

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
CURSO DE MESTRADO EM METEOROLOGIA

ESTUDOS DE PERIODICIDADES:
SÉRIES TEMPORAIS DE CHUVAS NO NORDESTE DO BRASIL

EDMUNDO MARINHO DO MONTE

CAMPINA GRANDE
AGOSTO — 1.986

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

ESTUDOS DE PERIODICIDADES:
SÉRIES TEMPORAIS DE CHUVAS NO NORDESTE DO BRASIL

DIGITALIZAÇÃO:
SISTEMOTECA - UFCG

EDMUNDO MARINHO DO MONTE

CAMPINA GRANDE
AGOSTO - 1986

EDMUNDO MARINHO DO MONTE

ESTUDOS DE PERIODICIDADES: SÉRIES TEMPORAIS DE
CHUVAS NO NORDESTE DO BRASIL

Dissertação apresentada ao
Curso de MESTRADO EM METEORO
LOGIA da Universidade Federal
da Paraíba, em cumprimento às
exigências para obtenção do
Curso de Mestre.

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO : METEOROLOGIA APLICADA

PEDRO VIEIRA DE AZEVEDO
Orientador

CAMPINA GRANDE

ESTUDOS DE PERIODICIDADES: SÉRIES TEMPORAIS
DE CHUVAS NO NORDESTE DO BRASIL

Edmundo Marinho do Monte
EDMUNDO MARINHO DO MONTE

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 05/09/86

Pedro Vieira de Azevedo
PEDRO VIEIRA DE AZEVEDO
Orientador

Jose Orbe Rocha de Aragão
JOSE ORIBE ROCHA DE ARAGÃO
Membro

Juan Carlos Ceballos
JUAN CARLOS CEBALLOS
Membro

CAMPINA GRANDE
SETEMBRO- 1986

OFERECIMENTO

A

Minha bondosa

Mãe Gizelda

AGRADECIMENTOS

Ao meu pai José do Monte, antes de tudo pelo amigo que é.
À minha esposa Sandra e filhos Daniel e Patrícia por permanecerem juntos de mim.

Aos meus irmãos Hildebrando, Lúcia, Helena, Margarida, Leonardo e Zélia pela confiança depositada em mim.

À minha avó Anita e tia Lígia pelos incentivos dados.

Ao meu sogro Farias e sogra Arlene pelos favores prestados.

Aos Engenheiros Fernando Hilton e Eyres Diana pela colaboração nos programas computacionais.

Ao datilógrafo José Fernando Santos e a desenhista Cleide dos Santos.

Ao Dr. PEDRO VIEIRA DE AZEVEDO pelo constante apoio e orientação.

Ao Dr. JUAN CARLOS CEBALLOS pelas orientações e valiosas sugestões apresentadas.

Ao Dr. JOSÉ ORIBE ROCHA DE ARAGÃO pela revisão final do texto e importantes sugestões fornecidas.

Ao Dr. FRANCISCO ANTÔNIO MORAIS DE SOUZA pelo incentivo dado e sugestões de grande valor.

À Dr.^a TEREZINHA DE M.^a BEZERRA SAMPAIO XAVIER pelas sugestões comunicadas.

Ao Dr. CARLOS AFONSO NOBRE pelas sugestões apresentadas quando da execução do plano de dissertação.

À Coordenação do Curso de Mestrado em Meteorologia, e ao Núcleo de Meteorologia Aplicada pelas facilidades colocadas à disposição, principalmente no que diz respeito às séries de dados utilizados.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq pela bolsa concedida.

E, finalmente a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram e tornaram possível a realização deste trabalho, nos sa gratidão.

RESUMO

Analisando-se os totais mensais e anuais de precipitação para 96 postos da região Nordeste do Brasil, referentes ao período de 1912 a 1981, identificam-se cinco regimes pluviais. Regimes climáticos representando cada um destes regimes pluviais são definidos. Tais regimes climáticos são denominados por RM1 e RM2; RL1 e RL2; RD; localizados respectivamente nas subregiões Norte, Leste e Sul do Nordeste do Brasil.

Utiliza-se Análise Harmônica para a identificação de componentes cíclicas nas séries pluviométricas dos 96 postos. Periodicidades diferentes distribuem-se ao longo das subregiões do Nordeste do Brasil, sugerindo que mais de um sistema físico contribui para as chuvas na região. Notadamente, uma periodicidade de 13 anos aparece de forma mais frequente nas chuvas no Nordeste. Sugere-se que esta última periodicidade está relacionada com ocorrências (a cada 13,2 anos) de um forte "El Niño", e ainda, possivelmente, ligada ao ciclo de 11 anos do número de manchas solares.

Determinam-se correlações estatísticas entre as séries de precipitações anuais dos regimes climáticos. Os resultados de tais correlações indicam que, possivelmente, mais de um sistema físico em escala global atua nas subregiões do Nordeste do Brasil (Norte, Leste e Sul) e também que um sistema físico global atua, ano a ano, sobre toda a região. Encontra-se uma fraca correlação linear entre as precipitações dos regimes climáticos e o número de manchas solares.

Analisa-se um modelo de regressão linear, que tem como variáveis os valores extremos (máximos, mínimos) do número de manchas solares e das precipitações médias dos regimes climáticos. Tal modelo é utilizado em prognósticos de precipitações médias regionais dos regimes climáticos. Devido à fraca correlação entre as precipitações dos regimes climáticos e o número de manchas solares, o modelo de regressão considerado contém um alto grau de incerteza.

ABSTRACT

Monthly and annual totals of precipitation from 96 stations in Northeast Brazil, period 1912-1981, were analyzed. Five rain regimes were identified and used for establishing corresponding climatic regimes. Such climatic regimes are named RM1 and RM2; RL1 and RL2; RD; and located at the North, East and South Brazilian Northeast subregions.

Harmonic analysis was employed for identifying cyclic components of each station precipitation time series. The analysis showed that different periodicities are distributed throughout Brazilian Northeast region, suggesting that more than one physical system contributes for rains in that region. Particularly, a thirteen-year periodicity appears more frequently. It is suggested that this periodicity is correlated with occurrence (at each 13.2 years) of a strong "El Niño" and, also, related to the eleven-year cycle of sunspot number.

Statistical correlations between annual precipitation time series of the climatic regimes were determined. They suggest that, possibly, more than one physical system in a global scale acts on the different sub-regions of Northeast Brazil, (North, East and South) also that a global physical system acts, year after year, over the whole region. A weak correlation was found between precipitation of the climatic regimes and sunspot number.

A linear regression model was employed for the extreme values (maxima, minima) of precipitation and sunspot number. Such model was used for predicting mean regional

precipitation for each climatic regime. Because of the weak correlation between precipitations of climatic regimes and sunspot number, this regression model is considered to have a high degree of uncertainty.

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 4.1.a - Localização Geográfica dos 96 postos escolhidos (N ^{os} dos postos), sobre o Nordeste do Brasil	29
Figura 4.1.b - Distribuição Geográfica dos regimes Climáticos no Nordeste do Brasil	33
Figura 4.2 - Distribuição anual média de precipitação, confeccionada com base nos postos 89-96	45
Figura 4.3 - Distribuição anual média de precipitação, confeccionada com base nos postos (1-4, 9-14, 17-20)	46
Figura 4.4 - Distribuição anual média de precipitação, confeccionada com base nos postos (5, 6, 7, 8, 15, 16 e 21-52)	47
Figura 4.5 - Distribuição anual média de precipitação, confeccionada com base nos postos (53, 55, 58-60, 64-66, 68, 72-74 e 88)	48
Figura 4.6 - Distribuição anual média de precipitação, confeccionada com base nos postos (54, 56, 57, 61, 62, 63, 67, 69, 70, 71, 75-87)	49

Página

Figura 4.7	- Desvio médio normalizado anual de precipitação, confeccionado com base nos postos (89-96)	50.
Figura 4.8	- Desvio médio normalizado anual de precipitação, confeccionado com base nos postos (53, 55, 58-60, 64-65, 68, 72-74 e 88)	51
Figura 4.9	- Desvio médio normalizado anual de precipitação, confeccionado com base nos postos (54, 56, 57, 61-63, 67, 69, 70, 71 e 75-87)	52
Figura 4.10	- Desvio médio normalizado anual de precipitação, confeccionado com base nos postos (1-4, 9-14, 17-20)	53
Figura 4.11	- Desvio médio normalizado anual de precipitação, confeccionado com base nos postos (5, 8, 15, 16 e 21-52)	54
Figura 4.12	- Polígono de frequência e histograma da precipitação anual média com base nos postos (89-96)	55
Figura 4.13	- Polígono de frequência e histograma da precipitação anual média com base nos postos (53, 55, 58-60, 64-66, 68, 72-74 e 88)	56
Figura 4.14	- Polígono de frequência e histograma da precipitação anual média com base nos	

postos (54, 56, 57, 61-63, 67, 69, 70, 71 e 75-87)	57
Figura 4.15 - Polígono de frequência e histograma da precipitação anual média com base nos postos (1-4, 9-14 e 17-20)	58
Figura 4.16 - Polígono de frequência e histograma da precipitação anual média com base nos postos (5-8, 15, 16 e 21-52)	59
Figura 5.1 - Distribuição das periodicidades de chuvas no Nordeste do Brasil	67

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 4.1 - Postos pluviométricos utilizados	27
Tabela 5.1 - Harmônicos (j) selecionados de acordo com as estatísticas \bar{g}_1 e \bar{g}_e . Os harmônicos significativos ao nível de 0,05 são indicados	61
Tabela 5.2 - Valores dos coeficientes de correlação $R_{xy}(K)$ e dos coeficientes de determinação $[R_{xy}(K)]^2$	71
Tabela 5.3 - Retas de regressão estimadas e desvios padrões das séries dos resíduos ε_t e médias anuais das séries de precipitação RD, RM1, RM2, RL1 e RL2	77
Tabela 5.4 - Resultados do Teste de Normalidade	78
Tabela 5.5 - Prognósticos de precipitações médias anuais (ano hidrológico), máximas e mínimas \hat{Y}_t , pelo método de regressão linear, para os regimes RM2, RM1, RL2 e RD, e probabilidades de Y_t está acima ou abaixo da média \bar{Y}	80

SUMÁRIO

Página

1. INTRODUÇÃO	01
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	05
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
3.1 - Teste de normalidade	15
3.2 - Periodicidades: Definições e teste de signi- ficância estatística	16
3.3 - Coeficiente de correlação cruzada	20
3.4 - Modelo de previsão	21
3.4.1 - Modelo de regressão linear	22
4. MATERIAIS E MÉTODOS	25
4.1 - Disponibilidade de dados	25
4.2 - Programas computacionais	26
4.3 - Caracterização de regimes pluviais	26
4.3.1 - Regime pluvial RD	30
4.3.2 - Regime pluvial RM	32
4.3.3 - Regime pluvial RL	36
-4.4 - Teste de normalidade	39
4.5 - Teste das periodicidades	40
4.6 - Coeficientes de correlação cruzada	41
4.7 - Previsão de anos com precipitação máxima ou mínima, para os regimes climáticos RD, RM1, RM2 e RL2	42

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	60
5.1 - Periodicidades das chuvas no Nordeste	60
5.2 - Correlação cruzada,	69
5.2.1 - Correlação entre as séries do número de manchas solares e as séries de precipitação dos regimes climáticos	61
5.2.2 - Correlação entre as séries dos regimes climáticos	70
5.2.3 - Correlações entre a série de precipitação de Fortaleza e as séries de precipitações dos regimes climáticos	74
5.3 - Previsão de anos com valores extremos de precipitação (máximos ou mínimos) para os regimes climáticos RD, RM1, RM2 e RL2	75
6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES	84
7. BIBLIOGRAFIA	87
- APÊNDICE	95

1. INTRODUÇÃO.

A região Nordeste do Brasil, localizada entre 1-18°S de latitude e 35-47°W de longitude, com aproximadamente $1,5 \times 10^6 \text{ km}^2$ é considerada uma região anômala nos continentes tropicais, do ponto de vista da distribuição das chuvas. Isto porque a região Nordeste do Brasil está situada no cinturão úmido equatorial.

O entendimento do regime de chuvas no Nordeste brasileiro reveste-se de importância fundamental para as atividades agrícolas, agropecuárias e de planejamento, haja visto a grande variação nos totais da precipitação pluviométrica, ano a ano, com ocorrências de secas em alguns anos e enchentes em outros. Além disso, a variação espacial e principalmente temporal, acarreta enormes transtornos as atividades agrícola e aos órgãos de planejamento de atividades agropastoris e industriais. O fato da distribuição das chuvas — na maioria dos casos de grande intensidade e curta duração — apresentar uma considerável não uniformidade espacial tem causado sérios problemas à agricultura da região tais como: dificuldades na adaptação das culturas à incerteza do comprimento da estação chuvosa e da disponibilidade de água durante a germinação, períodos vegetativo e reprodutivo das culturas; dificuldades no estabelecimento da estação de cultivo, da melhor época de plantio para cada local; dimensionamento de estruturas hidráulicas e de reservatórios.

Ao longo dos anos*, pesquisadores têm dado atenção especial à problemática das irregularidades na precipitação

pluviométrica (secas e enchentes) na faixa semi-árida nordestina situada nas vizinhanças do cinturão úmido equatorial.

Dentre as várias técnicas utilizadas por cientistas para explicar o fenômeno das secas do Nordeste pode-se citar: a influência da migração da zona de convergência intertropical, a correlação com o fenômeno "El Niño" e com as temperaturas do oceano Atlântico. Entretanto, um maior número de estudos tem enfatizado a análise estatística das séries temporais e das probabilidades de frequências, no sentido da previsão das condições futuras. Devido à aleatoriedade dos valores diários da precipitação, estes são normalmente tratados com modelos probabilísticos. As séries mensais ou anuais são estudadas como funções cíclicas por serem consideradas como "flutuações climáticas". Entretanto, o estudo de flutuações climáticas é de grande complexidade científica, exigindo portanto muita cautela na interpretação das ferramentas estatísticas empregadas assim como nos resultados e conclusões alcançados. Esta complexidade é ainda maior no caso das séries temporais da precipitação pluviométrica do Nordeste, levando-se em conta, como já mencionado anteriormente, a sua variabilidade espacial e temporal. Para melhor entendimento das flutuações climáticas a Organização Meteorológica Mundial (W.M.O., 1966) recomenda os seguintes critérios: ter-se uma medida segura das flutuações; interpretação estatística das flutuações, decidindo-se até que ponto são compostas por tendências, ciclos, persistência; descrição detalhada das flutuações, identificando quais os elementos climáticos envolvidos, suas interdependências e a lei universal que descreve as flutuações; a causa

das flutuações e a previsão de futuras ocorrências na medida em que elas podem ser estudadas mediante um tratamento estatístico ou físico.

Em face às necessidades e problemáticas do clima nordestino, tratadas anteriormente, perseguem-se os seguintes objetivos:

1. Caracterizar regimes pluviais aproximados para as chuvas da região Nordeste do Brasil. Em seguida, definir séries de médias pluviométricas denominadas de regimes climáticos.
2. Identificar e avaliar periodicidades contidas nas séries de dados pluviométricos sobre o Nordeste brasileiro, através de um teste estatístico de periodicidades (variante do teste de Fisher). Associar a tais periodicidades possíveis causas físicas, por exemplo, o ciclo periódico de 11 anos existente na atividade solar.
3. Determinar a correlação linear nas séries de precipitações anuais dos regimes climáticos, referidos anteriormente, entre si e entre as séries do número de manchas solares, e ainda, entre a série de precipitações anuais de Fortaleza. Verificar através desta análise o comportamento sobre a região Nordeste de possíveis indicadores físicos de chuvas.
4. Fazer prognósticos de anos em que as precipitações médias dos regimes climáticos estão acima ou abaixo da média anual temporal, através do modelo de regressão linear que tem como variáveis os valores extremos (máximos, mínimos)

do número de manchas solares, e valores extremos (máximos, mínimos) das precipitações médias dos regimes climáticos. Tal modelo é baseado na correlação entre as precipitações médias dos regimes climáticos e o número de manchas solares.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.

Ao longo dos anos, esforços têm sido feitos no que diz respeito ao entendimento das flutuações climáticas na região Nordeste do Brasil.

HULL (1942), estudou a frequência das secas no Estado do Ceará e sua relação com a frequência dos anos de manchas solares mínimas. Constatou que durante o período de 1662 a 1963 houveram 44 secas, divididas em secas grandes, parciais e totais. Por outro lado através dos estudos de Wolf em Zurich, observou os anos de manchas solares para o período de 1690 a 1937 destacando os anos de manchas solares mínimas e máximas.

Conclui, com base no estudo das datas dos anos secos e das datas dos mínimos de manchas solares que: existe estreita relação subjetiva entre as secas do Ceará e as épocas de mínimos de manchas solares; o ciclo da frequência, em conjunto, das manchas solares e das secas no Ceará deve ser de aproximadamente 11,0 anos; há um eixo comum para esses ciclos ou frequências que passa através dos anos de 1756, 1767, 1808 e 1909, foi 1878 o ano central da grande seca de 1877 a 1879; o biênio de cada lado desse eixo comum representa o período seco; 75% das secas verificaram-se dentro desse período seco de quatro anos ou nele tiveram seu início; no mesmo período estudado para as secas, 243 anos, 87% das manchas solares mínimas ocorreram no período seco de quatro anos.

Finalmente, baseado nos estudos de Wolf, citado em

HULL (1942), e em resultados puramente subjetivos, pode prever uma seca entre 1942 e 1947, devendo esta, porém, ser seguida de invernos normais por um período de cerca de 30 anos. O que de fato não ocorreu pois os anos de 1952, 1953, 1958, 1966 e 1970 foram considerados secos e portanto com invernos anor mais.

FERRAZ (1950), utilizando-se dos totais anuais de precipitação para o período 1849 a 1948 na série de dados de chuva de Fortaleza, descobriu periodicidades de 13 e 24 anos aproximadamente. Explicou que tais periodicidades aparentes eram a resposta da atmosfera às quase - periodicidades da ati vidade solar. Através dos ciclos encontrados, fez uma previ são de seca para meados da década de 50, o que realmente não ocorreu, vindo ocorrer secas parciais nos anos de 1951, 1952, 1953 e 1958.

MARKHAM (1974), a partir dos totais anuais da chu va de Fortaleza para o período 1850 a 1970, analisou as auto correlações da série, mais especificamente calculou o poder do espectro da série de precipitação anual, sem introduzir filtros, para períodos separados de 40 e 86 anos. Verificou que picos de 13 e 26 anos são estatisticamente significativos ao nível de 1%.

GIRARDI & TEIXEIRA (1978), utilizando dados de precipitação anual de chuvas de Fortaleza no período de 1849 a 1977, constataram através de métodos puramente subjetivos, a existência de periodicidades na série estudada, na primeira fase da pesquisa. Adaptaram duas senóides com períodos de 13

e 26 anos com amplitudes de 1400 mm e 2000 mm de chuva ao longo da amostra. Após analisadas as senóides, encontraram os seguintes pontos singulares: curvas de fase caracterizando períodos secos (secas graves); as curvas em oposição, mostrando períodos de transição e dificuldades de prognósticos; intersecção das curvas, revelando, nas vizinhanças desses pontos, bons índices de chuvas. Outro fato interessante encontrado é aquele em que as curvas são paralelas. Nestas circunstâncias, a pluviosidade permanece praticamente limitada pelas duas curvas acompanhada do sentido das mesmas. Com esta última característica observaram os períodos com chuvas escassas de 1875 a 1881, 1901 a 1907, 1953 a 1959 e semelhantemente prognosticaram a ocorrência de chuvas escassas no período de 1979 a 1985. Nesse trabalho, posteriormente foi aplicada a análise harmônica para a mesma amostra, evidenciando fortes oscilações com períodos de 12,8 e 25,6 anos.

Os resultados obtidos por GIRARDI & TEIXEIRA (1978) na análise matemática aproximaram-se dos resultados da análise subjetiva. Assim sendo foi confirmada a previsão de um período de chuvas escassas entre os anos de 1979 a 1985, o que de fato ocorreu entre 1979 a 1983.

Num trabalho mais amplo, KOUSKY & CHU (1978), empregaram vários métodos estatísticos no estudo das flutuações nos totais anuais de precipitação para 229 estações no Nordeste do Brasil. Estimativas espectrais suavizadas foram calculadas para mais de 140 estações. Detectaram a presença de picos para períodos de 3 e 5 anos no Norte, e 2 e 3 anos no Sul e

Leste do Nordeste brasileiro. O número de picos obtidos, significativos ao nível de 10%, não foram suficientemente significativos para serem usados em previsões. Entretanto apresentaram correlação espacial, que pode ser usada em estudos dinâmicos para explicar as variações da precipitação.

KOUSKY & CHU (1978) constataram ainda que o uso de séries temporais suavizadas possibilita a comparação e a possível obtenção de oscilações de períodos longos e também revelam alguma tendência de natureza transitória. Observaram as chuvas para o período (1931 a 1960) para diversas áreas do Nordeste do Brasil revelando assim que a região Sul e Norte do Nordeste não estão sempre positivamente correlacionadas. Sugerem então que a região Norte do Nordeste é influenciada pela circulação normal do Hemisfério Norte e a região Sul é influenciada parcialmente, no mínimo, por alguma característica da circulação normal do Hemisfério Sul.

Posteriormente KOUSKY (1980), argumentou que se as oscilações de 13 e 26 anos fossem periódicas, então suas amplitudes seriam necessariamente invariantes no tempo. Para testar esta hipótese, a série de 130 anos de totais de preciitação nos anos hidrológicos (Nov/Out) de Fortaleza, Ceará, utilizado por STRANG (1979), foi dividida em cinco períodos de 26 anos, e feita a análise de cada período. Chegou a conclusão que as amplitudes do primeiro e segundos harmônicos, 26 e 13 anos, respectivamente, mostraram uma variabilidade considerável, não podendo assim, as séries, serem consideradas como estacionárias no tempo.

Para verificar até que ponto a precipitação de Fortaleza é representativa da precipitação para a região Nordeste, os totais de precipitação para os anos hidrológicos (Set/Ago) de várias estações foram correlacionados com os de Fortaleza. Concluiu KOUSKY (1980), baseado também em causas físicas do regime de chuvas do Nordeste, que mesmo se a série de precipitação de Fortaleza pudesse ser prevista perfeitamente, isto teria uma aplicação limitada para o Norte do Ceará.

KANTOR (1980), utilizando dados das médias anuais do número de manchas solares no período 1700 a 1974, e para o mesmo período, dos anos em que ocorreram secas parciais, grandes ou totais no Nordeste, definidas de acordo com a tabela da FUNCEME, estudou a estatística e análise harmônica de cada série temporal e a relação entre as séries temporais. Observou a ocorrência ou não de seca parcial, seca grande e seca total, num ciclo solar, (abaixo ou acima da média móvel de 11 anos, respectivamente). Em seguida foi determinado o valor do Qui-Quadrado da distribuição ao longo dos 25 ciclos e a porcentagem de secas no máximo e mínimo solar. Verificou que as secas não são distribuídas uniformemente e se concentram principalmente no mínimo solar. Associando-se uma fase, ao ciclo solar, foi possível um estudo mais quantitativo da ocorrência de secas, próximo ao mínimo solar. Encontrou a fase do setor que melhor rejeita a hipótese de distribuição homogênea de secas nas fases possíveis e seu valor Qui-Quadrado respectivo. O autor conclui que não é possível aceitar a hipótese de distribuição homogênea das secas totais e grandes em relação ao número de manchas solares. Já as secas parciais mostraram-se

distribuídas mais homoganeamente em relação às manchas solares.

XAVIER & XAVIER (1981), utilizaram a análise harmônica nas séries da pluviometria anual de Fortaleza (CE), Quixeramobim (CE) e Mossoró (RN). Foram encontradas periodicidades predominantes, de 13 e 26 anos, cuja significância foi examinada pelo teste de SIEGEL (1980). Trabalharam com valores originais, não suavizados por médias móveis, para evitar a introdução de periodicidades fictícias. Contudo, tais periodicidades parecem ter baixo poder explicativo quanto à ocorrência de mínimos ou máximos da pluviometria anual. Por outro lado, mostraram que o fato dessas periodicidades serem simultaneamente extraídas tanto dos dados de Fortaleza como dos de Mossoró, não é argumento infalível a seu favor, uma vez que as duas localidades mostraram comportamento pluviométrico muito semelhante, mesmo sendo a média anual em Mossoró menos da metade em relação a média anual de Fortaleza. Concluem finalmente, com uma observação a respeito da circunstância de que muito provavelmente não se trata de periodicidades, e sim, de "quase-periodicidades".

KANTOR (1982), utilizando um processo auto-regressivo de previsão, cujos coeficientes foram calculados pelo método da máxima entropia de Burg citado em KANTOR (1982), analisou a série de precipitação anual de Fortaleza no período 1849 a 1978. Os cálculos mostraram que a série de precipitação de chuvas de Fortaleza não é muito previsível por métodos lineares a partir dos próprios dados, e o erro do modelo

de previsão proposto, sendo grande comparado com a variação dos dados. Sendo assim o grau de incerteza dos resultados aumenta, afirma o autor que previsões devem portanto, ser empregadas com cautela.

NOBRE et alii (1982), também apresentaram uma análise estatística da longa série dos totais anuais de precipitação de Fortaleza (1849 a 1979). Testes estatísticos foram aplicados à série a fim de testar a hipótese da presença de ruído branco. Adicionalmente foi empregado o teste de normalidade para fundamentar a hipótese de que a série possa provir de um modelo do tipo, $\mu + \varepsilon_t$, sendo μ a média anual e ε_t os erros normais e independentes. Foi comprovada a existência de duas periodicidades com períodos de aproximadamente 13 e 26 anos, através do teste de Fisher para periodicidades (SHIMSHONI, 1971). Baseados nestas periodicidades formularam um modelo de previsão do total anual da chuva para Fortaleza. O modelo empregado foi o clássico e já conhecido modelo senoidal. Mostraram que o modelo explica em torno de 24% da variância da série original. Concluíram assim que o grau de incerteza no prognóstico de secas no Nordeste do Brasil pelo método das periodicidades, é alto. Portanto, qualquer previsão dada por tal modelo deve ser analisada com muita cautela.

MORETTIN et alii (1984) revisam os principais testes estatísticos disponíveis (Fisher, Whittle, Hannan, Bartlett, Priestley, Siegel) para detecção e significância de periodicidades. Os testes foram também aplicados aos dados de precipitação anual de chuva para a cidade de Fortaleza (CE), Bra

sil. Todos os testes, exceto o de Bartlett detectaram dois termos harmônicos significativos de frequências $2\pi/26,2$ e $2\pi/13,1$. Tendo em vista estes resultados, um modelo senoidal de previsão foi preliminarmente aplicado aos dados de precipitação anual de Fortaleza. Em seguida, fizeram a análise dos resíduos, e comparando este último modelo com o modelo autoregressivo concluíram que o modelo senoidal se adapta melhor aos dados de chuvas de Fortaleza.

REDDY (1984), objetivando conhecer a variação cíclica nas séries de precipitação e homogeneidade do regime pluvial do Nordeste do Brasil utilizou dados de 70 anos de precipitação anual de 105 locais, submetidos a análise espectral. De uma certa forma as regiões entre $4-8^\circ$ de latitude são diferentes em relação as regiões ao Sul de 4° de latitude. Tal diferença foi verificada também através do coeficiente de variação da precipitação anual. Para os dados de Fortaleza (CE) no período 1849 a 1981 foi feita a auto-regressão, apresentando os ciclos de 52, 26, 13 e 6,5 anos. A precisão da curva integrada é em geral boa, comparada com os dados observados. Comparando-se com outras regiões, a precisão é boa somente para poucas regiões.

Em termos de ciclos significativos para dados de precipitação anual do Nordeste do Brasil (excluindo Maranhão e Piauí) três zonas homogêneas foram identificadas por REDDY (1984).

Região I - localizada ao norte do paralelo $4^\circ S$;

Região II - localizada entre $4-8^\circ S$ de latitude;

Região III - localizada ao sul do paralelo 8°S .

A diferença na densidade espectral amostral entre localizações vizinhas é mais associada com a não-homogeneidade nos dados das séries observadas. Essa característica é também revelada pelo coeficiente de variação da precipitação anual, tendo um comportamento irregular.

Como visto, na bibliografia investigada, analisar e explicar as anomalias das chuvas, incluindo o estudo de periodicidades pluviais sobre o ponto de vista estatístico e possíveis causas físicas dessas anomalias para região Nordeste do Brasil, não é uma tarefa trivial. De fato, vários fatores contribuem para que esses aspectos tornem-se complexos. Alguns desses fatores podem ser mencionados como: a grande variação das chuvas de ano para ano na região Nordeste; a estação chuvosa não é a mesma para toda a região; as séries pluviométricas não possuem períodos longos, para uma análise estatística mais adequada, razão pela qual existe um grande número de trabalhos que utilizam a grande série pluviométrica de Fortaleza (período de 1848 a 1984), a qual, muitas vezes, não é adequada para representar outras séries localizadas em regiões de regimes de chuvas diferentes. Contudo, a série de precipitação de Fortaleza continua sendo utilizada em estudos estatísticos, como presente em NOBRE et alii (1982), onde o modelo senoidal de previsão é empregado na série e discutido a representatividade dos dados de chuva de Fortaleza. Este último autor e outros citados na presente análise bibliográfica confirmaram a existência de periodicidades na série de preci

pitação de Fortaleza. Propõe-se neste trabalho utilizar-se os métodos empregados na série de Fortaleza, como o teste das periodidades, nas séries pluviométricas de vários postos da região nordestina.

Através da análise bibliográfica citada, também pode-se notar a necessidade de se fazer, sobre diversos aspectos, e com mais detalhes uma análise estatística e possíveis explicações físicas da relação clima-atividade solar, utilizando as séries pluviométricas da região Nordeste do Brasil e a série do número de manchas solares.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.

3.1 - Teste de normalidade.

Para o teste de normalidade escolheu-se o teste apresentado pelos matemáticos russos, Kolmogorov-Smirnov, (HOEL, 1980), a fim de testar a normalidade de uma série de dados. Os passos do teste são os seguintes:

(i) Teste de hipótese.

H_0 : A função de distribuição $F(X)$ é normal com média μ e variância σ^2 , onde,

X são os dados observados;

μ é a média temporal;

σ^2 é a variância temporal;

σ é o desvio padrão temporal.

H_1 : H_0 não é verdadeira.

(ii) Nível de significância: 0,05

(iii) Cálculo de D_n .

Dada uma amostra ordenada, X_1, X_2, \dots, X_n , define-se, através dos intervalos abaixo, a função degrau $S_n(X)$ como a função de distribuição dessa amostra de tamanho n . Utiliza-se os intervalos para os cálculos dos $S(X_i)$,

$$S_n(X) = \begin{cases} 0, & \text{para } X < X_1 \\ K/n, & \text{para } X_k \leq X < X_{k+1}, K = 1, \dots, n-1 \\ 1, & \text{para } X \geq X_n \end{cases} \quad (3.1)$$

Os $F(X_i)$ são obtidos a partir da tabela de distribuição normal reduzida. O conjunto de valores $F(X_i)$ definem a distribuição normal $F(X)$. Calcula-se as distâncias, $|F(X_i) - S_n(X_i)|$ e finalmente define-se D_n como sendo a distância vertical máxima possível entre as curvas de $F(X)$ e $S_n(X)$. Neste ponto é necessário considerar o $\sup |F(X) - S_n(X)|$ em X . Na tentativa de encontrar a distância máxima entre as curvas de $F(X)$ e $S_n(X)$ se faz necessário considerar ambos, $|F(X_i) - S_n(X_i)|$ e $|F(X_i) - S_n(X_{i-1})|$, porque no ponto X_i "é permitido" escolher o topo ou a base do degrau. Uma tabela pode ser construída contendo os X_i , $S(X_i)$ e $F(X_i)$, assim inspecionada.

(iii) Conclusão do teste.

Considerando n o número de elementos da amostra, utiliza-se a tabela de HOEL (1980) para obter-se valores críticos D_n^* , de D_n , ao nível de significância 0,05. O teste de Kolmogorov-Smirnov rejeita H_0 quando $D_n > D_n^*$ e conclui-se, então que $F(X)$ não é normal ao nível de significância 0,05. Em caso contrário, a hipótese é aceita, ou seja, $F(X)$ é dita ser normal se $D_n \leq D_n^*$.

3.2 - Periodicidades: Definições e teste de significância estatística.

Vários testes encontrados na literatura estatística testam a existência de periodicidades numa série temporal. A maioria deles é baseado no periodograma, o qual é um estimador do espectro. Há uma tendência para se olhar nos p_i

cos do periodograma e concluir que cada pico é um harmônico significativo. Entretanto, picos podem aparecer devido a flutuações aleatórias. Desta forma é necessário testar a significância estatística dos picos do periodograma.

Para uma série X_t ($t = 1, \dots, N$) observada para intervalos iguais de tempo considera-se o modelo:

$$X_t = \mu_t + \varepsilon_t \quad (3.2)$$

onde μ_t representa o verdadeiro e fixo valor da variável estudada, no instante t , e ε_t uma flutuação aleatória, originária de erros de medida ou outras fontes de erros (talvez um ruído sobreposto). Assume-se que os erros ε_t são independentes, e normalmente distribuídos, isto é, $\varepsilon_t \sim N(0, \sigma^2)$, onde σ^2 é desconhecido. De um modo geral, costuma-se fazer inferência estatística sobre o comportamento da sequência μ_t , como uma função periódica. A hipótese nula é de que não há periodicidade, ou seja:

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_N \quad (3.3)$$

Faz-se $N = 2m + 1$, para séries com um número ímpar de elementos, onde m é definido por esta própria equação. Resultados análogos aparecem para N par.

Define-se os coeficientes de Fourier de maneira usual (BLOOMFIELD, 1976) por:

$$a_0 = \bar{\mu} = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N \mu_t \quad (3.4)$$

$$a_j = \frac{2}{N} \sum_{t=1}^N \mu_t \cos w_j (t - 1), \quad (3.5)$$

$$b_j = \frac{2}{N} \sum_{t=1}^N \mu_t \text{sen } w_j (t - 1), \quad (3.6)$$

onde $w_j = \frac{2\pi j}{N}$, $j = 1, \dots, m$

Deste modo, a função cíclica μ_t é representada por:

$$\mu_t = a_0 + \sum_{j=1}^m (a_j \cos w_j t + b_j \text{sen } w_j t), \quad (3.7)$$

onde a amplitude para frequência j/N é definida como:

$$R_j = \sqrt{a_j^2 + b_j^2} \quad (3.8)$$

As estimativas \hat{a}_0 , \hat{a}_j e \hat{b}_j são obtidas substituindo-se μ_t pelos dados reais da série, X_t , nas equações, (3.4), (3.5) e (3.6), respectivamente. Assim define-se o periodograma $P(w_j)$ como:

$$P(w_j) = \frac{\hat{a}_j^2 + \hat{b}_j^2}{2} = \frac{\hat{R}_j^2}{2}, \text{ onde } \hat{R}_j^2 = \hat{a}_j^2 + \hat{b}_j^2 \quad (3.9)$$

Para eliminar o efeito da variância, σ^2 define-se a estatística g_j como:

$$g_j = \frac{\hat{R}_j^2}{\sum_{j=1}^m \hat{R}_j^2} \quad (3.10)$$

A partir de então infere-se sobre (g_1, \dots, g_m) . A hipótese nula, equação (3.3), pode também ser expressa por:

$$H_0 : R_1 = R_2 = \dots = R_m = 0 \quad (3.11)$$

A hipótese pode ser colocada em função de duas frequências, j e k ,

$$H_{jk} : R_j^2 > 0 \quad \text{e} \quad R_k^2 > 0, \quad \text{para as outras} \quad (3.12)$$

frequências, $i, R_i^2 = 0$

Arranjando-se os g_j em ordem decrescente, seleciona-se os maiores valores de g_j , ou seja, escolhe-se os r -ésimos maiores termos dessa sequência rearranjada, sendo \bar{g}_r os r -ésimos maiores valores de g_j . Em particular \bar{g}_1 é o primeiro maior valor da sequência rearranjada e \bar{g}_2 o segundo maior termo da mesma sequência. Citado em SHIMSHONI, (1971), Fisher mostrou que a probabilidade, P , que \bar{g}_1 exceda um parâmetro $g > 0$ é,

$$P = m(1-g)^{m-1} - \frac{m}{2}(1-2g)^{m-1} + \dots + (-1)^{L-1} \binom{m}{L} (1-Lg)^{m-1}, \quad (3.13)$$

onde L é o maior inteiro menor que $1/g$.

As idéias de Fisher aqui apresentadas foram entendidas por GRENANDER & ROSENBLAT (1957), citados em SHIMSHONI (1971). Eles mostraram que a probabilidade P_r que os \bar{g}_r excedam um parâmetro $g > 0$ é,

$$P_r = [m!/(r-1)!] \sum_{j=r}^L (-1)^{j-r} (1-jg)^{m-1} / [j(m-j)!(j-r)!] \quad (3.14)$$

onde como antes $L = [1/g]$.

O teste rejeita H_0 , se \bar{g}_r for maior que um g^* (valor tabelado) correspondente ao nível de significância desejado. Assim pode-se dizer que os picos do periodograma correspondentes às estatísticas \bar{g}_r são significativos a tal nível de significância.

3.3 - Coeficiente de correlação cruzada.

Coloca-se X_t e Y_t , $1 \leq t \leq N$, $N =$ número de elementos das séries temporais X_t e Y_t respectivamente. De acordo com JENKINS & WATTS (1968), define-se o coeficiente de correlação cruzada como:

$$R_{xy}(k) = \frac{\gamma_{xy}(k)}{\sqrt{\gamma_{xx}(0) \gamma_{yy}(0)}} = \frac{\gamma_{xy}(k)}{\sigma_x \sigma_y} \quad (3.15)$$

onde γ_{xy} é a covariância cruzada e σ_x e σ_y são os desvios padrões das séries X_t e Y_t respectivamente. Tem-se que para,

(i) $0 \leq K \leq M - 1$, M sendo o número máximo de "lags":

$$\gamma_{xy}^{(K)} = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^{N-k} (X_t - \bar{X})(Y_{t+k} - \bar{Y}) \quad , \quad (3.16)$$

(ii) $0 < K \leq M - 1$, M definido como acima,

$$\gamma_{xy}^{(-K)} = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^{N-k} (X_{t+k} - \bar{X})(Y_t - \bar{Y}) \quad , \quad (3.17)$$

Aqui X_t e Y_t são os elementos das séries temporais X_t e Y_t , respectivamente, \bar{X} e \bar{Y} são as médias temporais das séries X_t e Y_t , respectivamente.

3.4 - Modelos de previsão.

Na literatura estatística corrente são encontrados vários tipos de modelos de previsão estatística. Escolhe-se dentre um grande número de modelos, os modelos de erro ou de regressão. Tais modelos são clássicos e muito utilizados.

A série temporal observada pode ser escrita na forma:

$$X_t = f(t) + \varepsilon_t \quad , \quad t = 1, \dots, N, \quad (3.18)$$

onde N é o tamanho da série, $f(t)$ é uma função do tempo completamente determinada (parte determinística) e ε_t é uma sequência aleatória, independente de $f(t)$. Além disso, supõe-

se que as variáveis aleatórias ε_t são não-correlacionadas, com média zero e variância constante. Desta forma, qualquer efeito do tempo influencia somente a parte determinística $f(t)$ e modelos onde X_t depende funcionalmente de X_{t-1}, X_{t-2}, \dots não estão incluídos na equação (3.18).

3.4.1 - Modelo de regressão linear.

O modelo de regressão linear é representado por:

$$Y_t = f(t) + \varepsilon_t, \quad t = 1, \dots, N,$$

$$\text{com } f(t) = \alpha + \beta X_t, \quad (3.19)$$

sendo X_t e Y_t quantidades observáveis no tempo.

As estimativas de α e β podem ser calculadas pelo método usual dos mínimos quadrados veja FONSECA et alii (1982). Coloca-se x e y como elementos de X_t e Y_t respectivamente, usando-se:

(i) Estimativa de β :

$$\hat{\beta} = \frac{S_{xy}}{S_{xx}}, \quad S_{xy} = \Sigma xy - \frac{\Sigma x \Sigma y}{N} \quad e$$

$$S_{xx} = \Sigma x^2 - \frac{(\Sigma x)^2}{N} \quad (3.20)$$

(ii) Estimativa de α :

$$\hat{\alpha} = \bar{Y} - \hat{\beta} \bar{X} \quad (3.21)$$

\bar{Y} e \bar{X} são as médias de X_t e Y_t respectivamente.

(iii) Reta de regressão estimada:

$$\hat{f}(t) = \hat{\alpha} + \hat{\beta} X_t \quad (3.22)$$

Uma análise da sequência dos ϵ_t pode ser feita para fundamentar a hipótese de que os ϵ_t são não-correlacionados e possuem uma distribuição aproximadamente normal. Usa-se o teste proposto na secção (3.1) teste de normalidade para verificação desta última parte da hipótese. Para verificação de que os ϵ_t são não-correlacionados usa-se:

$$(i) \quad C_{XX}(k) = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^{N-k} (X_t - \bar{X})(X_{t+k} - \bar{X}), \quad k = 0, 1, \dots, N-1. \quad (3.23)$$

Nessa equação N representa o número de elementos da série, k é o número de "lags" escolhidos, t é o número de ordem da série, X_t é um elemento da série temporal em estudo, \bar{X} é a média aritmética dos X_t e $C_{XX}(k)$ é a autocovariância estimada para o "lag" escolhido.

$$(ii) \quad R_{XX}(k) = \frac{C_{XX}(k)}{C_{XX}(0)} \quad (3.24)$$

Aqui $C_{XX}(k)$ é como definido na equação (3.23), $C_{XX}(0)$ é em par

particular a estimativa da variância e $R_{XX}(K)$ é o coeficiente de autocorrelação estimado para o "lag" escolhido. (JENKINS & WATTS, 1968).

$$(iii) \quad Z' = \frac{1}{N} [\ln (1 + R_{\epsilon_t}(K)) - \ln (1 - R_{\epsilon_t}(K))] \quad (3.25)$$

onde $R_{\epsilon_t}(K)$ é o coeficiente de correlação serial dos ϵ_t , para um "lag" K , Z' tem uma distribuição aproximadamente normal com média zero e desvio padrão $\sigma_{Z'} = \frac{1}{\sqrt{N-3}}$. Formula-se que os $R_{\epsilon_t}(K)$ para um K arbitrário, $K = 1, \dots, N/3$, não são significativos, ou seja, os ϵ_t estão não-correlacionados se $|Z'| \leq 1,96 \sigma_{Z'}$, para todo K , isto para um nível de significância estatística de 0,05. Z' é a transformação de Fisher, como presente em SNEDECOR & COCHRAN (1967).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 - Disponibilidade de dados.

Utiliza-se, como dados básicos, os totais mensais e anuais de precipitação pluvial de 96 postos pluviométricos distribuídos na região nordestina, e as médias mensais e anuais do número de manchas solares. Os dados de precipitação foram cedidos, pela SUDENE, ao Núcleo de Meteorologia Aplicada da Universidade Federal da Paraíba. Os dados de atividade solar disponíveis foram cedidos à FUNCEME (Fundação Cearense de Meteorologia e Chuvas Artificiais) pelo Observatório Astronômico de Bruxelas. Os programas computacionais foram elaborados e utilizados no processamento dos dados, utilizando-se do computador do Núcleo de Processamento de Dados do Campus II da Universidade Federal da Paraíba.

No sentido de melhor assegurar a representatividade dos dados para cada posto pluviométrico, optou-se por não considerar as séries com excesso de faltas de dados mensais de chuva, a média mensal climatológica serviu para preencher tais lacunas. Levou-se em consideração na escolha dos períodos das séries temporais, a uniformidade das séries, associada ao período com maior número de anos nos dados disponíveis de observação. O período escolhido para os 96 postos pluviométricos foi de 1912 a 1981. Para a série pluvial de Fortaleza estuda-se também o período de 1849 a 1984.

Escolhe-se para a série temporal do número de

manchas solares os períodos de 1912 a 1981 e 1849 a 1984, isto para efeito de tornar os períodos idênticos aos das séries pluviométricas.

Os postos pluviométricos estão relacionados na Tabela (4.1) e são localizados na figura (4.1.a).

4.2 - Programas Computacionais.

Devido a grande quantidade de dados e cálculos envolvidos neste trabalho, resolveu-se elaborar diversos programas computacionais em linguagem FORTRAN. Algumas subrotinas foram utilizadas para traçar curvas no vídeo IBM, tais como, as subrotinas "plotagem de curvas" e "histogramas".

Os programas foram utilizados, no tratamento dos dados (ano hidrológico), para o cálculo de: médias, desvios padrões, coeficientes de variação, desvio médio normalizado, teste das autocorrelações, teste de periodicidades, coeficientes de correlação cruzada e modelos de previsão.

4.3 - Caracterização de regimes pluviais.

Há uma grande variabilidade espacial e temporal nas chuvas do Nordeste. Devido a este fato, considera-se vários parâmetros que contribuem para se encontrar padrões aproximados na determinação de regimes pluviais da região nordestina. Os parâmetros utilizados na determinação dos regimes de chuvas usando-se os postos de números 1-96 (Tabela 4.1) são os seguintes:

TABELA 4.1

Postos pluviométricos utilizados e suas coordenadas locais.

NÚMERO E NOME DO POSTO	LATITUDE (graus, min)	LONGITUDE (graus, min)	ALTITUDE (metros)
01. Luiz Correia	02 53	41 40	10
02. Piracuruca	03 56	41 43	70
03. José de Freitas	04 45	42 35	130
04. Amarante	06 15	42 51	72
05. Pio IX	06 50	40 37	550
06. Oeiras	07 01	42 08	170
07. Jaicos	07 22	41 08	255
08. S. Raimundo Nonato	09 01	42 41	386
09. Meruoca	03 27	40 29	450
10. Tianguá	03 44	40 59	795
11. Fortaleza	03 42	38 30	26
12. Ubajara	03 51	40 56	870
13. Ibiapina	03 55	40 53	885
14. Guaraciaba do Norte	04 11	40 45	380
15. Ipueiras	04 33	40 43	238
16. Tamboril	04 50	40 20	360
17. Caucaia	03 44	38 39	32
18. Maranguape	03 53	38 41	67
19. Aquiraz	03 54	38 23	30
20. Cascavel	04 08	38 14	30
21. Araripe	07 13	40 08	605
22. Uruque	05 09	39 10	214
23. S. J. Jaguaribe	05 17	38 16	60
24. Mombaça	05 45	39 38	223
25. Assaré	06 52	39 52	435
26. Crato	07 13	39 23	421
27. Brejo Santo	07 29	38 59	490
28. Jardim	07 35	39 17	630
29. Areia Branca	04 57	35 08	5
30. Gov. Dix Sept Rosado	05 28	37 31	36
31. Caraúbas	05 47	37 34	146
32. Augusto Severo	05 51	37 19	65
33. Angicos	05 40	36 36	109
34. Jardim de Angicos	05 39	36 00	150
35. Luiz Gomes	06 25	38 24	640
36. Alexandria	06 25	38 01	315
37. Martins	06 05	37 55	645
38. Patú	06 06	37 38	305
39. Caicó	06 27	37 06	143
40. Cajazeiras	06 53	38 34	291
41. Antenor Navarro	06 44	38 27	240
42. Pombal	06 46	37 49	178
43. Santa Luzia	06 52	36 56	290
44. Conceição	07 33	38 31	370
45. Princesa Isabel	07 44	38 01	660

Continuação TABELA 4.1

46. Salgueiro	08 04	39 07	415
47. Belém de S. Francisco	08 46	38 58	305
48. Casa Nova	09 24	41 08	380
49. Patumutê	09 25	39 29	400
50. Uauã	09 50	39 29	439
51. Pilão Arcado	10 10	42 26	200
52. Senhor do Bonfim	10 27	40 11	544
53. Touros	05 12	35 28	4
54. Taipū	05 37	35 36	50
55. S. J. Mipibu	06 04	35 14	50
56. Santo Antonio	06 18	35 28	95
57. Araruna	06 31	35 44	580
58. Bananeiras	06 46	35 38	552
59. Areia	06 58	35 42	645
60. Alagoa Nova	07 04	35 47	500
61. Ingã	07 17	35 37	144
62. Itabaiana	07 20	35 20	45
63. Umbuzeiro	07 42	35 40	553
64. També	07 25	35 07	190
65. Bom Jardim	07 48	35 35	325
66. Timbaúba	07 31	35 19	190
67. Santana do Ipanema	09 22	37 15	250
68. Viçosa	09 23	36 15	300
69. Piranhas	09 37	37 46	110
70. Major Isidoro	09 32	36 59	217
71. Traipū	09 58	36 59	40
72. Atalaia	09 31	36 01	54
73. Anadia	09 41	36 19	105
74. Junqueiro	09 56	36 29	120
75. Porto Real do Colégio	10 11	36 50	30
76. Canindê do S. Francisco	09 39	37 48	130
77. Porto da Folha	09 55	37 16	45
78. N. S. da Glória	10 13	37 25	290
79. Aquidaba	10 16	37 02	217
80. Frei Paulo	10 33	37 32	272
81. Simão Dias	10 44	37 48	283
82. Bonfim	11 03	37 51	230
83. Euclides da Cunha	10 30	39 01	523
84. Cícero Dantas	10 36	28 22	420
85. Paripiranga	10 41	37 51	430
86. Araci	11 20	38 57	212
87. Rio Real	11 28	37 56	220
88. Esplanada	11 47	37 57	181
89. Mundo Novo	11 51	40 28	480
90. Paratinga	12 42	43 10	420
91. João Amaro	12 47	40 21	249
92. Paramirim	13 27	42 14	593
93. Rio de Contas	13 34	41 49	1002
94. Carinhanha	14 18	43 46	452
95. Palmas de Monte Alto	14 16	43 10	600
96. Queimadas	10 58	39 38	273

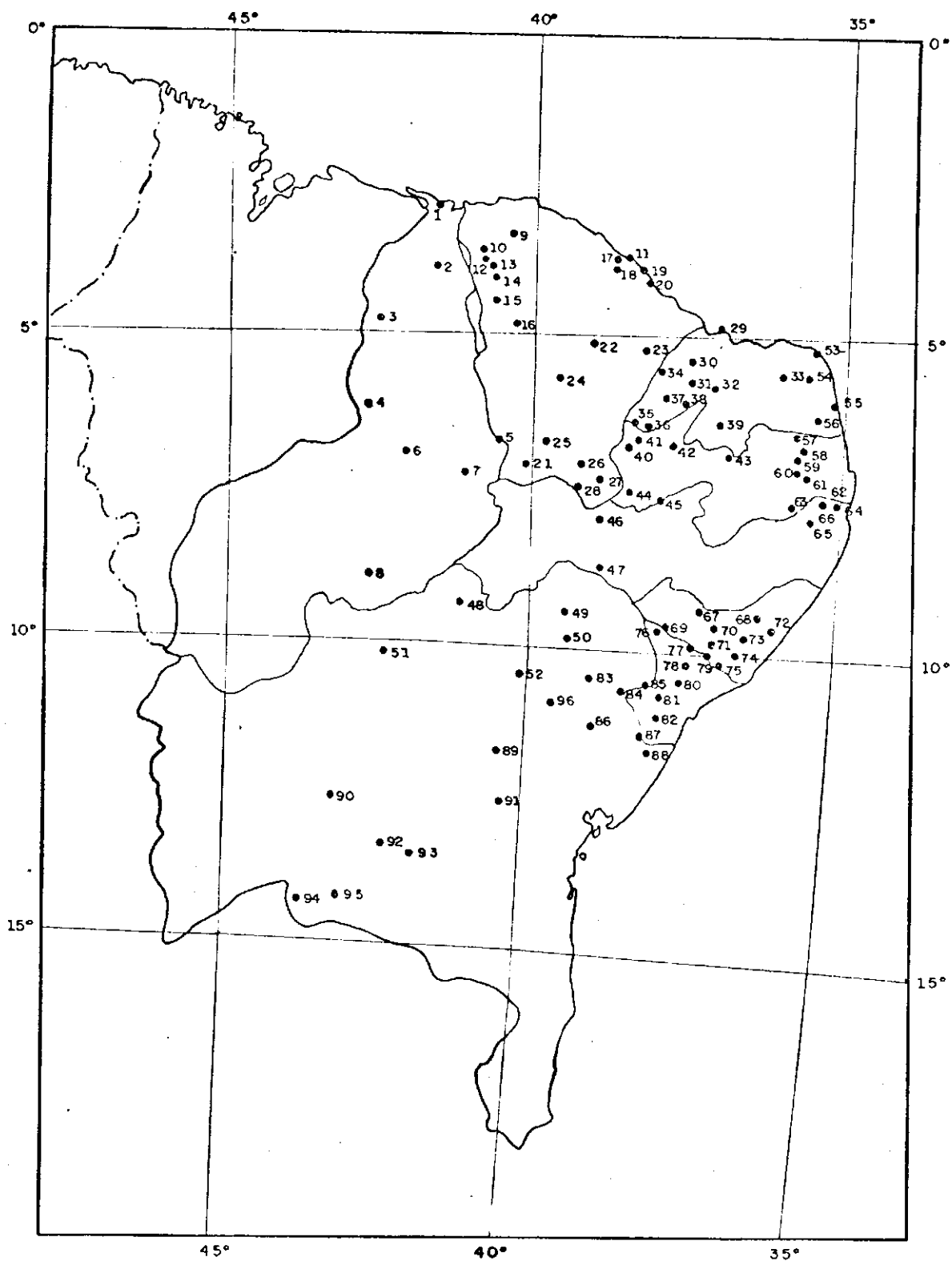


FIG. 4.1.a - LOCALIZAÇÃO GEGRÁFICA DOS 96 POSTOS ESCOLHIDOS (N^{os} DOS POSTOS), SOBRE O NORDESTE DO BRASIL.

(i) Distribuições anuais médias de precipitação para os 96 postos representadas pelas distribuições anuais médias de precipitação baseadas em grupos determinados de postos pluviométricos, como presentes nas figuras (4.2) a (4.6). A partir destas distribuições determina-se o mês mais chuvoso indicando assim, diferentes regimes de chuvas.

(ii) Médias temporais dos totais anuais (relativos ao ano hidrológico) e correspondentes coeficientes de variação, desvio médios normalizados dos totais anuais, definidos por $(X_t - \bar{X})/\sigma$, onde X_t é o total anual, \bar{X} é a média temporal anual e σ é o desvio padrão temporal anual. Os desvios médios normalizados estão representados pelas curvas apresentadas nas figuras (4.7) a (4.11). As médias temporais anuais e os coeficientes de variação estão na Tabela (A-1).

(iii) Histogramas dos totais anuais de precipitação dos 96 postos escolhidos e representados por histogramas calculados a partir de grupos determinados de postos pluviométricos, como mostram as figuras (4.12) a (4.16).

(iiii) Vegetação típica das localidades, topografia do terreno e proximidade da costa marítima, verificados através de mapas (SIMIELLI & BIASI, 1985).

4.3.1 - Regime Pluvial RD.

- No período de 1912 a 1981 observou-se, através da distribuição anual média da precipitação, que cerca de 55% das chuvas anuais ocorreram no trimestre Nov-Dez-Jan, exceto

os postos de números 89 e 96 (Tabela 4.1) que tiveram 10% a menos; as chuvas caídas para estas últimas localidades para o trimestre Fev-Mar-Abr apresentaram-se um pouco abaixo das chuvas caídas no trimestre Nov-Dez-Jan. Apesar disso, o mês mais chuvoso para todas as localidades (89-96) ocorreu em dezembro. Assim foi considerado o ano hidrológico, começando em julho e se estendendo a junho do ano civil seguinte, abrangendo então a estação chuvosa. Na média a estação chuvosa se estende de Nov-Abr, com cerca de 80% da chuva anual. Na figura (4.2) está presente a distribuição anual média da precipitação, baseada nos 8 postos pluviométricos (89-96). Como se pode ver na figura (4.2), o mês mais chuvoso ocorre em dezembro. Desta forma, define-se o regime pluvial denominado RD constituído dos postos 89-96. Associado a este regime cria-se o regime climático denominado RD. Nesse regime climático RD, um elemento dessa nova série temporal de 69 anos (1912-1980) é a média dos totais anuais dos postos 89-96 para o referido ano hidrológico. Os valores obtidos para a série RD estão relacionados na Tabela (A-2), o regime RD ainda é caracterizado pelos seguintes fatores:

— A média temporal dos totais anuais (relativos ao ano hidrológico Jul/Jun) esteve abaixo de 1030 mm anuais, em média 750 mm anuais; a dispersão dos dados em torno da média anual é aproximadamente de 30% para todos os postos. Os gráficos do desvio médio normalizado apresentam-se com o mesmo comportamento para os postos 89-96 e são representados pelo gráfico médio da figura (4.7).

— Pode-se notar uma semelhança aproximada entre

os diversos polígonos de frequência nos histogramas dos totais anuais de precipitação. O histograma representativo é baseado no grupo de postos 89-96 e é visto na figura (4.12).

— Na mesma faixa de latitude e longitude que abrangem as localidades citadas, constata-se que sua vegetação é constituída de formações arbustivas, tendo como característica principal a caatinga. Na média, a faixa de altitude apresenta-se no intervalo 250-800 m. Naturalmente, todos os postos estão no Planalto Brasileiro, alguns como os postos 92 e 93 mais próximos da Chapada da Diamantina, porém de maiores altitudes, outros como por exemplo o posto 96, está situado entre o rio Itapicurú e alguns de seus afluentes e portanto com menor altitude. Todos os postos localizam-se no interior do continente. O posto mais próximo da costa é o posto 98, está a 290 Km da costa Leste. A figura (4.1.b) destaca o regime RD.

4.3.2 - Regime pluvial RM.

— No período de 1912 a 1981, através da distribuição anual média de precipitação das localidades de número 1-52, cerca de 60% da chuva anual ocorreu no trimestre Fev-Mar-Abr para os postos 1, 9, 10, 12-14, 18, 22-24, 29-38 e 41-42, nos quais a estação chuvosa se estende de Jan-Jun. Nessa mesma estação chuvosa os postos 11, 17, 19 e 20 tiveram 60% da chuva anual no trimestre Mar-Abr-Mai. Ainda 60% da precipitação anual ocorreu no trimestre Fev-Mar-Abr para os postos 2-5, 15, 16, 21, 25-28, 39, 40 43-45 e 52, com estação chuvosa

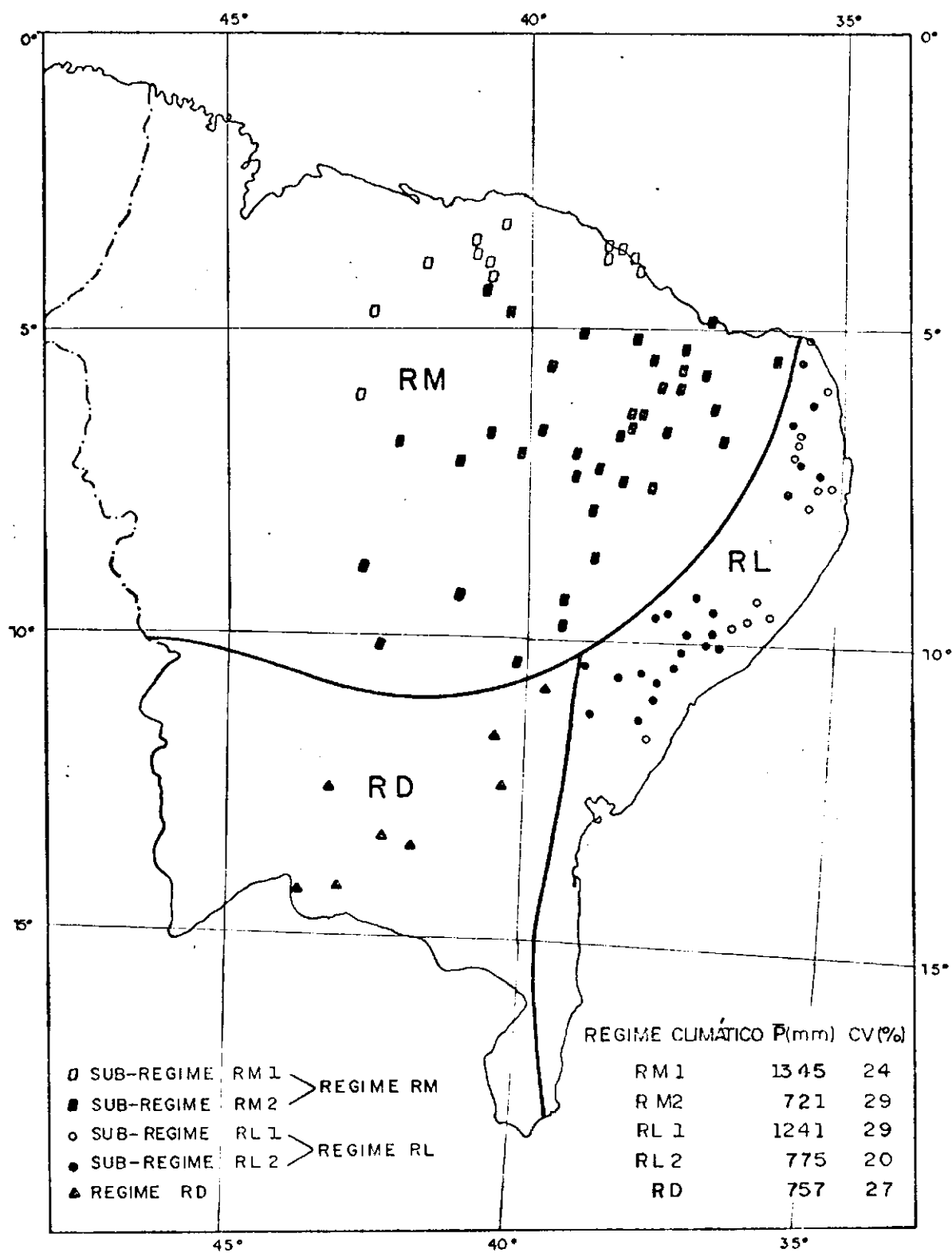


FIG. 4.1b - DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA DOS REGIMES PLUVIAIS NO NORDESTE DO BRASIL. PRECIPITAÇÃO MÉDIA E COEFICIENTE DE VARIAÇÃO DE CADA REGIME CLIMÁTICO.

de Dez-Mar. Aproximadamente 45% da precipitação anual ocorreu no trimestre Jan-Fev-Mar para os postos 6-8 e 46-51 nos quais a estação chuvosa se estende de Nov-Abr. Como visto, mesmo apresentando uma grande variação na distribuição anual média de precipitação, persistiu um máximo principal em março. Desta forma, considera-se o ano hidrológico começando em novembro e se estendendo até outubro do ano civil seguinte, abrangendo assim as estações chuvosas. Nas figuras (4.3) e (4.4) estão as distribuições anuais médias de precipitações baseadas nos postos 1-4, 9-14 e 17-20 (14 postos) e nos postos 5-8, 15-16 e 21-52 (38 postos), respectivamente. Pode-se observar que nas figuras (4.3) e (4.4) o máximo de precipitação mensal média ocorre em março. Desta forma, define-se o regime pluvial denominado RM constituído dos postos 1-52. Os fatores que seguem também caracterizam o regime de chuvas RM e sugerem a definição de dois sub-regimes de chuvas.

— As médias temporais dos totais anuais (relativos ao ano hidrológico Nov/Out) estiveram acima de 1150 mm anuais para os postos 1-4, 9-14, 17-20 (denominado grupo 1) e na média, abaixo de 900 mm anuais para as localizações 5-8, 15, 16 e 21-52 (denominado grupo 2). Para o grupo 1 a dispersão dos dados em torno das médias temporais anuais é de aproximadamente 35%, enquanto para o grupo 2 o coeficiente de variação é de cerca de 40%. Os gráficos do desvio médio normalizado anual para os postos do grupo 1 apresentaram-se de maneira bastante semelhante. Do mesmo modo, os gráficos para os postos do grupo 2 tiveram a mesma configuração. As figuras (4.10) e (4.11) mostram as representações dos desvios médios normali

zados, baseados nos postos do grupo 1 e 2 respectivamente.

— Uma semelhança razoável, é notada, entre os diversos polígonos de frequência nos histogramas dos totais de precipitação para os postos do grupo 1. Avaliando-se o mesmo parâmetro, semelhanças aparecem para os postos do grupo 2. Histogramas representativos são mostrados nas figuras (4.15) e (4.16) e são baseados nos postos do grupo 1 e 2, respectivamente.

— A vegetação litorânea figura nos postos 1 e 11 e 17-20. Já formações florestais, como a Mata do Cocais estão presentes nos postos 2, 3, 4, 9, 10, 12, 13, 14. Assim para o grupo 1 a vegetação característica é a citada acima. A vegetação litorânea apresenta-se para os postos 29 e 33. A Mata dos Cocais está presente, também, nos postos 30-34 e 37. Por outro lado, formações principalmente arbustivas (caatinga) estão presentes nos postos 5, 7, 8, 15, 16, 21-28, 35-52. Portanto, para o grupo 2 a vegetação predominante é a caatinga. Para o grupo 1 as localizações 1, 2, 3, 11 e 17-20 estão situadas no Planalto nordestino. Neste, está a Serra da Ibiapaba onde estão os postos 10, 12, 13, 14. No vale do Rio Parnaíba está o posto 4. Para o grupo 1 a faixa de altitude é de 10-800 m, tendo uma frequência maior nessa faixa, os postos com altitudes bem menores que 800 m. Para o grupo 2, os postos 29-33 estão na Planície Costeira. Os postos 8, 16, 22, 24, 25 estão no Planalto nordestino, nesse estão, a Serra dos Cariris Novos onde está o posto 5, a Serra da Fachada com o posto 7; a Chapada do Araripe com os postos 21, 26, 27, 28; a Serra da Ibia

paba com os postos 35-38 e 40-47. Em ramificações do Planalto Central estão os postos 49,50, 52. As margens da represa Sobradinho no Rio São Francisco estão os postos 48 e 51. No vale do rio Parnaíba está o posto 6, no vale do rio Apodi o posto 34 e no vale do Piranhas os postos 39 e 42. Portanto, para o grupo 2 uma frequência maior de altitude apresenta-se entre 200-800 m tendo exceções, com localidades situadas na Planície Costeira e em vales de rios, como citadas acima. A maior parte dos postos do grupo 1 estão próximos da costa, o posto mais afastado é o posto 4 a 350 Km da costa Leste. Para o grupo 2 as localidades se encontram no interior do continente, chegando a 600 km da costa Leste. No Rio Grande do Norte mesmo os postos localizados em seu interior estão relativamente próximos da Costa Norte e Leste.

Apresentaram semelhanças aproximadas os postos do grupo 1 e também os postos do grupo 2, no que se refere aos fatores considerados acima. Desta forma, denomina-se o sub-regime RM1 referente ao grupo 1 e o sub-regime RM2 referente ao grupo 2, originando-se os sub-regimes climáticos RM1 e RM2. Por conveniência, chama-se os sub-regimes RM1 e RM2 de regimes RM1 e RM2, respectivamente. Os dados obtidos para as séries dos regimes RM1 e RM2 estão na Tabela (A-2) e a figura (4.1.b) destaca os regimes RM1 e RM2.

4.3.3 - Regime pluvial RL.

— A partir da distribuição anual média de precipitação dos postos 53-88, para o período 1912 a 1981, observa-

se algumas variações. Cerca de 45% da chuva anual ocorre no trimestre Mai-Jun-Jul para os postos 59, 60, 63-68, 70-75, 77-86 e 88, nos quais a estação chuvosa se estende de Mar-Ago. Uma porcentagem de 45% da chuva anual ocorre no trimestre Abr-Mai-Jun nos postos 53-58, 61, 62, 69, 76, 87, onde a estação chuvosa verificou-se de Fev-Jul. Na média, para todos os postos, persistiu um máximo principal em maio. Sendo assim, considera-se o ano hidrológico, contendo as estações chuvosas, começando em outubro e se estendendo até setembro do ano civil seguinte. Nas figuras (4.5) e (4.6) estão as distribuições anuais médias de precipitação, baseadas em 13 postos (53, 55, 58-60, 64-66, 68, 72-74 e 88) e em 23 postos (54, 56, 57, 61-63, 67, 69, 70, 71 e 75-87), respectivamente. Pode-se notar nessas figuras que o mês mais chuvoso ocorre em maio. Desta forma, define-se o regime pluvial denominado RL constituído dos postos 53-58. Os fatores que seguem também caracterizam o regime de chuvas RL e sugerem a definição de dois sub-regimes de chuvas.

— As médias temporais dos totais anuais (relativos ao ano hidrológico Out/Set) estiveram acima de 1000 mm anuais para os postos 53, 55, 58, 59, 60, 64-66, 72, 73, 74, 88 (denominado grupo 3) e abaixo de 1000 mm anuais para os postos 54, 56, 57, 61, 63, 67, 69, 70, 71 e 75-87 (denominado grupo 4). Na média, em ambos os grupos, a dispersão dos dados em torno das médias temporais anuais foi de aproximadamente de 30% para todos os postos. Os gráficos do desvio médio normalizado anual para os postos do grupo 3 tiveram o mesmo comportamento. Semelhantemente, para as localizações do grupo

4 apresentaram também a mesma forma. As figuras (4.8) e (4.9), mostram as representações do desvio médio anual baseadas nos postos do grupo 3 e 4, respectivamente.

— Pode-se notar uma semelhança razoável entre os diversos polígonos de frequência nos histogramas dos totais anuais de precipitação para os postos do grupo 3 onde pode-se observar através da figura (4.13). O mesmo acontece para os polígonos de frequência nos histogramas, dos postos do grupo 4 representados pela figura (4.14).

— A vegetação das localizações do grupo 3 apresenta-se como formações litorâneas para os postos 53-55. Formações florestais, como a Mata Tropical nos postos 58, 59, 60, 88 e ainda como Mata Atlântica nos postos 64, 65, 66, 68, 72, 73, 74. Assim formações litorâneas é uma das características principais para os postos acima citados. Para as localizações do grupo 4 a vegetação apresenta-se bastante diversificada. Ainda formações florestais aparecem, como é o caso da Mata Atlântica para o posto 62 e a Mata Tropical aparecendo os postos 54, 56, 57, 61, 63, 75, 79, 82, 87. Um maior número de postos, tais como, 67, 69, 70, 71, 76, 77, 78, 80, 81, 83, 84, 85 e 86 estão incluídos em formações arbustivas caracterizadas pela caatinga. No grupo 3 os postos 53, 55, 64, 66, 72, 73, 74, 88 estão situados na Planície litorânea a um intervalo de 4-300 m de altitude. Exceção aparece para os postos 58, 59, 60, 65, que estão sobre o Planalto da Borborema chegando até a 600 m de altitude como é o caso do posto 59. No grupo

4 os postos 54, 56, 61, 62, 75, 82, 87 estão na Planície litorânea, com altitudes baixas. Altitudes mais elevadas apresentam os postos 57 e 63 que estão situados no Planalto da Borborema e os postos 78, 80, 81, 83, 84, 85, 86 localizados nas formações do Planalto Central. Destaque para os postos 67, 69, 70, 71, 77, 79 que situam-se no vale do rio São Francisco a baixas altitudes. Especificamente os postos 70, 71, já citados, estão próximos ao rio Traipú, ficando o posto 67 próximo ao rio Ipanema. Os postos do grupo 3 localizam-se bem próximos da costa marítima Leste ficando o posto mais distante cerca de 11 km desta. No entanto, os postos do grupo 4 não estão assim tão próximos da costa, estando o posto mais distante cerca de 200 km desta.

No que diz respeito aos fatores considerados, semelhanças aproximadas foram encontradas entre os postos dos grupo 3 e 4. Assim, denomina-se os sub-regimes: RL1, referente ao grupo 3 e RL2 referente ao grupo 4, originando-se os sub-regimes climáticos RL1 e RL2. Por conveniência, chama-se os sub-regimes RL1 e RL2 de regimes RL1 e RL2, respectivamente. Os dados obtidos para as séries dos regimes RL1 e RL2 estão na Tabela (A-2) e a figura (4.1.b) destaca os regimes RL1 e RL2.

4.4 - Teste de Normalidade.

Como descrito na secção (3.1) da fundamentação teórica, o teste de normalidade é usado, principalmente, para

fundamentar a hipótese de que as séries dos resíduos do modelo de regressão linear empregado neste trabalho, tem uma distribuição aproximadamente normal.

4.5 - Teste das periodicidades.

O teste das periodicidades, como já mencionado na secção (3.2) é aplicado às séries temporais dos totais anuais de precipitação, referentes aos seus respectivos anos hidrológicos, aos postos pluviométricos de número 1-96 e às precipitações médias por ano dos regimes climáticos RD, RM1, RM2, RL1, RL2. Os períodos usados são os seguintes: 1912-1980 (69 anos), 1912-1976 (65 anos), 1912-1964 (53 anos) e 1912-1962) Particularmente para o posto de Fortaleza, usam-se os períodos 1849-1983 (135 anos), 1849-1981 (133 anos), 1849-1979 (131 anos), 1849-1977 (129 anos), e também os períodos já mencionados para as localizações 1-96. Os períodos (1912-1976, 1912-1964 e 1912-1962) foram selecionados para fins de comparação com periodicidades no posto de Fortaleza. Além dessas séries, o teste é aplicado às séries temporais das médias anuais do número de manchas solares, relativas aos anos hidrológicos. Para tais séries usam-se os períodos: 1849-1983 (135 anos) e 1849-1981 (133 anos), ano hidrológico Nov/Out; 1912-1980 (69 anos), anos hidrológicos Nov/Out, Out/Set e Jul/Jun.

Na execução do teste de periodicidades seleciona-se os dois maiores valores do periodograma, definido pela equa

ção (3.9) e calcula-se a estatística g_j como presente na equação (3.10) associadas a esses dois maiores "picos", ou seja, calcula-se as estatísticas \bar{g}_1 e \bar{g}_2 . Utiliza-se a tabela de SHIMSHONI (1971) e interpolações dos valores g^* desta tabela (já que seus valores apresentam variações consideradas suaves), a fim de obter os valores críticos desejados g^* . Na Tabela (A-3), pode-se observar os valores críticos utilizados no teste, ao nível de significância de 0,05. Se \bar{g}_1 for maior que o valor crítico associado g_1^* , diz-se que o "pico" do periodograma correspondente com sua respectiva frequência é significativo ao nível de 0,05, do contrário se $\bar{g}_1 \leq g_1^*$ diz-se que o "pico" não é significativo. Da mesma forma, se \bar{g}_2 for maior que o valor crítico associado g_2^* , diz-se que o "pico" de frequência do periodograma é significativo ao nível de 0,05. Caso contrário, ou seja, se $\bar{g}_2 \leq g_2^*$ se diz que o pico não é significativo.

4.6 - Coeficientes de correlação cruzada.

Coeficientes de correlação como já mencionado na metodologia da secção (3.3), são calculados entre as séries, tomadas para um período uniforme de 1912-1980 (69 anos): postos RD, RM1, RM2 RL1 e RL2 correlacionando-os entre si e com o posto de Fortaleza; manchas solares (ano hidrológico Nov/Out) correlacionando-as com RM1 e RM2; manchas solares (ano hidrológico Out/Set) correlacionando-as com RL1 e RL2; manchas solares (ano hidrológico Jul/Jun) correlacionando-as com RD. Os coeficientes são calculados, particularmente tomando-

se as séries de Fortaleza (período 1849-1983, ano hidrológico Nov/Out) e manchas solares (para o mesmo período e ano hidrológico).

No primeiro caso das séries de período 1912-1980 a variação do "lag" K é dada por $-45 \leq K \leq 45$ escolhida arbitrariamente. Para o segundo caso em que o período das séries é 1849-1983, a variação do "lag" K é dada pelo intervalo $-70 \leq K \leq 70$, também escolhida arbitrariamente.

4.7 - Previsão de anos com precipitação máxima ou mínima para os regimes climáticos RD, RM1, RM2 e RL2.

Observando-se o modelo de regressão linear da seção (3.4.1) tem-se que,

$$Y_t = f(t) + \varepsilon_t, \quad t = 1, \dots, N. \text{ (anos)}$$

$$\text{com } f(t) = \alpha + \beta X_t, \quad (4.1)$$

onde X_t e Y_t são quantidades observáveis no tempo, α e β são os coeficientes de regressão, $f(t)$ é a parte determinística do modelo e ε_t são os resíduos do modelo.

A variável X_t é definida como as médias anuais do número de manchas solares (de acordo com o ano hidrológico, período 1912 a 1980), mínimas ou máximas, obedecendo o ciclo de 11 anos. Por outro lado, Y_t é definido como as precipitações médias anuais (de acordo com o ano hidrológico período 1912 a

1980), mínimos ou máximas dos regimes climáticos RD, RM1, RM2, RL1, RL2, selecionando-se os "lags" positivos correspondentes aos valores máximos dos coeficientes de correlação. Os valores máximos de manchas solares e de precipitação dos postos RD, RL1, RL2, RM1 e RM2, e os valores mínimos de manchas solares e de precipitação dos mesmos regimes climáticos estão na Tabela (A-4).

Seguindo esta análise são testadas as séries dos resíduos ϵ_t do modelo de regressão linear, testando-se sua normalidade e sua correlação serial. Para o teste de normalidade das séries de ϵ_t usa-se o teste de normalidade apresentado na secção (3.1). Para o teste das autocorrelações das séries dos ϵ_t , usa-se o teste proposto na secção (3.4.1), com os parâmetros: $K = 1$, $K = 2$ em $R_{\epsilon_t}(K)$ (coeficientes de autocorrelação para séries de resíduos ϵ_t para o "lag" K , $\sigma_{Z^1} = \frac{1}{N-3}$, $N = 5$, $N = 6$ e $N = 7$).

Utiliza-se as retas de regressão estimadas e valores de X_t correspondentes a valores máximos ou mínimos de manchas solares, obedecendo o ciclo de 11 anos, para prognosticar-se valores de precipitação (médios, máximos ou mínimos), usando-se quando possível os "lags" selecionados (positivos correspondentes aos valores máximos dos coeficientes de correlação).

Se a distribuição de probabilidade do componente aleatório ϵ_t do modelo de regressão linear for considerada normal, a probabilidade associada de ocorrência de anos com valores de precipitação mínimos é $P \{Y_t \leq \bar{Y}\} = Z$

onde $Y_t = f(t) + \varepsilon_t$, \bar{Y} é a média temporal anual de um regime climático particular (RD, RM1, RM2, RL1 e RL2) e ainda Z é calculado pela tabela da distribuição normal. Define-se ano de precipitação máxima nos regimes RD, RL1, RL2, RM1 e RM2 a aquele cuja precipitação média for maior que a média temporal anual do regime climático estudado (um dos cinco regimes RD, RM1, RM2, RL1 e RL2). Por outro lado, arbitra-se ano de precipitação mínima nos regimes climáticos, já mencionados, aquele cuja precipitação média for menor que a média temporal anual do regime climático estudado (um dos cinco regimes já referidos).

Confeccionaram-se diagramas de dispersão com suas respectivas retas de regressão estimadas para os máximos de manchas solares e precipitações; para os mínimos de manchas solares e de precipitação com o intuito de detectar algum padrão no comportamento da variação do número de manchas solares e das precipitações médias dos regimes climáticos RD, RM1, RM2, RL1 e RL2. Os diagramas e retas estão indicados nas figuras (A-1) a (A-6).

A metodologia aqui apresentada é bastante simples, e objetiva no que diz respeito a tentativa de se encontrar padrões aproximados e "coincidências naturais" nas séries pluviométricas estudadas neste trabalho.

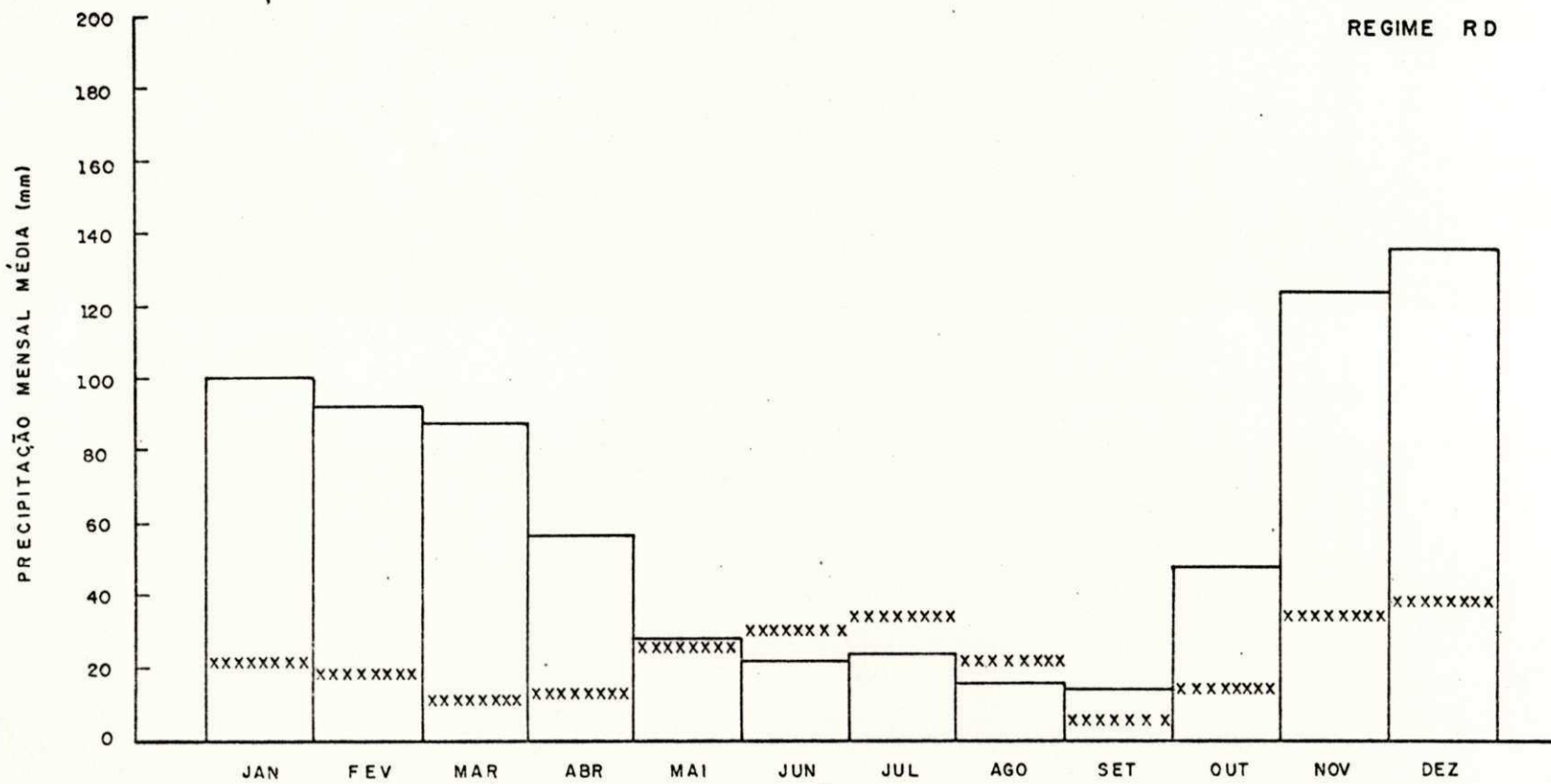


FIG. 4.2 - DISTRIBUIÇÃO ANUAL MÉDIA DE PRECIPITAÇÃO, CONFECCIONADA COM BASE NOS POSTOS (89 - 96).
 x - INDICA O DESVIO PADRÃO MENSAL MÉDIO DE PRECIPITAÇÃO (mm).

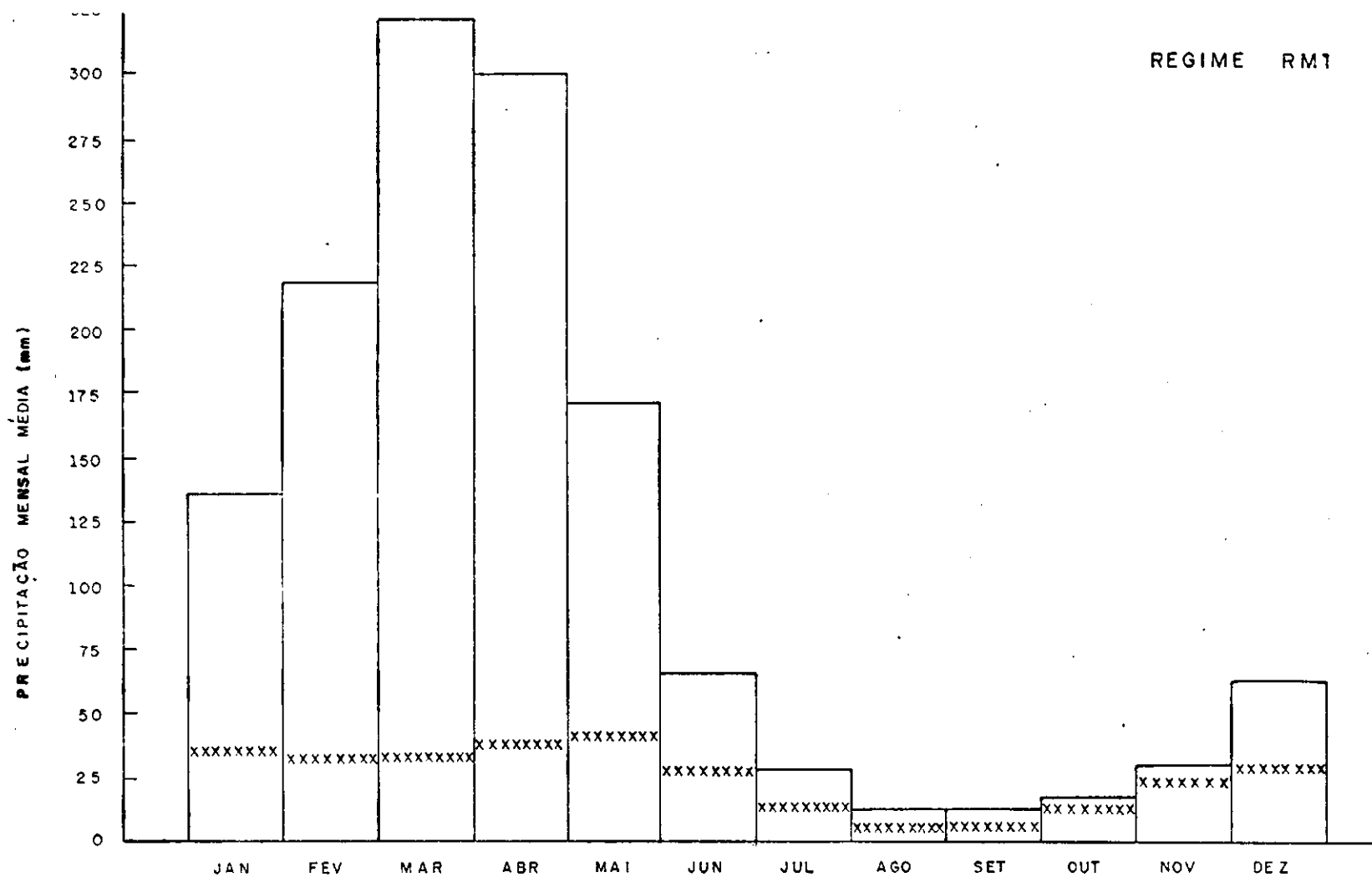


FIG. 4.3 - DISTRIBUIÇÃO ANUAL MÉDIA DE PRECIPITAÇÃO, CONFECCIONADA COM BASE NOS POSTOS (1 - 4, 9 - 14, 17 - 20)
 x - INDICA O DESVIO PADRÃO MENSAL MÉDIO DE PRECIPITAÇÃO (mm).

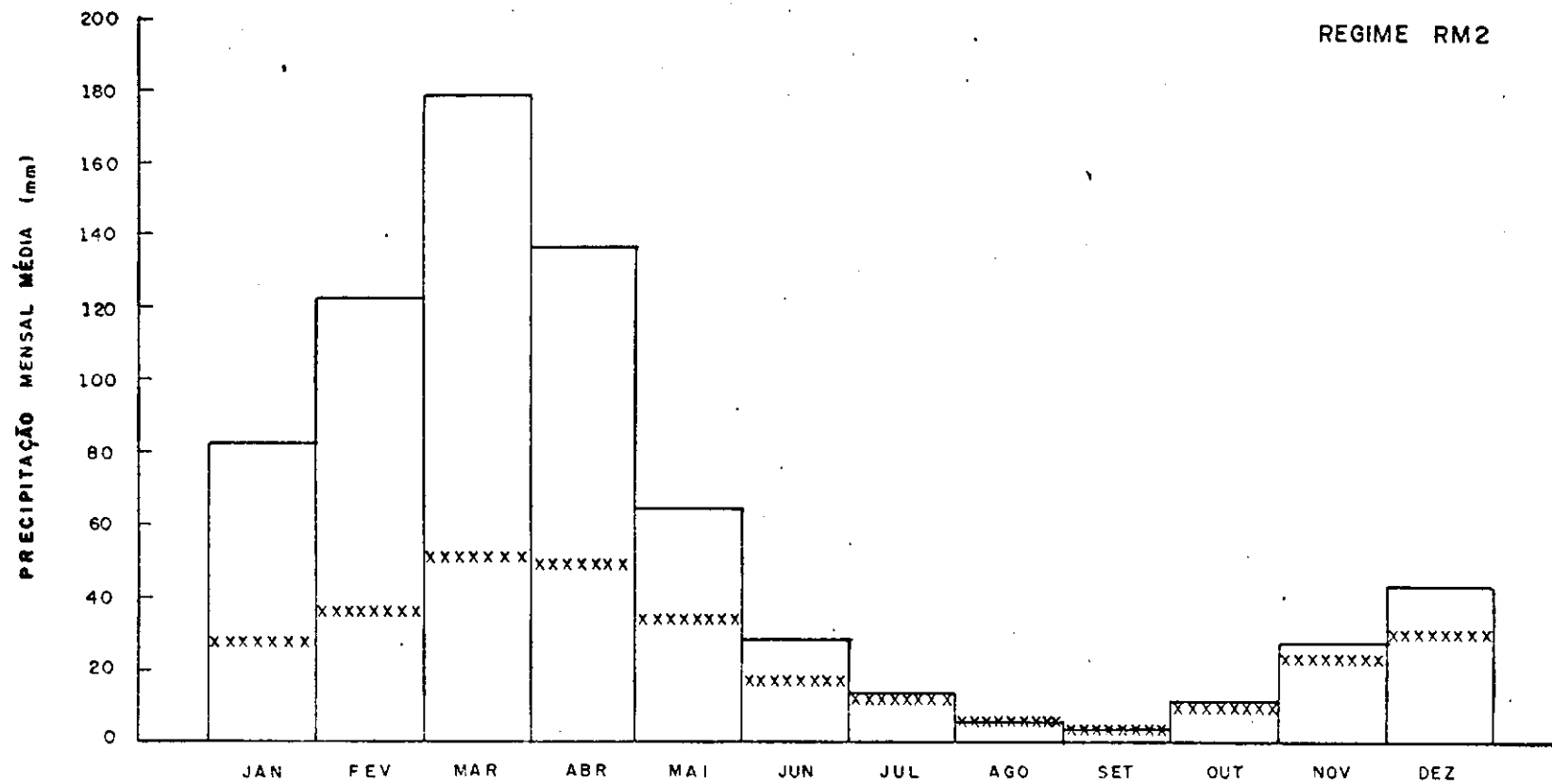


FIG. 4.4 - DISTRIBUIÇÃO ANUAL MÉDIA DE PRECIPITAÇÃO, CONFECCIONADA COM BASE NOS POSTOS (5, 6, 7, 8, 15, 16 E 21 - 52)
 x - INDICA O DESVIO PADRÃO MENSAL MÉDIO DE PRECIPITAÇÃO (mm).

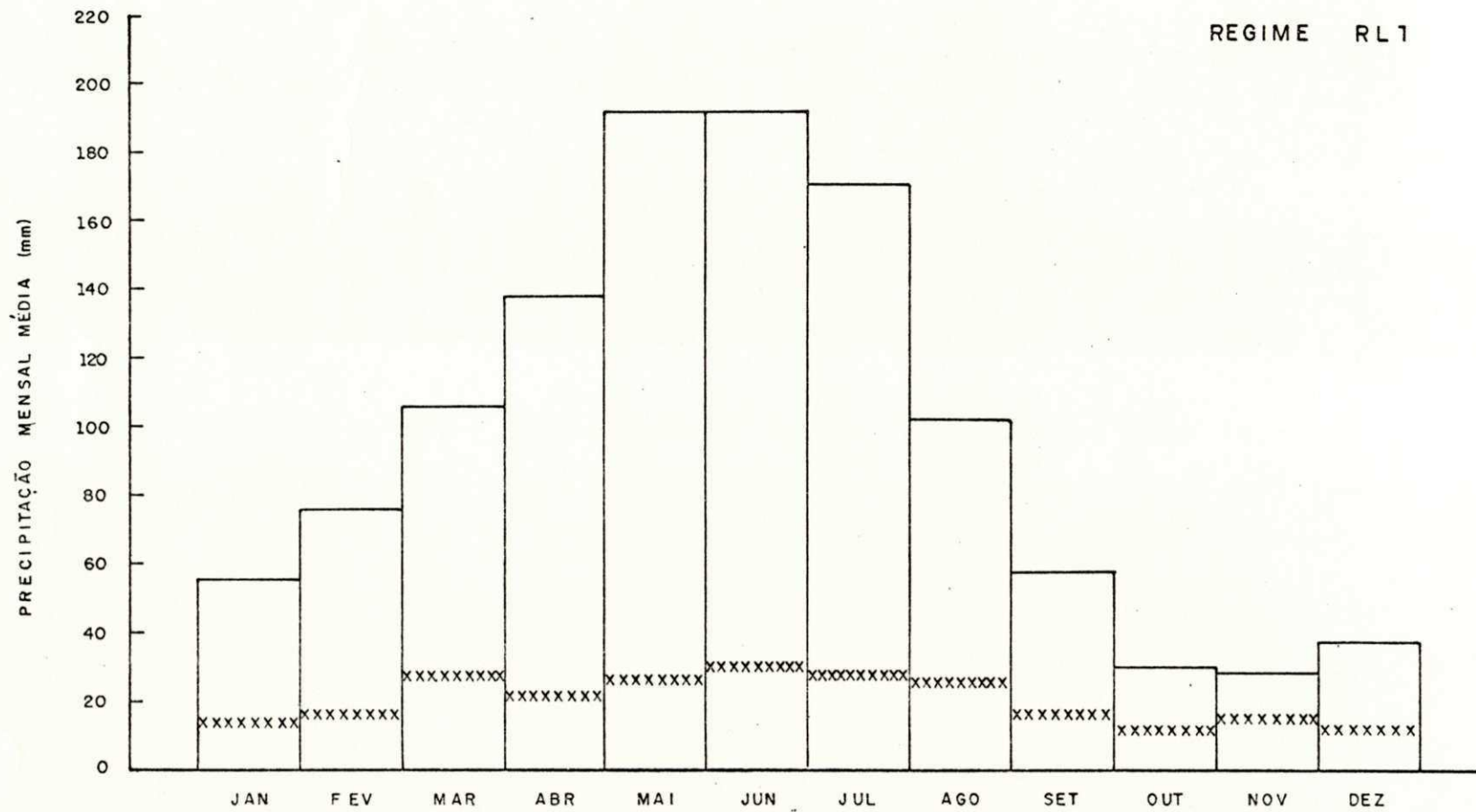


FIG. 4.5 - DISTRIBUIÇÃO ANUAL MÉDIA DE PRECIPITAÇÃO, CONFECCIONADA COM BASE NOS POSTOS (53, 55, 58, 59, 60, 64, 65, 66, 68, 72, 73, 74, 88).
 x - INDICA O DESVIO PADRÃO MENSAL MÉDIO DE PRECIPITAÇÃO (mm).

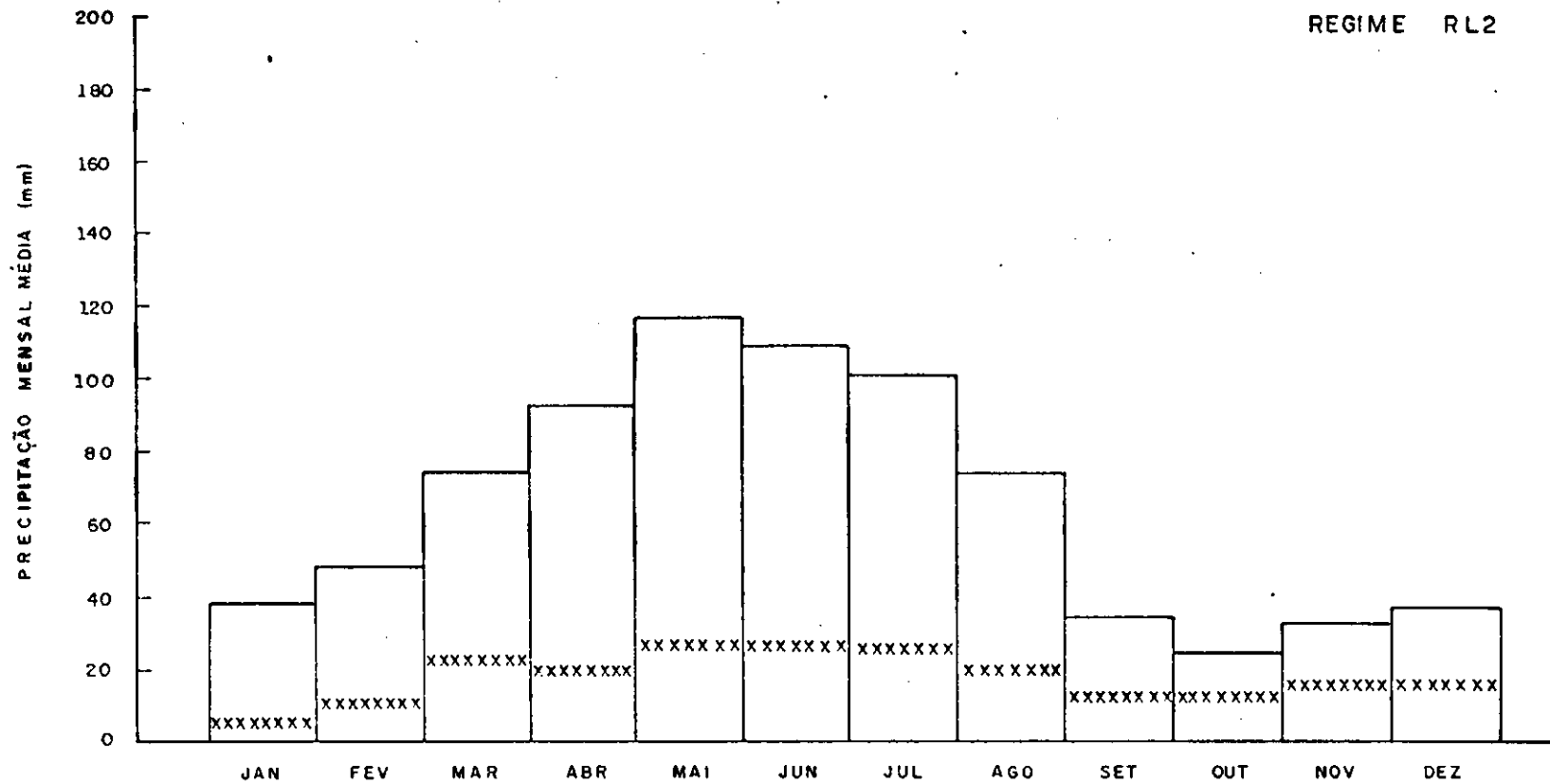
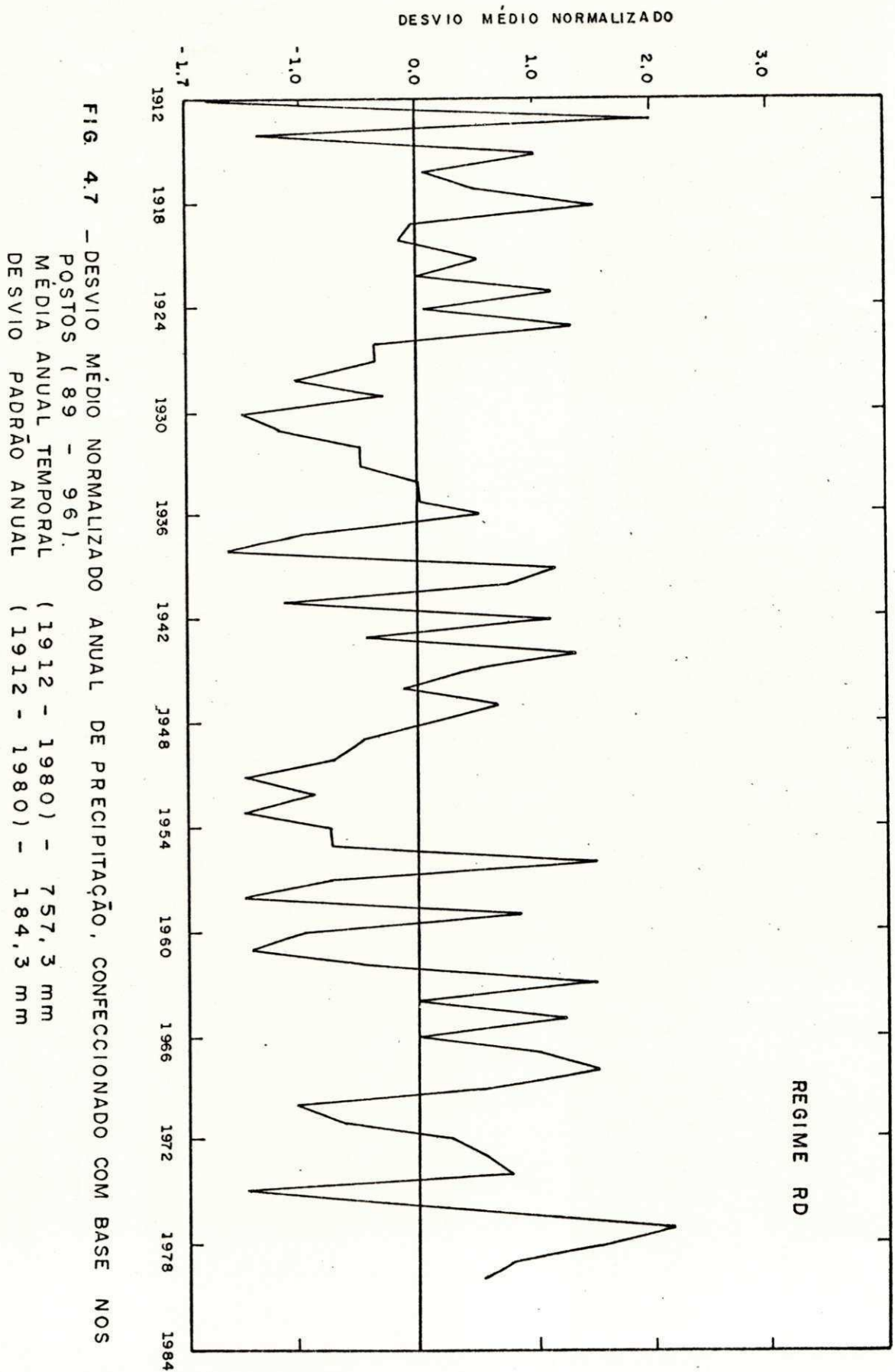


FIG. 4.6 - DISTRIBUIÇÃO ANUAL MÉDIA DE PRECIPITAÇÃO, CONFECCIONADA COM BASE NOS POSTOS (54, 56, 57, 61, 62, 63, 67, 69, 70, 71 E 75 - 87)
 x - INDICA O DESVIO PADRÃO MENSAL MÉDIO DE PRECIPITAÇÃO (mm).



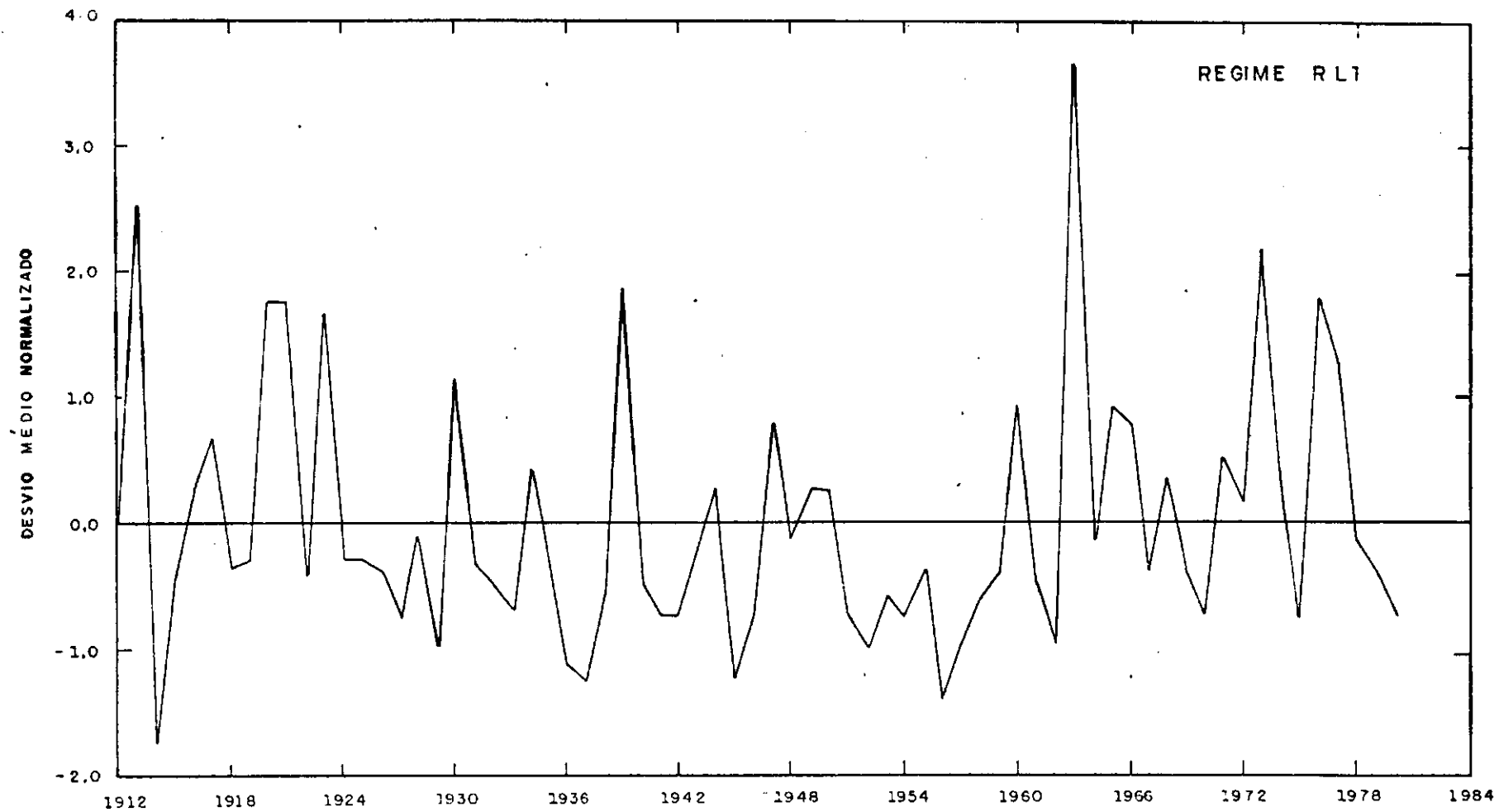


FIG. 48 - DESVIO MÉDIO NORMALIZADO ANUAL DE PRECIPITAÇÃO, CONFECCIONADO COM BASE NOS POSTOS (53, 55, 58, 59, 60, 64, 65, 66, 68, 72, 73, 74, 88).
 MÉDIA ANUAL TEMPORAL (1912 - 1980) - 1241,5 mm
 DESVIO PADRÃO ANUAL (1912 - 1980) - 257,5 mm

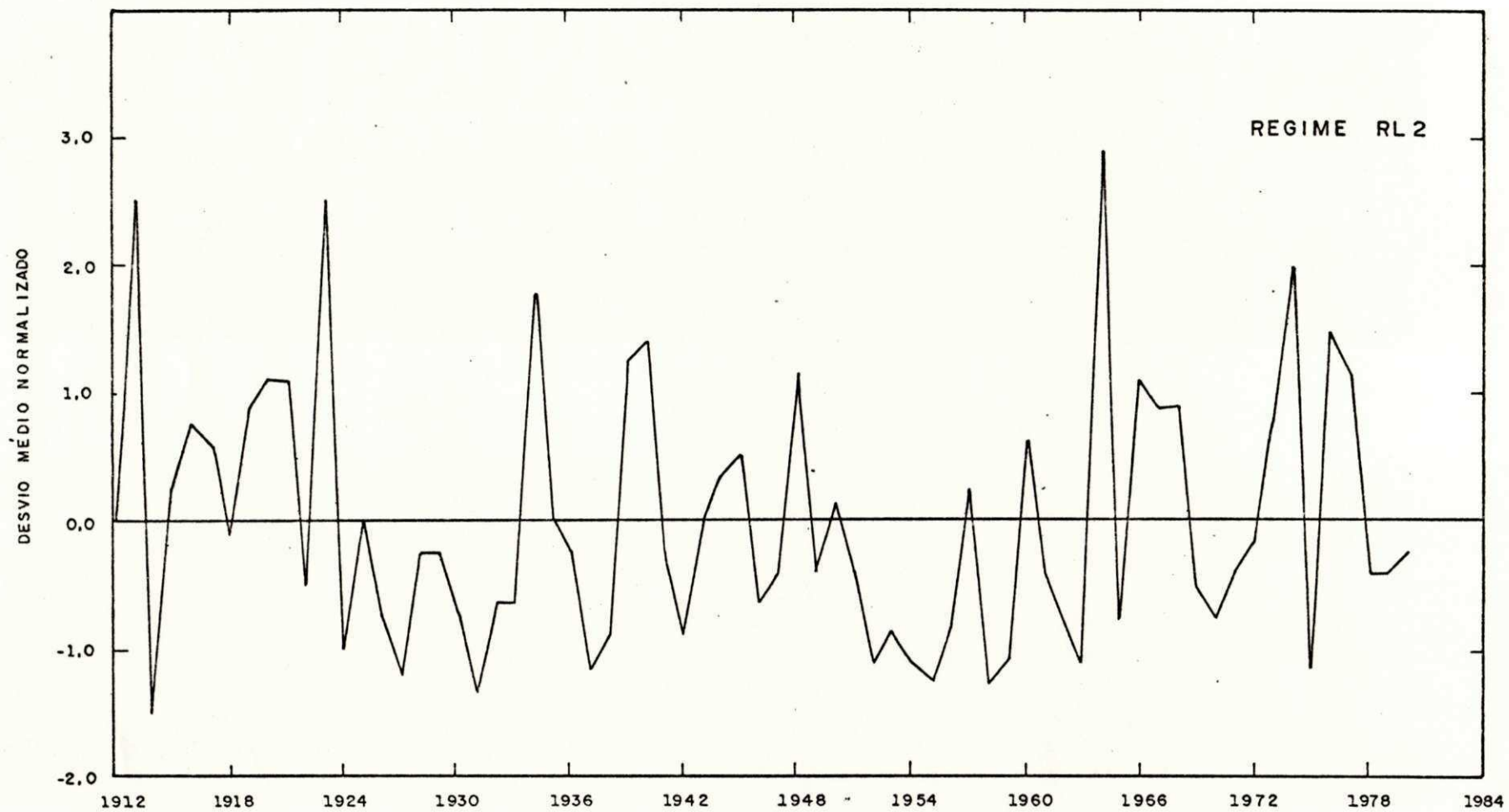


FIG. 4.9 - DESvio MÉDio NORMALIZADO ANUAL DE PRECIPITAÇÃO, CONFECCIONADO COM BASE NOS POSTOS (54, 56, 57, 61, 62, 63, 67, 69, 70, 71 e 75 - 87).
 MÉDIA ANUAL TEMPORAL (1912 - 1980) - 775,6 mm
 DESvio PADRÃO ANUAL (1912 - 1980) - 209,6 mm

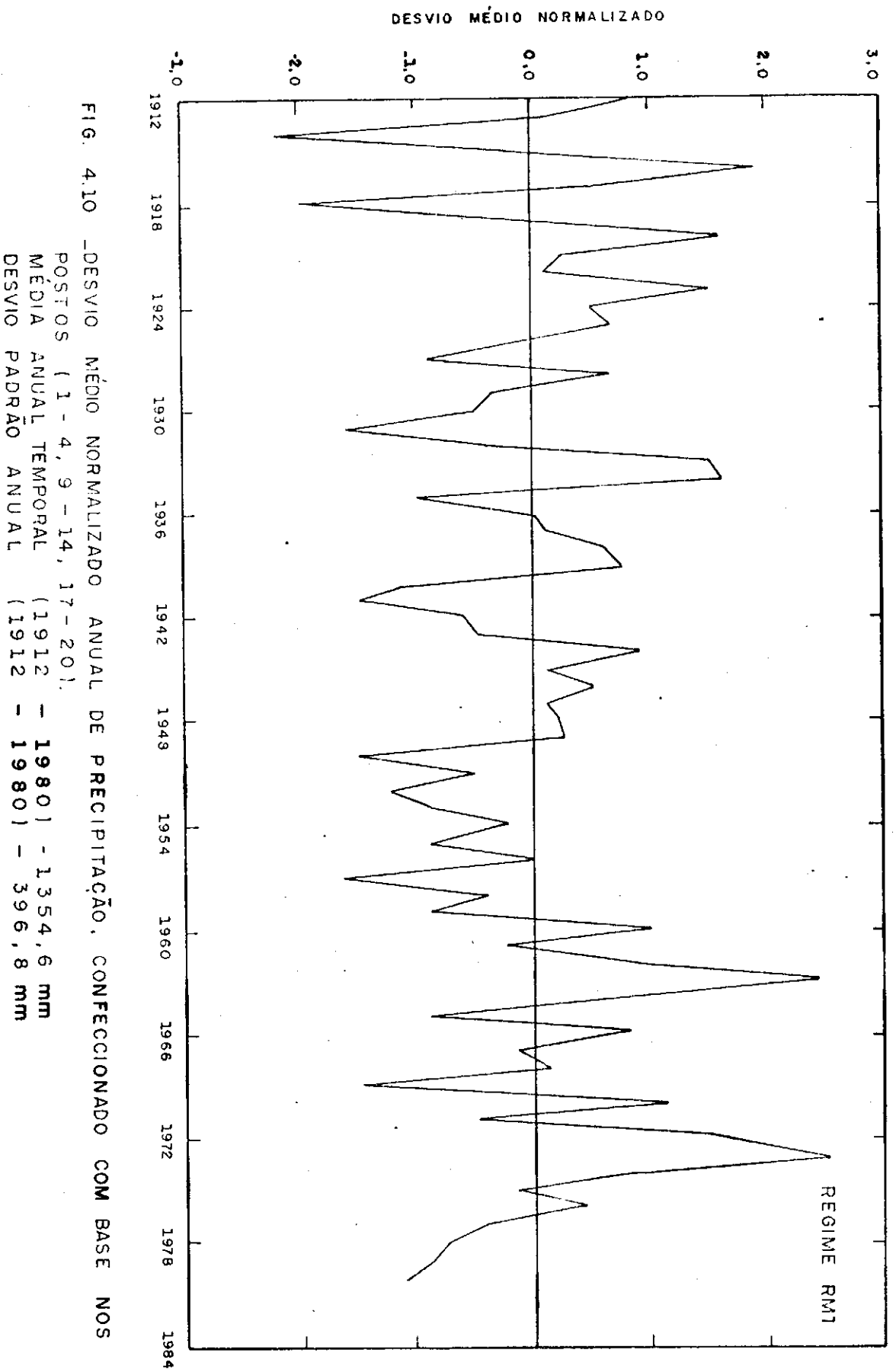


FIG. 4.10 - DESVIO MÉDIO NORMALIZADO ANUAL DE PRECIPITAÇÃO, CONFECCIONADO COM BASE NOS
 POSTOS (1 - 4, 9 - 14, 17 - 20).
 MÉDIA ANUAL TEMPORAL (1912 - 1980) - 1354,6 mm
 DESVIO PADRÃO ANUAL (1912 - 1980) - 396,8 mm

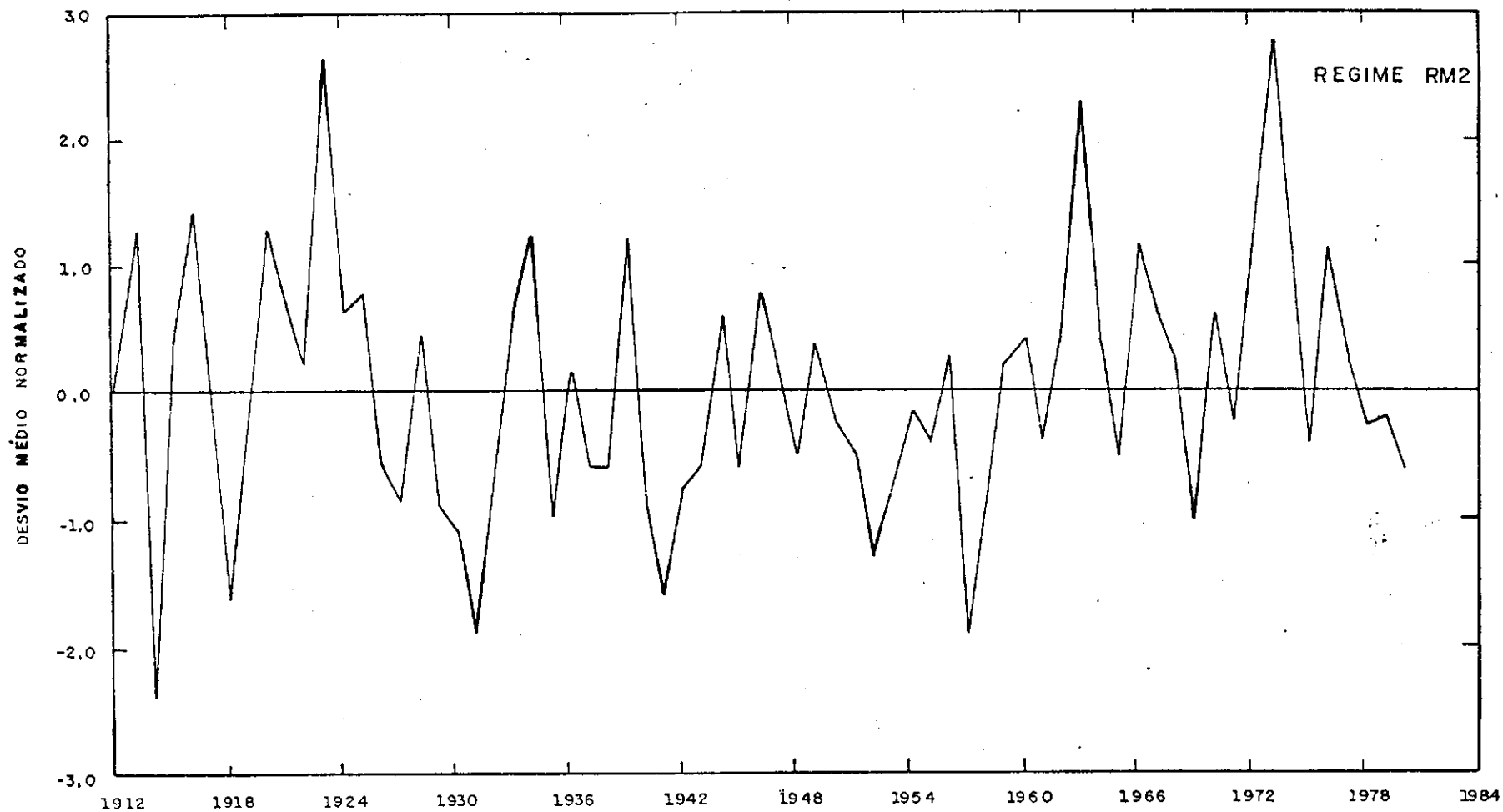


FIG. 4.11 - DESVIO MÉDIO NORMALIZADO ANUAL DE PRECIPITAÇÃO, CONFECCIONADO COM BASE NOS POSTOS (5, 6, 7, 8, 15, 16 E 21 - 52)
MÉDIA ANUAL TEMPORAL (1912 - 1980) - 721,9 mm
DESVIO PADRÃO ANUAL (1912 - 1980) - 209,5 mm

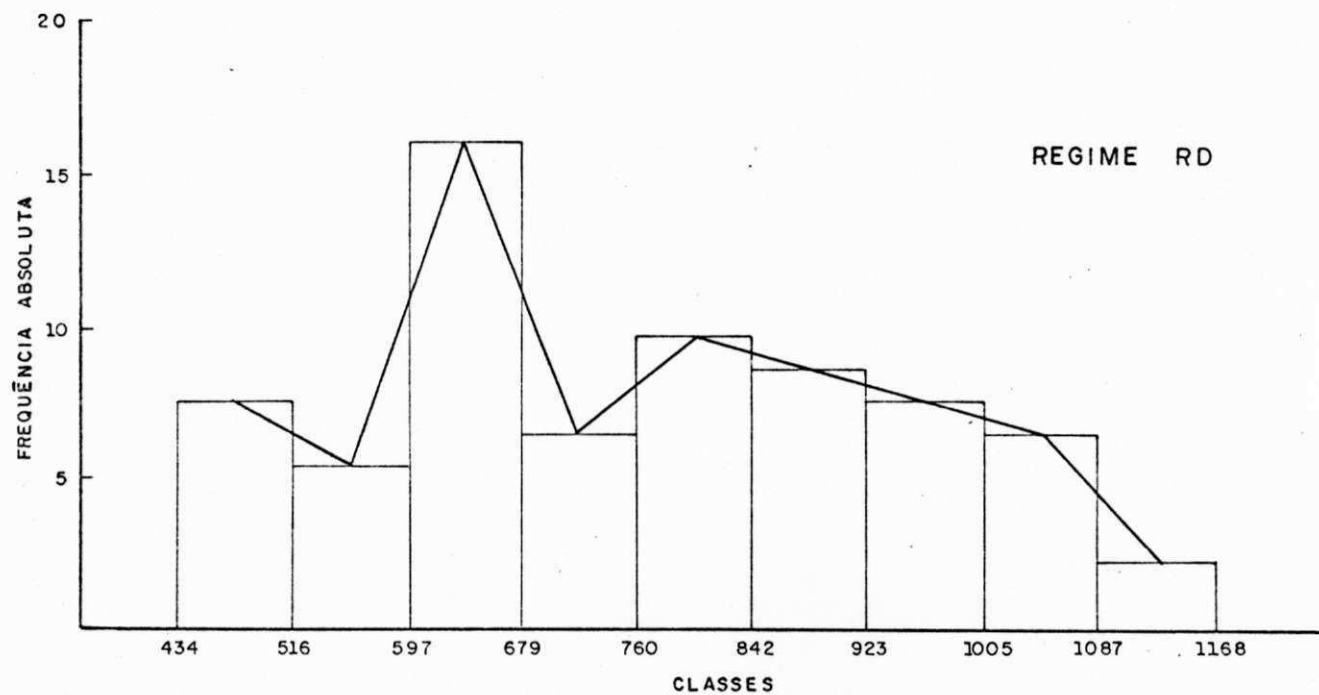


FIG. 4.12 _POLÍGONO DE FREQUÊNCIA E HISTOGRAMA DA PRECIPITAÇÃO ANUAL COM BASE NOS POSTOS (89 - 96),

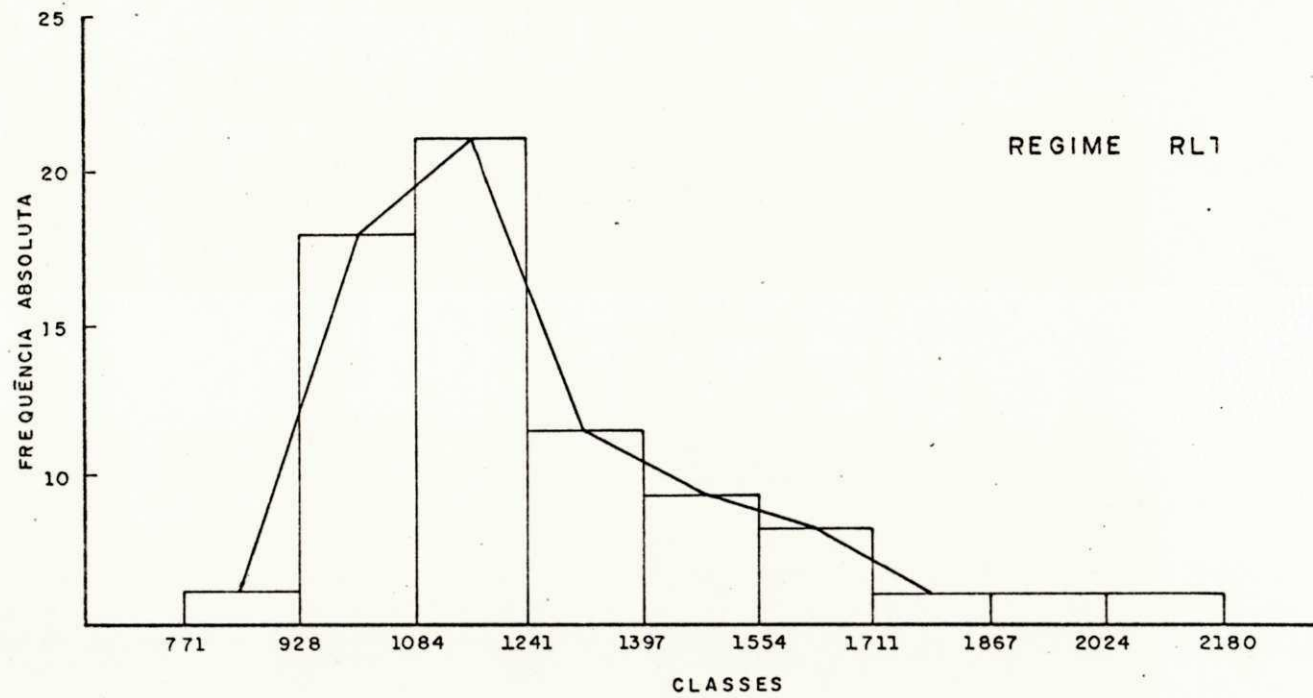


FIG. 4.13 - POLÍGONO DE FREQUÊNCIA E HISTOGRAMA DA PRECIPITAÇÃO ANUAL COM BASE NOS POSTOS (53,55,58, 59, 60, 64, 65, 66, 68, 72, 73, 74, 88).

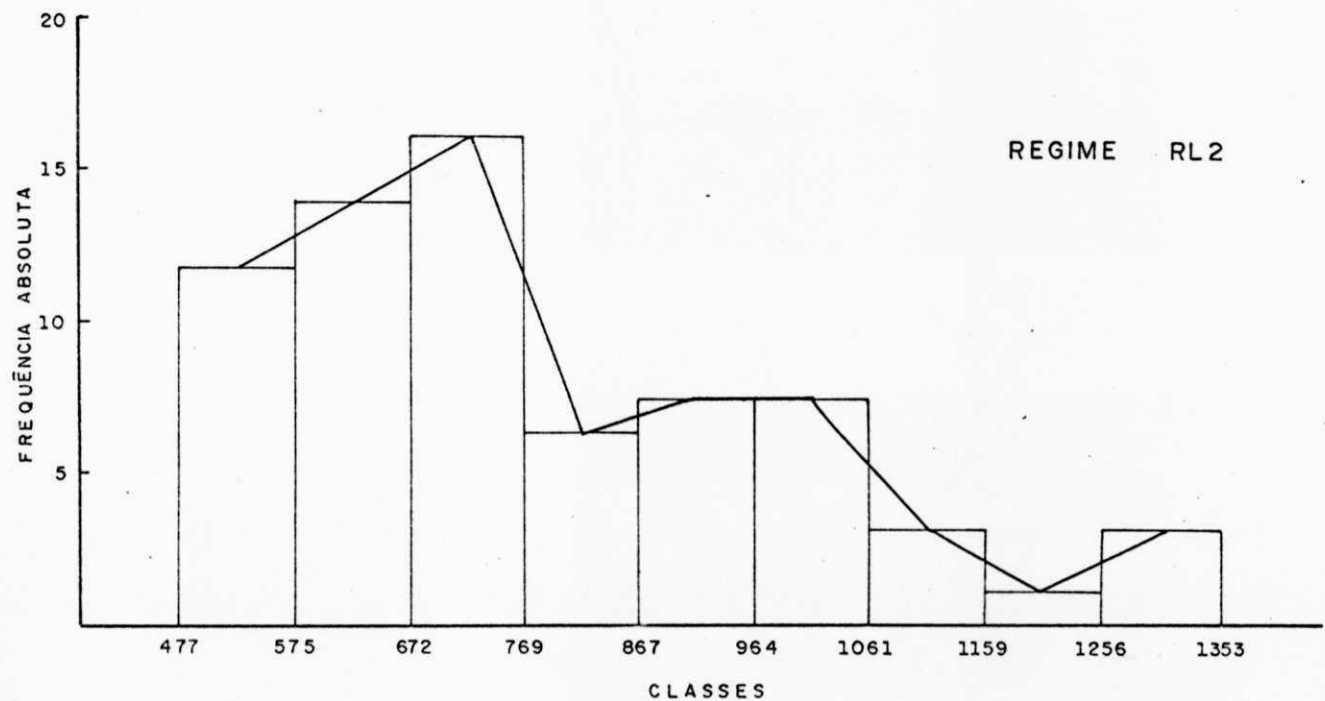


FIG. 4.14 - POLÍGONO DE FREQUÊNCIA E HISTOGRAMA DA PRECIPITAÇÃO ANUAL COM BASE NOS POSTOS (54, 56, 57, 61, 62, 63, 67, 69, 70, 71 e 75 - 87).

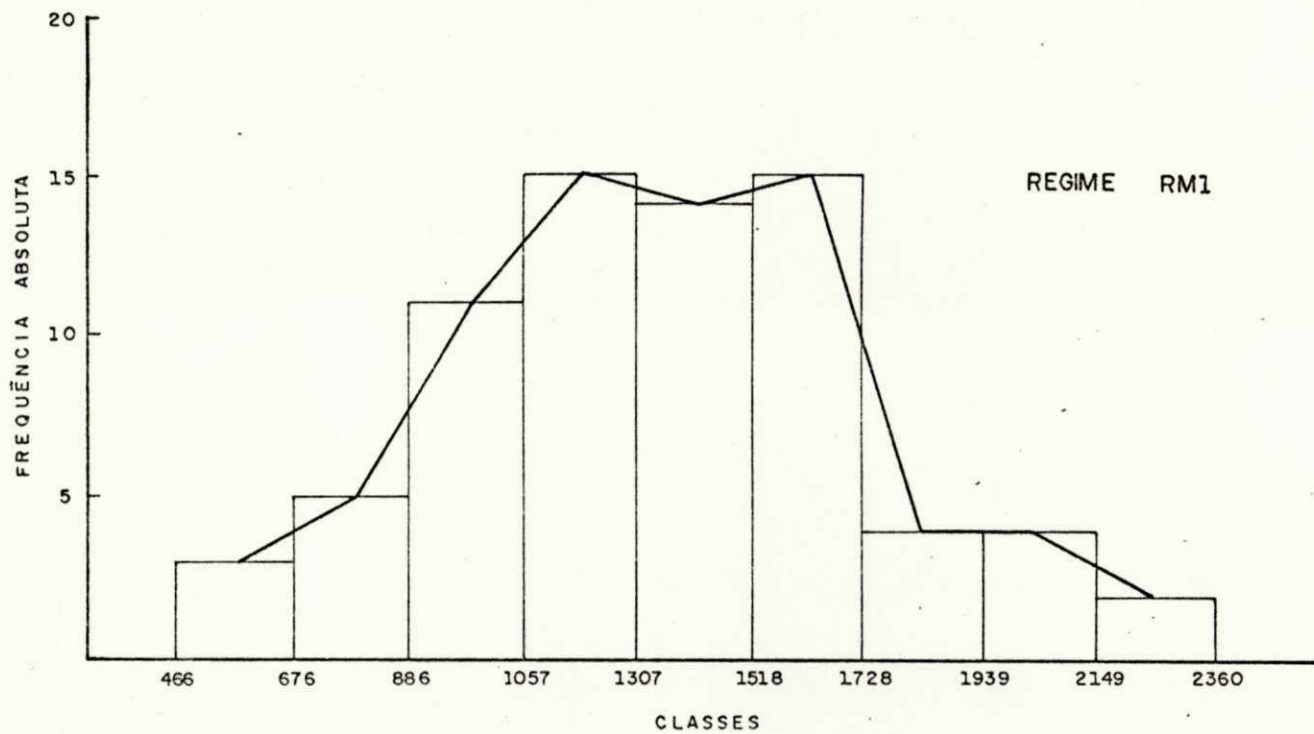


FIG. 4.15 POLÍGONO DE FREQUÊNCIA E HISTOGRAMA DA PRECIPITAÇÃO ANUAL COM BASE NOS POSTOS (1-4, 9-14, 17-20).

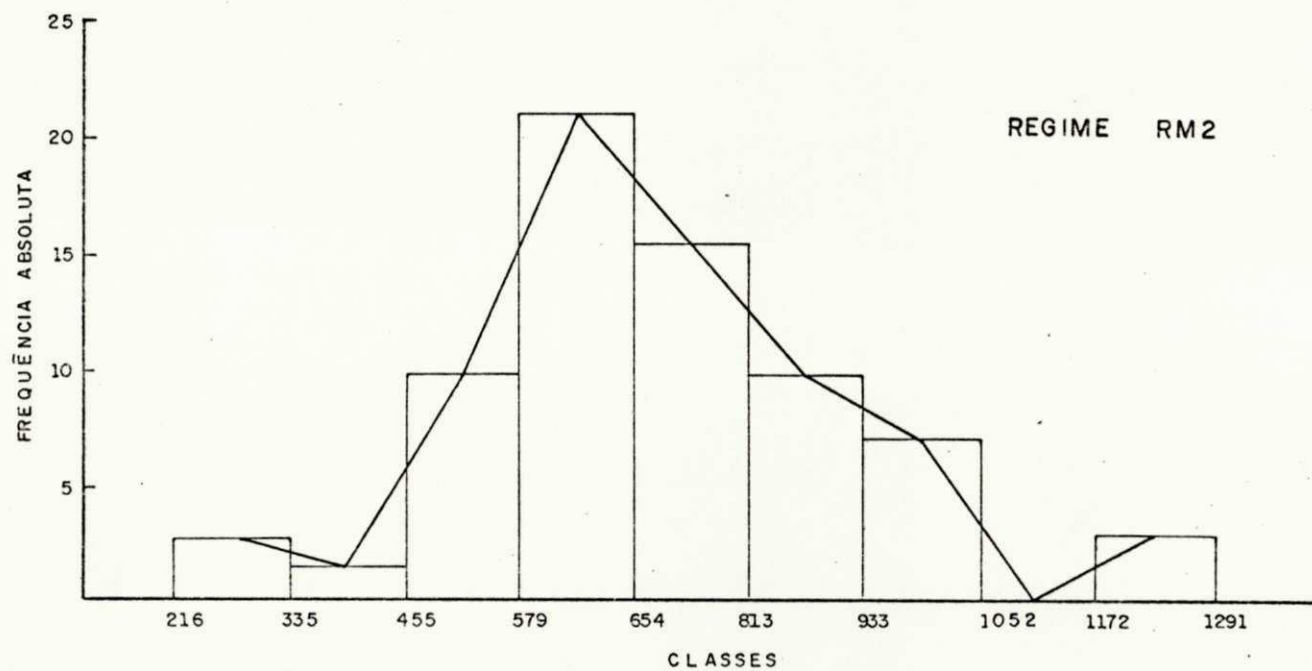


FIG. 4.16 - POLÍGONO DE FREQUÊNCIA E HISTOGRAMA DA PRECIPITAÇÃO ANUAL COM BASE NOS POSTOS (5, 6, 7, 8, 15, 16, 21 - 52).

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 - Periodicidades das chuvas no Nordeste.

Os resultados da análise harmônica são mostrados na Tabela (5.1). Constata-se alguns padrões nas séries de precipitação dos postos 1 a 96 e dos regimes climáticos RD, RM1, RM2, RL1 e RL2, com respeito às periodicidades encontradas. Detecta-se mais frequentemente, a presença de picos nas séries já referidas, para os períodos aproximados de 2; 2,5; 4,5; 13 e 26 anos, distribuídos sobre a região Nordeste do Brasil da seguinte forma: ao Norte, períodos de 4,5; 13 e 26 anos; mais ao Centro, períodos de 2; 2,5; 4,5 e 13 anos; na costa Leste, períodos de 2,5; 4,5; 13 e 26 anos e no Sul do Nordeste os períodos de 2 e 26 anos. A figura (5.1) mostra esta distribuição.

O número de picos significativos, ao nível de significância de 0,05, não apresenta-se suficientemente grande para serem usados em previsões. Contudo, há uma permanência dessas periodicidades (2; 2,5; 4,5; 13 e 26 anos), em toda a região Nordeste. Entretanto, a série de precipitação de Fortaleza apresentou periodicidades de aproximadamente 13 e 26 anos significativas ao nível de 0,05.

Causas físicas específicas não são associadas diretamente as periodicidades de 2; 2,5 e 4,5 anos. Entretanto, a presença de picos para os períodos de: 4,5 anos ao Norte, de 2 e 4,5 anos ao Centro, de 2,5 e 4,5 anos no Leste e 2 anos ao Sul da Região Nordeste do Brasil, sugerem a influên

TABELA 5.1

Harmônicos (j) selecionados de acordo com as estatísticas \bar{g}_1 e \bar{g}_2 mencionadas no teste de periodicidades. Os harmônicos significativos (ao nível de significância de 0,05) estão sublinhados.

j_1 e j_2 - Harmônicos, N - Número de observações (anos).

Nº do posto ou nome da série	N = 51		N = 53		N = 65		N = 69		N = 129		N = 131		N = 133		N = 135	
	j_1	j_2	j_1	j_2	j_1	j_2	j_1	j_2	j_1	j_2	j_1	j_2	j_1	j_2	j_1	j_2
1	11	1	1	2	2	3	2	2								
2	4	2	4	22	5	15	5	1								
3	12	1	12	1	18	1	16	3								
4	<u>1</u>	2	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>2</u>	<u>1</u>	2	<u>1</u>								
5	13	4	22	11	27	1	29	12								
6	4	21	22	12	5	15	16	29								
7	21	20	<u>22</u>	1	<u>27</u>	1	<u>29</u>	21								
8	12	21	11	22	3	7	3	14								
9	1	4	4	1	5	15	5	16								
10	1	12	12	10	15	7	7	2								
11	4	11	4	15	5	<u>1</u>	5	3	<u>10</u>	<u>5</u>	<u>10</u>	<u>5</u>	<u>10</u>	<u>5</u>	10	5
12	12	9	10	4	5	15	7	16								
13	13	12	12	10	15	5	16	7								

Continuação Tabela 5.1

Nº do posto ou nome da série	N = 51		N = 53		N = 65		N = 69		N = 129		N = 131		N = 133		N = 135	
	j_1	j_2	j_1	j_2	j_1	j_2	j_1	j_2	j_1	j_2	j_1	j_2	j_1	j_2	j_1	j_2
14	<u>1</u>	12	12	3	1	<u>15</u>	1	16								
15	4	1	4	1	5	1	5	22								
16	1	4	4	1	5	1	7	5								
17	2	14	15	2	18	<u>5</u>	19	5								
18	14	4	15	4	18	<u>5</u>	19	5								
19	2	14	15	2	1	<u>18</u>	19	1								
20	12	1	16	1	5	<u>1</u>	5	1								
21	1	2	1	2	<u>1</u>	17	<u>1</u>	18								
22	4	<u>15</u>	4	16	5	1	5	21								
23	13	9	16	22	1	5	1	3								
24	1	14	1	16	1	15	1	16								
25	12	2	12	1	15	1	16	7								
26	4	7	7	<u>4</u>	5	8	5	9								
27	20	9	4	3	5	12	4	11								
28	4	1	16	1	1	6	1	21								
29	4	9	4	5	5	18	7	5								
30	4	13	4	10	5	18	5	19								
31	4	13	4	12	5	1	16	1								
32	1	4	1	10	<u>1</u>	5	1	13								
33	1	4	1	4	1	5	1	2								

Continuação Tabela 5.1

Nº do posto ou nome da série	N = 51		N = 53		N = 65		N = 69		N = 129		N = 131		N = 133		N = 135	
	j ₁	j ₂	j ₁	j ₂	j ₁	j ₂	j ₁	j ₂	j ₁	j ₂	j ₁	j ₂	j ₁	j ₂	j ₁	j ₂
34	1	24	1	16	<u>1</u>	27	1	8								
35	12	13	14	4	15	5	16	18								
36	4	5	4	5	1	<u>5</u>	1	<u>7</u>								
37	13	9	16	5	1	5	7	1								
38	4	1	1	4	5	1	1	5								
39	<u>4</u>	12	4	<u>12</u>	<u>5</u>	15	5	16								
40	15	25	16	9	32	5	34	5								
41	13	2	2	7	17	15	18	16								
42	6	12	4	5	17	5	18	7								
43	4	20	4	16	5	1	7	1								
44	1	4	4	22	1	5	1	7								
45	2	20	2	20	10	2	3	18								
46	13	20	22	5	27	6	29	6								
47	15	20	22	16	19	10	33	5								
48	5	20	5	16	1	7	1	27								
49	<u>2</u>	1	2	3	<u>3</u>	1	<u>3</u>	1								
50	2	20	21	16	3	27	3	27								
51	2	9	9	2	2	19	12	2								
52	20	19	22	16	31	13	33	29								
53	4	11	2	11	2	1	1	6								
54	10	10	10	1	1	4	<u>1</u>	4								

Continuação Tabela 5.1

Nº do posto ou nome da série	N = 51		N = 53		N = 65		N = 69		N = 129		N = 131		N = 133		N = 135	
	j_1	j_2	j_1	j_2	j_1	j_2	j_1	j_2	j_1	j_2	j_1	j_2	j_1	j_2	j_1	j_2
55	1	12	1	11	<u>1</u>	5	<u>1</u>	5								
56	11	10	2	11	2	4	29	<u>2</u>								
57	13	2	20	2	5	26	26	29								
58	14	10	20	11	14	17	16	21								
59	10	6	10	20	13	2	23	13								
60	4	12	4	3	5	26	<u>1</u>	2								
61	1	12	1	16	1	26	1	29								
62	1	14	20	15	1	25	26	29								
63	2	12	2	20	3	4	5	2								
64	5	12	20	11	15	14	26	16								
65	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>1</u>	<u>2</u>								
66	14	12	20	19	1	26	1	15								
67	<u>2</u>	3	<u>2</u>	3	3	1	3	<u>1</u>								
68	15	12	20	16	25	1	26	5								
69	19	21	20	16	31	29	26	31								
70	15	12	16	20	19	30	26	16								
71	1	19	20	17	1	31	1	26								
72	<u>2</u>	14	2	16	3	2	3	16								
73	2	19	20	<u>2</u>	25	30	<u>26</u>	2								
74	13	14	16	14	17	3	26	<u>3</u>								
75	12	13	20	24	30	15	16	31								
76	19	25	20	16	31	32	26	33								

Continuação Tabela 5.1

Nº do posto ou nome da série	N = 51		N = 53		N = 65		N = 69		N = 129		N = 131		N = 133		N = 135	
	j_1	j_2	j_1	j_2	j_1	j_2	j_1	j_2	j_1	j_2	j_1	j_2	j_1	j_2	j_1	j_2
77	2	15	16	<u>2</u>	2	3	26	3								
78	20	2	2	21	1	31	1	<u>26</u>								
79	<u>2</u>	3	2	16	2	3	3	2								
80	19	2	24	20	1	29	1	26								
81	4	19	20	4	1	31	26	1								
82	<u>1</u>	<u>2</u>	2	<u>1</u>	1	3	3	1								
83	20	19	9	20	13	31	26	14								
84	10	21	16	22	31	27	14	13								
85	2	1	2	5	2	3	2	3								
86	<u>2</u>	1	<u>2</u>	1	1	3	1	3								
87	<u>2</u>	10	<u>2</u>	20	2	3	3	2								
88	24	20	25	22	31	1	1	2								
89	5	21	5	20	2	6	2	1								
90	1	4	1	16	1	3	1	6								
91	12	25	22	13	1	16	7	26								
92	21	1	22	<u>1</u>	3	27	1	29								
93	<u>2</u>	15	<u>2</u>	22	<u>3</u>	19	3	20								
94	2	8	2	8	<u>3</u>	27	3	24								
95	5	21	22	13	3	6	8	16								
96	20	10	22	14	13	25	14	29								
RM1	4	12	4	12	5	15	16	5								

Continuação Tabela 5.1

Nº do posto ou nome da série	N = 51		N = 53		N = 65		N = 69		N = 129		N = 131		N = 133		N = 135	
	j_1	j_2	j_1	j_2	j_1	j_2	j_1	j_2	j_1	j_2	j_1	j_2	j_1	j_2	j_1	j_2
RM2	4	13	4	16	5	1	1	16								
RL1	12	14	20	16	1	14	26	16								
RL2	2	15	2	26	32	28	34	3								
RD	2	<u>21</u>	22	2	3	27	29	33								
Nº de Manchas So lares (Nov/Out)	<u>5</u>	1	<u>5</u>	1	<u>6</u>	<u>7</u>	<u>7</u>	<u>6</u>	<u>12</u>	<u>13</u>	<u>12</u>	<u>13</u>	<u>12</u>	<u>1</u>	<u>12</u>	<u>13</u>
Nº de Manchas So lares (Out/Set)	<u>5</u>	1	<u>5</u>	1	<u>6</u>	<u>7</u>	<u>7</u>	<u>6</u>								
Nº de Manchas So lares (Jul/Jun)	<u>5</u>	1	<u>5</u>	1	<u>6</u>	<u>7</u>	<u>7</u>	<u>6</u>								

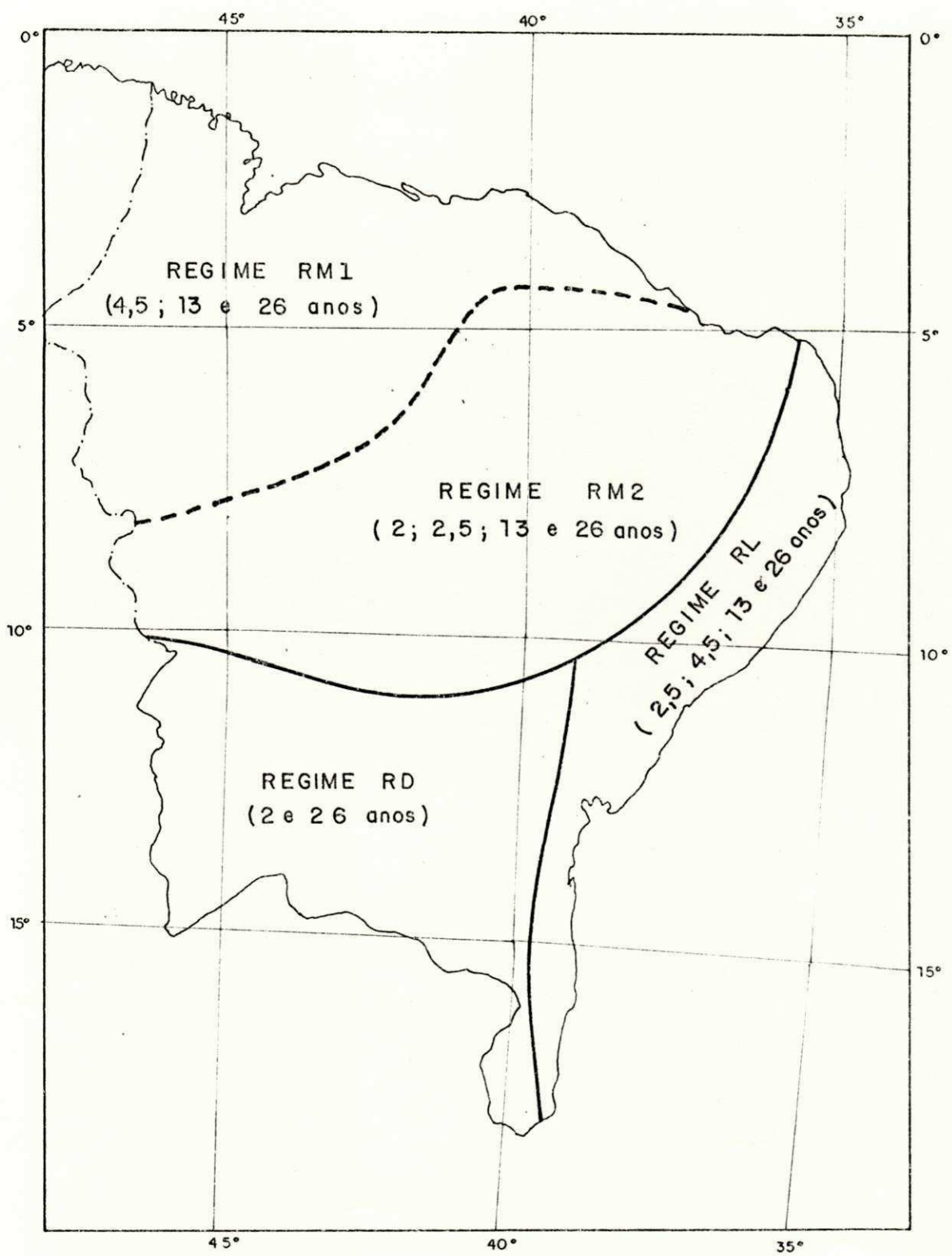


FIG. 5.1 — DISTRIBUIÇÃO DAS PERIODICIDADES DE CHUVAS NO NORDESTE DO BRASIL.

cia de um sistema físico global nas chuvas do Nordeste, e influências conjuntas de vários sistemas em escalas regionais.

O fenômeno "El Niño" pode ser considerado uma das principais causas físicas das anomalias das chuvas no Nordeste. Segundo QUINN et alii (1978), sabe-se que há 82% de possibilidade de ocorrência de um forte "El Niño" a cada 15 ou 16 anos. MOLION (1985) afirma que o ciclo do "El Niño" está bem próximo do ciclo de 13 anos apresentado pela série de precipitação de Fortaleza.

Notadamente, pela Tabela (5.1) comprova-se que o ciclo médio aproximado de 13 anos está presente nos regimes de chuvas da região Nordeste do Brasil. Assim, este último ciclo, como já mencionado para a série de Fortaleza, está consideravelmente próximo do ciclo de ocorrências (a cada 15 ou 16 anos) de um forte "El Niño", segundo QUINN et alii (1978) ou ainda segundo citação de Aragão (1986) um ciclo de aproximadamente 13,2 anos. Ainda pela Tabela (5.1) comprova-se o ciclo de 11 anos do número de manchas solares sugerindo também a proximidade deste último com o ciclo médio aproximado de 13 anos das chuvas no Nordeste brasileiro encontrado neste trabalho.

Do exposto, conclui-se que provavelmente existe um ciclo médio aproximado de 13 anos das chuvas no Nordeste brasileiro. Este último ciclo está, pelo menos, relacionado com o número de ocorrências de um forte "El Niño", e ainda, possivelmente, relacionado com o ciclo de 11 anos do número manchas solares. Por outro lado, há evidências da influência

de mais de um sistema físico global nas chuvas no Nordeste (por exemplo: Zona de Convergência Intertropical ao Norte do Nordeste, frentes frias ao Sul do Nordeste, ondas de Este geradas pelo anticiclone extratropical e ainda brisas marítimas na costa Leste da região nordestina), assim como possíveis influências conjuntas, desses sistemas, atuando nas regiões Norte, Sul, Centro e Leste do Nordeste brasileiro.

5.2 - Correlação Cruzada.

5.2.1 - Correlação entre as séries do nº de manchas solares e as séries de precipitação dos regimes climáticos.

Constata-se, através dos resultados apresentados na Tabela (5.2), que existe correlação linear muito fraca entre as séries do número de manchas solares e as séries de precipitações médias dos regimes climáticos RD, RMI, RM2, RL1 e RL2.

No caso particular da correlação linear entre a série de precipitações de Fortaleza e a série do número de manchas solares, a correlação mostrou-se também extremamente fraca com valores de $R_{xy}(k)$, $-70 \leq k \leq 70$, abaixo do valor 0,169.

Apesar da fraca correlação linear encontrada entre as séries do número de manchas solares e as séries de precipitações médias dos regimes climáticos RD, RMI, RM2, RL1 e RL2, não descarta-se a possibilidade de haver correlação (não necessariamente linear) entre essas variáveis, pois é intrigante saber que: existe uma proximidade do ciclo médio apro

ximado de 13 anos das chuvas no Nordeste e do ciclo solar de 11 anos; e os coeficientes de correlação mesmo apresentando baixo poder explicativo, exibem "lags" de 8, 17 e 18 anos positivos, correspondentes aos valores máximos dos coeficientes de determinação. Esses "lags" estão relativamente próximos do já mencionado ciclo de 13 anos das chuvas no Nordeste.

5.2.2 - Correlação entre as séries dos Regimes climáticos.

Confirma-se através dos resultados apresentados na Tabela (5.2) que não há evidência de correlação linear forte, entre as séries de precipitação dos regimes climáticos RD, RM1, RM2, RL1 e RL2. Os maiores coeficientes de correlação para o "lag" zero, possuem baixo poder explicativo, constatando-se isto por meio dos coeficientes de determinação (ver Tabela 5.2).

Apesar desta análise apresentar baixos coeficientes de correlação linear, nota-se que os maiores coeficientes de correlação exibem o "lag" zero nos cálculos destes coeficientes em quase todas as correlações efetuadas. Exceção para a correlação entre os regimes RD e RM1, os quais apresentam correlação extremamente fraca, valores de $R_{xy}(K)$, $-45 \leq K \leq 45$ abaixo do valor 0,236.

O fato da análise de correlação exibir o "lag" zero nas correlações entre os regimes climáticos RD, RM1, RM2, RL1 e RL2 sugere que algum sistema físico em escala global atua nas chuvas no Nordeste do Brasil, como por exemplo o fenômeno denominado "El Niño".

TABELA 5.2

Valores de $R_{xy}(K)$ e $[R_{xy}(K)]^2$.

$R_{xy}(K)$ - Coeficientes de correlação cruzada.

$[R_{xy}(K)]^2$ - Coeficientes de determinação.

K - "lags" , N - número de observações (anos)

Valores sublinhados de K - valores selecionados para regressão

Séries	N (anos)	K (anos)	$[R_{xy}(K)]^2 \cdot 100$	$R_{xy}(K)$
		3	7,2	-0,268574
		4	6,2	-0,249656
		<u>8</u>	7,6	0,276250
		9	5,7	0,239470
Nº de Manchas Solares (Jul/Jun) e regime RD	69	19	6,1	0,247386
		-1	6,1	0,248314
		-2	6,1	0,247493
		-7	5,9	-0,243181
		-8	5,6	-0,237468
		-28	6,0	-0,246325
Nº de Manchas Solares (Nov/Out) e regime RM1	69	16	7,8	0,279321
		<u>17</u>	9,4	0,306651
		16	6,6	0,257958
Nº de Manchas Solares (Nov/Out) e regime RM2		<u>17</u>	10,9	0,331026
		18	7,1	0,268134
		-28	6,2	-0,249794
		-34	6,5	0,255275
Nº de Manchas Solares (Out/Set) e regime RL1	69	0	7,0	0,266333

Continuação Tabela 5.2

Séries	N (anos)	K (anos)	$[R_{xy}(K)]^2 \cdot 100$	$R_{xy}(K)$
Nº de Manchas Solares (Out/Set) e regime RL2	69	18	6,1	0,248782
Nº de Manchas Solares (Nov/Out) e posto de Fortaleza	135	—	—	—
Regimes RD e RL1	69	0	19,1	0,437318
		-5	9,3	0,306429
Regimes RD e RL2	69	0	19,5	0,442717
		36	6,0	-0,246178
Regimes RD e RM1	69	—	—	—
Regimes RD e RM2	69	0	18,0	0,424720
Regimes RM1 e RM2	69	0	15,1	0,388816
Regimes RM1 e RL1	69	0	27,3	0,522611
		1	12,5	0,357132
Regimes RM1 e RL2	69	0	13,4	0,367314
		1	14,1	0,376876
Regimes RM2 e RL1	69	0	44,3	0,665968
		-3	6,8	0,261494
Regimes RM2 e RL2	69	0	24,9	0,499083
		1	12,2	0,349898
Regimes RL1 e RL2	69	0	26,6	0,516538
		1	10,2	0,320814
		0	81,0	0,900325
Regime RM1 e posto de Fortaleza	69	20	6,3	-0,252829
		-1	7,8	0,280114
		6	6,0	-0,245235

Continuação Tabela 5.2

Séries	N (anos)	k (anos)	$[R_{xy}(K)]^2 \cdot 100$	$R_{xy}(K)$
Regime RM2 e posto de Fortaleza	69	0	64,5	0,803406
		-1	11,6	0,341615
		-3	6,1	0,248807
Regime RM1 e posto de Fortaleza	69	0	31,1	0,557777
		3	6,2	0,250780
		-1	23,2	0,482300
Regime RL2 e posto de Fortaleza	69	0	13,3	0,365486
		-1	20,1	0,449261
Regime RD e posto de Fortaleza	69	-1	7,0	0,266388
		-5	8,1	0,285036

Existe, uma grande complexidade no que diz respeito aos possíveis sistemas físicos, que atuam nas chuvas dos regimes climáticos. Talvez a fraca correlação linear existente entre as séries de precipitações dos regimes climáticos deve-se principalmente a exclusividade da área de atuação dos vários sistemas físicos e possíveis relações desses sistemas, durante o período estudado de 69 anos (1912 a 1980), sobre as subregiões Norte, Sul, Leste e Central do Nordeste brasileiro, onde localizam-se os postos pluviométricos que compõem esses regimes climáticos. Por outro lado, esta complexidade é aumentada quando cogita-se as influências dos sistemas físicos locais e características microclimáticas inerentes as precipitações dos regimes climáticos.

Particularmente sabe-se que as precipitações dos regimes climáticos RD e RM1 sofrem influências dos sistemas frontais vindos do Sul do Brasil e da Zona de Convergência Intertropical, respectivamente. O motivo das precipitações dos regimes RD e RM1 apresentarem correlações extremamente fracas, provavelmente, deve-se a exclusividade da área de atuação desses dois sistemas, durante o período estudado de 69 anos (1912 a 1980), o primeiro sistema atuando na parte Sul do Nordeste e o último na parte Norte do Nordeste brasileiro.

5.2.3 - Correlações entre a série de precipitação de Fortaleza e as séries de precipitações dos regimes climáticos.

Pela Tabela (5.2) constata-se que existe forte

correlação entre as séries de precipitação dos regimes RM1 e RM2 e aquela do posto de Fortaleza. Esse fato é evidenciado pelos altos coeficientes de determinação. As correlações entre as precipitações do posto de Fortaleza e os regimes RL1, RL2 e RD apresentam-se baixas, exibindo coeficientes de correlação com baixo poder explicativo (Tabela 5.2).

Analogamente, a análise de correlação das séries estudadas nesta secção, exibem o "lag" zero nos cálculos dos maiores coeficientes de correlação, exceção se faz entre as precipitações do regime RD e de Fortaleza, onde os coeficientes de correlação apresentam "lags" negativos.

A razão para o aparecimento do "lag" zero em quase todas as correlações analisadas, deve-se provavelmente a influência de algum sistema físico global nas chuvas da região Nordeste, como um todo. Por outro lado, as fortes correlações com as séries de chuvas de Fortaleza apoiam-se no fato, das séries de precipitação de Fortaleza e dos regimes RM1 e RM2 estarem influenciadas pelos mesmos mecanismos físicos, produtores de chuvas, tal como a Zona de Convergência Intertropical.

5.3 - Previsão de anos com valores extremos de precipitação (máximos ou mínimos) para os regimes climáticos RD, RM1, RM2 e RL2.

De acordo com a metodologia da secção (4.7) os "lags" positivos selecionados, correspondentes aos valores má

ximos dos coeficientes de correlação utilizados no modelo de regressão linear, estão presentes na Tabela (5.2).

As equações das retas de regressão estimadas juntamente com os valores dos desvios padrões dos resíduos do modelo de regressão linear e ainda as médias temporais anuais dos regimes climáticos estão na Tabela (5.3).

Em todas as séries de ϵ_t testadas como o teste das autocorrelações da secção (3.4.1), os valores $|Z'|$, apresentam-se menores que $1,96 \sigma_z$, ao nível de 0,05 de significância, satisfazendo assim uma das hipóteses do modelo de regressão linear a qual se refere a erros não-correlacionados. A segunda hipótese do modelo de regressão, a de que os resíduos do referido modelo seguem uma distribuição normal é satisfeita. A Tabela (5.4) apresenta os resultados do teste de normalidade empregados nas séries dos resíduos.

A Tabela (5.5) mostra os prognósticos de precipitações médias anuais (ano hidrológico), máximas ou mínimas, pelo modelo de regressão linear para os regimes RD, RM1, RM2 e RL2, bem como as probabilidades das precipitações máximas ou mínimas de estarem acima ou abaixo da média anual temporal.

Para o regime climático RM2, no ano de 1996, com uma probabilidade de 0,8, a precipitação média anual deverá estar acima da média anual temporal, e no ano de 1992 a precipitação média anual deverá estar, com uma probabilidade de 0,5, abaixo da média anual comprova-se que em 1984 para o regime RM2 a precipitação média anual esteve acima da média anual temporal.

TABELA 5.3

Retas de regressão estimadas e desvios padrões das séries dos resíduos ϵ_t e médias anuais das séries de precipitação RD, RM1, RM2, RL1 e RL2.

$\hat{f}(t)$ - reta de regressão estimada

σ_{ϵ_t} - desvio padrão dos ϵ_t

\bar{Y} - média anual

Séries de valores máximos ou mínimos	$\hat{f}(t)$	σ_{ϵ_t}	Regimes Climáticos	\bar{Y} (mm)
RM2 e Solar (Nov/Out) - mínimos	$711,3 + 0,04X_t$	182,2	RM2	721,9
RM2 e Solar (Nov/Out) - máximos	$656,9 + 1,76X_t$	186,8		
RM1 e Solar (Nov/Out) - mínimos	$1574,8 - 34,75X_t$	379,4	RM1	1354,6
RM1 e Solar (Nov/Out) - máximos	$1596,8 + 1,09X_t$	428,2		
RL2 e Solar (Out/Set) - mínimos	$710,5 + 11,68X_t$	153,3	RL2	775,6
RL2 e Solar (Out/Set) - máximos	$1137,0 - 1,91X_t$	308,4		
RL1 e Solar (Out/Set) - mínimos	$1143,2 - 0,20X_t$	59,8	RL1	1241,5
RL1 e Solar (Out/Set) - máximos	$1305,5 - 1,46X_t$	135,0		
RD e Solar (Jul/Jun) - mínimos	$678,6 - 7,74X_t$	145,8	RD	757,3
RD e Solar (Jul/Jun) - máximos	$627,5 + 1,25X_t$	103,4		

TABELA 5.4

Resultados do Teste de Normalidade

n - Números de observações (anos)

 D_n^* - Valores Críticos empregados no teste D_n - Valores Calculados (parâmetros do teste)

(N) Indica que a série é aproximadamente normal.

Séries	n	D_n^*	D_n	Resultado (N)
Nº de Manchas Solares (período 1849-1983 ano hidrológico Nov/Out)	135	0,1170	0,1000	$D_n < D_n^*$
Precipitação - Fortaleza (período 1849-1981, ano hidrológico Nov/Out)	133	0,1179	0,0528	$D_n < D_n^*$
Resíduos do modelo senoidal para Fortaleza (período 1849-1981)	133	0,1179	0,0814	$D_n < D_n^*$
Precipitação - Fortaleza (período 1912-1980, ano hidrológico Nov/Out)	69	0,1637	0,0793	$D_n < D_n^*$
Precipitação - regime RD	69	0,1637	0,0768	$D_n < D_n^*$
Precipitação - regime RM1	69	0,1637	0,0688	$D_n < D_n^*$
Precipitação - regime RM2	69	0,1637	0,0714	$D_n < D_n^*$
Precipitação - regime RL1	69	0,1637	0,1620	$D_n < D_n^*$
Precipitação - regime RL2	69	0,1637	0,1521	$D_n < D_n^*$
Nº de Manchas Solares (período 1912-1980, ano hidrológico Out/Set)	69	0,1637	0,1554	$D_n < D_n^*$

Continuação Tabela 5.4

Séries	n	D_n^*	D_n	Resultado (N)
Nº de Manchas Solares (período 1912-1980, ano hidrológico Nov/Out) \bar{h}_i	69	0,1637	0,1300	$D_n < D_n^*$
Nº de Manchas Solares (período 1912-1980, ano hidrológico Jul/Jun) \bar{h}_i	69	0,1637	0,1265	$D_n < D_n^*$
Resíduos do modelo de Regressão, RM2 e Solar (Nov/Out) - mínimos	6	0,5300	0,2291	$D_n < D_n^*$
Resíduos do modelo de Regressão, RM2 e Solar (Nov/Out) - máximos.	5	0,5600	0,3656	$D_n < D_n^*$
Resíduos do modelo de Regressão, RM1 e solar (Nov/Out) - mínimos.	6	0,5300	0,2422	$D_n < D_n^*$
Resíduos do modelo de Regressão, RM1 e solar (Nov/Out) - máximos.	5	0,5600	0,1545	$D_n < D_n^*$
Resíduos do modelo de Regressão, RL2 e solar (Out/Set) - mínimos.	5	0,5600	0,3000	$D_n < D_n^*$
Resíduos do modelo de Regressão, RL2 e solar (Out/Set) - máximos.	5	0,5600	0,2293	$D_n < D_n^*$
Resíduos do modelo de Regressão, RL1 e solar (Out/Set) - mínimos	7	0,5000	0,2252	$D_n < D_n^*$
Resíduos do modelo de Regressão, RL1 e solar (Out/Set) - máximos.	7	0,5000	0,1456	$D_n < D_n^*$
Resíduos do modelo de Regressão, RD e solar (Jul/Jun) - mínimos.	6	0,5300	0,2910	$D_n < D_n^*$
Resíduos do modelo de Regressão, RD e solar (Jul/Jun) - máximos.	6	0,5300	0,1492	$D_n < D_n^*$

TABELA 5.5

Prognósticos de precipitações médias anuais (ano hidrológico), máximas ou mínimas \hat{Y}_t , pelo modelo de regressão, para os regimes RM2, RM1, RL2 e RD, e probabilidade de Y_t está acima ou abaixo da média \bar{Y} .

Y_t - precipitação (máxima ou mínima)

X_t - número de manchas solares

\hat{Y}_t - precipitação (max. ou mín.) prognosticada

Prmáx - Probabilidade de Y_t está acima da média anual \bar{Y}

Prmín - Probabilidade de Y_t está abaixo da média anual \bar{Y}

Séries	"lag" (anos)	Ano	X_t	Ano	\hat{Y}_t (mm)	Prmáx. (%)	Prmín. (%)
RM2 e Solar (Nov/Out) - mínimos	17	1975	13,3	1992	711,8		51,9
RM2 e Solar (Nov/Out) - máximos	17	1967	108,0	1984	847,8	74,8	
		1979	156,6	1996	932,5	86,8	
RM1 e Solar (Nov/Out) - mínimos	17	1975	13,3	1992	1112,6		73,5
RM1 e Solar (Nov/Out) - máximos	17	1967	108,0	1984	1714,8	79,9	
		1979	156,6	1996	1767,4	83,1	
RL2 e Solar (Out/Set) - mínimos	18	1963	13,0	1981	862,3		28,7
		1975	13,3	1993	865,8		28,1
RL2 e Solar (Out/Set) - máximos	18	1968	105,9	1986	933,9	69,5	
		1978	143,1	1996	862,6	61,0	
RD e Solar (Jul/Jun) - mínimos	8	1974	16,7	1982	549,4		92,2
RD e Solar (Jul/Jun) - máximos	8	1979	157,1	1987	825,0	74,2	

No ano de 1996, com uma probabilidade de 0,8, a precipitação média anual deverá estar acima da média anual, para o regime RM1 e no ano de 1992 abaixo da média anual com uma probabilidade de 0,8. Novamente comprova-se para este regime (RM1) que o ano de 1984 a precipitação média anual esteve acima da média anual temporal.

Para o regime RL2 no ano de 1993, com apenas uma probabilidade de 0,3, a precipitação média anual deverá estar abaixo da média anual, e acima desta no ano de 1996, com uma probabilidade de 0,6. Verifica-se que no ano de 1981 a precipitação média anual esteve abaixo da média anual temporal, pois sabe-se que neste ano ocorreu uma grande seca em toda região nordestina em particular a região que abrange o regime RL2. Também comprova-se que o ano de 1984 a precipitação média anual esteve acima da média anual.

Finalmente, para o ano de 1982 comprova-se com uma probabilidade de 0,9 que a precipitação média anual esteve abaixo da média anual, para o regime climático RD, pois neste ano ocorreu seca severa para toda a região nordestina. Para o mesmo regime no ano de 1987 a precipitação média anual deverá estar acima da média anual com uma probabilidade de 0,7.

Como visto, tais previsões poderiam ser bem aproveitadas em um planejamento agrícola, já que, os prognósticos são feitos para subregiões do Nordeste e também para anos hidrológicos (contendo a estação chuvosa) nos quais as precipitações médias anuais estão com uma probabilidade calculada de

estar abaixo ou acima da média anual do regime climático que representa uma determinada subregião do Nordeste. Contudo, o modelo de regressão é baseado na fraca correlação linear apresentada entre as séries de número de manchas solares e as séries de precipitações médias anuais dos regimes climáticos RD, RM1, RM2 e RL2, e portanto o modelo de regressão utilizado para estes prognósticos, deverá ser utilizado com bastante precaução em algum planejamento agrícola.

Nas figuras (A1 a A6) estão os gráficos das equações das retas de regressão já expostas na Tabela (5.3). Variações negativas, ou seja, quando máximos (mínimos) do número de manchas solares aumentam as precipitações anuais máximas (mínimas) diminuem, e variações positivas nas quais, quando máximos (mínimos) do número de manchas solares aumentam as precipitações anuais máximas (mínimas) aumentam, aparecem de maneira isolada para os regimes climáticos. Estas variações são verificadas também pelos coeficientes angulares das retas de regressão mostrados na Tabela (5.3), ocorrendo variações positivas quando o coeficiente angular da reta de regressão for positivo, e variações negativas quando o coeficiente angular da reta de regressão for negativo.

Os resultados da Tabela (5.3) e os gráficos das figuras (A1 a A6) mostram que: na região Central e Norte (regimes climáticos RM1 e RM2) do Nordeste há uma frequência relativa de 75% de variações com respeito a mínimos e máximos; na região Leste (regimes climáticos RL1, RL2) do Nordeste, com relação a máximos e mínimos, há uma frequência de 75% de

variações negativas; finalmente na parte Sul (regime climático RD) do Nordeste existe uma frequência relativa de 50% para máximos, como também para mínimos.

6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Com base nos resultados obtidos no presente trabalho, são apresentadas as seguintes conclusões:

1. Existe uma maior frequência na presença de picos nas séries de precipitação no Nordeste para períodos aproximados de 2; 2,5; 4,5; 13 e 26 anos, distribuídos sobre a região Nordeste do Brasil da seguinte forma: ao Norte, períodos de 4,5 ; 13 e 26 anos, mais ao Centro, períodos de 2; 2,5; 4,5 e 13 anos, na região da costa Leste, períodos de 2,5; 4,5; 13 e 26 anos e na parte Sul do Nordeste os períodos de 2 e 26 anos. Causas físicas específicas não são associadas diretamente as periodicidades de 2; 2,5 e 4,5 anos. Entretanto, a presença desses picos indicam que há influência de mais de um sistema físico global nas chuvas no Nordeste, e possíveis influências conjuntas desses sistemas, nas precipitações da região em estudo.

2. Notadamente, comprova-se que o ciclo médio aproximado de 13 anos está presente nas chuvas da região Nordeste do Brasil. Este último ciclo está, pelo menos, relacionado com o número de ocorrências (a cada 15 ou 16 anos) de um forte "El Niño", e ainda, o mesmo ciclo das chuvas está possivelmente relacionado com o ciclo do número de manchas solares, de aproximadamente 11 anos.

3. Apesar da fraca correlação linear encontrada entre as séries do número de manchas solares e as séries de chuvas no Nordeste do Brasil, não descarta-se a possibilidade

de haver relação entre estes dois parâmetros físicos, pois é intrigante saber que: existe uma proximidade do ciclo médio a proximado de 13 anos das chuvas no Nordeste do ciclo solar de 11 anos.

4. O fato da análise exibir o "lag" zero nas correlações efetuadas entre as séries de precipitação dos regimes climáticos RD, RM1, RM2, RL1 e RL2 em quase todos os maiores coeficientes de correlação, fortalece a hipótese de que algum sistema físico em escala global atua nas chuvas no Nordeste do Brasil, notadamente nos anos de chuvas extremamente escassas.

A fraca correlação linear existente entre as precipitações das séries dos regimes climáticos é provavelmente consequência da exclusividade da área de atuação de sistemas físicos, e possíveis relações entre esses sistemas, durante o período estudado de 69 anos (1912 a 1980), sobre as sub-regiões Norte, Sul, Leste e Central do Nordeste brasileiro. Por outro lado, aumenta esta complexidade, quando cogitam-se as influências dos sistemas físicos locais e características microclimáticas, inerentes às sub-regiões já mencionadas anteriormente.

5. O modelo de regressão linear empregado para fazer-se prognósticos de valores extremos de precipitações (ver secção 4.7) é baseado na fraca correlação linear apresentada entre as séries de precipitações médias dos regimes climáticos e as séries do número de manchas solares, e portanto, tal modelo empregado na realização de prognósticos de valo

res extremos de chuvas deverá ser utilizado, se utilizado, com bastante precaução.

Diante das conclusões tiradas no presente trabalho e da experiência adquirida, apresenta-se as seguintes sugestões:

1. Uma análise estatística mais refinada deverá ser feita para se verificar a relação entre as chuvas no Nordeste e as ocorrências do fenômeno "El Niño", com o propósito de se fazer prognósticos baseando-se no ciclo médio aproximado de 13 anos de ambos os fenômenos.

2. Estudos mais aprofundados devem ser realizados com o propósito de se detectar evidências de que o ciclo solar possa ter influências consideráveis sobre a atmosfera da Terra e seu clima, e os efeitos que poderiam surgir no clima do Nordeste do Brasil e possivelmente no clima de outras regiões do globo terrestre.

3. As anomalias nas chuvas do Nordeste devem-se provavelmente a fenômenos físicos globais. Portanto, está distante a possibilidade de modificação do clima da região através de mudanças em escala local. Contudo, prognósticos de períodos de estiagem na região nordestina poderiam ser extremamente úteis para um programa integrado e global no "combate as secas", notadamente no que diz respeito aos aspectos técnicos. Dentre estes últimos aspectos destacam-se os meios de coleta de água, de preferência, através das práticas de açudagem, métodos de irrigação ...

7. BIBLIOGRAFIA †

- AMARAL, E. & SILVA, J. Baptista da, 1981. Periodicidades Ocultas e Previsão de Seca (Comunicação preliminar). In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 2. Pelotas, Res. ampliado.
- ANDERSON, R.L., 1942. Distribution of the Serial Correlation Coefficient. *Ann. Math. Stat.*, North Carolina State College. Vol 13, (1).
- ARAGÃO, J.O.R., 1986. "A General Circulation Model Investigation of the Atmospheric Response to El Niño". Ph.D. Dissertation. University of Miami Coral Gables, Florida, May 1986, 144 p.
- ARANTES, J.T., 1983. A máquina do tempo. *Ciência Ilustrada*. Ano 11, (15), Ed. Abril.
- ASTRONOMIA, 1985. *Estrutura da Atmosfera Terrestre*. Vol 1, (7). Rio Gráfica.
- BLACKMAN, R.B & TUKEY, J.W., 1958. *The measurement of Power Spectro* (From the Point of View of Communications Engineering). New York. Dover Publications.
- BLOOMFIELD, P., 1976. *Fourier Analysis of time series: An Introduction*. New York. John Wiley.
- BOLETIM TÉCNICO, 1980. DNOCS Vol. 1, (1). Fortaleza. Brasil.

- BROOKS, C.E.P. & CARRUTHERS, N., 1953. *Handbook of Statistical Methods in Meteorology*. London: Her Majesty's Stationery office.
- CAROPRESO, A., 1983. A seca vem do Mar. *Ciência Ilustrada*. Ano 11, (5). Ed. Abril.
- CARVALHO, J. H., 1980. A convivência com a seca no Nordeste: Aspectos técnicos e políticos. *Contribuição ao estudo da Previsão de Secas e Modificação do Clima do NE Brasileiro*: INPE. P. 1-9.
- CHERNOSKY, E.I. & HAGAN, M.P., 1958. The Zurich Sunspot Number and Its Variations. *Journal of Geophysical Research*. Vol. 63, (4). December.
- CHU, Pao-Shin, 1983. Diagnostic Studies of Rainfall Anomalies in Northeast Brazil. *American Meteorological Society*, Vol. III. August.
- , 1984. Time and Space Variability of Rainfall e Surface Circulation in the Northeast Brazil-Tropical Atlantic Sector. *Journal of the Meteorological Society of Japan*. Vol. 62, (2). April.
- CHUNG, J.C., 1982. Correlations Between the Tropical Atlantic Trade Winds and Precipitations in Northeastern Brazil. *Journal of Climatology*. Vol. 2, 35-46.
- COVEY, D.L. & HASTENRATH, S., 1978. The Pacific El Niño Phenomenon and the Atlantic Circulation. *Monthly Weather Review*. Vol. 106, (9). September.

- DAMAZIO, J.M. & KELMAN, J., 1981. Previsão de Total Anual de Precipitação. In: Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos, 4. Fortaleza. *Anais*, Vol. 1.
- EDDY, J.A., 1977. The case of the Missing Sunspots. *Scientific American*. Vol. 236, (5).
- FERRAZ, J.S., 1950. Iminência duma "Grande Seca" Nordestena. *Revista Brasileira de Geografia*, 12 (1) : 3-15.
- FIGUEIREDO, D. GUEDES de, 1977. *Análise de Fourier e equações diferenciais parciais*. Rio de Janeiro. Instituto de Matemática Pura e Aplicada, CNPq.
- FONSECA, J. SIMON da; MARTINS, G.A.; TOLETO, G.L., 1982. *Estatística Aplicada*. Vol. 2. Ed. Atlas.
- GERETY, E.J.; OLSON, R.H.; ROBERTS, W.O., 1978. Analysis of a possible Sun Weather correlation. *Nature*. Vol. 272, (5650). 16 March.
- GIRARDI, C. & TEIXEIRA L., 1978. *Prognóstico do Tempo a Longo Prazo*. Relatório Técnico ECA - 06/78, IAE/CTA, São José dos Campos. 18 p. .
- GOMES FILHO, M.F., 1979. *Um estudo sobre a Influência do albedo diferencial e da orografia na circulação atmosférica: uma aplicação para o nordeste brasileiro*. Tese de Mestrado. São José dos Campos, INPE, 86 p.
- GRIBBIN, J., 1983. *A morte do Sol*. Rio de Janeiro. Ed. Françisco Alves.

- HASTENRATH, S; WU, M.C.; CHU; P.S., 1984. Towards the Monitoring and prediction of north-east Brazil droughts. *Quart. J. R. Met. Soc.*. Vol. 110, pp. 441-425.
- HOEL, P.G., 1980. *Estatística Matemática*. 4. Ed. Rio de Janeiro. Guanabara Dois.
- HULL, F.R., 1942. *Boletim Secretaria Agricultura e Obras Públicas*, Fortaleza, 4, 58-63.
- JENKINS, G.M. & WATTS, D.G., 1968. *Spectral Analysis and its applications*. San Francisco. Holden Day.
- JONES, R.H. & KEARNS, J., 1976. Fortaleza, Ceará, Brazil Rainfall. *Journal of Applied Meteorology*. Vol. 15. March.
- KANE, R.P., 1978. Predicted intensity of the solar maximum. *Nature*. Vol. 273, (5667). 13 July.
- KANTOR, I.J., 1980. *Relação estatística entre as secas do Nordeste e o ciclo solar*. Relatório Técnico, INPE - 1839 - RPE/200. São José dos Campos. 13 p.
- , 1982. Previsibilidade da série de precipitação de chuvas de Fortaleza pelo método da máxima entropia de Burg. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2. Pelotas. *Anais*, 4: 8 p.
- KOUSKY, E.V. & CHU, P.S., 1978. Fluctuations in Annual Rainfall for Northeast Brazil. *J. Met. Soc. of Japan*. Vol. 56, (5), pp. 457-465.

KOUSKY, E.V., 1979. Frontal Influences on Northeast Brazil, (American Met. Soc.) *Monthly Weather Review*. Vol. 107, September.

—————, 1980. Sobre o uso de Análise harmônica da precipitação de Fortaleza para previsão de precipitação no Nordeste. INPE: *Contribuição ao Estudo da Previsão de Secas e Modificação Artificial do Clima do Nordeste Brasileiro*. São José dos Campos, CNPq. Junho. p. 41-48.

—————, & MOURA, A.D., 1981. Previsão de precipitação no Nordeste do Brasil: O Aspecto Dinâmico. In: *Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos*, 4. Fortaleza. *Anais*, 1.

MARKHAM, C.G., 1974. Apparent Periodicities in Rainfall at Fortaleza, Ceará, Brazil. *J. Appl. Met.*, 13 (1): 176-179.

MESQUITA, A.R. & MORETTIN, P.A., 1984. Interannual Variations of Precipitation at Fortaleza, Ceará, Brazil. *Tropical Ocean Atmosphere Newsletter*. September.

MOLION, L.C.B., 1985. Secas o Eterno Retorno. *Ciência Hoje*. Vol. 3, (18).

—————, 1985. *The climatology of Droughts in NE Brazil and Droughts Prediction*. INPE/CNPq. São José dos Campos.

MORETTIN, P.A. & TOLÓI, C.M.C., 1981. Modelos para previsão de séries temporais. *13º Colóquio Brasileiro de Matemática*, Vol. 1, Vol. 2. Poços de Caldas, 12 a 24 de julho, 1981. IMPA.

- MORETTIN, P.A.; MESQUITA, A.R.; ROCHA, J.G.E., 1984. Tests for Periodicities in Time Series: An Application. *Ocean-Atmosphere Newsletter* September.
- MOURA, A.D. & SHUKLA, J., 1981. On the Dynamics of Droughts in Northeast Brazil: Theory and Numerical Experiments with a General Circulation Model. *J. Atmosphere Sciences*. Vol. 38, (12). December.
- NAMIAS, J., 1972. Influence of Northern Hemisphere General Circulation on Drought in Northeast Brazil. *Tellus*, 24 (4): 336-346.
- NOBRE, C.A., YANASSE, H.H., YANASSE, C.C.F., 1982. *Previsão de Secas no Nordeste pelo Método das Periodicidades: Usos e Abusos*. São José dos Campos, INPE - 2344-RPE/407. 67 p.
- PANOFSKY, H.A. & BRIER, G.W., 1968. *Some Applications of Statistics to Meteorology*. Pennsylvania State University.
- PITTOCK, A.B; FRAKES, L A.; JENSSEN, D.; PETERSON, J.A.; ZILLMAN, J.W., 1978. *Climatic Change and Variability*. Cambridge University Press.
- POTSCH, W; POTSCH, C; ARENS, K., 1972. *Botânica*. 12. Ed. Nobel.
- REDDY, S.J., 1984. Flutuações climáticas e Homogeneização do Nordeste do Brasil Utilizando Dados de Precipitação. *Brasília. Pesq. Agropec. Bras.*, 19 (5): 529-543.

- SERRA, A., 1956. As secas do Nordeste. *Boletim Geográfico*. Vol. 14 (132).
- SHIMSHONI, M., 1971. On Fisher's Test of Significance in Harmonic Analysis. *Geophys. J., R. Astr. Soc.* Vol. 23, 373-377.
- SIEGEL, A.F., 1980. Testing for Periodicity in a Time Series. *J. American Statistical Assoc.* June, Vol. 75 (370).
- SILVA, A.T.A. & MARQUES, V.S., 1982. Determinação de Períodos Secos e Chuvosos para Região Nordeste do Brasil. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2. Pelotas. *Anais*, 4. 18 p.
- SIMIELLI, M.E.R. & BIASI, M., 1985. *Atlas Geográfico Escolar*. 6. Ed. São Paulo, Ática.
- SNEDECOR, G.W. & COCHRAN, W.G., 1967. *Statistical Methods*. Sixth Edition. The Iowa University Press Aes. E.U.A.
- SPIEGEL, M.R., 1976. *Estatística*. São Paulo. Ed. Mc graw-Hill do Brasil.
- SRIVATSANGAN, S., 1980. Sobre a Previsão de Secas no Nordeste do Brasil. *Contribuição ao Estudo da Previsão de Secas e Modificação Artificial do Tempo e do Clima do NE Brasileiro*. São José dos Campos, CNPq. p. 17-39.
- STRANG. D.M.G., 1972. *Análise Climatológica das Normais Pluviométricas do Nordeste Brasileiro*. IAE-M-02/72, CTA, São José dos Campos. 29 p.

TORRES, C.A.P.C.O., 1983. Manchas Estelares. *Ciência Hoje*. Vol. 2 (9).

VAZ, A.R.B. & BENTO, T., 1983. *Métodos de Previsão: Modelos Econométricos. Modelos de Alisamento, Modelos de Box-Jenkins*. Universidade Técnica de Lisboa - Instituto Superiores de Economia.

XAVIER, T.M.B.S., 1980. Periodicidades Pluri-Anuais, na Precipitação Pluviométrica e Previsão a Longo Prazo. INPE: *Contribuição ao Estudo da Previsão de Secas e Modificação Artificial do Tempo e do Clima do NE Brasileiro*. p. 67-71.

———, & XAVIER, A.F.S., 1981. Periodicidades nas Séries Pluviométricas de Fortaleza e Quixeramobim (CE) e de Mossoró (RGN). *In: Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos*, 4. Fortaleza, Vol. 1, 423-440.

WHITE, O.R., 1977. *The Solar Output and its Variation*. Colorado Associated University Press Boulder, Colorado.

WILLET, H.C., 1962. The Relationship of Total Atmospheric Ozone to the Sunspot Cycle. *J. Geophysical Research*. Vol. 67 (2). February.

WOOD, C.A., 1976. Rainfall, drought and the Solar Cycle. *Nature*. Vol 251. October 18.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION, 1966. *Climatic Change*. Technical Note, (79), Geneva. Switzerland, (WMO - 195. TP. 100.

YAMAZAKY, Y. & RAO, V.B., 1977. Tropical Cloudiness over the *Indian Ocean*. *J. Meteor. Soc. Japan*. 55. 205-207.

APÊNDICE

TABELA A-1

Números dos postos com respectivas médias anuais e coeficientes de variação anual, período 1912-1980.

Número do Posto	Média (mm)	Coefficientes de Variação (%)
01	1164,6	52,5
02	1357,8	34,0
03	1463,4	28,2
04	1328,9	39,6
05	659,1	45,7
06	896,3	26,4
07	659,7	29,6
08	695,6	29,3
09	1609,7	34,5
10	1188,9	35,8
11	1418,4	32,6
12	1442,7	32,9
13	1552,2	37,2
14	1252,3	43,3
15	912,6	40,9
16	677,3	50,0
17	1221,4	34,5
18	1345,9	35,0
19	1346,4	40,4
20	1298,9	28,9
21	636,7	45,0
22	718,2	44,5
23	713,2	38,0
24	800,7	41,4
25	677,6	34,8
26	1092,1	31,1
27	913,5	31,5
28	789,1	37,4
29	594,5	55,6
30	729,9	42,3
31	634,0	40,8
32	761,0	45,9
33	529,8	48,7
34	513,7	49,4
35	900,2	32,4
36	789,9	37,8
37	1095,5	37,0
38	864,1	39,2
39	671,2	44,5
40	868,9	34,2
41	984,0	39,0
42	714,4	35,4
43	533,4	45,2
44	800,0	42,4
45	806,8	33,4

Continuação TABELA A-1

Número do Posto	Média (mm)	Coefficientes de Variação (%)
46	582,9	36,2
47	435,8	46,3
48	489,7	38,7
49	354,2	72,3
50	497,0	47,7
51	637,1	26,4
52	841,7	31,3
53	1001,2	31,7
54	782,8	48,9
55	1235,9	41,1
56	768,2	35,5
57	857,2	34,6
58	1162,7	28,2
59	1345,1	22,7
60	1298,1	45,5
61	653,7	36,2
62	760,5	32,0
63	757,3	36,0
64	1358,9	20,3
65	1559,1	57,6
66	1032,0	27,8
67	856,6	49,9
68	1348,2	26,6
69	497,8	39,9
70	673,3	34,1
71	840,6	46,6
72	1357,0	29,7
73	1222,9	23,6
74	1060,1	31,1
75	897,1	28,7
76	485,3	41,0
77	594,7	38,5
78	701,0	36,7
79	897,0	38,9
80	836,4	29,0
81	873,6	31,7
82	931,6	28,2
83	717,9	25,7
84	881,4	35,2
85	916,2	37,9
86	666,9	38,6
87	921,8	27,1
88	1162,8	34,8
89	1028,7	35,2
90	750,3	26,3
91	629,1	36,8
92	711,4	30,8
93	844,2	37,1
94	812,1	30,4
95	753,9	26,5
96	539,7	32,5

TABELA A-2

Valores médios anuais de precipitação para os regimes climáticos — RD, RM1, RM2, RL1, RL2, e suas respectivas médias temporais e coeficientes de variação.

Anos	RD (mm)	RM1 (mm)	RM2 (mm)	RL1 (mm)	RL2 (mm)
1912	434,5	1628,6	744,4	1207,0	679,4
1913	1127,6	1406,9	985,6	1898,2	1296,4
1914	495,8	466,0	216,5	771,6	477,9
1915	942,0	1283,7	810,4	1107,6	811,1
1916	772,0	2121,1	1006,2	1330,6	947,4
1917	819,8	1544,0	710,6	1433,7	896,3
1918	1039,1	547,9	362,3	1153,3	758,9
1919	730,8	1332,9	670,1	1200,3	791,1
1920	700,5	1988,0	986,0	1705,1	996,6
1921	844,7	1457,2	859,0	1693,0	1010,9
1922	762,0	1407,6	764,0	1148,8	666,3
1923	1001,2	1935,9	1287,4	1685,0	1305,0
1924	778,2	1561,6	857,7	1194,3	570,6
1925	1051,0	1617,4	860,7	1185,8	769,5
1926	628,8	1278,1	595,8	1168,8	627,8
1927	622,3	1049,9	553,1	1043,4	517,5
1928	558,7	1624,0	802,0	1223,4	739,3
1929	641,6	1244,0	545,7	996,6	741,3
1930	488,2	1146,3	484,4	1515,3	624,2
1931	516,3	711,0	331,0	1181,6	509,6
1932	687,3	1188,4	612,6	1091,6	646,0
1933	664,5	1952,7	867,5	1062,6	646,1
1934	752,8	1970,4	979,6	1356,8	1130,4
1935	776,0	950,0	515,6	1200,4	782,0
1936	865,8	1355,1	733,2	934,5	739,4
1937	599,3	1385,5	587,4	914,0	530,0
1938	443,8	1588,7	592,6	1091,2	614,0
1939	980,1	1650,7	979,2	1926,1	1046,7
1940	894,1	875,0	556,5	1108,6	1065,4
1941	563,7	740,0	391,0	1030,0	729,4
1942	957,0	1117,7	566,3	1041,0	598,5
1943	676,8	1175,9	588,6	1180,3	783,2
1944	988,0	1724,4	842,2	1312,6	839,3
1945	672,1	1393,0	600,3	941,7	882,4
1946	741,6	1545,3	875,8	1070,5	657,3
1947	879,3	1378,2	773,7	1431,6	696,7
1948	798,3	1443,8	627,4	1213,9	1028,2
1949	659,5	1491,6	774,8	1289,2	705,2
1950	624,1	773,5	475,0	1285,0	788,9
1951	478,0	1158,2	614,4	1224,9	689,9
1952	608,3	849,7	455,6	980,7	541,3
1953	668,5	1001,3	576,2	1079,3	608,2

Continuação Tabela A-2

Anos	RD (mm)	RM1 (mm)	RM2 (mm)	RL1 (mm)	RL2 (mm)
1954	623,6	1258,5	684,6	1043,9	549,9
1955	607,6	1045,0	647,6	1172,4	502,9
1956	1011,1	1339,3	781,9	932,8	604,8
1957	608,8	665,9	326,3	984,2	812,7
1958	485,5	1255,3	637,0	1080,0	508,3
1959	910,2	1036,4	763,1	1126,7	547,4
1960	577,7	1734,8	813,5	1463,5	891,7
1961	508,1	1252,5	613,3	1141,0	692,2
1962	621,1	1701,6	812,7	971,6	621,1
1963	1028,5	2317,2	1204,8	2180,8	551,1
1964	740,5	1037,3	811,1	1222,9	1253,9
1965	978,3	988,7	612,1	1457,5	633,6
1966	764,2	1617,3	970,3	1411,4	1011,9
1967	941,0	1298,7	840,9	1202,8	955,4
1968	1033,0	1378,5	762,0	1327,5	961,6
1969	857,2	890,6	514,3	1177,9	663,1
1970	546,0	1772,9	857,0	1075,0	663,3
1971	652,0	1166,7	681,9	1367,6	688,0
1972	809,3	1936,5	923,5	1302,1	764,0
1973	860,8	2360,2	1291,8	1785,9	945,0
1974	892,0	1687,4	923,7	1352,9	1189,1
1975	488,6	1318,7	634,4	1062,1	547,3
1976	814,0	1518,5	953,3	1675,7	1091,9
1977	1168,7	1203,6	785,6	1573,3	1021,6
1978	1053,3	1058,6	649,4	1206,3	699,1
1979	904,7	1038,4	678,1	1127,0	688,2
1980	837,0	926,2	599,3	1030,8	719,0
Regimes	Média Anual Temporal (mm) (1912-1980)		Coeficiente de Variação (%)		
RD	757,3		24,3		
RM1	1345,6		29,3		
RM2	721,9		29,0		
RL1	1241,5		20,7		
RL2	775,6		27,0		

TABELA A-3

Valores críticos g^* usados no teste de periodicidades (os valores sublinhados foram calculados por interpolação linear, dos valores da tabela de SHIMSHONI (1971), ao nível de significância de 0,05).

m - indica o número de harmônicos

r - indica o número de ordem dos maiores harmônicos.

m	Valores de g^*	
	r = 1	r = 2
25	0,228050	0,151390
26	<u>0,222008</u>	<u>0,147832</u>
32	<u>0,188756</u>	<u>0,128104</u>
34	<u>0,179672</u>	<u>0,122608</u>
64	<u>0,115230</u>	<u>0,081746</u>
65	<u>0,114079</u>	<u>0,080983</u>
66	<u>0,112927</u>	<u>0,080219</u>
67	<u>0,111776</u>	<u>0,079455</u>

TABELA A-4

Valores médios máximos (mínimos) do nº de manchas solares, e de precipitação dos regimes RD, RM1, RM2, RL1, RL2, selecionados. Apresenta-se os "lags" para cada caso.

mín. - mínimos e máx. - máximos.

Nº Manchas Solares (Nov/Out)	Regime RM2 (mm)	Nº Manchas Solares (Nov/Out)	Regime RM1 (mm)	Nº Manchas Solares (Out/Set)	Regime RL2 (mm)	Nº Manchas Solares (Out/Set)	Regime RL1 (mm)	Nº Manchas Solares (Jul/Jun)	Regime RD (mm)
Mín. ("lag" 17)		Mín. ("lag" 17)		Mín. ("lag" 18)		Mín. ("lag" 0)		Mín. ("lag" 8)	
1,7	545,7	1,7	1244,0	1,6	624,2	1,6	1207,0	1,6	700,5
6,8	979,2	6,8	1650,7	5,1	1065,4	5,1	1148,8	6,9	488,2
6,8	475,0	6,8	773,5	6,8	788,9	6,8	1091,6	6,8	894,2
8,7	813,5	8,7	1734,8	8,8	692,2	8,8	1180,3	10,5	478,0
3,3	857,0	3,3	1772,9	3,9	688,0	3,9	1079,3	6,0	508,1
11,5	599,3	11,5	926,2			13,1	1222,9	13,6	652,0
						12,8	1062,1		
Máx. ("lag" 17)		Máx. ("lag" 17)		Máx. ("lag" 18)		Máx. ("lag" 0)		Máx. ("lag" 8)	
95,0	867,5	95,0	1952,7	99,5	1130,4	99,5	1330,6	88,4	778,2
78,1	842,2	78,1	1724,4	79,3	882,4	79,3	1043,4	71,7	776,0
120,7	576,2	120,7	1001,3	114,8	549,9	114,8	934,5	109,7	672,1
151,6	1204,8	151,6	2317,2	147,8	1353,9	147,8	1070,5	140,4	623,3
193,8	923,7	193,8	1687,4	195,5	547,3	195,5	984,2	180,7	978,3
						105,9	1327,5	106,4	814,0
						159,4	1127,0		

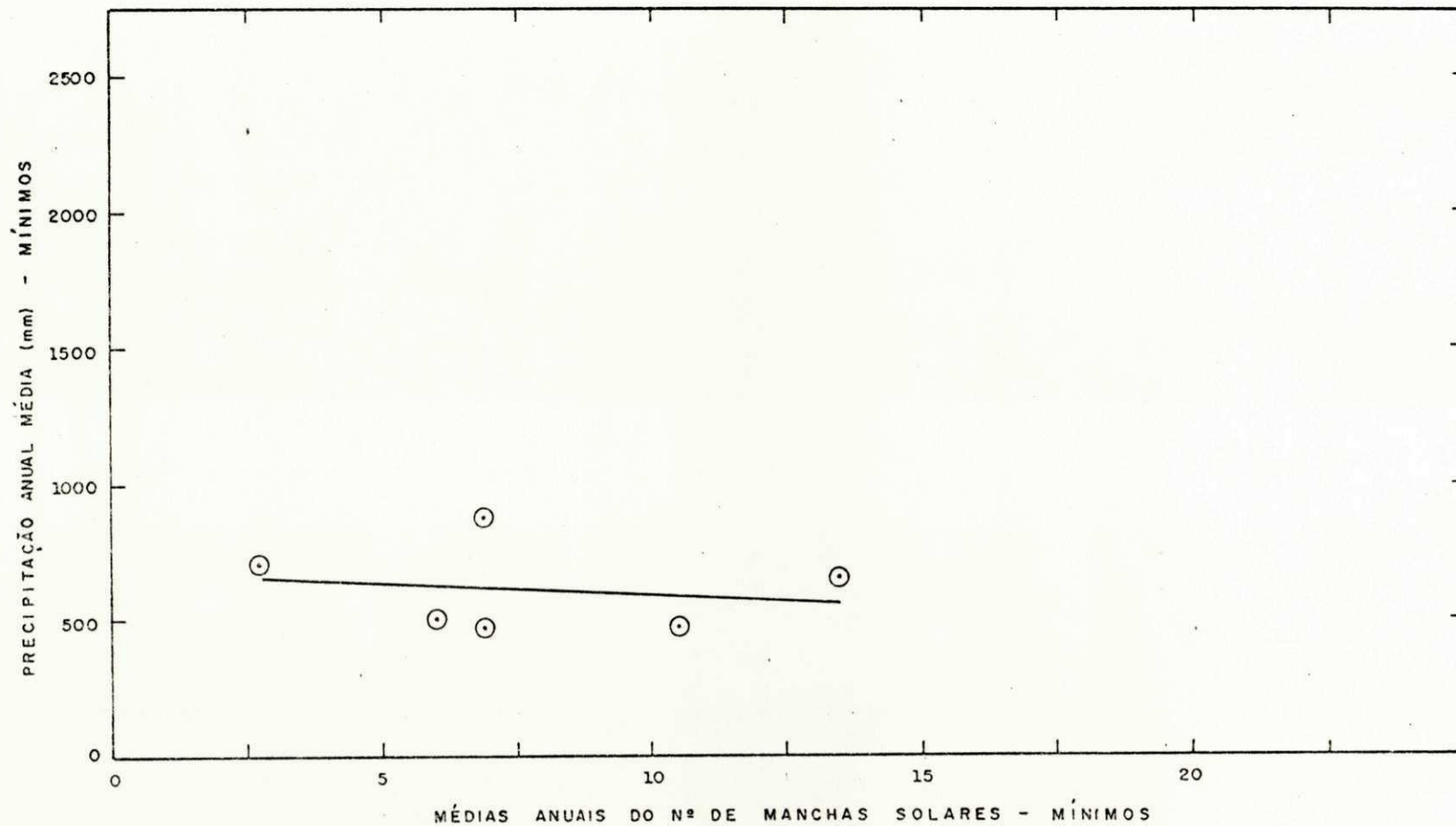


FIG. A-1 - DIAGRAMA DE DISPERSÃO E RETA DE REGRESSÃO ESTIMADA DAS SÉRIES: SOLAR (JUL / JUN) E POSTO RD.
 ⊙ - DIAGRAMA DE DISPERSÃO (RD E SOLAR)
 — - RETA DE REGRESSÃO (RD E SOLAR)

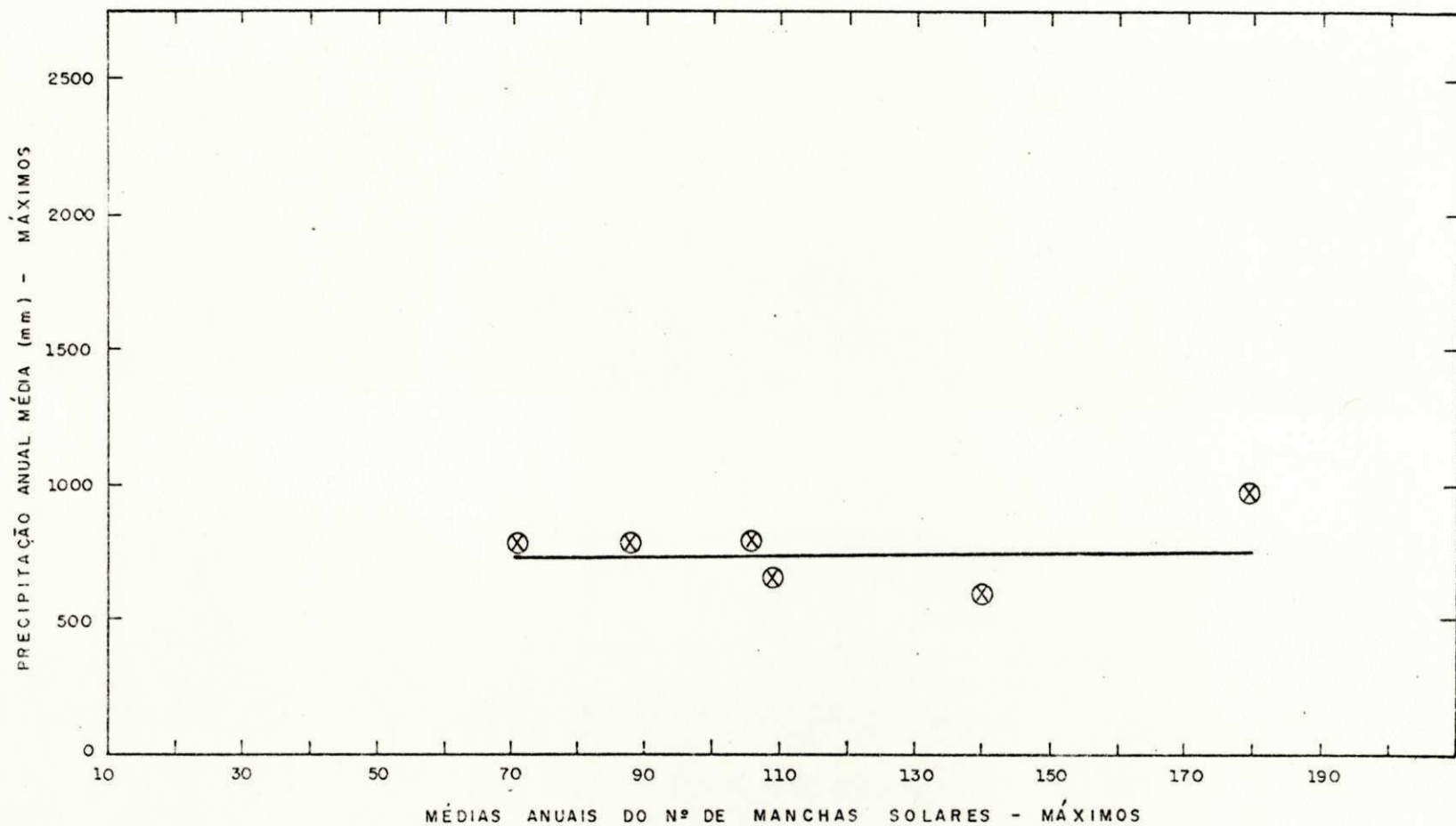


FIG. A - 2 _ DIAGRAMA DE DISPERSÃO E RETA DE REGRESSÃO ESTIMADA DAS SÉRIES: SOLAR (JUL/JUN) E POSTO RD.
 ⊗ _ DIAGRAMA DE DISPERSÃO (RD E SOLAR)
 — _ RETA DE REGRESSÃO (RD E SOLAR)

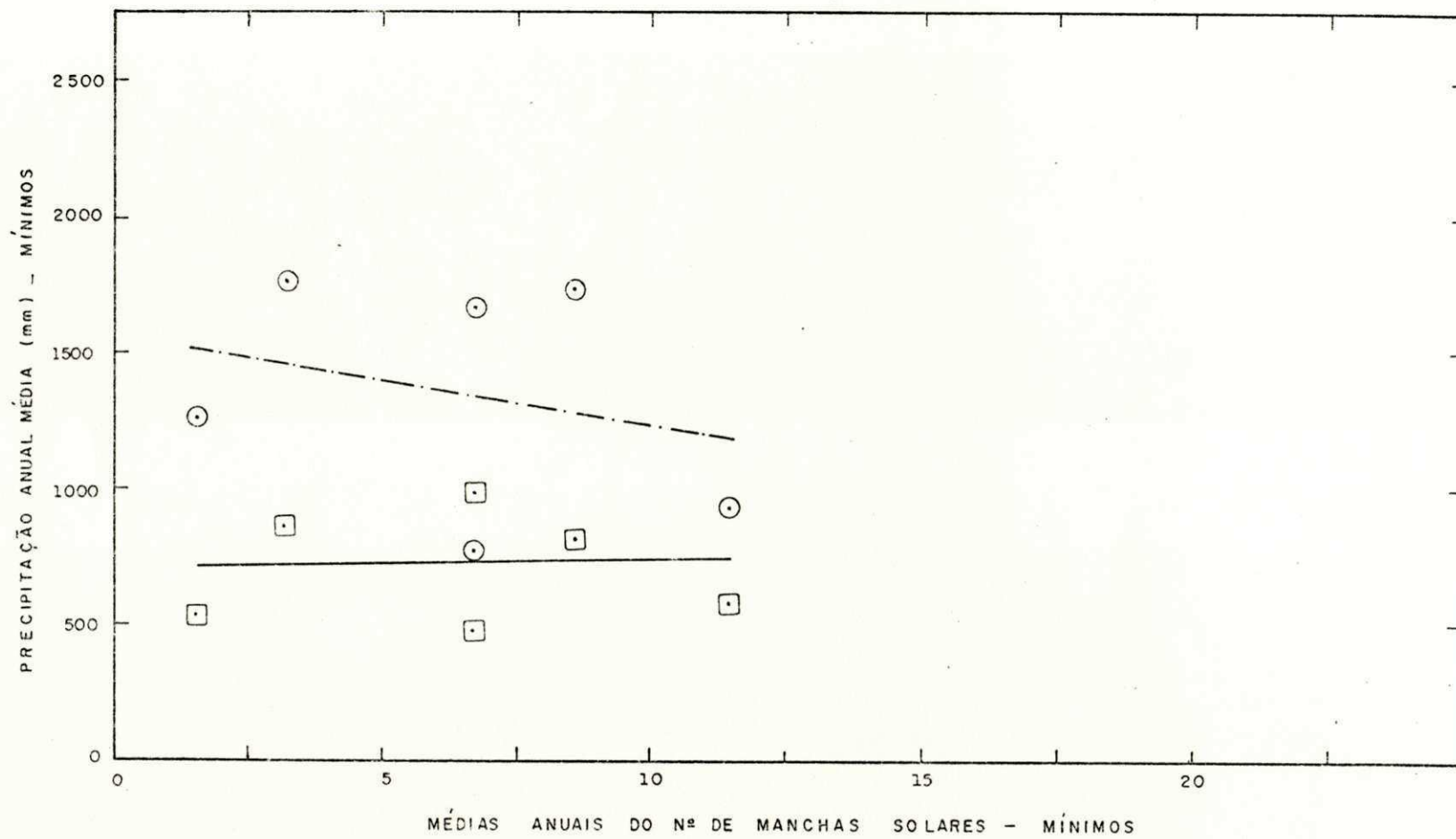


FIG. A - 3 - DIAGRAMAS DE DISPERSÃO E RETAS DE REGRESSÃO ESTIMADAS DAS SÉRIES: SOLAR (NOV/OUT) E POSTO RM1 ; SOLAR (NOV/OUT) E POSTO RM2.

- ⊙ - DIAGRAMA DE DISPERSÃO (RM1 E SOLAR)
- - - - - RETA DE REGRESSÃO (RM1 E SOLAR)
- - DIAGRAMA DE DISPERSÃO (RM2 E SOLAR)
- — — — — RETA DE REGRESSÃO (RM2 E SOLAR)

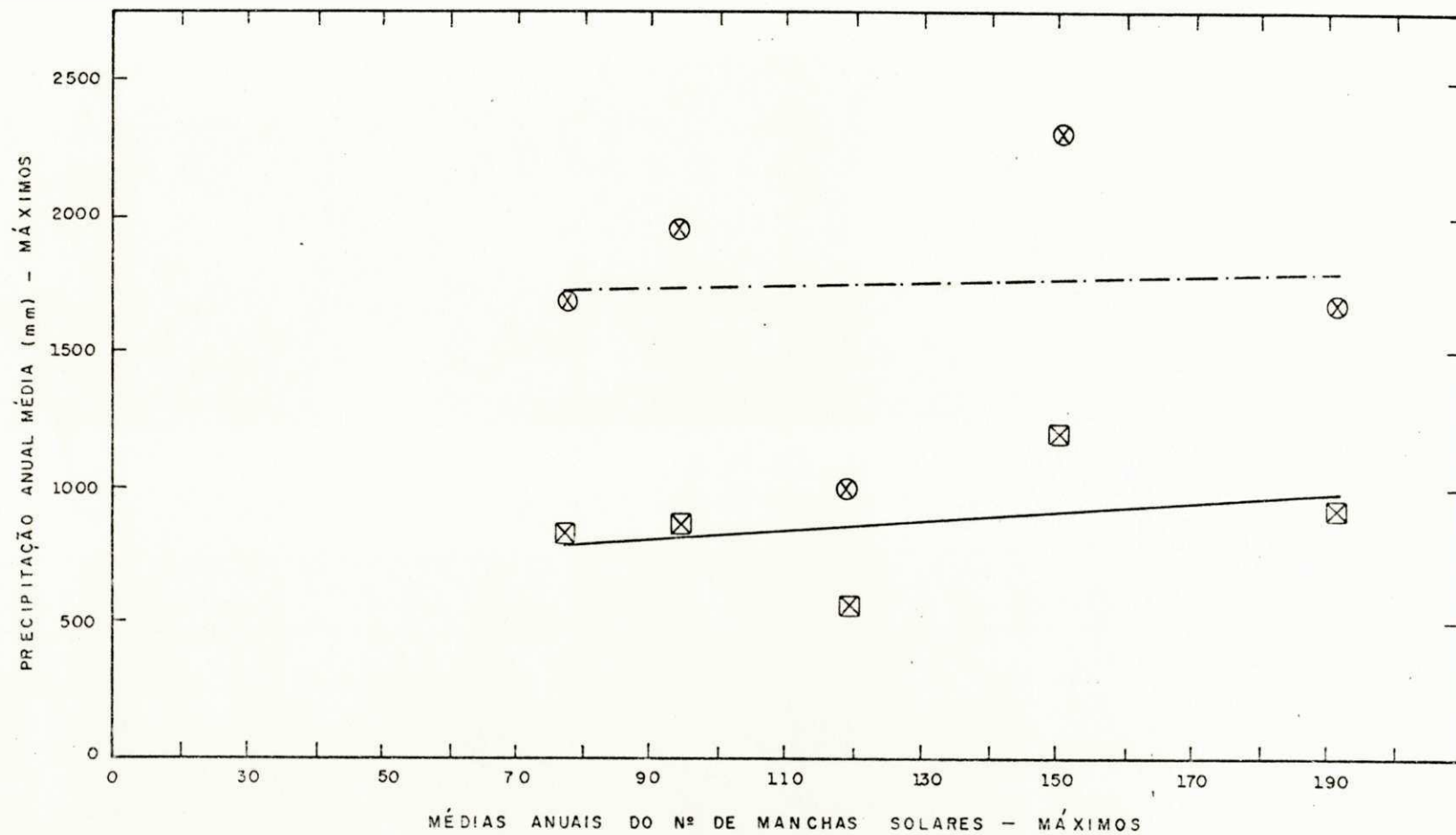


FIG. A - 4 _ DIAGRAMAS DE DISPERSÃO E RETAS DE REGRESSÃO ESTIMADAS DAS SÉRIES: SOLAR (NOV/OUT) E POSTO RM1, SOLAR (NOV/OUT) E POSTO RM2

⊗ _ DIAGRAMA DE DISPERSÃO (RM1 E SOLAR)

--- RETA DE REGRESSÃO (RM1 E SOLAR)

⊠ _ DIAGRAMA DE DISPERSÃO (RM2 E SOLAR)

— RETA DE REGRESSÃO (RM2 E SOLAR)

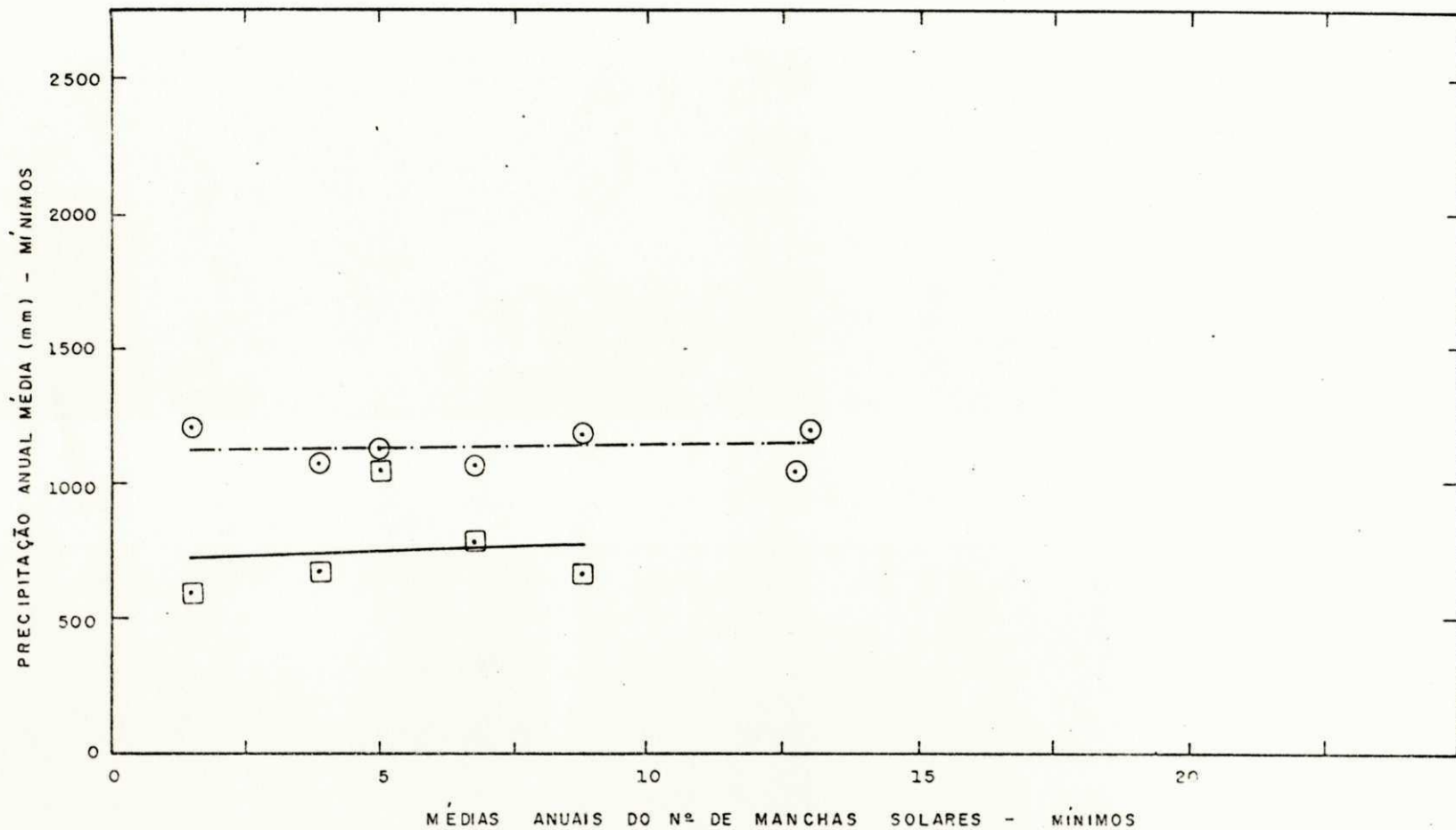


FIG. A-5 - DIAGRAMAS DE DISPERSÃO E RETAS DE REGRESSÃO ESTIMADAS DAS SÉRIES: SOLAR (OUT/SET) E POSTO RL1; SOLAR (OUT/SET) E POSTO RL2.

- ⊙ . DIAGRAMA DE DISPERSÃO (RL1 E SOLAR)
- . RETA DE REGRESSÃO (RL1 E SOLAR)
- ⊠ . DIAGRAMA DE DISPERSÃO (RL2 E SOLAR)
- . RETA DE REGRESSÃO (RL2 E SOLAR)

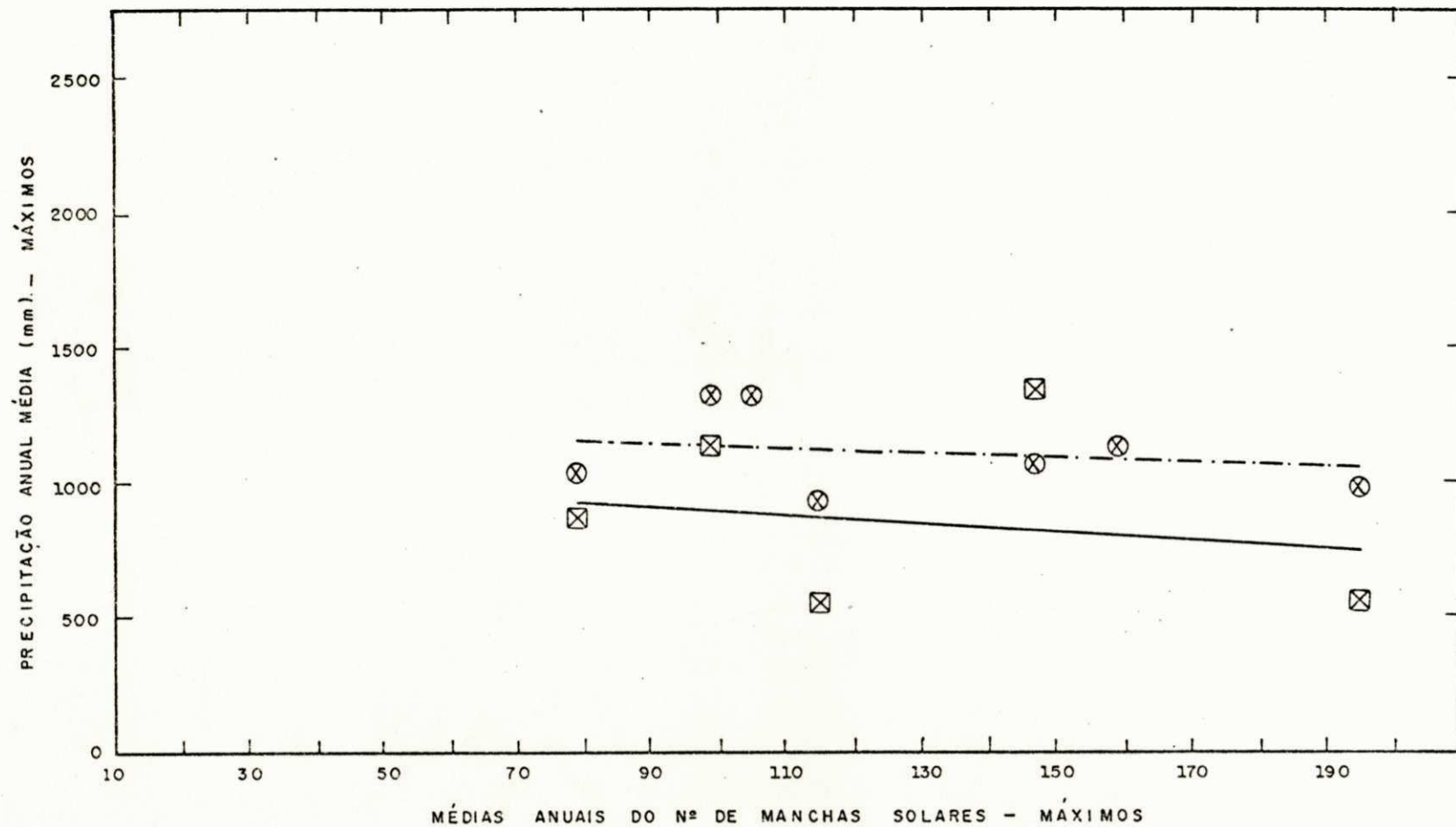


FIG. A-6 - DIAGRAMAS DE DISPERSÃO E RETAS DE REGRESSÃO ESTIMADAS DAS SÉRIES: SOLAR (OUT/SET) E POSTO RL1; SOLAR (OUT/SET) E POSTO RL2.

⊗ - DIAGRAMA DE DISPERSÃO (RL1 E SOLAR)

--- - RETA DE REGRESSÃO (RL1 E SOLAR)

⊠ - DIAGRAMA DE DISPERSÃO (RL2 E SOLAR)

— - RETA DE REGRESSÃO (RL2 E SOLAR)