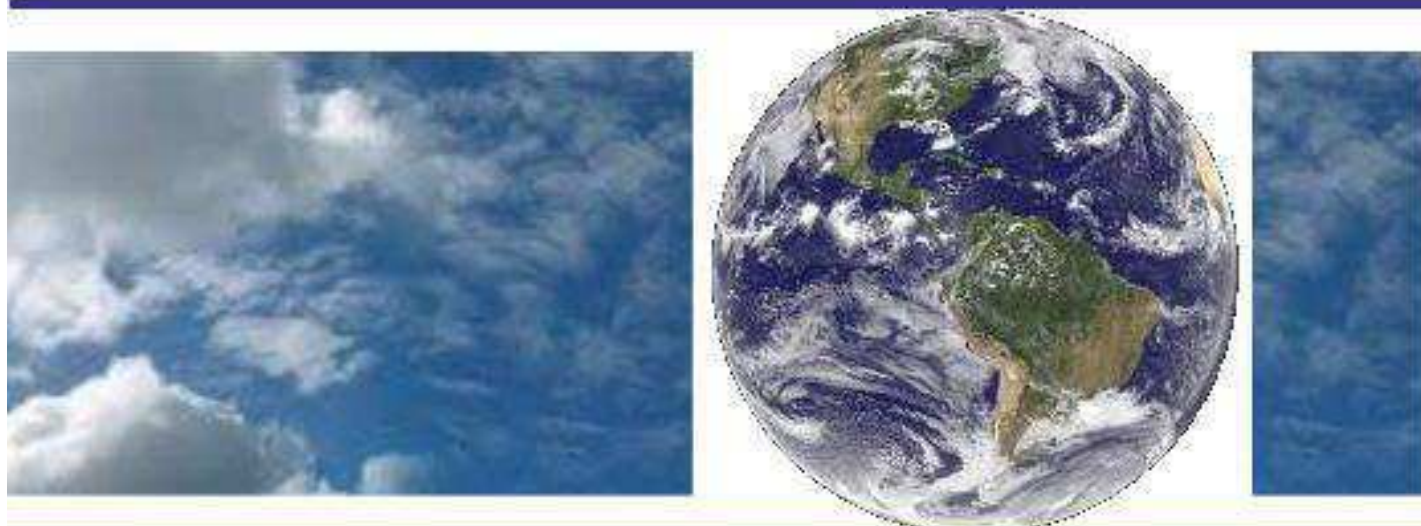


**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS**

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM

METEOROLOGIA



Tese de Doutorado

ALCIDES OLINTO DA SILVA

**APLICAÇÃO DOS ÍNDICES DE PALMER E BHALME & MOOLEY NA
AVALIAÇÃO DA SECA NO ESTADO DO CEARÁ**

Campina Grande, Março de 2011



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

**APLICAÇÃO DOS ÍNDICES DE PALMER E BHALME & MOOLEY NA
AVALIAÇÃO DA SECA NO ESTADO DO CEARÁ**

ALCIDES OLINTO DA SILVA

**Março/2011
Campina Grande – PB**



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

**APLICAÇÃO DOS ÍNDICES DE PALMER E BHALME & MOOLEY NA
AVALIAÇÃO DA SECA NO ESTADO DO CEARÁ**

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande, como parte das exigências para obtenção do grau de doutor em Meteorologia.

Área de concentração: Meteorologia de Meso e Grande Escalas

Linha de Pesquisa: Climatologia

Aluno: Alcides Olinto da Silva

Orientador: Dr. Pedro Vieira de Azevedo

**Março/2011
Campina Grande – PB**

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA
CENTRAL DA UFCG**


S586a	<p>Silva, Alcides Olinto da. Aplicação dos índices de Palmer e Bahlme & Mooley na avaliação da seca no Estado do Ceará / Alcides Olinto da Silva. - Campina Grande, 2011. 94 f.</p> <p>Tese (Doutorado em Meteorologia) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2011. "Orientação : Prof. Dr. Pedro Vieira de Azevedo". Referências.</p> <p>1. Secas - Previsão de Ocorrência. 2. Modelo Auto- Regressivo. 3. Secas - Frequência de Ocorrência. 4. Tese - Meteorologia. I. Azevedo, Pedro Vieira de. II. Universidade Federal de Campina Grande - Campina Grande (PB). III. Título</p> <p>CDU 551.577.38(043)</p>
-------	---

ALCIDES OLINTO DA SILVA


APLICAÇÃO DOS ÍNDICES DE PALMER E BHALME & MOOLEY NA
AVALIAÇÃO DA SECA NO ESTADO DO CEARÁ


TESE APROVADA EM 25/3/2011

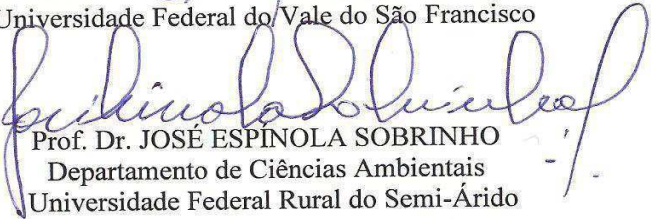
BANCA EXAMINADORA


Prof. Dr. PEDRO VIEIRA DE AZEVEDO
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande


Prof. Dr. CARLOS ANTONIO COSTA DOS SANTOS
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande


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


Prof. Dr. MÁRIO DE MIRANDA VILAS BOAS RAMOS LEITÃO
Universidade Federal do Vale do São Francisco


Prof. Dr. JOSÉ ESPINOLA SOBRINHO
Departamento de Ciências Ambientais
Universidade Federal Rural do Semi-Árido

DEDICO

AOS MEUS PAIS, ANTÔNIO E MARIA DO CARMO,

PELO AMOR, APOIO INCONDICIONAL, DEDICAÇÃO E COMPREENSÃO.
VOCÊS FORAM ESSENCIAIS PARA MAIS ESTA VITÓRIA!

**AOS MEUS QUERIDOS AVÓS, ANTÔNIO INÁCIO E CÂNDIDA CRIZÓSTOMO (*IN
MEMORIAN*)**

PESSOAS MUITO AMADAS POR MIM E DIGNAS DE MEU MAIOR RESPEITO.
EXEMPLOS DE AMOR, FÉ E FAMÍLIA.

**AOS MEUS IRMÃOS, ALBA LÚCIA, ALAN JOHN, ALESSANDRO, ALCIVÂNIA,
ALCIONY E ALBANEY**

PELO AMOR E CARINHO QUE VOCÊS TÊM PARA COMIGO MESMO ESTANDO
DISTANTES. PELO O APOIO E INCENTIVO EM TODOS OS MOMENTOS DA MINHA VIDA.

A TODA A MINHA FAMÍLIA E AMIGOS QUERIDOS...

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a DEUS. Por superar diversos obstáculos a mim impostos; por não desistir quando tudo, inúmeras vezes, parecia impossível de se realizar e pelas pessoas que foram colocadas em meu caminho e protagonizaram o êxito desde trabalho. Obrigado, Senhor.

Não foram poucos aqueles que disponibilizaram paciência em “escuta”, palavras e gestos de estímulo por demais generosos desde os primeiros rabiscos até sua conclusão. Quero agradecer em especial,

À minha família, que esteve ao meu lado incondicionalmente, me apoiando e incentivando nos momentos difíceis e me auxiliando sempre que necessário para que eu pudesse realizar mais esta conquista. Amo vocês.

A minha filha Emily Maria, que mesmo tão pequena soube compreender os meus momentos de ausências e falta de atenção. O presente maior que Deus poderia ter me dado!

Ao meu orientador *Prof. Dr. Pedro Vieira de Azevedo*, por esta orientação repleta de ensinamentos e amizade. Pela confiança em mim depositada, paciência e disponibilidade em todos os momentos em que necessitei. Pessoa extremamente capaz, exemplo de dedicação ao ensino e pesquisa. Você foi de extrema importância para o meu crescimento profissional.

A todos os amigos, que conquistei ao longo desta jornada. *Janne Lúcia, Hudson, Bega* e todos que mesmo não estando citados aqui, participaram deste momento tão importante da minha vida.

A *George (negão), Paulo, Gildo, Ewerton, Jackeline, Kaliane, Fabiana*, meus amigos (as) e companheiros (as) de prédio, obrigado pela acolhida e pelas palavras de incentivo em todos os momentos.

A *Antônio Júnior (Jr)*, pela confecção software na execução do trabalho, pelo apoio, auxílio e por atender sempre aos meus chamados. De todo coração, obrigado.

A Universidade Federal de Campina Grande, aos professores e funcionários da UACA, em especial as secretárias *Divanete e Cleide* pela disposição e boa vontade sempre presentes em ajudar e informar.

Aos professores *Dr. Vicente de Paulo Rodrigues da Silva e Dr. Carlos Antônio Costa dos Santos*, componentes da banca examinadora no exame de qualificação, pelos preciosos comentários e observações.

Aos *Membros da Banca examinadora*, pelas críticas e sugestões.

A todos que direta e indiretamente colaboraram na execução deste trabalho, disponibilizaram tempos pessoais, integraram e compartilharam momentos de trabalho e realização.

OBRIGADO.

RESUMO

Dados de precipitação pluviométrica, temperatura do ar, evapotranspiração potencial e capacidades de água disponível do solo (CAD) de 67 localidades para o período de 1973 a 2002 foram usadas na caracterização espacial e temporal da seca para as condições ambientais das 7 mesorregiões do Estado do Ceará (Noroeste, Norte, Metropolitana, Sertões, Jaguaribe, Centro-Sul e Sul). A evapotranspiração potencial, obtida pelo método de Hargreaves & Samani (1985), foi utilizada na determinação do balanço hídrico e dos índices de severidade seca de Palmer (ISSP) e de seca de Bhalme & Mooley modificado (ISBMM) para cada uma das 67 localidades distribuídas espacialmente nas mesorregiões. Para a análise dos resultados foi realizada a média de todas as localidades, separadas por mesorregião, para as quais foi aplicado o modelo de auto-regressão de primeira ordem para previsão mensal do índice de severidade de Palmer (ISSP) e índice de Bhalme & Mooley Modificado (ISBMM) e também foi realizada a validação e comparação destes índices através dos índices *r*, *d* e *c*. Os resultados evidenciaram que o ISSP subestimou a frequência de ocorrências de secas no Estado do Ceará, tanto em quantidade como em intensidade. Entretanto, observou-se que este índice estabelece melhor os períodos de umidade extrema no Estado, evidenciando que o mesmo também pode ser utilizado para o monitoramento de eventos chuvosos (Sansigolo, 2004). Eventos de secas extremas foram mais bem identificados pelo índice ISBMM, evidenciando a sensibilidade deste índice às variações de umidade no solo e seu bom desempenho na identificação de períodos secos e úmidos. O ISSP identificou eventos extremos de umidade na mesorregião Norte e condições de umidade aproximadamente normais em todas as mesorregiões, exceto na Metropolitana, na qual a maior frequência deste índice foi para eventos de umidade extrema. Foi observado, também que os eventos de períodos secos previstos pelo ISSP, em média, ocorrem com uma defasagem de aproximadamente três meses em relação àquelas do ISBMM. Durante os anos de ocorrência do fenômeno El Niño, o ISSP apresentou um melhor grau de acerto da classificação de eventos de seca, particularmente para a mesorregião do Sertão do Ceará. Constatação semelhante foi observada com o ISBMM na mesorregião Sul do Estado. Finalmente, os valores mensais do ISSP mostraram uma autocorrelação de primeira ordem altamente significativa ($r^2 > 0,95$).

Palavras-chave: Frequência de ocorrência de secas, modelo auto-regressivo, previsibilidade de ocorrência de seca.

ABSTRACT

Data of rainfall, air temperature, potential evapotranspiration and soil water capacity (SWC) of 67 locations for the period from 1973 to 2002 were used for characterizing the spatial and temporal of the droughts for the environmental conditions of the seven mesorregions of the Ceará state, Brazil (Northwestern, North, Metropolitan, Hinterlands, Jaguaribe, Central South and South). The potential evapotranspiration, obtained by the Hargreaves & Samani (1985) method, was used for determining the water balance and the Parmer drought severity index (PDSI) and the modified Bhalme & Mooley drought index (MBMDI) for each of the 67 locations spatially distributed in the mesorregions. For analyzing the results, the average drought index for each mesorregion was applied to the first order auto-regressive model for forecasting the monthly Palmer drought severity index (PDSI) and the Modified Bhalme & Mooley drought index (MBMDI) and also for validating and comparing these indexes through the r , d , and c coefficients. The results showed that the PDSI, independently of the mesorregion analyzed, underestimated the frequency and intensity of droughts in Ceará state. However, it was observed that the PDSI established better the periods of extreme humidity in the state and that this drought index may also be used for monitoring the rainy events (Sansigolo, 2004). Extreme drought events were better identified by the MBMDI index which showed to be more sensible to the soil humidity changes and its good performance for identifying drought and humid periods. The PDSI identified extreme humidity events in the North mesorregion and humidity conditions approximately normal for all other except Metropolitan where the higher frequency of this index was for extreme humidity events. Also, on the average, the events of dry periods predicted by the PDSI occur with a lag of about three months in relation to those of MBMDI. During years of occurrence of El Niño the PDSI showed a higher degree of agreement in the dry events classification, particularly for the Ceará hinterlands mesorregion. Similar results were obtained with the MBMDI for state South mesorregion. Finally, the monthly values of the PDSI showed a first order autocorrelation highly significant ($r^2 > 0.95$).

Keywords: Frequency of drought occurrence, auto-regressive model, droughts occurrence predictability.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	– INTRODUÇÃO E OBJETIVOS.....	01
1.1	Introdução.....	01
1.2	Objetivos.....	02
1.2.1	Objetivo Geral.....	02
1.2.2	Objetivos Específicos.....	02
CAPÍTULO 2	– REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	03
2.1	Climatologia do Estado do Ceará.....	03
2.2	Definição de Seca.....	06
2.2.1	Seca Meteorológica.....	07
2.2.2	Seca Agrícola.....	08
2.2.3	Seca Hidrológica.....	08
2.2.4	Seca Sócioeconômica.....	09
2.3	Índices de Seca.....	11
2.3.1	Índice de Aridez (Ia).....	12
2.3.2	Índice de Anomalia de Precipitação (IAP).....	13
2.3.3	Índice de Percentagem da Normal Climatológica (IPNC).....	14
2.3.4	Índice Padronizado de Precipitação (IPP).....	15
2.3.5	Índice de Seca Efetiva (ISE).....	16
2.3.6	Índice de Severidade de Seca de Palmer (ISSP).....	17
2.3.7	Índice de Bhalme e Mooley (ISBM).....	21
2.3.8	Índice de Bhalme e Mooley Modificado (ISBMM).....	21
2.4	Modelos de Previsão do Índice de Seca.....	22
CAPÍTULO 3	– MATERIAL E MÉTODOS.....	23
3.1	Descrição da Área de Estudo.....	23
3.2	Dados.....	26
3.3	Metodologia.....	26
3.3.1	Evapotranspiração potencial (E_t).....	26
3.3.2	Balço hídrico e índice de severidade de seca de Palmer.....	27
3.3.3	Índice de Seca de Bhalme e Mooley Modificado (ISBMM).....	31
3.3.4	Análise Estatística.....	32
CAPÍTULO 4	– RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	34
4.1	Varição espacial dos valores médios dos índices no Estado do Ceará.....	36
4.2	Comportamento temporal, frequência e modelo de previsão dos valores médios mensais e comportamento médio anual dos índices de seca para cada mesorregião do estado do Ceará.....	40
4.2.1	Mesorregião Noroeste.....	40
4.2.1.1	Comportamento temporal dos valores médios mensais do índice de seca.....	40
4.2.1.2	Frequência dos valores médios mensais do índice de seca.....	41
4.2.1.3	Modelo de previsão dos valores médios mensais do índice de seca.....	43
4.2.1.4	Comportamento médio anual dos índices de seca.....	44
4.2.2	Mesorregião Norte.....	46
4.2.2.1	Comportamento temporal dos valores médios mensais do índice de seca.....	46
4.2.2.2	Frequência dos valores médios mensais do índice de seca.....	47
4.2.2.3	Modelo de previsão dos valores médios mensais do índice de seca.....	48
4.2.2.4	Comportamento médio anual dos índices de seca.....	50

4.2.3	Mesorregião Metropolitana.....	52
4.2.3.1	Comportamento temporal dos valores médios mensais do índice de seca.....	52
4.2.3.2	Frequência dos valores médios mensais do índice de seca.....	53
4.2.3.3	Modelo de previsão dos valores médios mensais do índice de seca.....	55
4.2.3.4	Comportamento médio anual dos índices de seca.....	57
4.2.4	Mesorregião Sertão.....	59
4.2.4.1	Comportamento temporal dos valores médios mensais do índice de seca.....	59
4.2.4.2	Frequência dos valores médios mensais do índice de seca.....	60
4.2.4.3	Modelo de previsão dos valores médios mensais do índice de seca.....	62
4.2.4.4	Comportamento médio anual dos índices de seca.....	63
4.2.5	Mesorregião Jaguaribe.....	65
4.2.5.1	Comportamento temporal dos valores médios mensais do índice de seca.....	65
4.2.5.2	Frequência dos valores médios mensais do índice de seca.....	66
4.2.5.3	Modelo de previsão dos valores médios mensais do índice de seca.....	68
4.2.5.4	Comportamento médio anual dos índices de seca.....	69
4.2.6	Mesorregião Centro-Sul.....	71
4.2.6.1	Comportamento temporal dos valores médios mensais do índice de seca.....	71
4.2.6.2	Frequência dos valores médios mensais do índice de seca.....	73
4.2.6.3	Modelo de previsão dos valores médios mensais do índice de seca.....	74
4.2.6.4	Comportamento médio anual dos índices de seca.....	76
4.2.7	Mesorregião Sul.....	77
4.2.7.1	Comportamento temporal dos valores médios mensais do índice de seca.....	77
4.2.7.2	Frequência dos valores médios mensais do índice de seca.....	79
4.2.7.3	Modelo de previsão dos valores médios mensais do índice de seca.....	80
4.2.7.4	Comportamento médio anual dos índices de seca.....	82
CAPÍTULO 5	– CONCLUSÕES.....	85
CAPÍTULO 6	– REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	86

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AI	- Índice de Aridez
ATSM	-Anomalias de Temperatura da Superfície do Mar
AWC	- Capacidade de água disponível nas duas camadas do solo
AR	- Modelos Auto-Regressivos
CAD	- Capacidade de água disponível do solo
CAD _u	- Capacidade de água disponível na camada inferior do solo
CAD _s	- Capacidade de água disponível na camada superior do solo
CAFEC	-elementos climatologicamente apropriados às condições existentes (mm)
CDC	- Climate Diagnostics Center
CRED	- Centre for Reserach on the Epidemiology of Disaters
\bar{d}	- Média dos valores absolutos de d (mm)
d	- Deficiência hídrica apropriados às condições existentes (mm)
Def	- Deficiência Hídrica
EC	- Estação chuvosa
EMBRAPA	- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ET _p	- Evapotranspiração Potencial
ET _r	- Evapotranspiração Real
ET ₀	-Valores da Evapotranspiração de referência
EUA	- Estados Unidos da América
Exd	- Excedente
FUNCEME	-Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
K	- Ajuste final do fator de caracterização climática da metodologia do ISSP (adimensional)
k	- Primeiro ajuste do fator de caracterização climática da metodologia do ISSP (adimensional)
K'	- Segundo ajuste do fator de caracterização climática da metodologia do ISSP (adimensional)
Ia	- Índice de Aridez
IAP	- Índice de Anomalia de Precipitação
IBGE	- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPC	- Índice de Porcentagem Normal Climatológica
IPEEC	- Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará
IPP	- Índice Padronizado de Precipitação

ISBM	- Índice de Seca de Bhalme e Mooley
ISBMM	- Índice de Seca de Bhalme e Mooley Modificado
ISE	- Índice de Seca Efetiva
ISSP	- Índice de Severidade de Seca de Palmer (adimensional)
ISSP adap	- Índice de Severidade de Seca de Palmer adaptado
Iu	- Índice de Umidade
L	- Valores de perda de água do solo climatologicamente apropriados para as condições existentes (mm)
L _s	- Camada Superficial
L _u	- Camada Inferior
LI	- Linhas de Instabilidade
MM	- Índice de umidade
MUSAG	- Monitoramento e Umidade do Solo para aplicações agrícolas
NCEP	- National Centers for Environmental Predictions
NEB	- Nordeste brasileiro
P	- Valores de precipitação climatologicamente apropriados para as condições existentes (mm)
PE	- Evapotranspiração potencial
P _i	-Precipitação Calculada para referido mês
PIB	- Produto Interno Bruto
PL _u	- Perda Potencial de Água na Camada inferior do Solo
PN	- Percentagem da Normal Climatológica
PR	- Recarga Potencial
Pr	- Precipitação Pluviométrica
PRO	- Escoamento Superficial Potencial
Q ₀	- Radiação extraterrestre
RAI	- Anomalia de Chuva
S'	- Quantidade de água disponível nas duas camadas do solo no início do mês
SPI	- Índice Padronizado de Precipitação
S' _s	- Água armazenada no início do mês na camada superficial do solo
S' _u	- Água armazenada no início do mês na camada inferior do solo
T	-Temperatura media mensal do ar
T _{máx}	-Temperatura máxima mensal do ar
T _{min}	-Temperatura mínima mensal do ar
TSM	-Temperatura da Superfície do Mar

VCAN	- Vórtice Ciclônico de Altos Níveis
Z	- Índice de anomalia de umidade
ZCIT	- Zona de Convergência Intertropical
α	- Coeficiente de Evapotranspiração da metodologia de Palmer (1965) (adimensional)
β	- Coeficiente de Recarga hídrica da metodologia de Palmer (1965) (adimensional)
γ	- Coeficiente de Escoamento Superficial (Runoff) da metodologia de Palmer (1965) (adimensional)
δ	- Coeficiente de Perda de água do solo da metodologia de Palmer (1965) (adimensional)

LISTA DE FIGURAS

		Página
Figura 2.1	-Evolução das secas em função da duração e dos impactos.....	10
Figura 2.2	- Proporção de pessoas afetadas por cada tipo de desastre natural por continente.....	11
Figura 3.1	- Mapa das Mesorregiões do Estado do Ceará.....	23
Figura 4.1	- Variação espacial dos valores médios mensais do índice ISSP no Estado do Ceará para o período de 1973 a 2002, para o estado do Ceará.....	37
Figura 4.2	- Variação espacial dos valores médios mensais do índice ISBMM no Estado do Ceará para o período de 1973 a 2002, para o estado do Ceará.....	39
Figura 4.3	- Comportamento dos valores médios mensais dos índices de severidade de seca de Palmer (ISSP) e de seca de Bhalme & Mooley Modificado (ISBMM) para o período de 1973 a 2002, para a Mesorregião Noroeste do Estado do Ceará.....	41
Figura 4.4	- Auto-regressão de primeira ordem para o índice de severidade de seca de Palmer (ISSP) mensal para a Mesorregião Noroeste do Estado do Ceará.....	43
Figura 4.5	- Auto-regressão de primeira ordem para o Índice de Seca de Bhalme & Mooley Modificado (ISBMM) mensal para a Mesorregião Noroeste do Estado do Ceará.....	44
Figura 4.6	- Comportamento médio anual do índice de severidade de seca de Palmer de 1973 a 2002, para a Mesorregião Noroeste do Estado do Ceará.....	45
Figura 4.7	- Comportamento médio anual do índice de Seca de Bhalme & Mooley Modificado (ISBMM) para a Mesorregião Noroeste do Estado do Ceará.....	46
Figura 4.8	- Comportamento dos valores médios mensais dos índices de severidade de seca de Palmer (ISSP) e de seca de Bhalme & Mooley Modificado (ISBMM) para o período de 1973 a 2002, para a Mesorregião Norte do Estado do Ceará.....	47
Figura 4.9	- Auto-regressão de primeira ordem para o índice de severidade de seca de Palmer (ISSP) mensal para a Mesorregião Norte do Estado	

	do Ceará.....	49
Figura 4.10	- Auto-regressão de primeira ordem para o Índice de Seca de Bhalme & Mooley Modificado (ISBMM) mensal para a Mesorregião Norte do Estado do Ceará.....	49
Figura 4.11	- Comportamento médio anual do índice de severidade de seca de Palmer de 1973 a 2002, para a Mesorregião Norte do Estado do Ceará.....	51
Figura 4.12	- Comportamento médio anual do índice de Seca de Bhalme & Mooley Modificado (ISBMM) para a Mesorregião Norte do Estado do Ceará.....	52
Figura 4.13	- Comportamento dos valores médios mensais dos índices de severidade de seca de Palmer (ISSP) e de seca de Bhalme & Mooley Modificado (ISBMM) para o período de 1973 a 2002, para a Mesorregião Metropolitana do Estado do Ceará.....	53
Figura 4.14	- Auto-regressão de primeira ordem para o índice de severidade de seca de Palmer (ISSP) mensal para a Mesorregião Metropolitana do Estado do Ceará.....	56
Figura 4.15	- Auto-regressão de primeira ordem para o Índice de Seca de Bhalme & Mooley Modificado (ISBMM) mensal para a Mesorregião Metropolitana do Estado do Ceará.....	56
Figura 4.16	- Comportamento médio anual do índice de severidade de seca de Palmer de 1973 a 2002, para a Mesorregião Metropolitana do Estado do Ceará.....	58
Figura 4.17	- Comportamento médio anual do índice de Seca de Bhalme & Mooley Modificado (ISBMM) para a Mesorregião Metropolitana do Estado do Ceará.....	59
Figura 4.18	- Comportamento dos valores médios mensais dos índices de severidade de seca de Palmer (ISSP) e de seca de Bhalme & Mooley Modificado (ISBMM) para o período de 1973 a 2002, para a Mesorregião Sertão do Estado do Ceará.....	60
Figura 4.19	- Auto-regressão de primeira ordem para o índice de severidade de seca de Palmer (ISSP) mensal para a Mesorregião Sertão do Estado do Ceará.....	62

Figura 4.20	- Auto-regressão de primeira ordem para o Índice de Seca de Bhalme & Mooley Modificado (ISBMM) mensal para a Mesorregião Sertão do Estado do Ceará.....	63
Figura 4.21	- Comportamento médio anual do índice de severidade de seca de Palmer de 1973 a 2002, para a Mesorregião Sertão do Estado do Ceará.....	64
Figura 4.22	- Comportamento médio anual do índice de Seca de Bhalme & Mooley Modificado (ISBMM) para a Mesorregião Sertão do Estado do Ceará.....	65
Figura 4.23	- Comportamento dos valores médios mensais dos índices de severidade de seca de Palmer (ISSP) e de seca de Bhalme & Mooley Modificado (ISBMM) para o período de 1973 a 2002, para a Mesorregião Jaguaribe do Estado do Ceará.....	66
Figura 4.24	- Auto-regressão de primeira ordem para o índice de severidade de seca de Palmer (ISSP) mensal para a Mesorregião Jaguaribe do Estado do Ceará.....	68
Figura 4.25	- Auto-regressão de primeira ordem para o Índice de Seca de Bhalme & Mooley Modificado (ISBMM) mensal para a Mesorregião Jaguaribe do Estado do Ceará.....	69
Figura 4.26	- Comportamento médio anual do índice de severidade de seca de Palmer de 1973 a 2002, para a Mesorregião Jaguaribe do Estado do Ceará.....	70
Figura 4.27	- Comportamento médio anual do índice de severidade de seca de Palmer de 1973 a 2002, para a Mesorregião Jaguaribe do Estado do Ceará.....	71
Figura 4.28	- Comportamento dos valores médios mensais dos índices de severidade de seca de Palmer (ISSP) e de seca de Bhalme & Mooley Modificado (ISBMM) para o período de 1973 a 2002, para a Mesorregião Centro-Sul do Estado do Ceará.....	72
Figura 4.29	- Auto-regressão de primeira ordem para o índice de severidade de seca de Palmer (ISSP) mensal para a Mesorregião Centro-Sul do Estado do Ceará.....	74

Figura 4.30	- Auto-regressão de primeira ordem para o Índice de Seca de Bhalme & Mooley Modificado (ISBMM) mensal para a Mesorregião Centro-Sul do Estado do Ceará.....	75
Figura 4.31	- Comportamento médio anual do índice de severidade de seca de Palmer de 1973 a 2002, para a Mesorregião Centro-Sul do Estado do Ceará.....	76
Figura 4.32	- Comportamento médio anual do índice de Seca de Bhalme & Mooley Modificado (ISBMM) para a Mesorregião Centro-Sul do Estado do Ceará.....	77
Figura 4.33	- Comportamento dos valores médios mensais dos índices de severidade de seca de Palmer (ISSP) e de seca de Bhalme & Mooley Modificado (ISBMM) para o período de 1973 a 2002, para a Mesorregião Sul do Estado do Ceará.....	79
Figura 4.34	- Auto-regressão de primeira ordem para o índice de severidade de seca de Palmer (ISSP) mensal para a Mesorregião Sul do Estado do Ceará.....	81
Figura 4.35	- Auto-regressão de primeira ordem para o Índice de Seca de Bhalme & Mooley Modificado (ISBMM) mensal para a Mesorregião Sul do Estado do Ceará.....	81
Figura 4.36	- Comportamento médio anual do índice de severidade de seca de Palmer de 1973 a 2002, para a Mesorregião Sul do Estado do Ceará.....	83
Figura 4.37	- Comportamento médio anual do índice de Seca de Bhalme & Mooley Modificado (ISBMM) para a Mesorregião Sul do Estado do Ceará.....	84

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 2.1 - Classificação do status de umidade segundo o Índice de Aridez.	13
Tabela 2.2 - Classificação da seca segundo o Índice de Anomalia de Precipitação.....	13
Tabela 2.3 - Classificação do Índice de Porcentagem Normal Climatológica..	15
Tabela 2.4 - Classificação do Índice de Seca Efetiva (ISE).....	16
Tabela 2.5 - Classes de seca estabelecidas de acordo com o ISSP adaptado....	20
Tabela 3.1 - Localidades do Estado do Ceará, distribuídas por cada mesorregião.....	25
Tabela 3.2 - Classificação das condições secas e úmidas da região, conforme o ISSP.....	30
Tabela 3.3 - Classificação das condições secas e úmidas da região de acordo com o ISBMM.....	31
Tabela 3.4 - Critérios para avaliação de desempenho, segundo o índice de confiança c.....	33
Tabela 4.1 - Fator de Ajustamento Mensal (K) para o Estado do Ceará.....	34
Tabela 4.2 - Frequência média mensal dos índices de severidade de seca de Palmer (ISSP) e de seca de Bhalme & Mooley Modificado (ISBMM) para o período de 1973 a 2002, para a Mesorregião Noroeste do Estado do Ceará.....	42
Tabela 4.3 - Análise estatística da diferença entre os índices de severidade de seca de Palmer (ISSP) e de Seca de Bhalme & Mooley Modificado (ISBMM) mensais para a Mesorregião Noroeste do Estado do Ceará.....	44
Tabela 4.4 - Frequência média mensal dos índices de severidade de seca de Palmer (ISSP) e de seca de Bhalme & Mooley Modificado (ISBMM) para o período de 1973 a 2002, para a Mesorregião Norte do Estado do Ceará.....	48
Tabela 4.5 - Análise estatística da diferença entre os índices de severidade de seca de Palmer (ISSP) e de Seca de Bhalme & Mooley	

	Modificado (ISBMM) mensais para a Mesorregião Norte do Estado do Ceará.....	50
Tabela 4.6	- Frequência média mensal dos índices de severidade de seca de Palmer (ISSP) e de seca de Bhalme & Mooley Modificado (ISBMM) para o período de 1973 a 2002, para a Mesorregião Metropolitana do Estado do Ceará.....	55
Tabela 4.7	- Análise estatística da diferença entre os índices de severidade de seca de Palmer (ISSP) e de Seca de Bhalme & Mooley Modificado (ISBMM) mensais para a Mesorregião Metropolitana do Estado do Ceará.....	57
Tabela 4.8	- Frequência média mensal dos índices de severidade de seca de Palmer (ISSP) e de seca de Bhalme & Mooley Modificado (ISBMM) para o período de 1973 a 2002, para a Mesorregião Sertão do Estado do Ceará.....	61
Tabela 4.9	- Análise estatística da diferença entre os índices de severidade de seca de Palmer (ISSP) e de Seca de Bhalme & Mooley Modificado (ISBMM) mensais para a Mesorregião Sertão do Estado do Ceará.....	63
Tabela 4.10	- Frequência média mensal dos índices de severidade de seca de Palmer (ISSP) e de seca de Bhalme & Mooley Modificado (ISBMM) para o período de 1973 a 2002, para a Mesorregião Jaguaribe do Estado do Ceará.....	67
Tabela 4.11	- Análise estatística da diferença entre os índices de severidade de seca de Palmer (ISSP) e de Seca de Bhalme & Mooley Modificado (ISBMM) mensais para a Mesorregião Jaguaribe do Estado do Ceará.....	69
Tabela 4.12	- Frequência média mensal dos índices de severidade de seca de Palmer (ISSP) e de seca de Bhalme & Mooley Modificado (ISBMM) para o período de 1973 a 2002, para a Mesorregião Centro-sul do Estado do Ceará.....	73
Tabela 4.13	- Análise estatística da diferença entre os índices de severidade de seca de Palmer (ISSP) e de Seca de Bhalme & Mooley Modificado (ISBMM) mensais para a Mesorregião Centro-Sul do	

	Estado do Ceará.....	75
Tabela 4.14	- Frequência média mensal dos índices de severidade de seca de Palmer (ISSP) e de seca de Bhalme & Mooley Modificado (ISBMM) para o período de 1973 a 2002, para a Mesorregião Sul do Estado do Ceará.....	80
Tabela 4.15	- Análise estatística da diferença entre os índices de severidade de seca de Palmer (ISSP) e de Seca de Bhalme & Mooley Modificado (ISBMM) mensais para a Mesorregião Sul do Estado do Ceará.....	82

1. INTRODUÇÃO

A seca é um fenômeno climático que afeta drasticamente uma região, além de provocar graves danos econômicos e sociais. Seca corresponde a uma característica temporária do clima de uma região, provocada pela ocorrência de precipitações pluviométricas abaixo da normal, por determinado período de tempo, o que não deve ser confundido com aridez que é uma característica permanente do clima, resultante de normais pluviométricas muito baixas (AZEVEDO e SILVA, 1994). A grande variedade de setores afetados pela seca, a sua diversidade geográfica, distribuição temporal, e a procura crescente do fornecimento de água para uso humano torna difícil o desenvolvimento de uma única definição de seca. Segundo Redmond (2002) não existe uma definição universal para caracterizar a seca, fazendo com que definições sejam dependentes da temática de abordagem. Pereira *et al.*, (2002), reconhecem que é difícil adotar uma definição que descreva bem o fenômeno seca. Alguns autores preferem adotar uma definição operacional para distingui-las. Heim Junior (2002) classificou a seca em quatro diferentes categorias, em função dos seus efeitos: meteorológica, agrícola, hidrológica e socioeconômica.

Na busca por uma definição, a mais precisa possível de seca, vários índices têm sido desenvolvidos, objetivando quantificar os aspectos climatológicos das secas. A maioria desses índices, tenta sumarizar informações acerca das condições anormais de baixa pluviometria e seus efeitos potenciais. Neste contexto, os índices de seca variam em grau de complexidade, desde uma simples medida de seca meteorológica tal como os desvios de precipitação em relação a sua média climatológica, até modelos paramétricos de relação água-planta, os quais incorporam as condições de umidade do solo e o manejo do uso da terra para áreas climatologicamente homogêneas. Atualmente, o monitoramento do fenômeno seca utiliza índices que padronizam em base espacial e temporal essa anomalia climática. O Índice de Severidade de Seca de Palmer (ISSP) e o Índice Padronizado de Precipitação (IPP) são os mais conhecidos e mundialmente utilizados (BLAIN e BRUNINI, 2007). O ISSP definido por Palmer (1965) é calculado por meio dos dados de pluviometria e de temperatura do ar, considerando-se as condições do solo de cada localidade. De acordo com Guttman

(1998), o ISSP é um quantificador da severidade de uma seca, sendo que um único valor do índice é usado para suspender ou implantar planos de contingência dessa anomalia climática.

Historicamente, a região Nordeste do Brasil é afetada por grandes secas ou enchentes. Relatos de secas podem ser encontrados desde o século XVII, quando os portugueses chegaram à região. Nessa região, a ocorrência de seca é registrada com muita frequência, sobretudo na região semi-árida, onde a média pluviométrica anual é em geral muito baixa em relação à da evapotranspiração. O Estado do Ceará está inserido no setor norte do Nordeste do Brasil e apresenta grande parte de seu território situado dentro da faixa de clima semi-árido, o que proporciona a ocorrência de secas com grande frequência em vários níveis de intensidade (ALVES *et al.*, 1998), de difícil monitoramento e prognóstico. Nesse contexto, a presente pesquisa foi desenvolvida no sentido de alcançar os seguintes objetivos:

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo Geral

Caracterização espacial e temporal da seca para as condições ambientais das diferentes Mesorregiões do Estado do Ceará.

1.2.2. Específicos:

- 1) Analisar o comportamento dos índices de seca de Palmer (ISSP) e Bhalme e Mooley Modificado (ISBMM) para 67 localidades distribuídas espacialmente por todas as mesorregiões fisiográficas do Estado do Ceará, para o período de 1973 a 2003.
- 2) Adaptar o Índice de Severidade de Seca de Palmer às condições climáticas das Mesorregiões do Estado do Ceará, relacionando os resultados a parâmetros do balanço hídrico de Thornthwaite e Mather (1955) como: o excedente (Exd), a deficiência hídrica (Def), a razão entre a evapotranspiração real (ET_r) e a evapotranspiração potencial (ET_p) e a própria precipitação pluvial;
- 3) Caracterizar as secas para as diferentes Mesorregiões do Estado do Ceará, com base nos índices de seca de Palmer e Bhalme e Mooley Modificado, utilizando séries históricas de dados pluviométricos e de temperatura do ar;
- 4) Gerar modelo de prognóstico do índice de severidade de seca de Palmer e Bhalme e Mooley Modificado para cada Mesorregião do Estado do Ceará.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A análise do comportamento das chuvas na região Nordeste do Brasil se reveste de enorme importância, devido à grande irregularidade da precipitação pluviométrica apresentada em escala de tempo e espaço, não somente sob o enfoque climático, mas, também, pelas conseqüências de ordem econômica, social e cultural advindas.

2.1 CLIMATOLOGIA DO ESTADO DO CEARÁ

O Estado do Ceará, localizado inteiramente no setor Norte do Nordeste Brasileiro (NEB) e englobando uma área de aproximadamente 148.000 Km² para uma população em torno de 8.450.527 habitantes (IBGE, 2008). Caracteriza-se como uma região essencialmente semi-árida. A alta variabilidade da precipitação pluvial ao longo do ano, tanto sob o ponto de vista espacial como temporal, ocasiona sérios e grandes impactos socioeconômicos à população do Ceará (MAGALHÃES e GLANTZ, 1992).

O semi-árido nordestino ocupa grande parte da superfície do Estado do Ceará e em algumas localidades ocorrem totais anuais de chuva inferiores a 500 mm, por exemplo. A acentuada variabilidade interanual das chuvas no semi-árido do NEB pode exceder os 40%. Essa adversidade climática se constitui num grande problema socioeconômico, visto que a produção das culturas nos trópicos sazonalmente secos é predominantemente controlada pela precipitação pluviométrica (SANSIGOLO, 1996). Do ponto de vista climatológico, o setor Norte do NEB, que engloba o Estado do Ceará, apresenta uma pré-estação chuvosa no período de novembro a janeiro (ALVES *et al.*, 1993; SOUZA *et al.*, 2004) e uma estação chuvosa propriamente dita, a qual manifesta-se durante os meses de fevereiro a maio (ALVES e REPELLI, 1992; GUEDES *et al.*, 2005).

Para Campos (1984) e Meneses (2007), o regime de precipitação durante os períodos da pré-estação e estação chuvosa é regulado pela atuação e/ou influências de diversos sistemas meteorológicos que variam desde a pequena até a escala sinótica (eventualmente ocorrem interações entre essas escalas), tais como: as **Linhas de Instabilidade** (LI) que se formam na faixa litorânea (CAVALCANTI e KOUSKY,

1982); as incursões pronunciadas de **Sistemas Frontais** advindos das altas latitudes austrais (KOUSKY, 1979); os **Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis** (VCAN) (KOUSKY e GAN, 1981) e principalmente a **Zona de Convergência Intertropical** (ZCIT), principal sistema indutor de chuvas durante a estação chuvosa, quando da sua posição mais ao Sul na faixa equatorial sul do Oceano Atlântico, próximo do litoral do NEB, durante os meses de março e abril (HASTENRATH, 1984; MARENGO *et al.*, 2001; SOUZA *et al.*, 2004; MENESES, 2007). À medida que a ZCIT inicia o seu retorno ao Hemisfério Norte, atingindo sua máxima posição norte em agosto e setembro, o ar ascende sobre a ZCIT e descende sobre o Atlântico Subtropical Sul, criando condições pouco propícias à formação de nuvens sobre o Estado do Ceará (estação seca) (CAMPOS e LIMA, 1992).

Estes sistemas acima citados, atuando em conjunto ou isoladamente determinam o regime de chuvas no Estado do Ceará (SOUZA *et al.*, 2004; ALVES *et al.*, 2006; MENESES, 2007). Na pré-estação, as chuvas estão associadas à atuação dos VCAN e às incursões de sistemas frontais oriundos das médias e altas latitudes na direção equatorial, além de convecção isolada. Os VCAN formam-se sobre o Atlântico Sul principalmente durante o verão do Hemisfério Sul e adentram frequentemente nas áreas continentais próximas a Salvador (Bahia), agindo como forçantes para organização da convecção sobre todo o Ceará (CAMPOS e LIMA, 1992; ALVES *et al.*, 2006).

A penetração das frentes frias, até o Norte da região Sudeste, ocasiona prolongados períodos de chuva no centro-sul da Bahia e desempenha importante papel no regime de precipitação do setor sul do Nordeste. De um modo geral, são os remanescentes desses sistemas que contribuem para criar condições dinâmicas favoráveis à convecção no Sul do Estado do Ceará neste período (ALVES *et al.*, 1993).

O comportamento da ZCIT, frentes frias e VCAN podem ainda ser modulados por sistemas de escala maior, o que explica a grande variabilidade inter-anual entre as diferentes estações chuvosas e pré-estações no Ceará. A temperatura da superfície do mar (TSM) e pressão ao nível do mar na bacia do Atlântico e o aquecimento das águas do Pacífico Equatorial na costa leste da América do Sul (fenômeno El Niño) parecem influenciar sobremaneira a ocorrência de estações úmidas e secas no Estado (CAMPOS, 1984).

Segundo Silva e Rao (2002), no semi-árido cearense, concentrado nas regiões Centro-Leste e Centro-Oeste, assim como em toda a área onde chove menos de 1000

mm anuais, além de anos secos e dos baixos totais pluviométricos anuais, a distribuição intra-anual da chuva também é adversa, já que concentra mais de 70% do total em apenas quatro meses. Nessa época o solo supostamente apresenta umidade adequada ao crescimento e ao desenvolvimento das principais culturas tradicionais da região como algodão, feijão e milho. Ainda de acordo com estes autores, além dos eventuais anos secos e da curta duração da estação chuvosa (EC), o Estado do Ceará ainda tem outra adversidade climática no tocante à exploração agrícola que é a ocorrência de períodos multidiários com pouquíssima ou nenhuma chuva durante a EC, conhecidos como veranicos. Eles se constituem num sério problema porque, quando vão além de aproximadamente dez dias, durante os estádios fenológicos de floração e de formação da produção, causam perda parcial ou total de safra, causando o fenômeno conhecido como “seca verde”. Os veranicos também são muito prejudiciais quando ocorrem no período da emergência das plantas.

Resultados de Silva e Rao (2002) sugerem que no Estado do Ceará existem três grupos pluvialmente homogêneos, sendo o maior deles predominantemente semi-árido e ocupa toda a parte central do Estado e a estação chuvosa na maior parte do Estado ocorre entre os meses de janeiro e maio e na maior parte do semi-árido entre os meses de fevereiro e maio.

Outra característica do regime de chuvas do Estado do Ceará está relacionada com a variação espacial. Segundo Souza *et al.*, (2000), as localidades com os maiores totais de precipitação na pré-estação chuvosa e na estação chuvosa localizam-se nas microrregiões da Serra da Ibiapaba, Serra de Baturité, Serra do Cariri, Chapada do Araripe e em toda a faixa litorânea. Desde Camocim até Aracati. Os menores totais de precipitação nas referidas estações ocorreram na microrregião do sertão central, principalmente nos sertões de Quixeramobim e de Canindé. Alves *et al.*, (1997) destacam que a alta variabilidade espacial e temporal da precipitação no Ceará contribui para uma grande redução na produção das culturas de subsistência, o que causa grande impacto na economia estadual. Visando minimizar os riscos de perdas de safras, REPELLI e ALVES (1996) recomendam que, na preparação de calendários agrícolas, deve ser considerada a estação chuvosa média, com início em 5 de fevereiro e final em 19 de maio.

2.2 DEFINIÇÃO DE SECA

O dicionário Aurélio define “*seca*” como a falta de chuva ou o período em que a ausência desta acarreta graves problemas sociais. Palmer (1965) conceituou seca como o intervalo de tempo, geralmente da ordem de meses ou até mesmo de anos, durante o qual a precipitação diminui consideravelmente em relação ao valor climatologicamente esperado ou apropriado. Em geral, as secas são designadas em função dos fatores naturais que as causam, tais como: o clima da região, as distribuições espacial e temporal das precipitações, a capacidade de armazenamento de água pelo solo, as flutuações dos lençóis freáticos subterrâneos e a qualidade de água armazenada à superfície ou corrente, o que torna extremamente difícil a formulação de uma definição consensual de seca (SOUZA *et al.*, 2000). Portanto, a seca é um fenômeno natural desastroso, com impactos significativos nas esferas socioeconômicas, agrícola, e ambiental. Difere de outros desastres naturais por seu processo se dar de forma lenta e ter seu início e fim de difícil determinação, e também sua extensão territorial (MOLINA e LIMA, 1999; QUIRING, 2009).

Uma definição geral e universal para o fenômeno da seca ainda não foi formulada. O conceito de seca varia de região para região. Em Bali, na Indonésia, por exemplo, um período de 6 ou mais dias sem precipitação já é reconhecido como um período de seca. No Líbano, ao contrário, apenas um período de mais de dois anos sem precipitação é considerado como sendo uma seca (HUDSON e HAZEN, 1964). A seguir, são apresentadas duas definições para o fenômeno da seca, citadas na literatura:

I) uma seca é um déficit de umidade, que acarreta influências desfavoráveis às plantas, animais e pessoas de uma determinada região (WARRICK, 1975);

II) um período de seca é um período de um ou mais anos com vazões abaixo da média de longo termo (ROSSI *et al.*, 1992).

A seguir, são elencadas diversas definições quantitativas para o fenômeno da seca, recolhidas da literatura e organizadas por Li e Makarau (1994):

- 1) um ano, no qual a lâmina de precipitação permanece menor do que 75% do valor médio de longo termo;
- 2) um período de pelo menos 15 dias consecutivos onde não ocorreram precipitações maiores do que 0,3 mm;
- 3) um período de três ou mais meses consecutivos em uma região com precipitação menor do que a média de longo termo;
- 4) um período de 14 dias com uma lâmina de precipitação menor ou igual a 1,0 mm;

5) um período de três ou mais meses com precipitação menor do que 60% da média de longo termo;

6) um período de dois anos consecutivos com déficit de precipitação menor do que 60% da média de longo termo em mais do que 50% da superfície da região;

As secas ocorrem em qualquer região climática e são caracterizadas pelo déficit entre a precipitação pluvial e a evapotranspiração potencial (WILHITE, 2000; WILHITE e BUCHANAN-SMITH, 2005). A gravidade da seca aumenta com a associação de temperatura do ar elevada, ventos fortes, baixa umidade do ar e com condições locais de solo, relacionadas, principalmente, à taxa de infiltração e retenção de água e à sua erodibilidade potencial (FREITAS, 2005; SALAS *et al.*, 2005). Wilhite (2000) afirma que a ocorrência de secas é bastante variável de região para região, devido aos diferentes sistemas climáticos atuantes em cada localidade. Cada episódio é único em intensidade, duração e extensão territorial, um evento pode persistir de alguns meses a anos e até mesmo décadas.

Segundo Redmond (2002), não há um conceito universal para definir a seca, o que permite que suas definições sejam dependentes da temática de abordagem. Vários autores, dentre os quais: (WILHITE e GLANTZ, 1987; MCKEE *et al.*, 1993; BYUN e WILHITE, 1999; HEIM JUNIOR, 2002; BLAIN e BRUNINI, 2005); classificaram a seca em quatro diferentes categorias, de acordo com seus efeitos: Meteorológica, Agrícola, Hidrológica e Socioeconômica. No entanto, todas as definições parecem estar de acordo que a seca é uma condição de insuficiência de água no solo, causado por déficit de precipitação durante um período de tempo. A dificuldade reside na definição da duração desse período de tempo (que origina déficits acumulados diferentes durante períodos diferentes) e nos impactos que essa duração irá ocasionar aos diversos setores que necessitam de água (WILHITE, 2003).

2.2.1 Seca Meteorológica

Souza *et al.*, (2000) afirmaram que a seca meteorológica é uma consequência do efeito de fenômenos atmosféricos na redução da pluviometria da região. Segundo Pires (2003), a seca meteorológica é caracterizada pelo déficit da precipitação em relação ao valor normal; caracteriza-se pela falta de água induzida pelo desequilíbrio entre a precipitação e a evaporação, a qual depende de outros elementos como a velocidade do vento, temperatura, umidade do ar e insolação. A definição de seca meteorológica deve ser considerada como dependente da região, uma vez que as

condições atmosféricas que resultam em deficiências de precipitação podem ser muito diferentes de região para região. Esse tipo de seca existe quando numa determinada região ocorre precipitações abaixo dos 70% a 75% do valor normal durante um período prolongado (INSTITUTO NACIONAL DE GESTÃO DE CALAMIDADES, 2003). A seca meteorológica é expressa apenas com base no grau de secura e na duração do período seco comparados a algum estado “normal”, ou seja, é caracterizada pelo déficit da precipitação em relação ao valor normal (FERNANDES *et al.*, 2009).

2.2.2 Seca Agrícola

A seca agrícola está relacionada à baixa disponibilidade de umidade no solo a qual torna o suprimento de água às culturas, insuficiente para repor as perdas por evapotranspiração das mesmas (WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION, 1975). A umidade deficiente no solo junto à cultura pode afetar a germinação, o crescimento e o desenvolvimento da planta, conduzindo à redução do rendimento final.

De acordo com Pires (2003), a seca agrícola geralmente manifesta-se após a seca meteorológica, mas antes da seca hidrológica e as combinações dos tipos de seca meteorológica e hidrológica estão diretamente ligadas aos impactos na agricultura, ocasionando assim, a seca agrícola. Esse tipo de seca está basicamente associado à disponibilidade de água no solo para suportar o crescimento e desenvolvimento das plantas. A seca agrícola refere-se a situações com redução na quantidade de água disponível, nas diferentes camadas do solo ocupadas pelo sistema radicular, que afetariam o rendimento das culturas. O impacto desse tipo de seca depende da sua duração em relação à fase em que a cultura encontra-se (PARK *et al.*, 2005). Além de estar relacionado às fases críticas do desenvolvimento/crescimento dos vegetais, o início de uma seca agrícola pode se distanciar do de uma meteorológica, pois depende quase que exclusivamente da água disponível na zona radicular das culturas no solo (FERNANDES *et al.*, 2009).

2.2.3 Seca Hidrológica

Esse tipo de seca está relacionado com a redução dos níveis médios de água em reservatórios de superfície e subterrâneos por um determinado período de tempo, podendo ser de dias, semanas, meses ou anos sucessivos. Normalmente está defasado da seca meteorológica, sendo necessário um período maior para que as deficiências de precipitação se traduzam em deficiências nos reservatórios (PIRES, 2003). Geralmente

ocorre no fim de um período muito longo de seca meteorológica. A seca hidrológica traz conseqüências como a redução de abastecimento de água nos centros urbanos, industriais, nos sistemas de irrigação e na produção de energia elétrica. Na seca hidrológica ocorrem períodos mais longos de déficit de precipitação pluvial e é observada após a seca meteorológica e a agrícola.

2.2.4 Seca Socioeconômica

A seca socioeconômica está relacionada com o impacto da seca sobre as atividades humanas, incluindo os impactos diretos e indiretos na produção agrícola e outras atividades econômicas. Ocorre quando o déficit de água induz a falta de bens ou serviços (energia elétrica, alimentos, entre outros) devido a um volume de água inadequado, resultante de uma má distribuição das chuvas, de um aumento no consumo, ou ainda de um mau gerenciamento dos recursos hídricos (FERNANDES *et al.*, 2009).

Para Santos (2008) a seca socioeconômica está relacionada aos prejuízos financeiros, sociais e ambientais causados pela ausência contínua de água em uma região ou determinada localidade, destacando-se os impactos e a vulnerabilidade desses locais. Keyantash e Dracup (2002) afirmam que, a menos que a demanda por água da sociedade exceda significativamente o suprimento natural, a seca socioeconômica é uma conseqüência dos demais tipos de seca, sendo caracterizada monetariamente.

O esquema apresentado na Figura 2.2 mostra a sucessão e a possível evolução temporal na cadeia de fenômenos resultantes de uma seca, passando por todos os tipos de seca citados anteriormente. Tem início pela seca meteorológica, a qual desencadeia uma série de eventos que resultam em uma seca agrícola e, mais tarde, em função da longa duração do período da seca, torna-se uma seca hidrológica com impactos na afluência para reservatórios e lagos. Por último, ocorre a seca socioeconômica, que impacta os setores sociais, ambientais e econômicos. A dimensão e a gravidade do problema são basicamente dependentes da extensão e da duração da seca meteorológica.

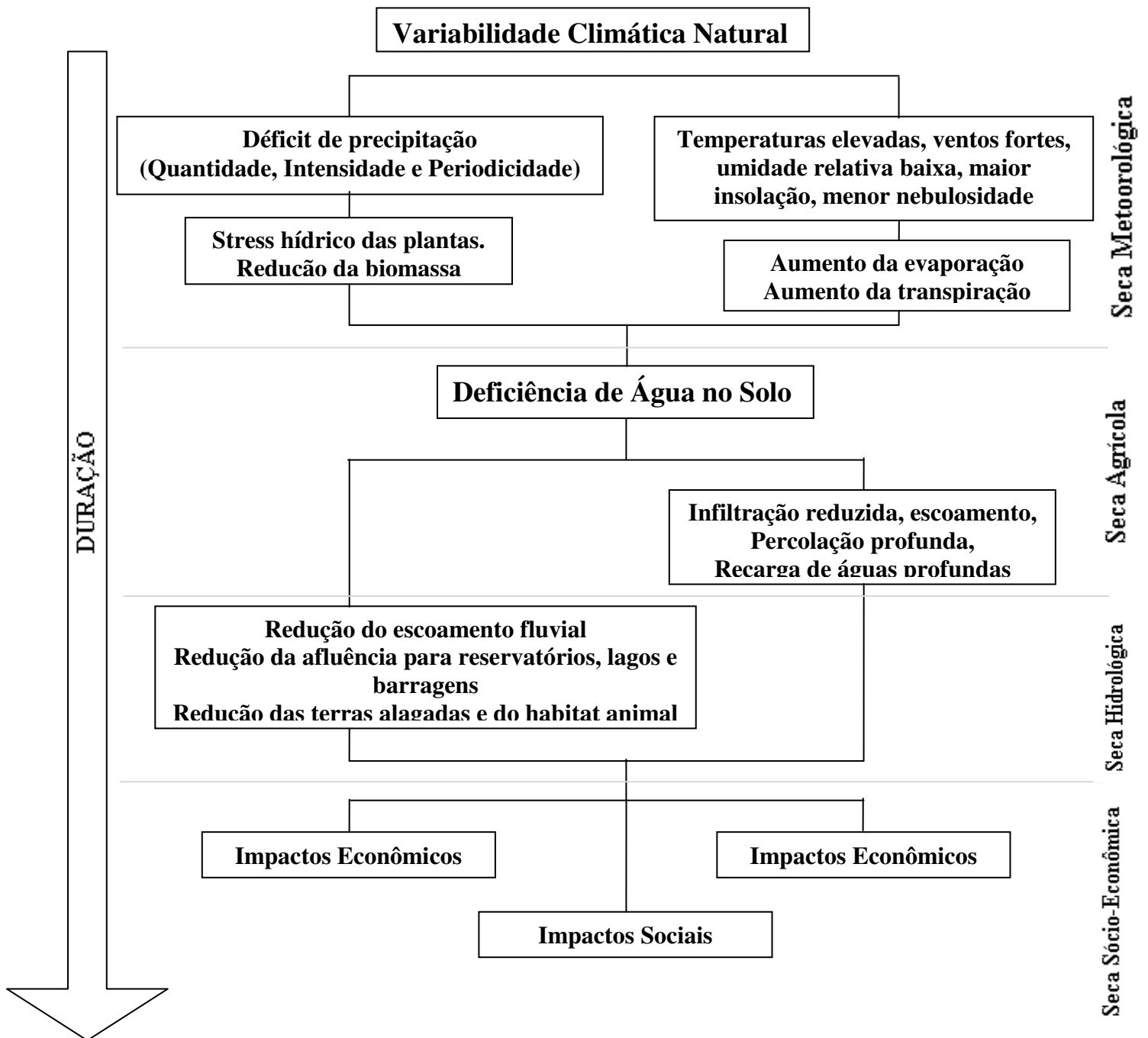


Figura 2.1: Evolução das secas em função da duração e dos impactos
 Fonte: adaptado de Silva *et al.*, (2005).

De acordo com o *Centre for Research on the Epidemiology of Disasters* (CRED, 2006), as secas representam menos de cinco por cento de todas as ocorrências de desastres naturais que atingem a Ásia. Entretanto, estas afetam cerca de trinta por cento de toda a população afetada por desastres naturais naquele Continente (Figura 2.1). Vários estudos, tais como: (OBASI, 1994; HEWITT, 1997; WILHITE, 2000) já

apresentaram resultados enfatizando a seca como sendo a catástrofe natural que apresenta o maior número de pessoas diretamente atingidas durante sua ocorrência.

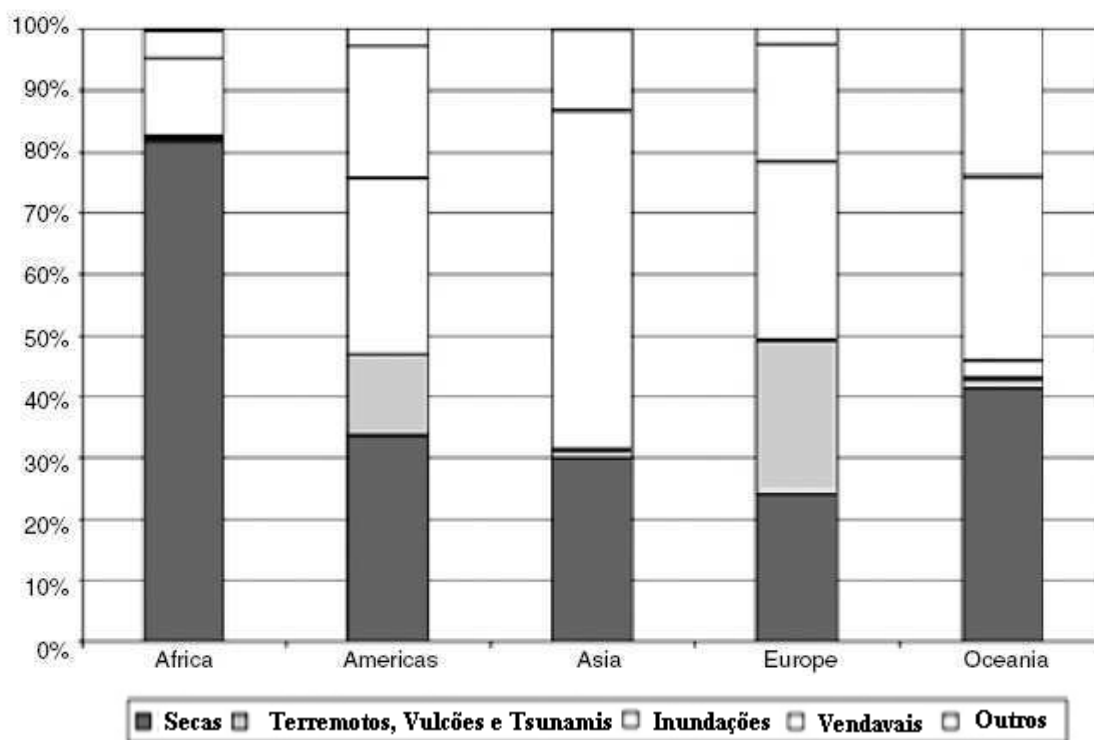


Figura 2.2: Proporção de pessoas afetadas por cada tipo de desastre natural por continente
Fonte: CRED (2006)

2.3 ÍNDICES DE SECA

Vários procedimentos têm sido adotados por pesquisadores na caracterização das secas. Uma técnica amplamente utilizada no estudo das secas é o uso dos índices de seca, que consistem em equações com base em variáveis climáticas e procedimentos estatísticos para determinar a intensidade, a duração e a frequência com que essa anomalia ocorre. Tal procedimento tem sido utilizado em vários trabalhos, para caracterizar as secas na Região Nordeste do Brasil (XAVIER e XAVIER, 1984; KUMAR *et al.*, 1989; LIMA *et al.*, 1989; REPELLI e NOBRE, 1991; AZEVEDO e SILVA, 1994).

O índice de seca é tipicamente um simples número, mas muito mais proveitoso nas tomadas de decisões do que uma série de dados. Há vários índices usados para estabelecer o quanto a precipitação para certo período de tempo difere da normal climatológica. Embora nenhum dos principais índices seja inerentemente superior aos demais, alguns são melhores do que outros para certo tipo de uso. Por exemplo, o ISSP

tem sido usado pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos da América para determinar quando garantir a assistência de emergência em situações de seca. Entretanto, esse índice é melhor para condições de grandes áreas de topografia uniforme. Para áreas montanhosas, com clima regional complexo, o mesmo deve ser suplementado com outros índices que possam melhor caracterizar o suplemento de água à superfície. A maioria dos planejadores de uso da água deve consultar um ou mais desses índices antes de tomar uma decisão.

Na tentativa de quantificar e caracterizar a seca, várias metodologias tem sido adotadas por diversos pesquisadores, entre as quais se destacam os índices de seca, que se fundamentam nas variáveis climatológicas e métodos estatísticos visando determinar a intensidade, a duração e a frequência da sua ocorrência (BARRA, 2000). Devido à complexidade desse fenômeno natural, nenhum índice de seca em particular, tem sido capaz de representar de forma perfeita a intensidade, a severidade e os impactos da seca nos diferentes segmentos (HEIM JUNIOR, 2002).

Para Santos (2008), não há um índice de seca que seja completamente adequado a todas as circunstâncias, porém, alguns índices são mais bem ajustáveis do que outros para determinados estudos. Os índices de seca variam de acordo com o grau de complexidade. Os mais simples são apenas desvios da precipitação em relação à sua média climatológica, enquanto os mais complexos incorporam as condições de umidade do solo (ALLEY, 1994). Na busca por uma definição a mais precisa possível de seca, vários índices têm sido desenvolvidos objetivando quantificar os aspectos climatológicos das secas. A maioria desses índices, busca sumarizar informações acerca das condições anormais de baixa pluviometria e seus efeitos potenciais. Qualquer índice de seca deve ser suficientemente geral para que possa ser usado na modelagem de ocorrência de seca em diferentes regiões climáticas. Neste contexto, os índices de seca variam em grau de complexidade, desde uma simples medida de seca meteorológica tal como os desvios de precipitação em relação a sua média climatológica, até modelos paramétricos de relação água - planta, os quais incorporam as condições de umidade do solo e o manejo do uso da terra para áreas climatologicamente homogêneas. A seguir será realizada uma breve descrição de alguns índices de seca.

2.3.1. Índice de Aridez (Ia)

O Índice de Aridez (Tabela 2.1) foi desenvolvido por Thornthwaite (1948), estabelece uma relação entre a umidade disponível por precipitação e a capacidade de

compensar a demanda potencial de água, e é uma avaliação do déficit ou superávit da água baseado na relação entre a precipitação e a evapotranspiração potencial.

Tabela 2.1: Classificação do status de umidade segundo o Índice de Aridez

Ia	Classificação
0 – 16,7	Pequena ou nenhuma deficiência de água
16,7 – 33,3	Deficiência moderada de água
> 33,3	Grande deficiência de água

Fonte: Ometto (1981)

2.3.2. Índice de Anomalia de Precipitação (IAP)

O Índice de Anomalia de Precipitação foi desenvolvido por Rooy (1965) e incorpora um procedimento de classificação para ordenar magnitudes de anomalias de precipitações positivas e negativas. Esse índice é considerado muito simples, dada a sua facilidade de procedimento computacional, que consiste da determinação de anomalias extremas. Rooy (1965) descreve que o índice visa tornar o desvio da precipitação em relação à condição normal de diversas regiões passíveis de comparação. Os valores do índice são ordenados em um esquema de classificação de nove categorias (Tabela 2.2), variando de extremamente úmido a extremamente seco. Oladipo (1985) encontrou que diferenças entre o Índice de Anomalia de Precipitação e os mais complicados índices de Palmer e Bhalme-Mooley são insignificantes.

Tabela 2.2: Classificação da seca segundo o Índice de Anomalia de Precipitação

IAP	Classificação
$\geq 4,00$	Extremamente úmido
3,00 a 3,99	Umidade alta
2,00 a 2,99	Umidade moderada
0,5 a 1,99	Umidade baixa
- 0,49 a 0,49	Normal
- 1,99 a - 0,5	Seca suave
- 2,00 a - 2,99	Seca moderada
- 3,00 a - 3,99	Seca alta
$\leq - 4,00$	Extremamente seca

Fonte: Fernandes *et al.*, (2009)

2.3.3. Índice de Percentagem da Normal Climatológica (IPNC)

A percentagem da precipitação normal é uma das mais simples medidas da precipitação pluviométrica de uma localidade. A aplicação da percentagem da precipitação normal é bastante efetiva quando usada para uma região ou estação do ano específica. Entretanto, a percentagem da precipitação normal é facilmente confundida e fornece diferentes indicações de condições, dependendo do local e estação do ano (FERNANDES *et al.*, 2009).

O IPNC é facilmente calculado e serve bem às necessidades dos previsores do tempo e do público em geral.

Esse índice é baseado na precipitação, que é facilmente medida em diversos locais. Tais análises são eficazes quando usadas para uma única região ou uma única estação.

O cálculo é feito dividindo a precipitação atual pela precipitação normal (considerada a média de 30 anos) e multiplicado por 100, para obter o resultado em percentagem, conforme mostra a equação 2.1. Esse índice pode ser calculado em diversas escalas de tempo, como semanas, décadas, meses, sazonal e anual. Tem como grandes vantagens a simplicidade e a facilidade de determinação e a existência de dados disponíveis na maioria das estações.

Uma desvantagem potencial de se usar esse índice é quanto à distribuição da precipitação no período considerado, que não obedece a uma distribuição normal. Nessas circunstâncias, há uma diferença entre a média e a mediana, sendo a mediana o valor com uma probabilidade e ocorrência de 50%. Isso ocorre porque a maioria dos valores hidrológicos aleatórios em escalas mensais ou sazonais não apresenta uma distribuição normal.

$$P = \left[\frac{P_{r,p}(\text{atual})}{P_{r,p}(\text{normal})} \right] \times 100 \% \quad (2.1)$$

Sendo: P = percentagem da precipitação normal (%); $P_{r,p}(\text{atual})$ = precipitação medida em um dado local ou estação (mm); $P_{r,p}(\text{normal})$ = precipitação normal do local ou estação considerada (mm).

A Tabela 2.3 ilustra a classificação dos valores do índice de Porcentagem da Normal Climatológica divididos em onze categorias, adaptada por Gois (2005).

Tabela 2.3: Classificação do Índice de Porcentagem Normal Climatológica.

IPNC (%)	Classificação
≥ 100 a 90	Extremamente úmido
70 a 89,9	Umidade alta
50 a 69,9	Umidade moderada
30 a 49,9	Umidade baixa
10 a 29,9	Umidade inicial
- 9,9 ≤ 0 ≤ 9,9	Normal
- 10 a 29,9	Seca inicial
- 30 a 49,9	Seca suave
- 50 a 69,9	Seca moderada
- 70 a 89,9	Seca severa
- 90 a ≤ - 100	Seca extrema

Fonte: Fernandes *et al.*, (2009)

2.3.4. Índice Padronizado de Precipitação (IPP)

O IPP foi desenvolvido por Mckee *et al.*, (1993 e 1995) e é a única ferramenta conhecida capaz de quantificar e monitorar a seca em diferentes escalas de tempo. Essa característica torna o IPP uma valiosa ferramenta para todos os estudos de disponibilidade hídrica, sejam eles de curta ou longa duração (HAYES *et al.*, 1999). Para esses autores, a utilização deste índice na quantificação do déficit de precipitação, torna-se extremamente importante na caracterização de diferentes tipos de seca como, por exemplo, a meteorológica, a hidrológica e a sócio-econômica.

O IPP baseia-se na padronização da precipitação, correspondendo ao desvio da precipitação em relação à média para um período de tempo específico, dividido pelo desvio padrão do período a que diz respeito, ou seja, representa o número de desvios padrão que o valor observado se desvia em relação à média, para uma variável aleatória normalmente distribuída (McKEE *et al.*, 1993). Ainda de acordo como Mckee *et al.*, (1993), matematicamente o IPP corresponde à probabilidade cumulativa de um determinado acontecimento de precipitação ocorrer numa estação. O resultado computacional da precipitação padronizada é linearmente proporcional ao déficit de precipitação e permite especificar a probabilidade, a percentagem da média e o déficit de precipitação acumulada. O evento seca começa quando o IPP torna-se negativo e atinge o valor de -1 e termina quando este volta a apresentar valores positivos. Esse índice tem como base o ajuste de séries de precipitação à distribuição gama incompleta.

Desde que foi proposto por seu autor, o IPP vem sendo usado em vários estudos, devido a sua capacidade de quantificar o déficit ou excesso de precipitação em diversas escalas temporais, permitindo comparações entre regiões com diferentes características climáticas. Assim, diversos trabalhos científicos têm demonstrado o seu potencial no monitoramento do fenômeno das secas (McKEE *et al.*, 1993; TSAKIRIS e VANGELIS, 2004; TONKAZ, 2006; BLAIN e BRUNINI, 2007; MACEDO *et al.*, 2010).

Segundo Guttman (1998) o IPP, ao ser comparado ao ISSP, representa melhor os possíveis períodos de déficit ou excesso de precipitação. De acordo com Blain *et al.*, (2010), a principal característica das séries do SPI é sua grande variabilidade espaço-temporal, a qual indica que, em uma mesma região, meses extremamente secos podem ser precedidos e seguidos de meses úmidos ou normais, e distintos casos de seca podem ocorrer de forma aleatória entre as localidades, em um mesmo período.

2.3.5. Índice de Seca Efetiva (ISE)

Os índices de secas atuais, mesmo aqueles mais populares, apresentam algumas limitações. Como exemplo, a unidade de tempo para avaliação é, às vezes, demasiadamente longa, e também a dificuldade que certos índices têm na identificação do início e do fim de uma seca, além do cálculo de duração da mesma. Para superar essas limitações, Byun e Wilhite (1999) desenvolveram o índice de seca efetiva (ISE). O índice é calculado em um período de tempo diário e é uma função da precipitação necessária para retornar às condições normais (MORID *et al.*, 2006). O índice ISE normalmente varia de - 2,5 a 2,5 e seus valores são padronizados. Assim, as secas severas podem ser comparadas em diferentes localidades. A Tabela 2.3 ilustra a classificação do ISE. A duração da seca pode agora ser definida, similarmente ao IPP, como um período onde o índice é consistentemente negativo.

Tabela 2.4: Classificação do Índice de Seca Efetiva (ISE)

ISE	Classificação
> 2,50	Extremamente úmido
1,5 a 2,49	Umidade severa
0,7 a 1,49	Umidade moderada
- 0,69 a 0,69	Próximo ao normal
- 1,49 a 0,7	Seca moderada
- 2,49 a - 1,5	Seca severa
< - 2,5	Extremamente seco

Fonte: Byun e Wilhite (1999)

2.3.6. Índice de Severidade da Seca de Palmer (ISSP)

Palmer (1965) definiu um período de seca como sendo “um intervalo de tempo, geralmente da ordem de meses ou anos, durante o qual o fornecimento de água no solo numa dada região é inferior ao valor climaticamente esperado ou apropriado para essa região”. Com base nesta definição, o ISSP foi desenvolvido como uma medida da intensidade da seca, que deve ser considerada como sendo uma função da duração e intensidade da deficiência de água no solo.

O ISSP é um índice de umidade de solo desenvolvido para regiões homogêneas. O índice mede a perda e a demanda de fornecimento de umidade do solo (PALMER, 1965). O objetivo do ISSP é fornecer medidas normalizadas das condições de umidade de modo que comparações usando o índice possam ser feitas entre localidades e entre meses.

O ISSP baseia-se num balanço hídrico altamente parametrizado que tem em conta a precipitação, a evapotranspiração (a partir da temperatura do ar) e as características do solo. O método pode ser calibrado para uma região específica se houver informações sobre os períodos de seca passados.

A partir dos estudos desenvolvidos por Palmer, vários autores de diferentes campos de atuação procuraram aplicar esse índice para diferentes regiões (ALLEY, 1984; KARL, 1986; McKEE *et al.*, 1993 e McKEE *et al.*,1995). As principais características do ISSP criticadas são a indefinição temporal do índice, o uso de regras arbitrárias para se determinar o início e final da seca e a demora em responder à mudança no regime de precipitação (ALLEY, 1984; McKEE *et al.*,1993; GUTMAN, 1998 e HAYES *et al.*,1999). No Brasil, Santos e Pereira (1999) utilizaram a metodologia proposta por Palmer, de uma forma simplificada, para identificar e classificar períodos de seca, fazendo uma adaptação do método às condições ambientais para a região oeste do Estado de São Paulo.

Alley (1984) identificou os seguintes benefícios primários do ISSP. O índice fornece decisões confiáveis com uma medida da anomalia de eventos de tempo recente para uma região e lugares de condições atuais em uma perspectiva histórica. Igualmente, fornece detalhamentos espaciais e temporais de secas históricas. Esse índice, segundo Willeke *et al.*, (1994), é mais eficiente nas medições de impactos sensíveis para condições de umidade de solo, assim como agricultura. O ISSP geralmente varia de -4,0 a +4,0 e é designado de modo que uma seca extrema (-4,0) em uma divisão climática tenha o mesmo significado em termos de déficit de umidade que

uma seca extrema em qualquer outra divisão climática (ALLEY, 1984). O ISSP apresenta muitas limitações. Tradicionalmente, os coeficientes usados no cálculo deste índice são baseados em períodos anômalos secos de determinadas séries históricas. Entretanto, a adoção de diferentes séries históricas pode causar grandes alterações na magnitude do ISSP, para uma mesma região (KARL, 1986; McKEE *et al.*, 1993). De acordo com Alley (1984), o ISSP apresenta as seguintes limitações:

- 1) A distribuição do índice em uma série histórica longa é bi-modal, o que limita a capacidade do índice em estimar a probabilidade de ocorrência de períodos anômalos;
- 2) O modelo assume que a capacidade de armazenamento de água do solo, em duas camadas, independe das mudanças (sazonal e anual) na vegetação de cobertura e desenvolvimento das raízes;
- 3) O balanço hídrico assume que a evapotranspiração real (ET_r) de um período é igual a evapotranspiração de referência (ET_o), se a precipitação for maior ou igual a ET_o.

Guttman (1998) destaca ainda, que o ISSP é extremamente auto-regressivo, varia espacialmente e que a precipitação é o fator dominante. Karl e Koscielny (1982) identificaram, com base no ISSP, secas com intervalos de tempo mais longos no interior dos Estados Unidos da América do que nas áreas litorâneas daquele país. Testes de sensibilidade demonstram que tal característica não está diretamente relacionada à variação espacial da capacidade de armazenamento do solo usada no cálculo do Índice de Palmer nas diferentes regiões, mas sim às características climáticas de cada região. Conclusão semelhante foi apontada por Karl (1986) ao afirmar que a menor duração dos períodos de seca (detectados pelo ISSP) nas regiões das Montanhas Rochosas e das Altas Planícies em relação as demais áreas dos EUA parecem ser reais, e não conseqüentes de falhas na metodologia de Palmer (1965). Também, Eder e Davis (1987) ao utilizarem o ISSP na parte sudoeste dos Estados Unidos da América, afirmam que essa indesejável distribuição (bi-modal) é resultado de falhas na metodologia do ISSP e não é refletida nas condições físicas, úmidas ou secas, da região em questão. Entretanto, Rao e Padmanabhan (1984), afirmam que modelos de previsão do ISSP em base mensal podem ser desenvolvidos com razoável precisão, e Sansigolo (2004) afirma que a excepcional memória do ISSP pode ser usada para fins de previsão.

Barra *et al.*, (2002) utilizando o ISSP para o Estado do Ceará admitiu que a variação espacial da severidade das secas neste Estado pode ser caracterizada pelo

índice de severidade de seca de Palmer, mostrando a sua utilidade na avaliação dos impactos das secas no Estado, o que não seria possível apenas com a análise dos dados de precipitação.

O ISSP foi desenvolvido como um indicador da seca meteorológica sem, entretanto, especificar qual escala de tempo (memória) o índice considera em sua análise. Essa indefinição temporal, o uso de regras arbitrárias para definir o início ou o fim de uma seca e a demora (exagerada memória) em responder as mudanças no regime de precipitação são características inerentes ao ISSP que são criticadas por Aley (1984), Karl (1986), Mckee *et al.*, (1993) e Hayes *et al.*, (1999).

Tais críticas serviram de base para o desenvolvimento do ISSP adap (BLAIN, 2005), o qual possui escala de tempo definida de análise (mensal), não apresenta a memória exagerada do método original e apresenta as definições do início ou do fim de uma seca relacionadas à razão entre a evapotranspiração real (ET_r), calculada com base no método de Thornthwaite e Mather (1955) e a evapotranspiração potencial (ET_p). Entretanto, assim como o ISSP, o ISSP adap utiliza apenas um único valor do índice, considerando com isso apenas as implicações de um tipo de seca – a meteorológica; a qual tem seu início detectado quando o ISSP adap “cai abaixo” de -1 e seu fim estabelecido quando a magnitude de -0,5 é alcançada.

Blain (2005) avaliou e adaptou a metodologia do ISSP e do SPI às condições climáticas do Estado de São Paulo e comparou seus valores a parâmetros do Balanço Hídrico climático de treze localidades. As análises permitiram concluir que, por detectar o início de uma seca com pelo menos um mês de antecedência em relação ao modelo original, o ISSP adaptado é uma ferramenta consistente para o monitoramento, próximo ao tempo real, da seca meteorológica, na escala mensal.

As classes de seca estabelecidas, de acordo com o ISSP adaptado são apresentadas na Tabela 2.5.

Tabela 2.5: Classes de seca estabelecidas de acordo com o ISSP adaptado

ISSP adaptado	CATEGORIA
$\geq 3,00$	Extremamente Úmido
2,00 a 2,99	Severamente Úmido
1,00 a 0,99	Moderadamente Úmido
0,51 a 0,99	Início período Úmido
0,50 a -0,50	Próximo ao Normal
-0,51 a -0,99	Início período Seco
-1,00 a -1,99	Moderadamente Seco
-2,00 a -2,99	Severamente Seco
$\leq -3,00$	Extremamente Seco

Fonte: Blain (2005).

Mckee *et al.*, (1995) ao correlacionarem o ISSP ao SPI demonstram que o ISSP possui uma escala de tempo inerente ao local de estudo (10 a 14 meses, geralmente). Esses autores afirmam ainda ser o ISSP voltado aos interesses agrícolas. Tal afirmação não coincide com Karl (1986), quando este demonstra que o ISSP é uma ferramenta meteorológica (como citado anteriormente). O próprio Palmer (1965) afirma ser seu estudo voltado à análise climatológica de uma região não podendo ser aplicado a atividades agrícolas sem que essa limitação seja observada.

Diversos autores, dentre eles pode-se citar Karl e Knight, (1985); Mika *et al.*, (2005); Melo *et al.*, (2010) admitem que o ISSP é um índice de seca meteorológica, e que ele responde às condições climáticas anormalmente secas ou anormalmente úmidas. Quando muda as condições de seco a normal ou úmido, por exemplo, a seca, medida pelo ISSP termina sem levar em conta vazão, níveis de reservatórios e lago, e outros impactos hidrológicos de longo prazo.

Fernandes *et al.*, (2010) caracterizou a intensidade e a ocorrência de seca pelo uso de índices quantitativos, ISSP; Z de Palmer (Z-índice); o de anomalia de chuva (RAI); e o SPI. Estes índices foram analisados com uso da correlação de Pearson, número e frequência de ocorrência da seca e percentual de acerto dos índices em relação à produtividade de arroz no Estado de Goiás e obteve os seguintes resultados: O RAI quantificou o maior número de eventos extremos de seca, enquanto o ISSP não estimou nenhum caso e o Z-índice apresentou o maior percentual de acerto, em relação às variações ocorridas na produtividade ajustada.

Sansigolo (2004) comparou séries históricas do SPI e ISSP na região de Piracicaba em São Paulo, dentro do período 1917-2001, usando análise espectral. O autor concluiu que esses dois índices são linearmente relacionados (apesar de

apresentarem uma defasagem sistemática) e que a precipitação é o elemento dominante nos valores do ISSP.

2.3.7. Índice de seca de Bhalme e Mooley (ISBM)

Bhalme e Mooley (1980), ao estudarem as regiões tropicais da Índia, encontraram alguns problemas para aplicar o ISSP, assim como outros estudos (HAVENS, 1969; ALLEY, 1984; GUTTMAN, 1991), demonstraram que o ISSP não era um bom indicador das condições de umidade, principalmente nos períodos secos. Outra desvantagem encontrada no ISSP foi que a regularização da vazão superficial não é considerada. McDonald (1989), ao estudar a aplicação do ISSP na Austrália, apresentou algumas considerações para a aplicação do índice: a) seriam necessários pelo menos 30 anos de dados diários de precipitação e de temperatura para se estimar a capacidade de umidade do solo; b) o método calcula a frequência e a severidade, tanto dos períodos úmidos quanto dos períodos secos; e c) o índice pode ser usado em bacias hidrográficas de pequeno porte.

Com os problemas encontrados, Bhalme e Mooley desenvolveram o Índice de Seca de Bhalme e Mooley (ISBM) para avaliar a intensidade de seca usando somente a precipitação.

2.3.8. Índice de seca de Bhalme e Mooley Modificado (ISBMM)

O Índice de Seca de Bhalme e Mooley Modificado (ISBMM) representa uma tentativa de melhoria e adaptação do ISBM às condições climáticas regionais. O ISBM é calculado considerando apenas a pluviometria, não sendo o melhor indicador para condições regionais. Segundo Azevedo e Silva (1995), o ISBMM mostrou uma sensível variação de umidade do solo e um bom desempenho na identificação dos períodos secos e úmidos, além do grau de severidade da seca. Segue a mesma metodologia do ISBM, no que se refere à determinação de uma reta, caracterizando seca extrema através do índice de umidade acumulada, sendo que no ISBMM, o índice de umidade (I_u) é extraído do balanço hídrico. Tanto o ISBMM quanto o ISSP, por serem baseados no balanço hídrico local, são válidos apenas para locais com solos de composição física idênticas. Os índices ISBM, ISSP, IAP, e outros, expressam uma medida de seca ou de umidade do solo em escalas de tempo mensais. Entretanto, o ISBMM, por ser desenvolvido para aplicação em sistemas operacionais, pode ser expresso em escalas de tempo decendiais (FERNANDES et al., 2009).

2.4 MODELOS DE PREVISÃO DO ÍNDICE DE SECA

No Nordeste Brasileiro a previsão e o monitoramento de períodos de secas são particularmente úteis, devido, dentre muitos outros, aos seguintes aspectos: (1) a existência de inúmeros projetos de irrigação implantados e a serem implantados ao longo dos principais rios; (2) o abastecimento d'água das grandes cidades é, em sua maioria, dependente direto do escoamento dos rios, ou indiretamente do volume acumulado nas barragens; (3) a maioria das culturas agrícolas depende exclusivamente da regularidade das chuvas; (4) a possibilidade de uso de água subterrânea é pequena quando comparada ao da água superficial e (5) a maior parte da produção energética da região tem como base a hidroeletricidade.

Entre os modelos de previsão de séries temporais mais complexos encontram-se os modelos auto-regressivos (AR), através dos quais o valor futuro da variável pode ser previsto pela combinação com valores reais passados e o erro correspondente.

Os modelos AR são expressos pela equação:

$$x_t = \phi_1 x_{t-1} + \phi_2 x_{t-2} + \dots + \phi_p x_{t-p} + e_t \quad (2.2)$$

onde x_t corresponde à observação da série temporal no tempo t ; ϕ_p corresponde ao parâmetro do modelo AR de ordem p e e_t representa o erro de eventos aleatórios que não podem ser explicados pelo modelo. Caso as observações da série temporal possam ser representadas pela equação (2.2), a ordem do modelo puder ser determinada e os parâmetros estimados, é possível prever o valor futuro da série em análise (WHEEL WRIGHT, 1985). Os parâmetros do processo AR são estimados através de métodos de regressão.

CAPÍTULO 3

MATERIAL E MÉTODOS

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 - DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O Estado do Ceará, está situado entre as latitudes 2° e 8° S e as longitudes 37° e 42° W. Em termos de relevo o Estado abriga em seu território regiões de baixa, média e altas altitudes, sendo o ponto de maior altitude o Pico da Serra Branca com 1.154 m, seguido do Pico Alto de Guaramiranga (1.112 m), Pico Alto de Santa Quitéria (1.085 m), Morro do Coquinho de Itapajé (1.081 m) e o Morro do Coquinho de Meruoca com 1.020 m (IPEEC, 2007).

Segundo Silva e Rao (2002), em aproximadamente 75% da superfície do Estado ocorrem totais anuais de precipitação inferiores a 1000 mm. O tipo de vegetação de maior ocorrência no Estado é a do Bioma Caatinga, ocupando aproximadamente 46% do território cearense, porém outros tipos de vegetação são encontrados no Ceará, tais como as matas úmidas, as matas secas, a mata ciliar com carnaúba, o cerrado e o complexo vegetacional da zona litorânea (IPEEC, 2007). Na Figura 3.1 é apresentado o mapa do Ceará.

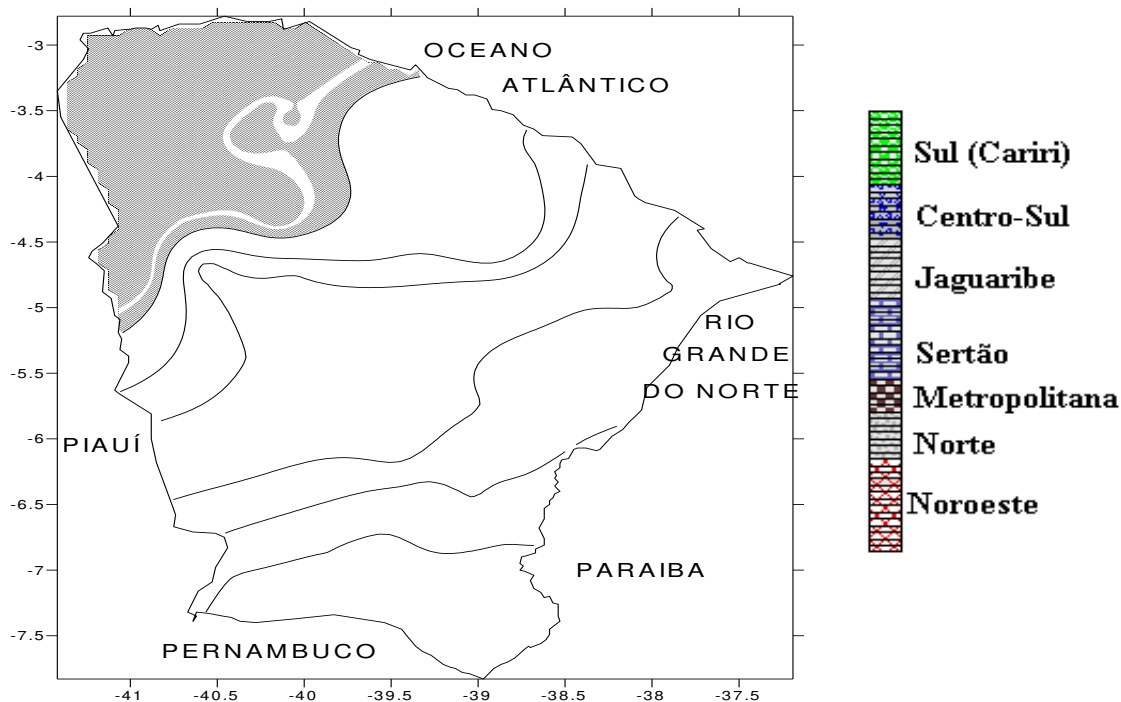


Figura 3.1: Mapa das Mesorregiões do Estado do Ceará

O Estado do Ceará é composto por 7 mesorregiões distintas: Noroeste, Norte, Metropolitana, Sertões, Jaguaribe, Centro-Sul e Sul (Figura 3.1).

- i. Mesorregião Noroeste: formada pela união de 47 municípios, divididos em 7 microrregiões (Coreaú, Ibiapina, Ipu, Litoral de Camocim e Acaraú, Meruoca, Santa Quitéria e Sobral). Ocupa uma área de 34.500 km². Possui uma população de 1,2 milhões de habitantes e representa aproximadamente 6,6% do PIB cearense.
- ii. Mesorregião Norte: formada por 36 municípios agrupados em oito microrregiões que representam aproximadamente 4,4% do PIB do Estado (Baixo Curu, Baturité, Canindé, Cascavel, chorozinho, Itapipoca, Médio Curu e Uruburetama).
- iii. Mesorregião Metropolitana: é a menor das sete mesorregiões do Estado. Entretanto, é a que apresenta a maior densidade populacional, sendo formada por 14 municípios agrupados em apenas duas microrregiões, sua principal cidade é Fortaleza.
- iv. Mesorregião Sertões Cearenses: é formada por 30 municípios, agrupados em quatro microrregiões (Sertão de Cratús, Inhamuns, Quixeramobim e Senador Pompeu). Os sertões cearenses ocupam uma área de 46.250 km² e possui uma população de 841.000 habitantes, configurando-se em baixa densidade demográfica.
- v. Mesorregião do Jaguaribe: possui 21 municípios, agrupados em quatro microrregiões (Baixo Jaguaribe, Litoral de Aracati, Médio Jaguaribe, Serra do Pereiro).
- vi. Mesorregião do Centro-Sul: abrange 14 municípios, distribuídos em três microrregiões (Iguatu, Lavras da Mangabeira, Várzea Alegre). Possui uma população de 372.000 habitantes e responde por 1,8% do PIB cearense.
- vii. Mesorregião do Sul: formada por 25 municípios, agrupados em cinco microrregiões (Barro, Brejo Santo, Cariri, Caririçu, Chapada do Araripe). A região ocupa uma área de 14.800 km² e é responsável por 4% do PIB do Ceará.

É válido informar que todas as informações contidas neste trabalho referentes às meso e micro regiões do Estado do Ceará foram obtidas em Melo *et al.*, (2008).

Foram selecionadas 67 localidades distribuídas espacialmente entre as sete mesorregiões do Estado do Ceará. Estas localidades encontram-se descritas na Tabela

3.1, onde são apresentadas as coordenadas geográficas ($^{\circ}$), Altitude (m), número de anos e período de análise.

Tabela 3.1: Localidades do Estado do Ceará, distribuídas por cada mesorregião.

MESORREGIÃO	LATITUDE ($^{\circ}$)	LONGITUDE ($^{\circ}$)	ALTITUDE (m)	CAD (mm)	PERÍODO
NOROESTE					
ACARAÚ	-2,88	-40,17	13,00	115,00	1973 – 2002
URUOCA	-3,32	-40,57	70,00	86,60	1973 – 2002
GUARACIBA DO NORTE	-4,18	-40,75	902,00	89,90	1973 – 2002
IBIAPINA	-3,92	-40,88	878,40	74,90	1973 – 2002
TIANGUÁ	-4,76	-40,98	775,00	94,40	1973 – 2002
CAMOCIM	-3,57	-41,08	8,00	115,00	1973 – 2002
MARTINÓPOLE	-3,23	-40,68	256,80	115,00	1973 – 2002
SANTA QUITÉRIA	-4,33	-40,15	197,00	64,70	1973 – 2002
CARIRÉ	-3,95	-40,47	158,00	46,00	1973 – 2002
VIÇOSA DO CEARÁ	-3,57	-40,08	717,00	93,60	1973 – 2002
IPÚ	-4,32	-40,70	247,00	90,00	1973 – 2002
MASSAPÊ	-3,53	-40,33	83,00	59,50	1973 – 2002
SANTANA DO ACARAÚ	-3,47	-40,20	30,00	106,00	1973 – 2002
SOBRAL	-3,70	-40,35	69,00	96,70	1973 – 2002
NORTE					
SÃO GONÇALO DO AMARANTE	-3,60	-38,97	30,00	76,60	1973 – 2002
ARACOIABA	-4,37	-38,83	107,10	110,00	1973 – 2002
PACOTI	-4,22	-38,93	736,00	120,90	1973 – 2002
ITAPIÚNA	-4,56	-38,92	133,00	110,10	1973 – 2002
ITATIRA	-4,52	-39,62	794,00	57,00	1973 – 2002
CANINDÉ	-4,36	-39,32	148,00	57,00	1973 – 2002
URUBURETAMA	-3,62	-39,52	110,00	89,50	1973 – 2002
METROPOLITANA					
MARANGUAPE	-3,89	-38,68	80,00	82,70	1973 – 2002
MARACANAÚ	-3,87	-38,62	98,60	120,90	1973 – 2002
FORTALEZA	-3,77	-38,6	16,00	121,00	1973 – 2002
CAUCÁIA	-3,73	-38,65	29,00	104,00	1973 – 2002
PACAJÚS	-4,17	-38,46	60,00	83,20	1973 – 2002
SERTÃO					
INDEPENDÊNCIA	-5,38	-40,33	343,10	77,90	1973 – 2002
MONSENHOR TABOSA	-4,78	-40,07	687,00	82,30	1973 – 2002
NOVA RUSSAS	-4,70	-40,58	240,00	85,80	1973 – 2002
PEDRA BRANCA	-5,45	-39,72	500,00	74,90	1973 – 2002
TAUÁ	-6,02	-40,42	402,00	61,60	1973 – 2002
BOA VIAGEM	-5,13	-39,73	275,60	57,00	1973 – 2002
QUIXADÁ	-4,97	-39,02	189,00	61,50	1973 – 2002
QUIXERAMOBIM	-5,20	-39,32	191,00	77,90	1973 – 2002
ACOPIARA	-6,1	-39,47	317,10	103,00	1973 – 2002
MOMBAÇA	-5,75	-39,63	245,80	57,90	1973 – 2002
SENADOR POMPEU	-5,52	-39,48	177,00	86,00	1973 – 2002
SOLONÓPOLE	-5,73	-39,02	155,00	49,50	1973 – 2002
JAGUARIBE					
JAGUARUANA	-4,83	-37,80	12,00	120,50	1973 – 2002
LIMOEIRO DO NORTE	-5,15	-38,10	30,00	94,50	1973 – 2002
MORADA NOVA	-5,1	-38,38	52,00	120,50	1973 – 2002
RUSSAS	-4,70	-40,58	20,00	64,70	1973 – 2002
SÃO JOÃO DO JAGUARIBE	-5,28	-38,27	51,00	94,50	1973 – 2002
ARACATI	-4,57	-37,77	5,70	45,50	1973 – 2002
JAGUARETAMA	-5,62	-38,77	120,00	35,50	1973 – 2002

JAGUARIBE	-5,90	-38,63	123,00	35,50	1973 – 2002
IRACEMA	-5,82	-38,31	131,00	49,70	1973 – 2002
CENTRO-SUL					
CEDRO	-6,6	-39,07	280,00	120,90	1973 – 2002
ICÓ	-6,4	-38,86	153,00	89,90	1973 – 2002
IGUATU	-6,37	-39,30	217,00	120,90	1973 – 2002
BAIXIO	-6,72	38,72	279,00	94,40	1973 – 2002
LAVRAS DA MANGABEIRA	-6,75	-38,96	239,00	120,90	1973 – 2002
ANTONINA DO NORTE	-6,73	-39,97	366,70	85,50	1973 – 2002
JUCÁS	-6,53	-39,53	246,00	63,40	1973 – 2002
VÁRZEA ALEGRE	-6,78	-39,30	317,00	120,90	1973 – 2002
SUL (CARIRI)					
ASSARÉ	-6,87	-39,87	470,00	120,90	1973 – 2002
CAMPOS SALES	-7,08	-40,38	567,10	88,00	1973 – 2002
CARIRIAÇÚ	-7,03	-39,28	715,00	120,90	1973 – 2002
BARBALHA	-7,32	-39,30	414,00	80,60	1973 – 2002
CRATO	-7,22	-39,38	426,90	101,80	1973 – 2002
MISSÃO VELHA	-7,25	-39,15	360,00	101,80	1973 – 2002
NOVA OLINDA	-7,08	-39,68	446,00	103,00	1973 – 2002
BREJO SANTO	-7,48	-38,98	381,30	80,60	1973 – 2002
AURORA	-6,93	-38,82	171,20	51,00	1973 – 2002
BARRO	-7,18	-38,80	362,00	32,50	1973 – 2002
MAURITI	-7,40	-38,78	373,00	34,50	1973 – 2002

3.2. DADOS

Neste trabalho foram utilizados os seguintes dados:

- 1 - Séries temporais de temperatura do ar (média, mínima e máxima), obtidas através do Programa computacional para a estimativa da temperatura do ar para a Região Nordeste do Brasil (ESTIMA_T) - Cavalcanti *et al.*, (2005). Este *software* realiza as estimativas em função das coordenadas geográficas (latitude, longitude e elevação) e das Anomalias de Temperatura da Superfície do Mar (ATSM) do Oceano Atlântico.
- 2 - Valores de evapotranspiração potencial, obtidos pelo método de Hargreaves e Samani (1985);
- 3 - Dados pluviométricos, fornecidos pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos - FUNCEME.
- 4 - Capacidades de Água disponível do solo (CAD), cedido pelo Projeto MUSAG (1993) - Monitoramento de Umidade do Solo para Aplicações Agrícolas.

3.3 - METODOLOGIA

3.3.1 - Evapotranspiração potencial (ETp)

A evapotranspiração potencial para as localidades selecionadas foi obtida pelo método de Hargreaves e Samani (1985) de acordo com a seguinte equação:

$$ET_p = 0,0023 Q_0 \left(T_{\max} - T_{\min} \right)^{0,5} + 17,8 \quad (3.1)$$

em que: ET_p - evapotranspiração potencial, mm d^{-1} ; Q_0 - radiação extraterrestre, mm d^{-1} ; T_{\max} - temperatura máxima diária do ar, $^{\circ}\text{C}$; T_{\min} - temperatura mínima diária do ar, $^{\circ}\text{C}$; T - temperatura média diária do ar, $^{\circ}\text{C}$.

3.3.2 - Balanço hídrico e índice de severidade de seca de Palmer

Para a realização do balanço hídrico de Palmer foi utilizado o *software* na linguagem de programação *Visual Basic* para gerar os arquivos contendo séries temporais de precipitação, evapotranspiração e temperatura do ar das localidades em estudo. Após a geração da planilha de cálculo dos componentes mensais do balanço hídrico de Palmer, foi modelada a perda da camada superficial (L_s) e da camada inferior (L_u), de acordo com as equações seguintes:

$$L_s = S'_s \text{ ou } PE - P \text{ (o que for menor)} \quad (3.2)$$

$$L_u = PE - P - L_s \left(\frac{S'_u}{AWC} \right) \text{ para } L_u \leq S'_u \quad (3.3)$$

Em que: S'_s e S'_u - água armazenada no início do mês na camada superficial e na camada inferior do solo, respectivamente, em mm; PE - evapotranspiração potencial, em mm; P - precipitação pluvial, em mm; AWC - capacidade de água disponível nas duas camadas de solo, em mm.

Os termos recarga potencial (PR), perda potencial de água no solo (PL) e escoamento superficial potencial (PRO) são derivados do balanço hídrico mensal e utilizados na determinação do índice de seca. A PR, que representa a quantidade de umidade necessária para o solo atingir a capacidade de campo, foi obtida expressa pela seguinte equação:

$$PR = AWC - S' \quad (3.4)$$

Sendo: S' a quantidade de água disponível em ambas as camadas do solo, no início do mês, assumindo-se que a camada superficial tem 25 mm de capacidade de água disponível enquanto a capacidade de água disponível da camada inferior foi determinada com base nas características de solo da localidade estudada.

A perda potencial de água no solo (PL), que representa a quantidade de água no solo e que poderá ser perdida por: evapotranspiração, assumindo-se que não ocorreu precipitação no período, foi obtida pela seguinte equação:

$$PL = PL_s + PL_u \quad (3.5)$$

Em que: PL_s - perda potencial de água na camada superficial do solo, mm; PL_u - perda potencial de água na camada inferior do solo, mm.

O cálculo de PL_s e PL_u foi efetuado com base nas seguintes equações:

$$PL_s = PE \text{ ou } S'_s \text{ (o que for menor) e} \quad (3.6)$$

$$PL_u = PE - PL_s - \frac{S'_u}{AWC} \text{ para } L_u \leq S'_u \quad (3.7)$$

O escoamento superficial potencial (PRO), que representa o total de água armazenada disponível no solo, foi calculado pela seguinte equação:

$$PRO = AWC - PR = S' \quad (3.8)$$

Os termos definidos anteriormente pelas Eqs. (3.2) a (3.8) foram calculados mensalmente para cada localidade, com base no balanço hídrico mensal. Com base nos valores médios desses termos, foram determinados quatro coeficientes adimensionais α_i , β_i , γ_i e δ_i para cada mês, em cada localidade, conforme as seguintes equações:

$$\alpha_i = \frac{\overline{ET}}{\overline{PE}} \quad (3.9)$$

$$\beta_i = \frac{\overline{R}}{\overline{PR}} \quad (3.10)$$

$$\gamma_i = \frac{\overline{RO}}{\overline{PRO}} = \frac{\overline{RO}}{\overline{S'}} \quad (3.11)$$

$$\delta_i = \frac{\overline{L}}{\overline{PL}} \quad (3.12)$$

Em que: α_i - coeficiente de evapotranspiração para o mês “i”; β_i - coeficiente de recarga para o mês “i”; γ_i - coeficiente de escoamento superficial para o mês “i”; δ_i - coeficiente de perda de água do solo para o mês “i”; ET - evapotranspiração atual calculada, mm; R - recarga (ganho líquido de umidade do solo durante determinado período), mm; RO -

escoamento superficial estimado, mm; i - meses do ano: $i = 1, 2, \dots, 12$; \bar{C}_i - valor médio mensal dos componentes com base na série histórica disponível para cada localidade.

Os coeficientes α_i , β_i , γ_i , e δ_i foram utilizados no cálculo dos valores “CAFEC”, que representam o valor particular de um parâmetro que seria climaticamente apropriado para as condições do tempo e do lugar que esta sendo analisado. As condições climaticamente apropriadas serão calculadas para os seguintes componentes: precipitação, evapotranspiração atual, recarga, escoamento superficial e perdas de água no solo usando-se as seguintes equações:

$$ET = \alpha PE \quad (3.13)$$

$$R = \beta PR \quad (3.14)$$

$$RO = \gamma PRO \quad (3.15)$$

$$L = \delta PL \quad (3.16)$$

As Equações 3.13 a 3.16 serão combinadas para estimar a quantidade de precipitação necessária para atender às demandas médias de evapotranspiração, escoamento superficial e água armazenada no solo, com base em condições de umidade antecedente expressa pela seguinte equação:

$$P_i = ET + R + RO - L \quad (3.17)$$

Após a geração da planilha de cálculo dos componentes mensais do Balanço Hídrico de Palmer, foi modelada a perda de água da camada superficial (L_s) e da camada inferior (L_u) foram calculadas pelas seguintes equações:

A deficiência ou excesso hídrico foi calculado pela seguinte equação:

$$d = P - P_i \quad (3.18)$$

em que: d - deficiência hídrica (-) ou excesso (+), mm; P - precipitação do mês considerado, mm; P_i - precipitação calculada para o referido mês, mm.

O fator de ponderação regional proposto por Palmer (1965) ‘ k ’ foi calculado a partir da seguinte equação:

$$k = \left(\frac{K}{\sum_{i=1}^{12} \overline{D} \cdot K'_{i'}} \right) \cdot K' \quad (3.19)$$

Onde:

$$K' = 1,5 \cdot \log_{10} \left[\frac{\left(\frac{\overline{PE} + \overline{R} + \overline{RO}}{\overline{P} + \overline{L}} + 2,80 \right)}{\overline{D}} \right] + 0,50 \quad (3.20)$$

Em que: K é o fator de ajustamento mensal médio da deficiência hídrica (k) para o Estado do Ceará; \overline{D} é a média dos valores absolutos das deficiências hídricas (-) ou excessos (+). Os demais termos já foram apresentados anteriormente.

O índice de anomalia de umidade (Z) foi obtido por (Palmer, 1965):

$$Z = dk \quad (3.21)$$

Após calcular o índice “Z” para determinado mês (i), o índice de severidade de seca de Palmer (ISSP) foi calculado pela seguinte equação:

$$ISSP_i = ISSP_{i-1} + \frac{Z_i}{3} - 0,103 \cdot ISSP_{i-1} \quad (3.22)$$

Os valores do ISSP variam de extremamente úmido ($ISSP \geq 4$) a seca extrema ($ISSP \leq -4$). Da mesma forma, os valores de ISSP entre 0,99 e -0,99 representam condições próximas ao normal, conforme mostra a Tabela 3.2.

Tabela 3.2: Classificação das condições secas e úmidas da região, conforme o ISSP.

ÍNDICE (ISSP)	CLASSIFICAÇÃO
$\geq 4,00$	Extremamente úmido
3,00 a 3,99	Muito úmido
2,00 a 2,99	Moderadamente úmido
1,00 a 1,99	Ligeiramente úmido
0,99 a -0,99	Aproximadamente normal
-1,00 a -1,99	Ligeiramente seco
-2,00 a -2,99	Seca moderada
-3,00 a -3,99	Seca severa
$\leq -4,00$	Seca extrema

Fonte: Palmer (1965).

3.3.3 – Índice de Seca de Bhalme & Mooley Modificado (ISBMM)

O cálculo do Índice de Seca de Bhalme & Mooley Modificado (ISBMM) segue a mesma metodologia do Índice de Seca de Bhalme & Mooley no que se refere à determinação de uma reta, caracterizando seca extrema através do índice de umidade acumulada, sendo que no ISBMM, o índice de umidade (I_u) é extraído do balanço hídrico como:

$$I_u = \frac{(p - ET_p)}{p - ET_p} + R \quad (3.23)$$

O primeiro termo do lado direito do índice de umidade (equação 3.23) fornece, de forma relativa, a quantidade de água que permanece no solo, enquanto que o segundo e último termo expressa a perda relativa de água para a atmosfera, dada pela razão entre a evapotranspiração real (ET_r) e a potencial (ET_p), como índice R (YAO, 1968):

$$R = \frac{ET_r}{ET_p} \quad (3.24)$$

Onde R representa ainda a relação entre o suprimento e a demanda de umidade. Quando o solo estiver completamente abastecido, essa relação será igual a 1.

A intensidade de seca do mês k é dada como:

$$I_k = \frac{I_{u_k}}{d + (1 + c) I_{k-1}} \quad (3.25)$$

Onde c e d são constantes obtidas através da reta de regressão com os mais altos valores negativos de I_u . De acordo com os valores obtidos pela equação (3.25), pode-se avaliar o clima de certa localidade através da Tabela 3.3.

Tabela 3.3: Classificação das condições secas e úmidas da região de acordo com o ISBMM.

ÍNDICE (ISBMM)	CLASSIFICAÇÃO
≥ 4,00	Extremamente úmido
3,00 a 3,99	Muito úmido
2,00 a 2,99	Moderadamente úmido
1,00 a 1,99	Ligeiramente úmido
0,99 a -0,99	Aproximadamente normal
-1,00 a -1,99	Ligeiramente seco
-2,00 a -2,99	Seca moderada
-3,00 a -3,99	Seca severa
≤ -4,00	Seca extrema

Fonte: Bhalme & Mooley (1980).

3.3.4 – Análise Estatística

a) Modelo de previsão do índice de seca

As séries temporais do índice de seca foram auto-correlacionadas através de modelos auto-regressivos, os quais consideram que a correlação de uma variável X em dado tempo, com seu valor K períodos de tempo anteriores é dada por $\rho_x(K)$ e é chamada de correlação serial de ordem K . Se $\rho_x(K)$ pode ser aproximada por $\rho_x(K) = \rho_x^K(1)$, então a série temporal da variável aleatória X pode ser modelada por um processo de Markov de primeira ordem, o qual assume que as correlações para passos (lags) superiores a 1 não são importantes, isto é, que a correlação de lag 1 explica significativamente a variabilidade do modelo.

Assim, foi usado o modelo auto-regressivo de primeira ordem como segue:

$$X_{i+1} = \mu_x + \rho_x (X_i - \mu_x) + \varepsilon_{i+1} \quad (3.26)$$

Onde X_i é o valor da variável aleatória X , no tempo i ; μ_x é a média de X ; $\rho_x(1)$ é o coeficiente de correlação serial (auto-correlação) de primeira ordem; e ε_{i+1} é uma componente aleatória ou erro de estimativa do modelo, com $E(\varepsilon) = 0$ e $\text{VAR}(\varepsilon) = \sigma_\varepsilon^2$. Tal modelo estabelece que o valor de X , num dado período de tempo, depende apenas do valor de X no período de tempo imediatamente anterior, mais uma componente aleatória. Assume-se, também que ε_{i+1} , é independente de X_i . A variância de X é dada por σ_x^2 e é relacionada com σ_ε^2 por:

$$\text{VAR}(X) = \sigma_x^2 = E \left[\mu_x + \rho_x (X_i - \mu_x) + \varepsilon_{i+1} \right]^2 - E^2 \left[\mu_x + \rho_x (X_i - \mu_x) + \varepsilon_{i+1} \right] = \rho_x^2(1) \sigma_x^2 + \sigma_\varepsilon^2 \quad (3.27)$$

Onde se conclui que:

$$\sigma_\varepsilon^2 = \sigma_x^2 [1 - \rho_x^2(1)] \quad (3.28)$$

Se a distribuição de X é normal, ou seja, $N(\mu_x, \sigma_x^2)$, então a distribuição de ε é também normal $N(0, \sigma_\varepsilon^2)$. Utilizando-se da equação (3.26), valores aleatórios de X_{i+1} podem ser gerados, selecionando-se aleatoriamente ε_{i+1} da distribuição $N(0, \sigma_\varepsilon^2)$. Assim, para o escore Z da distribuição normal reduzida $N(0, 1)$, a expressão σ_ε^2 ou $Z \sigma_x [1 - \rho_x^2(1)]^{1/2}$ tem distribuição $N(0, \sigma_\varepsilon^2)$. Portanto, o modelo auto-regressivo de primeira ordem foi expresso como:

$$X_{i+1} = \mu_x + \rho_x (X_i - \mu_x) + Z_{i+1} \sigma_x [1 - \rho_x^2(1)]^{1/2} \quad (3.29)$$

A aplicação da equação (3.26) implica na estimativa de μ_x , σ_x e $\rho_x(1)$ com base nos valores amostrais $X_{med.}$, S_x e $r_x(1)$, além da seleção aleatória de z_{i+1} baseado numa distribuição $N(0, 1)$.

b) Validação e comparação dos modelos de estimativa do índice de seca

O grau de concordância entre os valores do índice de seca observados (O) e simulados (S) foi avaliado pelo coeficiente de Pearson (r), índice de concordância de Willmott (1982) - d e índice de confiança de Camargo & Sentelhas (1997) - c, como segue:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(S_i - \bar{S})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 \sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})^2}} \quad (3.30)$$

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - S_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|O_i - \bar{O}| + |S_i - \bar{O}|)^2}, 0 \leq d \leq 1 \quad (3.31)$$

$$c = r \cdot d \quad (3.32)$$

onde: O_i e S_i são os valores observados ou estimados, \bar{O} é a média dos valores observados e \bar{S} é a média dos valores simulados, s^2 é a variância.

O critério de avaliação do índice de confiança de Camargo e Sentelhas (1997) é apresentado na Tabela 3.5.

Tabela 3.4: Critérios para avaliação de desempenho, segundo o índice de confiança c

Valor de c	Desempenho
>0,85	Ótimo
0,76 – 0,85	Muito Bom
0,66 – 0,75	Bom
0,61 – 0,65	Mediano
0,51 – 0,60	Sofrível
0,41 – 0,50	Ruim
≤ 0,40	Péssimo

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÕES

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados e discutidos os índices de severidade da seca de Palmer (ISSP) e de Bhalme & Mooley Modificado (ISBMM), calculados para o período de 1973 a 2002 para as sete mesorregiões que compõe o Estado do Ceará.

Inicialmente foi elaborado e validado o Programa de Cálculo do ISSP, desenvolvido por meio do *software Visual Basic*. Este programa foi responsável pela geração dos componentes mensais do balanço hídrico de Palmer para as localidades analisadas.

A validação do programa consistiu em reproduzir todos os parâmetros necessários a execução do ISSP de acordo com a metodologia original proposta por Palmer (1965), seguindo criteriosamente todo o processo desenvolvido pelo autor.

No total foram analisadas 67 localidades distribuídas homogeneamente pelas sete mesorregiões do Estado do Ceará (Tabela 3.1). Serão apresentados os resultados para as seguintes seções: Variação espacial mensal dos índices de seca: ISSP e ISBMM para todo o estado do Ceará e Comportamento, frequência, modelo de previsão dos valores médios mensais e comportamento médio anual dos índices de seca para cada mesorregião do estado do Ceará.

O fator de ajustamento mensal (K) foi obtido para cada localidade, com obtenção do valor médio para cada mesorregião e para o Estado do Ceará como um todo (Tabela 4.1).

Tabela 4.1 - Fator de Ajustamento Mensal (K) para o Estado do Ceará

Localidade/ \bar{D}^*K'	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Soma
Mesorregião Noroeste													
Acarauá	1,88	1,71	1,86	1,5	2	1,51	1,69	1,77	1,22	0,76	0,58	1,57	18,06
Uruoca	1,96	1,96	2,02	2,04	1,85	1,69	1,48	0,76	0,48	1,5	2,19	2,02	19,94
Guaraciba do Norte	1,84	1,97	1,88	1,76	1,95	1,66	1,42	1,75	1,65	1,15	1,43	1,94	20,40
Ibiapina	1,96	1,79	1,69	0,99	1,87	1,73	1,35	1,74	1,63	1,02	1,4	1,91	19,07
Tianguá	1,94	1,95	1,96	1,59	1,97	1,48	1,39	1,77	1,53	0,99	1,06	1,92	19,53
Camocim	1,75	1,98	1,81	1,64	1,99	1,54	1,7	1,77	1,15	0,61	0,41	1,56	17,91
Martinópolis	1,86	1,86	1,92	1,89	1,98	1,44	1,8	1,61	0,94	0,5	0,17	1,75	17,71
Santa Quitéria	1,99	1,84	1,98	1,99	1,64	1,72	1,49	0,47	0,18	0,12	0,65	1,64	15,70
Cariré	1,84	1,59	1,96	1,95	1,74	1,69	1,63	0,25	0,13	0	0,24	1,58	14,60
Viçosa do Ceará	1,96	1,94	1,54	1,37	1,97	1,54	1,39	1,79	1,55	1,05	1,45	2	19,53
Ipu	1,75	1,74	1,97	1,95	1,88	1,65	1,82	1,81	0,97	0,34	0,79	2,02	18,67
Massapê	1,92	1,85	1,96	1,91	1,87	1,55	1,76	0,5	0	0,02	0,39	1,83	15,55
Santana do Acarauá	1,86	1,55	1,98	1,88	1,78	1,57	1,82	1,57	0,87	0,34	0,31	1,41	16,93
Sobral	1,79	1,71	1,98	1,98	1,91	1,52	1,83	1,61	0,74	0,23	0,39	1,74	17,43

Mesorregião Norte													
São Gonçalo do Amarante	1,92	1,8	1,98	1,97	1,9	1,71	1,74	1,79	1,06	0,57	0,45	1,6	18,47
Aracoiaba	1,95	1,71	1,74	1,98	1,95	1,82	1,75	1,97	1,6	1,07	0,94	1,77	20,47
Pacoti	1,79	1,96	1,95	1,89	1,94	1,95	1,88	1,41	1,79	1,95	1,85	1,91	22,28
Itapiúna	2,01	1,65	1,77	1,96	1,81	1,72	1,86	1,8	0,98	0,44	0,58	1,64	18,21
Itatira	1,84	1,7	1,67	1,93	1,66	1,55	1,64	1,31	0,23	0,11	0,16	1,6	15,41
Canindé	1,99	1,77	1,66	1,71	1,72	1,77	1,55	0,72	0,2	0,23	0,52	1,45	15,28
Uruburetama	1,8	1,9	1,97	1,93	1,86	1,58	1,75	1,88	1,23	0,74	0,67	1,86	19,18
Mesorregião Metropolitana													
Maranguape	1,90	1,72	1,97	1,96	1,95	1,85	1,72	1,94	1,61	1,17	1,01	1,81	20,59
Maracanaú	1,84	1,89	1,93	1,90	1,96	1,87	1,57	1,80	1,76	1,60	1,34	1,86	21,31
Fortaleza	1,84	1,96	1,76	1,17	1,96	1,95	1,85	1,67	1,96	1,86	1,43	1,89	21,29
Caucaíia	1,92	1,96	1,9	1,46	1,94	1,98	1,59	1,91	1,83	1,28	0,77	1,66	20,19
Pacajús	1,99	1,75	1,90	1,97	1,90	1,77	1,80	1,86	1,36	0,76	0,71	1,84	19,61
Mesorregião Sertão													
Independência	2,00	1,86	1,89	1,99	1,71	1,75	1,41	0,91	0,38	0,14	0,39	1,74	16,16
Monsenhor Tabosa	1,94	1,61	1,92	1,96	1,60	1,55	1,72	1,42	0,74	0,25	0,51	1,77	16,98
Nova Russas	1,91	1,73	1,97	1,98	1,78	1,70	1,77	1,16	0,32	0,01	0,86	1,72	16,92
Pedra Branca	1,96	1,72	1,79	1,95	1,70	1,74	1,77	1,90	1,30	0,27	1,03	1,90	19,01
Tauá	2,04	2,04	2,04	2,04	2,04	2,04	2,04	2,04	2,04	2,04	2,04	2,04	17,57
Boa Viagem	2,00	1,69	1,61	1,73	1,64	1,77	1,83	1,28	0,70	0,09	0,45	1,78	16,57
Quixadá	2,01	1,67	1,63	1,96	1,71	1,70	1,83	1,14	0,21	0,12	0,67	1,34	15,99
Quixeramobim	2,01	1,79	1,63	1,91	1,72	1,75	1,87	1,80	0,68	0,14	0,57	1,62	17,47
Acopiara	1,98	1,59	1,75	1,96	1,69	1,69	1,85	1,6	1,16	1,13	0,59	1,92	18,92
Mombaça	2,00	1,74	1,63	1,91	1,64	1,69	1,87	1,29	0,95	0,45	0,69	1,99	17,85
Senador Pompeu	2,01	1,61	1,76	1,9	1,64	1,74	1,87	1,79	0,76	0,12	0,89	1,77	17,87
Solonópole	1,97	1,72	1,78	1,86	1,65	1,79	1,84	1,12	0,49	0,00	0,91	1,64	16,77
Mesorregião Jaguaribe													
Jaguaruana	1,99	1,83	1,94	2,02	1,77	1,68	1,83	1,78	1,17	0,71	0,21	1,22	18,15
Limoeiro do Norte	1,96	1,87	1,93	1,95	1,83	1,71	1,85	1,73	0,85	0,29	0,47	1,75	18,19
Morada Nova	1,98	1,73	1,81	1,95	1,81	1,74	1,85	1,74	1,04	0,49	0,27	1,57	17,98
Russas	1,97	1,81	1,76	1,89	1,78	1,74	1,82	1,45	0,60	0,39	0,50	1,61	17,29
São João do Jaguaribe	2,00	1,77	1,86	1,97	1,76	1,70	1,85	1,71	0,78	0,43	0,56	1,54	17,92
Aracati	1,93	1,68	1,96	1,96	1,80	1,69	1,85	1,41	0,49	0,67	0,55	1,58	17,57
Jaguaretama	1,99	1,68	1,81	1,99	1,65	1,73	1,85	1,14	0,47	0,34	1,00	1,74	17,39
Jaguaribe	2,00	1,76	1,81	1,75	1,69	1,75	1,61	0,73	0,36	0,42	0,69	1,43	15,99
Iracema	2,03	1,77	1,88	1,96	1,70	1,72	1,85	1,22	0,65	0,66	0,77	1,77	17,98
Mesorregião Centro Sul													
Cedro	1,94	1,84	1,87	2,00	1,74	1,68	1,84	1,57	1,11	1,12	1,18	2,20	20,07
Icó	1,90	1,79	1,88	1,95	1,65	1,74	1,79	1,37	0,99	0,65	1,36	1,97	19,05
Iguatu	1,85	1,64	1,96	1,99	1,85	1,60	1,87	1,83	1,65	1,53	1,15	2,15	21,04
Baixio	2,01	1,67	1,95	1,95	1,69	1,67	1,85	1,53	1,00	0,73	1,13	2,06	19,24
Lavras da Mangabeira	1,85	1,82	1,88	1,99	1,69	1,67	1,83	1,52	1,15	1,15	1,36	2,14	20,04
Antonina do Norte	2,01	1,83	1,74	1,86	1,73	1,72	1,38	0,71	0,55	0,81	1,54	1,99	17,86
Jucás	1,78	1,65	1,89	1,97	1,53	1,73	1,60	0,93	1,19	1,38	1,15	2,17	18,95
Várzea Alegre	1,79	1,97	1,91	1,97	1,67	1,70	1,84	1,63	1,32	1,90	1,92	2,19	21,80
Mesorregião Sul (Cariri)													
Assaré	1,88	1,89	1,93	1,85	1,71	1,72	1,49	1,05	1,15	1,47	1,53	2,11	19,76
Campos Sales	1,93	1,79	1,67	1,72	1,79	1,48	1,15	0,57	0,61	1,39	1,69	2,06	17,84
Caririaçu	1,69	1,96	1,94	1,94	1,61	1,51	1,72	1,76	1,68	1,74	1,95	2,09	21,59
Barbalha	1,90	1,95	1,96	1,97	1,55	1,72	1,69	0,93	1,07	1,69	2,07	2,15	20,64
Crato	1,98	1,96	1,97	1,98	1,60	1,67	1,78	1,40	1,48	1,75	2,13	2,09	21,78
Missão Velha	1,75	1,97	1,95	1,98	1,60	1,72	1,73	1,25	1,33	1,36	2,10	2,18	20,90
Nova Olinda	1,93	1,84	1,95	2,00	1,63	1,72	1,69	1,21	0,91	1,36	2,02	2,15	20,39
Brejo Santos	1,86	1,90	1,88	1,96	1,61	1,73	1,61	0,83	1,16	1,63	2,14	2,12	20,42
Aurora	1,66	1,66	1,66	1,66	1,66	1,66	1,66	1,66	1,66	1,66	1,66	1,66	17,44
Barro	1,78	1,58	1,77	1,82	1,68	1,65	1,36	0,55	1,06	1,31	1,79	2,10	18,44
Mauriti	1,88	1,67	1,68	1,54	1,76	1,52	1,23	0,24	0,99	1,45	1,85	2,15	17,93
Média													18,78

4.1. Variação espacial dos valores médios mensais dos índices no Estado do Ceará

a) Índice de Severidade de Seca de Palmer (ISSP)

A distribuição espacial dos valores médios mensais do ISSP durante o período de 1973 a 2002 no estado do Ceará é apresentada na Figura 4.1, onde de um modo geral observou-se que as condições de umidade de acordo com este índice oscilaram de aproximadamente normais a extremamente úmido durante todo o período analisado.

Foi observado que as localidades posicionadas mais ao norte do estado apresentaram condições de umidade aproximadamente normais ($-0,99 < \text{ISSP} < 0,99$) ao longo de todo o ano, e o trimestre compreendido entre os meses de outubro, novembro e dezembro foram o que apresentaram uma maior extensão espacial das condições de umidade aproximadamente normais.

Já as condições ligeiramente úmidas ($1 < \text{ISSP} < 1,99$) prevaleceram sobre a maior parte do estado, principalmente nos meses de novembro e dezembro. A distribuição espacial desta condição apresentou-se variável tanto no sentido zonal quanto meridional ao longo dos meses.

A distribuição espacial da classificação muito úmida ($3 < \text{ISSP} < 3,99$) concentrou-se mais para oeste do estado. Percebeu-se que as condições muito úmidas apresentaram deslocamento para leste e nos meses de junho e julho toda a parte central do estado do Ceará, de acordo com ISSP apresentou-se muito úmida, já no mês de setembro apenas uma pequena região posicionada a oeste do estado manteve esta classificação.

O ISSP definiu os meses de outubro, novembro e dezembro como sendo os que apresentaram as maiores restrições hídricas do estado, entretanto, apesar disto as condições de umidade médias no estado do Ceará foram satisfatórias impedindo de tal forma que eventos de seca fossem caracterizados neste estado.

Nesta análise mensal da distribuição espacial do ISSP no Estado do Ceará, não foram observadas situações de restrições hídricas que ocasionassem uma condição mensal de seca no Estado, entretanto na análise separada de cada localidade (independente da mesorregião) déficits hídricos foram evidenciados pelo ISSP, porém, quando foram calculados os valores médios do índice as condições de secas não foram evidenciadas. Tal fato explica-se em virtude das restrições hídricas terem menor intensidade (menores valores) do que as condições de umidade normais.

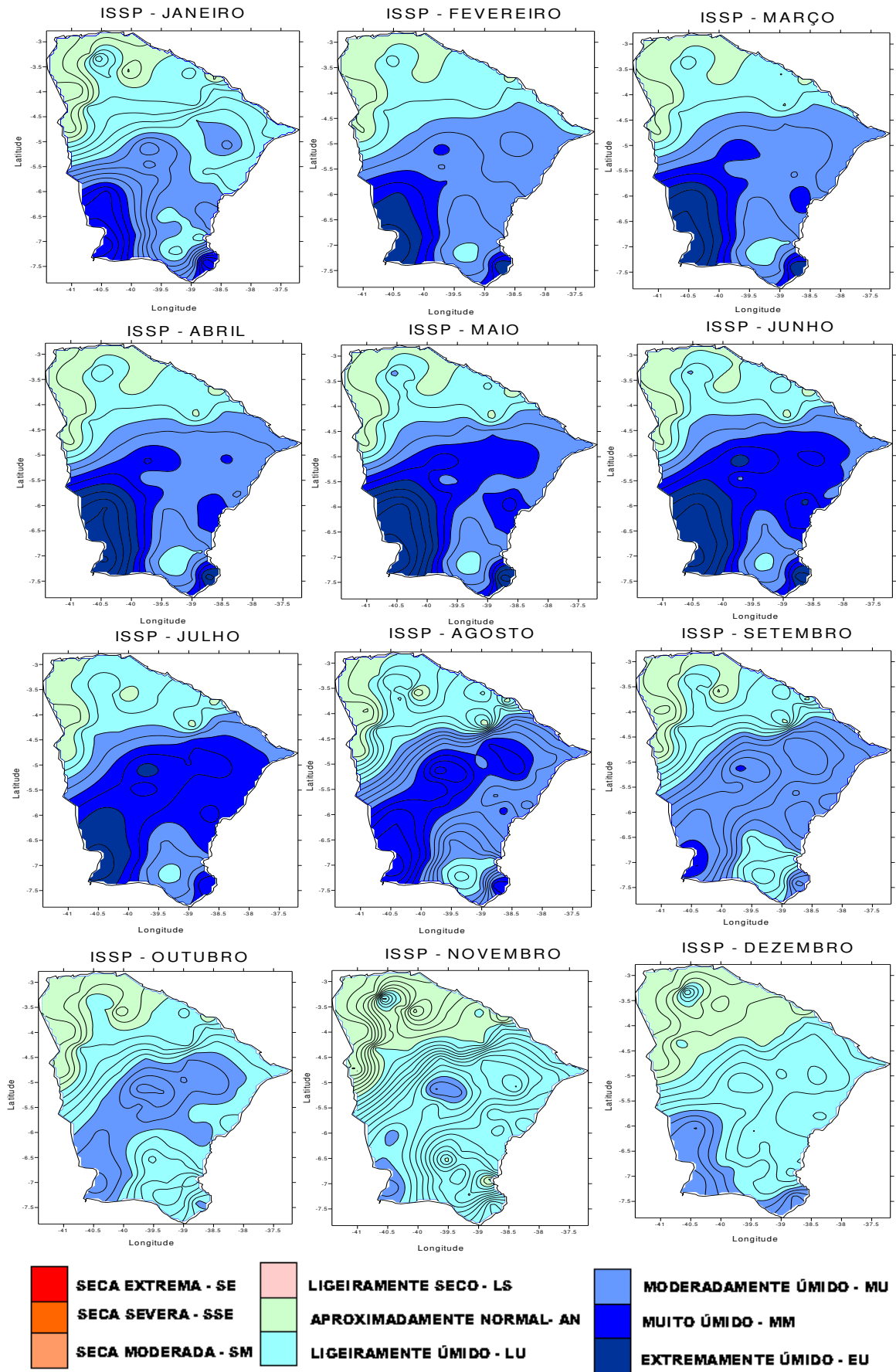


Figura 4.1: Variação espacial dos valores médios mensais do índice ISSP no Estado do Ceará para o período de 1973 a 2002, para o estado do Ceará.

b) Índice de Seca de Bhalme & Mooley Modificado (ISBMM)

Diferentemente dos resultados obtidos na distribuição espacial dos valores médios do ISSP, a distribuição espacial média do ISBMM conseguiu definir com clareza condições de seca e umidade extrema em todas as mesorregiões que compõe o Estado do Ceará durante todo o período analisado.

Observou-se que, exceto nos meses de fevereiro, março, abril, maio e junho (período chuvoso), o Estado do Ceará de acordo com o ISBMM apresentou restrições hídricas que ocasionaram condições variáveis de secas, que oscilaram de moderada a extrema (Figura 4.2).

No mês de janeiro percebeu-se o predomínio de seca (moderada a extrema) por toda a região central do Estado e parte da mesorregião Jaguaribe. Já as condições de umidade variando de aproximadamente normal a ligeiramente úmida foram observadas na mesorregião noroeste (extremo oeste), no sul do Estado e pequena área localizada ao norte da mesorregião Jaguaribe.

A partir do mês de fevereiro, início da estação chuvosa do Ceará (BARRA, et al., 2002), observou-se uma redução considerável das condições de seca observada na distribuição espacial do mês de janeiro. A distribuição espacial das condições de seca no Estado ficou restrita a porção central e áreas localizadas a oeste do Estado.

Nos meses de março e abril foi observado o predomínio das condições de umidade variando de aproximadamente normal ($-0,99 < \text{ISSP} < 0,99$) a extremamente úmido ($\text{ISSP} \geq 4$), exceto em regiões circulares delimitadas posicionadas mais ao norte do Estado.

Os meses de maio e junho foram marcados pela desintensificação das condições de umidade extrema, ao mesmo tempo em que se perceberam condições de seca posicionadas nas localidades a oeste e ao sul do Estado.

Do período compreendido de julho a dezembro observou-se que a distribuição espacial dos valores médios do ISBMM evidenciou condições de seca por todo o Estado do Ceará, exceto em algumas localidades distribuídas por quase todas as mesorregiões, como pode ser observado na Figura 4.2.

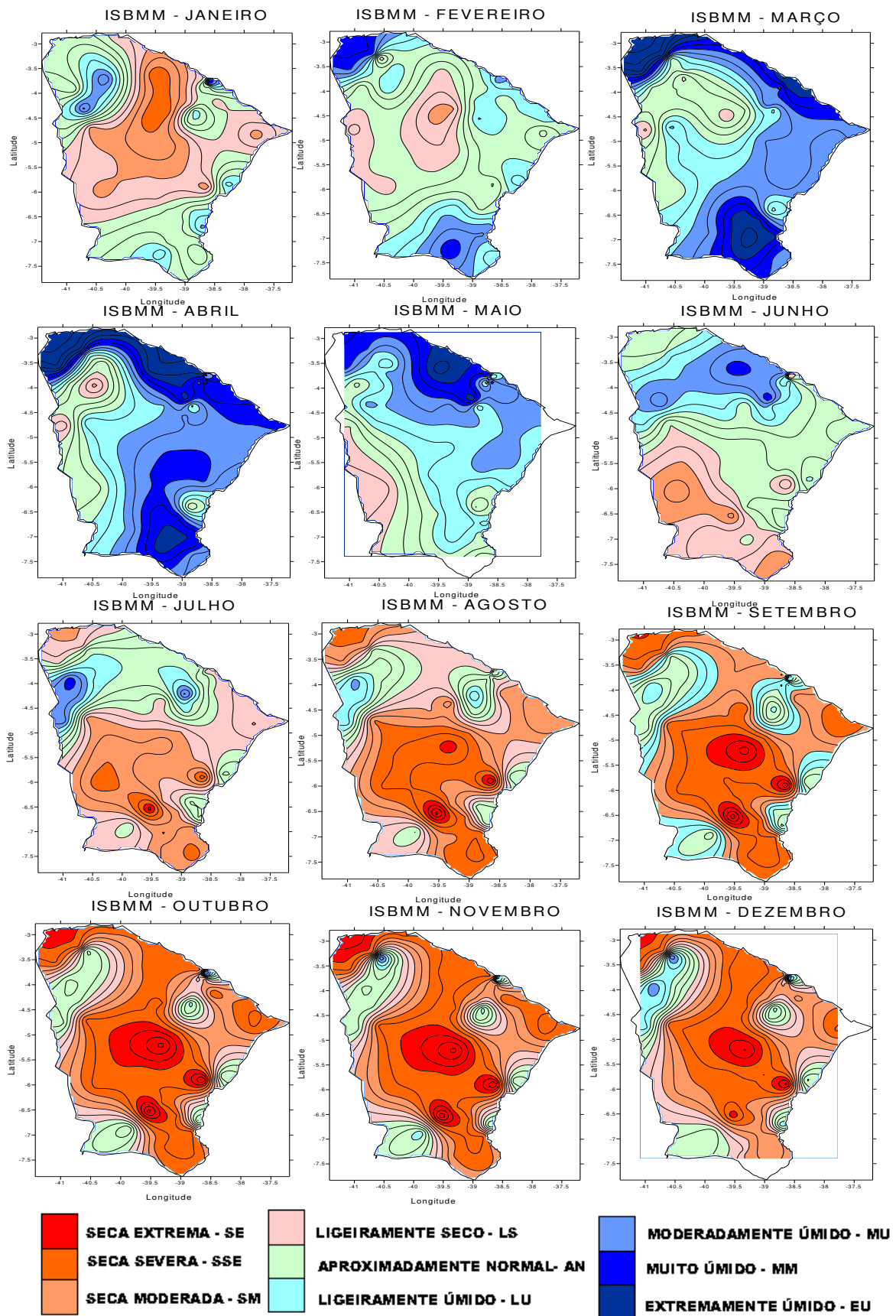


Figura 4.2: Variação espacial dos valores médios mensais do índice ISBMM no Estado do Ceará para o período de 1973 a 2002, para o estado do Ceará.

4.2. Comportamento temporal, frequência e modelo de previsão dos valores médios mensais e comportamento médio anual dos índices de seca para cada mesorregião do estado do Ceará

4.2.1) Mesorregião Noroeste

4.2.1.1) Comportamento temporal dos valores médios mensais do índice de seca

O comportamento temporal mensal dos índices de severidade de seca de Palmer (ISSP) e de Bhalme e Mooley Modificado (ISBMM) para a Mesorregião Noroeste do estado do Ceará é apresentado na Figura 4.3. Observou-se que, de uma forma geral, que os dois índices assumiram valores positivos e negativos de forma simétrica ao longo do período analisado. Entretanto, diferiram em ordem de magnitude, com o ISSP sempre superior ao ISBMM, principalmente para os períodos com picos de condições úmidas. Uma assimetria entre estes dois índices pode ser observada apenas no período de 2000 a 2002, quando o ISSP apresentou condições variando de aproximadamente normal a seca incipiente enquanto que o ISBMM apresentou condições variando de aproximadamente normal a ligeiramente úmida. De acordo com Sansigolo (2004), o comportamento destes dois índices na definição das características dos eventos de seca é bem distinto, uma vez que têm fundamentos físicos diferentes, visto que o ISSP, além da precipitação e da evapotranspiração ainda inclui o balanço hídrico no solo.

Ambos os índices apresentaram condições de seca não acentuada (valores negativos) nos períodos de 1979 a 1984, 1992 a 1994 e 1998 a 2002. Nos demais períodos esses índices apresentam condições de excesso hídrico.

Em síntese, com base nos índices de classificação de secas de Palmer (ISSP) e Bhalme & Mooley Modificado (ISBMM), observou-se apenas três eventos de secas consideradas severas, ocorridas nos anos de 1983, de 1993 e 1998.

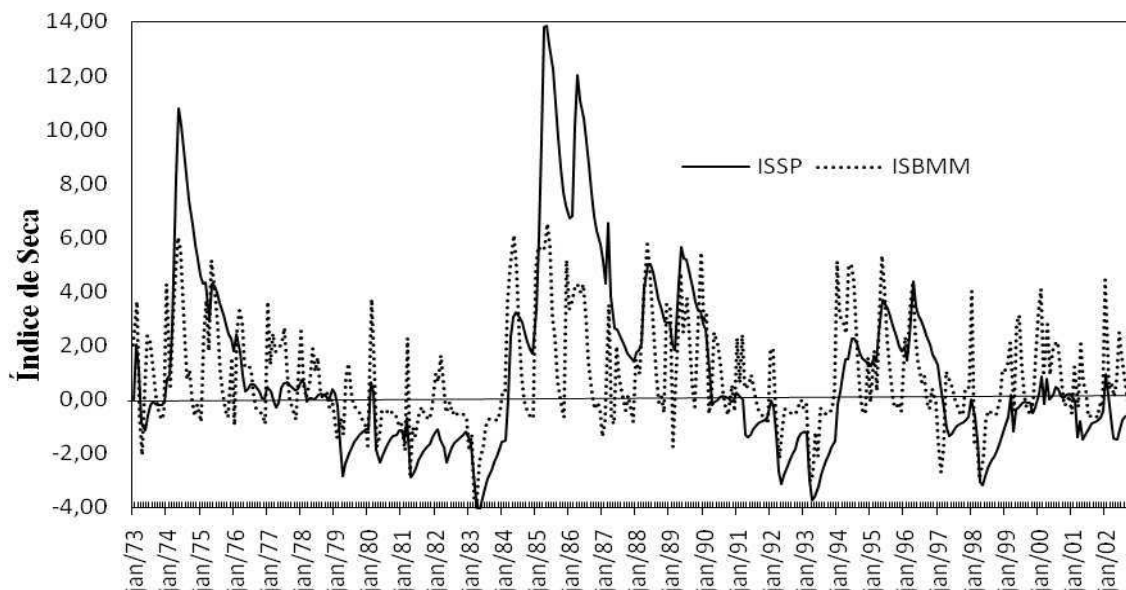


Figura 4.3: Comportamento dos valores médios mensais dos índices de severidade de seca de Palmer (ISSP) e de seca de Bhalme & Mooley Modificado (ISBMM) para o período de 1973 a 2002, para a Mesorregião Noroeste do Estado do Ceará

4.2.1.2) Frequência dos valores médios mensais do índice de seca

Na Tabela 4.2 são observadas as frequências médias mensais dos índices ISSP e ISBMM para a Mesorregião Noroeste durante o período de 1973 a 2002. Observou-se que durante o mês de janeiro os dois índices indicaram condições de umidade variando de eventos ligeiramente secos a períodos extremamente úmidos.

As maiores frequências tanto para o ISSP (12 eventos) como para o ISBMM (9 eventos) durante o mês de janeiro foram para condições de umidade aproximadamente normais, ou seja, os valores dos índices ficaram compreendidos entre -1 e 1. Neste mesmo mês a menor frequência do ISSP (1 evento) foi para condições muito úmida, enquanto que o ISBMM (2 eventos) classificou as condições de umidade deste mesorregião como moderadamente úmida.

A frequência média mensal do ISSP e ISBMM durante o mês de fevereiro apresentou comportamento similar ao observado em janeiro, apresentando apenas algumas exceções: apenas o ISBMM definiu condições de seca moderada em apenas 1 evento, e condições muito úmidas (5 eventos) também foram definidas pelo ISBMM para esta mesorregião durante o mês de fevereiro.

No mês de março, de acordo com os dois índices de seca a Mesorregião Noroeste apresentou restrições hídricas que resultaram em eventos de secas variando de

moderadas a severas, porém, as máximas freqüências dos índices foram para as condições de umidade aproximadamente normais (-1 a 1).

Os meses de abril, maio e junho apresentaram freqüências do ISSP e ISBMM similares. Neste trimestre foi observado um decréscimo das freqüências de ocorrências das condições aproximadamente normais, em relação aos meses anteriores, entretanto apesar deste decréscimo, as condições de umidade aproximadamente normais foram às maiores para este período. De acordo com Barra (2002), o mês de junho é marcado pela resença de seca moderada em aproximadamente 39% da área do Estado.

De julho a dezembro a freqüência de ocorrência das condições de umidade aproximadamente normais (-1 a 1) nos dois índices, voltou a se elevar, em relação ao trimestre mencionado anteriormente. Neste período merece destaque os meses de outubro e novembro que apresentaram uma única classificação para as condições de umidade na mesorregião noroeste (condições de umidade aproximadamente normais).

Tabela 4.2: Freqüência média mensal dos índices de severidade de seca de Palmer (ISSP) e de seca de Bhalme & Mooley Modificado (ISBMM) para o período de 1973 a 2002, para a Mesorregião Noroeste do Estado do Ceará

MESES	≤ -4	-4 a -3	-3 a -2	-2 a -1	-1 a 1	1 a 2	2 a 3	3 a 4	≥ 4
Janeiro	0/0	0/0	0/0	7/4	12/9	5/3	2/5	1/4	3/5
Fevereiro	0/0	0/0	0/1	5/5	14/9	3/6	4/2	0/5	4/2
Março	0/0	1/2	1/0	5/2	11/10	5/2	3/7	0/5	4/2
Abril	1/0	2/1	3/5	6/2	7/7	1/3	3/5	1/1	6/6
Maio	1/0	3/0	4/2	5/4	6/9	1/3	1/3	3/1	6/8
Junho	0/0	2/0	6/1	4/2	7/7	0/6	2/5	3/2	6/7
Julho	0/0	1/0	4/0	6/1	8/12	0/5	3/8	3/3	5/1
Agosto	0/0	0/0	5/0	4/0	10/24	0/3	4/3	2/0	5/0
Setembro	0/0	0/0	3/0	5/0	11/29	2/1	3/0	2/0	4/0
Outubro	0/0	0/0	2/0	6/0	11/30	2/0	4/0	2/0	3/0
Novembro	0/0	0/0	1/0	7/0	11/30	5/0	2/0	1/0	3/0
Dezembro	0/0	0/0	0/0	8/0	11/22	5/5	2/0	1/1	3/2
Totais Anuais	2/0	9/3	29/9	68/20	119/198	29/37	33/38	19/22	52/33

Observação: ISSP/ISBMM ≤ -4 (Seca extrema); -4 < ISSP/ISBMM ≤ -3 (Seca severa); -3 < ISSP/ISBMM ≤ -2 (Seca moderada); -2 < ISSP/ISBMM ≤ -1 (Ligeiramente seco); -1 < ISSP/ISBMM < 1 (Aproximadamente normal); 1 ≤ ISSP/ISBMM < 2 (Ligeiramente úmido); 2 ≤ ISSP/ISBMM < 3 (Moderadamente úmido); 3 ≤ ISSP/ISBMM < 4 (Muito úmido); ISSP/ISBMM ≥ 4,00 (Extremamente úmido).

4.2.1.3) Modelo de previsão dos valores médios mensais do índice de seca

- Índice de Severidade de Seca de Palmer (ISSP)

A aplicação do modelo de auto-regressão de primeira ordem para a Mesorregião Noroeste do estado do Ceará, no o período de Jan/1973 a Dezembro/2002 (Figura 4.4) indica que $ISSP_{x-1}$ explica aproximadamente 96% da variabilidade de $ISSP_x$. Assim, para essa Mesorregião, a previsão do valor mensal do índice de severidade de seca de Palmer (ISSP) pode ser obtida como $ISSP_x = 0,9781*(ISSP_{x-1}) + 0,0562$, com $R^2 = 0,9566$. Desta forma, a previsão do ISSP para Jan/2003 seria de 0,72; indicando, assim que o índice de severidade de seca de Palmer preserva a memória do valor correspondente ao mês anterior (Sansigolo, 2004).

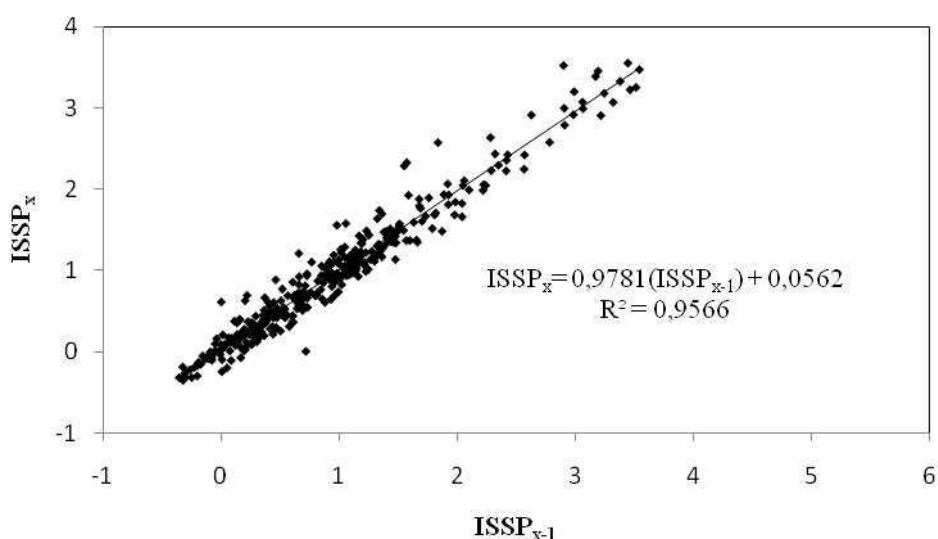


Figura 4.4: Auto-regressão de primeira ordem para o índice de severidade de seca de Palmer (ISSP) mensal para a Mesorregião Noroeste do Estado do Ceará

- Índice de Seca de Bhalme & Mooley Modificado (ISBMM)

Já para o ISBMM, a previsão pelo modelo de auto-regressão de primeira ordem não é tão boa (Figura 4.5), com o $ISBMM_{x-1}$ explicando apenas aproximadamente 42% da variabilidade de $ISBMM_x$. Ou seja, para essa Mesorregião a previsão do valor mensal do índice de seca de Bhalme & Mooley Modificado (ISBMM) pode ser obtida como $ISBMM_x = 0,6469*(ISBMM_{x-1}) + 0,2886$, com $R^2 = 0,4185$. Desta forma, a previsão do ISBMM para Jan/2003 seria de 0,21.

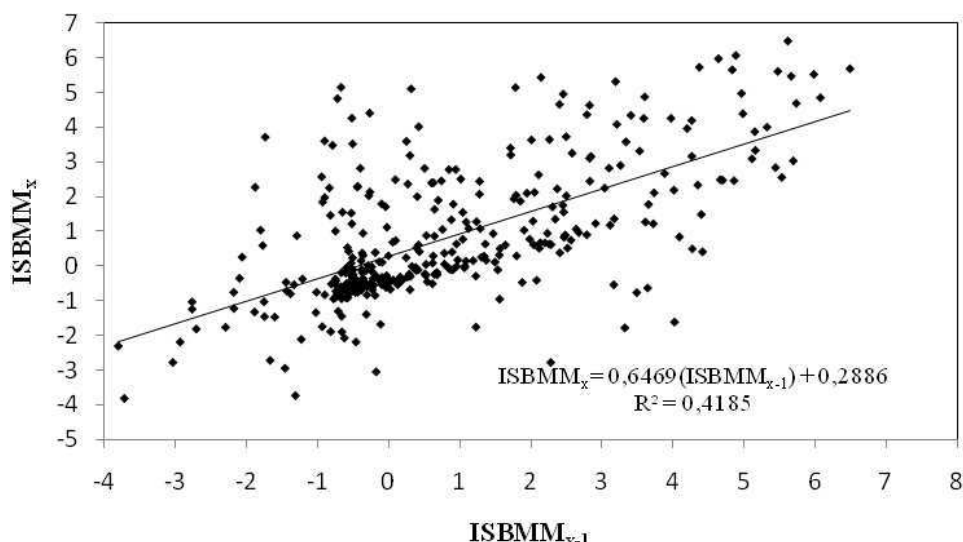


Figura 4.5: Auto-regressão de primeira ordem para o Índice de Seca de Bhalme & Mooley Modificado (ISBMM) mensal para a Mesorregião Noroeste do Estado do Ceará

Verifica-se ainda que, para essa Mesorregião, o modelo de Palmer (ISSP) apresentou um elevado grau de ajustamento e concordância enquanto que o modelo de Bhalme & Mooley Modificado (ISBMM) foi bastante ineficiente na previsão do índice de seca mensal baseado na auto-correlação de primeira ordem (Tabela 4.3).

Tabela 4.3: Análise estatística da diferença entre os índices de severidade de seca de Palmer (ISSP) e de Seca de Bhalme & Mooley Modificado (ISBMM) mensais para a Mesorregião Noroeste do Estado do Ceará

Grau de Ajustamento dos Modelos	Índice de Seca	
	ISSP	ISBMM
r - Coeficiente de Correlação de Pearson	1,02	0,01
d - Concordância de Willmott	0,99	0,804
c - Confiança de Camargo & Sentelhas	1,01	0,008

4.2.1.4) Comportamento médio anual dos índices de seca

- Índice de severidade de seca de Palmer (ISSP)

A Figura 4.6 mostra o comportamento médio anual do ISSP para a mesorregião Noroeste do estado do Ceará. De acordo com o ISSP, essa mesorregião apresentou restrição hídrica moderada para os períodos de 1979 a 1983 e 1991 a 1993, além de aproximadamente normal ($-0,99 < \text{ISSP} < 0,99$) para os anos de 1997 e 1999. Condições extremamente úmidas ($\text{ISSP} \geq 4$) foram observadas nos anos de 1974, 1985 e 1986. Nos anos de 1975, 1987, 1988 e 1999, o ISSP apresentou valores superiores a 2 e inferiores a 3, classificando a mesorregião como muito úmida. O ano mais seco observado foi 1983, com o ISSP ($-3 < \text{ISSP} < -4$). Nesta ocasião a classificação da umidade variou de seca moderada a extrema.

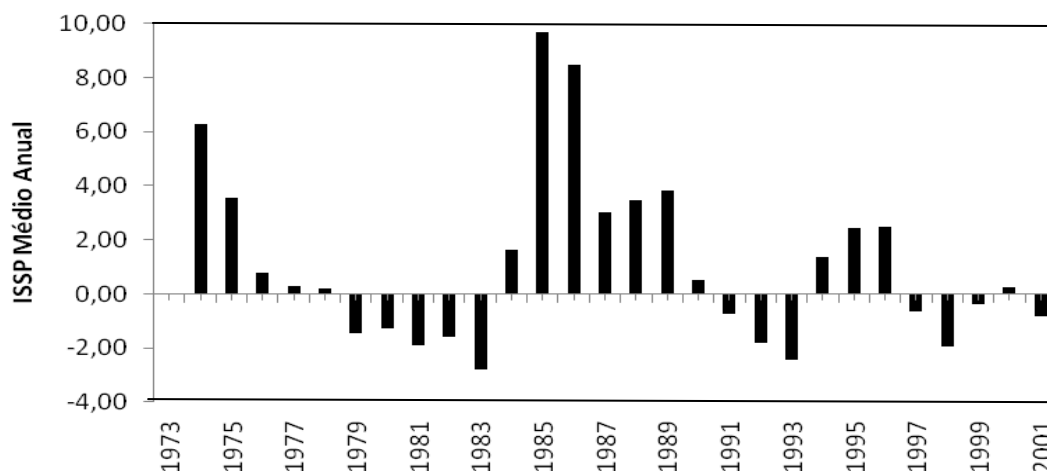


Figura 4.6: Comportamento médio anual do índice de severidade de seca de Palmer de 1973 a 2002, para a Mesorregião Noroeste do Estado do Ceará

- Índice de Seca de Bhalme & Mooley Modificado (ISBMM)

Analisando-se o comportamento médio anual do ISBMM (Figura 4.7) para a Mesorregião Noroeste foi observado que o período de maior restrição hídrica, para esta Mesorregião ocorreu no período compreendido entre os anos de 1979 a 1983, sendo este último o ano mais seco para esta Mesorregião. Esta condição de seca durante o ano de 1983 também foi constatado pelo ISSP, porém, de acordo com o índice de Palmer a seca observada no ano de 1983 foi mais intensa que a seca evidenciada pelo ISBMM.

É conveniente mencionar que de acordo com o CPC/NCEP entre os meses de janeiro a julho de 1983 estava configurado o fenômeno El Niño, ocasionando uma redução das chuvas no Nordeste do Brasil, logo tanto o ISBMM quanto o ISSP mostraram-se sensíveis a atuação deste fenômeno de escala global.

As condições de umidade na Mesorregião Noroeste mostraram-se satisfatórias durante a maior parte do período analisado, onde o ISBMM classificou as condições de umidade para esta Mesorregião variando de aproximadamente normais a moderadamente úmido ($-0,99 < \text{ISBMM} < 2,99$). Neste período destaca-se o ano de 1985 onde foram observadas condições muito úmidas, ou seja, valores do ISBMM compreendidos entre 3 e 3,99.

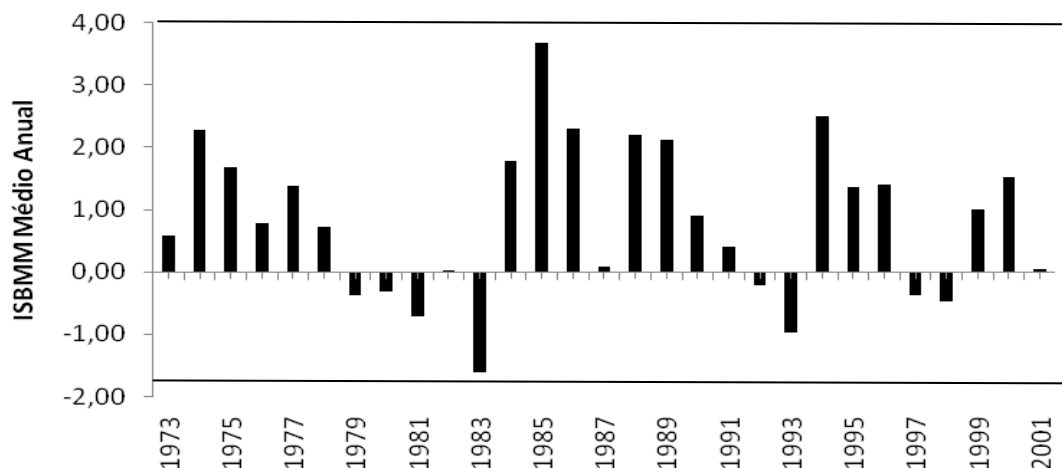


Figura 4.7: Comportamento médio anual do índice de Seca de Bhalme & Mooley Modificado (ISBMM) para a Mesorregião Noroeste do Estado do Ceará

4.2.2) Mesorregião Norte

4.2.2.1) Comportamento temporal dos valores médios mensais do índice de seca

A evolução temporal média mensal dos índices ISSP e ISBMM para a mesorregião Norte do estado do Ceará é apresentada na Figura 4.8. Em condições gerais, é observado que os dois índices mostraram períodos de seca e períodos de umidade extrema para esta mesorregião durante o período de 1973 a 2002.

De acordo com o ISSP os períodos compreendidos entre os anos de 1974 e 1975 e entre os anos de 1985 e 1986 apresentaram condições de umidade extrema ($\text{ISSP} \geq 4$). Nestes períodos o ISBMM oscilou entre valores positivos e negativos e quando os picos positivos foram simétricos ao ISSP percebeu-se que o índice de Palmer superestimou o ISBMM.

O período de maior restrição hídrica para a mesorregião Norte, segundo o ISSP, ocorreu durante os anos de 1979 a 1983, quando este índice indicou condições de seca moderada ($-2,99 < \text{ISSP} < -2,00$) para esta mesorregião. Situação semelhante também foi observada entre os anos de 1992 a 1993 e entre os anos de 1997 e 1999.

Durante os períodos de déficit hídrico, mencionados no parágrafo anterior, percebeu-se que o ISBMM superestimou o ISSP nos picos positivos de umidade.

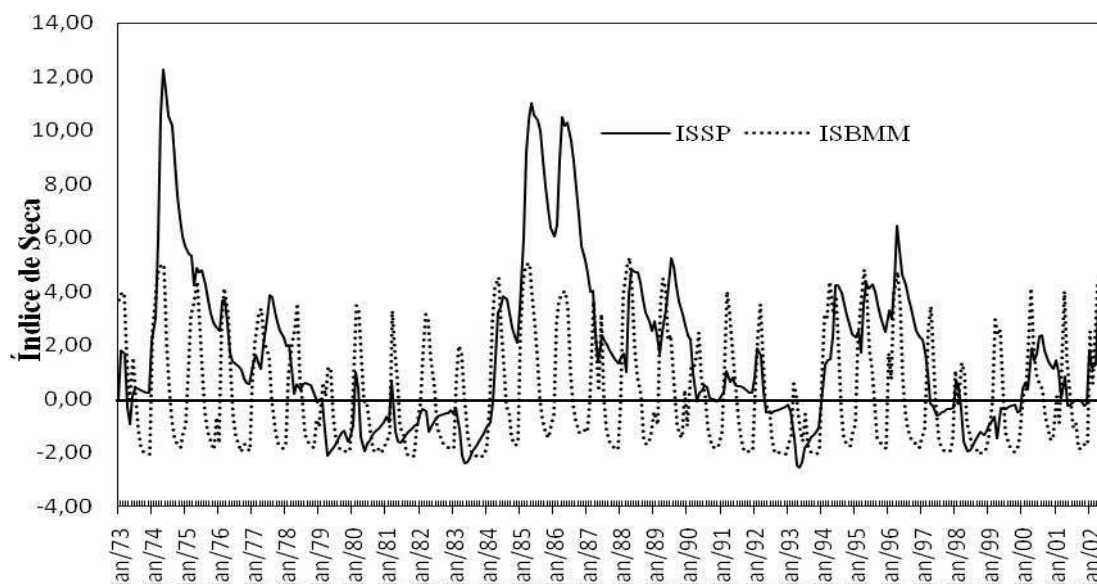


Figura 4.8: Comportamento dos valores médios mensais dos índices de severidade de seca de Palmer (ISSP) e de seca de Bhalme & Mooley Modificado (ISBMM) para o período de 1973 a 2002, para a Mesorregião Norte do Estado do Ceará

4.2.2.2) Frequência dos valores médios mensais do índice de seca

Na Tabela 4.4 é apresentada a frequência média mensal dos índices ISSP e ISBMM para a Mesorregião Norte do Ceará, durante o período de 1973 a 2002.

No mês de janeiro o ISSP não definiu eventos de seca para esta Mesorregião, apenas diagnosticou uma pequena restrição hídrica que resultou em um único evento ligeiramente seco, enquanto que neste mesmo mês do ISBMM definiu 12 eventos desta mesma classificação. De um modo geral os dois índices definiram condições de umidade satisfatórias durante os trinta janeiros observados nesta Mesorregião. Esta mesma configuração também foi observada durante o mês de fevereiro.

Já no mês de março o ISSP manteve as máximas frequências para as condições aproximadamente normais ($-1 < \text{ISSP} < 1$), entretanto o ISBMM atribuiu condições muito úmidas ($3 < \text{ISBMM} < 4$) como sendo dominante para esta Mesorregião. Mesmo padrão foi observado para o mês de abril, sendo que as condições de umidade atingiram o patamar de extremamente úmida ($\text{ISBMM} \geq 4$).

Analisando a Tabela 4.4, observou-se que nenhum dos dois índices evidenciaram para esta Mesorregião eventos de secas considerados como severas ou extremas. Apenas verificou-se através do ISSP 8 eventos de déficit hídrico, durante os meses de abril, maio, junho e julho que resultaram em eventos de seca moderada ($-3 < \text{ISSP} < -2$). Entretanto, de acordo com o ISBMM as frequências de eventos de seca moderada (19 eventos) ocorreram entre os meses de agosto a dezembro.

As máximas freqüências do ISSP (119 eventos) definiram as condições de umidade para a Mesorregião Noroeste como aproximadamente normais ($-1 < \text{ISSP} < 1$), enquanto que o ISBMM definiu esta Mesorregião como ligeiramente seca (140 eventos).

Tabela 4.4: Freqüência média mensal dos índices de severidade de seca de Palmer (ISSP) e de seca de Bhalme & Mooley Modificado (ISBMM) para o período de 1973 a 2002, para a Mesorregião Norte do Estado do Ceará

MESES	≤ -4	-4 a -3	-3 a -2	-2 a -1	-1 a 1	1 a 2	2 a 3	3 a 4	≥ 4
Janeiro	0/0	0/0	0/0	1/12	13/12	5/2	6/3	2/1	3/0
Fevereiro	0/0	0/0	0/0	0/3	11/13	8/3	5/5	3/5	3/1
Março	0/0	0/0	0/0	3/0	10/2	10/4	0/6	1/13	6/5
Abril	0/0	0/0	3/0	5/0	7/1	4/9	3/3	3/7	5/10
Maio	0/0	0/0	2/0	5/1	8/7	3/7	2/3	3/7	7/5
Junho	0/0	0/0	2/0	4/4	9/13	2/4	1/6	2/3	10/0
Julho	0/0	0/0	1/0	5/11	9/13	1/5	2/1	2/0	10/0
Agosto	0/0	0/0	0/2	6/15	9/13	1/0	2/0	5/0	7/0
Setembro	0/0	0/0	0/4	6/21	9/5	3/0	0/0	7/0	5/0
Outubro	0/0	0/0	0/3	6/27	10/0	2/0	3/0	6/0	3/0
Novembro	0/0	0/0	0/7	4/23	12/0	2/0	7/0	2/0	3/0
Dezembro	0/0	0/0	0/3	4/23	12/4	2/0	9/0	0/0	3/0
Totais Anuais	0/0	0/0	8/19	49/140	119/83	43/34	40/27	36/36	65/21

Observação: ISSP/ISBMM ≤ -4 (Seca extrema); $-4 < \text{ISSP/ISBMM} \leq -3$ (Seca severa); $-3 < \text{ISSP/ISBMM} \leq -2$ (Seca moderada); $-2 < \text{ISSP/ISBMM} \leq -1$ (Ligeiramente seco); $-1 < \text{ISSP/ISBMM} < 1$ (Aproximadamente normal); $1 \leq \text{ISSP/ISBMM} < 2$ (Ligeiramente úmido); $2 \leq \text{ISSP/ISBMM} < 3$ (Moderadamente úmido); $3 \leq \text{ISSP/ISBMM} < 4$ (Muito úmido); ISSP/ISBMM $\geq 4,00$ (Extremamente úmido).

4.2.2.3) Modelo de previsão dos valores médios mensais do índice de seca

- Índice de Severidade de Seca de Palmer (ISSP)

Na Figura 4.9 é observado o resultado da auto-regressão, para a mesorregião Norte, baseada na teoria de Markov. Nesta figura foi perceptível a presença de correlação linear positiva entre os eixos x (ISSP_{x-1}) e o eixo y (ISSP_x), resultando no coeficiente de determinação (r^2) igual a 0,94, explicando cerca de 92% da variabilidade do ISSP_x.

Como resultado do modelo de regressão foi obtido à seguinte equação da reta: $\text{ISSP}_x = 0,9738 (\text{ISSP}_{x-1}) + 0,0889$. Logo, a previsão do ISSP para o mês de janeiro de 2003 teve como valor 1,50, o que indica condições ligeiramente úmidas para esta mesorregião.

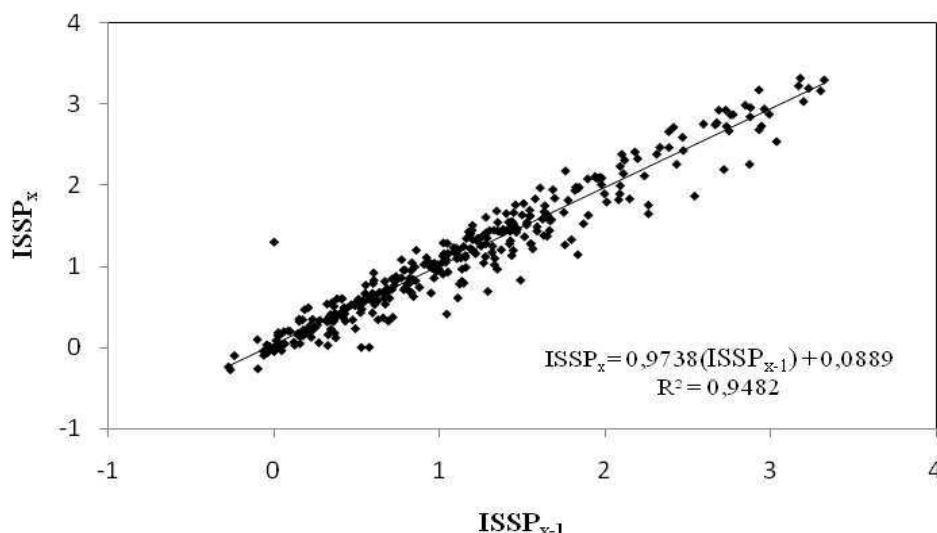


Figura 4.9: Auto-regressão de primeira ordem para o índice de severidade de seca de Palmer (ISSP) mensal para a Mesorregião Norte do Estado do Ceará

- Índice de Seca de Bhalme & Mooley Modificado (ISBMM)

O modelo de previsão do ISBMM para a mesorregião Norte do estado do Ceará, diferentemente do modelo do ISSP, não apresentou um perfeito ajustamento dos valores do $ISBMM_x$ e $ISBMM_{x-1}$ a reta. Como resultado foi observado que o coeficiente de determinação (r^2) foi de aproximadamente 0,59.

A previsão do valor mensal do índice de seca de Bhalme & Mooley Modificado (ISBMM) para esta mesorregião pode ser obtida pela seguinte equação da reta: $ISBMM_x = 0,7665 * (ISBMM_{x-1}) + 0,0022$. Como resultado a previsão do ISBMM para Jan/2003 seria de -1,39.

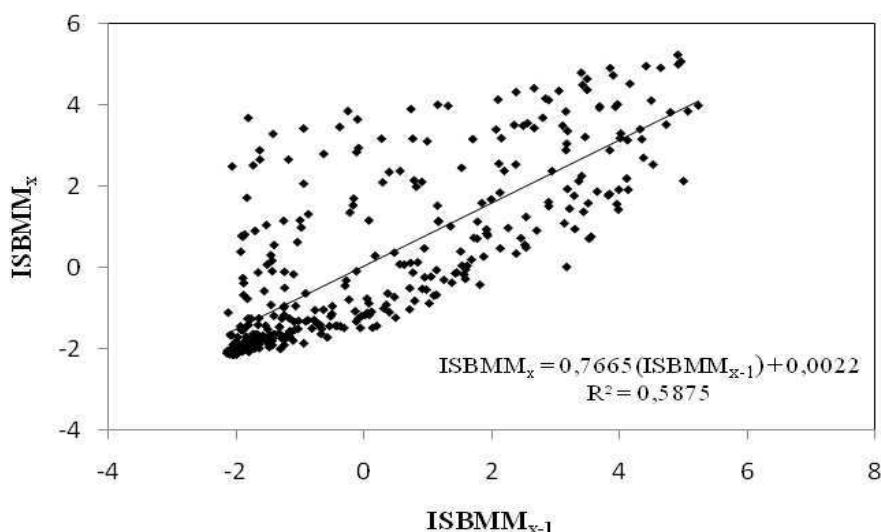


Figura 4.10: Auto-regressão de primeira ordem para o Índice de Seca de Bhalme & Mooley Modificado (ISBMM) mensal para a Mesorregião Norte do Estado do Ceará

Na análise estatística desta mesorregião (Tabela 4.5) observou-se que o modelo proposto por Palmer foi o que melhor se ajustou a todos os modelos, entretanto notou-se que o ISBMM apresentou melhor ajustamento com a concordância proposta Willmott (d) e com relação aos modelos d e c o ISBMM apresentou a previsão ineficiente.

Tabela 4.5: Análise estatística da diferença entre os índices de severidade de seca de Palmer (ISSP) e de Seca de Bhalme & Mooley Modificado (ISBMM) mensais para a Mesorregião Norte do Estado do Ceará

Grau de Ajustamento dos Modelos	Índice de Seca	
	ISSP	ISBMM
r - Coeficiente de Correlação de Pearson	1,03	0,01
d - Concordância de Willmott	0,98	0,88
c - Confiança de Camargo & Sentelhas	1,01	0,01

4.2.2.4) Comportamento médio anual dos índices de seca

- Índice de severidade de seca de Palmer (ISSP)

A Figura 4.11 mostra o comportamento médio anual do ISSP para a mesorregião Norte do estado do Ceará. De acordo com este índice, esta mesorregião apresentou restrição hídrica moderada para os períodos de 1979 a 1983 e 1990 a 1993, e condições de umidade aproximadamente normais ($-0,99 < \text{ISSP} < 0,99$) foram verificadas entre os anos de 1996 a 1999.

Condições extremamente úmidas ($\text{ISSP} \geq 4$) foram observadas nos anos de 1974, 1985 e 1986. Nos anos de 1975, 1987, 1988 e 1999, o ISSP apresentou valores superiores a 2 e inferiores a 3, classificando a mesorregião Norte do estado como muito úmida.

O ISSP definiu o ano de 1983 como sendo o ano mais seco ($-3 < \text{ISSP} < -4$) e nesta ocasião a classificação da umidade para esta mesorregião variou de seca moderada a extrema. É conveniente salientar que o ano de 1983 foi marcado pela presença do fenômeno El Niño nas águas do Pacífico e que este fenômeno climático contribuiu de forma considerável na redução dos totais pluviométricos observados no Nordeste do Brasil (REPELLI e ALVES, 1996).

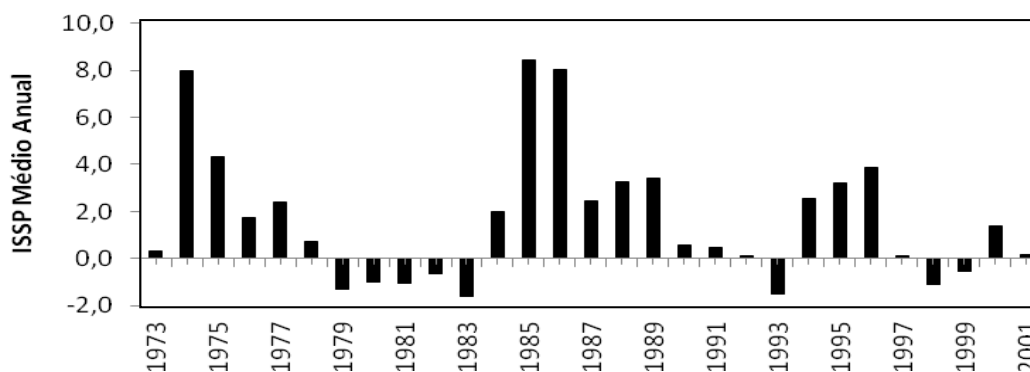


Figura 4.11: Comportamento médio anual do índice de severidade de seca de Palmer de 1973 a 2002, para a Mesorregião Norte do Estado do Ceará

- Índice de Seca de Bhalme & Mooley Modificado (ISBMM)

O comportamento médio anual do ISBMM durante o período de 1973 a 2002 para a mesorregião Norte do Estado do Ceará (Figura 4.12) mostrou-se similar ao comportamento observado no ISSP, entretanto observou-se a diferença entre a intensidade dos eventos diagnosticados por cada índice. Notou-se que tanto as condições de secas quanto as de umidade extrema definidas pelo ISSP sobreestimaram as condições definidas pelo ISBMM.

Neste contexto de sobreestimação merece destaque o ano de 1974, onde o ISBMM atribuiu condições ligeiramente úmidas ($1 < \text{ISBMM} < 1,99$), enquanto que o ISSP (Figura 4.11) definiu este ano como sendo extremamente úmido ($\text{ISSP} \geq 4$). Situação semelhante foi observada durante o ano de 1975.

O período compreendido entre os anos de 1978 a 1983 foi um período de restrição hídrica para esta mesorregião, porém apenas os anos de 1979, 1981 e 1983 apresentaram condições ligeiramente secas ($-1,99 < \text{ISBMM} < -1$).

No ano de 1987 o ISBMM (Figura 4.12) classificou a mesorregião Norte do estado como aproximadamente normal ($-0,99 < \text{ISBMM} < 0,99$), em termos de umidade, entretanto o ISSP (Figura 4.11) definiu esta mesorregião neste mesmo ano como sendo moderadamente úmida ($2 < \text{ISBMM} < 2,99$).

O período compreendido entre os anos de 1990 a 1991 apresentaram, de acordo com o ISBMM, restrição hídrica, porém, apenas o ano de 1993 foi definido como ligeiramente seco ($-1,99 < \text{ISBMM} < -1$). Esta condição de restrição hídrica também foi observada entre o período de 1996 a 1999 e durante o ano de 2000.

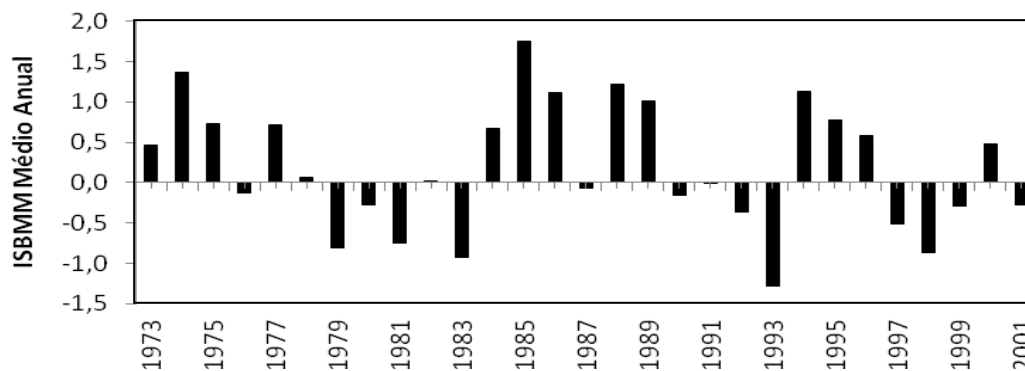


Figura 4.12: Comportamento médio anual do índice de Seca de Bhalme & Mooley Modificado (ISBMM) para a Mesorregião Norte do Estado do Ceará

4.2.3) Mesorregião Metropolitana

4.2.3.1) Comportamento temporal dos valores médios mensais do índice de seca

O comportamento médio mensal dos índices de seca ISSP e ISBMM calculados para a mesorregião Metropolitana do estado do Ceará durante o período de 1973 a 2002 é mostrado na Figura 4.13.

A evolução temporal média destes índices apresentou períodos de deficiência hídrica e eventos de umidade extrema para esta mesorregião e também foi observado que o ISSP sobreestimou o ISBMM tanto nos picos positivos quanto nos negativos.

No período compreendido entre os anos de 1973 a 1977, o ISSP manteve-se positivo apresentando uma classificação de umidade para esta mesorregião variando de aproximadamente normal a extremamente úmida, ou seja, os valores calculados para este índice estiveram compreendidos entre 0 (zero) e 4. Neste mesmo intervalo de tempo o ISBMM oscilou entre valores negativos e positivos, evidenciando um período de seca moderada ($-2,99 < \text{ISBMM} < -2,00$) observado no final do ano de 1973.

Entre os anos de 1978 e 1983 o ISSP definiu para esta mesorregião um período de deficiência hídrica, exceto em um pico positivo observado no ano de 1980. Já o ISBMM manteve-se oscilando entre valores positivos e negativos. Neste período foi observado que o ISBMM entre os anos de 1980 e 1981 apresentou picos negativos que coincidiram com ISSP, onde ambos os índices definiram período seco para esta mesorregião, porém o mesmo não foi observado para os picos positivos.

No intervalo de tempo entre os anos de 1984 a 1988, o ISSP não definiu situações de restrições hídricas para esta mesorregião. Neste período o ISSP atingiu seu máximo valor positivo, ou seja, umidade extrema (nos anos de 1985 e 1986). O ISBMM, neste período, apresentou alguns picos de umidade extrema ($\text{ISBMM} \geq 4$) e

períodos com pequena restrição hídrica, classificando apenas um evento ligeiramente seco observado durante o mês de novembro de 1987.

O ISSP também definiu outros períodos de restrições hídricas observados entre os anos de 1990 a 1993 e de 1997 a 2000. Nestes períodos o ISBMM apresentou picos positivos (umidade extrema – $ISBMM \geq 4$), logo, neste intervalo de tempo os índices apresentaram classificação antagônica. Entre os anos de 2000 a 2002 os dois índices apresentaram comportamento semelhante, coincidindo inclusive picos positivos.

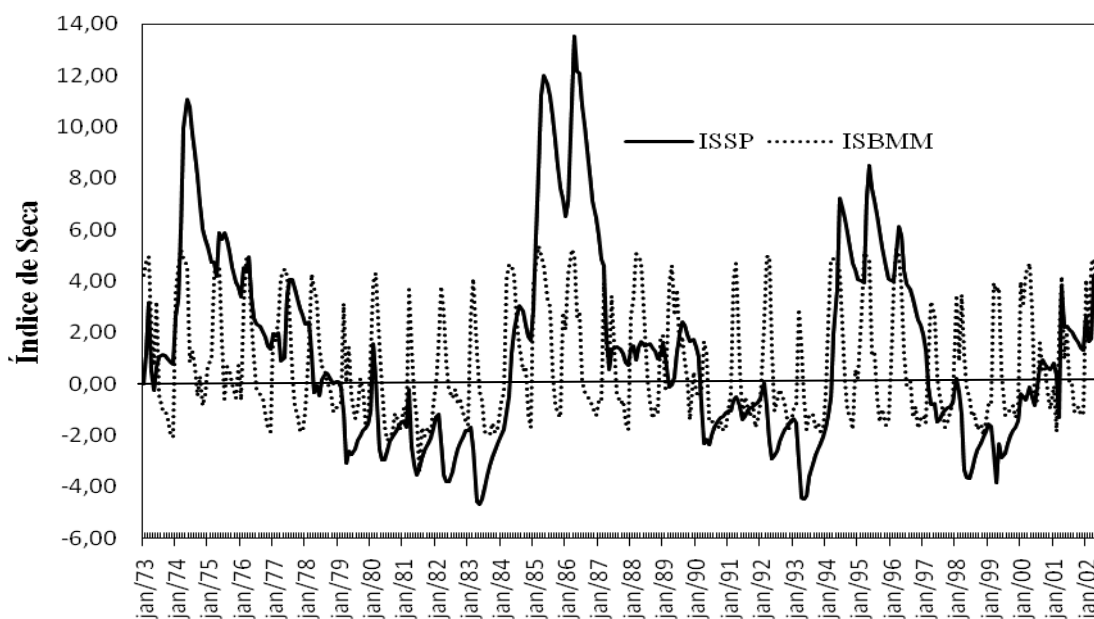


Figura 4.13: Comportamento dos valores médios mensais dos índices de severidade de seca de Palmer (ISSP) e de seca de Bhalme & Mooley Modificado (ISBMM) para o período de 1973 a 2002, para a Mesorregião Metropolitana do Estado do Ceará

4.2.3.2) Frequência dos valores médios mensais do índice de seca

As frequências médias mensais do ISSP e ISBMM para a mesorregião Metropolitana do estado do Ceará, durante o período de 1973 a 2002, são mostradas na Tabela 4.6. Observou-se que as máximas frequências do ISSP ocorreram para as condições extremas de umidade ($ISSP \geq 4$) onde foram diagnosticados 77 eventos, enquanto que o ISBMM apresentou seu máximo de ocorrência (124 eventos) para as condições de umidade extremamente normais ($-1 < ISBMM < 1$).

Nesta média mensal observou-se que os eventos de seca extrema ($ISSP \leq -4$) foram destacados apenas no ISSP, durante o quadrimestre de abril a julho. De acordo com Barra (2002) cerca de 41% da área do Ceará, neste período é atingido pela ocorrência de seca com diferentes graus de severidade.

A ocorrência de seca moderada ($-3 < \text{ISSP} < -2$) de acordo com o ISSP só não ocorreu entre os meses de janeiro e fevereiro. Nestes meses a ocorrência de condições de seca nesta mesorregião de acordo com Barra (2002) é praticamente insignificante abrangendo uma área inferior a 1%. Já o ISBMM apresentou a classificação de seca moderada ($-3 < \text{ISBMM} < -2$) apenas para os meses de julho, agosto, setembro e dezembro, sendo que em todos estes meses as frequências de ocorrência do ISBMM foram inferiores as do ISSP.

A exceção dos meses de abril e maio a ocorrência de períodos ligeiramente secos (-2 a -1) foram observados pelos dois índices e as máximas frequências de ocorrências do ISSP e ISBMM foram respectivamente: 9 eventos (janeiro) e 26 eventos (novembro).

As condições de umidade aproximadamente normais (-1 a 1) também foram evidenciadas pelos dois índices, e como foi mencionado anteriormente, esta foi a classificação que o ISBMM apresentou o máximo de ocorrências, é conveniente mencionar que no mês de abril este índice não apresentou nenhuma ocorrência desta classificação. Já o ISSP definiu o mês de agosto como sendo o que apresentou a maior frequência de ocorrência para as condições de umidade aproximadamente normais (19 eventos).

De acordo com o ISSP a mesorregião Metropolitana apresentou condições ligeiramente úmidas ($1 < \text{ISSP} < 2$) em 49 eventos distribuídos ao longo dos meses. Já o ISBMM durante o trimestre de setembro a novembro não definiu esta classificação para a mesorregião.

Eventos moderadamente úmidos (2 a 3) foram identificados pelos dois índices que apresentaram uma frequência total anual semelhantes, 26 e 24 eventos para o ISBMM, respectivamente. Nesta frequência merecem destaque os meses de agosto a dezembro que não apresentaram nenhum evento para esta classificação.

Condições muito úmidas e extremas apresentaram uma distribuição de frequência similar para os dois índices, sendo que o ISBMM definiu apenas o primeiro semestre para esta classificação.

Tabela 4.6: Frequência média mensal dos índices de severidade de seca de Palmer (ISSP) e de seca de Bhalme & Mooley Modificado (ISBMM) para o período de 1973 a 2002, para a Mesorregião Metropolitana do Estado do Ceará.

MESES	≤ -4	-4 a -3	-3 a -2	-2 a -1	-1 a 1	1 a 2	2 a 3	3 a 4	≥ 4
Janeiro	0/0	0/0	0/0	9/3	6/16	5/2	4/3	1/4	5/2
Fevereiro	0/0	0/0	0/0	8/3	6/10	7/4	1/4	1/5	7/4
Março	0/0	0/0	4/0	4/0	10/1	3/2	0/2	2/7	7/18
Abril	2/0	4/0	4/0	0/0	8/0	3/7	0/2	1/3	8/18
Maio	2/0	3/0	5/0	0/0	7/10	3/3	1/5	2/4	7/8
Junho	2/0	3/0	5/0	2/6	3/9	3/5	3/3	2/4	7/3
Julho	1/0	4/1	4/1	3/6	2/14	4/4	3/4	2/0	7/0
Agosto	0/0	2/0	7/1	3/7	2/19	3/3	3/0	3/0	7/0
Setembro	0/0	1/0	7/1	3/13	3/16	4/0	3/0	3/0	6/0
Outubro	0/0	0/0	5/0	5/13	5/17	5/0	2/0	2/0	6/0
Novembro	0/0	0/0	5/0	5/26	7/4	4/0	3/0	1/0	5/0
Dezembro	0/0	0/0	2/1	8/19	6/8	5/1	3/1	1/0	5/0
Totais Anuais	7/0	17/1	48/4	50/96	65/124	49/31	26/24	21/27	77/53

Observação: ISSP/ISBMM ≤ -4 (Seca extrema); -4 < ISSP/ISBMM ≤ -3 (Seca severa); -3 < ISSP/ISBMM ≤ -2 (Seca moderada); -2 < ISSP/ISBMM ≤ -1 (Ligeiramente seco); -1 < ISSP/ISBMM < 1 (Aproximadamente normal); 1 ≤ ISSP/ISBMM < 2 (Ligeiramente úmido); 2 ≤ ISSP/ISBMM < 3 (Moderadamente úmido); 3 ≤ ISSP/ISBMM < 4 (Muito úmido); ISSP/ISBMM ≥ 4,00 (Extremamente úmido).

4.2.3.3) Modelo de previsão dos valores médios mensais do índice de seca

- Índice de Severidade de Seca de Palmer (ISSP)

Semelhante as mesorregiões anteriormente analisadas o modelo de previsão do ISSP para a mesorregião Metropolitana (Figura 4.14) apresentou uma correlação linear positiva, onde se observou o perfeito ajustamento dos dados à reta de regressão. O coeficiente de determinação (r^2) observado foi de 0,95 explicando cerca de 95% da variação do $ISSP_{x-1}$ em função do $ISSP_x$.

A previsão do ISSP para janeiro de 2003, calculada a partir da equação da reta fornecida pelo modelo $ISSP_x = 0,9757 (ISSP_{x-1}) + 0,08$ apresentou o valor de 1,39, indicando que neste mês este índice indicou condições ligeiramente úmidas para esta mesorregião.

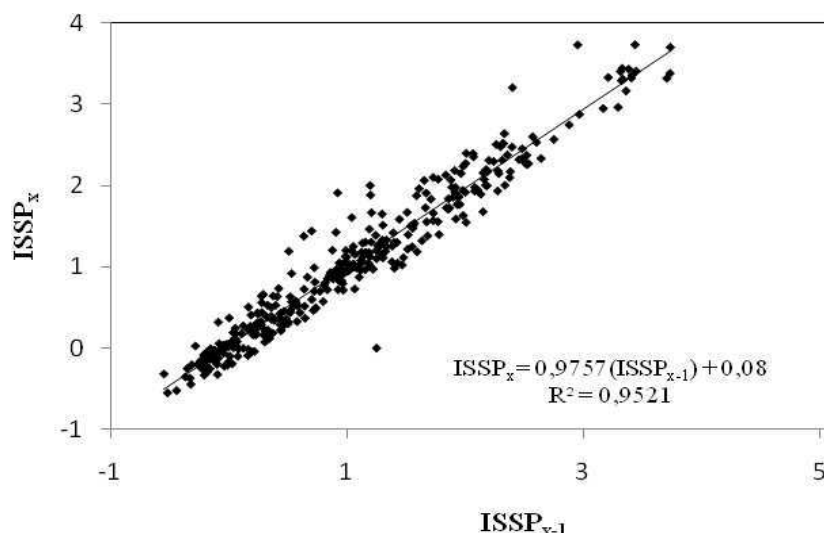


Figura 4.14: Auto-regressão de primeira ordem para o índice de severidade de seca de Palmer (ISSP) mensal para a Mesorregião Metropolitana do Estado do Ceará

- Índice de Seca de Bhalme & Mooley Modificado (ISBMM)

De acordo com o modelo de previsão do ISBMM para a mesorregião Metropolitana (Figura 4.15) observou-se que os dados apresentaram uma dispersão em relação à reta. Neste modelo observou-se que o coeficiente de determinação foi inferior a 50% (0,49) representando que este índice não apresentou uma adequação eficiente para a previsão de secas nesta mesorregião.

A equação da reta fornecida por este modelo foi: $ISBMM_x = 0,7062 \cdot (ISBMM_{x-1}) + 0,2136$, a partir dela obteve-se a previsão para o mês de janeiro do ISBMM, cujo resultado encontrado foi de -0,37, logo, neste mês de acordo com este índice de seca as condições de umidade nesta mesorregião foram aproximadamente normais.

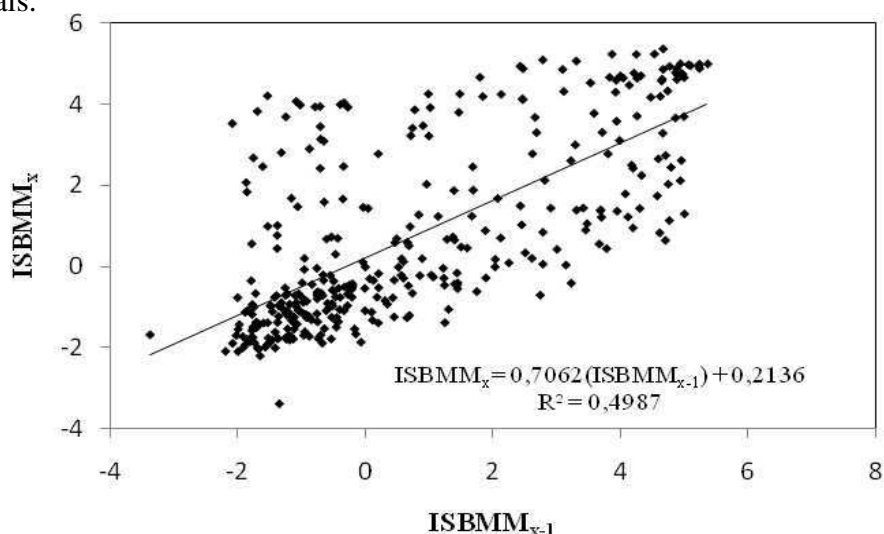


Figura 4.15: Auto-regressão de primeira ordem para o Índice de Seca de Bhalme & Mooley Modificado (ISBMM) mensal para a Mesorregião Metropolitana do Estado do Ceará

Na tabela 4.7 foi observado o grau de ajustamento dos índices ISSP e ISBMM com os modelos r d e c. Na tabela percebeu-se que o ISSP se adequou perfeitamente aos três modelos enquanto que o ISBMM apresentou um melhor ajustamento com a Concordância de Willmott. Logo, nesta mesorregião de acordo com a análise estatística a previsão do ISSP mostrou-se melhor padrão de ajustamento.

Tabela 4.7: Análise estatística da diferença entre os índices de severidade de seca de Palmer (ISSP) e de Seca de Bhalme & Mooley Modificado (ISBMM) mensais para a Mesorregião Metropolitana do Estado do Ceará

Grau de Ajustamento dos Modelos	Índice de Seca	
	ISSP	ISBMM
r - Coeficiente de Correlação de Pearson	1,03	0,01
d - Concordância de Willmott	0,99	0,85
c - Confiança de Camargo & Sentelhas	1,01	0,01

4.2.3.4) Comportamento médio anual dos índices de seca

- Índice de severidade de seca de Palmer (ISSP)

O comportamento médio anual do ISSP para a mesorregião Metropolitana do estado do Ceará é mostrado na Figura 4.14, onde se percebeu ao longo do período analisado (1973 – 2002) foram definidos eventos de seca e de umidade extrema nesta mesorregião.

Nos períodos de 1979 a 1983, de 1990 a 1993 e de 1997 a 1999 o ISSP definiu condições de restrição hídrica para esta mesorregião, estas restrições resultaram em eventos de seca moderada ($-2,99 < \text{ISSP} < -2$) nos anos de 1981, 1982, 1993, 1998 e 1999, e no ano de 1983 observou-se condições de seca severa ($-3,99 < \text{ISSP} < -3$) para esta mesorregião.

A mesorregião Metropolitana apresentou condições de umidade aproximadamente normais ($-1 < \text{ISSP} < 1$) nos anos de 1973, 1978, 1984 e no ano de 2000.

De acordo com o ISSP a mesorregião Metropolitana apresentou condições de umidade extrema ($\text{ISSP} \geq 4$) nos anos de 1974, 1975, 1985, 1986 e 1995. Sendo os anos de 1985 e 1986 definidos como os mais úmidos ao longo dos trinta anos analisados.

Condições muito úmidas ($3 < \text{ISSP} < 4$) foram observadas nos anos de 1994, 1996 e 2002 e condições de umidade moderadas ($2 < \text{ISSP} < 3$) registraram-se nos anos de 1976, 1977 e 1987.

Em síntese observou-se que o comportamento médio anual do ISSP nesta mesorregião apresentou condições umidade variando de períodos de secas severas a condições de umidade extremas distribuídas ao longo de todo período analisado.

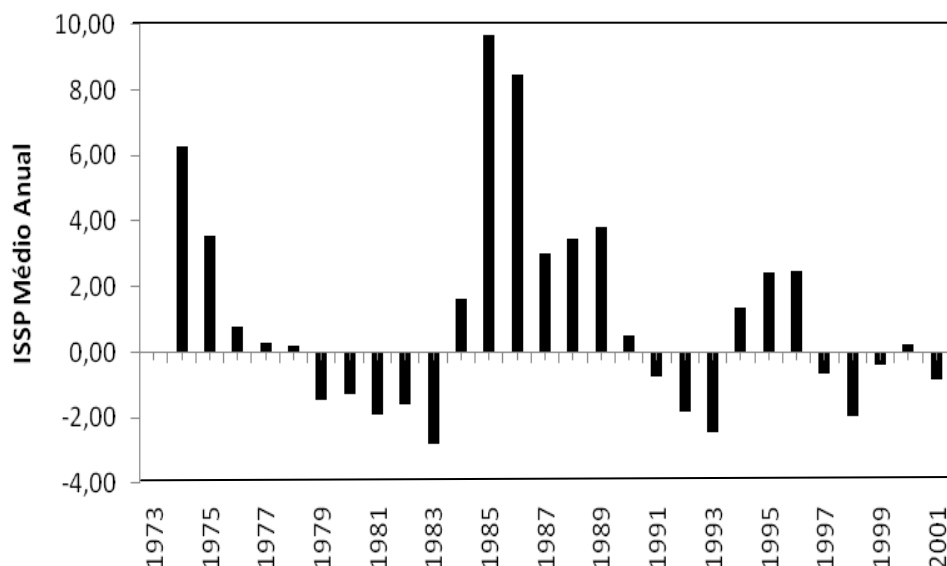


Figura 4.16: Comportamento médio anual do índice de severidade de seca de Palmer de 1973 a 2002, para a Mesorregião Metropolitana do Estado do Ceará

- Índice de Seca de Bhalme & Mooley Modificado (ISBMM)

Diferentemente do ISSP o comportamento médio do ISBMM na mesorregião Metropolitana do estado do Ceará (Figura 4.15) não definiu eventos de umidade extrema e nem de deficiência hídrica que caracterizassem eventos de seca nesta mesorregião.

Observou-se durante os períodos compreendidos entre os anos de 1979 a 1983, no ano de 1987, de 1990 a 1993, de 1997 a 1999 e no ano de 2001 o ISBMM apresentou para esta mesorregião condições de déficit hídrico, porém insuficiente para caracterização de seca, logo de acordo com este índice esta mesorregião durante todo este período descrito manteve-se com condições de umidade aproximadamente normais ($-0,99 < \text{ISBMM} < 0,99$).

Os anos definidos como ligeiramente úmidos ($1 < \text{ISBMM} < 1,99$) pelo ISBMM foram: 1973, 1975, 1977, 1984, 1986, 1988 a 1989, e de 1994 a 1996 e no ano de 2000.

Semelhante a classificação do ISSP o ISBMM definiu o ano de 1985 como sendo o mais úmido para esta mesorregião, porém a classificação atribuída pelo ISBMM foi de moderadamente úmida ($2 < \text{ISBMM} < 2,99$), enquanto que o ISSP

definiu este ano como extremamente úmido, ou seja, a classificação do ISBMM foi subestimada pelo ISSP.

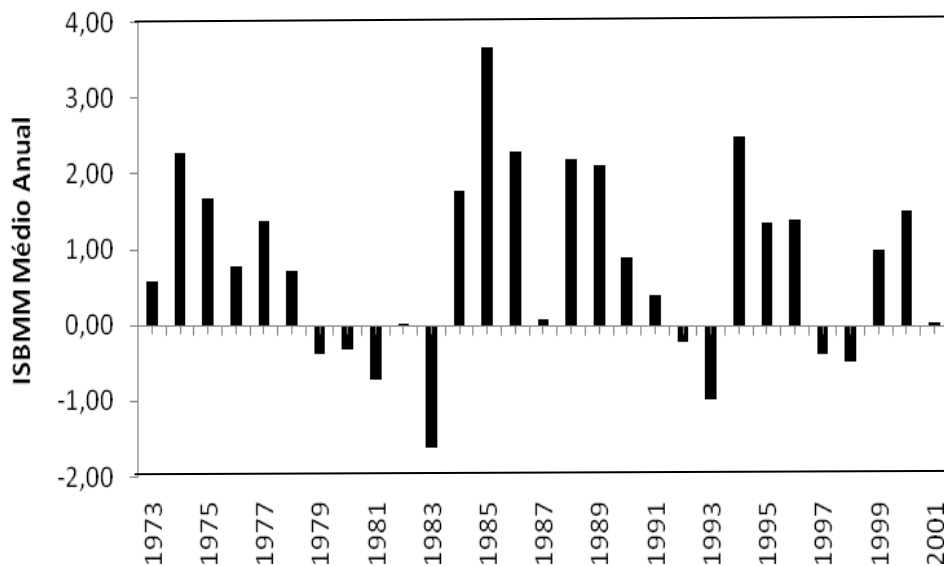


Figura 4.17: Comportamento médio anual do índice de Seca de Bhalme & Mooley Modificado (ISBMM) para a Mesorregião Metropolitana do Estado do Ceará

4.2.4) Mesorregião Sertão

4.2.4.1) Comportamento temporal dos valores médios mensais do índice de seca

A evolução temporal dos índices ISSP e ISBMM durante o período de 1973 a 2002 para a mesorregião Sertão do estado do Ceará é mostrada na Figura 4.16, na qual se observou que durante maior parte de todo período analisado o ISSP manteve-se positivo indicando condições de umidade satisfatórias para esta mesorregião. Ao mesmo tempo percebeu-se que o ISBMM estabeleceu eventos de secas intercalados por eventos de umidade satisfatórios.

De acordo com Sansigolo (2004) o comportamento destes dois índices na definição das características dos eventos é bem distinto, pois eles apresentam fundamentos físicos diferentes, visto que o ISSP, além da precipitação ainda inclui o balanço hídrico no solo.

Os períodos de déficit hídrico definidos pelo ISSP, que não entando não foram considerados como seca nesta mesorregião ocorreu nos anos de 1979, 1982, 1983, 1989 e 1993. Dentre estes anos merece destaque os anos de 1982 e 1983 (abril de 1982 a junho de 1983) por serem tratados na literatura científica como anos de El Niño que reduz consideravelmente os totais pluviométricos observados no Nordeste do Brasil (CPC/NCEP), entretanto o ISSP nesta mesorregião não se mostrou sensível a influência deste fenômeno.

Nos demais anos o ISSP oscilou entre condições de umidade aproximadamente normais a eventos de umidade extrema.

Já o comportamento temporal do ISBMM apresentou eventos de seca e de condições de umidade extrema, e em alguns picos positivos este índice coincidiu com o ISSP como pode ser observados nos de 1977, 1980, 1981, 1991, 1992, 1996 e 1997.

De um modo geral notou-se que o ISBMM apresentou a classificação que melhor se enquadra com as condições hídricas desta mesorregião.

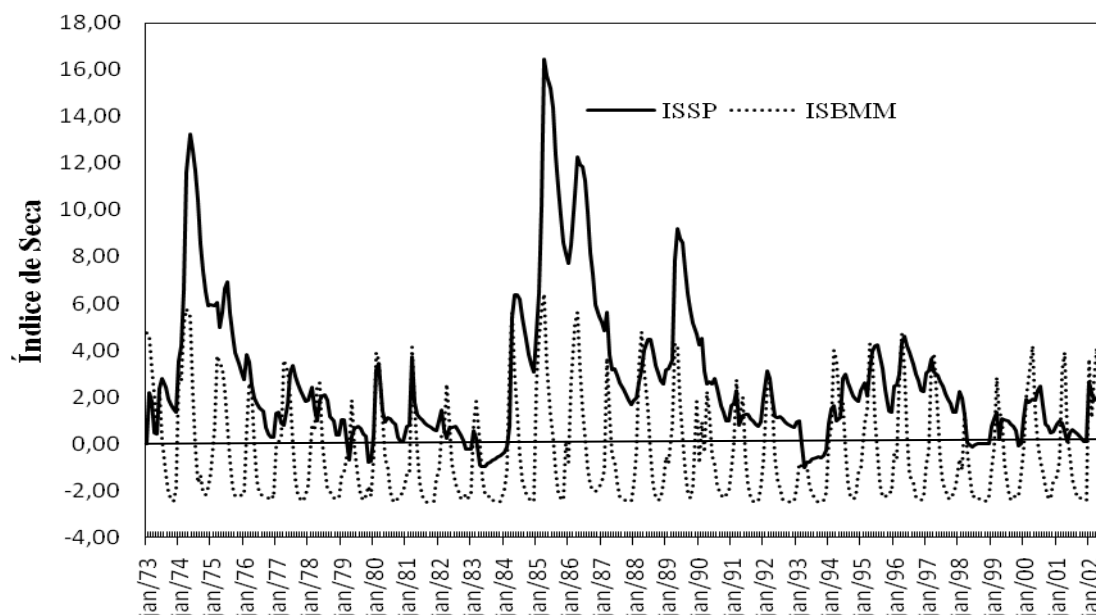


Figura 4.18: Comportamento dos valores médios mensais dos índices de severidade de seca de Palmer (ISSP) e de seca de Bhalme & Mooley Modificado (ISBMM) para o período de 1973 a 2002, para a Mesorregião Sertão do Estado do Ceará

4.2.4.2) Frequência dos valores médios mensais do índice de seca

A partir da Tabela de frequência média mensal do ISSP e ISBMM para a mesorregião Sertão do Ceará (Tabela 4.8) observou-se que as máximas frequências de ocorrências destes índices foram 120 casos para condições de umidade aproximadamente normais (-1 a 1) para o ISSP, e de 125 eventos para condições de seca moderada (-3 a -2) definidos pelo ISBMM. Eventos de seca severa e extrema não foram evidenciados por nenhum dos dois índices.

Esta análise inicial evidenciou que para esta mesorregião os períodos de seca que ocorreram durante todo período analisado (1973 a 2002) foram apenas representados os eventos moderados e estes foram todos identificados pelo ISBMM.

Diversos autores (HAVENS, 1969; STEILA, 1971; ALLEY, 1984 e 1985; GUTTMAN, 1991) demonstraram que o ISSP não era um bom indicador das condições de umidade, particularmente, nos períodos secos.

Os eventos de seca moderada definidos pelo ISBMM só não foram observados entre os meses de fevereiro a maio e a máxima frequência de ocorrência desta classificação (30 eventos) foi registrada no mês de outubro.

Do mesmo modo as condições de seca moderada os períodos ligeiramente secos apresentaram máxima frequência total anual no ISBMM e de acordo com este índice os meses de janeiro e agosto foram os que apresentaram as maiores restrições hídricas. De acordo com Barra (2002) o mês de agosto é o mês que apresenta maior incidência de seca moderada, atingindo 58% do estado.

As condições de umidade aproximadamente normais (-1 a 1) de acordo com o ISSP ocorreram durante todos os meses analisados, e o quadrimestre de setembro a dezembro foi o que apresentou as melhores condições de umidade. Já o ISBMM definiu este mesmo quadrimestre como sendo seco.

De um modo geral, o ISSP classificou a mesorregião dos Sertões Cearenses como sendo uma mesorregião que apresentou durante os trinta anos analisados condições de umidade satisfatórias, chegando a frequência de 72 eventos para condições de umidade extrema (ISSP ≥ 4), enquanto que para esta mesma classificação o ISBMM apresentou menos de 50% da frequência de ocorrência do ISSP. Logo nesta mesorregião estes dois índices apresentaram comportamentos contrários.

Tabela 4.8: Frequência média mensal dos índices de severidade de seca de Palmer (ISSP) e de seca de Bhalme & Mooley Modificado (ISBMM) para o período de 1973 a 2002, para a Mesorregião Sertão do Estado do Ceará

MESES	≤ -4	-4 a -3	-3 a -2	-2 a -1	-1 a 1	1 a 2	2 a 3	3 a 4	≥ 4
Janeiro	0/0	0/0	0/2	0/13	10/11	7/0	5/1	3/2	5/1
Fevereiro	0/0	0/0	0/0	0/5	5/17	9/1	5/4	5/1	6/2
Março	0/0	0/0	0/0	0/0	7/7	7/3	5/7	6/8	5/5
Abril	0/0	0/0	0/0	1/0	11/5	5/5	2/5	4/5	7/10
Maio	0/0	0/0	0/0	0/2	8/8	9/7	3/4	2/7	8/2
Junho	0/0	0/0	0/2	0/4	6/13	6/8	7/3	2/0	9/0
Julho	0/0	0/0	0/6	0/11	7/13	5/0	8/0	2/0	8/0
Agosto	0/0	0/0	0/13	0/17	9/0	5/0	7/0	3/0	6/0
Setembro	0/0	0/0	0/26	0/4	13/0	4/0	5/0	2/0	6/0
Outubro	0/0	0/0	0/30	0/0	14/0	4/0	5/0	3/0	4/0
Novembro	0/0	0/0	0/28	0/2	15/0	6/0	3/0	2/0	4/0
Dezembro	0/0	0/0	0/18	0/10	15/1	7/1	2/0	2/0	4/0
Totais Anuais	0/0	0/0	0/125	1/68	120/75	74/25	57/24	36/23	72/20

Observação: ISSP/ISBMM ≤ -4 (Seca extrema); $-4 < \text{ISSP/ISBMM} \leq -3$ (Seca severa); $-3 < \text{ISSP/ISBMM} \leq -2$ (Seca moderada); $-2 < \text{ISSP/ISBMM} \leq -1$ (Ligeiramente seco); $-1 < \text{ISSP/ISBMM} < 1$

(Aproximadamente normal); $1 \leq \text{ISSP}/\text{ISBMM} < 2$ (Ligeiramente úmido); $2 \leq \text{ISSP}/\text{ISBMM} < 3$ (Moderadamente úmido); $3 \leq \text{ISSP}/\text{ISBMM} < 4$ (Muito úmido); $\text{ISSP}/\text{ISBMM} \geq 4,00$ (Extremamente úmido).

4.2.4.3) Modelo de previsão dos valores médios mensais do índice de seca

- Índice de Severidade de Seca de Palmer (ISSP)

O modelo de auto-regressão do ISSP realizado para a mesorregião Sertão do estado do Ceará (Figura 4.19) manteve a presença da correlação linear simples, na qual se verificou que o coeficiente de determinação (r^2) apresentou valor igual a 0,94, significando que 94% da variação do ISSP_x está relacionada com o ISSP_{x-1} .

A partir da equação fornecida pela reta de regressão $\text{ISSP}_x = 0,9701 * (\text{ISSP}_{x-1}) + 0,1137$ obteve-se a previsão do ISSP para o mês de janeiro de 2003 na mesorregião Sertão, onde foi encontrado o valor de 0,82. Este valor do ISSP indicou que neste mês o sertão cearense apresentou condições de umidade aproximadamente normais.

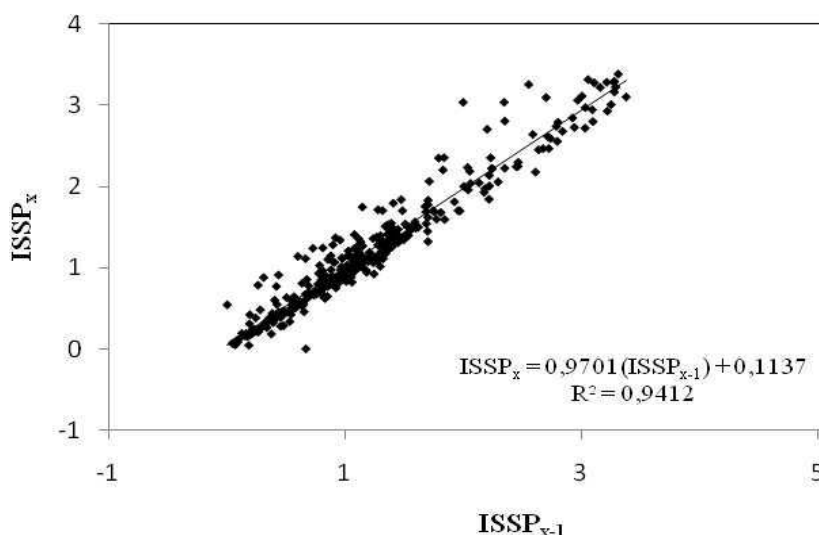


Figura 4.19: Auto-regressão de primeira ordem para o índice de severidade de seca de Palmer (ISSP) mensal para a Mesorregião Sertão do Estado do Ceará

- Índice de Seca de Bhalme & Mooley Modificado (ISBMM)

O modelo de auto-regressão do ISBMM para mesorregião Sertão do estado do Ceará é apresentado na Figura 4.20. Nesta figura observou-se a presença de correlação positiva, porém é visível a dispersão dos pontos em relação à reta. O coeficiente de determinação (r^2) explicou cerca de 55% da variação dos valores do ISBMM_x em relação ao ISBMM_{x-1} nesta mesorregião.

A partir da equação da reta $ISBMM_x = 0,7427*(ISBMM_{x-1}) - 0,2053$, foi realizada a previsão do ISBMM para o mês de janeiro de 2003, obtendo o resultado de -1,57, indicando que esta mesorregião apresentou-se ligeiramente seca.

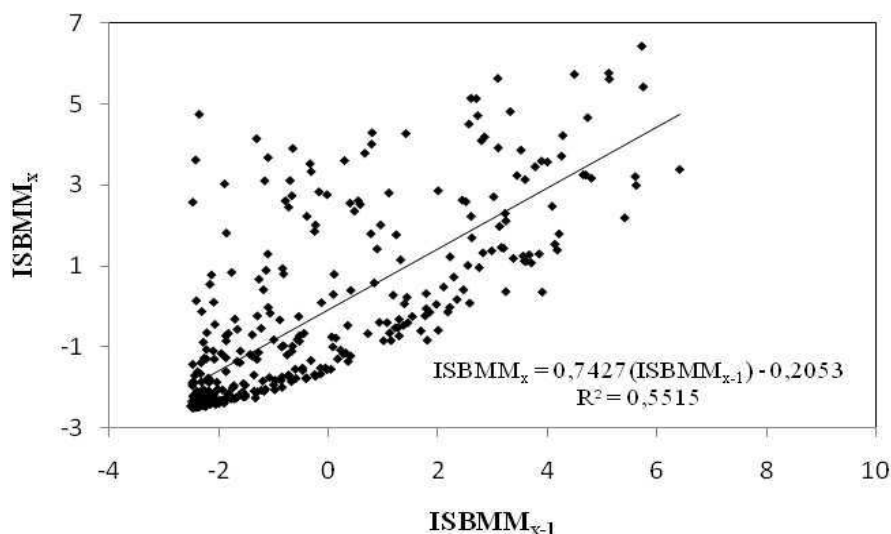


Figura 4.20: Auto-regressão de primeira ordem para o Índice de Seca de Bhalme & Mooley Modificado (ISBMM) mensal para a Mesorregião Sertão do Estado do Ceará

Similar as demais mesorregiões anteriormente analisadas a análise estatística (Tabela 4.9) evidenciou que entre os dois índices de seca utilizados o ISSP foi o que apresentou melhor grau de ajustamento e concordância enquanto que o ISBMM não apresentou uma boa correlação para a previsão de secas nesta mesorregião.

Tabela 4.9: Análise estatística da diferença entre os índices de severidade de seca de Palmer (ISSP) e de Seca de Bhalme & Mooley Modificado (ISBMM) mensais para a Mesorregião Sertão do Estado do Ceará

Grau de Ajustamento dos Modelos	Índice de Seca	
	ISSP	ISBMM
r - Coeficiente de Correlação de Pearson	1,03	0,02
d - Concordância de Willmott	0,98	0,88
c - Confiança de Camargo & Sentelhas	1,01	0,02

4.2.4.4) Comportamento médio anual dos índices de seca

- Índice de severidade de seca de Palmer (ISSP)

O comportamento médio anual do ISSP para a mesorregião Sertão do Ceará durante o período de 1973 a 2002 (Figura 4.17) mostrou que esta mesorregião de acordo com os padrões de classificação de umidade deste índice apresentou condições de umidade satisfatória durante os trinta anos analisados.

Os anos que apresentaram condições de umidade extrema ($ISSP \geq 4$) foram 1974, 1975 e 1985, este último definido como sendo o mais úmido durante os trinta anos analisados.

As condições de umidade consideradas como aproximadamente normais ($-0,99 < ISSP < 0,99$) foram verificadas nos anos de 1979, 1982, 1983, 1993, 1998, 1999 e 2001.

Dentro do contexto de umidade o ISSP definiu como anos ligeiramente úmidos ($1 < ISSP < 1,99$) 1973, 1976, 1978, 1980, 1981, 1991, 1994 e 2000 os demais anos compreendidos no intervalo de 1973 a 2002 e que não foram citados anteriormente apresentaram condições de umidade variando de moderada a muito úmida.

Diante do comportamento médio anual do ISSP constata-se que nesta mesorregião este índice não pode ser como um bom indicador de condições de umidade (HAVENS, 1969; STEILA, 1971; ALLEY, 1984 e 1985; GUTTMAN, 1991), visto que os Sertões Cearenses são caracterizados pela presença de secas.

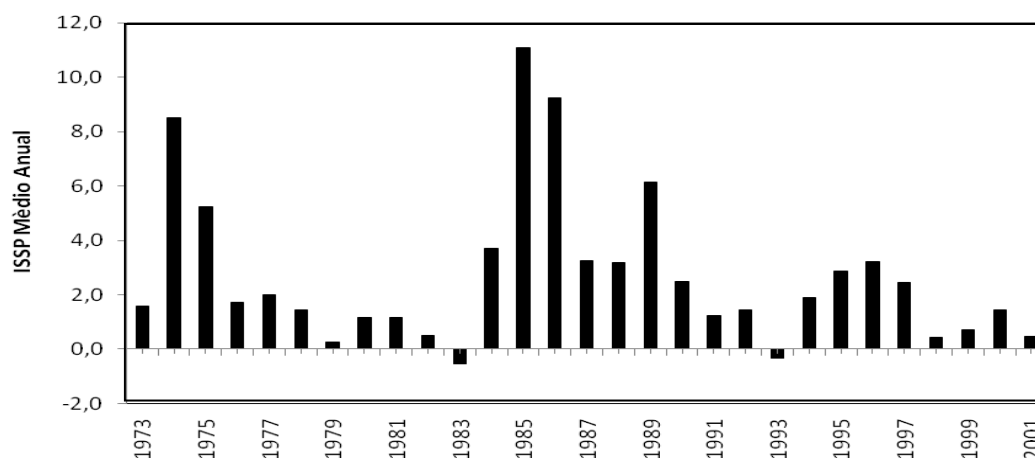


Figura 4.21: Comportamento médio anual do índice de severidade de seca de Palmer de 1973 a 2002, para a Mesorregião Sertão do Estado do Ceará

- Índice de Seca de Bhalme & Mooley Modificado (ISBMM)

Diferentemente do comportamento do ISSP o comportamento médio anual do ISBMM para a mesorregião Sertão do Ceará (Figura 4.18) apresentou períodos de restrições hídricas para esta mesorregião.

De acordo com o ISBMM o período de 1976 a 1984, ano de 1987, entre os anos de 1990 a 1993 e de 1995 a 1999 e em 2001 foram os anos que esta mesorregião apresentou déficit hídrico. Entretanto, esta média anual não permitiu a exibição de eventos de seca que foram perfeitamente observados na evolução temporal do ISBMM.

Os anos ligeiramente secos definidos pelo ISBMM foram 1979, 1981, 1983, 1987, 1993 e 1998. Durante os trinta anos analisados percebeu-se que o comportamento médio anual do ISBMM não apresentou nenhum ano que apresentasse condições de umidade extrema para esta mesorregião. Apenas os anos de 1986, 1989, 1994, 2000 e 2001 apresentaram classificações que oscilaram de aproximadamente normais a ligeiramente úmidos.

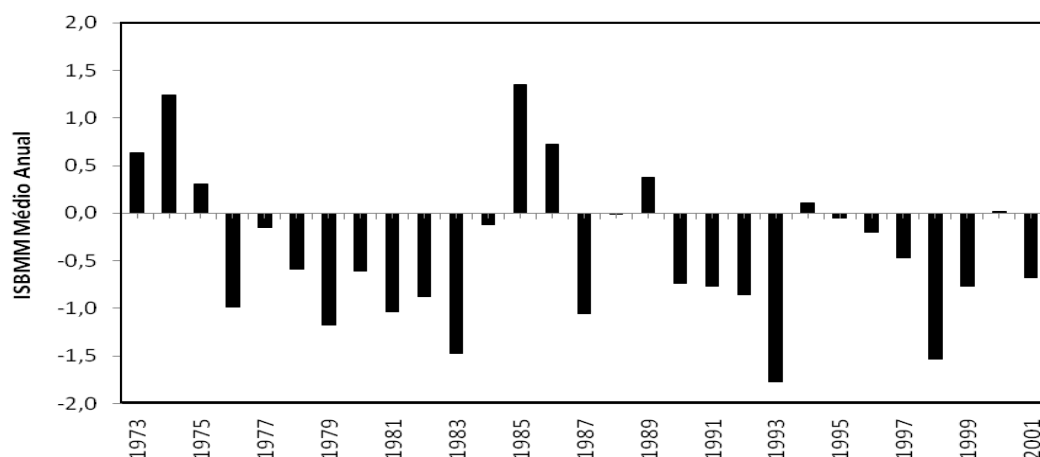


Figura 4.22: Comportamento médio anual do índice de Seca de Bhalme & Mooley Modificado (ISBMM) para a Mesorregião Sertão do Estado do Ceará

4.2.5) Mesorregião Jaguaribe

4.2.5.1) Comportamento temporal dos valores médios mensais do índice de seca

A evolução temporal dos valores médios mensais dos índices ISSP e ISBMM para a mesorregião Jaguaribe é mostrada na Figura 4.23. De um modo geral o ISSP atribuiu boas condições de umidade para esta mesorregião, exceto em alguns picos negativos isolados que indicaram pequena deficiência hídrica, com relação ao ISBMM observou-se que as condições de umidade oscilaram de extrema a eventos de secas moderadas e severas distribuídas ao longo dos trinta anos analisados (1973 – 2002).

O ISSP definiu períodos de deficiência hídrica em alguns meses dos anos de 1976, 1979, 1983, de 1991 a 1994 e de 1998 a 2001. Nestes períodos apenas os meses do ano de 1993 apresentou seca moderada ($-2,99 < \text{ISSP} < -2$) e os demais anos apresentaram eventos ligeiramente secos ($-1,99 < \text{ISSP} < -1$).

Ainda de acordo com a classificação do ISSP o período mais úmido foi observado entre os anos de 1984 a 1990, onde as condições de umidade atingiram o patamar de extrema ($\text{ISSP} \geq 4$).

O comportamento médio anual do ISBMM oscilou entre valores positivos e negativos e em apenas alguns casos este índice sobreestimou os valores positivos do ISSP, como pode ser verificado em alguns picos observados nos anos de 1973, 1977, 1978, 1981 a 1983, 1991, 1992, 1994, 1996, 1997, 1999 a 2002.

Durante o período definido como sendo o mais úmido pelo ISSP (1984 a 1987), o ISBMM apresentou também picos de umidade extrema, entretanto, estes picos apresentaram valores consideravelmente inferiores ao primeiro índice. Nesta mesorregião apenas o ISSP definiu eventos de seca, durante todo o período analisado.

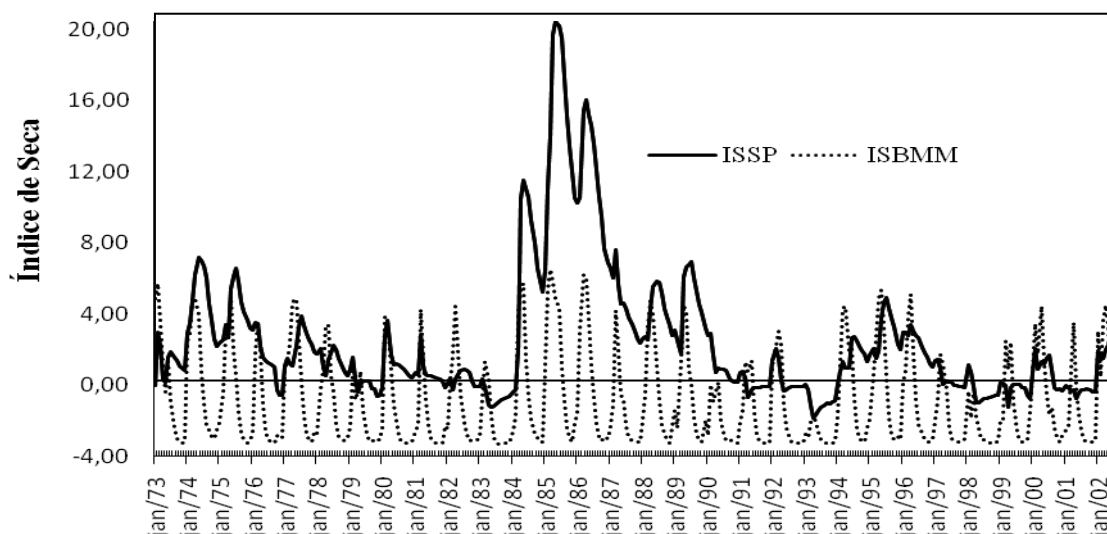


Figura 4.23: Comportamento dos valores médios mensais dos índices de severidade de seca de Palmer (ISSP) e de seca de Bhalme & Mooley Modificado (ISBMM) para o período de 1973 a 2002, para a Mesorregião Jaguaribe do Estado do Ceará

4.2.5.2) Frequência dos valores médios mensais do índice de seca

Similar a mesorregião dos Sertões Cearenses, a Tabela de frequência dos índices ISSP e ISBMM para a mesorregião Jaguaribe para o período de 1973 a 2002 (Tabela 4.10), mostra a ausência de eventos de seca determinadas pelo ISSP.

Nesta mesorregião apenas o ISBMM definiu com maior precisão períodos de deficiência hídrica que ocasionaram nas localidades analisadas desta mesorregião, eventos ligeiramente secos ($-2 < \text{ISBMM} < -1$) e ocorrência de secas severas ($-4 < \text{ISBMM} < -3$).

A máxima frequência de ocorrência do ISBMM ocorreu para as condições de seca extrema ($\text{ISSP} \leq -4$) onde foram registrados 108 casos e o quadrimestre compreendido entre os meses de setembro a dezembro, foi considerado como sendo o mais seco.

Os eventos de seca moderada ($-3 < \text{ISBMM} < -2$), definidos pelo ISBMM, foram registrados em todos os meses e os que apresentaram as maiores restrições de umidade, desta classificação, foram os meses de janeiro (14 eventos), julho, setembro e dezembro, sendo observados 11 eventos para cada mês.

Já os eventos ligeiramente secos ($-2 < \text{ISBMM} < -1$) foram diagnosticados pelos dois índices, porém, o ISSP a frequência total anual (12 casos) inferior ao total anual registrado para o ISBMM (33 casos).

Situação inversa foi verificada para as condições de umidade aproximadamente normais, onde o ISSP apresentou 150 eventos como sendo sua maior frequência anual e o ISBMM definiu apenas 54 eventos para esta classificação. Para as condições de umidade aproximadamente normais o ISSP definiu o intervalo de tempo entre os meses de setembro a dezembro como sendo o que apresentou melhores condições de umidade.

Como mencionado no início desta discussão o ISSP apresentou as máximas frequências anuais para as condições de umidade satisfatórias, ou seja, de acordo com este índice essa mesorregião não apresentou apenas pequena restrição hídrica. Contrariando as classificações do ISSP o ISBMM definiu para esta mesorregião períodos secos e úmidos.

Tabela 4.10: Frequência média mensal dos índices de severidade de seca de Palmer (ISSP) e de seca de Bhalme & Mooley Modificado (ISBMM) para o período de 1973 a 2002, para a Mesorregião Jaguaribe do Estado do Ceará

MESES	≤ -4	$-4 \text{ a } -3$	$-3 \text{ a } -2$	$-2 \text{ a } -1$	$-1 \text{ a } 1$	$1 \text{ a } 2$	$2 \text{ a } 3$	$3 \text{ a } 4$	≥ 4
Janeiro	0/0	0/0	0/14	0/7	13/4	7/2	5/1	2/1	3/1
Fevereiro	0/0	0/0	0/4	0/5	10/11	4/3	11/2	2/3	3/2
Março	0/0	0/0	0/1	1/0	9/5	8/6	5/3	3/8	4/7
Abril	0/0	0/0	0/0	3/2	11/6	6/5	2/2	1/2	7/13
Maio	0/0	0/0	0/2	2/4	12/7	4/5	2/1	2/5	8/6
Junho	0/0	0/1	0/7	2/4	10/9	5/5	3/2	1/1	9/1
Julho	0/0	0/5	0/11	2/3	10/11	4/0	4/0	1/0	9/0
Agosto	0/0	0/13	0/10	1/6	12/1	4/0	3/0	2/0	8/0
Setembro	0/0	0/19	0/11	0/0	15/0	3/0	3/0	2/0	7/0
Outubro	0/0	0/25	0/5	1/0	14/0	5/0	1/0	4/0	5/0
Novembro	0/0	0/28	0/2	0/0	17/0	3/0	4/0	2/0	4/0
Dezembro	0/0	0/17	0/11	0/2	17/0	5/0	3/0	2/0	3/0
Totais Anuais	0/0	0/108	0/78	12/33	150/54	58/26	46/11	24/20	70/30

Observação: $\text{ISSP/ISBMM} \leq -4$ (Seca extrema); $-4 < \text{ISSP/ISBMM} \leq -3$ (Seca severa); $-3 < \text{ISSP/ISBMM} \leq -2$ (Seca moderada); $-2 < \text{ISSP/ISBMM} \leq -1$ (Ligeiramente seco); $-1 < \text{ISSP/ISBMM} < 1$ (Aproximadamente normal); $1 \leq \text{ISSP/ISBMM} < 2$ (Ligeiramente úmido); $2 \leq \text{ISSP/ISBMM} < 3$ (Moderadamente úmido); $3 \leq \text{ISSP/ISBMM} < 4$ (Muito úmido); $\text{ISSP/ISBMM} \geq 4,00$ (Extremamente úmido).

4.2.5.3) Modelo de previsão dos valores médios mensais do índice de seca - Índice de Severidade de Seca de Palmer (ISSP)

O modelo de previsão do ISSP médio mensal para a mesorregião Jaguaribe é mostrado na Figura 4.24. Nesta figura foi observada a presença da regressão linear de 1º ordem, na qual percebeu-se o perfeito ajustamento dos valores a reta de regressão.

Como resultado do modelo de regressão para o período de 1973 a 2002 foi obtido coeficiente de determinação (r^2) igual a 0,956. De posse deste coeficiente pode-se afirmar que o $ISSP_{x-1}$ explica aproximadamente 96% da variabilidade do $ISSP_x$.

A previsão do ISSP para o mês de janeiro de 2003 foi realizada a partir da equação da reta: $ISSP_x = 0,9781*(ISSP_{x-1}) + 0,0562$, e como resultado foi obtido o valor de 0,94, indicando condições de umidade aproximadamente normais neste mês para a mesorregião Jaguaribe.

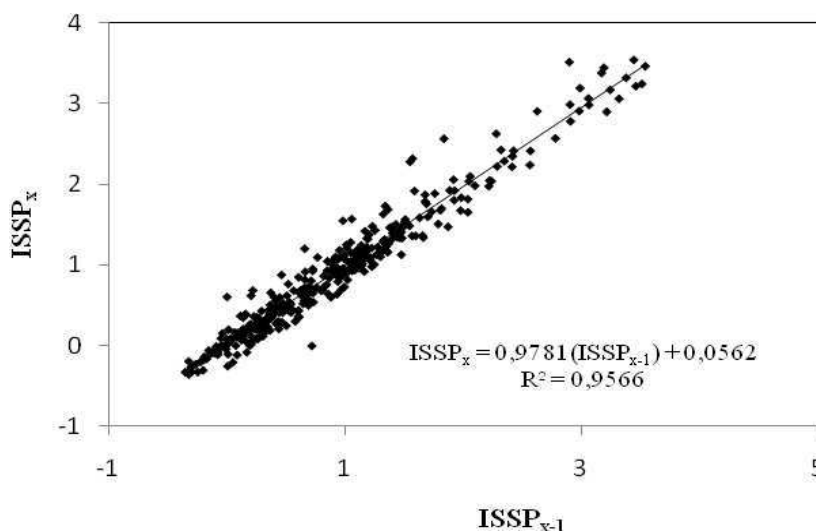


Figura 4.24: Auto-regressão de primeira ordem para o índice de severidade de seca de Palmer (ISSP) mensal para a Mesorregião Jaguaribe do Estado do Ceará

- Índice de Seca de Bhalme & Mooley Modificado (ISBMM)

O modelo de auto-regressão do ISBMM para a mesorregião Jaguaribe do estado do Ceará é mostrado na Figura 4.25. Foi observada a presença da regressão linear, entretanto, percebeu-se que os dados não se ajustaram perfeitamente à reta.

Como resultado deste modelo foi obtida a equação da reta $ISBMM_x = 0,7782*(ISBMM_{x-1}) - 0,2643$, com a qual foi possível a previsão do ISBMM para o mês de janeiro de 2003. O resultado da previsão do ISBMM (-2,09) indicou condição de seca moderada para esta mesorregião durante o mês de janeiro.

O coeficiente de determinação (r^2) obtido através do modelo foi de 0,60, ou seja, mais de 50% da variabilidade do $ISSP_x$ é explicada pelo comportamento do $ISSP_{x-1}$.

1.

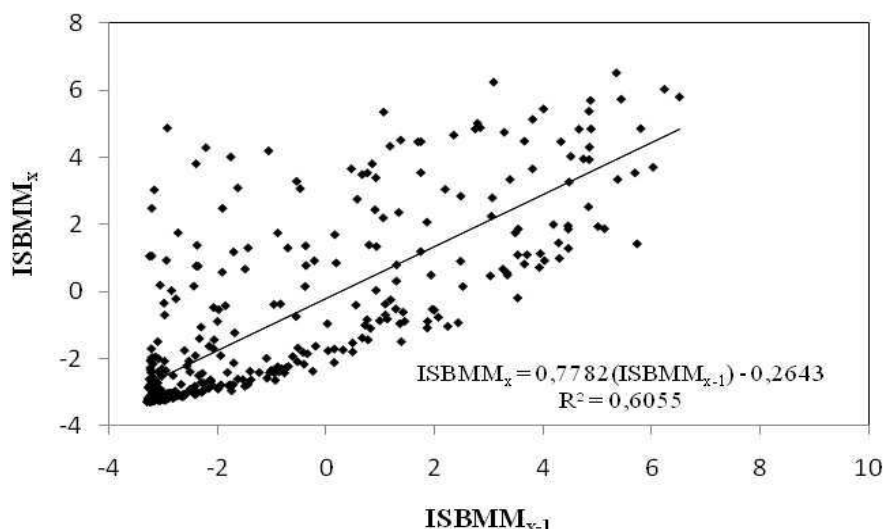


Figura 4.25: Auto-regressão de primeira ordem para o Índice de Seca de Bhalme & Mooley Modificado (ISBMM) mensal para a Mesorregião Jaguaribe do Estado do Ceará

De acordo com a análise estatística observou-se que o índice ISSP apresentou um melhor grau de ajustamento para esta mesorregião, enquanto que o ISBMM mostrou-se avesso a “r” e “c”, porém apresentou uma boa correlação (bem próximo a unidade) a Concordância de Willmott.

Tabela 4.11: Análise estatística da diferença entre os índices de severidade de seca de Palmer (ISSP) e de Seca de Bhalme & Mooley Modificado (ISBMM) mensais para a Mesorregião Jaguaribe do Estado do Ceará

Grau de Ajustamento dos Modelos	Índice de Seca	
	ISSP	ISBMM
r - Coeficiente de Correlação de Pearson	1,03	0,02
d - Concordância de Willmott	0,99	0,90
c - Confiança de Camargo & Sentelhas	1,01	0,02

4.2.5.4) Comportamento médio anual dos índices de seca

- Índice de severidade de seca de Palmer (ISSP)

O comportamento médio anual do ISSP para a mesorregião Jaguaribe (Figura 4.26) mostra que as condições de umidade nesta mesorregião mostraram-se satisfatórias ao longo de todo o período analisado (1973 – 2002), ou seja, períodos secos não foram evidenciados por este índice.

Os anos que apresentaram as condições máximas de umidade (ISSP ≥ 4) foram 1974, 1975, de 1984 a 1989. Já períodos muito úmidos ($3,99 < \text{ISSP} < 4$) não foram registrados por este índice.

Eventos moderadamente úmidos ($2 < \text{ISSP} < 2,99$) ocorreram nos anos de 1977, 1995 e 1996. E os anos ligeiramente úmidos ($1 < \text{ISSP} < 1,99$) foram registrados nos anos de 1973, 1980, 1990, 1994 e 2002.

As condições de umidade aproximadamente normais foram verificadas nos anos de 1979, 1981 a 1983, 1991 a 1993, 1997 a 2001. De acordo com o ISSP o ano de 1993 foi definido como sendo o ano que apresentou a maior restrição hídrica, porém sem apresentar configuração de seca.

De um modo geral a análise da Figura 4.26 mostrou que o ISSP nesta região não mostrou-se sensível as condições de baixa umidade nesta mesorregião, apresentando apenas períodos nos quais a umidade foi satisfatória inibindo a ocorrência de secas e até períodos ligeiramente secos.

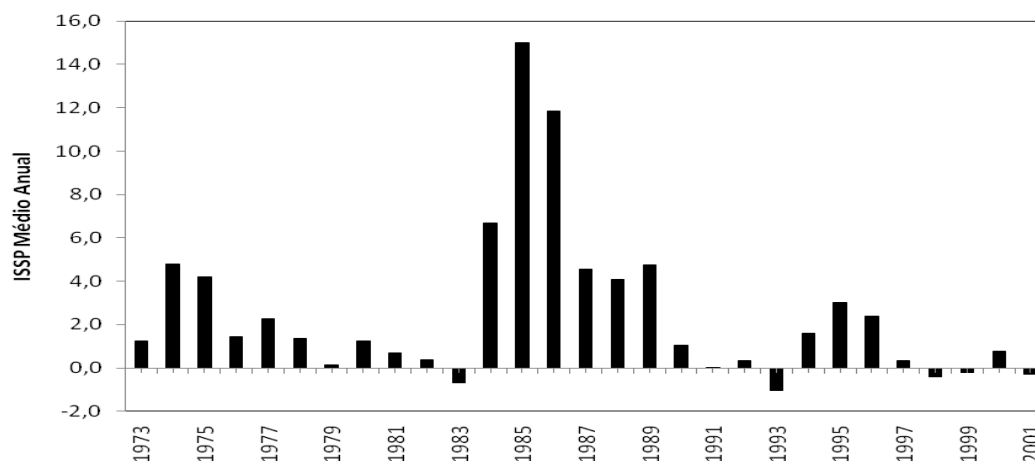


Figura 4.26: Comportamento médio anual do índice de severidade de seca de Palmer de 1973 a 2002, para a Mesorregião Jaguaribe do Estado do Ceará

- Índice de Seca de Bhalme & Mooley Modificado (ISBMM)

Semelhante a outras mesorregiões descritas anteriormente o comportamento médio anual do ISBMM na mesorregião Jaguaribe (Figura 4.27) mostrou bastante diferente do comportamento médio do ISSP nesta mesorregião.

De um modo geral observou-se que o ISBMM não atribuiu durante todo o período analisado (1973 a 2002) condições de umidade extrema para esta mesorregião apresentando apenas um único ano (1985) como sendo ligeiramente úmido.

O ISBMM definiu as condições de umidade para Jaguaribe variando de aproximadamente normais a eventos de secas moderadas ($-2,99 < \text{ISBMM} < -2$) observadas nos anos de 1983, 1990 e 1993.

Percebe-se que o ISBMM apresentou diversos períodos nos quais foram verificadas as condições de deficiência hídrica e de acordo com a classificação deste índice os anos foram devidamente separados.

Anos definidos como aproximadamente normais ($-0,99 < \text{ISBMM} < 0,99$) em termos de umidade foram: 1973 a 1975, 1977, 1978, 1984, 1986, 1988, 1989, 1994 a 1995, 2000 e 2002.

Também foram definidos pelo ISBMM períodos ligeiramente secos ($-1,99 < \text{ISBMM} < 1$) observados nos anos de: 1976, 1979, 1980, 1981, 1987, 1991, 1992, 1997, 1999 e 2001.

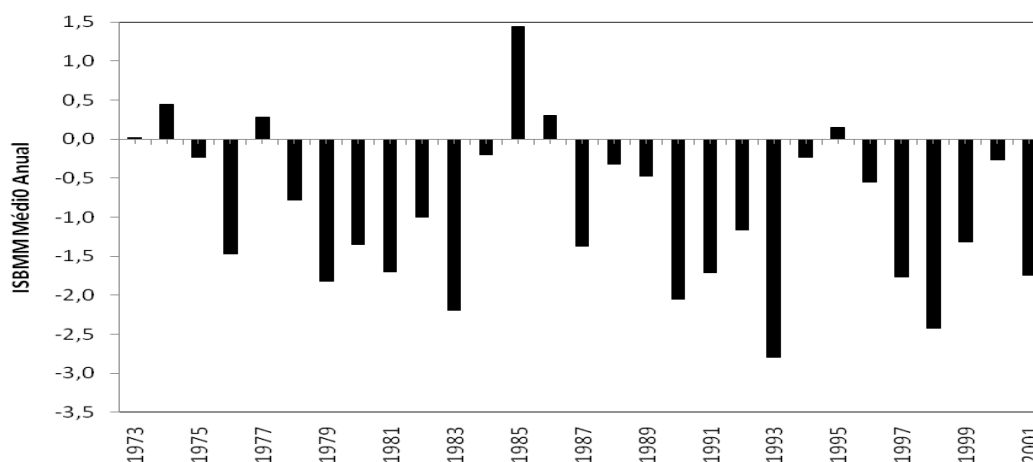


Figura 4.27: Comportamento médio anual do índice de severidade de seca de Palmer de 1973 a 2002, para a Mesorregião Jaguaribe do Estado do Ceará

4.2.6) Mesorregião Centro-Sul

4.2.6.1) Comportamento temporal dos valores médios mensais do índice de seca

As condições de umidade para a mesorregião Centro-Sul evidenciadas pelo comportamento temporal dos valores médios mensais dos índices ISSP e ISBMM durante o período de 1973 a 2002 (Figura 4.28) indicaram que este primeiro índice apresentou esta mesorregião como tendo condições de umidade satisfatória durante a maior parte do período analisado, e alguns picos negativos representativos de eventos de deficiência hídrica também foram observados pelo ISSP para esta mesorregião. Já o ISBMM apresentou comportamento temporal oscilando entre valores positivos e

negativos, indicando nesta mesorregião condições de umidade extrema e eventos de seca.

Entre os anos de 1973 a 1979 o ISSP manteve-se positivo oscilando sua classificação entre condições de umidade aproximadamente normais a umidade extrema ($\text{ISSP} \geq 4$). Nos anos de 1979, 1980, 1983, 1984, 1993, 1994, 1998, 1999 e 2001 este índice evidenciou períodos de deficiência hídrica nesta mesorregião, porém, apenas o ano de 1993 apresentou eventos de seca moderada ($-2,99 < \text{ISSP} < -2$), nos demais anos descritos a mesorregião apresentou apenas períodos ligeiramente secos ($-1,99 < \text{ISSP} < 1$) e durante o período compreendido entre os anos de 1985 a 1991 o ISSP apresentou o período mais úmido desta mesorregião,

Com relação ao comportamento temporal do ISBMM foi observado o mesmo padrão durante todo o período analisado, ou seja, períodos de deficiência hídrica intercalados por picos positivos representativos de condições de umidade extrema.

De um modo generalizado o ISBMM definiu seca e condições máximas de umidade, enquanto que o ISSP representou com melhor clareza períodos sem restrições hídricas nesta mesorregião, concordando com os resultados apontados por Sansigolo (2004) que afirmou que o ISSP também serve para definir períodos úmidos de uma região.

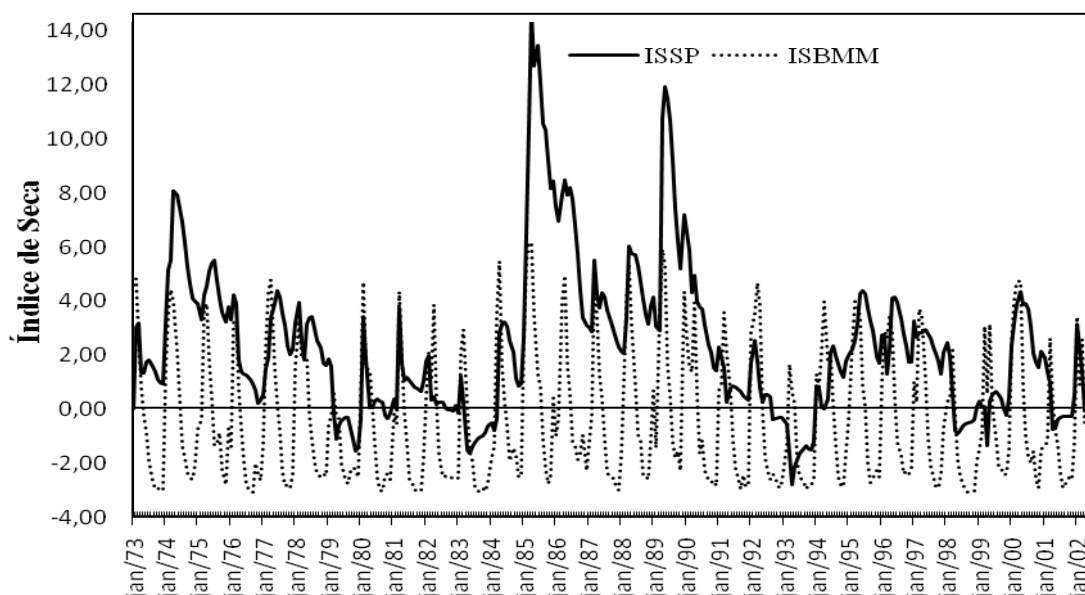


Figura 4.28: Comportamento dos valores médios mensais dos índices de severidade de seca de Palmer (ISSP) e de seca de Bhalme & Mooley Modificado (ISBMM) para o período de 1973 a 2002, para a Mesorregião Centro-Sul do Estado do Ceará

4.2.6.2) Frequência dos valores médios mensais do índice de seca

As frequências médias mensais do ISSP e ISBMM para a mesorregião Centro-Sul do estado do Ceará (Tabela 4.12) mostraram que este primeiro índice indicou condições de umidade satisfatórias, enquanto que o ISBMM definiu períodos secos e períodos de umidade extrema nesta mesorregião. Sansigolo (2004) utilizando o ISSP para a cidade de Piracicaba enfatizou que este índice apesar de ser utilizado para definir seca também pode ser usado para monitorar eventos chuvosos.

Na mesorregião Centro-Sul observou-se que condição de seca severa não foi evidenciada por nenhum dos dois índices e dentro do contexto de períodos secos o ISSP definiu apenas 2 eventos de seca moderada (-3 a -2) nos meses de abril e maio, e a ocorrência de períodos ligeiramente secos (-2 a -1), com a frequência de 19 eventos entre os meses de março a dezembro.

Entretanto, o ISBMM definiu períodos de secas moderadas como sendo a maior frequência de ocorrência deste índice, já para o ISSP a máxima ocorrência foi para condições de umidade aproximadamente normais ($-1 < \text{ISSP} < 1$).

O ISBMM apresentou os meses de agosto, setembro, outubro e novembro como sendo o quadrimestre mais seco desta mesorregião, onde foram detectadas as ocorrências de seca severa (-4 a -3). Além deste quadrimestre, descrito, só não os meses de fevereiro, março, abril e maio não apresentaram condições de seca moderada (-3 a -2) nesta mesorregião.

Através da análise dos períodos secos definidos pelo ISBMM para o Centro-Sul cearense foi observado que este índice apresentou um total de 54,44% (196 casos) dos eventos observados que indicaram condições de déficit hídrico nesta mesorregião. Além destes períodos de deficiência hídrica o ISBMM apresentou cerca de 45,55% (164 casos) de condições de umidade satisfatórias para esta mesorregião.

Com relação ao ISSP observou-se que este índice apresentou uma percentagem de 94,2% (339 eventos) de condições de umidade satisfatória para esta mesorregião e apenas 5,83% (21 eventos) de eventos de déficit hídrico.

Tabela 4.12: Frequência média mensal dos índices de severidade de seca de Palmer (ISSP) e de seca de Bhalme & Mooley Modificado (ISBMM) para o período de 1973 a 2002, para a Mesorregião Centro-sul do Estado do Ceará

MESES	≤ -4	-4 a -3	-3 a -2	-2 a -1	-1 a 1	1 a 2	2 a 3	3 a 4	≥ 4
Janeiro	0/0	0/0	0/2	0/7	9/11	5/4	6/4	7/1	3/1
Fevereiro	0/0	0/0	0/0	0/4	5/11	7/2	7/5	6/4	5/4
Março	0/0	0/0	0/0	1/0	8/1	6/5	4/7	5/8	6/9
Abril	0/0	0/0	1/0	3/0	8/9	4/2	3/2	2/8	9/9

Maio	0/0	0/0	1/0	1/2	10/13	3/8	1/2	5/4	9/1
Junho	0/0	0/0	0/2	2/12	9/13	3/2	2/1	4/0	10/0
Julho	0/0	0/0	0/12	2/11	9/7	3/0	2/0	5/0	9/0
Agosto	0/0	0/3	0/14	2/13	10/0	3/0	3/0	6/0	6/0
Setembro	0/0	0/5	0/20	2/4	11/1	2/0	6/0	3/0	6/0
Outubro	0/0	0/2	0/25	2/3	11/0	5/0	6/0	2/0	4/0
Novembro	0/0	0/4	0/25	2/0	13/1	7/0	2/0	3/0	3/0
Dezembro	0/0	0/0	0/19	2/7	12/3	6/0	4/0	4/0	2/1
Totais Anuais	0/0	0/14	2/119	19/63	115/70	54/23	46/21	52/25	72/25

Observação: $\text{ISSP/ISBMM} \leq -4$ (Seca extrema); $-4 < \text{ISSP/ISBMM} \leq -3$ (Seca severa); $-3 < \text{ISSP/ISBMM} \leq -2$ (Seca moderada); $-2 < \text{ISSP/ISBMM} \leq -1$ (Ligeiramente seco); $-1 < \text{ISSP/ISBMM} < 1$ (Aproximadamente normal); $1 \leq \text{ISSP/ISBMM} < 2$ (Ligeiramente úmido); $2 \leq \text{ISSP/ISBMM} < 3$ (Moderadamente úmido); $3 \leq \text{ISSP/ISBMM} < 4$ (Muito úmido); $\text{ISSP/ISBMM} \geq 4,00$ (Extremamente úmido).

4.2.6.3) Modelo de previsão dos valores médios mensais do índice de seca

- Índice de Severidade de Seca de Palmer (ISSP)

A auto-regressão de primeira ordem do ISSP para a mesorregião Centro-Sul do estado do Ceará (Figura 4.29) apresentou correlação linear positiva, onde não foi observada a dispersão dos dados, ou seja, neste modelo ocorreu o perfeito ajustamento dos dados a reta da regressão. O coeficiente de determinação (r^2) foi superior a 0,9, explicando cerca de 93% da variabilidade do ISSP_x em função do ISSP_{x-1} .

Para a previsão do ISSP foi utilizada a equação da reta fornecida pelo modelo. Esta equação forneceu o valor de 0,84 para o mês de janeiro de 2003. Esta previsão indicou condições de umidade aproximadamente normais para esta mesorregião.

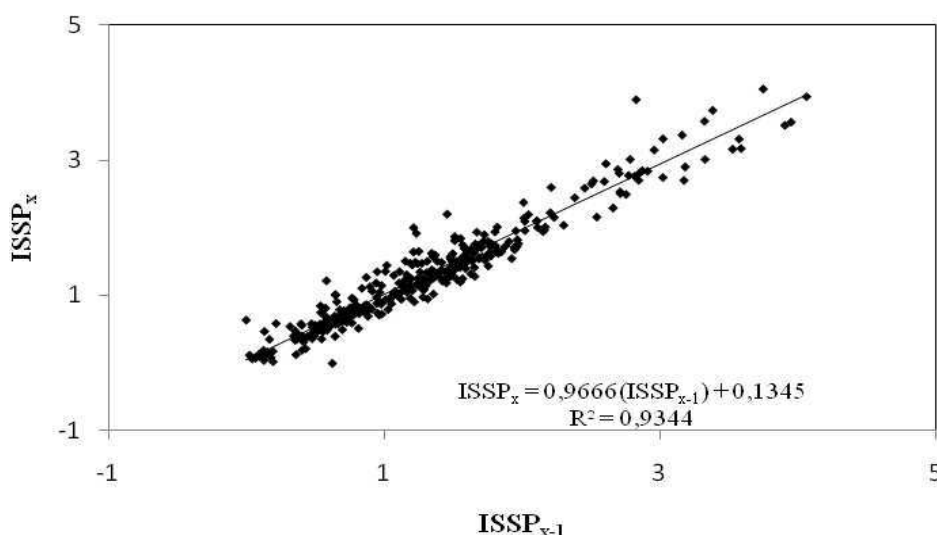


Figura 4.29: Auto-regressão de primeira ordem para o índice de severidade de seca de Palmer (ISSP) mensal para a Mesorregião Centro-Sul do Estado do Ceará

- Índice de Seca de Bhalme & Mooley Modificado (ISBMM)

Com relação ao modelo de previsão do ISBMM para a mesorregião Centro-Sul (Figura 4.30) foram observadas também nesta mesorregião, semelhante as demais analisadas, que os dados não apresentaram ajustamento a reta de regressão, evidenciando uma dispersão dos mesmos.

Apesar do não perfeito ajustamento o coeficiente de determinação ainda explicou cerca de 52% da variação do $ISBMM_x$ em função do $ISBMM_{x-1}$. A previsão do ISBMM realizada a partir da equação da reta fornecida pelo modelo indicou para o mês de janeiro de 2003 na mesorregião Centro-Sul condições ligeiramente seca ($ISBMM = -1,60$).

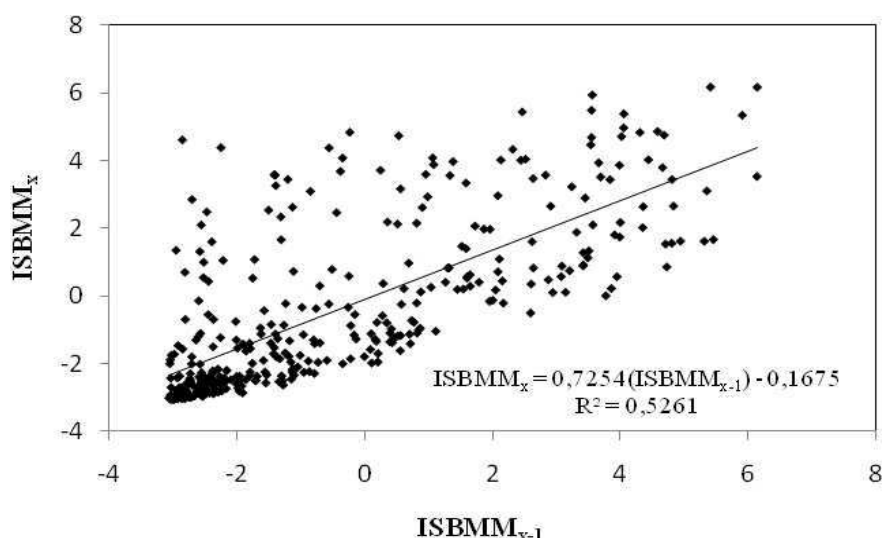


Figura 4.30: Auto-regressão de primeira ordem para o Índice de Seca de Bhalme & Mooley Modificado (ISBMM) mensal para a Mesorregião Centro-Sul do Estado do Ceará

A análise estatística dos índices nesta mesorregião (Tabela 4.13) seguiu o mesmo padrão já apresentado nas demais mesorregiões, onde foi constatado que o ISSP foi o índice que melhor se adaptou as condições da mesorregião Centro-Sul do estado do Ceará.

Tabela 4.13: Análise estatística da diferença entre os índices de severidade de seca de Palmer (ISSP) e de Seca de Bhalme & Mooley Modificado (ISBMM) mensais para a Mesorregião Centro-Sul do Estado do Ceará

Grau de Ajustamento dos Modelos	Índice de Seca	
	ISSP	ISBMM
r - Coeficiente de Correlação de Pearson	1,03	0,02
d - Concordância de Willmott	0,98	0,87
c - Confiança de Camargo & Sentelhas	1,01	0,02

4.2.6.4) Comportamento médio anual dos índices de seca

- Índice de severidade de seca de Palmer (ISSP)

De acordo com o comportamento médio anual do ISSP para o período de 1973 a 2002 (Figura 4.31), observou-se que a mesorregião Centro-Sul é caracterizada pela ausência de períodos extremamente secos e que apresenta uma boa disponibilidade de umidade ao de todo período analisado.

De acordo com a Figura 4.31 percebeu-se que entre os anos de 1979 a 1983, de 1991 a 1992, entre 1998 e 1999 e durante o ano de 2001 ocorreu pequena disponibilidade de umidade para esta mesorregião, porém, apesar desta constatação as condições de umidade permaneceram aproximadamente normais, de acordo com o ISSP.

Já o ano de 1993 o ISSP definiu como sendo o mais seco, dentre os trinta anos analisados. Neste ano o ISSP mostrou a maior restrição hídrica desta mesorregião, porém, esta apresentou apenas condições ligeiramente secas ($-1,99 < \text{ISSP} < -1$).

Exceto os anos descritos nos parágrafos anteriores os demais apresentaram boas condições de umidade e foram separados de acordo com a classificação que se segue: os anos definidos como extremamente úmidos ($\text{ISSP} \geq 4$) foram: 1974, 1975, 1985, 1986, 1988 e 1989. Dentre os anos considerados como extremamente úmidos sobressaem-se os anos de 1985 e 1989 por apresentaram os máximos valores médios do ISSP.

Eventos muito úmidos ($3 < \text{ISSP} < 4$) observados nesta mesorregião ocorreram apenas nos anos de 1987, 1990 e 1995. Já as condições moderadamente úmidas ($2 < \text{ISSP} < 3$) foram verificadas nos anos de 1977, 1978, 1996, 1997 e 2000; e os períodos ligeiramente úmidos ($1 < \text{ISSP} < 2$) nos anos de 1973, 1976, 1981, 1984 e 1994.

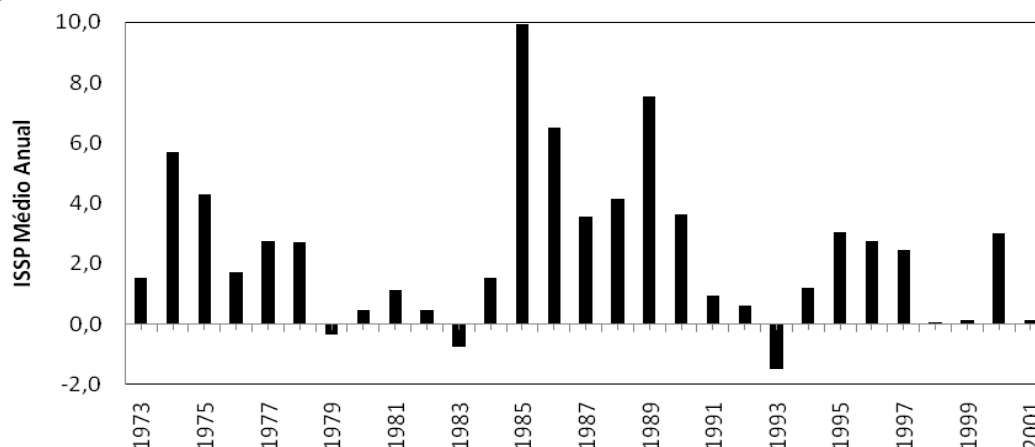


Figura 4.31: Comportamento médio anual do índice de severidade de seca de Palmer de 1973 a 2002, para a Mesorregião Centro-Sul do Estado do Ceará

- Índice de Seca de Bhalme & Mooley Modificado (ISBMM)

Diferentemente do comportamento do ISSP o comportamento médio anual do ISBMM para a mesorregião Centro-Sul cearense (Figura 4.32) não apresentou períodos de umidade extrema para esta mesorregião, durante todo o período analisado (1973 a 2002), sendo apenas verificada uma variação nos padrões de umidade, onde observou-se uma oscilação entre períodos ligeiramente secos a ligeiramente úmidos.

Analisando o comportamento médio anual deste índice (Figura 4.32), percebe-se que este também difere do comportamento temporal do mesmo (Figura 4.32), visto que na evolução temporal o ISBMM definiu períodos de seca e de umidade extrema para esta mesorregião, porém ao se realizar a média destes valores estas classificações não foram destacadas.

Similar a classificação do ISSP o comportamento médio do ISBMM definiu os anos de 1985 e 1989 como sendo os mais úmidos desta mesorregião, durante todo o período analisado, porém ressalta-se que a classificação do ISBMM foi sobreestimada pelo ISSP. Já os anos definidos como mais secos foram 1976, 1979, 1983, 1993, 1998 e 2001.

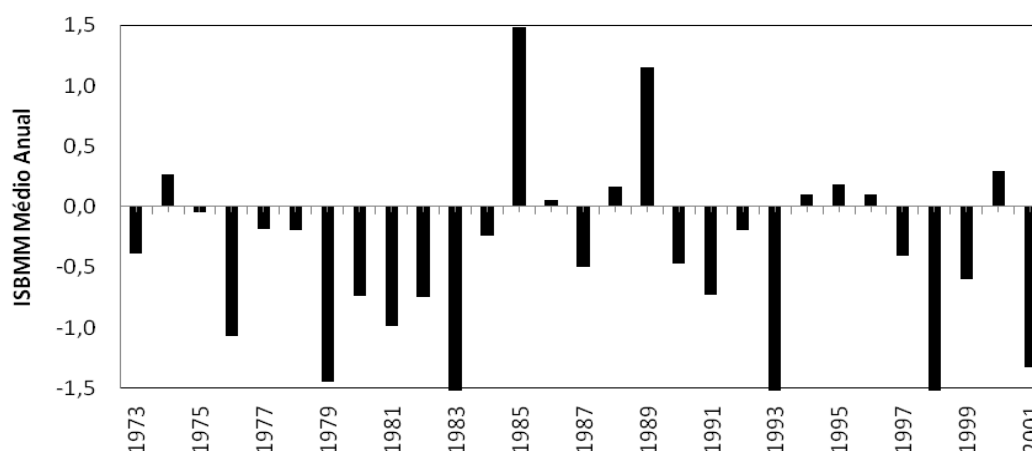


Figura 4.32: Comportamento médio anual do índice de Seca de Bhalme & Mooley Modificado (ISBMM) para a Mesorregião Centro-Sul do Estado do Ceará

4.2.7) Mesorregião Sul

4.2.7.1) Comportamento temporal dos valores médios mensais do índice de seca

A Figura 4.33 é representativa do comportamento temporal médio mensal dos índices ISSP e ISBMM calculados para a mesorregião Sul do estado do Ceará durante o período de 1973 a 2002. Nesta figura observou-se que o ISBMM apresentou uma evolução temporal simétrica, na qual observou-se a alternância de picos positivos

intercalados por picos negativos, indicando condições de umidade extrema e deficiência hídrica nesta mesorregião, respectivamente.

Já o ISSP apresentou apenas alguns períodos negativos, porém, estes não chegaram a caracterizar eventos de secas nesta mesorregião e durante a maior parte de todo o período analisado as condições de umidade evidenciadas por este índice mostrou-se satisfatória.

No período de 1973 a 1976 o ISSP manteve-se positivo indicando condições de umidade variando de aproximadamente normais a extremamente úmida. Observou-se neste período que durante o ano de 1973 tanto o ISSP como o ISBMM apresentaram pico positivo, indicando período de umidade extrema ($\text{ISSP} \geq 4$) para esta mesorregião.

Entre os anos de 1977 a 1981 o ISSP apresentou uma redução em seu valor numérico, porém, o índice manteve-se positivo. Percebeu-se que neste período o ISBMM apresentou alguns picos positivos que sobreestimaram a classificação do ISSP.

Foi observado um decréscimo nos valores do ISSP entre os anos de 1982 a 1984, neste período este índice tornou-se negativo indicando condições ligeiramente secas ($-1,99 < \text{ISSP} < -1$). Neste período foram observados picos positivos do ISBMM indicando condições moderadamente úmidas ($2 < \text{ISSP} < 2,99$).

De 1984 a 1992 o ISSP voltou a ser positivo, indicando condições de umidade extrema nesta mesorregião. Neste período o ISSP definiu os anos de 1985 e 1986 como sendo os mais úmidos, e entre os anos de 1986 e 1987 observou-se uma discreta redução do ISSP resultando em picos subestimados pelo ISBMM.

Nos anos de 1993 a 1994 tanto o ISSP como o ISBMM mostraram-se negativos, porém, o ISSP definiu apenas um período ligeiramente seco ($-1,99 < \text{ISS} < -1$) para esta mesorregião, enquanto que o ISBMM apresentou a classificação de seca moderada ($-2,99 < \text{ISBMM} < -2$). Situação similar também foi observada no ano de 1999.

Entre os anos de 1999 a 2000 o ISSP positivo foi sobreestimado por picos positivos do ISBMM. E no ano de 2000 os dois índices indicam picos positivos iguais.

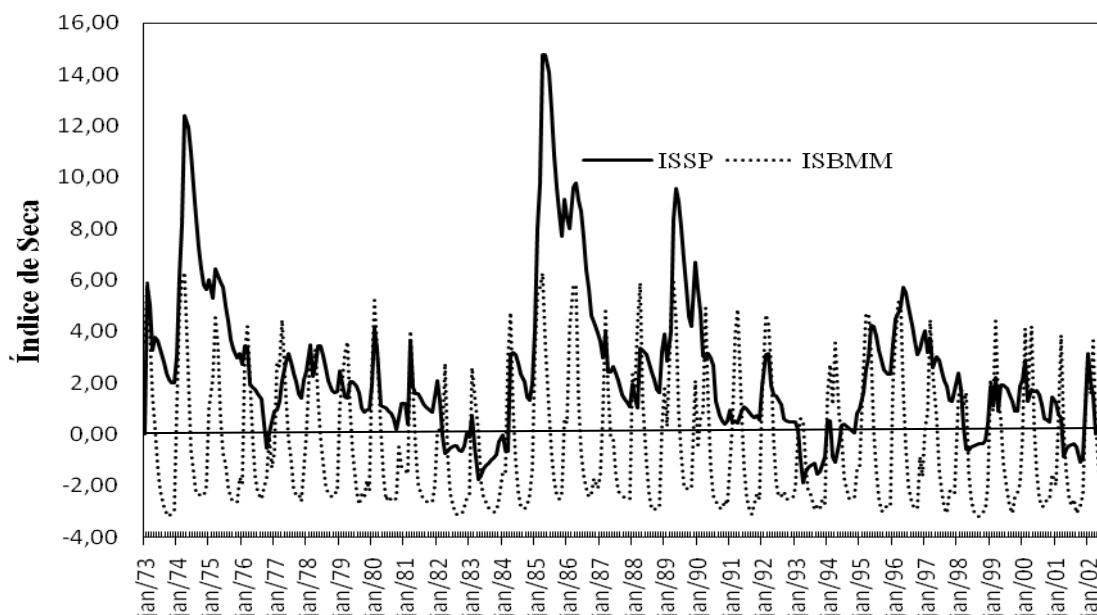


Figura 4.33: Comportamento dos valores médios mensais dos índices de severidade de seca de Palmer (ISSP) e de seca de Bhalme & Mooley Modificado (ISBMM) para o período de 1973 a 2002, para a Mesorregião Sul do Estado do Ceará

4.2.7.2) Frequência dos valores médios mensais do índice de seca

Na Tabela 4.14 é mostrada a frequência média mensal dos índices ISSP e ISBMM calculados para a mesorregião Sul do Ceará entre os anos de 1973 a 2002. Nela observou-se que as ocorrências de seca, independente de sua intensidade, foram definidas pelo ISBMM. A exceção observada é com relação aos eventos ligeiramente secos (-2 a -1) que também foram definidos pelo ISSP, sendo registrado o total anual de 16 eventos.

O ISBMM apresentou a maior frequência de ocorrência para eventos de secas moderadas (-2 a -3), sendo registrados 140 casos, cuja frequência de ocorrência só não foi registrada nos meses de fevereiro a maio. Este índice também definiu eventos de secas severas (-3 a -4) onde foram registrados 14 eventos distribuídos entre os meses de agosto a novembro.

O ISSP apresentou sua maior frequência para as condições de umidade aproximadamente normais (-1 a 1) sendo observados 105 casos, distribuídos ao longo de todos os meses e para esta classificação o ISBMM apenas 58 casos.

A ausência de restrição hídrica foi mais bem classificada pelo ISSP que apresentou um total de 344 eventos de umidade satisfatória, contra apenas 156 eventos diagnosticados pelo ISBMM.

O ISSP definiu 66 casos de umidade extrema para esta mesorregião, sendo o mês de fevereiro o que apresentou a maior frequência de ocorrência desta classificação. Já o ISBMM definiu o mês de março como sendo o mais úmido.

Tabela 4.14: Frequência média mensal dos índices de severidade de seca de Palmer (ISSP) e de seca de Bhalme & Mooley Modificado (ISBMM) para o período de 1973 a 2002, para a Mesorregião Sul do Estado do Ceará

MESES	≤ -4	-4 a -3	-3 a -2	-2 a -1	-1 a 1	1 a 2	2 a 3	3 a 4	≥ 4
Janeiro	0/0	0/0	0/2	0/7	8/7	6/7	6/4	5/3	5/0
Fevereiro	0/0	0/0	0/0	0/2	8/9	6/3	4/6	4/3	8/7
Março	0/0	0/0	0/0	0/0	8/3	5/4	3/3	8/6	6/14
Abril	0/0	0/0	0/0	3/0	6/5	6/5	5/4	4/4	6/12
Maio	0/0	0/0	0/0	2/6	6/14	6/6	3/1	6/2	7/1
Junho	0/0	0/0	0/7	2/11	5/12	7/0	4/0	5/0	7/0
Julho	0/0	0/0	0/19	2/8	7/3	6/0	6/0	3/0	6/0
Agosto	0/0	0/2	0/26	2/2	7/0	7/0	7/0	1/0	6/0
Setembro	0/0	0/7	0/23	2/0	11/0	5/0	6/0	2/0	4/0
Outubro	0/0	0/4	0/25	2/1	14/0	6/0	2/0	2/0	4/0
Novembro	0/0	0/1	0/24	1/2	15/3	6/0	3/0	1/0	4/0
Dezembro	0/0	0/0	0/16	0/10	10/2	9/1	4/1	4/0	3/0
Totais Anuais	0/0	0/14	0/140	16/49	105/58	75/26	53/19	45/18	66/34

Observação: ISSP/ISBMM ≤ -4 (Seca extrema); -4 < ISSP/ISBMM ≤ -3 (Seca severa); -3 < ISSP/ISBMM ≤ -2 (Seca moderada); -2 < ISSP/ISBMM ≤ -1 (Ligeiramente seco); -1 < ISSP/ISBMM < 1 (Aproximadamente normal); 1 ≤ ISSP/ISBMM < 2 (Ligeiramente úmido); 2 ≤ ISSP/ISBMM < 3 (Moderadamente úmido); 3 ≤ ISSP/ISBMM < 4 (Muito úmido); ISSP/ISBMM ≥ 4,00 (Extremamente úmido).

4.2.7.3) Modelo de previsão dos valores médios mensais do índice de seca

Índice de Severidade de Seca de Palmer (ISSP)

O modelo de previsão do ISSP médio para a mesorregião Sul do Ceará é mostrado na Figura 4.34. Nesta Figura foi observada a regressão linear cujo coeficiente de determinação foi de 0,92, garantindo que a variabilidade do $ISSP_x$ é perfeitamente explicada pelo $ISSP_{x-1}$.

A equação da reta: $ISSP_x = 0,9609*(ISSP_{x-1}) + 0,1576$ fornecida pela auto-regressão de 1º ordem, permitiu a realização da previsão do ISBMM para o mês de janeiro de 2003. Como resultado obteve-se a previsão de condições ligeiramente úmidas para esta mesorregião, sendo obtido o valor de 1,09 para o ISSP.

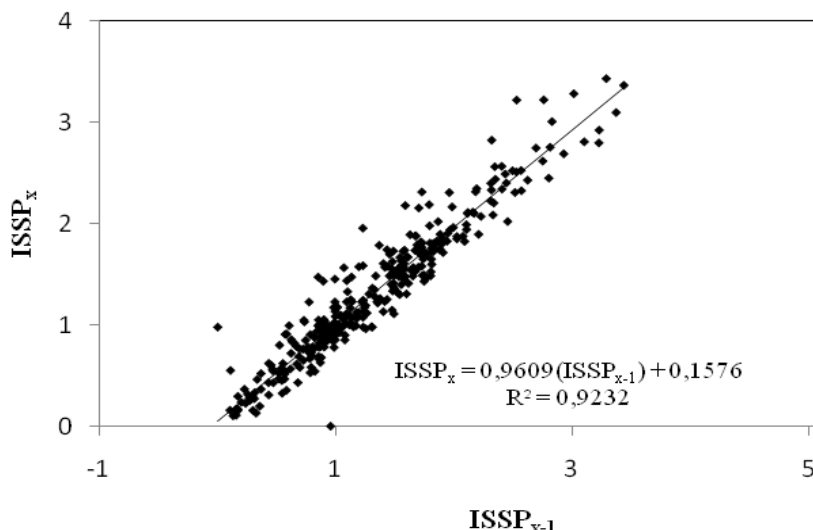


Figura 4.34: Auto-regressão de primeira ordem para o índice de severidade de seca de Palmer (ISSP) mensal para a Mesorregião Sul do Estado do Ceará

Índice de Seca de Bhalme & Mooley Modificado (ISBMM)

Já para o ISBMM o modelo de previsão do ISBMM médio para a mesorregião Sul do Ceará (Figura 4.35) também foi verificada a presença da regressão linear, orem, foi observada a dispersão dos dados com relação a reta de regressão. O coeficiente de determinação deste modelo explicou aproximadamente 55% da variação do $ISBMM_x$ em função do $ISBMM_{x-1}$.

Com relação a previsão do ISBMM para o mês de janeiro de 2003, realizada através da equação $ISBMM_x = 0,7401 * (ISBMM_{x-1}) - 0,0617$ foi obtido o resultado de -1,32 indicando um período ligeiramente seco. Esta previsão contradiz a previsão realizada pelo ISSP para o mesmo período nesta mesma mesorregião.

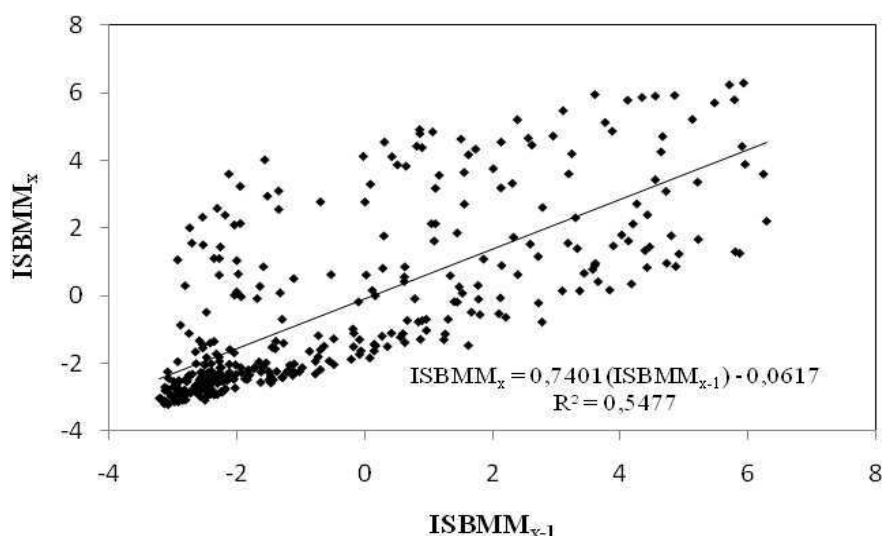


Figura 4.35: Auto-regressão de primeira ordem para o Índice de Seca de Bhalme & Mooley Modificado (ISBMM) mensal para a Mesorregião Sul do Estado do Ceará

Similar as demais mesorregiões analisadas a análise estatística da mesorregião Sul do Ceará, mostrou mais uma vez que o índice ISSP foi o que apresentou melhor ajustamento para as condições climáticas no estado do Ceará.

Tabela 4.15: Análise estatística da diferença entre os índices de severidade de seca de Palmer (ISSP) e de Seca de Bhalme & Mooley Modificado (ISBMM) mensais para a Mesorregião Sul do Estado do Ceará

Grau de Ajustamento dos Modelos	Índice de Seca	
	ISSP	ISBMM
r - Coeficiente de Correlação de Pearson	1,03	0,02
d - Concordância de Willmott	0,98	0,88
c - Confiança de Camargo & Sentelhas	1,01	0,02

4.2.7.4) Comportamento médio anual dos índices de seca

- Índice de severidade de seca de Palmer (ISSP)

De acordo com o comportamento médio anual do ISSP (Figura XX), calculado para a mesorregião Sul do Ceará notou-se que esta mesorregião não apresentou nenhuma situação de deficiência hídrica durante todo período analisado (1973 – 2002), ao contrário, segundo o ISSP as condições de umidade no Sul cearense apresentou-se satisfatória sem nenhuma restrição que viesse a sugerir eventos de seca.

Os anos em que se observaram os menores índices de umidade, porém sem restrições hídricas, ou seja, condições de umidade aproximadamente normais ($-0,99 < \text{ISSP} < 0,99$) foram os anos de 1982, 1983, 1992, 1993, 1998 e o ano de 2001.

As condições ligeiramente úmidas ($1 < \text{ISSP} < 1,99$) definidas pelo ISSP ocorreram nos anos de 1976, 1977, de 1979 a 1981, 1984, 1992, 1999 e 2000. E os períodos moderadamente úmidos ($2 < \text{ISSP} < 2,99$) concentraram-se nos anos de 1973, 1978, 1987, 1988, 1990, 1995 e 1997.

A mesorregião Sul do Ceará apesar de ser definida pelo ISSP como úmida, não apresentou períodos muito úmidos ($3 < \text{ISSP} < 3,99$). Entretanto este índice estabeleceu períodos de umidade extrema nos anos de 1974, 1975, 1985, 1986, 1989 e 1996.

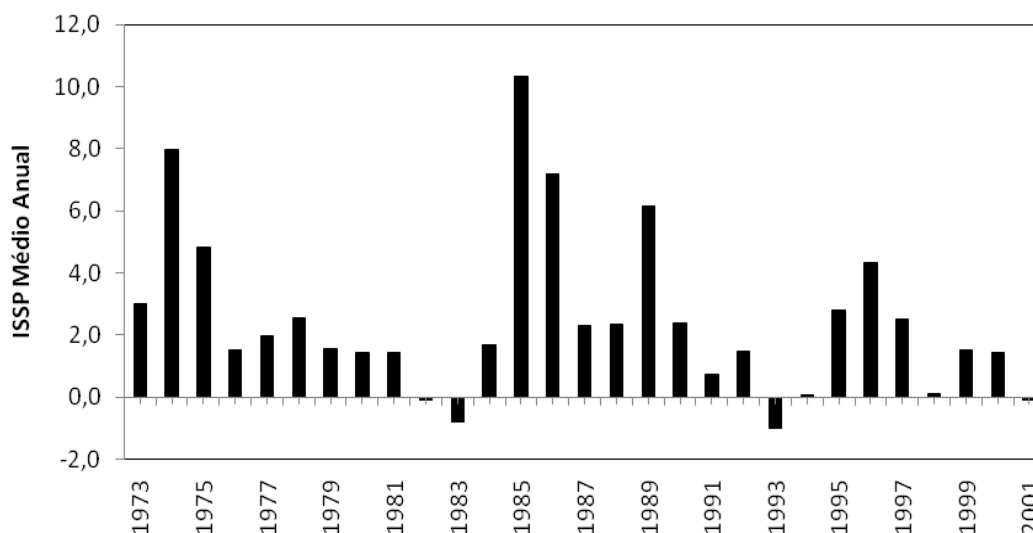


Figura 4.36: Comportamento médio anual do índice de severidade de seca de Palmer de 1973 a 2002, para a Mesorregião Sul do Estado do Ceará

- Índice de Seca de Bhalme & Mooley Modificado (ISBMM)

De acordo com o comportamento médio anual do ISBMM (1972-2003) para mesorregião Sul do Ceará, observou-se que este índice não evidenciou situação de umidade extrema nesta mesorregião, apresentando apenas condições de umidade variando de períodos ligeiramente úmidos a eventos ligeiramente secos.

O ano de 1985 foi o que apresentou a melhor condição de umidade desta mesorregião, durante todo o período analisado, sendo observadas condições ligeiramente úmidas ($1 < \text{ISBMM} < 1,99$), de acordo com a classificação do ISBMM.

O comportamento médio do ISBMM evidenciou para esta mesorregião a maior incidência de períodos de déficit hídrico, resultando em períodos ligeiramente secos ($-1,99 < \text{ISBMM} < -1$), como pode ser observado no período de 1981 a 1983, e nos anos de 1988, 1993 e 2001.

Já as condições de umidade denominadas como aproximadamente normais ($-0,99 < \text{ISBMM} < 0,99$) foram observadas durante o período compreendido entre os anos de 1973 a 1980, nos anos de 1986, 1988, 1989, 1992, de 1994 a 1996 e nos anos de 2000 e 2002.

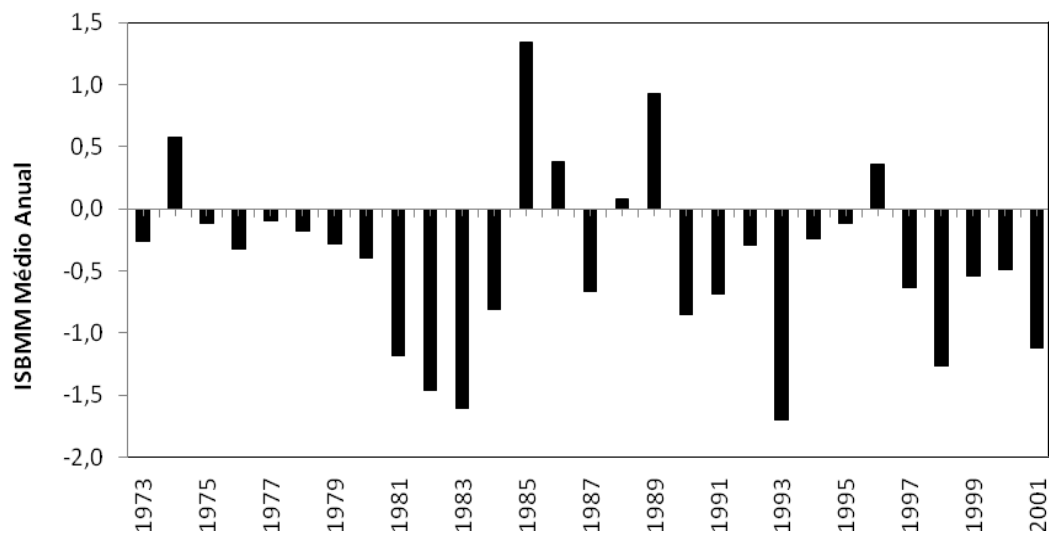


Figura 4.37: Comportamento médio anual do índice de Seca de Bhalme & Mooley Modificado (ISBMM) para a Mesorregião Sul do Estado do Ceará

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES

5. CONCLUSÕES

Esta pesquisa objetivou a caracterização espacial e temporal da seca para as condições ambientais das diferentes Mesorregiões do Estado do Ceará. Com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que:

1. O índice de severidade da seca de Palmer (ISSP) subestima a frequência de ocorrências de secas no estado, tanto em quantidade quanto em intensidade. Entretanto, o ISSP estabelece melhor os períodos de umidade extrema no estado, evidenciando que o mesmo também pode ser utilizado para o monitoramento de eventos chuvosos;
2. O índice de Bhalme e Mooley Modificado (ISBMM) mostrou-se mais sensível às variações de umidade no solo, com bom desempenho na identificação de períodos secos e úmidos e do grau de severidade de seca;
3. Em média, os eventos de períodos secos previstos pelo ISSP ocorrem com uma defasagem de aproximadamente três meses em relação àqueles obtidos pelo ISBMM;
4. Com base no ISSP, condições de umidade aproximadamente normais ($-1 \leq \text{ISSP} \leq 1$) foram observadas com maior frequência em todas as mesorregiões do Ceará, a exceção observada ocorreu na mesorregião Metropolitana, na qual este índice indicou a maior frequência de eventos de umidade extrema ($\text{ISSP} \geq 4$);
5. O ISSP foi o único índice a indicar condições de seca severas e extrema na mesorregião Noroeste e Metropolitana (seca extrema), indicando o trimestre de abril a junho como o que apresentou maior restrição hídrica destas mesorregiões;
6. Na mesorregião Metropolitana o ISSP definiu melhor eventos secos, enquanto que o ISBMM retratou melhor a ocorrência de períodos úmidos, entretanto nos Sertões cearenses observou-se o inverso;
7. Finalmente, os valores mensais do ISSP para todas as mesorregiões do Estado do Ceará apresentam uma auto-correlação de primeira ordem altamente significativa ($r^2 > 0,80$) e a análise estatística enfatizou o melhor ajustamento deste índice a realidade de cada mesorregião.

CAPÍTULO 6

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEY, W. M. The Palmer Drought Severity Index: Limitations and Assumptions, **Journal of Climate and Applied Meteorology**, 23, 1100-1109. 1984.

ALLEY, W. M. The Palmer Drought Severity Index as a Measure of Hydrologic Drought, **Water Resources Bulletin**, 21(1), 105-114. 1985.

ALLEY, W. M. The Palmer drought severity index: limitations and assumptions. **Journal of Applied Meteorology**, v.23, p.1100-1109, 1994.

ALVES, J. M. B.; PERREIRA, F.F.; CAMPOS, J. N. B.; SOUSA FILHO, F. A.; SOUZA, E. B.; DURAN, B. J. ; SERVAIN, J.; STUDART, T. M. C. Mecanismos atmosféricos associados à ocorrência de precipitação intensa sobre o Nordeste Do Brasil durante janeiro/2004. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.21, n.1, 56-76, 2006.

ALVES, J. M. B.; REPELLI, C. A. A variabilidade pluviométrica no setor norte do nordeste e os eventos El Niño/Oscilação Sul (ENOS). **Revista Brasileira de Meteorologia**, 7(2): 583-592, 1992.

ALVES, J. M. B.; REPELLI, C. A.; MELLO, N. G. A pré-estação chuvosa no norte do Nordeste Brasileiro e sua relação com a temperatura dos oceanos adjacentes. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 8(1): 22-30, 1993.

ALVES, J. M. B.; SOUZA, E. B.; MELLO, N.; FERREIRA, A. G.; SILVA, R. A.; SAKAMOTO, M. S.; MUNCUNNIL, D.; F., A. C. Avaliação da pré-estação chuvosa de 1997/98. Parte I: distribuição pluviométrica no Estado do Ceará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 10., , Brasília. **Anais...** 1998.

ALVES, J. M. B; SOUZA, E. B.; REPELLI, C. A .; VITORINO, M. I.; FERREIRA, N. S. Episódios de La Niña na bacia do Oceano Pacífico Equatorial e a distribuição sazonal e intrasazonal das chuvas no setor norte do Nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, (12), no.1, 63-76. 1997.

AZEVEDO, P. V.; SILVA, V. P. R. Índice de seca para a microrregião do agreste da Borborema no Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 9(1): 66-72, 1994.

AZEVEDO, P. V. de; SILVA, V. P. R. da. Índice de seca de Bhalme e Mooley: uma adaptação regional. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 8., 1995, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 1995. p. 696-699.

BARRA, T. S. **Análise climatológica das secas do Estado do Ceará**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola – Universidade Federal de Viçosa. 84p. 2000.

BARRA, T. S.; COSTA, J. M. N.; RAMANA RAO, T. R.; SEDYAMA, G. C.; FERREIRA, W. P. M.; DANTAS NETO, F. S. Caracterização climatológica da severidade de secas do Estado do Ceará – Brasil. Campina Grande – PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, n.2, p.266-272, 2002.

BHALME, H. N.; MOOLEY, D. A. Large-scale drought/floods and monsoon circulation. **Monthly Weather Review**, Boston, v. 108, n. 8, p. 1197-1211, 1980.

BLAIN, G. C. **Avaliação e adaptação do Índice de Severidade de Seca de Palmer (PDSI) e do Índice Padronizado de Precipitação (SPI) às condições climáticas do Estado de São Paulo**. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Sub-tropical) - Instituto Agrônomo, Campinas, SP. 120 f. 2005.

BLAIN, G. C.; BRUNINI, O. Avaliação e adaptação do Índice de Severidade de Seca de Palmer (ISSP) e do Índice Padronizado de Precipitação (SPI) às condições climáticas do Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v.64, n.4, p.695-705, 2005.

BLAIN, G. C.; BRUNINI, O. Análise comparativa dos índices de seca de Palmer, Palmer adaptado e índice padronizado de precipitação no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.22, n.1, 105-111, 2007

BLAIN, G. C.; PEZZOPANE, J. R. M.; PEZZOPANE, J. E. M.; BONOMO, R. Índice padronizado de precipitação aplicado às condições de seca no Estado do Espírito Santo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.14, n.10, p.1067–1073, 2010.

BYUN, H. R.; WILHITE, D. A. Objective quantification of drought severity and duration. **Journal of Climate**, Boston, v. 12, n. 9, p. 2747-2756, Sept. 1999.

CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P.C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.5, n.1, p.89-97, 1997.

CAMPOS, J. N. B. "Um critério de seca agrícola e sua aplicação ao Estado do Ceará". Boletim de Recursos Hídricos" n. 1 Universidade Federal do Ceará. Fortaleza/CE. 1984, p.45-51.

CAMPOS, J. N. B.; LIMA, H. V. C. "O início do inverno no Estado do Ceará e o dia de São José (19 de março): uma abordagem estatística. I Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. Associação Brasileira de Recursos Hídricos - Recife, PE. p.253-260 **Anais** vol. 2, 335p. 1992.

CAVALCANTI, I. F. A; KOUSKY, V. E. **Influências de circulações de escala sinótica na circulação de brisa marítima na costa norte-nordeste da América do Sul**. São José dos Campos: INPE, 1982, p. 67-87.

CAVALCANTI, E. P.; SILVA, V. P. R.; SOUSA, F. A. S. Programa computacional para a estimativa da temperatura do ar para a Região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.1, p.140–147, 2005.

CPC/NCEP. **Changes to the Oceanic Niño Index (ONI)**. Disponível em: http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml. Acesso: Janeiro, 2011.

CRED-Centre for Research on the Epidemiology of Disasters: **CRED CRUNCH newsletter Brussels**, Belgium. 2006. Disponível em: <<http://www.emdat.net/documents/CRED%20CRUNCH%207%20-%>> 2006. Acesso: janeiro de 2008.

EDER, K. B.; DAVIS, M.J. Spatial and temporal analysis of the Palmer Drought Severity Index over the south-eastern United States. **Journal of Climatology**, Asheville, v. 7,n.1 p. 31- 56, 1987.

FERNANDES, D. S.; HEINEMANN, A. B.; DA PAZ, R. L.; AMORIM, A. O.; CARDOSO, A. S. **Índices para a quantificação da seca**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão- (Documentos / Embrapa Arroz e Feijão, ISSN 1678-9644; 244), 48 p., 2009.

FERNANDES, D. S.; HEINEMANN, A. B.; PAZ, R. L. F.; AMORIM, A. O. **Desempenho de índices quantitativos de seca na estimativa da produtividade de arroz de terras altas**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.45, n.8, p.771-779, ago. 2010.

FREITAS, M. A. de S. Um sistema de suporte à decisão para o monitoramento de secas meteorológicas em regiões semi-áridas. **Revista Tecnologia**, p.84-95, 2005. Suplemento.

GOIS, G. de. **Caracterização da seca e seus efeitos na produção da cultura do milho para as diferentes regiões do estado de Minas Gerais**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 81 p., 2005.

GUEDES, R. L.; ANDREOLI, R. V.; KAYANO, M. T.; OYAMA, M. D.; ALVES, M. A. S. Série Temporal de Precipitação Mensal de Fortaleza, Brasil: Comparação entre observações e dados de Reanálise do NCEP/NCAR. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.20, n.1, 83-92, 2005

GUTTMAN, N.B. A Sensitivity Analysis of the Palmer Hydrologic Drought Index, **Water Resources Bulletin**, 27(5), 797-807. 1991.

GUTTMAN, G.B. Comparing the Palmer Drought Index and the “Standardized Precipitation Index”. **Journal of the American Water Resources**, Washington, v.16, n.2, p. 113-121, 1998.

HARGREAVES, G.H.; SAMANI, Z.A. Reference crop evapotranspiration from temperature. **Applied Engineering in Agriculture**, v.1, n.2, p.96-99, 1985.

HASTENRATH, S. Interannual variability and annual cycle: Mechanisms of circulation and climate in the tropical Atlantic sector. **Monthly Weather Review**, **112**: 1097-1107, 1984.

HAVENS, A. V. **Economic Impact of Drought on Water Systems in Passaic River Basin**, n. I, New Brunswick, New Jersey. Agricultural Experiment Station. 1969.

HAYES, S. C., BISSETT, R., KORN, Z., ZETTLE, R. D., ROSENFARB, I., COOPER, L., e GRUNDT, A. The impact of acceptance versus control rationales on pain tolerance. *The Psychological Record*, 49(1), 33-47. 1999.

HEIM JUNIOR, R. R. A review of twentieth: century drought indices used in the United States. **Bulletin of the American Meteorology Society**, v.83, p.1149-1163, 2002.

HEWITT, K. **Regions at Risk: A Geographical Introduction to Disasters**. Addison-Wesley Longman, UK. 1997. 10p.

HUDSON, H. E., HAZEN, R. (1964) – **Droughts and Streamflow, in Handbook of Applied Hydrology** Sect. 18, edited by V. T. Chow, McGraw-Hill, New York, 1964.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Estimativas Populacionais dos Municípios Brasileiros**. 2008. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=1215&id_pagina=1. Acesso: dezembro de 2010.

KARL, T. The sensitivity of the Palmer Drought Severity Index and Palmer's Z-index to their calibration coefficients including potential evapotranspiration. **Journal of Climate and Applied Meteorology**, Boston, v.25, p.77-86, 1986.

KARL, T.; KOSCIENLNY, A.J. Drought in the United States: 1895 – 1981. **Journal of Climatology**, Asheville, v.2, p. 313 – 319, 1982.

KARL, T.R.; KNIGHT, R.W. **Atlas of Monthly Palmer Hydrological Drought Indices (1931-1983) for the Contiguous United States**. Historical Climatology Series 3-7, National Climatic Data Center, Asheville, North Carolina. 1985

KEYANTASH, J. DRACUP, J.A, The quantification of drought: An evaluation of drought indices. *Bulletim of the American Meteorological Society*. 83(8): p.1167-1180, 2002.

KOUSKY, E. V. Frontal influences on Northeast Brazil. **Monthly Weather Review**, **107**: 1140-1153, 1979.

KOUSKY, V. E. e GAN, M. A. Upper tropospheric cyclone vortice in the tropical South Atlantic. **Tellus**, 33, 538-551, 1981.

KUMAR, K.K.; SILVA, J.A.T.; SILVA, B.B. Estudo de seca e aridez em Fortaleza, CE. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 6, 1989, Maceió. **Anais...** Maceió: SBAGRO, 1989. p.175-184.

INSTITUTO NACIONAL DE GESTÃO DE CALAMIDADES. **Atlas para preparação e resposta contra desastres na Bacia do Limpopo**. Cidade do Cabo, 2003. 99 p. (Creda Communications).

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ (IPEEC). **Ceará em mapas**, 2007. Disponível em: <http://www2.ipece.ce.gov.br/atlas/credito/>. Acesso: janeiro de 2010.

LI, K., A. MAKARAU, Drought and Desertification, Reports to the Eleventh Session of the Commission for Climatology, **WCASP-28**, WMO. 1994:

LIMA, M.C.; SANTOS, R.C.; MORAES, J.C. Estudo de secas no Estado de Alagoas. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 6, 1989, Maceió. **Anais...** Maceió: SBAGRO, p.160-169. 1989.

MACEDO, M. J. H.; GUEDES, R. V. S.; SOUZA, F. A. S.; DANTAS, F. R. C. Análise do índice padronizado de precipitação para o Estado da Paraíba, Brasil. **Ambi-Água**, Taubaté, v. 5, n.1, p. 204-214, 2010. (doi:10.4136/ambi-água.130)

MAGALHÃES, A. R.; GLANTZ, M. H. **Socioeconomics impacts of climate variations and policy responses in Brazil**. UNEP, Secretariat for Planning and Coordination State of Ceara, Esquel Brazil Foundation, 1992. 155pp.

MARENGO, J. A.; CAVALCANTI, P. S.; NOBRE, J. P.; BONATTI, A. O.; MANZI, I.; TROSNIKOV, G.; SAMPAIO, H. C.; SANCHES, M. B.; CUNNINGHAM, C. A. C.; D'ALMEIDA, C.; PEZZI, L. P. Onset and End of the Rainy Season in the Brazilian Amazon Basin. **Journal of Climate**, v. 14, p. 833-852, 2001.

McDONALD, N. S. Decision making using a drought severity index. In: FITZPATRICK, E. A.; KALMA, J. D. (Comp.). **Need for climate and hydrologic data in agriculture in Southeast Asia**: proceedings of a United University Workshop. Canberra: CSIRO Division of Water Research, (Technical memo, 89/5). p. 131-139. 1989.

McKEE, T. B.; DOESKEN, N. J.; KLEIST, J. The relationship of drought frequency and duration to the time scales. In: CONFERENCE ON APPLIED CLIMATOLOGY, 8., Anaheim, CA. **Proceedings**. Boston: American Meteorological Society, p. 179-184. 1993.

McKEE, T. B.; DOESKEN, N. J.; KLEIST, J. Drought monitoring with multiple times scales. In: CONFERENCE ON APPLIED CLIMATOLOGY, 9, 1995, Boston. **Proceedings...**, Boston: American Meteorological Society, 1995. p.233-236.

MELO, M. C. P.; TEIXEIRA, K. H.; BRAGA, F. L. P. Análise do balanço de pagamentos do Estado e a importância dos apls no fluxo de comércio do Ceará. **Nota Técnica 04**. BNDS – Ceará, 376p. 2008.

MELO, G. R.; SOUZA, C. A. M.; SOUZA, D. M. O. R.; STOSICY, T.; STOSICY, B. **Análise de índice de seca para Nordeste do Brasil**. 2010. Disponível em:

<http://www.ime.unicamp.br/sinape/sites/default/files/Analise%20de%20%C3%ADndice%20de%20seca%20para%20Nordeste%20do%20Brasil.pdf>. Acesso: Janeiro 2011.

MENESES, G. M. L. **Análise e estimativa da produtividade da cultura da mamona para produção de biodiesel em função do período chuvoso no Estado do Ceará.** Dissertação (Pós – Graduação em Física) – Curso de Mestrado. Universidade Estadual do Ceará, 2007, 88pp.

MIKA, J.; HORVÁTH, S. Z.; MAKRA, L.; DUNKEL, Z. **The Palmer Drought Severity Index (PDSI) as an indicator of soil moisture.** *Physics and Chemistry of the Earth* **30**. 223-230. 2005.

MOLINA, P. A.; LIMA, L. C. T. M. Estudo de secas agrícolas no Nordeste Brasileiro. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 13, Belo Horizonte. Água em quantidade e qualidade: o desafio do próximo milênio: **Anais**. Belo Horizonte: ABHR, 1999. 1 CD-ROM.

MORID, S.; SMAKHTIN, V.; MOGHADDASI, M. Comparison of seven meteorological indices for drought monitoring in Iran. **International Journal of Climatology**, Chichester, v. 26, n. 7, p. 971–985, Jun. 2006.

OBASI, G. O. P. WMO's role in the International Decade for Natural Disaster Reduction. **Bulletin of the American Meteorological Association**, 75(9): 1655-1661. 1994.

OLADIPO, E. O. A comparative performance analysis of three meteorological drought indices. **Journal of Climatology**, Chichester, v. 5, n. 6, p. 655–664, Nov./Dec. 1985.

OMETTO, J. C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. 434 p.

PALMER, W. C. **Meteorological drought**. Washington, (US Weather Bureau Res. N° 45). 58p, 1965.

PARK, S.; FEDDEMA, J.J.; EGBERT, S.L. MODIS land surface temperature composite data and their relationships with climatic water budget factors in the Central Great Plains. **International Journal of Remote Sensing**, v.26, p.1127-1144, 2005.

PERREIRA, L. S.; CORDERY, I.; IACOVIDES, I. **Cropping with water scarcity**. Paris: UNESCO, IHP-VI, Technical Documents in Hidrology, n. 58, 2002.

PIRES, V. **Frequência e Intensidade de Fenômenos meteorológicos extremos associados a precipitação**. Dissertação de Mestrado em Ciências e Engenharia da Terra, Lisboa, pp.98. 2003.

QUIRING, S.M. Developing Objective Operational Definitions for Monitoring Drought. **Journal Applied Meteorology and Climatology**, v.48, p.1217–1229, 2009.

RAO, A.R. e PADMANABHAN, G. Analysis and modeling of Palmer's drought index series, **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v.68 (1-4), p.211-229, 1984.

REDMOND, K. T. The depiction of drought: a commentary. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 83, p.1143–1147, 2002.

REPELLI, C. A ; ALVES, J. M. B. A variabilidade interanual da estação chuvosa no estado do Ceará e a probabilidade de ocorrência de veranicos. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, (4), n.1, 107- 118. 1996.

REPELLI, C.A.; NOBRE, C.A. Um novo índice de anomalia de precipitação para o Nordeste do Brasil. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 7, 1991, Viçosa. **Anais...** Viçosa: SBAGRO, p.21-25, 1991.

ROOY, M. P. van. A rainfall anomaly index independent of time and space. **Notos**, Pretoria, v. 14, p. 43-48, 1965.

ROSSI, G., M. BENEDINI, G. E. HINTON, R.J. WILLIAMS, Learning Representations by Back-propagations Erros, **Nature**, 323(9), 533-536. 1992.

SALAS, J.D.; FU, C.J.; CANCELLIERE, A.; DUSTIN, D.; BODE, D.; PINEDA, A.; VINCENT, E. Characterizing the severity and risk of drought in the Poudre River, Colorado. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v.131, p.383-393, 2005.

SANSIGOLO, C. A. Variabilidade interanual da estação chuvosa no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.4, n.1, p.101-105. 1996.

SANSIGOLO, C. A. Análise comparativa do desempenho dos índices de seca de Palmer (ISSP) e da precipitação normalizada (SPI) em Piracicaba, SP (1917-2001). Rio de Janeiro-RJ. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.19, n.3, 237-242, 2004.

SANTOS, R. S. **AVALIAÇÃO DA RELAÇÃO SECA/PRODUTIVIDADE AGRÍCOLA CONSIDERANDO CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS**. Dissertação de Mestrado em Meteorologia Agrícola. Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa- Minas Gerais, Brasil. 109 p., 2008.

SANTOS, R.M.N.; PEREIRA, A.R Índice de Severidade de Seca de Palmer para a Região Oeste do Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria/RS, v.6, n.1. p.139-145, 1999.

SILVA, F. A. S.; RAO, T. V. R. Regimes pluviais, estação chuvosa e probabilidade de ocorrência de veranicos no Estado do Ceará. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.6, n.3, p.453-459, 2002

SILVA, A.; SANTO, F.; PIRES, V. **A seca em Portugal: prevenção, monitorização e mitigação**. 2005. Disponível em: <<http://pandaigeo.pt/pancd/pdfs/seca2005/FatimaEspiritoSanto.pdf>>. Acesso em: Janeiro de 2009.

SOUZA, E. B. de; KAYANO, M. T.; AMBRIZZI, T. The Regional Precipitation Over the Eastern Amazon/Northeast Brazil Modulated by Tropical Pacific and Atlantic SST

Anomalies on Weekly Timescale. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 19, p. 325-336. 2004.

SOUZA, A.; ALBUQUERQUE, B. F. C.; LOPES, T. C. S. P. L. Um estudo do índice de Bhalme e Mooley – IBM (Bhalme E Mooley, 1980); Índice de anomalia de chuva – IAC (Rooy,1965) Para O Estado De Mato Grosso Do Sul. In: XI Congresso Brasileiro de Meteorologia – Rio de Janeiro. p. 1250-1258. **Anais,....**, Rio de Janeiro, 2000.

STEILA, D. **Drought Analysis in Four Southern States by a New Index**, PhD Diss., Athens, Ga., The University of Georgia. 1971.

THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**, New York, v. 38, p. 55-94, 1948.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J.R. **The water balance**. Publications in Climatology. New Jersey: Drexel Institute of Technology, 104p. 1955.

TONKAZ, T. Spatial-temporal assessment of historical droughts using SPI with GIS in GAP Region, Turkey. **Journal of Applied Sciences**, v. 12, n. 6, p. 2565-2571, 2006.

TSAKIRIS, G.; VAMGELIS, H. Towards a drought watch system based on Spatial SPI. **Water Resources Management**, v. 18, p. 1-12, 2004.

WARRICK, R. A., **Drought Hazard in the United States: A Research Assessment**, national Technical Information Service, Springfield, Virginia. 1975

WHEEL WRIGHT, S. C. **Forecasting methods for management**. 4 ed. New York: John Wiley & Sons, 1985.

WILHITE, D.A. Drought as a natural hazard: conceptions and definitions. In: WILHITE, D. A. **Drought: a global assessment**. London: Routledge, p. 3-18. 2000.

WILHITE, D.A. Drought. In: HOLTON, J.A; PYLE, C.; CURRY, J.A. **Encyclopedia of Atmospheric Science**.New Yourk: Elsevier Science, 2003.

WILHITE, D.; BUCHANAN-SMITH, M. - “*Drought as hazard: understanding the natural and social context*”, in **Drought and Water Crises – Science, Technology, and Management Issues**, editado por D.A. Wilhite, Boca Raton, Taylor & Francis, 2005, pp. 3–29.

WILHITE, D. A.; GLANTZ, M.H. Understanding the drought phenomenon: The role definations. In: WILHITE et al. **Planning for drought toward a reduction of societal vulnerability**. Colorado: Westview, cap. 2, p. 11-14. 1987.

WILLEKE, G., J. R. M. HOSKING, J. R. Wallis and N. B. **Guttman, The national drought atlas. Institute for water resources report 94-NDS-4**, U.S. Army Corps of Engineers. 1994.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION - (WMO). **Drought and agriculture**. Geneva, Switzerland: WMO, 1975. 127 p. (Tech. Note 138, Publ. WMO-392)

XAVIER, T. DE Ma., B. S.; XAVIER, A. F. S. Classificação de anos secos e chuvosos na região Nordeste do Brasil e sua distribuição espacial. **Anais....** CBMet, Belo Horizonte, 1984.

YAO, A. Y. M. The R index for plant water requirement. *Agric. Meteorology*, 6: 259-273, 1968.