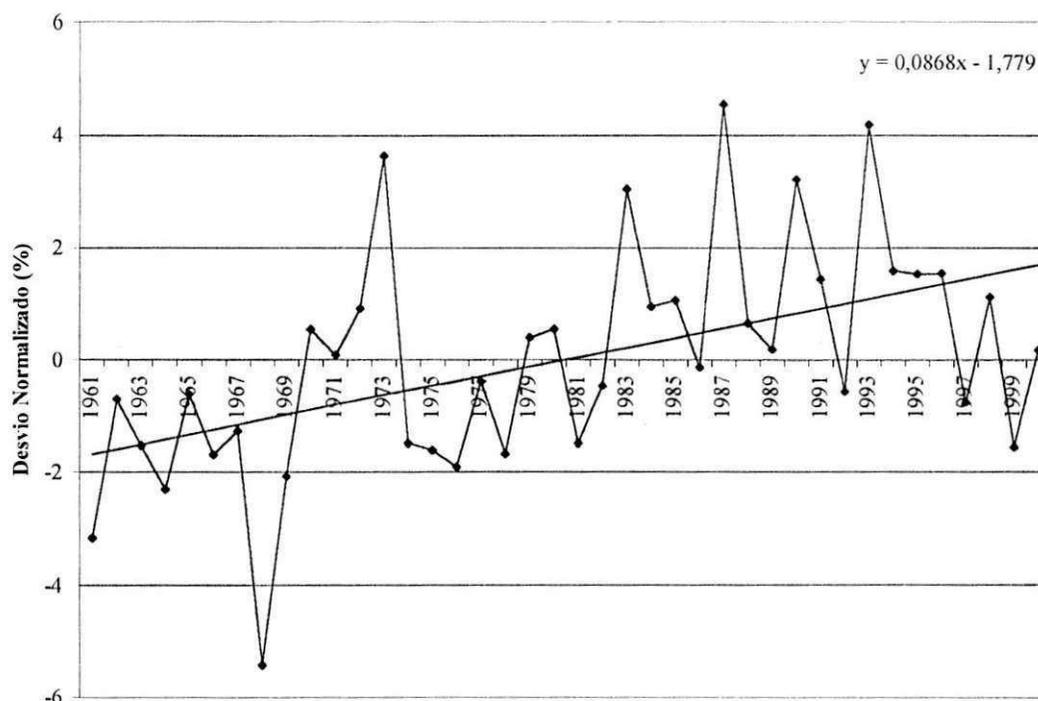


Figura 05c - Desvio normalizado da temperatura do ar anual para Pesqueira-PE (Média: 22,8° C%; DP: 0,46; Erro: +/-2%).

A Figura 05d mostra que os anos de 1964 e 1999 apresentaram os maiores desvios positivos nos últimos 40 anos, em torno de 7% acima da média, ou seja, foram considerados anos muito úmidos. Os anos de 1961, 1962, 1966, 1975, 1977, 1978, 1985, 1986, 1989, 1990 e 1997 apresentaram valores acima de 3%, os quais considerados com umidades elevadas, em torno de 73%. Na Figura, destaca-se 1998 que apresentou o mais baixo valor de UR nos últimos 40 anos, com desvio negativo próximo a -7%. Os anos de 1970, 1971 e 1993 apresentaram UR baixas, com desvios maiores de -3%. De uma maneira geral, observa-se que a década de 1961-1970 apresentou os maiores valores de UR, enquanto que o período de 1991-2000 os menores valores. Pela linha de tendência, houve uma redução próximo a -0,04% (correspondente a 0,03%) da umidade relativa do ar no período de 1961 a 2000.

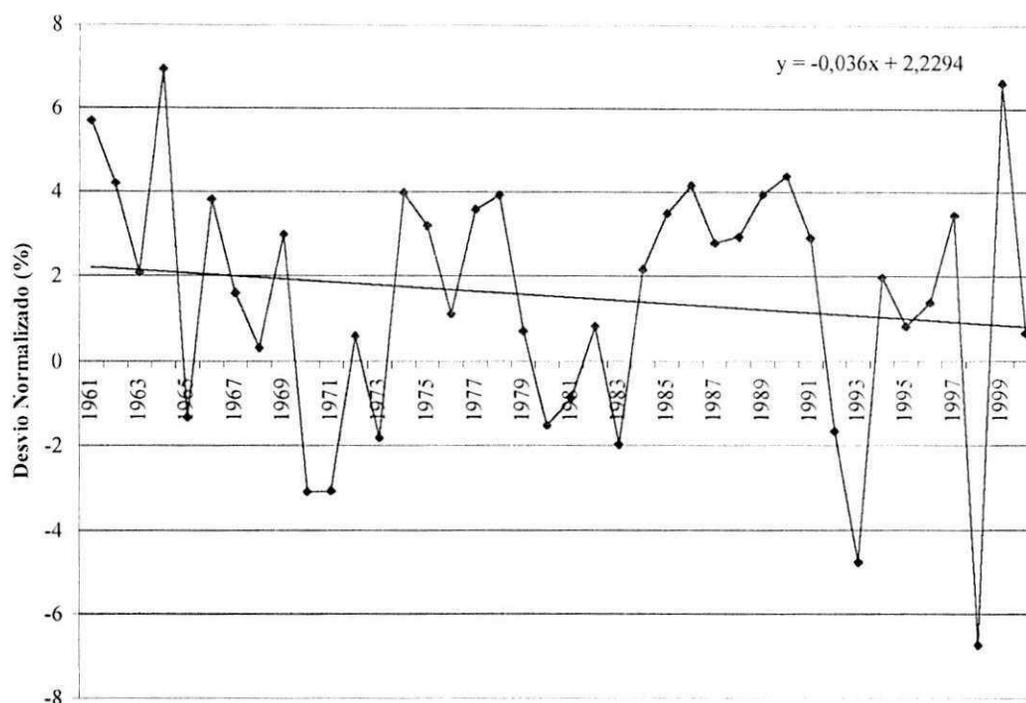


Figura 05d - Desvio normalizado da umidade relativa do ar anual para Pesqueira-PE (Média: 72,68%; DP: 2,24; Erro: +/-3%.

As Figuras 06a, b, c e d representam os três primeiros harmônicos anuais que possuem maior contribuição para a variância da precipitação, velocidade do vento à superfície, temperatura e umidade relativa do ar para Pesqueira.

A contribuição dos harmônicos anuais 4, 8 e 16 equivalem a 28%, 11% e 10% da variância total da precipitação. Conforme mostra a Figura 06a, o harmônico 4 é o mais representativo da série, com um ciclo de 10 anos, sendo sua primeira fase considerada positiva no período de 1963-1968 contribuindo para um aumento significativo das chuvas, e no período de 1968-1973 com fase negativa contribuindo para uma redução da precipitação, com continuidade deste ciclo nos outros anos subsequentes, concordando com a Figura 05a exceto no período de 1990-2000 que apresenta desvios negativos nesse intervalo, ao contrário da Figura 06a que apresenta sua fase positiva na maior parte desse período. Já os harmônicos 8 e 16 possuem ciclos de 5 e 4 anos com suas respectivas fases positivas e negativas.

Os harmônicos que possuíram maior contribuição foram os harmônicos 1, 4 e 7 que correspondem a 30%, 10% e 9% da variância da velocidade do vento. Na Figura 06b, verifica-se que a contribuição dos três harmônicos é significativa, que segundo Preste (2001) a contribuição do harmônico anual para a variância do vento próximo a superfície é significativa para a maior parte do Nordeste do Brasil (NEB), com exceção do sul da Bahia e leste do NEB que a contribuição diminui ligeiramente, mas não deixa de apresentar valores significativos. O harmônico 1 apresentou um ciclo de 40 anos, sendo considerado o mais representativo, com fase negativa no período de 1961-1972 e 1992-2000 e com fase positiva de 20 anos no período de 1971-1992 evidenciando um aumento da velocidade do vento, que também pode ser observado na Figura 06b. O harmônico 4 apresentou ciclos de 10 anos com fases negativas primeiramente de 5 anos (evidente no intervalo de 1964-1969) e positivas de 5 anos (evidente em 1969-1974), e o harmônico 7 com ciclo em torno de 9 anos com sua primeira fase positiva no intervalo de 1962-1965 e negativa em 1965-1968, com continuidade destes ciclos nos restante da série estudada.

Com relação a temperatura do ar, os harmônicos 12, 4 e 5 foram os que mais contribuíram, equivalentes a 14%, 13% e 10% da variância total da série. A Figura 06c mostra que o harmônico 12 possui ciclo de 10 anos, com fases positivas no primeiros cinco anos observado primeiramente no período de 1960-1965, e negativas nos outros cinco no período de 1965-1971, com continuidade desta periodicidade no restante da série. Os harmônicos 4 e 5 apresentam ciclos de 8 e 3 anos, com suas primeiras fases de 4 e 1,5 anos positivas.

Os harmônicos com maior contribuição foram os harmônicos 4, 13 e 8 que representam 10%, 8% e 7% da variância total da umidade relativa do ar, valores estes não muito significativos. O harmônico 4 apresenta um ciclo de 10 anos com fase negativa nos primeiros 5 anos e fase positiva nos outros cinco anos (evidente em 1964-1969) contribuindo para um aumento da umidade relativa do ar, com continuidade deste ciclo de 10 anos na série estudada. Os harmônicos 5 e 3 possuem ciclos de 5 e 3 anos, com suas primeira fases também negativas, como pode ser visto na Figura 06d.

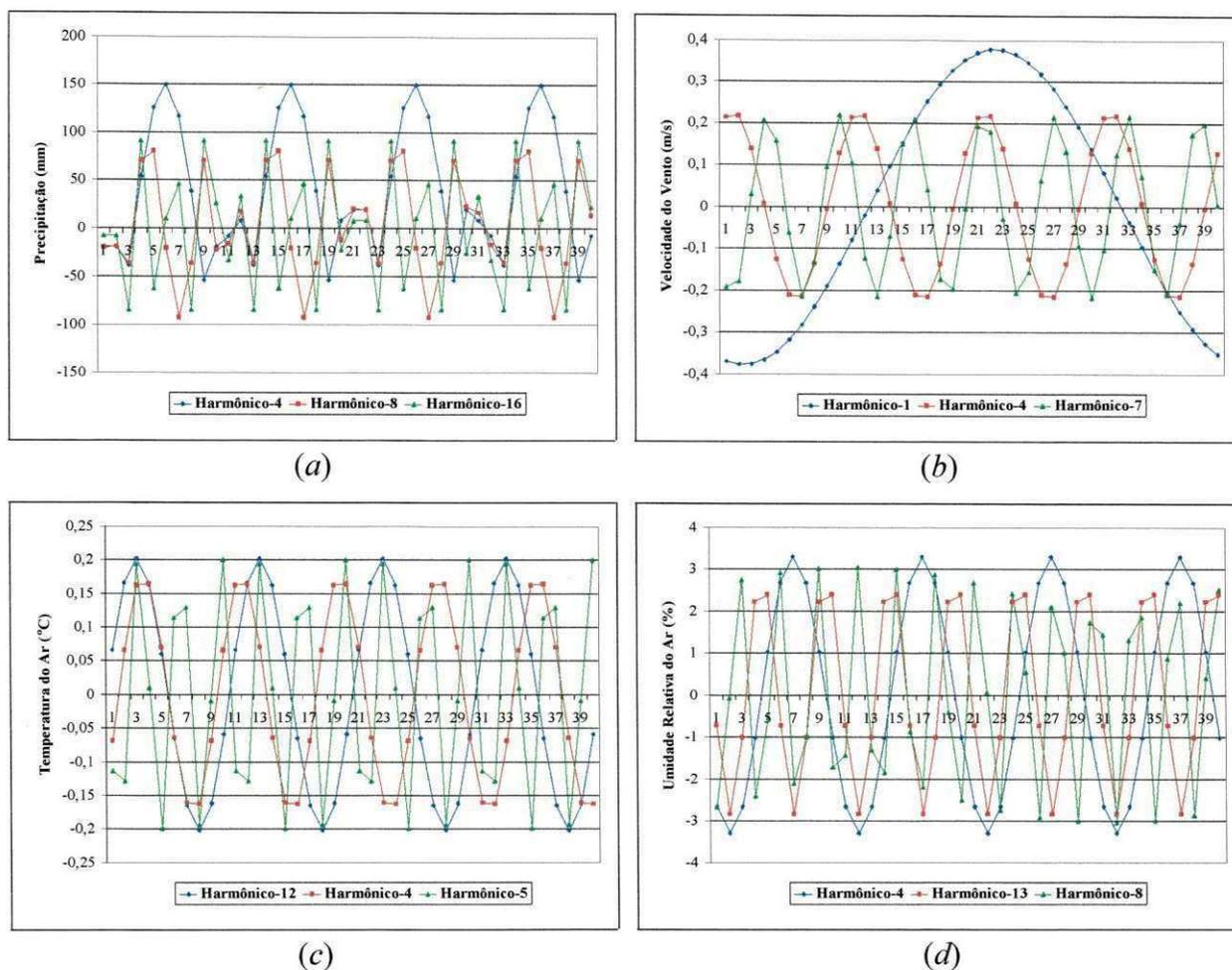


Figura 06 - Contribuição do harmônio anual para a precipitação (a), velocidade do vento (b), temperatura (c) e umidade relativa do ar (d) para Pesqueira-PE no período de 1961-2000.

4.3 - Garanhuns

As Figuras 07a, b, c e d representam as médias mensais de 10 anos nos períodos de 1961-1970; 1971-1980; 1981-1990 e 1991-2000 da precipitação, velocidade do vento à superfície, temperatura e umidade relativa do ar.

A Figura 07a mostra que o quadrimestre mais chuvoso é nos meses de abril a julho, com o maior valor médio de 10 anos observado no mês de julho (157,2 mm) no período de 1981-1990, sendo a influência da ZCIT e as Ondas de Leste um dos principais

responsáveis pela precipitação no Agreste de Pernambuco; enquanto que os meses menos chuvosos outubro, novembro e dezembro, com a menor média no mês de outubro no período de 1981-1990 com 9,3 mm. Nota-se que as chuvas são bastante irregulares no tempo com grande variabilidade temporal. Verifica-se também, que o mês de julho apresenta a maior média histórica com 130,9 mm e que contribui bastante na precipitação anual para Garanhuns, com valores muito significativos. Há uma redução considerável da precipitação no período de 1991-2000 em praticamente todos os meses, exceto nos meses de maio, junho e agosto que apresentaram valores próximo ou acima da média.

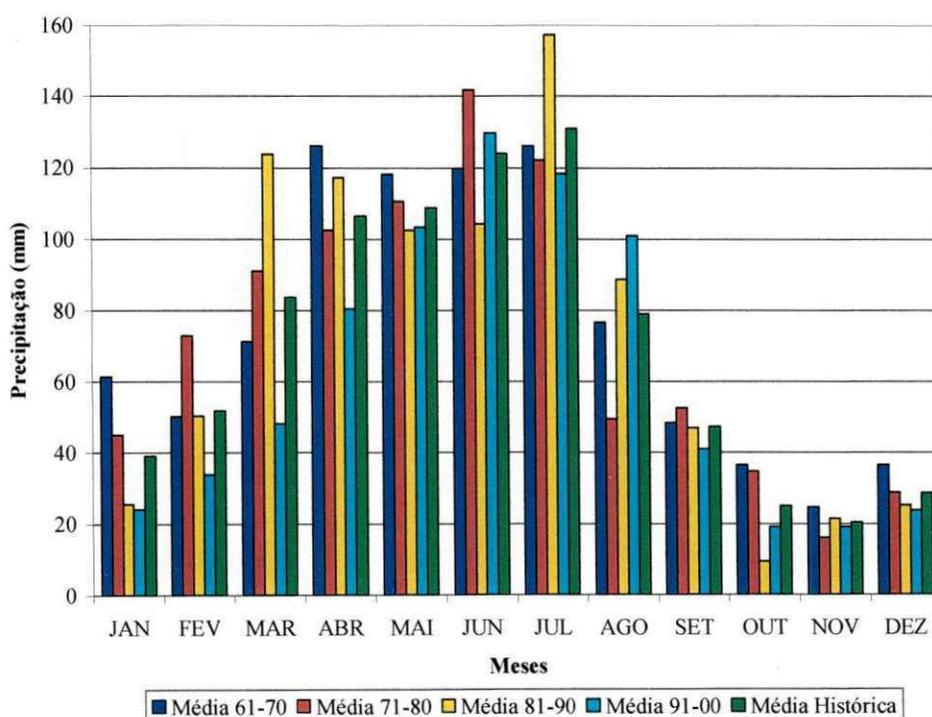


Figura 07a - Médias mensais da precipitação nos períodos de 1961-1970; 1971-1980; 1981-1990 e 1991-2000 em Garanhuns-PE.

Os valores médios da velocidade do vento à superfície crescem de junho a novembro (Figura 07b), com os maiores valores observados nos meses de outubro e novembro em torno de 5,0 m/s e os menores nos meses de abril e maio, próximo a 3,3 m/s. Na década de 1961-1970 observam-se os menores valores de intensidade do vento em todos os meses. Já na década de 1971-1980 e 1981-1991 apresentam os maiores valores, com destaque para os meses de junho a setembro do período de 1971-1980 com um aumento gradativo da velocidade do vento. No período de 1991-2000 há uma redução

considerável da velocidade do vento em todos os meses, quando comparada com os períodos de 1971-1980 e 1981-1990, que deve estar associado ao crescimento da cidade.

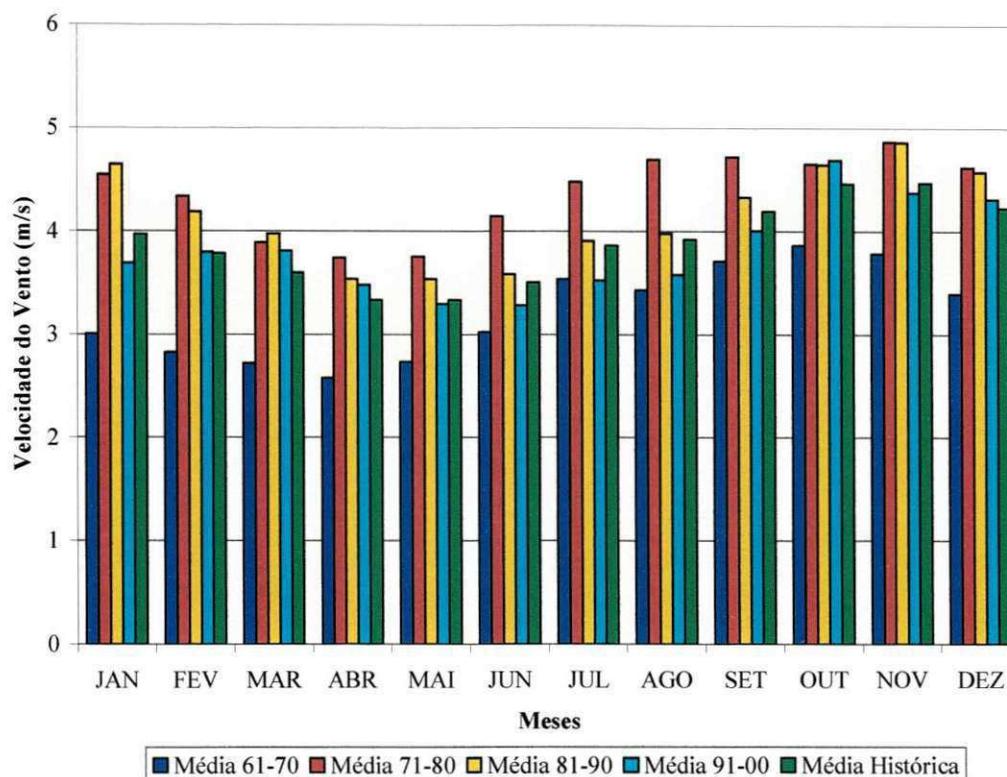


Figura 07b - Médias mensais da velocidade do vento nos períodos de 1961-1970; 1971-1980; 1981-1990 e 1991-2000 em Garanhuns-PE.

Quanto a temperatura do ar (Figura 07c), verifica-se que os maiores valores ocorrem nos meses de dezembro a março com valores médios próximos a $22,2^{\circ}$ C e os menores nos meses de julho e agosto, com valores médios em torno de $18,5^{\circ}$ C. De acordo com Nimer (1979), por efeito conjugado da continentalidade, altitude e massas de ar polar, na região de Garanhuns situada a 927 m de altitude é comum o registro temperaturas baixas no inverno. O período de 1991-2000 apresentou os maiores valores de temperatura do ar em praticamente todos os meses, com exceção do mês de julho de 1981-1990 apresentou uma temperatura mais elevada ($19,1^{\circ}$ C). Este aumento da temperatura pode estar relacionado com as modificações impostas nas características da superfície, tais como ausência de vegetação, poluição do ar, entre outros. O período de 1961-1970 apresentou os menores valores de temperatura em todos os meses estudados, com $17,8^{\circ}$ C nos meses mais frios e $21,8^{\circ}$ C nos meses mais quentes, em média. Como a região de Garanhuns está a

927m acima do nível médio do mar, é comum o registro de temperaturas baixas, principalmente no inverno, que já houve registro de temperaturas mínimas de 10,0° C (Nimer, 1979).

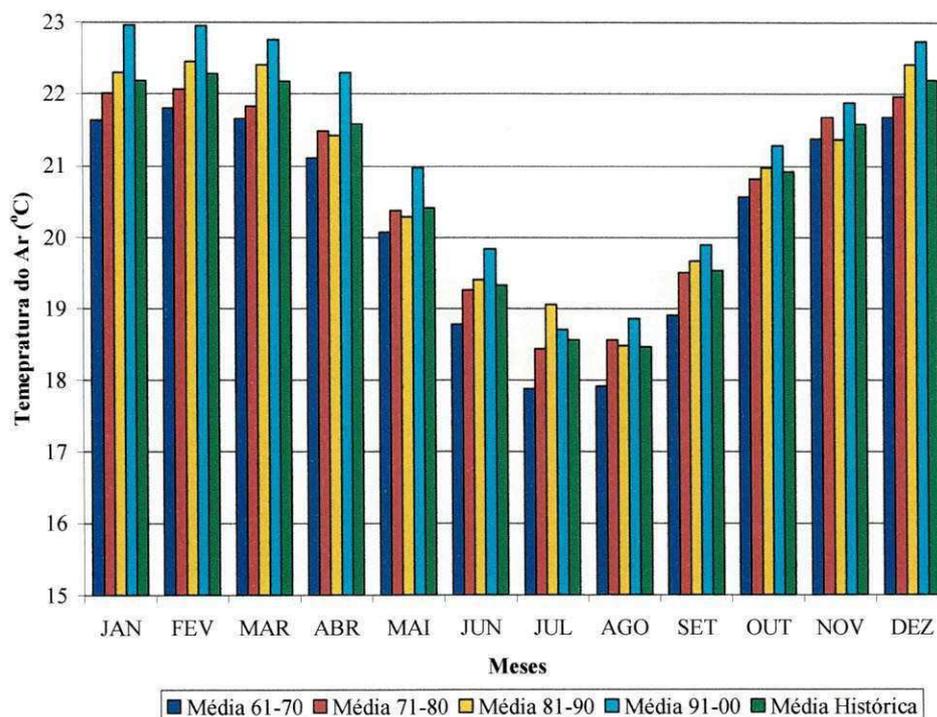


Figura 07c - Médias mensais da temperatura do ar nos períodos de 1961-1970; 1971-1980; 1981-1990 e 1991-2000 para Garanhuns-PE.

De uma maneira geral, a Figura 07d mostra que os valores de UR são relativamente altos durante todo o ano, variando de 65 a 90%, aproximadamente, o que proporciona um certo conforto, associado a temperaturas baixas nesse município. Verifica-se que os maiores valores de UR são observados nos meses de junho e julho com valores médios em torno de 90%, e os menores nos meses de novembro a janeiro próximos a 72%. O período de 1961-1970 apresentou os maiores valores médios em praticamente todos os meses, com exceção dos meses de julho, setembro e outubro. Verifica-se uma redução significativa da umidade relativa do ar na década de 1991-2000, que como Garanhuns é uma cidade que está em processo de desenvolvimento, com crescimento da população, diminuição de áreas verdes, que segundo Heino (1996) a urbanização de uma cidade tende a diminuir a umidade relativa do ar e a velocidade do vento.

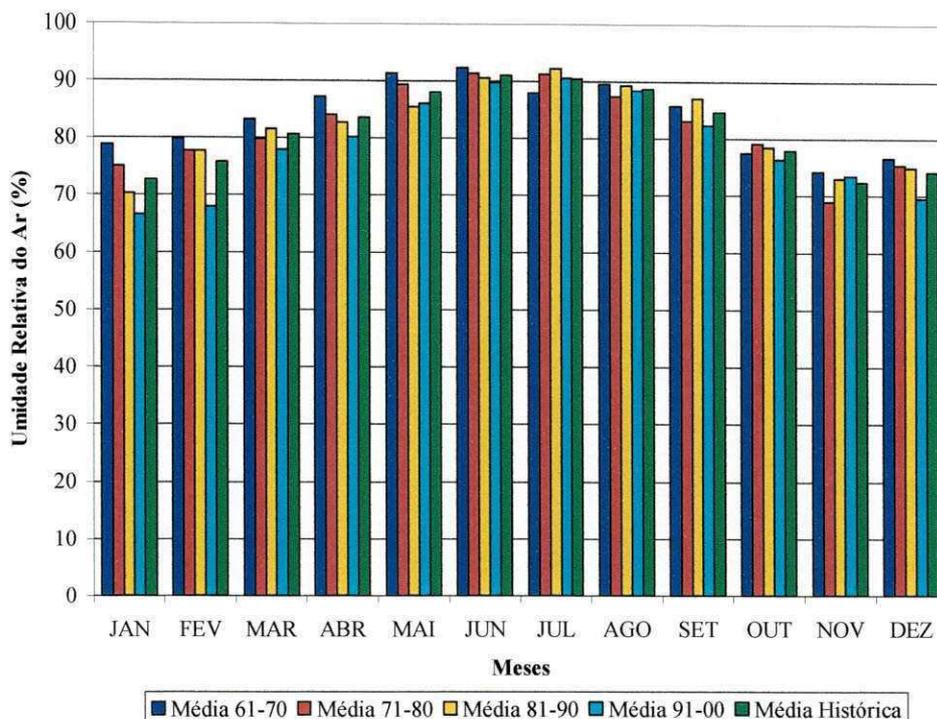


Figura 07d - Médias mensais da umidade relativa do ar nos períodos de 1961-1970; 1971-1980; 1981-1990 e 1991-2000 para Garanhuns-PE.

As Figuras 8a, b, c e d mostram os desvios normalizados com suas respectivas retas de regressão para a precipitação, velocidade do vento à superfície, temperatura e umidade relativa do ar no período de 1961 a 2000.

A média da precipitação anual para Garanhuns é em torno de 794 mm, onde calculou-se um erro de aproximadamente $\pm 24\%$. A Figura 8a mostra grande variabilidade interanual e intrasazonal, onde observa-se que nos anos de 1964, 1966, 1974, 1975, 1978, 1984, 1986, 1989 e 1994 apresentaram desvios acima de 25%, sendo considerados anos chuvosos. Já 1970, 1983, 1990, 1992 e 1999 apresentaram desvios abaixo de -24%, sendo classificados como anos secos, com destaque para 1993 e 1998 com desvios negativos de -48% e -45%, anos estes considerados de extremamente secos, que segundo Souza (1999), devido a presença de um dipolo desfavorável ocasionou uma seca severa em todo o setor norte do Nordeste em 1993. Aragão (1998) comenta que as chuvas foram reduzidas em torno de -70% em 1998 no estado de Pernambuco, ocasionando grandes problemas à população pela falta d'água para o abastecimento humano e animal, isto deve-se ao fato do fenômeno El Niño ter iniciado em 1997, intensificando-se em 1998, sendo considerado um

sendo considerado um dos episódios mais intensos do século. Pela linha de tendência, verifica-se que houve uma redução das chuvas nos últimos 40 anos de -0,59%, equivalente a 4,8 mm no intervalo de 1961-2000.

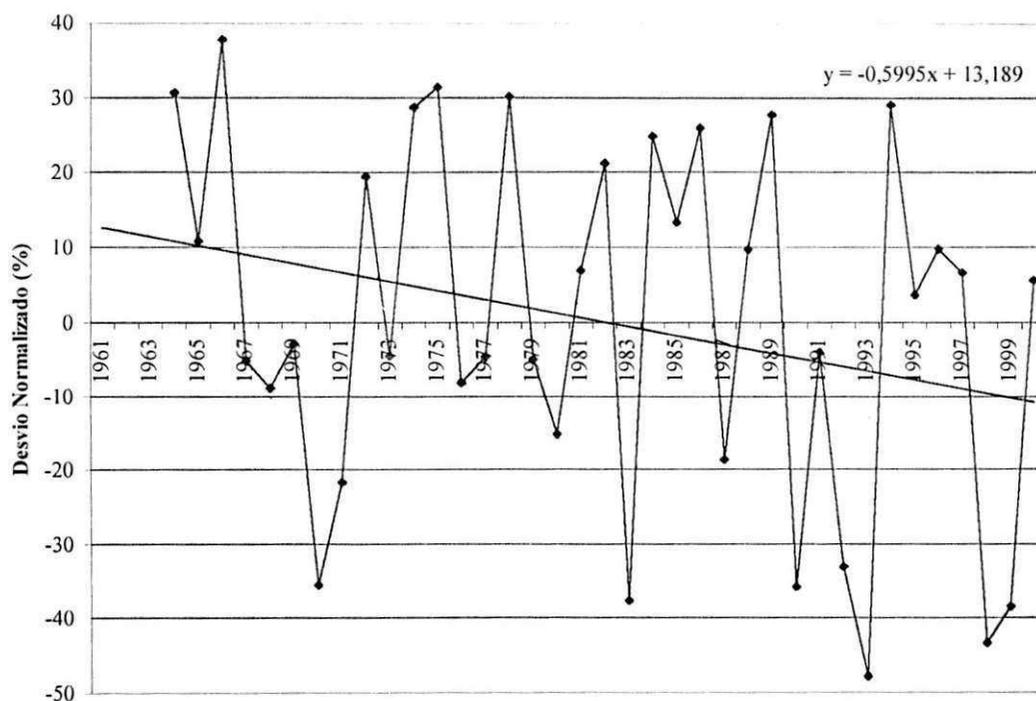


Figura 08a - Desvio normalizado da precipitação anual para Garanhuns-PE (Média: 794,05 mm; DP: 194,02; Erro: +/- 24,4% .

Com relação ao vento à superfície (Figura 08b), observa-se desvios negativos abaixo de -15% no período de 1964 a 1969. Já no período de 1970-1974 e 1976-1989 valores acima ou em torno da média climatológica, destacando-se os anos de 1971 e 1972 com desvios positivos acima de 30%, sendo anos considerados com ventos fortes. Destaca-se 1990, com desvio negativo de -22%. No entanto, pode-se dizer que há uma grande homogeneidade temporal com relação à velocidade do vento à superfície, com valor médio em torno de 3,9 m/s. Na Figura, nota-se pela reta que houve um aumento de +0,14% correspondente a 0,01 m/s da velocidade do vento nos últimos 40 anos.

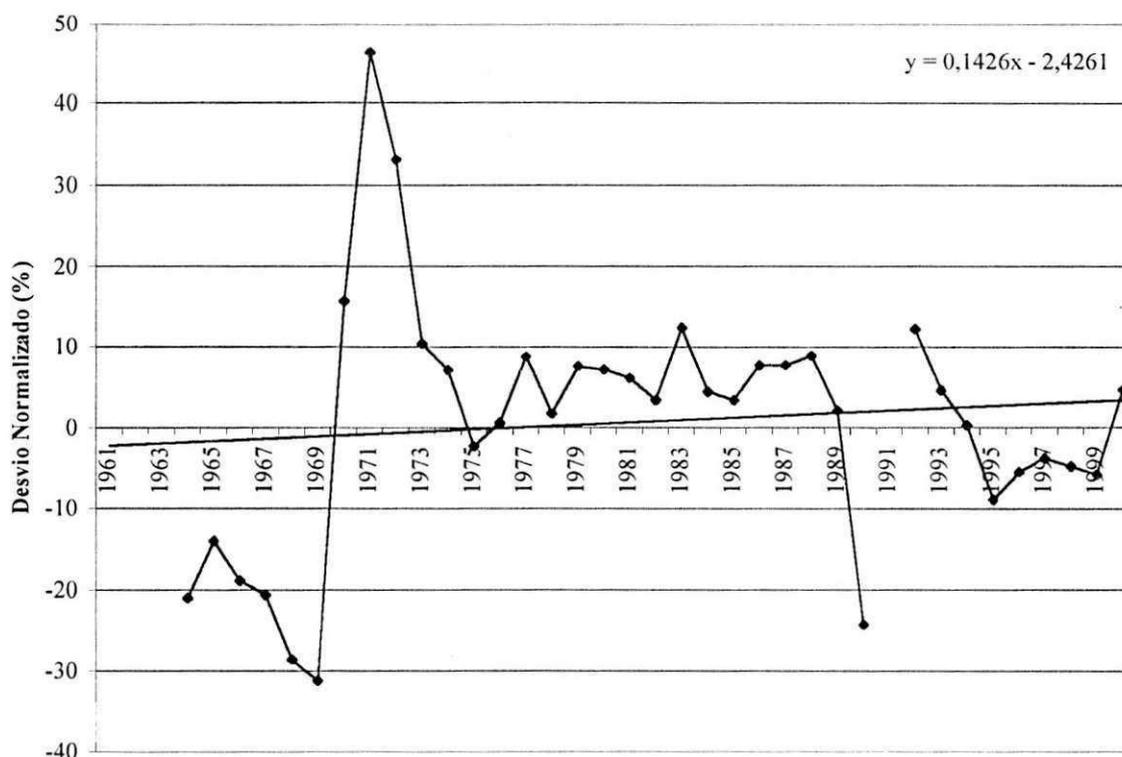


Figura 08b - Desvio normalizado da velocidade do vento anual para Garanhuns (Média: 3,92 m/s; DP: 0,621; Erro: +/- 15,83%).

A Figura 08c mostra o desvio normalizado da temperatura do ar anual com um erro de aproximadamente +/- 3%. Verifica-se que os anos de 1963, 1973, 1988, 1994 e 1995 apresentaram desvios acima de 2,8%, sendo considerados anos quentes com temperaturas acima de 20,7° C, com destaque para 1987 e 1998 que apresentaram desvios positivos de 5,4 % e 5,8%, anos estes classificados muito quentes. Já os anos de 1964, 1965, 1966, 1968 e 1992 foram anos frios com desvios abaixo de -2,7%, destacando-se o ano de 1990 com um desvio de aproximadamente 8% abaixo da média histórica, sendo considerado o maior desvio negativo dos últimos 40 anos, e um ano muito frio com temperaturas muito baixas. No período de 1964-1968 observa-se que em todos os anos apresentaram desvios negativos, com temperaturas em torno ou abaixo de 20,7° C, enquanto que na década de 1991-2000 apresentaram os maiores desvios positivos em praticamente todos os anos, com temperaturas próxima ou acima da média histórica, com exceção de 1992. Pela linha de tendência, a temperatura média anual aumentou cerca de 0,10% (equivalente a um aumento de 0,02° C) nesses últimos 40 anos.

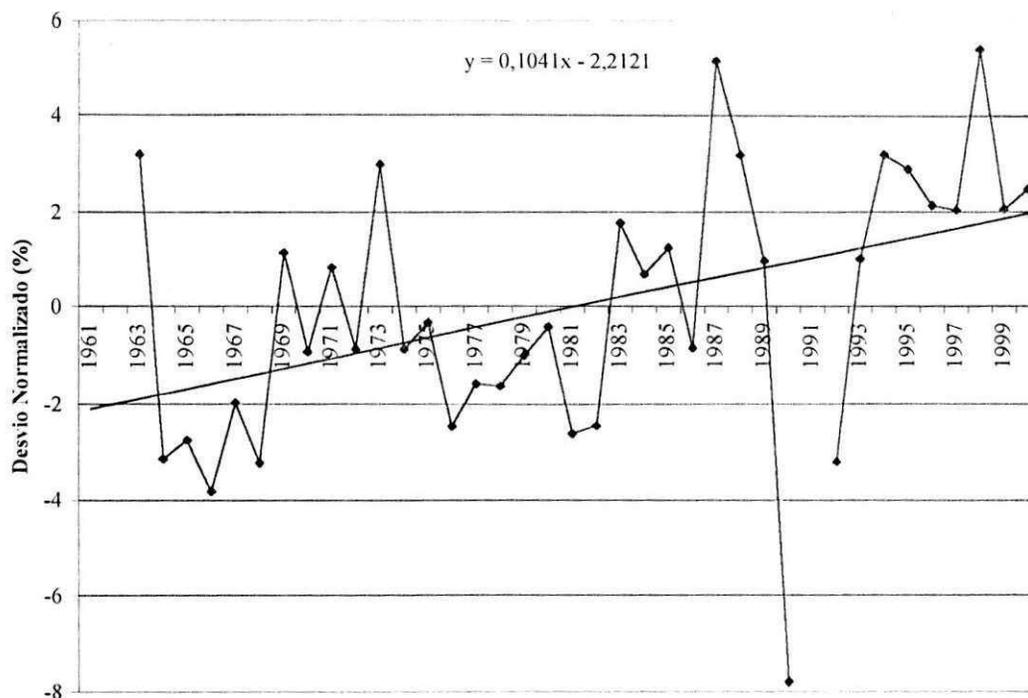


Figura 08c - Desvio normalizado da temperatura do ar anual para Garanhuns-PE (Média: 20,74° C; DP: 0,575; Erro: +/- 2,77% .

Quanto a umidade relativa do ar, a média anual é de aproximadamente 81%, com um erro de +/- 5%. Nota-se que no período de 1961-1969 a UR manteve-se com valores em torno ou acima do normal, com destaque para os anos de 1963, 1964 e 1966 com umidades altas, com desvios acima de 5% (Figura 08d). No período de 1990-2000 os valores ficaram em torno e abaixo da média, destacando-se os anos de 1990 e 1993 com desvios negativos de até -12%, sendo considerados anos com umidade muito baixa. A reta mostra que a umidade relativa do ar diminuiu em torno de -0,18%, que equivale a uma redução de 0,14% em toda a série estudada.

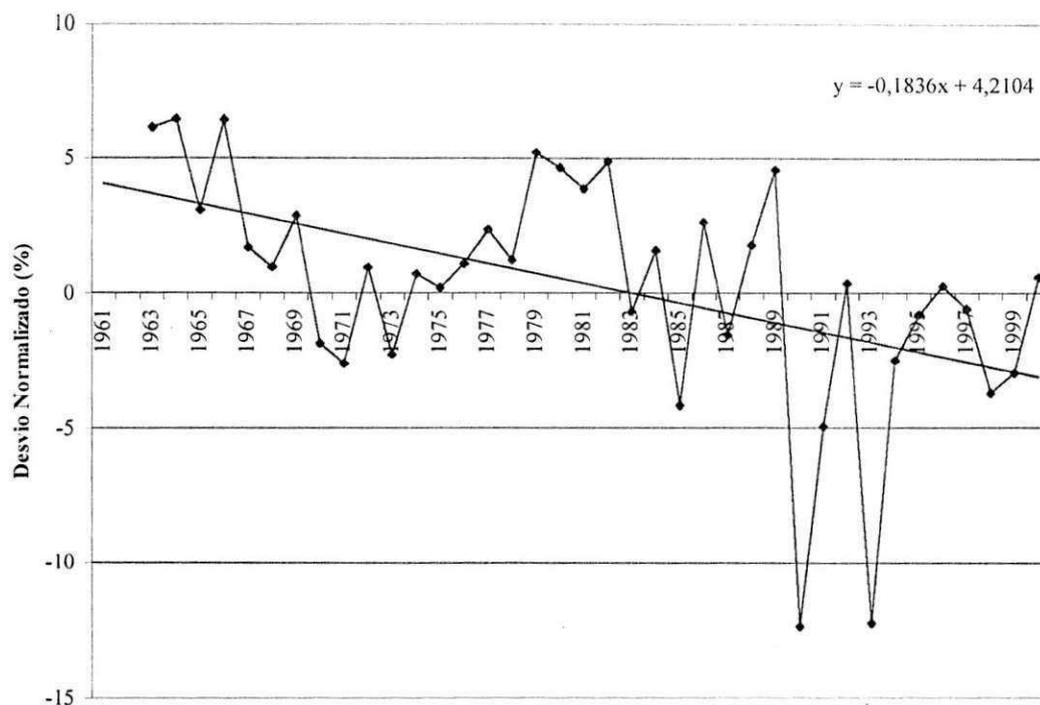


Figura 08d - Desvio normalizado da umidade relativa do ar para Garanhuns (Média: 81,07%; DP: 4,23; Erro: +/- 5,22% .

As Figuras 09a, b, c e d representam os três primeiros harmônicos anuais que possuem maior contribuição para a variância da precipitação, velocidade do vento à superfície, temperatura e umidade relativa do ar para Garanhuns.

A Figura 09a mostra que os harmônicos que possuíram maior contribuição foram os harmônicos 4, 13 e 16, que correspondem a 20%, 14% e 10% da variância total da série. O primeiro harmônico possui um período em torno de 10 anos, com sua primeira fase positiva contribuindo positivamente com um aumento da precipitação nos primeiros cinco anos (evidente no período de 1963-1968), e com fase negativa nos outros cinco anos (evidente no período de 1968-1973) contribuindo para uma redução da precipitação, continuando com sua periodicidade nos anos seguintes. Esta periodicidade também pode ser observada claramente na Figura 08a. O segundo e terceiro harmônico possuem ciclos de 4 anos (com fases positivas primeiramente de dois anos e negativas de 2 anos) e 3 anos (com fases negativas primeiramente de um ano e meio e positivas de um ano e meio), respectivamente. No entanto, nota-se que o harmônico 4 é o de maior contribuição como apontado pelos valores máximos e mínimos de precipitação que acompanham esta série.

Com relação ao vento à superfície, os harmônicos 1, 4 e 3 foram os que mais contribuíram com 47% (Figura 09b), correspondendo a 20%, 14% e 13% da variância total da série. O harmônico 1 com período em torno de 32 anos, de uma forma sucinta pode-se colocar que contribuiu negativamente para uma diminuição da velocidade do vento nos intervalos de 1961-1968 e 1989-2000, e no período de 1968-1989 este harmônico contribuiu positivamente para um aumento da velocidade do vento. Este fato está evidente na Figura 08b. O harmônico 4 com período próximo a 13 anos apresenta, primeiramente, fase negativa no intervalo de 1962-1969 e positiva em 1969-1976. O harmônico 3 com ciclo de 10 anos também possui fase negativa nos primeiros cinco anos, observado primeiramente em 1964-1969, e fase positiva no período de 1970-1965, dando continuidade a este ciclo de 10 anos na série.

Na Figura 09c verifica-se que os harmônicos 3, 5 e 8 correspondem a 27%, 15% e 12% da variância total da série, ou seja, representam 54% de toda a série. O harmônico que possui maior contribuição (harmônico 3) tem um ciclo de 14 anos, que indica melhor a existência de algum fenômeno com tal periodicidade que pode estar associado aos ciclos de atividade de manchas solares (Molion, 1991); com fase negativa nos primeiros sete anos contribuindo para uma diminuição da temperatura do ar, bastante evidente nos períodos 1962-1969, 1975-1982 1989-1985 e com fase positiva em 1969-1975, 1982-1989 e 1995-2000 contribuindo para um aumento significativo da temperatura, que foi também observado da Figura 08c. Os harmônicos 5 e 8 apresentam ciclos de 8 anos (com fases positivas primeiramente de 4 anos e negativas de 4 anos) e 6 anos (com fases positivas primeiramente de 3 anos e negativas de 3 anos).

Os harmônicos que possuíram maior contribuição foram os harmônicos 2, 14 e 16, que correspondem a 21%, 18% e 11% da variância total da série (Figura 09d). O harmônico 2 é o que melhor representa a série de 40 anos, com um período de 20 anos, com sua primeira fase negativa, contribuindo para uma diminuição da umidade relativa do ar nos primeiros 10 anos da série evidenciando o período de 1966-1976 e principalmente 1986-1996, e com fase positiva de 10 anos de 1976-1986; que pode ser observado de maneira discreta na Figura 08d. Os harmônicos 14 e 16 possuem ciclos de 3 e 2 anos com fases positivas e negativas.

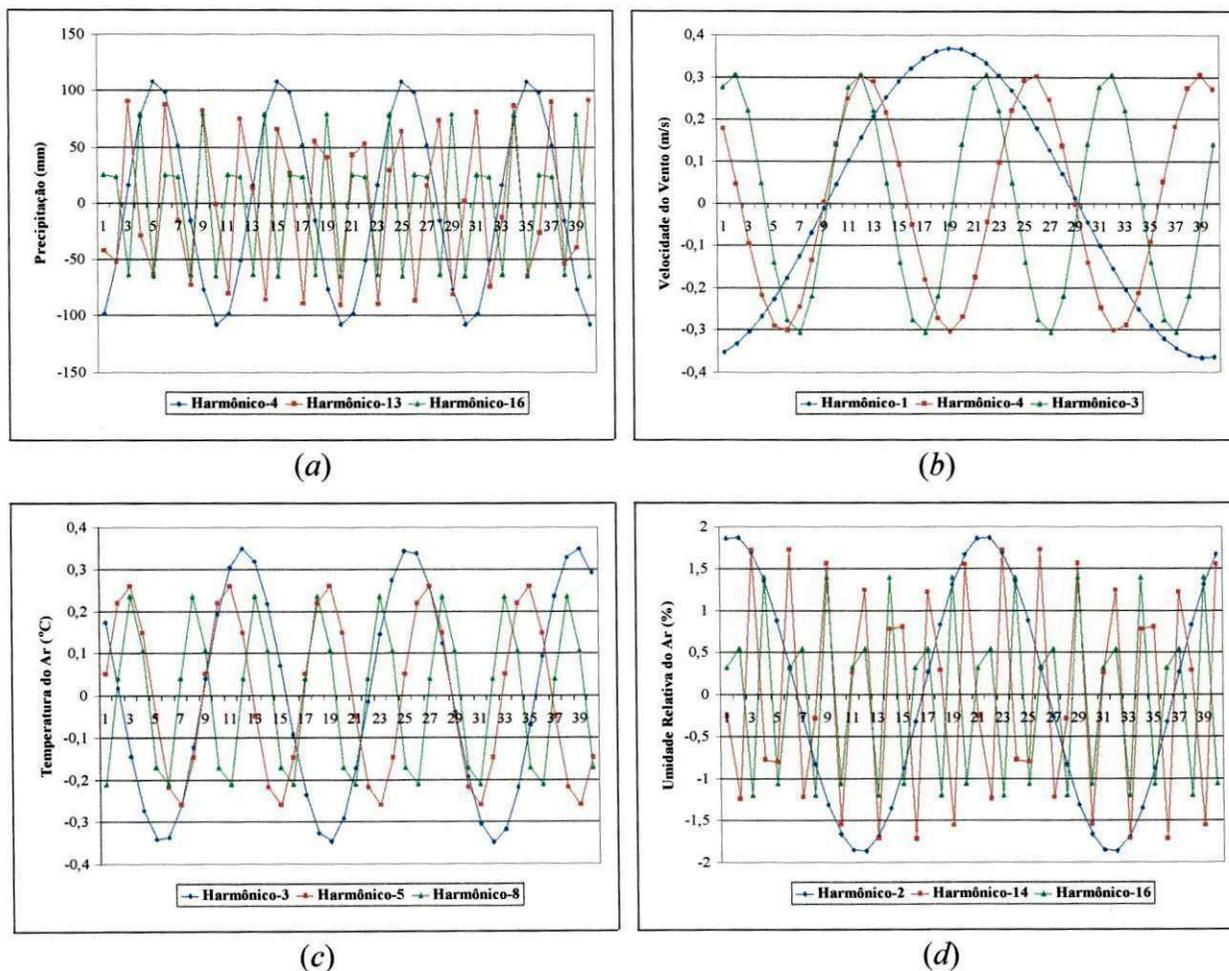


Figura 09 - Contribuição do harmônico anual para a precipitação (a), velocidade do vento (b), temperatura (c) e umidade relativa do ar (d) para Garanhuns-PE no período de 1961-2000.

4.4 - Triunfo

As Figuras 10a, b, c e d representam as médias mensais de 10 anos nos períodos de 1961-1970; 1971-1980; 1981-1990 e 1991-2000 da precipitação, velocidade do vento à superfície, temperatura e umidade relativa do ar.

Como mostra a Figura 10a, os meses mais chuvosos são fevereiro, março, abril e maio, sendo o posicionamento da ZCIT o principal sistema responsável pelas chuvas neste município, que segundo Melo *et al.* (2000) fazendo estudo climatológico do

posicionamento da ZCIT, observaram que este sistema apresentou inclinação máxima sobre o Nordeste no mês de abril, portanto, é neste mês que pode ser definida a qualidade de determinado ano ser seco, normal ou chuvoso. Os meses menos chuvosos são setembro, outubro e novembro. Verifica-se que a década de 1971-1980 apresentou os maiores registros em praticamente todos os meses. O mês de março, nos períodos de 1961-1970, 1971-1980 e 1981-1990, apresentou valores superiores a 200,0 mm, e no mês de abril de 1971-1980 e 1981-1990 também registraram valores superiores a 200,0 mm, ultrapassando a média climatológica. Na Figura, verifica-se que a década de 1991-2000 apresentou valores abaixo da média histórica em praticamente todos os meses, principalmente no período considerado chuvoso, com desvios negativos de 80% abaixo da média. O município de Triunfo apresenta valores médios de chuva acima de 100,0 mm em pelo menos sete meses do ano (janeiro a julho), que é considerado muito bom para essa região do sertão de Pernambuco, quando comparado com outros municípios com grande escassez de água mesmo no trimestre mais chuvoso.

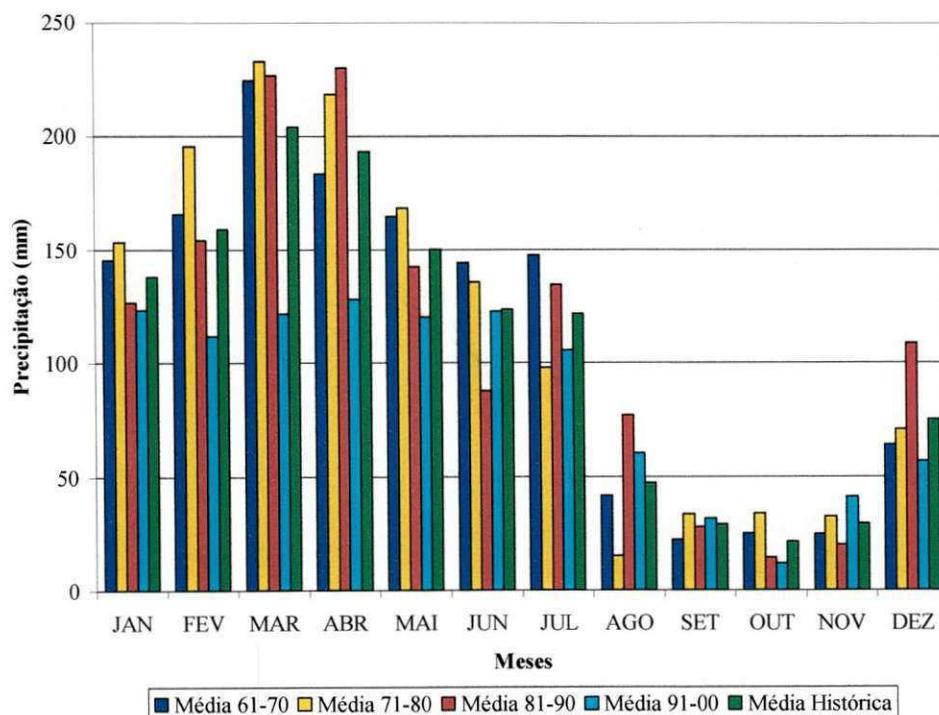


Figura 10a - Médias mensais da precipitação nos períodos de 1961-1970; 1971-1980; 1981-1990 e 1991-2000 em Triunfo-PE.

Na Figura 10b, observa-se homogeneidade temporal no que se refere aos valores mensais da velocidade do vento, com os maiores registros nos meses de julho, agosto e

setembro com valores médios próximo a 3,8 m/s. Os meses de janeiro, fevereiro, março e abril apresentam os menores valores em torno de 2,0 m/s. Verifica-se que houve uma redução na intensidade do vento de década para década, principalmente no período de 1991-2000, onde houve uma diminuição considerável na velocidade do vento. O maior valor foi registrado no mês de julho na década de 1981-1990 com 4,2 m/s e o menor no mês de janeiro com 1,9 m/s no período de 1991-2000.

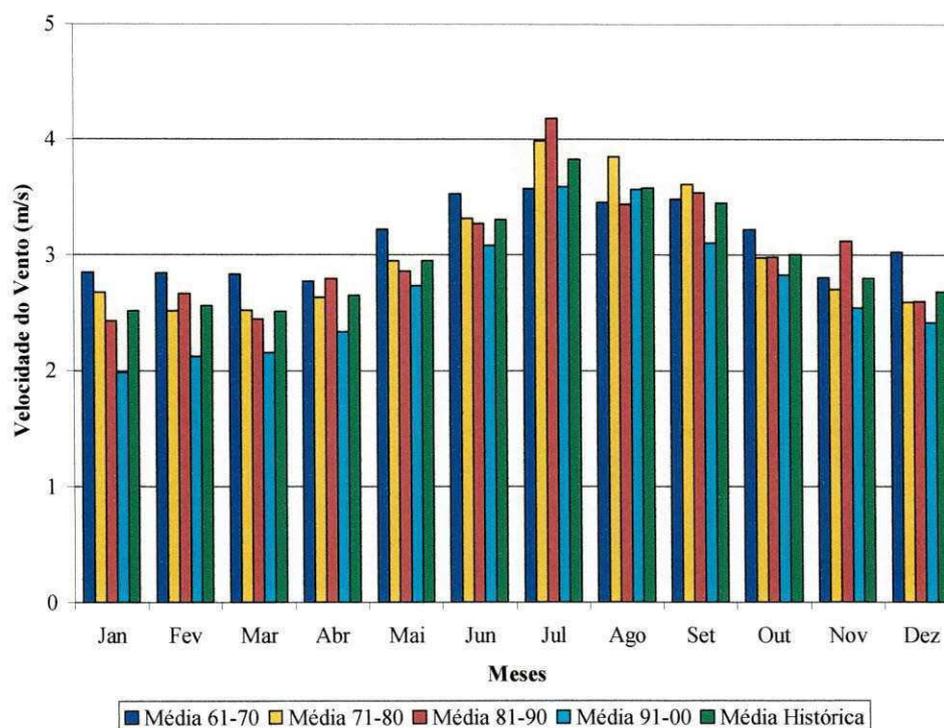


Figura 10b - Médias mensais da velocidade do vento nos períodos de 1961-1970; 1971-1980; 1981-1990 e 1991-2000 em Triunfo-PE.

Os meses mais frios, conforme a Figura 10c, são junho, julho e agosto, sendo o mês de julho onde apresentam os menores valores da temperatura do ar próximo a 18,4° C. Verifica-se que nesse mês houve um aumento da temperatura de em torno de 0,2° C de período para período. Os meses mais quentes são outubro, novembro e dezembro com temperaturas em torno de 23,0° C. O gráfico mostra que em praticamente todos os meses o período de 1991-2000 apresentou consideravelmente temperaturas mais elevadas, enquanto que a década 1971-1980 apresentou temperaturas mais baixas. O mês de novembro de 1981-1990 registrou a maior temperatura do ar com 23,7° C e o menor no mês de julho com 18,2° C no período de 1961-1970.

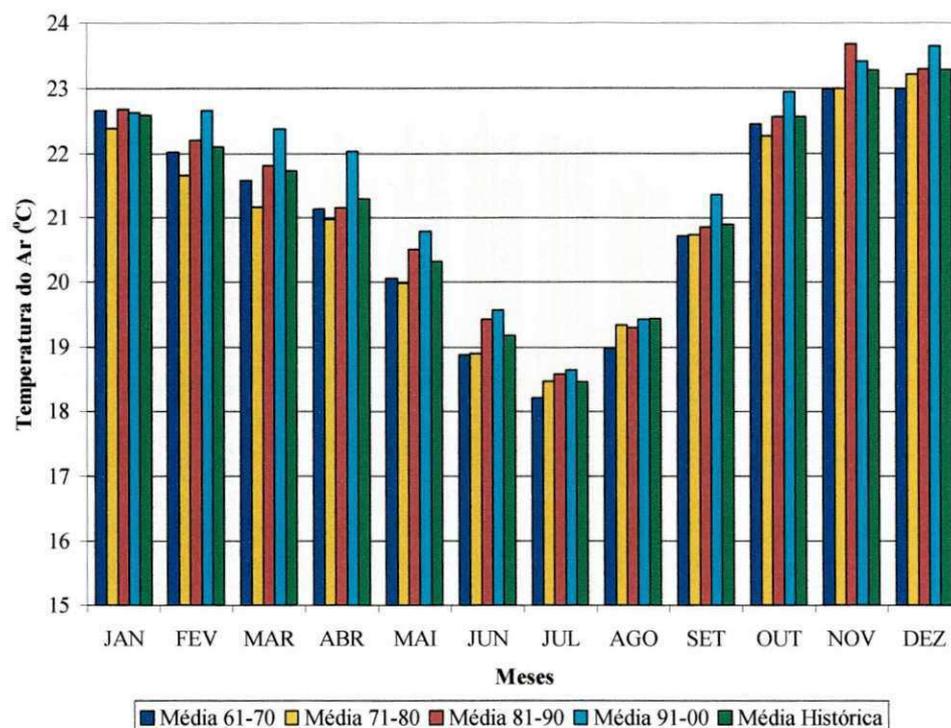


Figura 10c - Médias mensais da temperatura do ar nos períodos de 1961-1970; 1971-1980; 1981-1990 e 1991-2000 em Triunfo-PE.

Quanto à umidade relativa do ar (Figura 10d), observa-se de uma maneira geral que a umidade relativa é considerada alta, com os maiores valores nos meses de abril, maio, junho e julho com mais de 80%, e os menores concentrados em outubro, novembro e dezembro em torno de 60%. Verifica-se que houve uma redução da umidade na década de 1991-2000 no mês de maio e junho, enquanto que no período de 1971-1980 houve um aumento durante esses meses, sendo considerados os maiores valores dos períodos estudados próximo a 85%. Na década de 1991-2000 nota-se, também, uma redução da umidade relativa nos meses de outubro, novembro e dezembro com próximos a 55%.

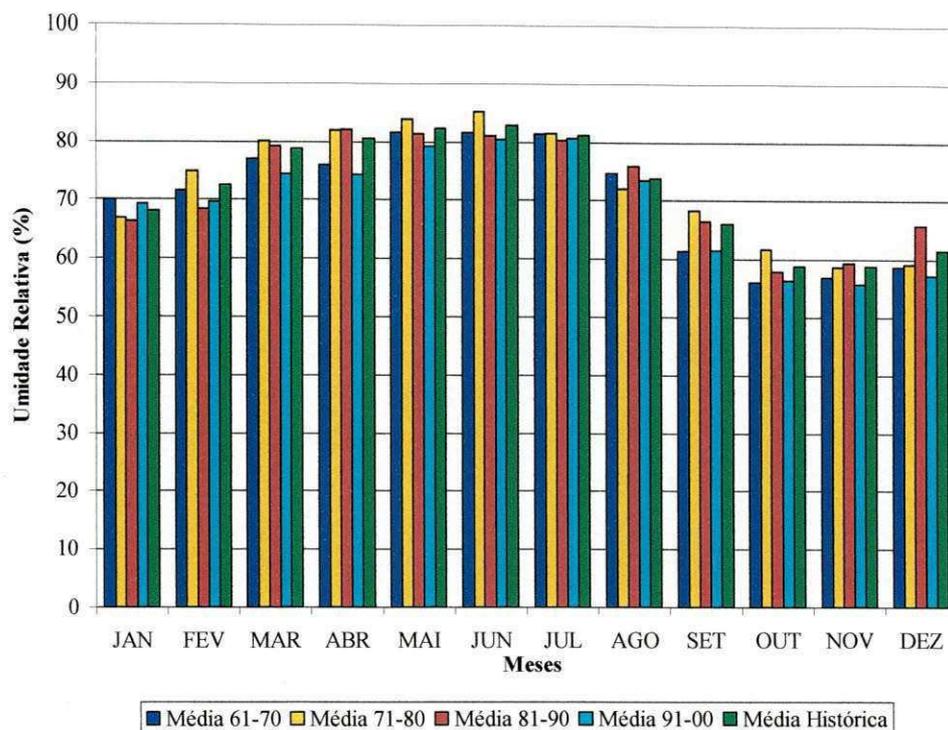


Figura 10d - Médias mensais da umidade relativa do ar nos períodos de 1961-1970; 1971-1980; 1981-1990 e 1991-2000 em Triunfo-PE.

As Figuras 11a, b, c e d mostram os desvios normalizados com suas respectivas retas de regressão para a precipitação, velocidade do vento à superfície, temperatura e umidade relativa do ar no período de 1961 a 2000.

A Figura 11a mostra que houve uma redução da precipitação em torno de -0,78% (equivalente a uma diminuição de 11,8mm) ao longo desses últimos 40 anos. Observa-se 14 anos com valores em torno e acima da média e 10 anos com valores em torno ou abaixo da média, mas anos estes considerados dentro da categoria de normal com um erro de ± 35 . Os anos de 1967, 1975, 1986 e 1989 foram considerados anos chuvosos com desvios acima de 35%, com destaque para os anos de 1974 e 1985 considerados extremamente chuvosos com desvios de aproximadamente 66% e 82%, respectivamente. Já 1970, 1983, 1990, 1993 e 1995 apresentaram desvios menores que -35% sendo considerados anos secos, com destaque para 1992 e 1998, anos estes considerados extremamente secos com desvios negativos de -74% e -61%, respectivamente. Na Figura, verifica-se grande variabilidade temporal, e que na década de 1991 a 2000 foram observados desvios negativos em praticamente todos os anos, sendo o período de 1990 a 1995 considerado o mais longo evento nos últimos 50 anos do episódio El Niño/Oscilação Sul, sendo apenas comparável

comparável com o episódio de 1911-1915, Halpert *et al.* (1996). Já na década de 1961 a 1970 foram observados desvios positivos em quase todos os anos.

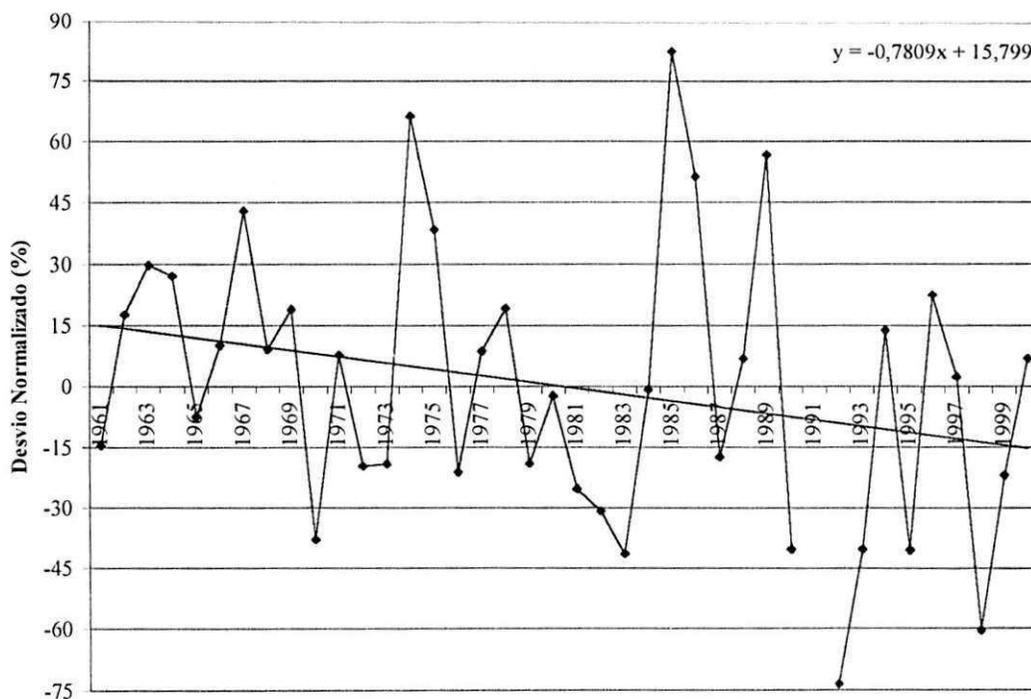


Figura 11a - Desvio normalizado da precipitação anual para Triunfo-PE (Média: 1232,84 mm; DP: 426,032; Erro: +/- 35%).

A Figura 11b mostra que houve uma redução da velocidade do vento em torno de -0,36% nos últimos 40 anos que corresponde a uma diminuição de 0,01m/s, principalmente no período de 1993 a 2000, onde observam-se desvios significativos maiores que -10% no período de 1994 a 1998, que pode estar associado ao crescimento da cidade, ao aumento da população, destruição de áreas verdes, entre outros, que conseqüentemente interferem na circulação do ar de uma cidade.

No ano de 1962 houve uma redução da intensidade do vento de -15%, enquanto que nos anos de 1963, 1965, 1968, 1979, 1980 e 1981 houve um aumento da velocidade do vento, sendo considerados fortes com destaque para os anos de 1963 e 1968, com ventos muito fortes. No outros anos, a intensidade do vento ficou dentro do normal.

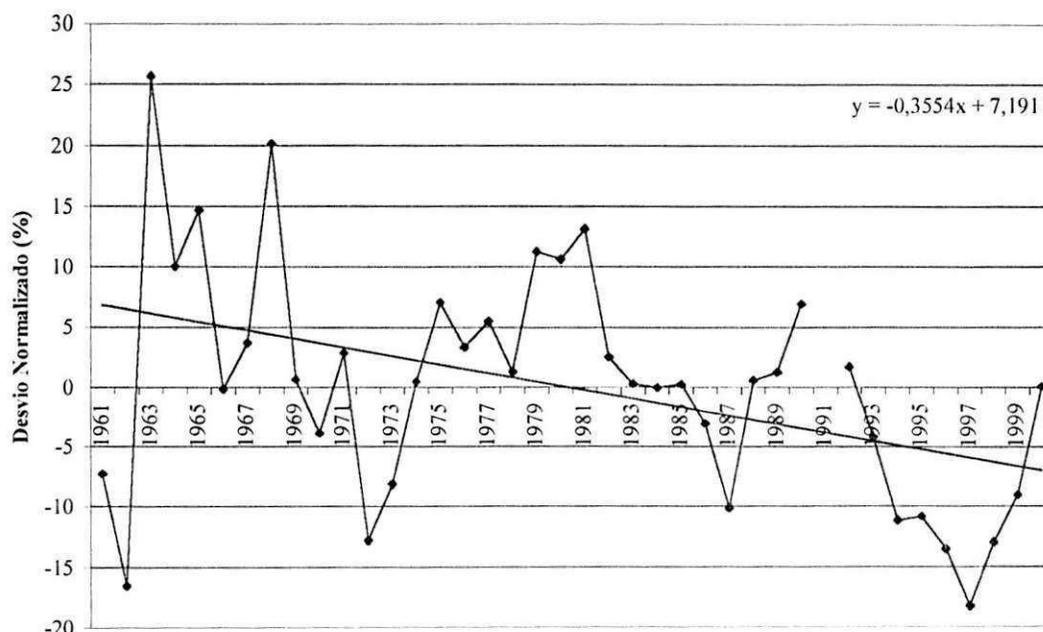


Figura 11b - Desvio normalizado da velocidade do vento para Triunfo-PE (Média: 2,98 m/s; DP: 0,293; Erro: +/- 9,83% .

A Figura 11c mostra que pela linha de tendência houve um aumento da temperatura do ar em torno +0,09%, equivalente a um aquecimento de +0,02° C nesses últimos 40 anos. Os anos de 1983, 1987, 1990, 1993 e 1998 apresentaram desvios positivos acima de 3,0%, sendo considerados anos quentes. Destacam-se os anos de 1987 e 1998 que apresentaram desvios de 6,3 e 7,8% acima da média, respectivamente, considerados anos muito quentes. Os anos de 1967, 1968, 1974, 1975 e 1986 apresentaram desvios negativos de -3,0%, sendo considerados anos com temperaturas mais baixas. No entanto, nota-se que em praticamente todos os anos, considerando os últimos 10 anos, houve um aumento significativo da temperatura do ar.

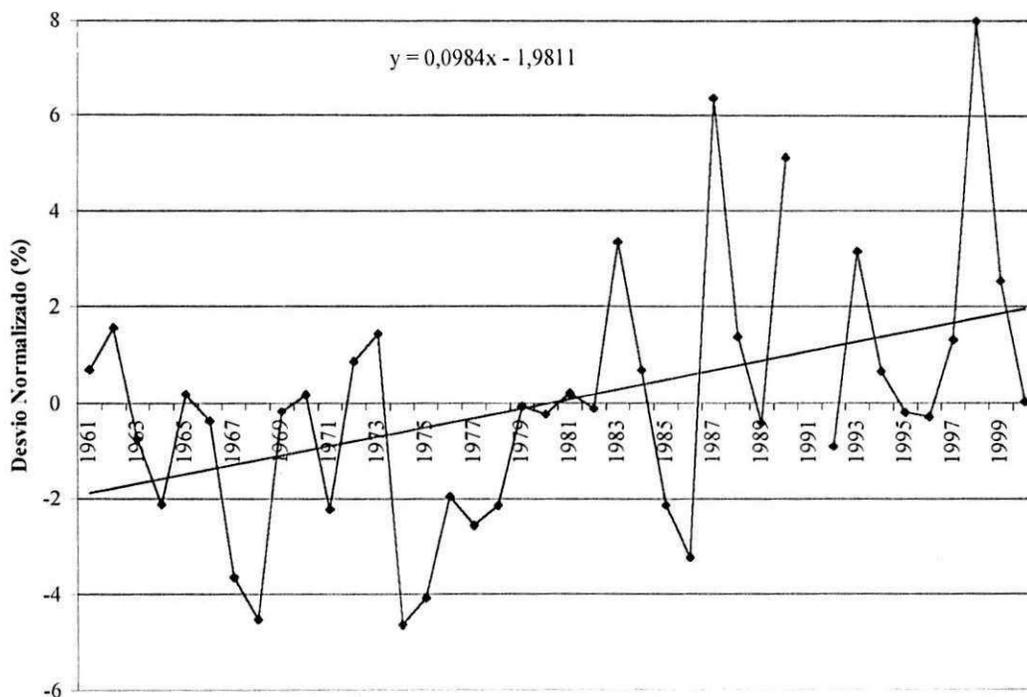


Figura 11c - Desvio normalizado da temperatura do ar para Triunfo-PE (Média: 21,25° C; DP: 0,578; Erro: +/- 2,72% .

Quanto à umidade relativa do ar (Figura 11d), observa-se uma redução de -0,17%, correspondente a uma diminuição de 0,12% nos últimos 40 anos, principalmente no período de 1992 a 2000, com destaque para os anos de 1993 e 1998, onde a umidade diminuiu consideravelmente, que como foram dois anos secos nessa região, houve um aumento da temperatura e uma redução da umidade relativa do ar.

Os anos de 1964, 1974, 1975, 1977, 1985, 1986 foram considerados com umidade relativa do ar altas, sendo 1964 e 1986 muito altas. Os outros anos ficaram em torno do normal.

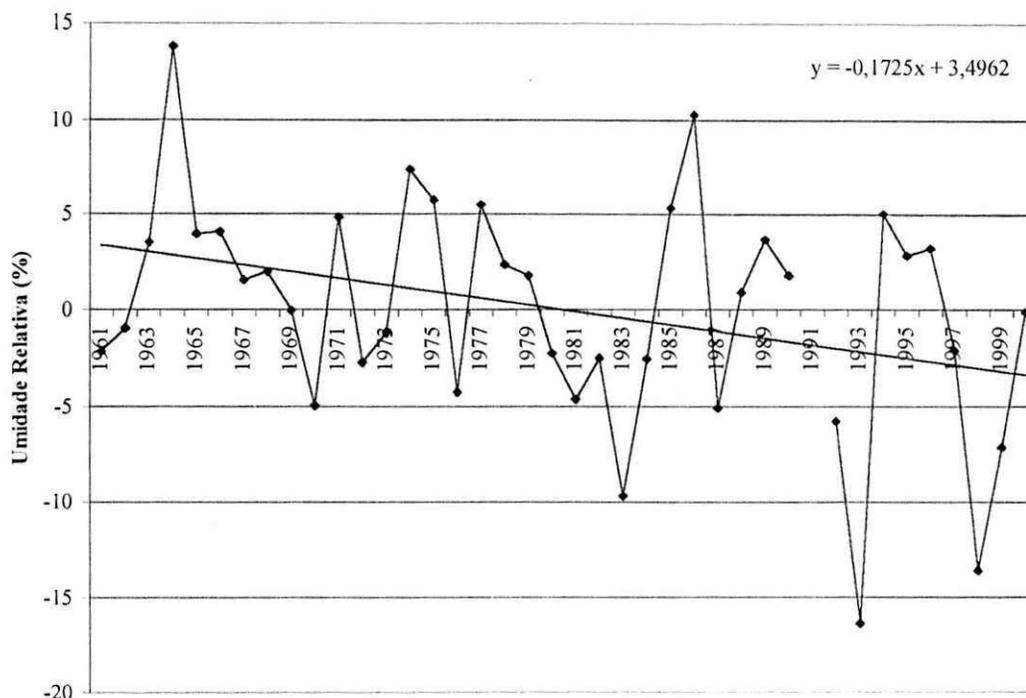


Figura 11d - Desvio normalizado da umidade relativa do ar para Triunfo-PE (Média: 72%; DP: 4,29; Erro: +/- 5,94% .

As Figuras 12a, b, c e d representam os três primeiros harmônicos anuais que possuem maior contribuição para a variância da precipitação, velocidade do vento à superfície, temperatura e umidade relativa do ar para Triunfo.

A Figura 12a mostra que os harmônicos que possuíram maior contribuição foram os harmônicos 11, 4 e 14, que correspondem a 19%, 17% e 13% da variância total da série. O harmônico 11 possui ciclo de 10 anos, com sua primeira fase positiva contribuindo positivamente com um aumento da precipitação nos primeiros cinco anos (evidente no período de 1963-1968), e com fase negativa nos outros cinco anos (evidente no período de 1968-1973) contribuindo para uma redução da precipitação, continuando com sua periodicidade nos anos seguintes. Os harmônicos 4 e 17 possuem ciclos em torno de 4 e 3 anos com fases positivas primeiramente de 2 (1,5) anos e negativas de 2 (2,5) anos.

Com relação à velocidade do vento, os harmônicos 3, 8 e 9 foram os que mais contribuíram (Figura 12b), correspondendo a 22%, 9% e 8% da variância total da série. O harmônico 3 com período em torno de 14 anos, de uma forma sucinta pode-se colocar que contribuiu positivamente para um aumento da velocidade do vento nos intervalos de 7 anos

(1961-1968, 1975-1982 e 1988-1995) e negativamente para uma diminuição da velocidade do vento nos intervalos de 1968-1975, 1981-1988 e 1995-2000, que também está evidente na Figura 11*b*. Os harmônicos 8 e 9 apresentaram ciclos de 5 e 4 anos, respectivamente, com suas primeiras fases positivas. No entanto, pode-se dizer que o harmônico 3 é o de maior contribuição, apontado pelos valores máximos e mínimos de velocidade do vento que acompanham esta série, como observados nos desvios na Figura 11*b*.

Na Figura 12*c* verifica-se que os harmônicos 11, 14 e 4 correspondem a 32%, 12% e 8% da variância total da série, ou seja, representam 52% de toda a série de temperatura do ar. O harmônico que possui maior contribuição (harmônico 11) tem um ciclo de 10 anos, que melhor representa a série, com fase negativa nos primeiros 5 anos contribuindo para uma diminuição da temperatura do ar, bastante evidente na primeira fase no período de 1963-1968, e com fase positiva em 1968-1973 contribuindo para um aumento significativo da temperatura. Os harmônicos 14 e 4 apresentam ciclos em torno de 4 e 2 anos com fases negativas observadas nos primeiros anos.

Os harmônicos que possuíram maior contribuição foram os harmônicos 8, 4 e 14, que correspondem a 16%, 15% e 11% da variância total da série (Figura 12*d*). O harmônico 8 é o que melhor representa a série de 40 anos, com um período de 10 anos, com sua primeira fase negativa, contribuindo para uma diminuição da umidade relativa do ar nos primeiros 5 anos da série evidenciando o período de 1963-1968, e com fase positiva de 5 anos de 1968-1973; que pode ser observado de maneira discreta na Figura 11*d*. Os harmônicos 15 e 11 possuem ciclos de 6 e 3 anos.

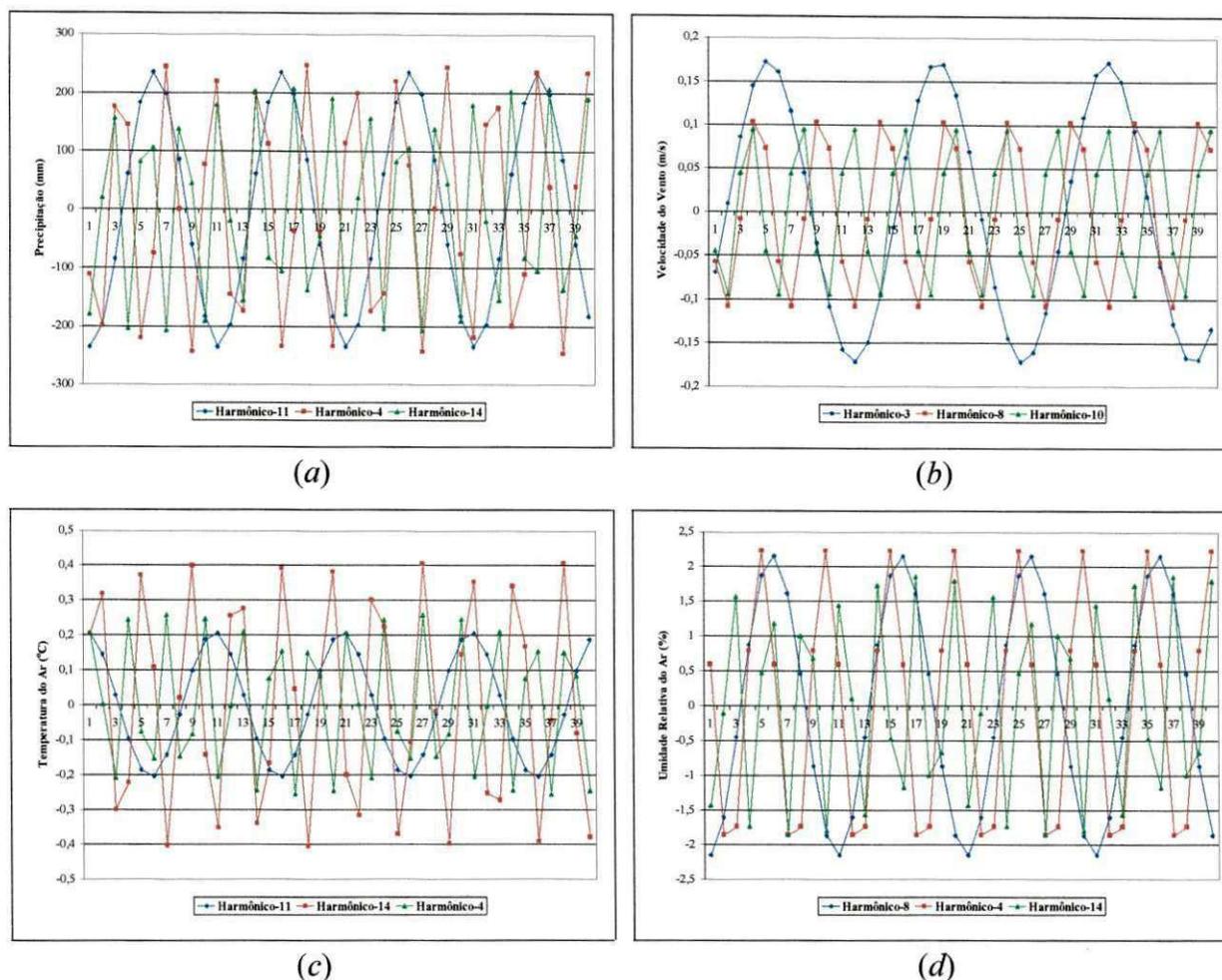


Figura 12 - Contribuição do harmônico anual para a precipitação (a), velocidade do vento (b), temperatura (c) e umidade relativa do ar (d) para Triunfo-PE no período de 1961-2000.

4.5 - Cabrobó

Na Figura 13a, observa-se que os meses de janeiro, fevereiro, março e abril são os mais chuvosos, representando mais de 60% do total anual das chuvas dessa região. Destaca-se o mês de março que apresentou os maiores totais de chuva no mês, ressaltando o período de 1981-1990 com 191,3mm. Na Figura nota-se que os meses de novembro e dezembro contribuem positivamente no total anual das chuvas de Cabrobó, sendo considerados os meses que precedem a estação chuvosa dessa área, onde as frentes frias são os principais sistemas responsáveis pelas chuvas nesse período, principalmente na microrregião de Petrolina. Os meses de agosto, setembro e outubro são os menos chuvosos.

É interessante notar, que o mês onde são observados os menores índices de precipitação no estado de Pernambuco, é setembro, sendo considerado o mês mais seco de todo o estado.

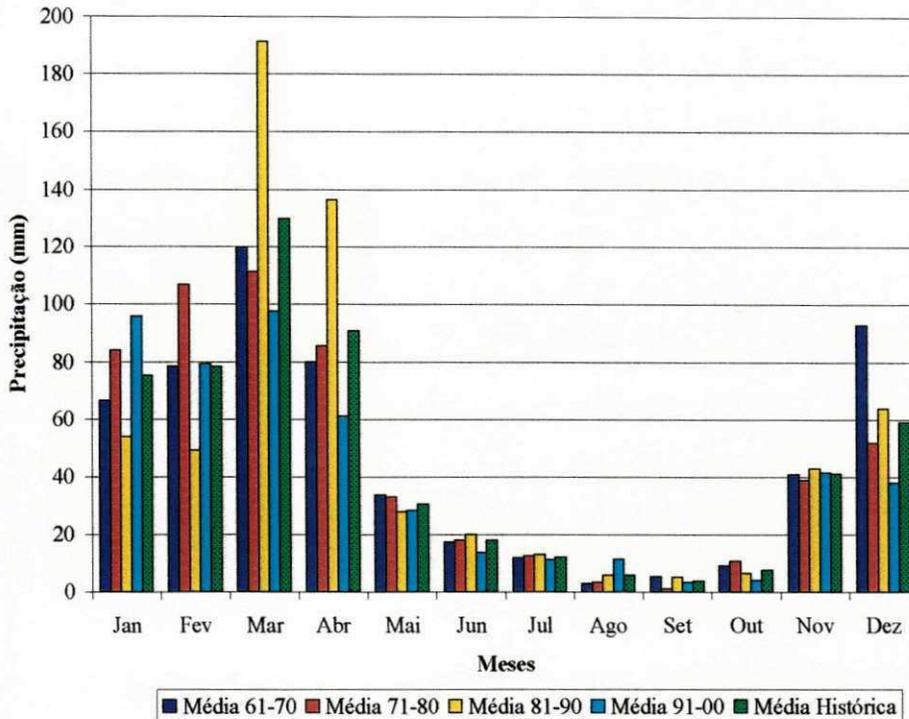


Figura 13a - Médias mensais da precipitação nos períodos de 1961-1970; 1971-1980; 1981-1990 e 1991-2000 em Cabrobó-PE.

Os meses de agosto e setembro apresentam os maiores valores de velocidade do vento, chegando a 5,6 m/s na década de 1981-1990 em setembro (Figura 13b). Já os menores valores ocorrem em fevereiro e março, cuja média histórica é em torno de 2,7 m/s. Na Figura, também se observa um aumento significativo da velocidade do vento da década de 1961-1971 para a 1991-2000. Outro fato, é que no período de 1991-2000 uma redução do vento em alguns meses, quando comparado com o intervalo de 1981-1990.

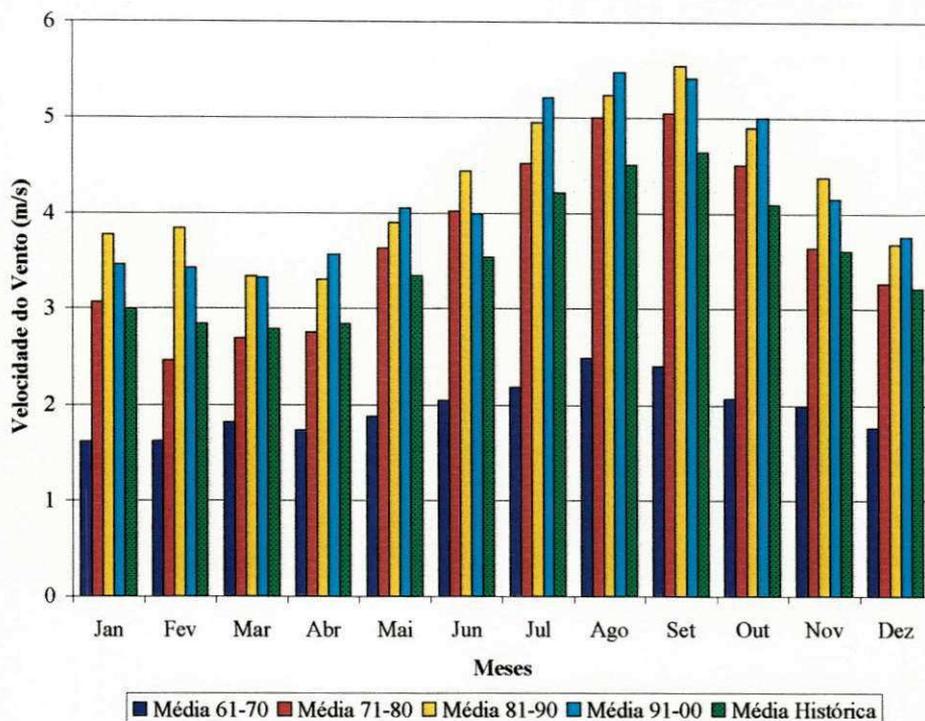


Figura 13b - Médias mensais da velocidade do vento nos períodos de 1961-1970; 1971-1980; 1981-1990 e 1991-2000 em Cabrobó-PE.

Quanto à temperatura do ar, nota-se na Figura 13c que os valores são relativamente altos, sendo nos meses de outubro e novembro onde são registradas as maiores temperaturas, com média histórica de $28,5^{\circ}\text{C}$. No mês de novembro os valores ultrapassam os $28,0^{\circ}\text{C}$ nas décadas de 1970, 1980 e 1990. Já em junho e julho são registrados os menores valores com média em torno de $24,0^{\circ}\text{C}$, sendo que nos mês de julho as temperaturas não ultrapassam os $24,0^{\circ}\text{C}$. Ainda na mesma Figura, está evidente o aumento da temperatura em praticamente todos os meses na década de 1991-2000, quando comparada com os outros períodos, exceto no mês de junho.

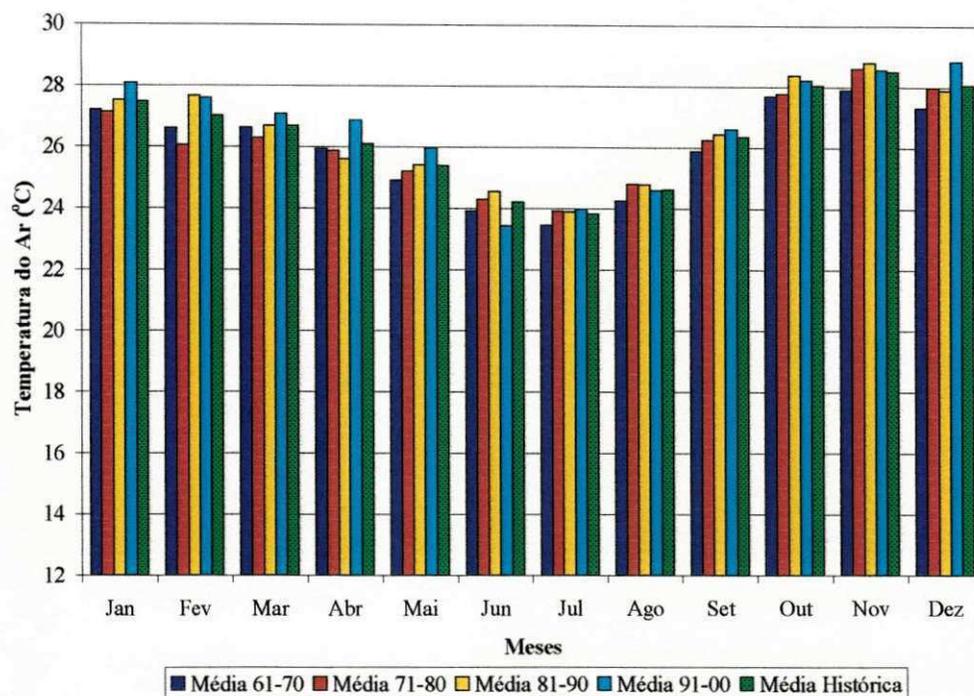


Figura 13c - Médias mensais da temperatura do ar nos períodos de 1961-1970; 1971-1980; 1981-1990 e 1991-2000 em Cabrobó-PE.

Ao contrário da temperatura, os menores valores de umidade relativa do ar são observados nos meses de outubro e novembro, com média de 47%, como mostra a Figura 13d. Os meses de abril maio e junho registram os maiores valores em torno de 67%. Nota-se que as umidades são consideradas baixas, variando entre 47% e 67%, em média. No período de 1991-2000 houve uma diminuição da umidade em praticamente todos os meses, que é explicado pelo aumento significativo da temperatura do ar neste período.

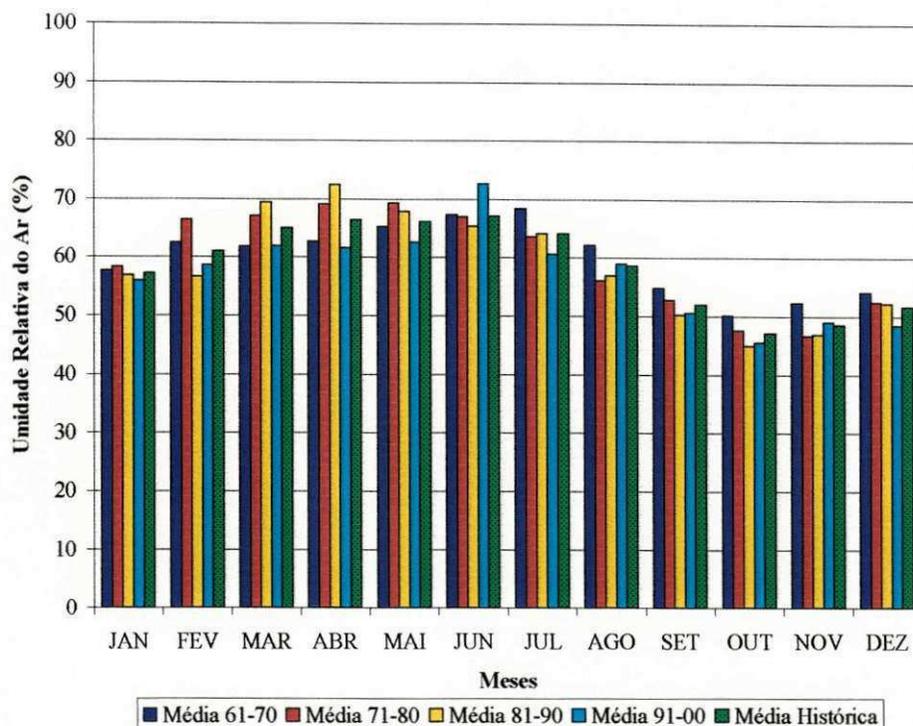


Figura 13d - Médias mensais da umidade relativa do ar nos períodos de 1961-1970; 1971-1980; 1981-1990 e 1991-2000 em Cabrobó-PE.

As Figuras 14a, b, c e d mostram os desvios normalizados com suas respectivas retas de regressão para a precipitação, velocidade do vento à superfície, temperatura e umidade relativa do ar no período de 1961 a 2000.

A média anual das chuvas é relativamente baixa com 539,6mm, tendo em vista um erro calculado em torno de $\pm 40\%$. A Figura 14a evidencia a grande variabilidade anual, mostrando ciclos com fases positivas e negativas de aproximadamente 5 anos até a década de 1980, e um ligeiro aumento da precipitação em torno $+0,05\%$, que corresponde a um aumento de 0,2 mm, no período de 1961-2000, não evidenciando um aumento ou diminuição significativa da precipitação. Os anos de 1967, 1988 e 1989 foram classificados como anos chuvosos, pois apresentaram desvios positivos acima de 60%, e os anos de 1974 e 1985 ficaram dentro da categoria de um ano extremamente chuvoso com desvios de $+81\%$ e $+136\%$, respectivamente, com valores reais de 976,8 mm e 1274,5 mm. De acordo com Moura (2000) no ano de 1985 houve chuvas acima da média histórica, devido o evento anti-El Niño e ao aquecimento acima do normal da temperatura da superfície do mar, fazendo com que os sistemas responsáveis pelas chuvas atuassem de forma significativa. Os anos classificados secos ficaram com desvios abaixo de -40% (1961,

1982, 1983, 1993 e 1998). Já os anos que oscilaram com desvios positivos até 40%, foram considerados normais a acima da média; e os que oscilaram até -40% foram normais a abaixo da média climatológica.

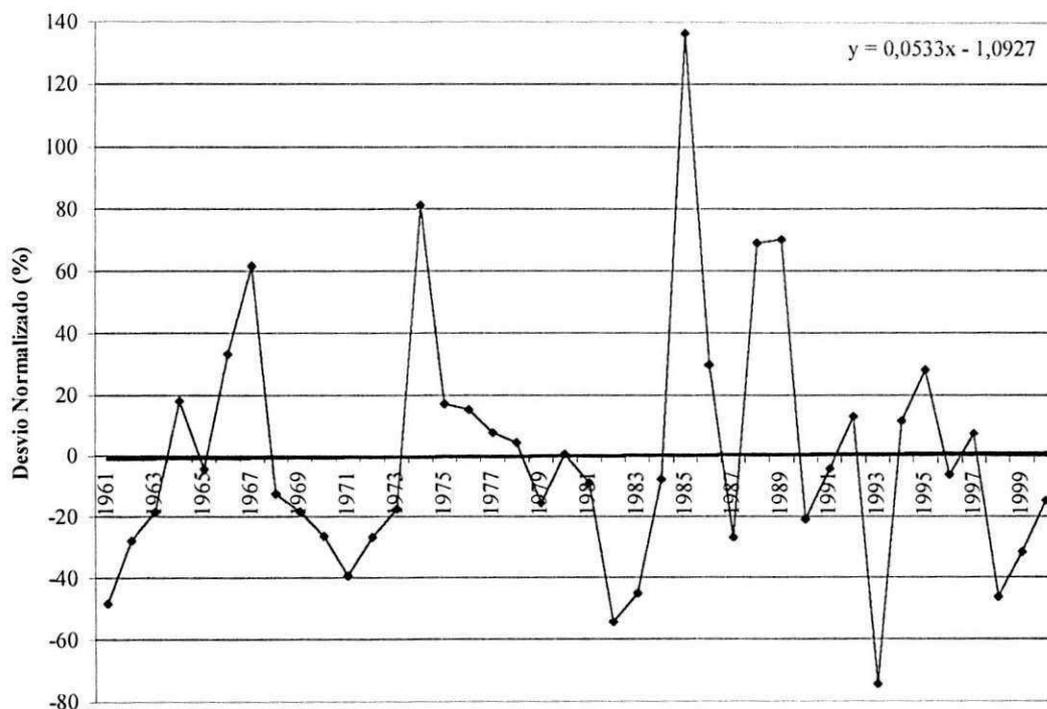


Figura 14a - Desvio normalizado da precipitação anual para Cabrobó-PE (Média: 539,6 mm; DP: 221,10; Erro: \pm -40%).

A Figura 14b evidencia os desvios normalizados do vento à superfície para Cabrobó, com média anual de 3,53 m/s e um erro médio em torno de \pm -30%. Verifica-se que no período de 1961-1972 os desvios foram todos negativos. Já no período de 1973-2000 apresentaram desvios positivos, indicando valores acima da média histórica. Os anos de 1981, 1982, 1983 e 1993 obtiveram desvios acima de +30%, anos estes classificados com ventos fortes. A Figura mostra que pela linha de tendência a velocidade do vento aumentou em torno de +1,99% no período de 1961-2000 equivalente a um aumento de 0,07 m/s.

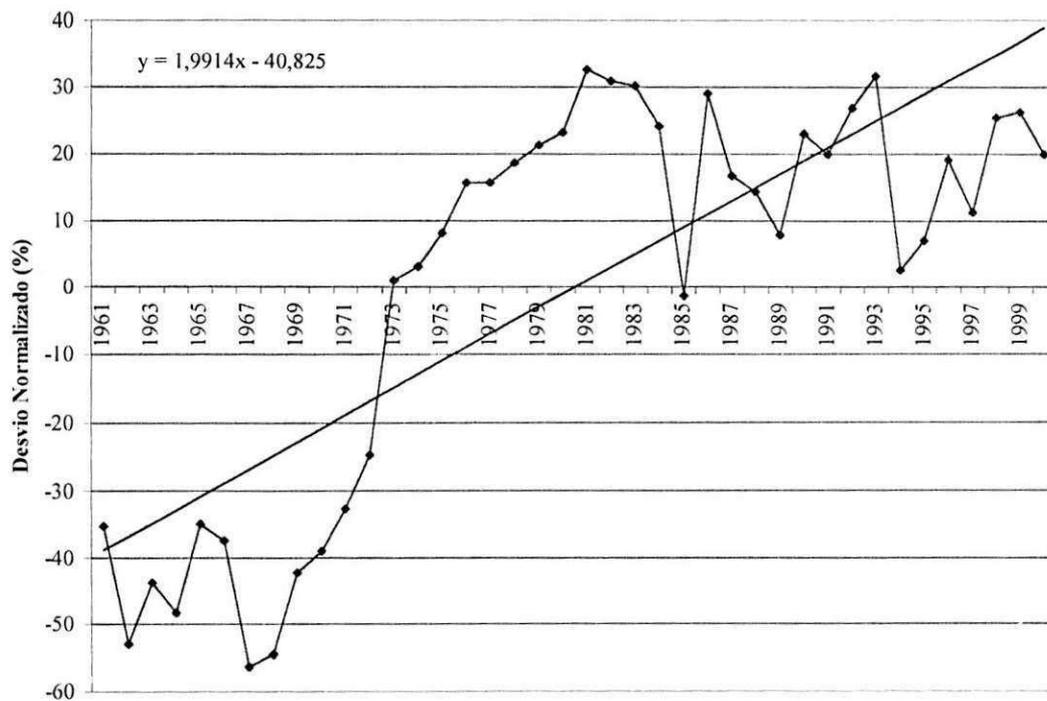


Figura 14b - Desvio normalizado do vento à superfície anual para Cabrobó-PE (Média: 3,53 m/s; DP: 1,04; Erro: +/-30%.

A temperatura média anual de Cabrobó é 26,3° C, com um erro médio calculado em torno de $\pm 2,5\%$. A Figura 14c mostra que pela linha de tendência houve um aumento da temperatura em torno de +0,11% correspondendo a um aquecimento de 0,03° C nos últimos 40 anos. O período de 1961-1970 apresentou temperaturas baixas em todos os anos, com valores abaixo de 26,3° C. Os anos de 1966, 1967, 1968, 1974, 1985 e 1986 foram classificados com baixas temperaturas, com desvios menores que -2,45%. Já os anos de 1984, 1987 e 1999 registraram temperaturas elevadas, sendo classificados como anos quentes, com destaque para 1983, 1993 e 1998 considerados muito quentes com desvios positivos de +4,77%, +4,99% e 6,97%. Os anos que ficaram dentro da categoria normal foram aqueles que oscilaram entre -2,45% a +2,45%. No entanto, verifica-se que na última década (1991-2000) as temperaturas foram mais elevadas, quando comparado com as outras décadas.

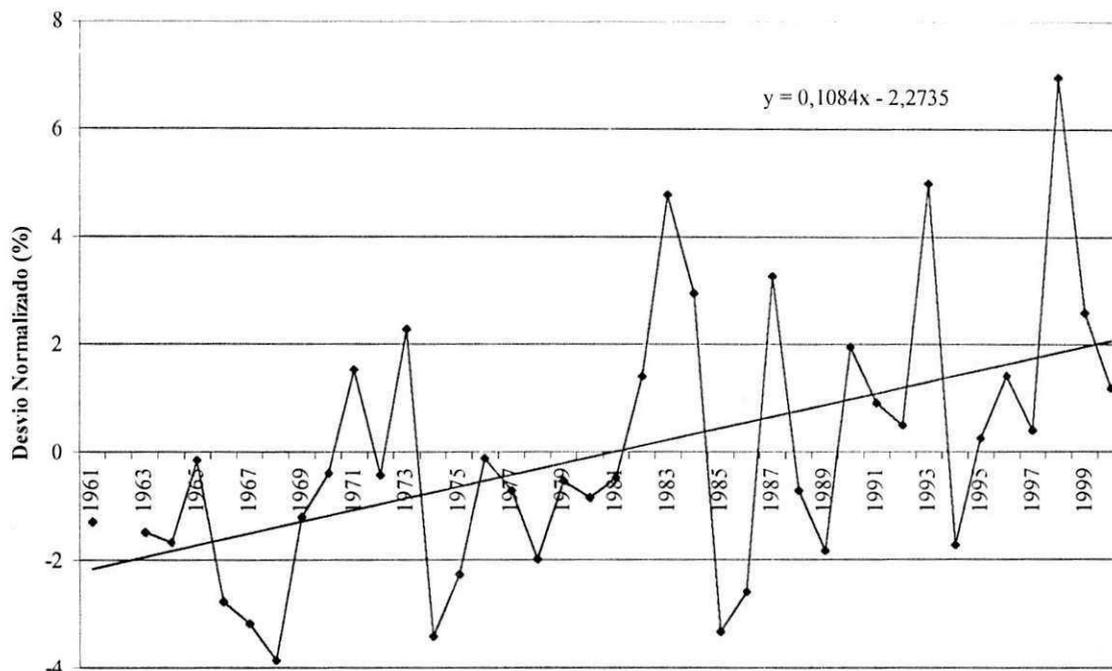


Figura 14c - Desvio normalizado da temperatura do ar anual para Cabrobó-PE (Média: 26,34° C; DP: 0,643; Erro: $\pm 2,45\%$).

A média anual da umidade relativa do ar deste município é considerada baixa com 58%, com um erro calculado em torno de $\pm 7\%$ (Figura 14d). Na Figura, a reta evidencia uma redução da umidade relativa do ar próximo a $-0,17\%$, equivalente a uma diminuição de $0,09\%$ nos últimos 40 anos. Os anos com umidades altas foram 1966, 1967, 1968, 1969, 1974, 1986, 1988 e 1989, os quais apresentaram desvios positivos acima de 7% , destacando 1985 com desvio positivo de $15,2\%$; ano este que apresentou chuvas bastante significativas para a região, contribuindo para a recuperação dos açudes, já que 1983 foi um ano seco. Os anos de 1961, 1983, 1984, 1991, 1993 e 1998 ficaram com desvios negativos abaixo de 7% , sendo classificados com baixas umidades. É interessante notar que no período de 1989-2000 a umidade relativa do ar diminuiu com relação aos outros períodos, exceto para 1994, e o quanto ela está também correlacionada com a chuva.

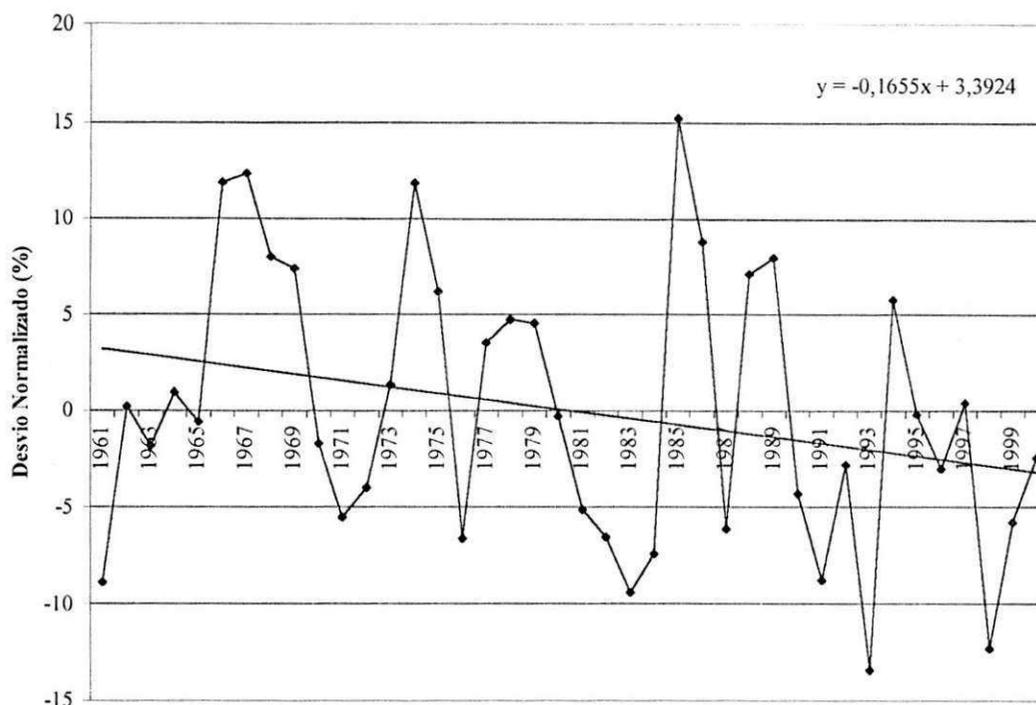


Figura 14d - Desvio normalizado da umidade relativa do ar anual para Cabrobó-PE (Média: 58%; DP: 4,21; Erro: +/-7%).

As Figuras 15a, b, c e d representam os três primeiros harmônicos anuais que possuem maior contribuição para a variância da precipitação, velocidade do vento, temperatura e umidade relativa do ar para Cabrobó.

Os harmônicos 4, 11 e 13 foram os que mais contribuíram, correspondendo a 25%, 17% e 7% da variância total da precipitação. Conforme mostra a Figura 15a, o harmônico 4 é o mais representativo da série, com um ciclo de 10 anos, sendo sua primeira fase considerada positiva no período de 1963-1968 contribuindo para um aumento significativo das chuvas, e com fase negativa não muito bem definida no período de 1968-1973 contribuindo para uma redução das chuvas, com continuidade deste ciclo nos outros anos subsequentes. Observa-se também, de forma sucinta, que as fases positivas estão bem definidas, ao contrário das fases negativas onde a periodicidade está meio confusa. Já os harmônicos 11 e 13 possuem ciclos de 6 e 4 anos.

Os harmônicos que possuíram maior contribuição foram os harmônicos 1, 2 e 3 que correspondem a 64%, 9% e 4% da variância total da velocidade do vento. Na Figura 15b, verifica-se que a contribuição dos três harmônicos é bastante significativa, com destaque

para o primeiro harmônico que representa mais de 50% da variância total da série. O harmônico 1 apresentou um ciclo de 40 anos, sendo considerado o mais representativo, com fase negativa no período de 1961-1970 e 1991-2000 e com fase positiva de 20 anos no período de 1970-1991 evidenciando um aumento da velocidade do vento, que também pode ser observado na Figura 14b. O harmônico 2 apresentou ciclos de 20 anos com fases negativas primeiramente de 10 anos (evidente no intervalo de 1963-1973) e positivas de 10 anos (evidente em 1973-1983), e o harmônico 3 com ciclo em torno de 4 anos com sua primeira fase positiva no intervalo de 1961-1967 e negativa em 1967-1973, com continuidade destes ciclos no restante da série.

Os harmônicos que possuem maior contribuição são os harmônicos 14, 11 e 4, que representam 17%, 16% e 14% da variância total da série. Verifica-se na Figura 15c que o harmônico 14 possui um ciclo em torno de 10 anos, com sua primeira fase negativa de 5 anos observada no período de 1963-1968, e positiva nos outros cinco anos no período de 1968-1973, com continuidade desta periodicidade. Os harmônicos 11 e 4 apresentam ciclos em torno de 4 e 3 anos, com suas primeiras fases negativa.

Os harmônicos com maior contribuição foram os harmônicos 4, 14 e 11 que representam 27%, 13% e 12% da variância total da umidade relativa do ar. Como mostra a Figura 15d, o harmônico 4 apresenta periodicidade em torno de 10 anos com fase positiva nos primeiros 5 anos (1964-1969), contribuindo para um aumento significativo da umidade relativa do ar, e fase negativa nos outros cinco anos (1969-1974) contribuindo para uma diminuição da umidade relativa do ar, com continuidade deste período de 10 anos na série estudada. Os harmônicos 14 e 11 possuem ciclos próximos a 4 e 3 anos, com suas primeiras fases também positivas.

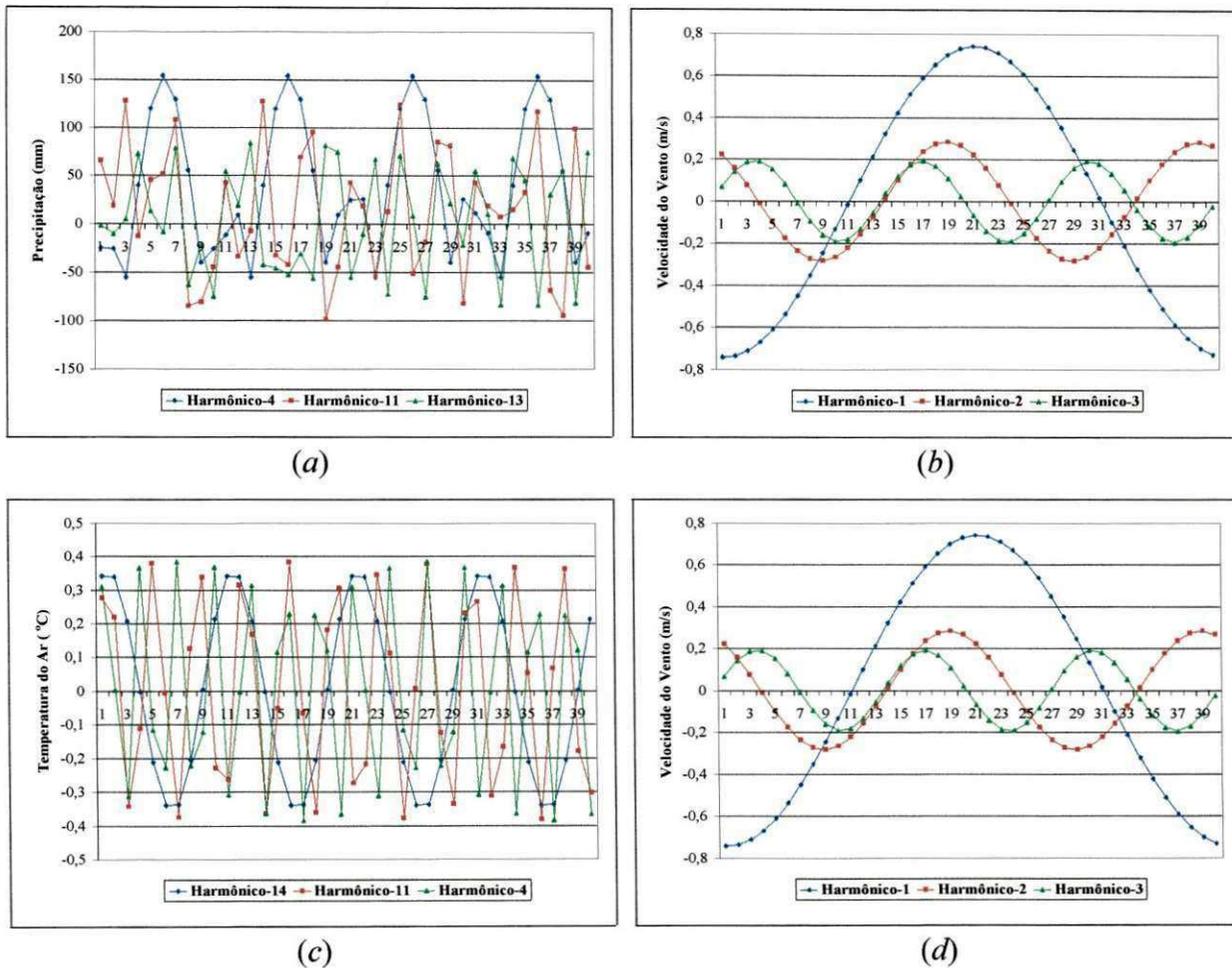


Figura 15 - Contribuição do harmônico anual para a precipitação (a), velocidade do vento (b), temperatura (c) e umidade relativa do ar (d) para Cabrobó-PE no período de 1961-2000.

4.6 – Petrolina

As Figuras 16a, b, c e d representam as médias mensais de 10 anos nos períodos de 1961-1970; 1971-1980; 1981-1990 e 1991-2000 da precipitação, velocidade do vento à superfície, temperatura e umidade relativa do ar.

Na Figura 16a, verifica-se que a estação chuvosa ocorre nos meses de janeiro a março, sendo o mês de março aquele que na grande maioria dos casos registra o maior índice pluviométrico (cuja média histórica é 161,0 mm), e os meses de julho, agosto e

setembro os mais secos com valores médios em torno de 5,0 mm, sendo o mês de setembro caracterizado como o mais seco com média climatológica de 3,0 mm. Na mesma Figura, nota-se que novembro e dezembro, meses que precedem a estação chuvosa, contribuem na precipitação anual deste município com valores muito significativos.

Observa-se que nos meses de janeiro, fevereiro, abril e novembro houve uma redução da precipitação média da década de 1961-1970 para 1981-1990, com valores voltando a crescer no período de 1991-2000, com exceção de abril, que no último período apresentou os menores valores. Com isto, nota-se o quanto a precipitação é um parâmetro com grande variabilidade no tempo. No mês de março verifica-se os maiores valores, principalmente, no período de 1981-1990.

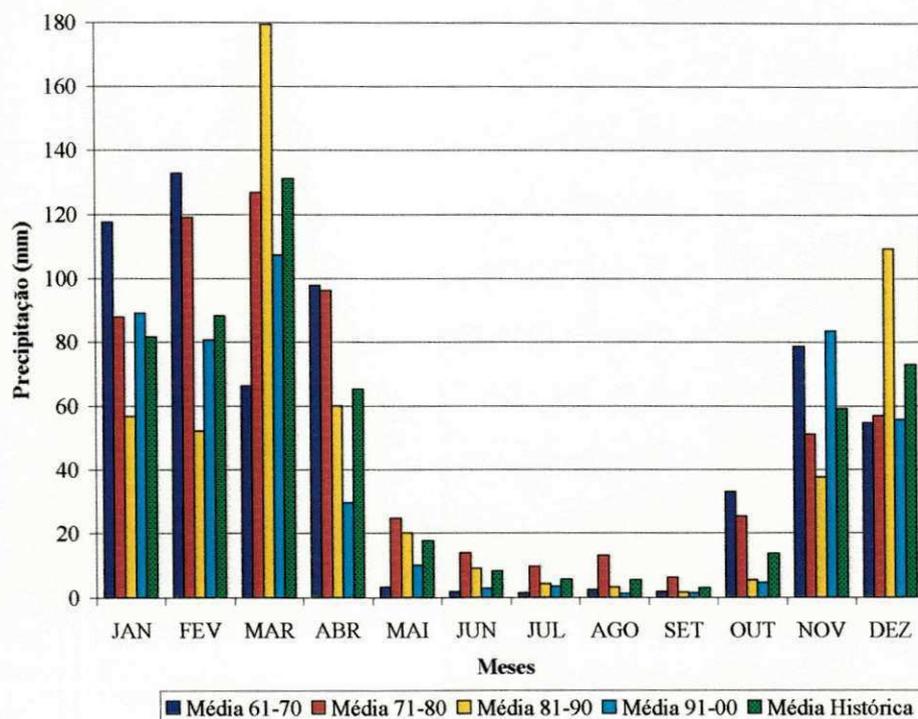


Figura 16a - Médias mensais da precipitação nos períodos de 1961-1970; 1971-1980; 1981-1990 e 1991-2000 para Petrolina-PE.

Os maiores valores de velocidade do vento ocorrem nos meses de julho, agosto e setembro próximo a 4,5 m/s, sendo o mês de agosto que apresenta os valores mais altos, conforme mostra a Figura 16b. Os meses de janeiro, fevereiro e março registraram as menores velocidades do vento em torno de 3,0 m/s. Verifica-se que os períodos de 1961-1970 e 1971-1980 possuem valores mais altos em praticamente todos os meses, com

exceção de fevereiro, quando comparado com as décadas de 1980 e 1990. Na mesma Figura destaca-se o mês de outubro de 1961-1970 que apresentou o valor mais alto de todos os meses, com 5,7 m/s.

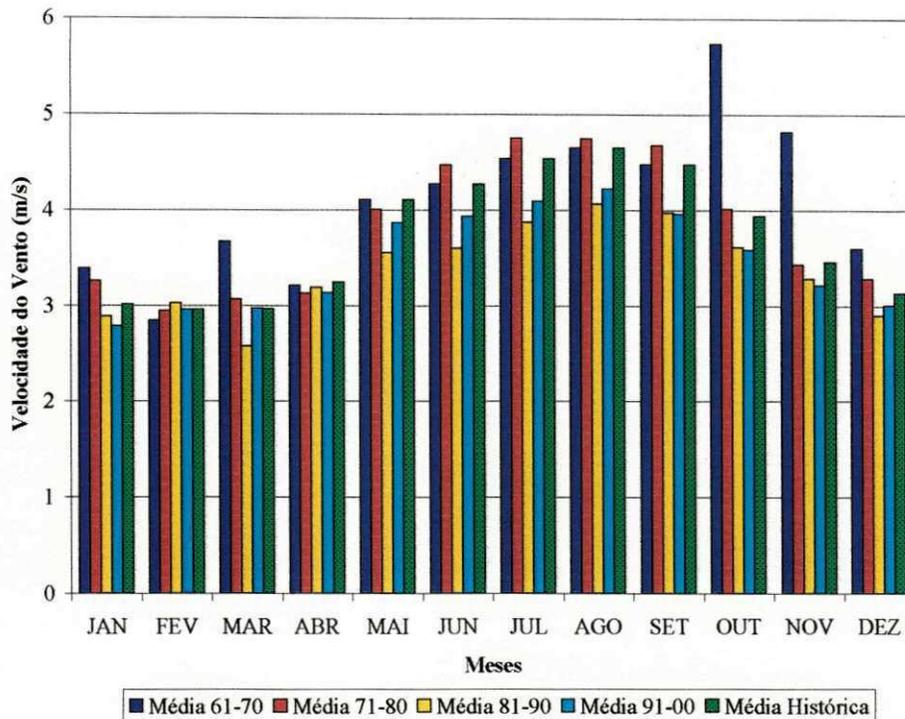


Figura 16b - Médias mensais da velocidade do vento nos períodos de 1961-1970; 1971-1980; 1981-1990 e 1991-2000 para Petrolina-PE.

A Figura 16c mostra que os meses de junho, julho e agosto são considerados os meses mais frios de Petrolina, com o mês de julho apresentando o menor valor de 24,0° C. Já os meses de outubro, novembro e dezembro são mais quentes com temperaturas bastante elevadas, ultrapassando os 28,0° C no mês de novembro. Nota-se um aumento da temperatura na maioria dos meses no período de 1991-2000. No entanto, observa-se que a temperatura do ar é considerada alta, que segundo Nimer (1979) é comum o registro de temperaturas acima de 28,0° C na região do vale de São Francisco.

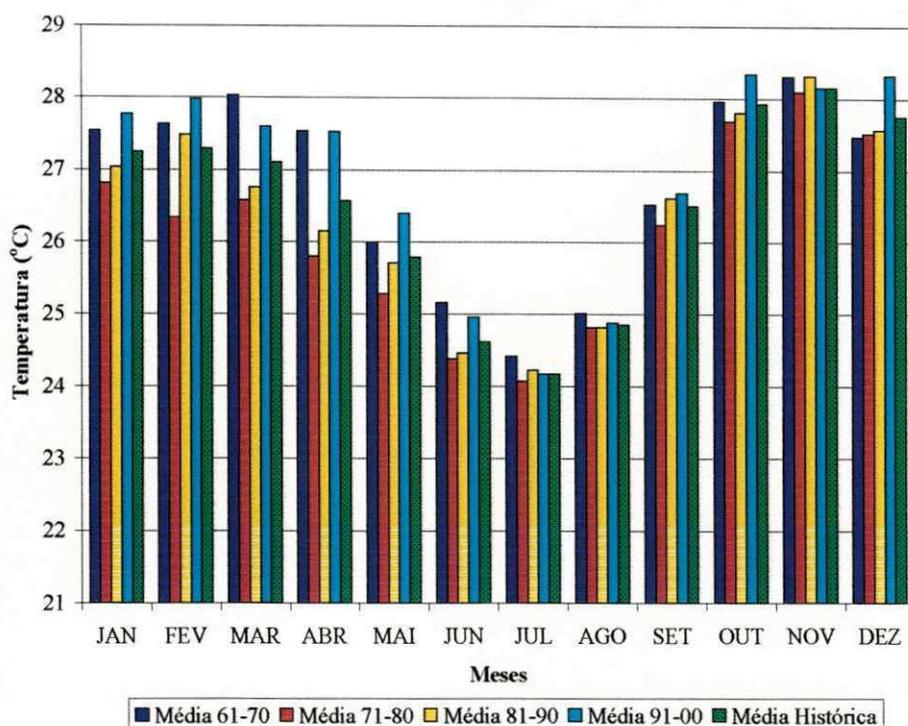


Figura 16c - Médias mensais da temperatura do ar nos períodos de 1961-1970; 1971-1980; 1981-1990 e 1991-2000 para Petrolina-PE.

De maneira geral, os valores médios da umidade relativa do ar são considerados baixos oscilando entre 46% e 64% durante o ano (Figura 16d). Ao contrário da temperatura, os menores valores de umidade relativa do ar são observados nos meses de setembro, outubro e novembro, sendo o mês de outubro o que apresenta os valores mais baixos, próximos a 46%. Os meses de março, abril e maio possuem os maiores valores em torno de 64%. Observa-se que nos meses de dezembro, janeiro, fevereiro, abril e maio houve uma redução gradativa da umidade relativa do ar do período de 1961-1971 para o período de 1991-2000.

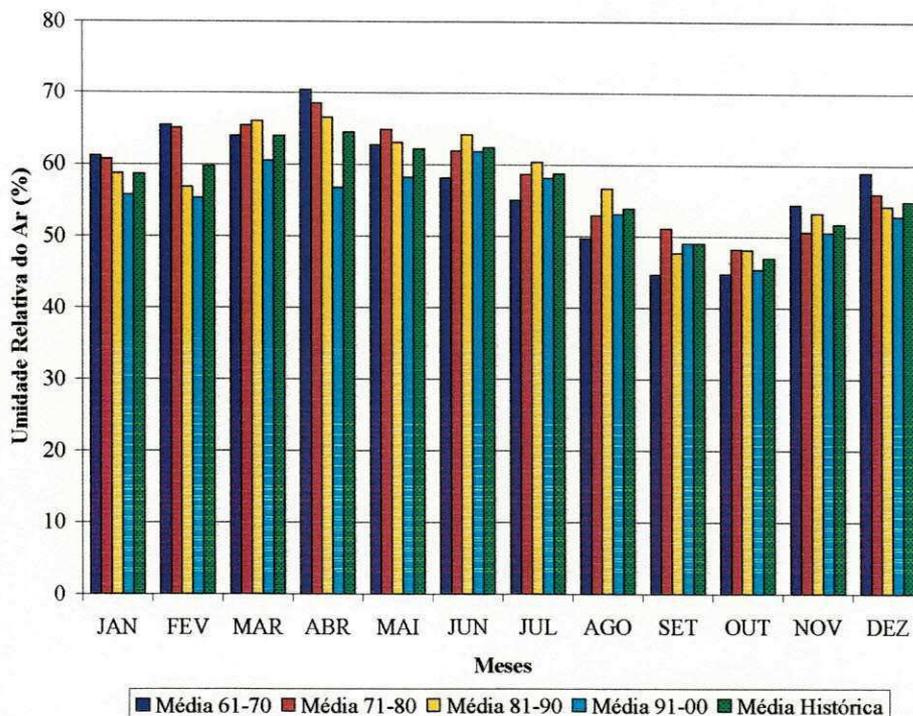


Figura 16d - Médias mensais da umidade relativa do ar nos períodos de 1961-1970; 1971-1980; 1981-1990 e 1991-2000 para Petrolina-PE.

As Figuras 17a, b, c e d mostram os desvios normalizados com suas respectivas retas de regressão para a precipitação, velocidade do vento à superfície, temperatura e umidade relativa do ar no período de 1961 a 2000 para Petrolina.

A Figura 17a evidencia grande variabilidade temporal e uma redução significativa da precipitação de -0,89%, correspondente a uma diminuição em torno de 4,9 mm, nos últimos 40 anos. A média climatológica anual de Petrolina é aproximadamente 551,6mm, com um erro calculado em torno de $\pm 35\%$. Observa-se que os anos de 1974 e 1989 foram considerados chuvosos com desvios positivos de 49% e 42%, com destaque para 1964 e 1985 que apresentaram desvios positivos de 71% e 92% acima da média no período estudado, com seus valores reais de precipitação de 944,4 mm e 1059,3 mm, respectivamente, sendo classificados anos muito chuvosos. Já os anos de 1963, 1982, 1990, 1993 e 1998 ficaram com desvios negativos abaixo de -35%, sendo considerados secos. Os outros anos ficaram dentro da categoria de um ano normal.

De modo geral, os períodos de 1961-1970 e 1971-1980 apresentaram anos com chuvas em torno e acima da média, enquanto que as décadas de 1981-1990 e

principalmente 1991-2000 apresentaram uma diminuição considerável das chuvas, com os maiores desvios negativos observados nesses anos.

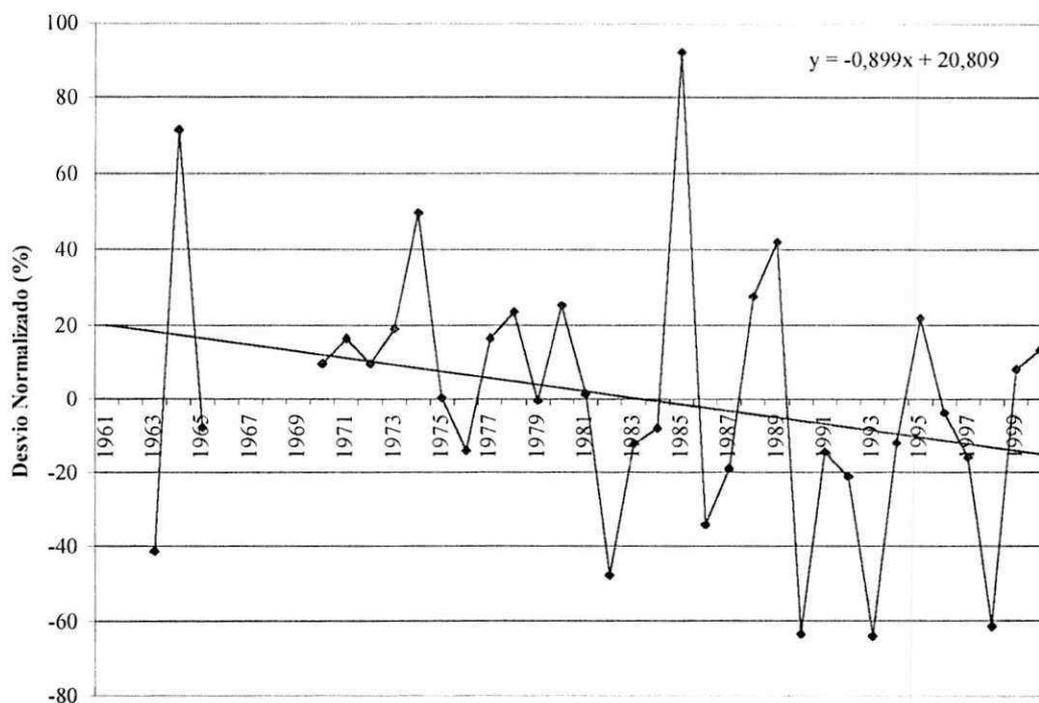


Figura 17a - Desvio normalizado da precipitação anual para Petrolina-PE (Média: 551,55 mm; DP: 193,3; Erro: $\pm 35\%$).

A Figura 17b mostra uma diminuição significativa de -0,45% da vento à superfície no período de 1961-2000, equivalente a uma redução de 0,02 m/s. A velocidade média do vento é de 3,6 m/s com um erro médio de $\pm 9\%$. Os anos de 1963, 1971, 1972, 1975 e 1977 com desvios acima de +9% foram classificados com velocidades relativamente altas, destacando-se 1964 com o maior valor registrado nos quarenta anos estudados com desvio de +24,1% acima da média. Já 1962, 1984, 1985, 1986, 1987 e 1988 ficaram com desvios abaixo de -9%, com destaque para 1994 com o menor desvio observado de -21,0%. Os anos que apresentaram desvios entre -9% e +9% foram classificados como anos normais, com valores próximo a média histórica. Ainda na Figura 17b, verifica-se que as duas primeiras décadas apresentaram desvios positivos em praticamente todos os anos, e nas décadas de 1981-1990 e 1991-2000 os desvios foram negativos, evidenciando claramente que nessas décadas houve um decréscimo acentuado da velocidade do vento.

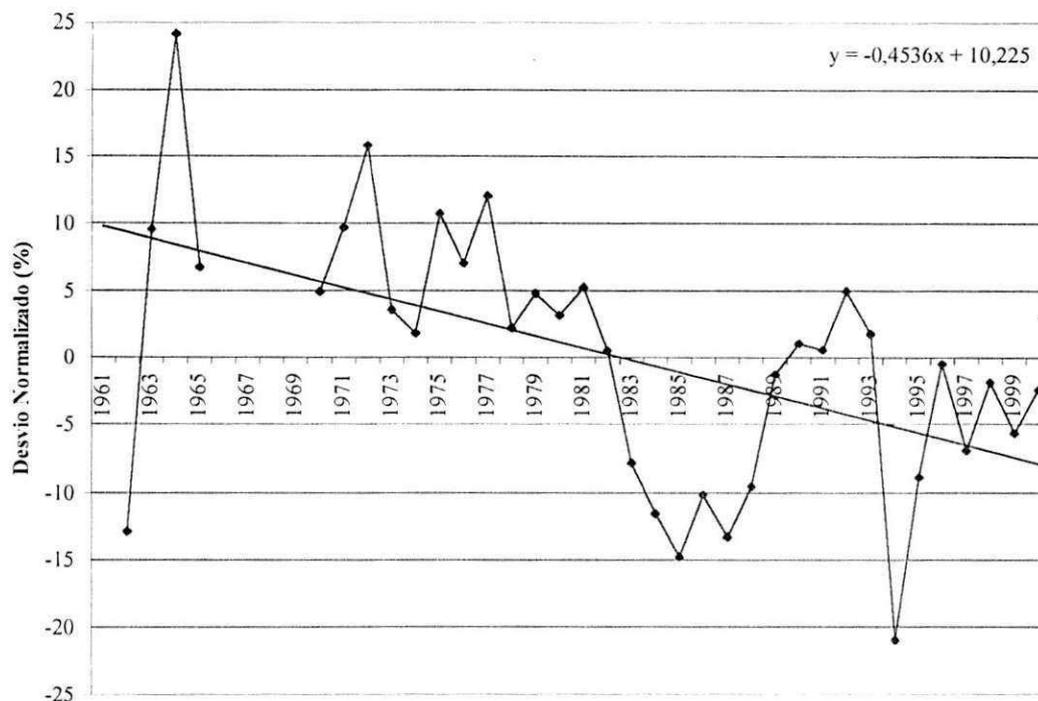


Figura 17b - Desvio normalizado da velocidade do vento anual para Petrolina-PE (Média: 3,6 m/s DP: 0,338; Erro: $\pm 9\%$).

A Figura 17c mostra a tendência de um aumento da temperatura do ar no período de 1961-2000, em torno de $+0,04\%$ (correspondente a $+0,01^\circ\text{C}$), evidenciando claramente aquecimento do ar neste período, assim como, a contribuição de cada ano, no que se refere a distribuição da temperatura do ar. A temperatura média anual para Petrolina é de $26,7^\circ\text{C}$, com um erro calculado em torno de $\pm 2\%$. Verifica-se que os anos de 1962, 1963, 1970, 1983, 1986 e 1993 foram considerados com temperaturas elevadas pois apresentaram desvios acima de $+2\%$, com destaque para 1998 com $5,2\%$ acima da média com valor real de $27,9^\circ\text{C}$, sendo classificado como o ano mais quente dos últimos 40 anos, ano este caracterizado pela influência do fenômeno El Niño, que pode ter contribuído para o aquecimento do ar. Por outro lado, os anos de 1975 e 1978 registraram temperaturas mais baixas que o normal (desvio menor que -2%), destacando-se 1974 e 1985 que apresentaram desvios menores que -4% , com $25,3^\circ\text{C}$, sendo classificados com temperaturas muito baixas. Percebe-se que na última década (1991-2000) houve um aquecimento do ar maior quando comparado com os outros períodos.

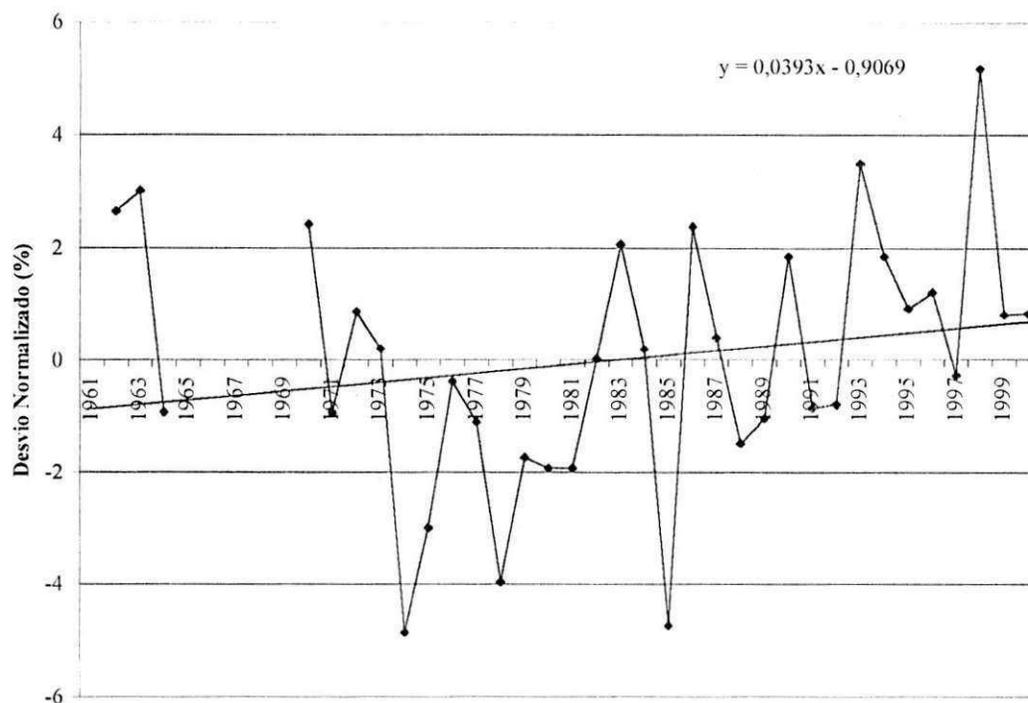


Figura 17c - Desvio normalizado da temperatura do ar anual para Petrolina-PE (Média: 26,6° C; DP: 0,604; Erro: $\pm 2\%$).

A Figura 17d mostra uma tendência de diminuição da umidade relativa do ar de -0,22% pela reta, que equivale a uma redução de 0,12%, em todo o período considerado, principalmente na década de 1991-2000, o que pode ser justificado em função do aumento da temperatura do ar. A média anual da umidade relativa é 57%, com um erro médio em torno de $\pm 7\%$. Na Figura, observa-se que os anos de 1964, 1965, 1974 e 1989 apresentaram valores acima de 57%, ressaltando 1985 com desvio acima de +18%, ano este classificado com umidade relativa alta. Os anos de 1963, 1983, 1993 e 1994 ficaram com desvios menores de -7%, sendo considerados com umidades baixas, destacando-se 1998 com desvio abaixo de -14%, com valor real de 49,08% que apresentou o mais baixo valor de umidade relativa do ar observado no período estudado. Os outros anos apresentaram desvios entre -7% e +7%, ficando dentro da categoria de um ano normal.

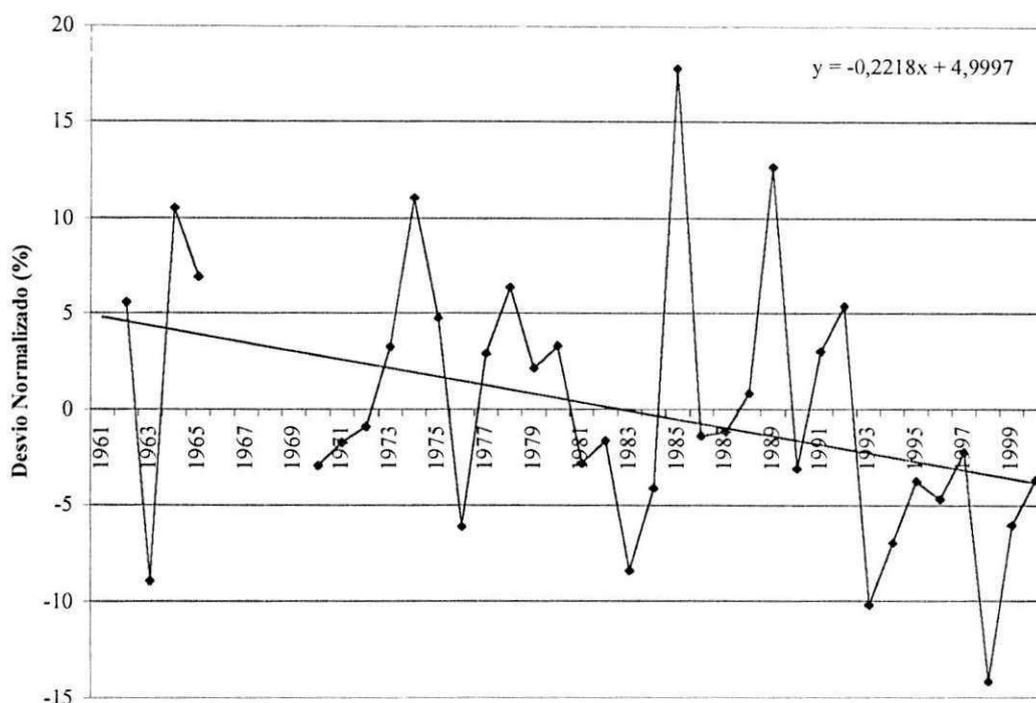


Figura 17d - Desvio normalizado da umidade relativa do ar anual para Petrolina-PE (Média: 57,2%; DP: 3,93; Erro: $\pm 7\%$).

As Figuras 18a, b, c e d representam os três primeiros harmônicos anuais que possuem maior contribuição para a variância da precipitação, velocidade do vento à superfície, temperatura e umidade relativa do ar para Petrolina.

A Figura 18a mostra que os harmônicos 10, 8 e 11 apresentaram a maior contribuição, equivalentes a 15%, 11% e 10% da variância total da série, valores estes considerados não muito significativos, não chegando a 40% da variância total da série. O harmônico 10 possui ciclos de 5 anos, com 7 fases positivas em torno de 2,5 anos evidenciando um aumento das chuvas, e 8 fases negativas de 2,5 anos revelando uma diminuição da precipitação, fato este que também pode ser observado na Figura 17a, onde verifica-se o comportamento destes ciclos com suas respectivas fases positivas e negativas, com exceção do período de 1990-2000 onde observam-se valores abaixo da média (fase negativa). Os harmônicos 8 e 11 apresentam períodos próximo a 4 e 3 anos.

Com relação ao vento, os harmônicos 10, 11 e 6 representam 13%, 12% e 11% da variância total. No entanto, observa-se na Figura 18b, que os harmônicos apresentaram fases positivas e negativas praticamente iguais em todos os períodos. O harmônico 10

possui um ciclo de 7 anos, com fase positiva evidente no período de 1962-1966 e negativa no intervalo de 1966-1969. Os harmônicos 11 e 6 apresentaram ciclos em torno de 5 e 4 anos, respectivamente, com suas primeiras fases positivas.

Os harmônicos 1, 11 e 17 foram os que possuíram maior contribuição, representando 26%, 16% e 11% da variância, ou seja, 53% da variância total da temperatura do ar. Como mostra a Figura 18c, o primeiro harmônico é considerado o mais significativo com ciclo de 40 anos, com fase positiva nos intervalos de 1961-1969 e 1989-2000 contribuindo para o aquecimento do ar, que nesta última década tem-se notado um aumento significativo da temperatura do ar, podendo estar associado ao desmatamento, diminuição de áreas verdes e urbanização acarretando na formação de ilhas de calor. O período de 1969-1989 apresenta fase negativa contribuindo para uma diminuição da temperatura do ar, que é observado na Figura 17c. Já os harmônicos 11 e 17 apresentam ciclos em torno de 3 anos.

Quanto a umidade relativa do ar, os harmônicos com maior contribuição foram os harmônicos 11, 1 e 12 que representam 26%, 15% e 11% da variância total da umidade relativa do ar, valores estes significativos. O harmônico 11 apresenta um ciclo de 40 anos com fase negativa nos primeiros 9 anos (1961-1969) e nos últimos 11 anos (1989-2000) que está associado ao aumento da temperatura do ar, principalmente na década de 90. A sua fase positiva é de 20 anos (evidente em 1969-1989) contribuindo para um aumento da umidade relativa do ar. Os harmônicos 1 e 12 possuem ciclos de 3 anos (Figura 18d).

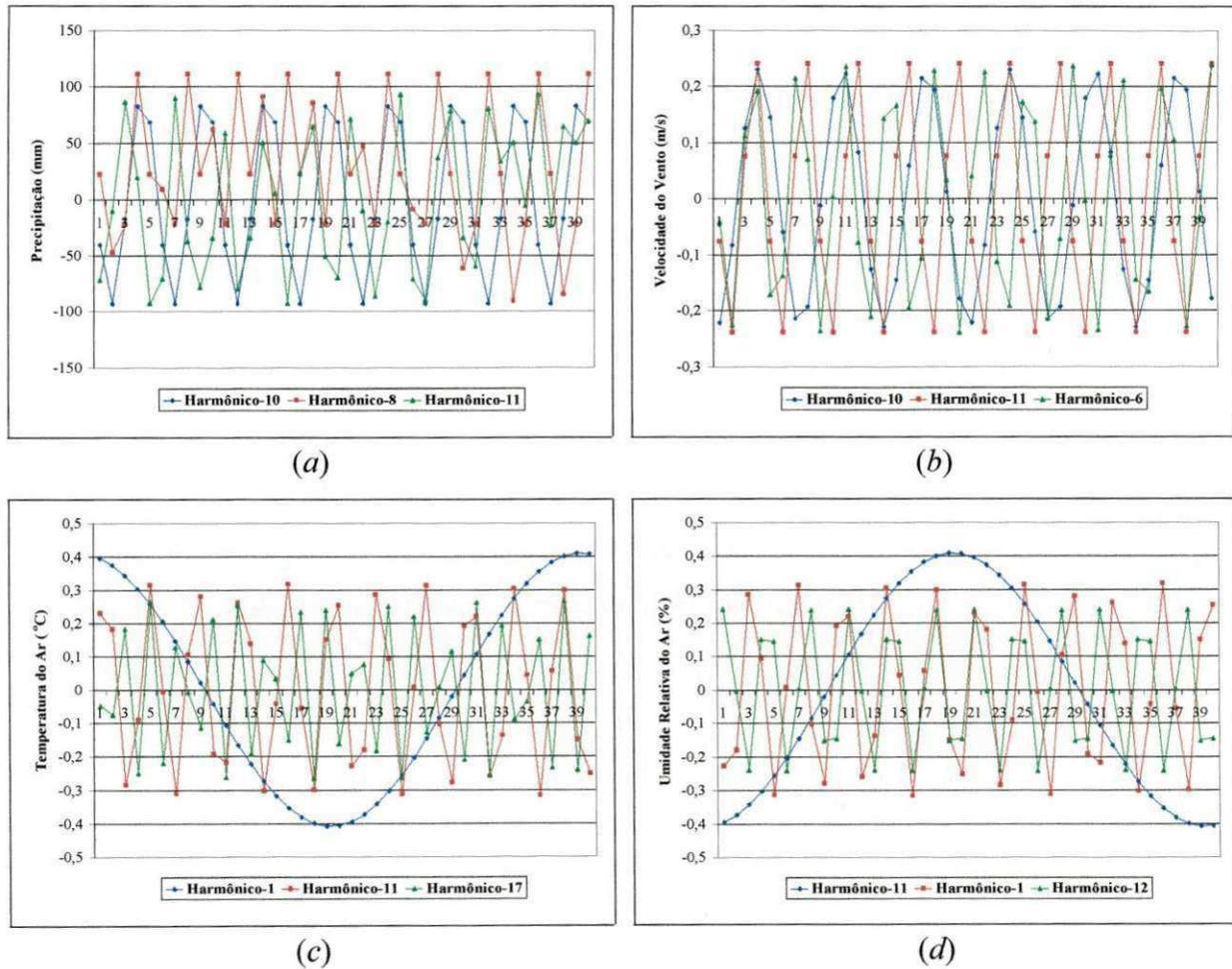


Figura 18 - Contribuição do harmônico anual para a precipitação (a), velocidade do vento (b), temperatura (c) e umidade relativa do ar (d) para Petrolina-PE no período de 1961-2000.

5 - CONCLUSÕES

- 1 - Constatou-se diminuição na precipitação média anual na última década (1991-2000) em todas as estações estudadas com o máximo (247,0 mm) em Recife e mínimo (67,0 mm) em Cabrobó.
- 2 - Com relação à velocidade do vento, também na última década, houve aumento médio mensal (de 0,07 m/s) em Recife, 0,2 m/s em Pesqueira e 0,7 m/s em Cabrobó e diminuição de 0,07 m/s em Garanhuns, 0,3 m/s em Triunfo e em Petrolina.
- 3 - A temperatura do ar, de um modo geral, aumentou consideravelmente na última década, apresentando um máximo (0,5° C) em Garanhuns e um mínimo (0,2° C) em Pesqueira.
- 4 - Verificou-se também, como era de se esperar, em função principalmente do aumento de temperatura do ar, que a umidade relativa do ar diminuiu em todos os municípios, e que na última década esta diminuição foi de 3,1%, 2,7%, 2,6%, 2,4%, 1,6% e 1,5% em Pesqueira, Triunfo, Garanhuns, Petrolina, Cabrobó e Recife respectivamente.
- 5 - No contexto geral, concluiu-se que no período de 1961-2000 houve uma diminuição da precipitação no Estado de Pernambuco desde 2,3 mm até 11,8 mm; o vento não possuiu o mesmo padrão de variação para todas as localidades, com aumento em sua intensidade em alguns municípios e diminuição em outros, aumento da temperatura do ar da ordem de 0,02° C e diminuição da umidade relativa do ar variando de 0,03% a 0,14%.

6- Observou-se que a precipitação, vento, temperatura e umidade relativa do ar recebem a influência de fenômenos atmosféricos e oceânicos com periodicidade em torno do harmônico de maior contribuição, sugerindo que embora a localidade esteja com uma tendência de aumento (diminuição) dos elementos estudados, a mesma está sujeita a passar por períodos com grandes ou pequenos valores das variáveis meteorológicas estudadas neste trabalho, que mascaram a influência decorrente da urbanização, degradação do meio ambiente, industrialização entre outros meios que possam causar modificações no clima.

RECOMENDAÇÕES

- 1 – Recomenda-se para trabalhos futuros que, se possível, seja utilizado séries mais representativas, assim como maior número de estações meteorológicas para definição melhor à nível de Estado;
- 2 – Utilizar outros métodos de tendência para fins comparativos, visando maior exploração dos dados e resultados e conseqüentemente chegar à conclusões mais precisas;
- 3 – Identificar melhor através da análise harmônica, as causas da periodicidade dos ciclos, verificando as alterações destes elementos meteorológicos, associando-os aos fenômenos atmosféricos e oceânicos.

5 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADEBAYO, Y.R. The Effect of Urbanization on Some Characteristics of Relative Humidity in Ibadan. *Journal of Climatology*, Vol.7, p.559-607, 1987.

ARAGÃO, J.O.R. Um Estudo da Estrutura das Perturbações Sinóticas do Nordeste do Brasil. São José dos Campos: Instituto de Pesquisas Espaciais, *Dissertação de Mestrado*, 1976, 51p.

ARAGÃO, J.O.R.; LACERDA, F.F.; MOURA, G.B.A.; SOUZA, I.A.; RODRIGUES, R.S. Boletim de Informações Climáticas, *INFOCLIMA*, ano 4, n. 02, março de 1998.

ARYA, S.P. *Introduction to Micrometeorology*. USA: Academic Press Inc, 1988.

ATLAS CLIMATOLÓGICO DO ESTADO DA PARAÍBA. Campina Grande-PB: Universidade Federal da Paraíba, 1984, (sem paginação).

AYOADE, J.O. *Introduction to Climatology for the Tropics*. Nigeria: Department of Geography, University of Ibadan, 1983, 258p.

BALLING, R.C.Jr.; BRAZEL, S.W. The Impact of Rapid Urbanization on Pan Evaporation in Phoenix, Arizona, *Journal of Climatology*, Vol.7, p.593-597, 1987.

BANDEIRA, M. M. Regionalização do Regime Eólico no Nordeste do Brasil (período 1977-1981). Campina Grande-PB: DCA/CCT/UFPB, *Dissertação de Mestrado*, 1990, 62p.

- BARROS, V.; CAMILLONI, I. Urban biased trends in Buenos Aires mean temperature. *Clim. Research*, 4:33-45, 1994.
- CAVALCANTI, I.F.A. Episódios de EL NIÑO/Oscilação Sul durante a Década de 1986 a 1996 e suas Influências sobre o Brasil. *CLIMANÁLISE - Boletim de Monitoramento e Análise Climática*. MCT/INPE/CPTEC. Edição Especial, Outubro, 1996, p.52-64.
- CAYAN, D.; DOUGLAS, A.V. Urban Influences on Surface Temperatures in the Southwestern United States During Recent Decades, *Journal of Climate and Applied Meteorology*, v.23, p.1520-1530, 1984.
- CHANG, L.H., HUNSAKER, T.; DRAVES, J.D. Recent Research on Effects of climate change on water resources. *Water Resources Bulletin*. Vol.28, n.2, American Water Resources Association, April 1991, 1992, p.273-286.
- CHANGNON, S.A.J. Recent studies of urban effects on precipitation in United States. *Bull.Am.Met.Soc.*, 50, 1969, p.411-421.
- CLIMANÁLISE, 1992a. *Boletim de Monitoramento e Análise Climática*. Número especial (01/92) adendo aos números de janeiro a junho de 1992.
- CLIMANÁLISE, 1992b. *Boletim de Monitoramento e Análise Climática*. Número especial (06/92) adendo aos números de janeiro a junho de 1992.
- CLIMANÁLISE. *Boletim de Monitoramento e Análise Climática*. Vol.8(5), 1993.
- COSTA, A.C.L., OLIVEIRA, M.C.F., RIBEIRO, J.B.M.; COSTA, J.P.R. Estudo das Alterações Meteorológicas associadas à Influência da Vegetação no Campus Universitário da UFPA. In: X Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, Piracicaba-SP, *Anais...SBA*, 13-18 de julho, p.555-557, 1997.
- DIAZ, H. Changes in regional-scale precipitation for global land areas during the past century. In: *Proceedings of the Fifth Conference on Climate Variations*, Denver,

Colorado.. Available from American Meteorological Society, 45 Beacon St., Boston, Mass. 02108.USA, October, 1991, p.35-37.

DIERMEYER, P.A.; SHUKLA, J. *The effect on climate of doubling deserts*. Report N 3. Center for Ocean-Land-Atmosphere Studies - COLA, 1994.

EAGLEMAN, J.R. A Comparison of Urban Climatic Modifications in Three Cities. *Atmospheric Environment*. Pergamon Press. Printed in Britain. Vol.8, p.1131-1142, 1974.

ENDLICHER, W.; SCHULTZ, E. Traffic conditions, biomass burning and airborne dust in Tucuman, Argentina. *In: International Conference on Urban Climatology*. June 10-14. Essen, Germany, 1996, p.89-90.

ERNEST, S. Influence of urban Freiburg i. Br., Germany, on the nocturnal vertical distribution of weather conditions. *In: International Conference on Urban Climatology*. June 10-14. Essen, Germany, 1996, p.31.

FOLLAND, C.K. Observed climate variability and change. *Climate Change*, 1992, p.135-170.

GALVANI, E.; PEREIRA, A R.; VILLA NOVA, N.A. Tendência Mensal e Anual das Chuvas em Piracicaba-SP. In: X Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, *Anais...SBA*, 13-18 de julho, Piracicaba-SP, p.277-279, 1997.

GODOY, H.; NOGUEIRA,I.R. e GOMES, F.P. Análise estatística dos dados pluviométricos de Campinas. *Bragantia*, 20(6), 1961, p.357-371.

HABERFELD, E.; MAYER, M.; BITAN, A.; MATZARAKIS, A. First results of an urban wind climate study of Tel Aviv, Israel. *In: International Conference on Urban Climatology*. June 10-14. Essen, Germany, 1996, p.29.

- HAGE, K.D. Urban-Rural Humidity Differences, *Journal of Applied Meteorology*, Vol 14, p.1277-1283, 1975.
- HALPERT, M.S.; BELL, G.D.; KOUSKY, V.E. and ROPELEWSKI, C. Climate Assessment for 1995. *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol.77(5), 1996.
- HASTENRATH, S.; LAMB, P. *Climatic Atlas of the Tropical Atlantic and Eastern Pacific Oceans*. University of Wisconsin Press, 1977, 113p.
- HEINO, R. Homogeneity of long-term urban records. *In: International Conference on Urban Climatology*. June 10-14. Essen, Germany, 1996, p.61-63.
- HOLMER, B.; ELIASSON, I. Urban-rural vapour pressure differences and the urban heat island formation. *In: International Conference on Urban Climatology*. June 10-14. Essen, Germany, 1996, p.16-17.
- IZRAEL, I.A. Efeitos Econômicos, Sociais e Ambientais de Mudanças Climáticas. *Desenvolvimento e Meio Ambiente no Semi-Árido: Discursos e Exposições Especiais*. Brasília-DF: Fundação Grupo Esquel Brasil, 1992, p.103-112.
- KIMURA, F.; TAKAMASHI, S. The effects of land-use and anthropogenic heating on the surface temperature in the Tokyo metropolitan area: A Numeric Experiment. *Atmospheric Environment*, Vol. 25B, p.155-164, 1991.
- KLINK, K. Climatological Mean and Interannual Variance of United States Surface Wind Speed, Direction and Velocity. *International Journal of Climatology*, 19, p.471-488, 1999.
- KOUSKY, V.E.; CHU, P.S. Fluctuations in annual rainfall for Northeast Brazil. *J. Meteor. Soc. Japan*, 56, p.457-465, 1978.

- KUKLA G., GAVIN, J.; KARL, T.R. Urban warming. *J. Clim. Appl. Meteorol.*, 25, p.1265-1270, 1986.
- KUTTLER, W.; SCHWEGLER, M. Measurements of air pollutants in urban backyards. *In: International Conference on Urban Climatology*. June 10-14. Essen, Germany, 1996, p.94.
- LACERDA, F.F. *Centro de Monitoramento e Previsão de Tempo e Clima-CMPTC*. Recife-PE: Projeto apresentado à FINEP/BID, setembro, 1998, 36p.
- LACERDA, F.F.; FERREIRA, M.A.F.; ARAGÃO, J.O.R. Avaliação dos Eventos Extremos de Chuvas no Setor Leste de Pernambuco no Período de 30/07 a 01/08/2000. IX Congresso Latino Americano e Ibérico de Meteorologia e VIII Congresso Argentino de Meteorologia, *Anais...*; 7 al 11 de março, Buenos Aires-Argentina, 2001.
- LANDSBERG, H.E. *The urban climate*. Academic Press, 1981, 285p.
- LEE, D.O. Urban Warming? An analyses of recent trends in London's Heat Island. *Weather*, Vol 47, N^o2, p.50-56, 1992.
- LOMBARDO, M.A. *Ilha de Calor nas Metrôpoles - O Exemplo de São Paulo*, São Paulo-SP: Editora Hucitec, 1985, 244p.
- MAGALHÃES, A.R. (organizador). Subsídios dos Grupos de Trabalho. *Desenvolvimento e Meio Ambiente no Semi-Árido: Discursos e Exposições Especiais*. Brasília-DF: Fundação Grupo Esquel Brasil, 1992, p.129-138.
- MAITELLI, G.T. Uma abordagem tridimensional de clima urbano em área tropical continental: O exemplo de Cuiabá-MT, São Paulo, Departamento de Geografia, F.F.I.C.H, USP, *Tese de Doutorado*, 1994.

- MAITELLI, G.T.; ZAMPARONI, C.A.G.P.; DUBREUIL, V. Tendances climatiques dans le Bassin du Médio Teles Pires au Mato Grosso/Brésil. *In: "Biometeorology and Urban Climatology at the Turn of the Milleunium"*, ICUC-ICB, Austrália/Sidney, 8-12 november, 1999.
- MAITELLI, G.T.; ZAMPARONI, C.A.G.P.; LOMBARDO, M. *A Ilha de Calor em Cuiabá-MT: Uma Abordagem de Clima Urbano*. Londrina-PR: Anais do 3º Encontro Nacional de Estudo sobre Meio Ambiente, V.I. Comunicações, 1991, p.561-571.
- MARENGO, J.A.; UVO, C.B. Variabilidade e Mudança Climática no Brasil e América do Sul. *CLIMANÁLISE - Boletim de Monitoramento e Análise Climática*. MCT/INPE/CPTEC. Edição Especial, Outubro, p.1-7, 1996.
- MELO, A.B.C.; Nobre, P.; MELO, M.L.D. e SANTANA, S.C. Estudo Climatológico da posição da ZCIT no atlântico equatorial e sua influência sobre o Nordeste do Brasil. XI Congresso Brasileiro de Meteorologia, 16 a 20 de outubro, **CD ROM**, Rio de Janeiro-RJ, 2000.
- MOLION, L.C.B. Arrefecendo o Aquecimento Global. *Boletim ABRH*, Destaque, n. 42, jan./fev., 1991, p.5-8.
- MOURA, G. B. A ; SOUZA, I. A.; ARAGÃO, J. O. R; PASSAVANTE, J. Z. O; LACERDA, F. F; RODRIGUES, R. S; FERREIRA, M. A. F e LACERDA, F. R. Estudo preliminar da variabilidade pluviométrica do setor leste do Nordeste do Brasil: parte I. in: Anais do *X Congresso Brasileiro de Meteorologia CD ROM*, Brasília - DF, 1998.
- MUNN, R.E. *Descriptive Micrometeorology*. Advances in Geophysics, Academic Press, Vol I, 1996, 199p.
- NIMER, E. *Pluviometria e Recursos Hídricos dos Estados de Pernambuco e Paraíba*. - Rio de Janeiro: IBGE, 1979, 120p.

- OKE, T.R. *Boundary Layer Climates*. Routledge, London and New York, Second Edition, 1987, 435p.
- OKE, T.R., ZEUNER G.; JAUREGUI, E. The Surface Energy Balance in Mexico City. *Atmospheric Environment*, Vol. 26B, N^o4, p.433-444, 1992.
- OLIVEIRA, M.C.F.; ROCHA, E.J.P.; RIBEIRO, J.B.M.; MOTA, G.V. Estudos das Alterações Meteorológicas Associadas à Urbanização na Grande Belém - PA. Campina Grande-PB, In: IX Congresso de Agrometeorologia, 24 a 28 de julho, *Anais...SBA*, p.177-179, 1995.
- OLIVEIRA, M.C.F.; SOUZA, P.F. Estudo das Possíveis Variações e Mudanças Climáticas em Belém-PA. Piracicaba-SP, In: X Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, *Anais...SBA*, 13-18 de julho, p. 410-412, 1997.
- OLIVEIRA, M.C.F.; SOUZA, P.F.S.; MOTA, M.A.S.; COSTA, J.P.R. Índícios da possíveis alterações microclimáticas no bairro do Guamá devido a ocupação urbana desordenada nas áreas próximas ao Campus da UFPA. Florianópolis-SC, In: XI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia e II Reunião Latino-Americana de Agrometeorologia, *Anais...SBA*, 19-24 de julho, p.244, 1999.
- OMETTO, J.C. *Bioclimatologia Vegetal*. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, 1981, 440p.
- PAIVA, E.M.C.D.; CLARKE, R.T. Time trends in rainfall records in Amazonia. *Bulletin of American Meteorological Society*, v. 76, n. 11, 1995, p.2203-2209.
- PANOFSKY, H. A., BRIER, G. W. *Some Applications of Statistics to Meteorology*. Pennsylvania, Univ. Park, 1958, 224p.
- PRESTE, A. C. A. Um estudo da Relação entre precipitação, evaporação e advecção de umidade no Nordeste brasileiro. *Dissertação de Mestrado em Meteorologia*. CMMET/CCT/UFPB, 70pp, 2001.

- PRESTE, A.C.A.; OLIVEIRA, M.C.F.; COSTA, A.C.L. Estudo dos Elementos Meteorológicos Associados à Influência da Vegetação e Atividades Humanas no Município de Peixe-Boi/PA. Florianópolis-SC, In: XI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia e II Reunião Latino-Americana de Agrometeorologia. *Anais...SBA*, 19 a 24 de julho, p.374, 1999.
- RADLGRUBER, M.E.; PRABHA, T.V. Atmospheric coupling effects and their consequences for city ventilation. *In: International Conference on Urban Climatology*. June 10-14. Essen, Germany, 1996, p.36.
- RAO, V.B.; LIMA, M.; FRANCHITO, S.H. Seazonal and Interannual Variations of Rainfall over Eastern Northeast Brazil. *Journal Of Climate*, 6, p.1754-1763, 1993.
- REBOUÇAS, A.C. *O fenômeno das "secas" do Nordeste*. Instituto de Geociência da Universidade de São Paulo. SPECTRUM-J.BRAS.Ci.,V1(4), 1981, p.62-72.
- ROMERO, M.I.; RIVERA, A.S.; TESSMANN, M.I. Rapid urban growth, land use changes and air pollution in Santiago de Chile. *In: International Conference on Urban Climatology*. June 10-14. Essen, Germany, 1996, p.253-254.
- SANG, J.G. Flow and temperature structures of the urban boundary layer. *In: International Conference on Urban Climatology*. June 10-14. Essen, Germany, 1996, p.37.
- SANSIOLO, R.; RODRIGUES, R.C.M.; ETCHICHURY, P.C. Tendências nas Temperaturas médias do Brasil. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 7. São Paulo. *Anais*. São Paulo. Sociedade Brasileira de Meteorologia, 1992.
- SARAIVA, F.A.M.; SOARES, D.B.; MELO, E.C.S.; ARAÚJO, J.A.P.; SOUZA, W.M.; CORREIA, A.M.; PAIVA NETO, A.C. Comportamento da Variação Climática para o Município de Campina Grande-PB. Mendoza-Argentina, VIII Reunion Argentina de Agrometeorologia, *Actas*, 6-9 de Setiembre, p.23, 2000.

- SERVAIN, J. and LUKAS. *Climatic Atlas of the Tropical Wind Stress and Sea Surface Temperature 1985-1989*. Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer, 1990, 143p.
- SILVA, A.P.L.M. Mudanças Climáticas Urbanas, Campina Grande-PB: Departamento de Ciências Atmosféricas, UFPb-CampusII, *Dissertação de Mestrado*, 1998, 125p.
- SOUZA, I.A.; LACERDA, F.F.; ARAGÃO, J.O.R.; MOURA, G.B.A.; FERREIRA, M.A.F.; FERREIRA, F.F.; SILVA, C.V. Influência do El Nino no comportamento pluviométrico do estado de Pernambuco durante o ano de 1998, in: Anais do XI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia e II Reunião Climática Latino-Americana de Agrometeorologia, *CD ROM*, Florianópolis-SC, 1999.
- SPIEGEL, M.R. *Estatística*. Rio de Janeiro-RJ, Sedegra Sociedade Editora e Gráfica LTDA, 1961, 580p.
- SRIKANTHAN,R.; STEWART,B.J. Analysis of Australian rainfall data with respect to climate variability and change. *Australian Meteorological Magazine*, v.39, p.11-20, 1991.
- STULPUNAGEL, A.V., HOBERT, M.; SUKOPP, M. The importance of vegetation for the urban climate. *Urban Ecology*, 1990, p.175-193.
- TUBELIS, A.; NASCIMENTO, F.J.L. *Meteorologia Descritiva: Fundamentos e Aplicações Brasileiras*, São Paulo: Nobel, 1937, 374p.
- WANNER, H. and HERTING, J.A. Studies of urban climates and pollution in Switzerland. *Journal of Climate and Applied Meteoroly*, v.23, p.1614-1625, 1984.