

JOSE ANTONIO TOMAS DA SILVA

ESTUDO DE SECAS CLIMATOLOGICAS NO NORDESTE DO BRASIL

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

AREA DE CONCENTRAÇÃO: AGROCLIMATOLOGIA

KAMADA KARUNA KUMAR  
Orientador

BERNARDO BARBOSA DA SILVA  
Co-Orientador

Campina Grande - Paraíba

MARÇO - 1989



S586e Silva, Jose Antonio Tomas da  
Estudo de secas climatologicas no nordeste do Brasil /  
Jose Antonio Tomas da Silva. - Campina Grande, 1989.  
115 f. : il.

Dissertacao (Mestrado em Meteorologia) - Universidade  
Federal da Paraiba, Centro de Ciencias e Tecnologia.

1. Seca - 2. Meteorologia 3. Agroclimatologia 4. Secas -  
5. Mudancas Climaticas 6. Dissertacao I. Kumar, Kamada  
Karuna II. Silva, Bernardo Barbosa III. Universidade  
Federal da Paraiba - Campina Grande (PB) IV. Título

CDU 551.577.38(043)

ESTUDO DE SECAS CLIMATOLÓGICAS NO NORDESTE DO BRASIL

JOSE ANTONIO TOMAS DA SILVA

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 29/03/1989

*K. Karun*

KAMADA KARUNA KUMAR  
Orientador

*Bernardo*

BERNARDO BARBOSA DA SILVA  
Co-Orientador

*Pedro Vieira de Azevedo*

PEDRO VIEIRA DE AZEVEDO  
Membro da Banca

*V. Srinivasan*

VAJAJEYAN S. SRINIVASAN  
Membro da Banca

CAMPINA GRANDE-PB  
MARÇO - 1989

DEDICATORIA

A minha esposa, Maria das Graças,  
dedico este trabalho.

## A G R A D E C I M E N T O S

Externo a minha gratidão aos professores da Universidade Federal da Paraíba, Kamada Karuna Kumar e Bernardo Barbosa da Silva, pelo grande empenho e dedicação que dispensaram, respectivamente, na orientação e co-orientação desta pesquisa. Agradecimentos faço também à Engenheira Eyres Diana Ventura Silva pela valiosa colaboração na elaboração e execução dos programas computacionais exigidos por este trabalho, como também ao CNPq pela concessão de bolsa de estudo a nível de mestrado, durante o período de março/1984 a fevereiro de 1986 e pelo auxílio à confecção de Dissertação concedida pelo Programa de Desenvolvimento Científico e Tecnológico para o Nordeste, PDCT-NE, junto a SUEP-PB, na pessoa do Prof. Canrobert Guimarães Lima, coordenador de pesquisa da SUEP/UFPB, pelo apoio prestado.

Agradeço, igualmente, à Coordenação do Mestrado em Meteorologia e ao Departamento de Ciências Atmosféricas da Universidade Federal da Paraíba, nas pessoas dos professores Pedro Vieira de Azevedo e Juarez Farias de Lima; ao professor desta Universidade Hans Rai Gheyi, aos Meteorologistas Raimundo Mainar de Medeiros e Rubenaldo Alves da Silva, bem como a Sra. Divanete Cruz Rocha, além das pessoas e órgãos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste estudo.

## AGRADECIMENTOS

Externo a minha gratidão aos professores da Universidade Federal da Paraíba, Kamada Karuna Kumar e Bernardo Barbosa da Silva, pelo grande empenho e dedicação que dispensaram, respectivamente, na orientação e co-orientação desta pesquisa. Agradecimentos faço também à Engenheira Eyres Diana Ventura Silva pela valiosa colaboração na elaboração e execução dos programas computacionais exigidos por este trabalho, como também ao CNPq pela concessão de bolsa de estudo a nível de mestrado, durante o período de março/1984 a fevereiro de 1986 e pelo auxílio à confecção de Dissertação concedida pelo Programa de Desenvolvimento Científico e Tecnológico para o Nordeste, PDCT-NE, junto a SUEP-PB, na pessoa do Prof. Canrobert Guimarães Lima, coordenador de pesquisa da SUEP/UFPB, pelo apoio prestado.

Agradeço, igualmente, à Coordenação do Mestrado em Meteorologia e ao Departamento de Ciências Atmosféricas da Universidade Federal da Paraíba, nas pessoas dos professores Pedro Vieira de Azevedo e Juarez Farias de Lima; ao professor desta Universidade Hans Rai Gheyi, aos Meteorologistas Raimundo Mainar de Medeiros e Rubenaldo Alves da Silva, bem como a Sra. Divanete Cruz Rocha, além das pessoas e órgãos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste estudo.

## A G R A D E C I M E N T O S

Externo a minha gratidão aos professores da Universidade Federal da Paraíba, Kamada Karuna Kumar e Bernardo Barbosa da Silva, pelo grande empenho e dedicação que dispensaram, respectivamente, na orientação e co-orientação desta pesquisa. Agradecimentos faço também à Engenheira Egres Diana Ventura Silva pela valiosa colaboração na elaboração e execução dos programas computacionais exigidos por este trabalho, como também ao Conselho Nacional para o Desenvolvimento Científico e Tecnológico-CNPq e ao seu programa PDCT-NE, na pessoa do Prof. Janrobert Guimarães Lima, coordenador de pesquisa da SIEP/UFPB, pelo apoio prestado.

Agradeço, igualmente, à Coordenação do Mestrado em Meteorologia e ao Departamento de Ciências Atmosféricas da Universidade Federal da Paraíba, nas pessoas dos professores Pedro Vieira de Azevedo e Juarez Farias de Lima; ao professor desta Universidade Hans Rai Ghugi, aos Meteorologistas Raimundo Raimar de Medeiros e Rubenaldo Alves da Silva, bem como a Sra. Divanete Cruz Rocha, além das pessoas e instituições que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste estudo.

## S U M A R I O

Dedicatória.....	i
Agradecimentos.....	ii
Resumo.....	v
Abstract.....	vi
Lista de Figuras.....	vii
Lista de Tabelas.....	x
1. Introdução.....	1
2. Revisão Bibliográfica.....	6
3. Materiais e Métodos.....	14
3.1. Disponibilidade de Dados.....	14
3.2. Fundamentação Teórica.....	16
3.2.1. O Balanço Hídrico.....	16
3.2.2. Procedimento de Classificação de Secas....	19
3.2.3. Mudanças Climáticas Temporárias.....	19
3.2.4. Método do Desvio Acumulado.....	20
3.2.5. O Modelo Probabilístico Beta.....	21
4. Resultados e Discussões.....	24
4.1. Classificação de Secas e Mudanças Climáticas Temporárias .....	24
4.1.1. Análise dos Resultados de Teresina-PI....	24



4.1.2.	Idem. Fortaleza-CE. ....	30
4.1.3.	Idem. Natal-RN. ....	35
4.1.4.	Idem. Anádia-AL. ....	40
4.1.5.	Idem. Alagoinhas-BA. ....	46
4.1.6.	Idem. Umbuzeiro-PB. ....	52
4.1.7.	Idem. Quixadá-CE. ....	56
4.1.8.	Idem. Quixeramobim-CE. ....	60
4.1.9.	Idem. Iguatu-CE. ....	64
4.1.10.	Idem. São Gonçalo-PB. ....	68
4.1.11.	Idem. Propriá-SE. ....	72
4.1.12.	Idem. Campina Grande-PB. ....	76
4.1.13.	Idem. João Pessoa-PB. ....	80
4.1.14.	Idem. Tapacurá-PE. ....	84
4.1.15.	Idem. Remanso-BA. ....	88
4.1.16.	Síntese de Alguns Resultados.....	88
4.2.	Análise dos Resultados do Método do Desvio Acumulado	93
4.3.	Análise Estatística do Índice R.....	96
5.	Conclusões e Recomendação.....	109
6.	Referências Bibliográficas.....	111

## R E S U M O

Foram estudadas secas climatológicas em 15 localidades do Nordeste do Brasil com base em séries temporais de precipitação e temperatura do ar. Os componentes dos balanços hídricos normal e seriado foram usados para identificar tipos climáticos, mudanças climáticas temporárias e anos de secas, este último de acordo com o desvio do índice de aridez em relação à mediana. Aspectos da intensidade e duração de algumas situações de secas foram estudados usando valores mensais da deficiência hídrica. Realizou-se análise estatística do índice R através da distribuição Beta.

Constatou-se que a identificação de situações de secas com base em dados exclusivamente de precipitação pode conduzir a resultados comprometedores. Não existe necessariamente uma correlação entre ocorrências de secas e mudanças climáticas temporárias numa dada localidade. O regime de umidade das localidades com tipo climático normal  $C_1$  ou  $C_2$  se mostrou muito instável. Do ponto de vista prático o modelo Beta mostrou-se muito apropriado como modelo probabilístico para representar valores mensais do índice R.

## A B S T R A C T

Studies in drought climatology have been carried out for fifteen stations in Northeast Brazil. Using temperature and precipitation values components of water balance for individual years have been obtained for these stations. Classification of droughts was done using the yearly values of the aridity index. Climatic shifts at the stations were investigated using the moisture index values. The intensity and duration aspects of some drought situations have been studied using the monthly water deficiency values. The final part of the study deals with the statistical properties of the R index.

An important conclusion of the study is that analyses based only on precipitation data can lead to erroneous results regarding the occurrence and intensity of drought situations. Stations belonging to moist subhumid and dry subhumid categories are found to possess very unstable humidity regimes. There need not necessarily be a correlation between drought occurrences and climatic shifts at a station. It is suggested that from a practical point of view Beta distribution can be considered an appropriate probability model for the monthly R index.

## LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1.1 - Nordeste do Brasil. Localização das Estações Climatológicas incluídas na pesquisa	2
Figura 4.1 - Teresina-PI. Balanço hídrico normal	25
Figura 4.2 - Teresina-PI. Marcha anual do índice de aridez	27
Figura 4.3 - Teresina-PI. Mudanças climáticas temporárias	29
Figura 4.4 - Fortaleza-CE. Balanço hídrico normal	31
Figura 4.5 - Fortaleza-CE. Marcha anual do índice de aridez	33
Figura 4.6 - Fortaleza-CE. Mudanças climáticas temporárias	34
Figura 4.7 - Natal-RN. Balanço hídrico normal	36
Figura 4.8 - Natal-RN. Marcha anual do índice de aridez	38
Figura 4.9 - Natal-RN. Mudanças climáticas temporárias	39
Figura 4.10 - Anádia-AL. Balanço hídrico normal	41
Figura 4.11 - Anádia-AL. Marcha anual do índice de aridez	43
Figura 4.12 - Anádia-AL. Mudanças climáticas temporárias	45
Figura 4.13 - Alagoinhas-BA. Balanço hídrico normal	47

Figura	4.14	- Alagoínhas-BA. Marcha anual do índice de aridez	48
Figura	4.15	- Alagoínhas-BA. Balanços hídricos de 1951 e 1957	49
Figura	4.16	- Alagoínhas-BA. Mudanças climáticas temporárias	51
Figura	4.17	- Umbuzeiro-PB. Balanço hídrico normal	53
Figura	4.18	- Umbuzeiro-PB. Marcha anual do índice de aridez	54
Figura	4.19	- Umbuzeiro-PB. Mudanças climáticas temporárias	55
Figura	4.20	- Quixadá-CE. Balanço hídrico normal	57
Figura	4.21	- Quixadá-CE. Marcha anual do índice de aridez	58
Figura	4.22	- Quixadá-CE. Mudanças climáticas temporárias	59
Figura	4.23	- Quixeramobim-CE. Balanço hídrico normal	61
Figura	4.24	- Quixeramobim-CE. Marcha anual do índice de aridez	62
Figura	4.25	- Quixeramobim-CE. Mudanças climáticas temporárias	63
Figura	4.26	- Iguatu-CE. Balanço hídrico normal	65
Figura	4.27	- Iguatu-CE. Marcha anual do índice de aridez	66
Figura	4.28	- Iguatu-CE. Mudanças climáticas temporárias	67
Figura	4.29	- São Gonçalo-PB. Balanço hídrico normal	69
Figura	4.30	- São Gonçalo-PB. Marcha anual do índice de aridez	70
Figura	4.31	- São Gonçalo-PB. Mudanças climáticas temporárias	71
Figura	4.32	- Propriá-SE. Balanço hídrico normal	73
Figura	4.33	- Propriá-SE. Marcha anual do índice de aridez	74

Figura 4.34	- Propriá-SE. Mudanças climáticas temporárias	75
Figura 4.35	- Campina Grande-PB. Balanço hídrico normal	77
Figura 4.36	- Campina Grande-PB. Marcha anual do índice de aridez	78
Figura 4.37	- Campina Grande-PB. Mudanças climáticas temporárias	79
Figura 4.38	- João Pessoa-PB. Balanço hídrico normal	81
Figura 4.39	- João Pessoa-PB. Marcha anual do índice de aridez	82
Figura 4.40	- João Pessoa-PB. Mudanças climáticas temporárias	83
Figura 4.41	- Tapacurá-PE. Balanço hídrico normal	85
Figura 4.42	- Tapacurá-PE. Marcha anual do índice de aridez	86
Figura 4.43	- Tapacurá-PE. Mudanças climáticas temporárias	87
Figura 4.44	- Remanso-BA. Balanço hídrico normal	89
Figura 4.45	- Remanso-BA. Marcha anual do índice de aridez	90
Figura 4.46	- Remanso-BA. Mudanças climáticas temporárias	91
Figura 4.47	- Frequência decenal de anos com secas	92
Figura 4.48	- Teresina-PI. Variação acumulada das deficiências hídricas dos anos de 1932 e 1942	94
Figura 4.49	- Quixeramobim-CE. Variação acumulada das deficiências hídricas dos anos de 1932 e 1958	95
Figura 4.50	- Campina Grande e São Gonçalo-PB. Curvas da Distribuição Beta e valores obtidos pela Kimball	98
Figura 4.51	- Fortaleza-CE. Curva da Distribuição Beta e valores obtidos pela Kimball	99

## L I S T A D E T A B E L A S

	Página
Tabela 3.1 - Localidades incluídas no estudo e suas respectivas coordenadas geográficas	15
Tabela 4.1 - Teresina-PI. Alguns parâmetros dos BHs normal e seriado	28
Tabela 4.2 - Fortaleza-CE. Idem	35
Tabela 4.3 - Natal-RN. Idem	40
Tabela 4.4 - Anádia-AL. Idem	44
Tabela 4.5 - Alagoinhas-BA. Idem	50
Tabela 4.6 - Teresina-PI. Probabilidade de excedência do índice $R > 0.6$	101
Tabela 4.7 - Fortaleza-CE. Idem	101
Tabela 4.8 - Natal-RN. Idem	102
Tabela 4.9 - Anádia-AL. Idem	102
Tabela 4.10 - Alagoinhas-BA. Idem	103
Tabela 4.11 - Umbuzeiro-PB. Idem	103
Tabela 4.12 - Quixadá-CE. Idem	104
Tabela 4.13 - Quixeramobim-CE. Idem	104
Tabela 4.14 - Iguatu-CE. Idem	105
Tabela 4.15 - São Gonçalo-PB. Idem	105
Tabela 4.16 - Propriá-SE. Idem	106
Tabela 4.17 - Campina Grande-PB. Idem	106
Tabela 4.18 - João Pessoa-PB. Idem	107
Tabela 4.19 - Tapacurá-PE. Idem	107
Tabela 4.20 - Remanso-BA. Idem.	108

## 1. INTRODUÇÃO

A região Nordeste do Brasil (NEB) apresenta uma superfície com área de aproximadamente 1,6 milhão de km<sup>2</sup> e população da ordem de 35 milhões de habitantes. Compreende nove estados brasileiros (Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia), distribuídos conforme ilustrado na Figura 1.1. A região semi-árida do Brasil localiza-se no NEB e alcança parte do estado de Minas Gerais, sendo sugestivamente conhecida por Polígono das Secas.

O traço mais marcante do Polígono das Secas é o clima, principalmente por exibir um regime pluviométrico que delimita duas estações relativamente distintas: uma curta estação chuvosa com duração de 3 a 5 meses, denominada popularmente de "inverno" e geralmente situada entre janeiro e maio, e uma longa estação seca chamada de "verão", com duração de 7 a 9 meses, podendo prolongar-se nos anos de seca por 18 meses ou mais.

O comportamento irregular das chuvas no NEB, tanto espacial quanto temporal, tem motivado pesquisadores de várias partes do globo a realizarem estudos visando a utilização mais racional dos recursos hídricos disponíveis na Região e a busca de alternativas tecnológicas para a sua agropecuária.



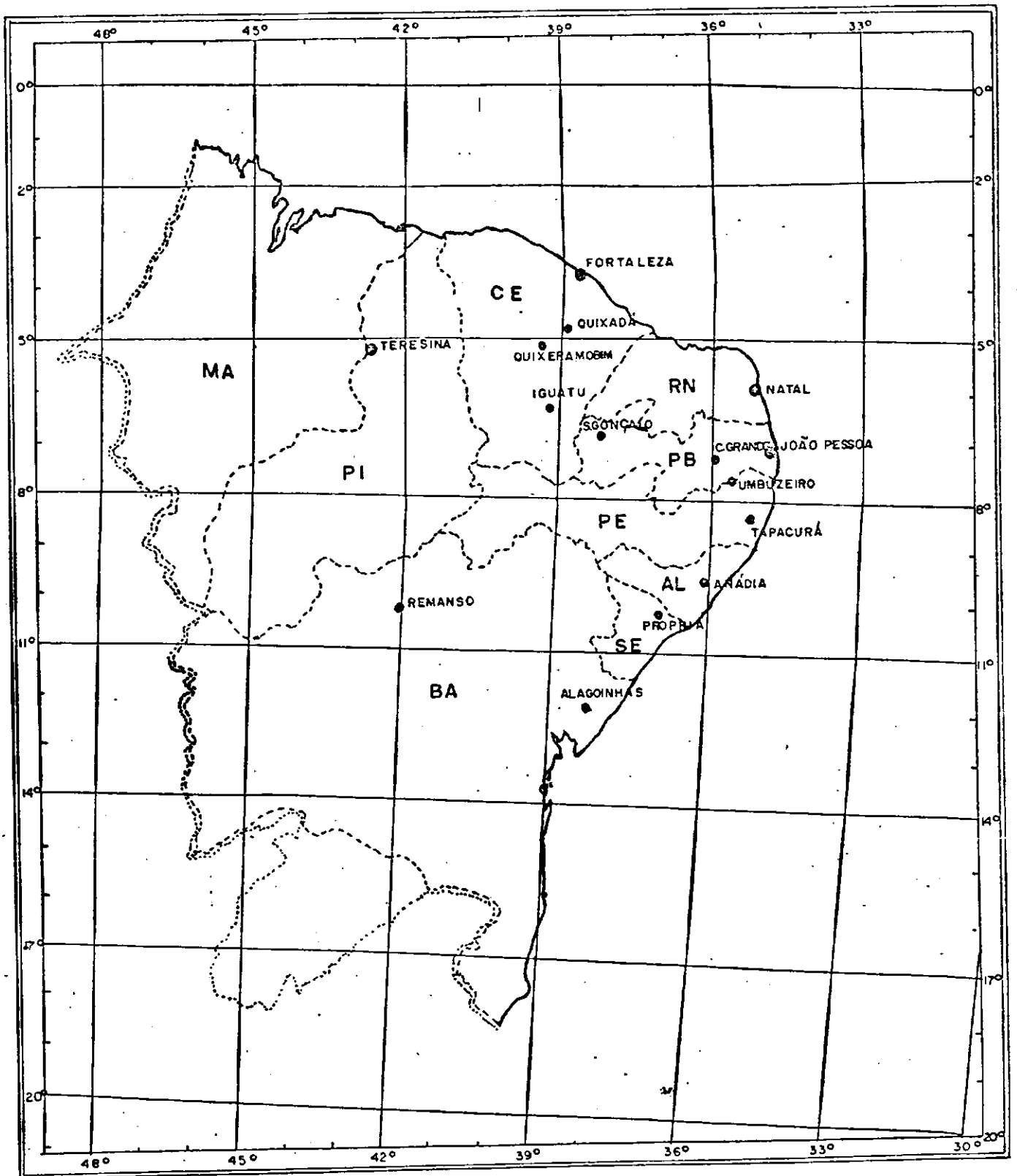


Figura 1.1 - O Nordeste do Brasil. Localização das Estações incluídas na pesquisa

O problema das secas no NEB tem sido objeto da preocupação de autoridades governamentais e de parte da comunidade científica nacional, devido aos transtornos que esse flagelo proporciona aos seus habitantes. Sempre que esse fenômeno ocorre, cria-se uma situação de grande instabilidade sócio-econômica, pois a frágil estrutura agrária existente não se encontra preparada para o seu enfrentamento. A agricultura e a pecuária são as atividades mais afetadas e os agricultores da Região se vêem, repentinamente, sem condições de sobrevivência, sem alimentos e trabalho. Diante desse quadro de grandes dificuldades a única alternativa que se lhes apresenta é o êxodo para os grandes e médios centros urbanos.

Como se depreende, o monitoramento climático do NEB se reveste da maior importância, especialmente quando nesse contexto insere-se a utilização de técnicas que possibilitam a identificação de situações que configurem a existência de uma iminente seca.

Ao tratar-se com o fenômeno seca, deve-se considerar não apenas a sua duração, intensidade e área sob sua influência mas, sobretudo, a demanda hídrica das culturas praticadas na região, bem como aquela requerida pela sua vegetação nativa. Ressalte-se que a demanda hídrica depende predominantemente das condições meteorológicas, das características biológicas de uma cultura específica e do seu estágio fenológico, além das propriedades físicas do solo.

Existem algumas definições de seca que empregam total pluviométrico de um período com duração que pode variar, dependendo do critério adotado. No entanto, tal definição oferece sérias limitações, sobretudo quando aplicada a regiões semi-áridas que, conforme já fora mencionado, têm como característica fundamental uma expressiva variabilidade inter e intra-anual das precipitações (além da variabilidade espacial).

Nesta pesquisa são identificados anos que foram afetados por secas climatológicas de diferentes categorias usando-se a metodologia proposta por SUBRAHMANYAM & SUBRAMANIAM (1964).

Ojetivando obter uma visão mais precisa dos efeitos produzidos por um dado tipo de seca, usa-se as variações mensais da deficiência hídrica, obtidas pelo método do balanço hídrico, ao invés do desvio da precipitação pluviométrica, como fora empregado por FOLEY (1957), na Austrália. Então, são computados os índices de severidade de seca (ISS), que oferecem os elementos necessários para diferenciar os efeitos de duas situações de seca climatológica, que embora apresentem índices anuais de aridez da mesma ordem de magnitude, proporcionam diferentes valores do ISS.

Para cada estação climatológica principal incluída no estudo é estabelecido o balanço hídrico climático e, a partir de dados derivados do mesmo, são identificados os tipos climáticos correspondentes de cada localidade.

Considerando-se que em certas ocasiões ocorrerão variações entre o tipo climatológico de dado ano e aquele obtido via

balanço hídrico normal, a pesquisa também objetiva estudar as mudanças climáticas temporárias, verificadas com base nas variações anuais do regime de umidade daquelas localidades envolvidas na pesquisa. Isto, em face da relevância que tais mudanças oferecem na identificação das potencialidades climatológicas regionais.

Finalizando, verificar-se-á o comportamento estatístico do "Índice R", definido como sendo a razão entre a evapotranspiração real (ER) e a potencial (EP), tendo em vista sua importância para o planejamento agrícola regional. Um estudo probabilístico de R consta na última parte desta pesquisa, quando então far-se-á uso do modelo probabilístico Beta. Nesta fase, são apresentadas as probabilidades de excedência de diferentes valores de R e discutida a adequação desse modelo às séries de cada estação climatológica selecionada.

## 2. R E V I S Ã O   B I B L I O G R A F I C A

São muitas as pesquisas que objetivam o entendimento de anomalias climáticas que ocorrem sistematicamente numa dada região. Assim é que surgiram diversas teorias, muitas das quais com o objetivo de indicar soluções para os mais graves problemas causados por fenômenos atmosféricos adversos e altamente prejudiciais à maioria das atividades humanas.

Para THORNTHWAITE (1948), onde a precipitação ocorre em excesso com relação à necessidade hídrica, o clima é úmido. Onde a deficiência hídrica é maior em comparação com a necessidade, o clima é árido. Onde a precipitação e a necessidade hídrica são iguais ou aproximadamente iguais, o clima não é úmido nem árido.

A classificação climática da Índia, de acordo com o sistema de classificação de THORNTHWAITE (1948), foi feita pela primeira vez por SUBRAHMANYAM (1956) quando então, resultados adequados foram alcançados. BATHIA (1957), estudando as regiões áridas da Índia, utilizou vários métodos e no entanto verificou que o modelo do balanço hídrico (BH) oferece uma idéia altamente realística das condições de aridez daquele país.

Segundo THORNTHWAITE & MATHER (1957), o termo balanço hídrico pode ser entendido como o balanço entre a precipitação e o fluxo de água para a atmosfera gerado pela evapotranspiração.

Conforme GOMES (1959), as teorias de Wigtsoe e as de Dias levam em conta apenas dados pluviométricos, quando da classificação de climas. Segundo os trabalhos de Wigtsoe e Dias, o NEB seria quase que totalmente úmido e semi-úmido. Esses resultados não encorajam o uso intensivo de tais critérios de regionalização.

Um dos primeiros estudos a fazer uso mais intensivo da razão entre ER e EP, fora conduzido por SUBRAHMANYAM et al.(1963). Naquela ocasião, a razão entre essas duas variáveis fora denominada de "index of moisture adequacy".

SUBRAHMANYAM e SUBRAMANIAM (1964), utilizando-se dos desvios do Índice de aridez em relação à mediana, estudaram as secas anuais em Chitradurga para um período de 75 anos, quando então as secas foram classificadas de moderada, forte, severa e desastrosa.

DALE & SHAW (1965) mostraram que a perda de água para a atmosfera se dá de forma integrada entre a energia disponível e o suprimento de água por parte do solo. Tal relação pode ser expressa na forma de um índice, definido pelo quociente entre a evapotranspiração real (ER) e a evapotranspiração potencial (EP).

Com a mudança na expressão para o cálculo do índice de umidade, proposta por THORNTHWAITE (1955), os limites para os vários tipos climáticos foram revisados, alterando-se assim os antigos limites estabelecidos em 1948 por aquele autor. Dessa forma, os limites dos tipos climáticos de C passaram a ser de

0,0 a -33,3; os de D passaram a ser de -33,3 a -66,7 e finalmente os de E passaram a pertencer ao intervalo de -66,7 a -100 (MATHER, 1966).

A importância da razão ER por EP não foi motivo de um só estudo, neste sentido uma outra pesquisa além da realizada por SUBRAHMANYAM et al.(1963) foi feita abordando a importância desta razão, agora denominada de "índice R". Na oportunidade verificou-se a adequação do modelo probabilístico Beta a valores de R que mostrou-se eficiente e capaz de sugerir algumas soluções para problemas relacionados com secas agrícolas e projetos de irrigação. Ressalta-se ainda que diferentes valores desse índice de seca podem ser encontrados na medida em que diferentes métodos de cômputo tenham sido empregados na determinação das evapotranspirações real e potencial (YAO,1969).

Utilizando-se do Índice de aridez de Thornthwaite, a marcha anual da aridez e as secas foram estudadas por SUBRAHMANYAM & SASTRI (1969) em Visakhapatnam, quando constataram que para uma série de 75 anos, 37 deles foram de seca de algum tipo.

O método de THORNTWHAITE & MATHER (1955) fora utilizado por MOTA (1970) quando este realizou o balanço hídrico do Rio Grande do Sul. Concluiu aquele pesquisador que a metodologia usada permitiu a caracterização do regime hídrico de cada localidade considerada no estudo. Salientou, ainda, que os valores da EP avaliados segundo THORNTWHAITE & MATHER (1955) e PENMAN (1948), tiveram boa concordância, havendo em casos isolados discrepâncias pronunciadas; contudo, sem comprometer os resultados alcançados.

GHOSE & POULTNEY (1972), realizando estudos sobre secas no NEB, concluíram que para haver uma estimativa mais realística das condições de seca em áreas cultiváveis, se faz necessário que cada cultura seja tratada individualmente, numa área de pluviosidade homogênea. Para os autores, essa medida é necessária em virtude de ser possível a existência de seca para uma cultura específica e, para outra não; o que é justificado em função da necessidade hídrica de cada espécie, que determina se um certo índice pluviométrico será ou não suficiente para reabastecer o solo e, portanto, a umidade requerida por essa espécie.

O índice R, de acordo com o que estabeleceu YAO (1973) é a razão entre a evapotranspiração real (ER) pela evapotranspiração potencial (EP). Ele é função da precipitação presente e a antecedente que abastece a umidade do solo, e da energia atmosférica que causa a evaporação e transpiração da superfície do solo e das plantas.

Disponibilidade e deficiência hídricas são, naturalmente, fatores que concorrem decisivamente para o sucesso ou o insucesso agrícola. Por essa razão HARGREAVES (1973) propôs o uso do índice de disponibilidade de umidade como fator padrão na identificação das potencialidades agrícolas de uma região. HARGREAVES (1974) zoneou climatologicamente o NEB e estabeleceu quatro classes para a Região, quais sejam: muito árido, árido, semi-árido e sub-úmido. Para YAO (1974), o índice R é um importante indicador da medida do suprimento de água à planta, em relação a demanda solicitada pela mesma. Esse índice pode ser usado conjuntamente com a distribuição de probabilidade Beta como forma de indicar as



possibilidades agrícolas regionais e o potencial de irrigação requerido pelas culturas, além de poder ser também empregado adequadamente em estudo de umidade relativa do ar.

MIELKE (1975) fez uso de um procedimento interativo com vistas à obtenção dos parâmetros da distribuição Beta. Naquela oportunidade, adotou o método da máxima verossimilhança como forma de estimar os parâmetros daquele modelo de probabilidade.

RATISBONA (1976) concluiu que o NEB, de acordo com o índice de umidade estabelecido por THORNTWHAITE (1948), está dividido em três zonas climáticas distintas: a caatinga, cujo índice varia entre 0 e -20; a semi-árida, com índice variando de -20 a -40; e a árida, com índice abaixo de -40.

A aplicação da técnica do BH estabelecida por THORNTWHAITE & MATHER (1955) se constitui numa poderosa ferramenta a ser utilizada não só em estudos climáticos mas também em outros estudos. Através de elementos derivados do BH, pode-se obter o "Index of Moisture Adequacy", que é uma boa medida do potencial agrícola de uma dada região. Altos valores deste índice indicam uma boa disponibilidade de umidade numa região e, assim sendo, pode-se recomendar a prática intensiva de operações relacionadas a agricultura (SUBRAHMANYAM & KARUNA, 1976).

Para SUBRAHMANYAM & MALINE (1979) seca é uma condição física do ambiente em que a quantidade de água disponível da precipitação e do solo não é suficiente para suprir a demanda da evapotranspiração.

Existem diversos modelos de classificação climática, dentre os quais destacam-se os modelos de Köppen, Thornthwaite, Troll e Papadakis, conforme estudo conduzido por JOHNSON (1980). Nesta pesquisa é dada prioridade ao modelo de Thornthwaite, que revolucionou a metodologia de classificação de climas pelo fato de introduzir o conceito de evapotranspiração potencial (EP) como indicador fundamental do clima. Esta técnica oferece uma contribuição bastante valiosa na identificação dos diferentes climas existentes nos trópicos, especialmente por descrever melhor as condições de umidade de tais regiões.

FERNANDEZ & GONDIM (1980) estabeleceram estimativas da EP utilizando-se de diversas equações empíricas. Nessa pesquisa, concluíram que o método de Thornthwaite se situou entre os que melhores resultados apresentaram na obtenção desse parâmetro, isto em experimento conduzido em Areia, no estado da Paraíba.

A variabilidade climática merece uma atenção muito especial, uma vez que a produção agrícola pode ser substancialmente afetada em consequência dos seus efeitos. Segundo MOTA (1981), a seca tem se constituído no principal responsável pela redução no rendimento e na produção da soja no Sul do Brasil. Nessa pesquisa, o autor adotou um índice que caracterizasse os efeitos das secas sobre a cultura da soja. O estudo evidenciou a importância da utilização adequada do índice de seca, obtido segundo o BH mensal proposto por THORNTWHAITE & MATHER (1955).

Conforme já fora mencionado, vários são os métodos aplicados na delimitação de zonas semi-áridas. Na tentativa de identificar

a metodologia que traduzisse mais realisticamente essas áreas REDDY (1983) analisou as vantagens e desvantagens dos métodos de Hargreaves, Troll e Thornthwaite ao delimitar os trópicos semi-áridos. Para tanto, usou dados da Índia, Austrália, Tailândia e Brasil, quando então pode comparar tais métodos. Concluiu que o método de Thornthwaite oferece uma demarcação de regiões semi-áridas mais precisa do que os outros métodos.

Na tentativa de estabelecer níveis de intensidade de secas no NEB, XAVIER & XAVIER (1984) aplicaram a técnica dos quantis aos totais pluviométricos anuais de diversos postos desta Região. Então, classificaram cada ano como: muito seco, seco, normal, chuvoso e muito chuvoso. Dessa classificação destacaram-se os anos de 1915, 1919, 1932, 1942, 1951, 1953, 1958 e 1979, considerados muito secos nos estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco, segundo a técnica empregada.

Para SILVA & MARQUES (1984), a forma pela qual se "caracteriza um período quanto ao fato dele ser seco ou chuvoso é a extensão das ocorrências ou não de precipitação, e não episódios de muito curta duração dentro do período estudado".

BRAGA (1984) usou a metodologia do BH segundo THORNTHWAITTE & MATHER (1955) para avaliar deficiência e excesso hídricos no estado do Rio Grande do Norte. Nessa pesquisa foram incluídos postos com dados de temperatura com períodos superiores ou iguais a cinco anos de registros. Tal procedimento foi justificado sob a alegação de que nas regiões compreendidas entre os paralelos, de quinze graus Norte e Sul, a variabilidade temporal desse elemento

é de pequena magnitude. Constatam, ainda, no seu estudo, cartas de probabilidade de totais trimestrais e semestrais de precipitação.

O mais recente período de seca no Nordeste do Brasil, verificou-se entre o final da década de 1970 e início da de 1980. A duração da estiagem é motivo de grandes discussões de parte da comunidade científica. Para alguns teria ocorrido naquela ocasião cinco anos consecutivos de seca, para outros apenas dois anos daquele período teriam sido afetados por seca. A verdade é que conflitos de opiniões a respeito dessa duração têm tido grandes proporções (WILHITE & GLANTZ, 1985).

### 3. MATERIAIS E METODOS

#### 3.1 - Disponibilidade de Dados

Os dados de temperatura do ar e totais mensais de precipitação pluviométrica que serviram de base para a realização do presente estudo, foram cedidos pela Superintendência para o Desenvolvimento do Nordeste-SUDENE e Instituto Nacional de Meteorologia-INEMET, através do Departamento de Ciências Atmosféricas da Universidade Federal da Paraíba.

Dentre as estações climatológicas instaladas e em funcionamento no NEB, foram selecionadas aquelas com séries ininterruptas de temperatura e precipitação que dispunham de pelo menos 25 (vinte e cinco) anos de registros. Nesse sentido, foi realizado um inventário dos dados existentes o que culminou com a escolha de 15 (quinze) estações que atendiam aos requisitos: continuidade na coleta dos dados e duração mínima requerida. Este critério adotado visou evitar o preenchimento de falhas com informações de qualidade questionável. Na Tabela 3.1 são apresentadas as estações climatológicas principais incluídas no presente estudo. Também, estão incluídos o número de anos que integram cada série de dados e as coordenadas geográficas das estações selecionadas. Note-se que as séries de menor duração

correspondem às localidades de Alagoinhas-BA e Tapacurá-PE com duração de 25 anos, e a mais extensa, pertence a Fortaleza-CE, com 62 anos de dados.

**Tabela 3.1 - Localidades incluídas no estudo e suas respectivas coordenadas geográficas**

localidades	latitude		longitude		altitude	período
	grau	min.	grau	min.	metro	anos
Teresina-PI	05	05	42	49	79	33
Fortaleza-CE	03	43	38	28	27	62
Natal-RN	05	46	35	12	08	46
Anádia-AL	09	38	36	20	137	32
Alagoinhas-BA	12	08	38	26	260	25
Umbuzeiro-PB	07	42	35	40	497	30
Quixadá-CE	04	58	39	01	180	26
Quixeramobim-CE	05	12	39	18	211	39
Iguatu-CE	06	22	39	18	211	48
S. Gonçalo-PB	06	45	38	13	234	38
Propriá-SE	10	13	36	51	35	27
C. Grande-PB	07	13	35	53	526	32
J. Pessoa-PB	07	07	34	53	30	30
Tapacurá-PE	08	10	35	11	104	25
Remanso-BA	09	41	42	04	386	31

### 3.2 - Fundamentação Teórica

Esta pesquisa utiliza-se fundamentalmente das técnicas de classificação climática propostas por THORNTHWAITE (1955) e do balanço hídrico segundo THORNTHWAITE & MATHER (1957), quando então se faz uso intensivo de parâmetros derivados do BH.

#### 3.2.1 - O Balanço Hídrico

Para o cômputo do BH, deve-se dispor de dados mensais de temperatura e de precipitação. Neste estudo a EP foi obtida segundo THORNTHWAITE (1948), que é função do índice anual de calor (IAC), sendo este definido pelo somatório dos índices mensais de calor (IMC), que são determinados pela expressão:

$$IMC(i) = [T(i)/5]^{1,514} \quad (3.1)$$

onde i varia de 1 a 12 e se faz corresponder aos meses do ano e T às respectivas temperaturas mensais. Ressalte-se que o IMC torna-se nulo quando a temperatura mensal é menor ou igual a zero grau centígrado, que naturalmente não ocorre no NEB.

Sabe-se que a evapotranspiração potencial mensal não corrigida, do i-ésimo mês do ano, obtém-se pela expressão:

$$EPo(i) = 1,6 [10T(i)/IAC]^L \quad \text{cm/mês} \quad (3.2)$$

em que o expoente L é obtido segundo a expressão (3.3). Foi observado por aquele pesquisador, que enquanto o IAC aumentava de 0 a 160, o expoente L crescia de 0 a 4,25. Assim foi que THORNTHWAITTE (1948) os relacionou através da seguinte fórmula:

$$L = 6,75 \times 10^{-7} \times \text{IAC}^3 - 7,71 \times 10^{-5} \times \text{IAC}^2 + 1,79 \times 10^{-2} \times \text{IAC} + 0,49 \quad (3.3)$$

A equação (3.2) dispensaria correções se fossem considerados meses de 30 dias e dias com 12 horas de duração efetiva. Considerando-se que os meses nem sempre têm 30 dias e que a duração efetiva do dia geralmente difere de 12 horas, a evapotranspiração potencial varia com a estação do ano e a latitude do local. Necessário se faz, portanto, que a EPO seja multiplicada por um fator (FA) dado por:

$$\text{FA}(i) = D \times N / 12 \quad (3.4)$$

sendo que D e N correspondem respectivamente ao número de dias do i-ésimo mês do ano e a insolação máxima teoricamente possível que é calculada com base na equação abaixo:

$$N = 2 \{ \text{ARC COS}[-\text{TG}(f) \times \text{TG}(d)] + 0,83 \} / 15 \quad \text{horas} \quad (3.5)$$

sendo  $f$  a latitude local e  $d$  a declinação do Sol, tomando-se o décimo quinto dia de cada mês. Portanto, a evapotranspiração



potencial (EP) ajustada, obtém-se através do produto:

$$EP(i) = EP_0(i) \times FA(i) \quad (3.6)$$

Nos casos em que a temperatura compensada ultrapassa 26,5 °C, usa-se tabela proposta por THORNTHWAITE & MATHER (1957), como forma de determinação da EP(i), ao invés dos procedimentos acima apresentados.

Os procedimentos de cômputo do BH climatológico foram extendidos para o estabelecimento do BH seriado de cada localidade selecionada. Para a determinação dos índices de aridez (IA), de umidade (IU), hídrico (IH) e índice R foram usadas as seguintes expressões:

$$IA(j) = [DH(j)/EP(j)] \times 100 \% \quad (3.7)$$

$$IU(j) = \{ [EH(j) - DH(j)] / EP(j) \} \times 100 \% \quad (3.8)$$

$$IH(j) = [EH(j)/EP(j)] \times 100 \% \quad (3.9)$$

$$R = [ER/EP] \times 100\% \quad (3.10)$$

onde DH corresponde à deficiência hídrica anual; EH, por sua vez, representa o excesso hídrico, ambos referentes ao j-ésimo ano, além da ER e EP que representam respectivamente a evapotranspiração real e potencial.

Para o cálculo dos BHs foram considerados os tipos de solo

mais representativos de cada localidade (IBGE, 1984) selecionada para o estudo. Assim, estabeleceram-se duas capacidades de armazenamento (CA): 100mm (Teresina, Fortaleza, Natal, João Pessoa e Tapacurá) e 250mm (Quixadá, Quixeramobim, Iguatu, São Gonçalo, Campina Grande, Umbuzeiro, Anádia, Propriá, Remanso e Alagoinhas).

### 3.2.2 - Procedimento de Classificação de Secas

A causa fundamental das secas reside na deficiência hídrica. Nesse sentido, são obtidos os desvios anuais do IA(j) em relação à sua mediana (DM(j)), quando então se torna possível a identificação da ocorrência de uma seca. Dependendo da magnitude do desvio DM(j), as secas podem ser classificadas em: moderada, forte, severa e desastrosa, conforme os DM(j) se situem, respectivamente, entre 0 e 0,5 do desvio padrão (DP), entre 0,5 e 1,0 DP, de 1,0 a 2,0 DP e acima de 2,0 DP. O desvio padrão referido é determinado sobre todos os valores dos IA(j), da série temporal de um mesmo local.

### 3.2.3 - Mudanças Climáticas Temporárias

A classificação climática de THORNTHWAITE (1955) leva em consideração dois regimes: o térmico e o de umidade. Ocorre que as variações interanuais de temperatura no NEB, não são expressivas. Ao contrário, a precipitação apresenta uma grande variabilidade de ano para ano. Por essa razão, frequentemente

ocorrem mudanças no BH anual, que assumem magnitude tal que o regime de umidade é alterado para uma posição mais, ou menos, úmida. Essas mudanças climáticas temporárias são de grande relevância quando da determinação das potencialidades agrícolas de uma região.

Nesta pesquisa, as mudanças climáticas temporárias são estudadas com base nas variações do índice anual de umidade obtido do BH, em face às considerações acima mencionadas. Portanto, assume-se que as variações no regime térmico podem ser desprezadas.

#### 3.2.4 - Método do Desvio Acumulado

Como visto na Seção 3.2.2, a identificação de anos sujeitos a algum tipo de seca dá-se em função do valor apresentado pelo IA desses anos. No entanto, o rigor de uma seca deve considerar a sua intensidade e a duração dos períodos com deficiências hídricas pronunciadas. Esses aspectos são relacionados pelo índice de severidade de seca (ISS), obtido a partir da utilização da técnica do desvio acumulado, que permite se inferir sobre os efeitos provocados por secas de um mesmo (ou, de diferente) tipo; porém, classificadas segundo o IA desses anos.

A técnica do desvio acumulado emprega a variação mensal da deficiência hídrica (VMD) que é definida como um parâmetro que relaciona a deficiência do  $i$ -ésimo mês de um dado ano, a deficiência desse mesmo mês e a EP anual, estes últimos derivados

do BH normal. Geralmente, essa variação mensal é apresentada em partes por mil, e obtida segundo a expressão:

$$VMD(i) = \{[D(i) - DN(i)] / EP\} \times 1000 \quad (3.11)$$

onde  $D(i)$  refere-se à deficiência hídrica do  $i$ -ésimo mês de um ano particular;  $DN(i)$  e  $EP$  correspondem, respectivamente, à deficiência de tal mês e à evapotranspiração potencial anual, ambos obtidos segundo o BH normal. O índice de severidade de seca (ISS) é obtido por inspeção visual do gráfico da  $VMD(i)$  acumulada ao longo do ano em apreço. Esse índice é determinado pela inclinação média do(s) segmento(s) de reta(s) de inclinação mais acentuada(s). Quando por ocasião dos resultados, são ilustrados alguns casos que possibilitarão uma melhor compreensão da técnica do desvio acumulado da deficiência hídrica e da determinação do ISS.

### 3.2.5 - O Modelo Probabilístico Beta

Estudos já realizados consideram que as propriedades estatísticas do Índice R se constituem numa ferramenta valiosa na análise dos estágios do desenvolvimento de plantas, no uso eficiente de terras agricultáveis, em projetos de irrigação, entre outras. Neste trabalho verificar-se-á a adequação do modelo probabilístico Beta ao índice R, para todos os meses das localidades que integram o presente estudo. Tabelas de

probabilidade de excedência de diferentes valores de R são elaboradas.

Uma variável aleatória contínua distribui-se segundo o modelo Beta, se a sua função de densidade de probabilidade for dada pela expressão:

$$f(x) = [x^{(a-1)} \cdot (1-x)^{(b-1)}] / B(a,b) \quad (3.12)$$

definida para todo x entre zero e um; a e b são os parâmetros do modelo e B(a,b) corresponde à função matemática Beta, dada por:

$$B(a,b) = \int_0^1 x^{(a-1)} \cdot (1-x)^{(b-1)} dx \quad (3.13)$$

Esta função matemática Beta relaciona-se com a conhecida função matemática Gama, da seguinte forma:

$$B(a,b) = [G(a) \cdot G(b)] / G(a+b) \quad (3.14)$$

onde G(z) corresponde a Gama e é genericamente definida por:

$$G(z) = \int_0^{\infty} v^{(z-1)} \cdot \exp(-v) dv \quad (3.15)$$

Considerando-se que a f(x) dada pela equação 3.12 não possui primitiva, e as dificuldades decorrentes da tentativa de aproximá-la por séries de potências, efetivar-se-á a sua

integração pelo método numérico denominado de regra dos trapézios. Para tanto, foram elaborados programas em FORTRAN para realizar essa tarefa.

Os parâmetros do modelo são estimados segundo a técnica estatística da máxima verossimilhança e procedimentos propostos por MIELKE (1975), que apesar de se mostrar mais trabalhosa do que a dos momentos, em geral proporciona resultados mais confiáveis.

Após efetuados os cálculos das frequências teóricas (obtidas com o modelo Beta) e as empíricas (com base no método de Kimball), procede-se a verificação do ajustamento do modelo aos dados observados. Nesta fase, utiliza-se o teste de Kolmogorov-Smirnov, que se mostra mais eficiente do que o de Qui-quadrado. O nível de significância considerado como o ideal é aquele igual a 0,20; no entanto, em alguns casos a aderência pode ser considerada satisfatória quando a hipótese nula for aceita ao nível de 0,05.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A utilização de parâmetros derivados dos balanços hídricos normal e seriado, bem como as metodologias de classificação climática e de secas, respectivamente segundo THORNTHWAITE (1955) e SUBRAHMANYAM & SUBRAMANIAM (1964), possibilitaram a obtenção dos resultados apresentados neste capítulo, que são ilustrados por gráficos e tabelas.

### 4.1 - Classificação de Secas e Mudanças Climáticas Temporárias

Precedendo a análise dos tipos de seca enfrentados por cada localidade incluída na pesquisa, são feitos comentários acerca do BH normal e do tipo climático dessas localidades. No final deste sub-capítulo são discutidas as mudanças climáticas temporárias, vistas pela ótica do regime de umidade do solo.

#### 4.1.1 - Análise dos Resultados de Teresina-PI

A marcha mensal do BH normal de Teresina (Figura 4.1) indica que de janeiro a abril a precipitação pluvial, (P), que alcançou seu máximo em março, supera a evapotranspiração

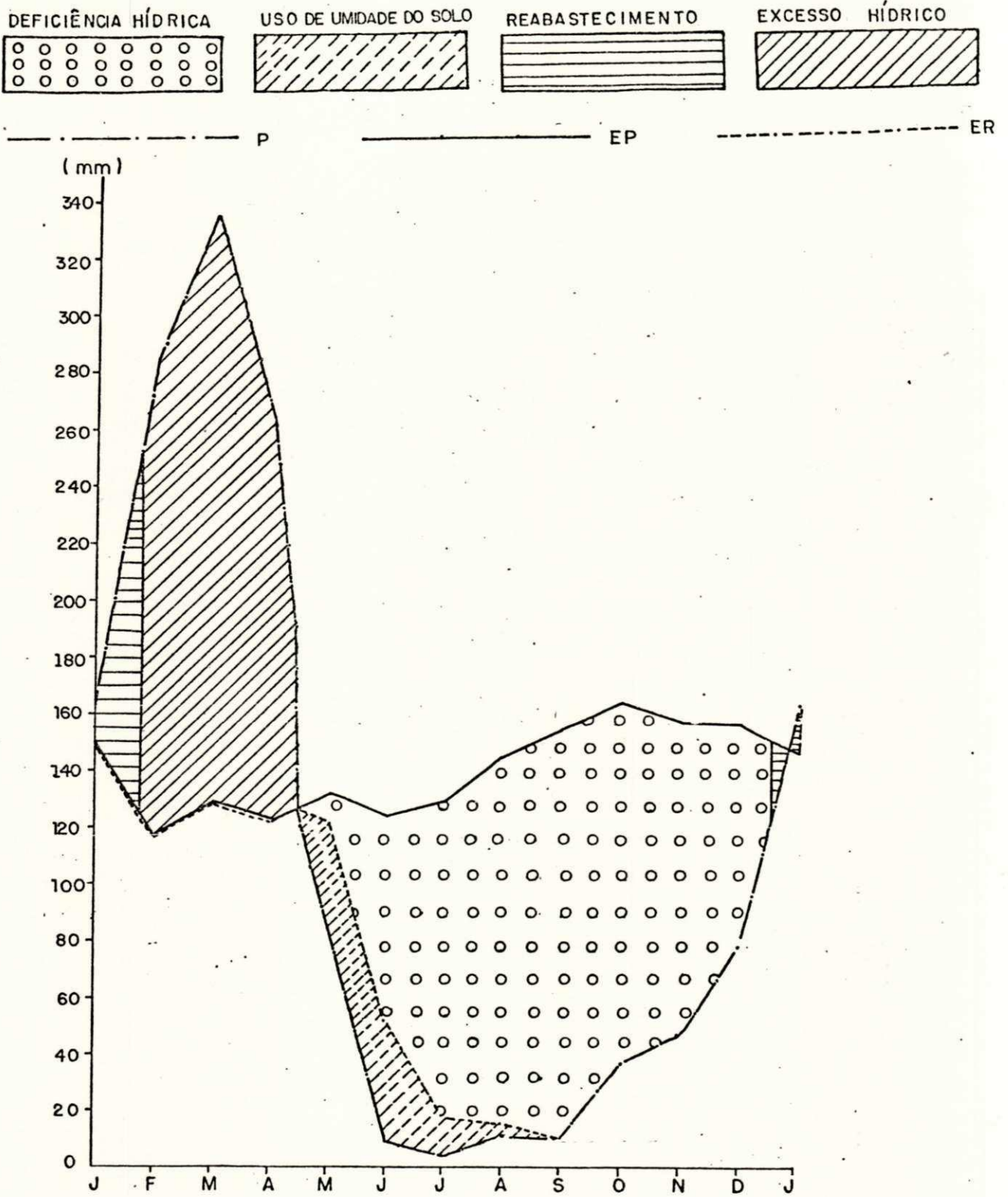


Figura 4.1 - Teresina-PI. Balanço hídrico normal



potencial (EP). O excesso hídrico (EH), por sua vez, verifica-se no período de fevereiro a abril. De maio a dezembro a EP mostra-se superior a P. Já a evapotranspiração real (ER), de maio a setembro, apresenta valores maiores do que a precipitação (P). A evapotranspiração real (ER), no período de maio a agosto é superior à precipitação. A água armazenada no solo que é uma das fontes de umidade para o processo de evapotranspiração passa a ser utilizada de forma complementar. De setembro a dezembro ER e P são praticamente iguais. Por sua vez, a DH que é iniciada em maio aumenta até o seu máximo em setembro, quando então diminui progressivamente até dezembro. No transcorrer de fevereiro a capacidade de campo é reestabelecida, inclusive verificando-se no final desse mês um excedente hídrico de 84 mm.

Teresina, que possui fórmula climática C A'wa', mostra para o período estudado (33 anos), <sup>1</sup> 16 secas; sendo 7 moderadas, 1 forte e 8 severas (Figura 4.2), as quais se distribuíram da seguinte maneira: de 1925 a 1934, ocorreram 2 secas moderadas, 1 forte e 2 severas; de 1935 a 1944, constataram-se 3 secas moderadas e 3 severas; e de 1945 a 1957, 2 secas moderadas e 3 severas. Baseando-se na precipitação, 1950 seria considerado como o ano mais úmido do período. Porém, levando-se em conta a DH, que tem efeito mais direto na agricultura, o ano mais úmido é 1949, que possui DH muito menor do que a DH de 1950 (Tabela 4.1). Ademais, 1949 tem DH e IA ambos os mais baixos registrados no período estudado. Por outro lado, 1934, com precipitação menor do que a metade do total anual de precipitação de 1950, tem DH menor do que a DH desse último ano.

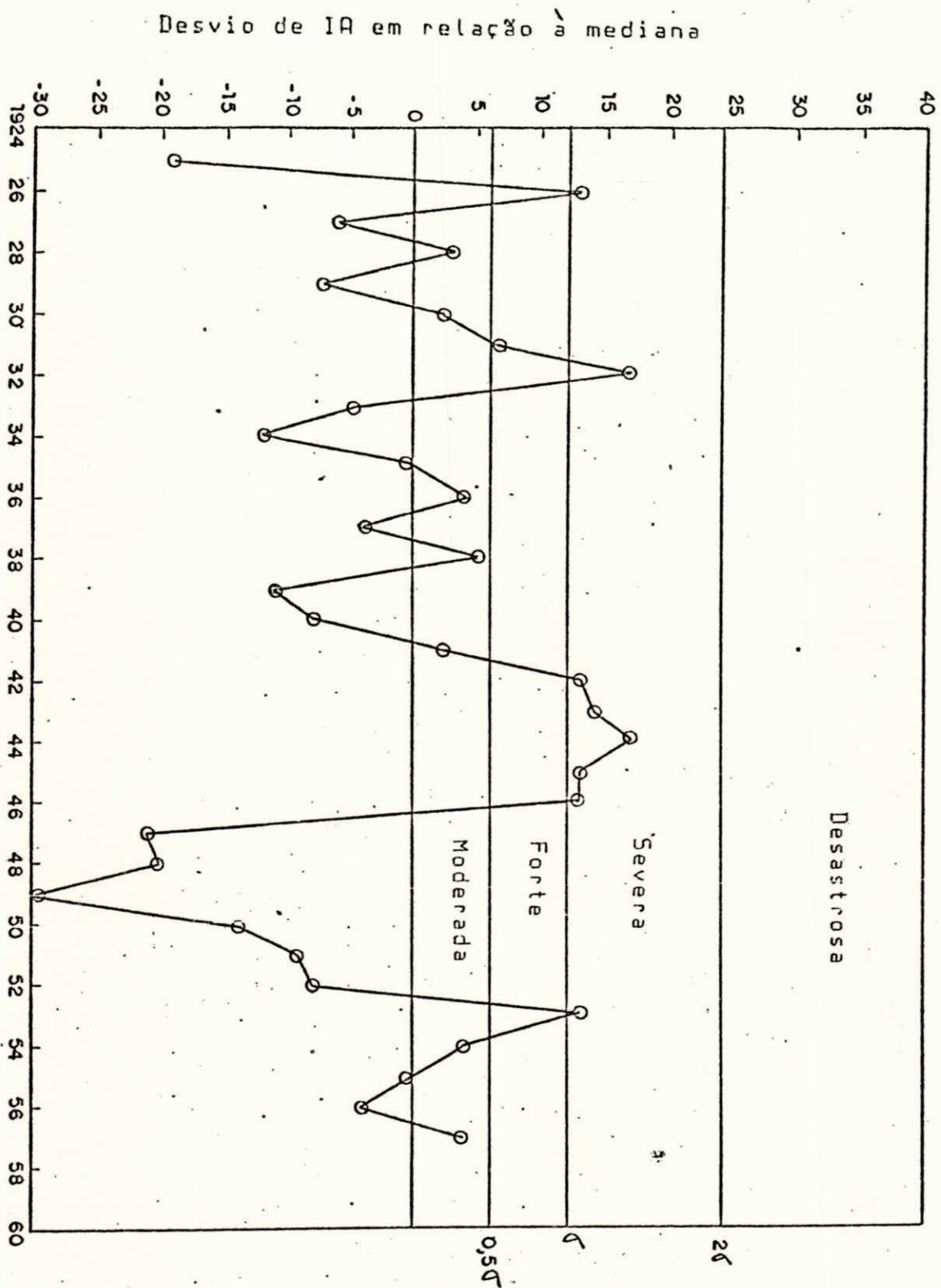


Figura 4.2 - Teresina-PI. Marcha anual do índice de aridez

Um outro aspecto interessante é o que diz respeito aos valores de EP e de P para 1926 e para o ano normal. Em ambos os casos estes parâmetros não são muito diferentes, mas a DH de 1926 foi 40% maior do que a do ano normal. De acordo com o sistema de classificação de secas adotado, 1926 teve seca severa; contudo, esse ano teve precipitação somente 7% menor do que a do ano normal. Em 1937, Teresina não experimentou seca de nenhum tipo; no entanto, registrou um total anual de precipitação 19% menor do que o do ano normal e 13% menor que o total de 1926, que enfrentou seca do tipo severa.

De acordo com os resultados acima fica evidenciado que a classificação de secas tomando-se como parâmetro exclusivamente totais pluviométricos anuais pode conduzir a resultados bastante questionáveis.

Tabela 4.1 - Alguns Parâmetros dos BHs Normal e Seriado  
Localidade: Teresina-PI.

ANO	PARÂMETROS								
	P	EP	ER	DH	EH	IA	IH	IU	
NORMAL	1326	1678	895	783	431	47	26	-21	
1926	1239	1674	573	1101	666	66	40	-26	
1934	1439	1540	904	636	535	41	35	-06	
1937	1074	1665	857	809	217	49	13	-36	
1949	2903	1666	1279	387	1623	23	97	74	
1950	3014	1645	996	649	2016	39	123	84	

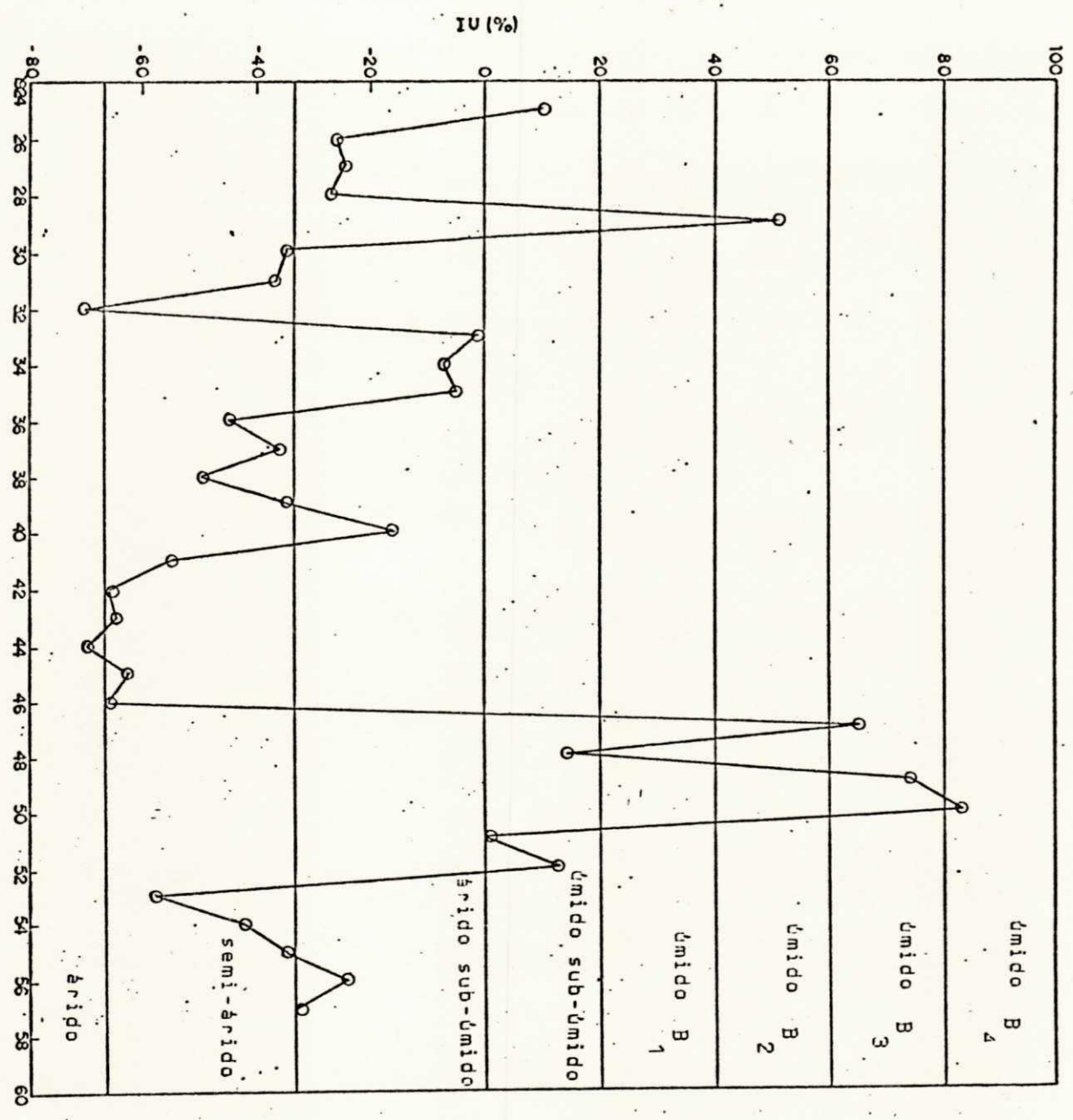


Figura 4.3 - Teresina-PI. Mudanças climáticas temporárias

Condições responsáveis por variações na aridez, naturalmente que produzem pronunciadas variações no regime de umidade do clima local. Para estudar esses aspectos, foram analisados os índices anuais de umidade, comparados com os níveis de umidade sugeridos por THORNTHWAITE (1955), estes revelaram a existência de uma grande variabilidade interanual no regime de umidade de Teresina, onde verificou-se 24 mudanças climáticas temporárias, sendo que 16 foram na direção mais árida e as demais para situações mais úmidas (Figura 4.3). Como pode ser visto, na maioria dos anos do período analisado o regime de umidade de Teresina se situou em posições diferentes daquele indicado pelo BH normal. Caso que deve ser enfatizado é o que se refere aos anos de 1926 e 1937. Em 1926 ocorreu seca severa e 1937 não foi afetado por seca; no entanto, 1926 apresentou-se mais úmido do que 1937, que possui um regime de umidade do tipo D (semi-árido), enquanto que o de 1926 foi C (árido sub-úmido). Este tipo de situação mostra que não necessariamente existe correlação entre intensidade de seca e mudança climática temporária. Obviamente, a razão desta ocorrência se dá pelo fato da intensidade de seca ser baseada no índice de aridez e a mudança temporária do clima nos índices de aridez e hídrico.

#### 4.1.2 - Análise dos Resultados de Fortaleza-CE

A marcha mensal do BH normal de Fortaleza (Figura 4.4) indica que de fevereiro a junho a precipitação foi superior a EP. Nota-se também que o EH só ocorreu nos meses de março, abril,

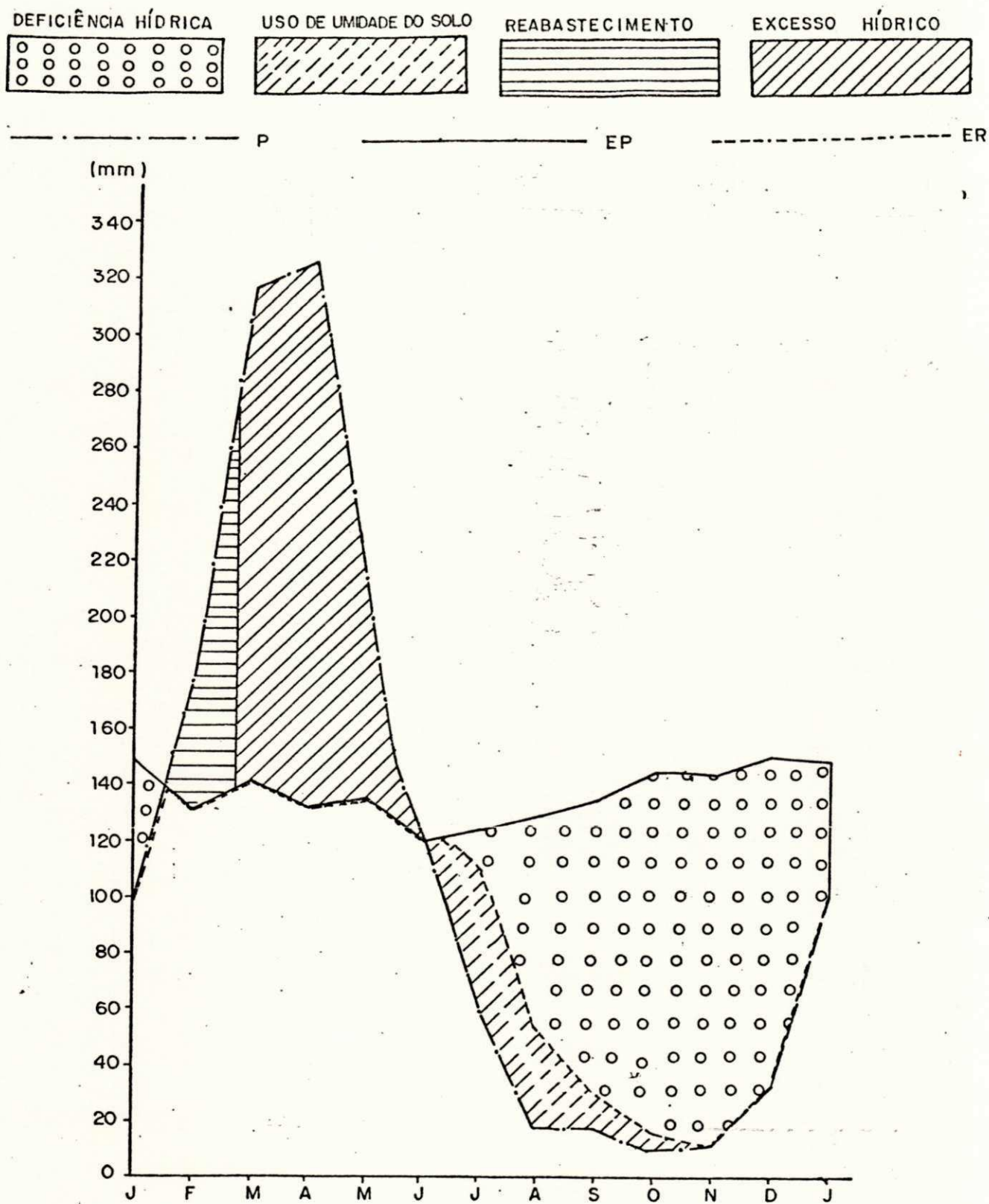


Figura 4.4 - Fortaleza-CE. Balanço hídrico normal

maio e junho, sendo que neste último o EH foi bastante reduzido. De julho a janeiro, a EP esteve sempre superior a precipitação. Nos meses de novembro a janeiro a ER igualou-se a P. A DH nessa localidade foi marcante visto que na maior parte do ano (de julho a janeiro) ela foi observada.

Nos 62 anos que compõem a sua série, Fortaleza, com fórmula climática C A'wa', experimentou 32 secas, conforme mostrado na Figura 4.5.<sup>1</sup> Tais secas distribuíram-se da seguinte forma: 15 secas moderadas, 9 fortes e 8 severas. De acordo com os dados da Tabela 4.2, observa-se que 1941, 1942, 1957 e 1958 foram submetidos a um mesmo tipo de seca (severa), no entanto o total anual de precipitação de 1957 foi substancialmente superior aos respectivos totais dos demais anos citados. Ademais, 1957 registrou um total anual de precipitação maior do que os de 1930 e 1936, que não enfrentaram secas de qualquer natureza. Por outro lado, no período de 1979 a 1985, constataram-se apenas três anos com seca: 1980, 1981 e 1983 sendo que o de seca mais intensa (forte) foi 1981, ao contrário de 1983 considerado como o de seca mais rigorosa desse período.

As mudanças climáticas temporárias estudadas através dos índices de umidade, que são mostradas na Figura 4.6, revelaram 40 flutuações no regime de umidade dessa localidade, sendo que 20 dirigiram-se para situações mais úmidas e 20 para mais áridas do que as estabelecidas climaticamente. Um dado relevante diz respeito às mudanças climáticas temporárias, quando relacionadas com ocorrências de secas. Neste sentido, observou-se que Fortaleza não experimentou seca de nenhum tipo em 1936 que

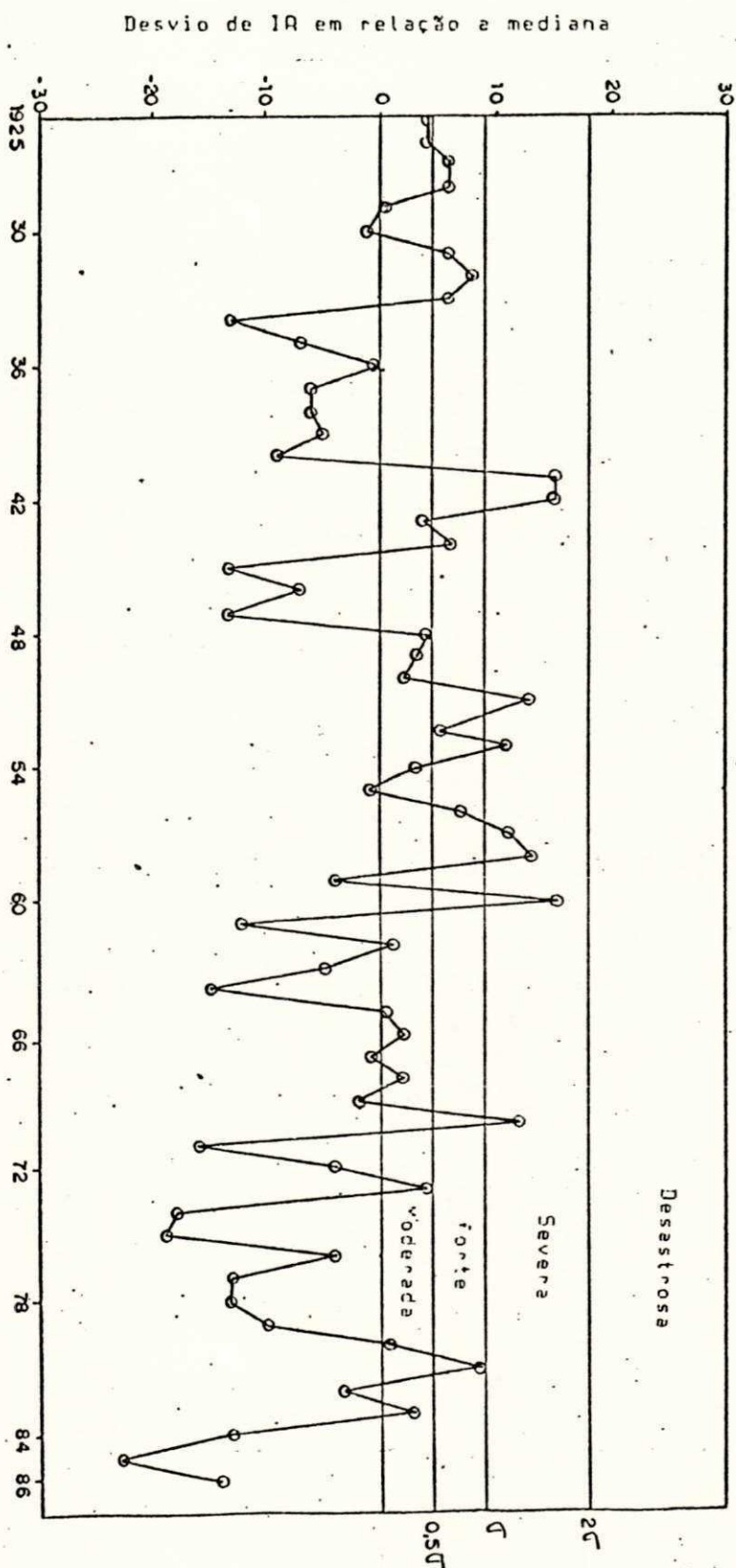


Figura 4.5 - Fortaleza-CE. Marcha anual do Índice de aridez



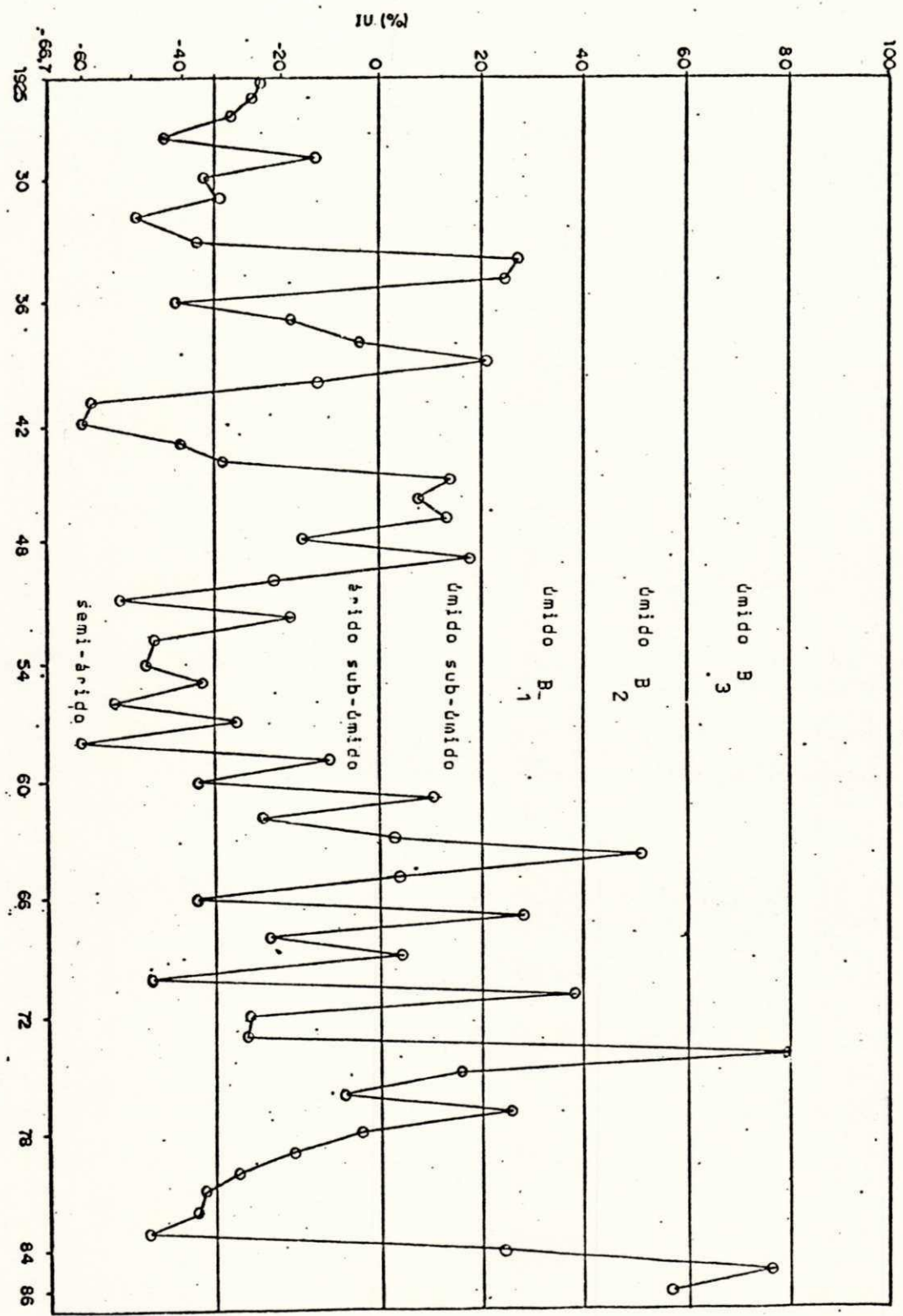


Figura 4.6 - Fortaleza-CE. Mudanças climáticas temporárias

apresentou regime de umidade do tipo D (semi-árido). No entanto, 1957 registrou seca severa e regime de umidade do tipo C (árido sub-úmido). Estes resultados mostram que não necessariamente uma mudança para uma situação mais árida implicaria numa ocorrência de seca.

Tabela 4.2 - Alguns Parâmetros dos BHs Normal e Seriado  
Localidade: Fortaleza-CE

ANO	PARÂMETROS								
	P	EP	ER	DH	EH	IA	IH	IU	
NORMAL	1403	1633	1008	625	396	38	24	-14	
1930	1003	1586	849	737	154	46	10	-36	
1936	935	1604	846	758	089	47	06	-41	
1941	723	1734	661	1073	062	62	04	-58	
1942	678	1691	640	1051	038	62	02	-60	
1957	1160	1630	683	947	477	58	29	-29	
1958	670	1693	670	1023	000	60	00	-60	
1980	1215	1709	882	827	333	48	19	-29	
1981	1087	1707	746	961	341	56	20	-36	
1983	932	1756	881	875	51	50	3	-47	

#### 4.1.3 - Análise dos Resultados de Natal-RN

Como é mostrado através da marcha mensal do BH normal de Natal, representado pela Figura 4.7, a EP a partir de março sofre um processo de diminuição gradativa até o mês de julho,

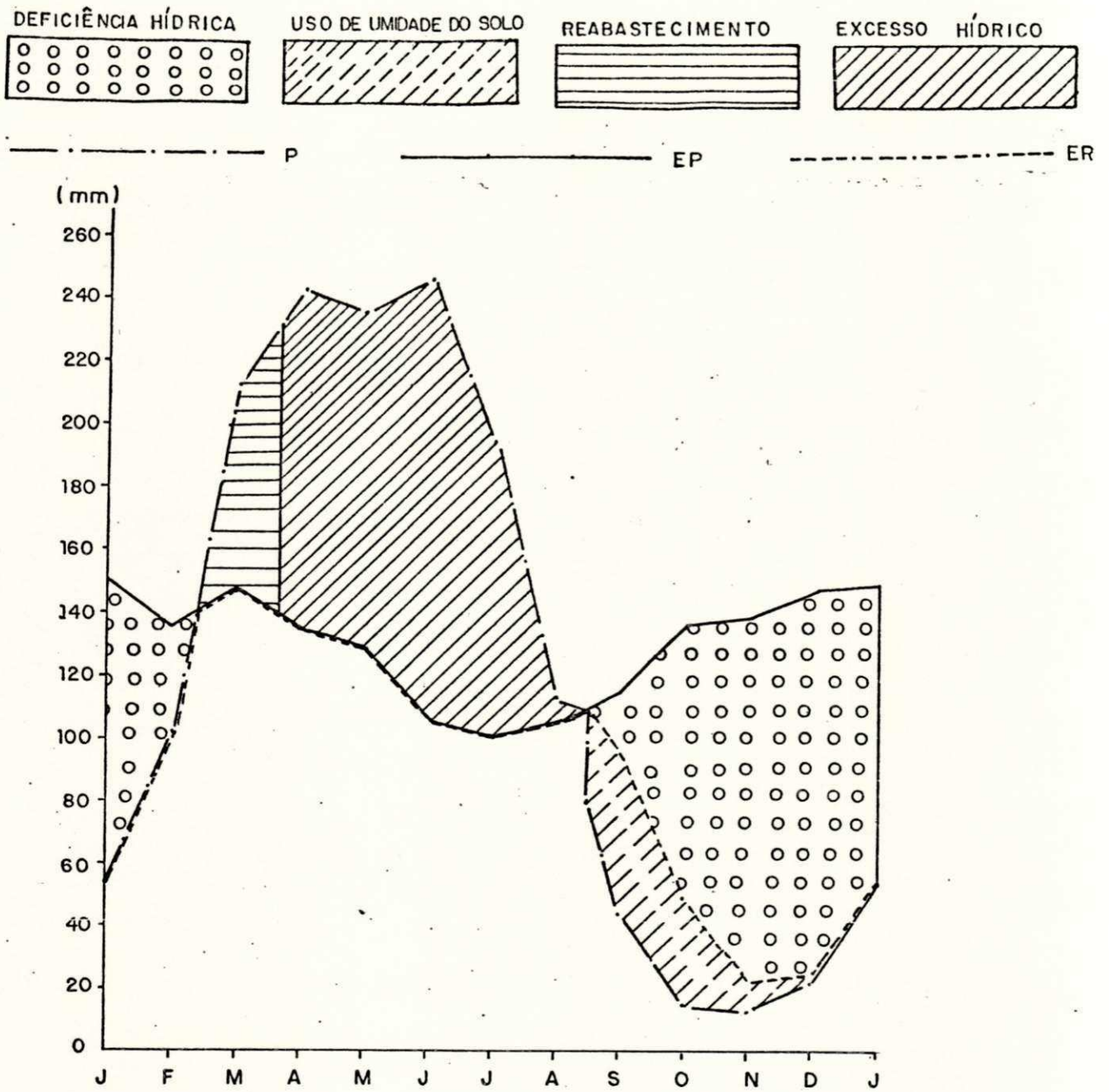


Figura 4.7 - Natal-RN. Balanço hídrico normal

onde ocorre o seu menor valor (101 mm), a partir daí o processo se inverte e a EP cresce continuamente até janeiro, onde verifica-se o seu máximo (150 mm).

De março a agosto, verificam-se totais mensais de precipitação superiores aos de EP, de tal forma que o solo até o início de abril fica completamente reabastecido, havendo a partir daí e até final de agosto o EH. De setembro a dezembro a ER foi maior do que P fato que levou o solo a se constituir em fonte de umidade para a evapotranspiração. A DH iniciada em setembro cresceu gradativamente até dezembro, onde ocorreu o seu maior valor (123 mm).

Para Natal, que possui fórmula climática C A' <sup>1</sup>sa', estudou-se uma série de 46 anos, a qual apresentou 21 secas. Destas, 10 foram moderadas, 7 fortes, 1 severa e 3 desastrosas, como mostra a Figura 4.8. A frequência das secas foi verificada no transcorrer da análise e de 1925 a 1934, foram constatadas 3 secas moderadas e 1 forte. Na segunda década (1935 a 1944), apenas 2 secas moderadas e 1 forte foram verificadas. De 1945 a 1954, 1 seca moderada, 2 fortes e 3 desastrosas ocorreram. Na última década registraram-se 3 secas moderadas, 2 fortes e 1 severa, além de 2 secas moderadas ocorridas nos anos de 1968 e 1970.

Especial atenção mereceram os anos de 1950 e 1951, como mostra a Tabela 4.3, tendo o primeiro enfrentado seca forte e o segundo desastrosa. Deve-se ressaltar que 1950 apresentou um total anual de precipitação apenas 3% menor do que o total de

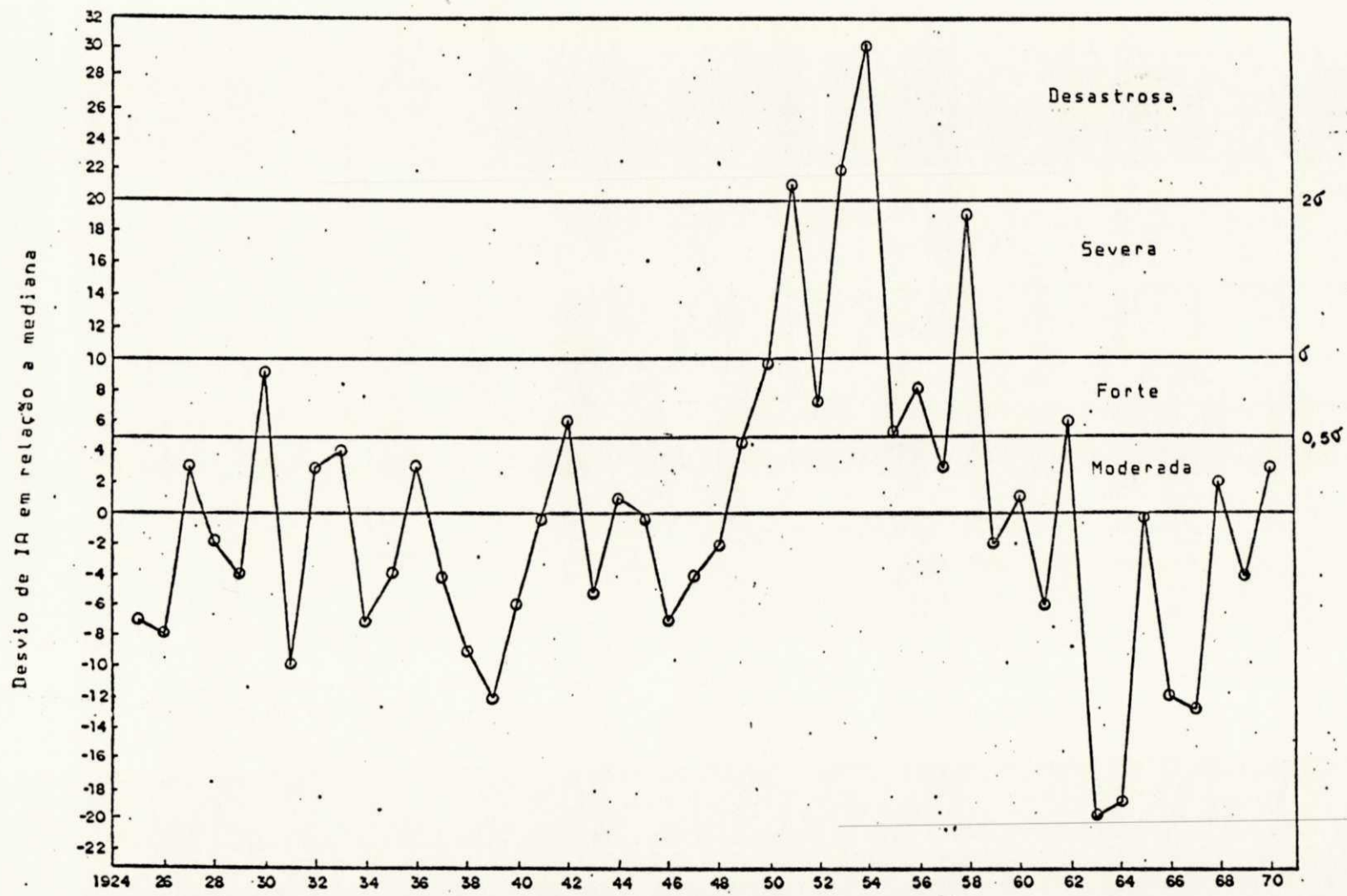


Figura 4.8 - Natal-RN. Marcha anual do índice de aridez

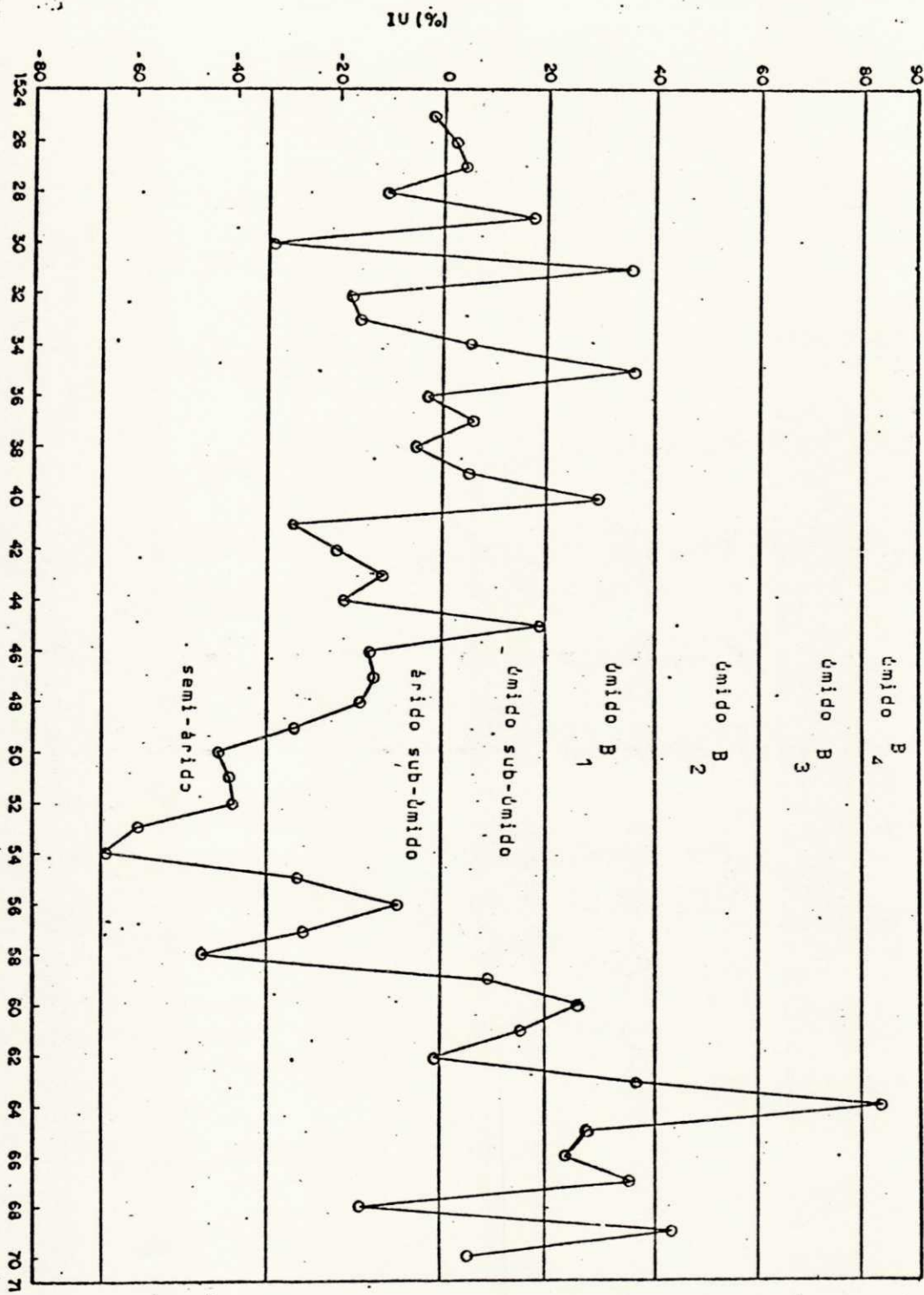


Figura 4.9 - Natal-RN. Mudanças climáticas temporárias

1951. Mais uma vez constata-se que a precipitação anual, unicamente, pode não caracterizar bem, e às vezes nem indicar, situações de seca.

A marcha anual do índice de umidade de Natal, que pode ser vista na Figura 4.9, mostra flutuações intensas. Constataram-se 26 mudanças, sendo 6 para faixas mais áridas e 20 para as mais úmidas. Verificou-se, ainda, que em 1927 Natal registrou seca moderada; por outro lado, 1938 não foi afetado por nenhum tipo de seca. Ocorre que 1927 apresentou um regime mais úmido que 1938, visto que o primeiro teve regime C<sub>1</sub> (úmido sub-úmido) e, o último, C<sub>2</sub> (árido sub-úmido), de onde se deduz que nem sempre um ano com seca apresenta um regime de umidade de igual magnitude.

Tabela 4.3 - Alguns Parâmetros dos BHs Normal e Seriado  
Localidade: Natal-RN

ANO	PARÂMETROS								
	P	EP	ER	DH	EH	IA	IH	IU	
NORMAL	1492	1547	1074	473	418	31	27	-04	
1950	883	1556	831	725	052	47	03	-44	
1951	906	1545	647	898	259	58	17	-41	

#### 4.1.4 - Análise dos Resultados de Anádia-AL

De acordo com a marcha mensal do BH do ano normal (Figura 4.10), Anádia apresentou um período de cinco meses (abril a agosto) nos quais a precipitação alcançou valores superiores a

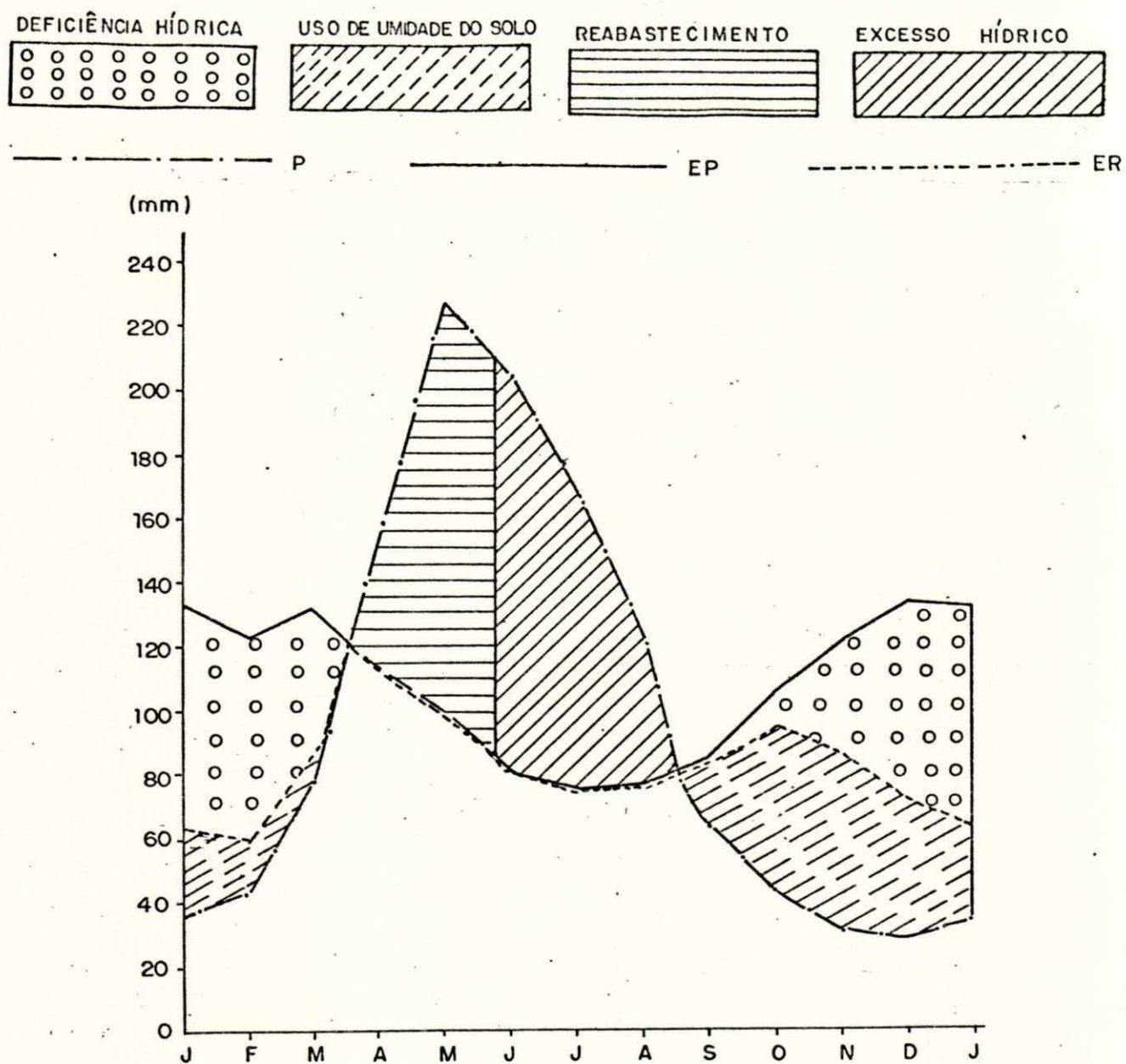


Figura 4.10 - Anádia-AL. Balanço hídrico normal



EP; contudo, somente no decorrer de junho é que o solo alcançou a sua capacidade de campo, quando então passou a ocorrer EH que foi verificado até o final de agosto; o que mostra que apenas três dos doze meses do ano apresentaram excesso hídrico. De setembro a março, a ER supera a precipitação, o que tornou o solo numa das fontes de umidade para o processo de evapotranspiração. Em setembro inicia-se a DH, que gradativamente assume valores crescentes até o mês de janeiro, onde apresenta seu máximo (70mm). As DHs dos meses de fevereiro e março são decrescentes e a EP, a partir de março, diminui consecutivamente até julho. A partir de agosto ela aumenta, chegando a alcançar seu maior valor em dezembro ( 134 mm ).

Anália, com uma série de 33 anos de dados e fórmula climática  $C A' da'$ , foi submetida a 13 secas, onde 6 foram do tipo moderada, 4 fortes e 3 severas, conforme mostrado na Figura 4.11. Nos dez primeiros anos constataram-se 1 seca moderada, 3 fortes e 1 severa; enquanto que de 1938 a 1947, 3 secas foram identificadas, sendo 2 moderadas e 1 forte. De 1948 a 1960, por sua vez, foram verificadas 3 secas moderadas e 2 severas..

Segundo os critérios de classificação adotados, 1937 foi um ano de seca severa e 1955 não experimentou qualquer tipo de seca. Ocorre, porém, que a precipitação anual de 1937, como mostra a Tabela 4.4, foi muito superior àquela registrada em 1955. Isto, sem dúvida, deve-se ao fato de ser a demanda hídrica também considerada quando da classificação de seca e não somente o total anual de chuva; é importante ressaltar que a DH de 1937 é

Desvio de IA em relação a mediana

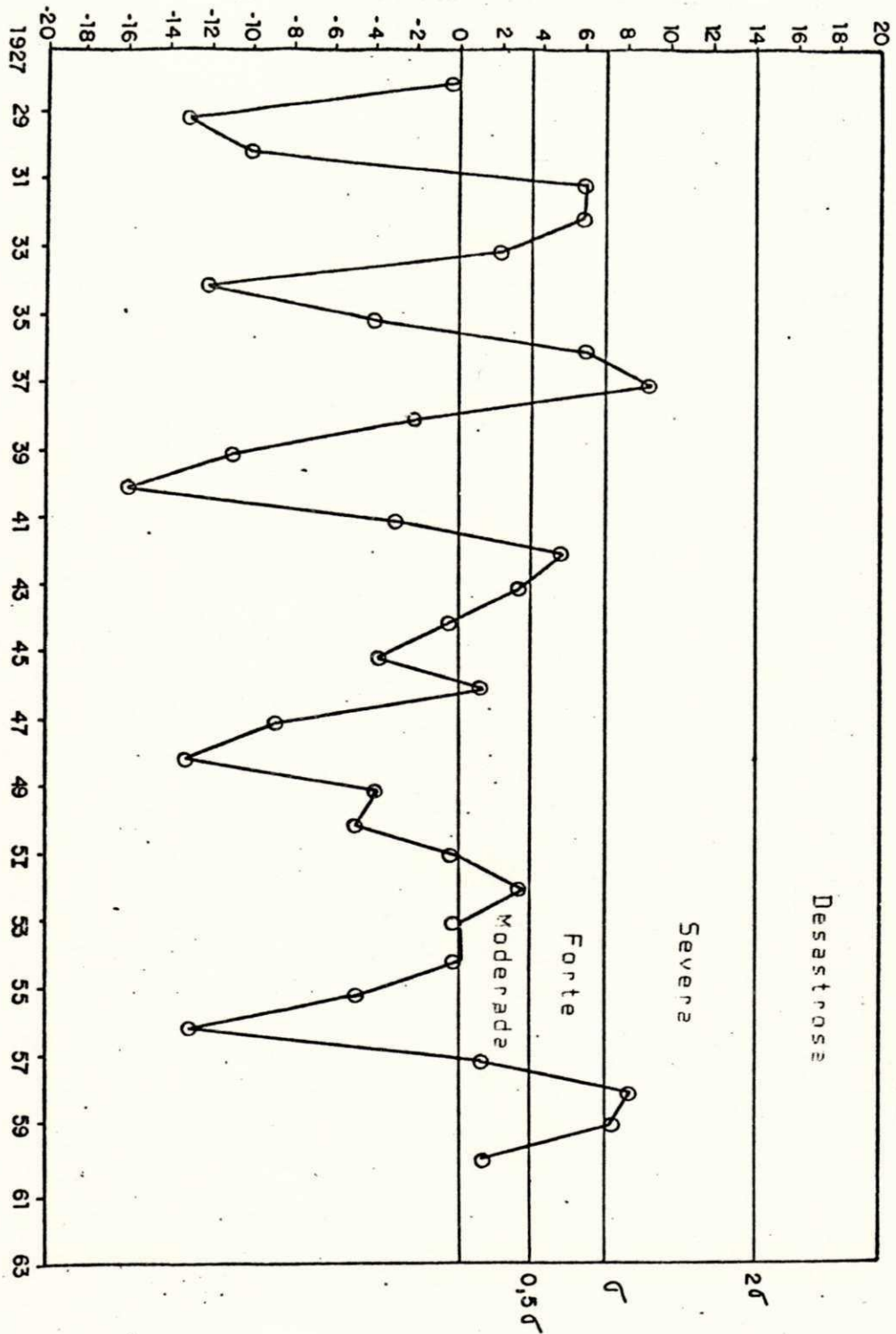


Figura 4.11 - Anádia-AL. Marcha anual do índice de aridez

61% superior a DH de 1955. Este fator, sem dúvida, contribuiu substancialmente com a ocorrência dessa seca.

Tabela 4.4 - Alguns Parâmetros dos BHs Normal e Seriado  
Localidade: Anádia-AL

ANO	PARÂMETROS								
	P	EP	ER	DH	EH	IA	IH	IU	
NORMAL	1200	1277	990	287	210	22	16	-06	
1937	1124	1246	789	458	336	37	27	-10	
1955	0949	1244	960	284	000	23	00	-23	

De acordo com os resultados obtidos quando da análise da marcha anual do índice de umidade, Anádia registrou 9 mudanças no seu regime de umidade, sendo que apenas 1 foi para posição mais árida e as demais para situações mais úmidas, como ilustra a Figura 4.12. A variabilidade climática temporária dessa localidade se situou em torno dos 27%, o que corresponde praticamente a manter-se segundo a classe climática em três dentre quatro anos, apresentando-se com uma boa estabilidade sob o aspecto de umidade do solo. Por outro lado, também é importante ressaltar que 1937 e 1955 apresentaram um mesmo tipo de regime de umidade, C (árido sub-úmido); no entanto, o primeiro foi submetido a <sup>1</sup>seca do tipo severa enquanto que o segundo não experimentou nem um tipo de seca.

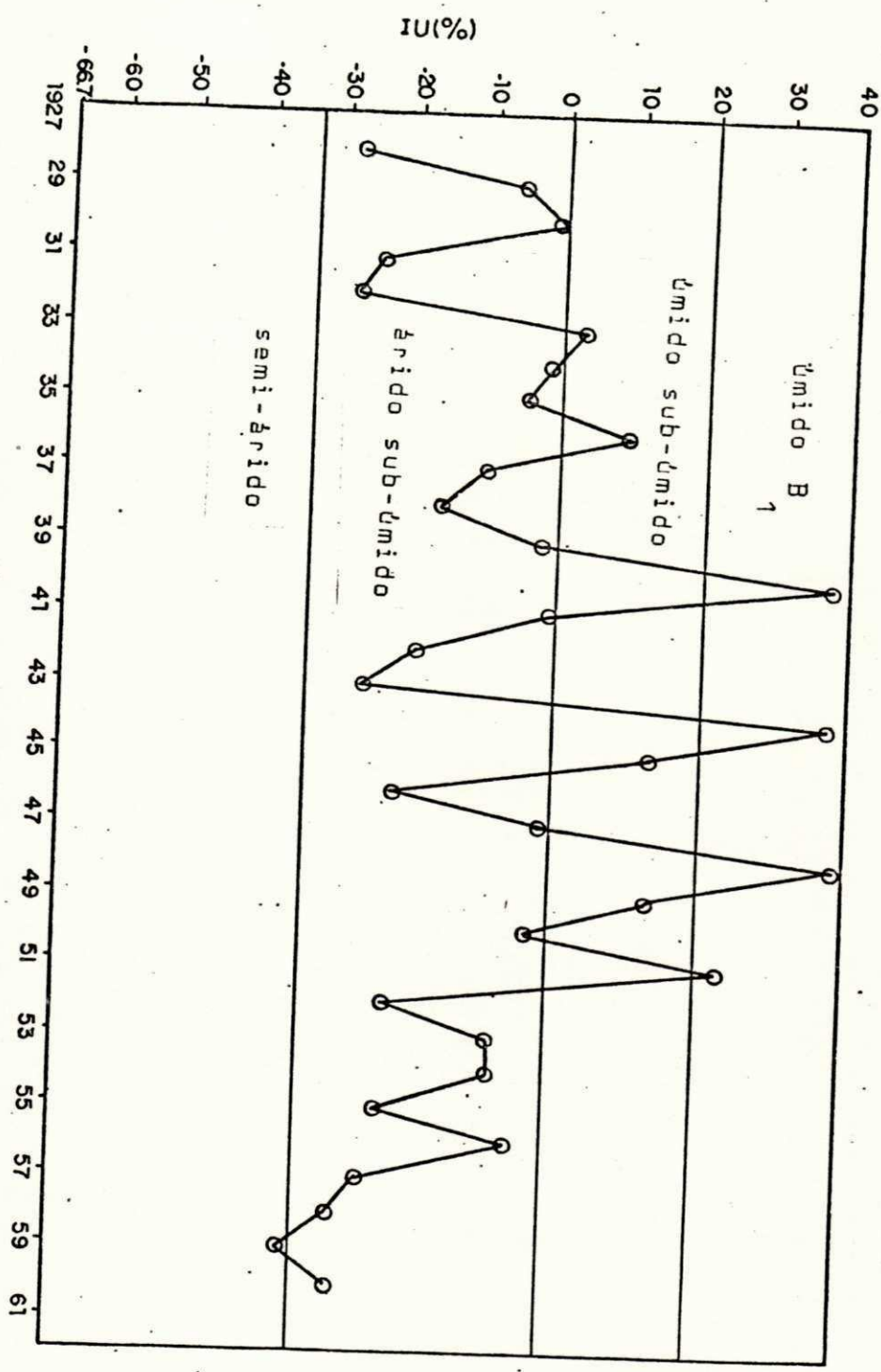


Figura 4.12 - Anádia-AL. Mudanças climáticas temporárias

#### 4.1.5 - Análise dos Resultados de Alagoínhas-BA

A marcha mensal do BH normal de Alagoínhas (Figura 4.13) mostra que de abril a agosto a precipitação alcançou maiores totais do que a EP. O solo teve a sua capacidade de campo reestabelecida no início do mês de julho. Durante os meses de julho e agosto verificou-se excedente hídrico (EH). De setembro a março a ER supera a precipitação, quando nesse período o solo se apresenta também como fonte de umidade para a evapotranspiração. Iniciada em setembro e findada em março, a DH cresceu gradativamente até fevereiro, quando foi constatado o seu máximo (55mm).

Alagoínhas, com fórmula climática C A' da', em 25 anos foi atingida por 12 secas, conforme mostra a Figura 4.14. Nesse período, verificaram-se 4 secas moderadas, 4 fortes, 2 severas e 2 desastrosas. Por década as distribuições dessas secas apresentaram-se da seguinte forma: de 1942 a 1951, registraram-se 2 secas moderadas, 1 forte, 1 severa e 2 desastrosas; de 1952 a 1961, observaram-se 2 secas moderadas, 3 fortes e 1 severa.

Na Figura 4.15 são mostrados os BHs de 1951 e 1957. Os valores de EP nestes dois anos são aproximadamente os mesmos, 1.308 e 1.319 mm, respectivamente. Como mostrado na Tabela 4.5, em 1957 a precipitação foi menor do que a de 1951; contudo, a DH em 1957 foi de 178 mm, enquanto que em 1951 a DH foi muito maior, ou seja, igual a 458 mm. Entretanto, Alagoínhas experimentou seca de terceiro grau (severa) em 1951; enquanto que em 1957 não houve seca de nenhuma classe. Este tipo de situação

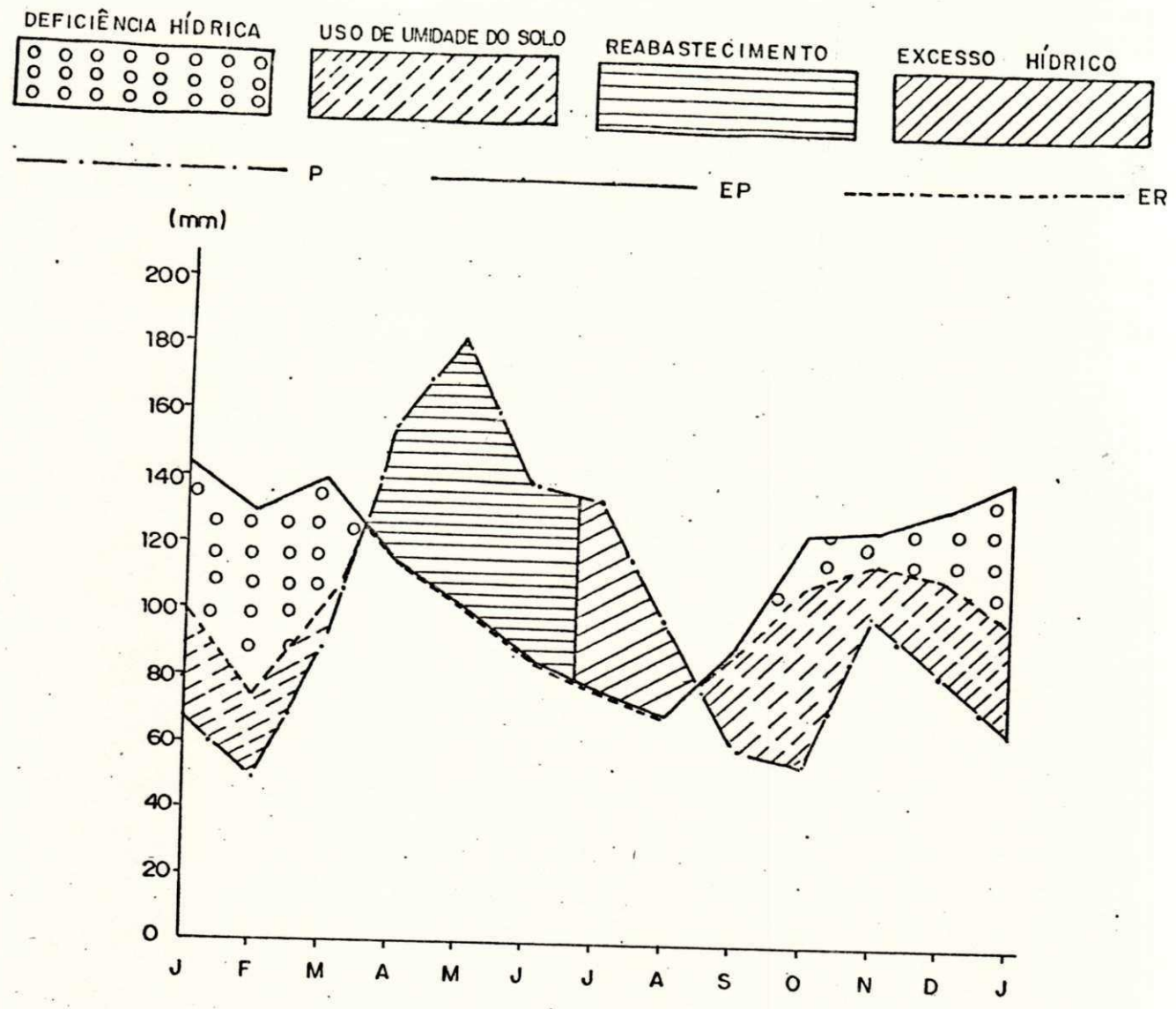


Figura 4.13 - Alagoinhas-BA. Balanço hídrico normal

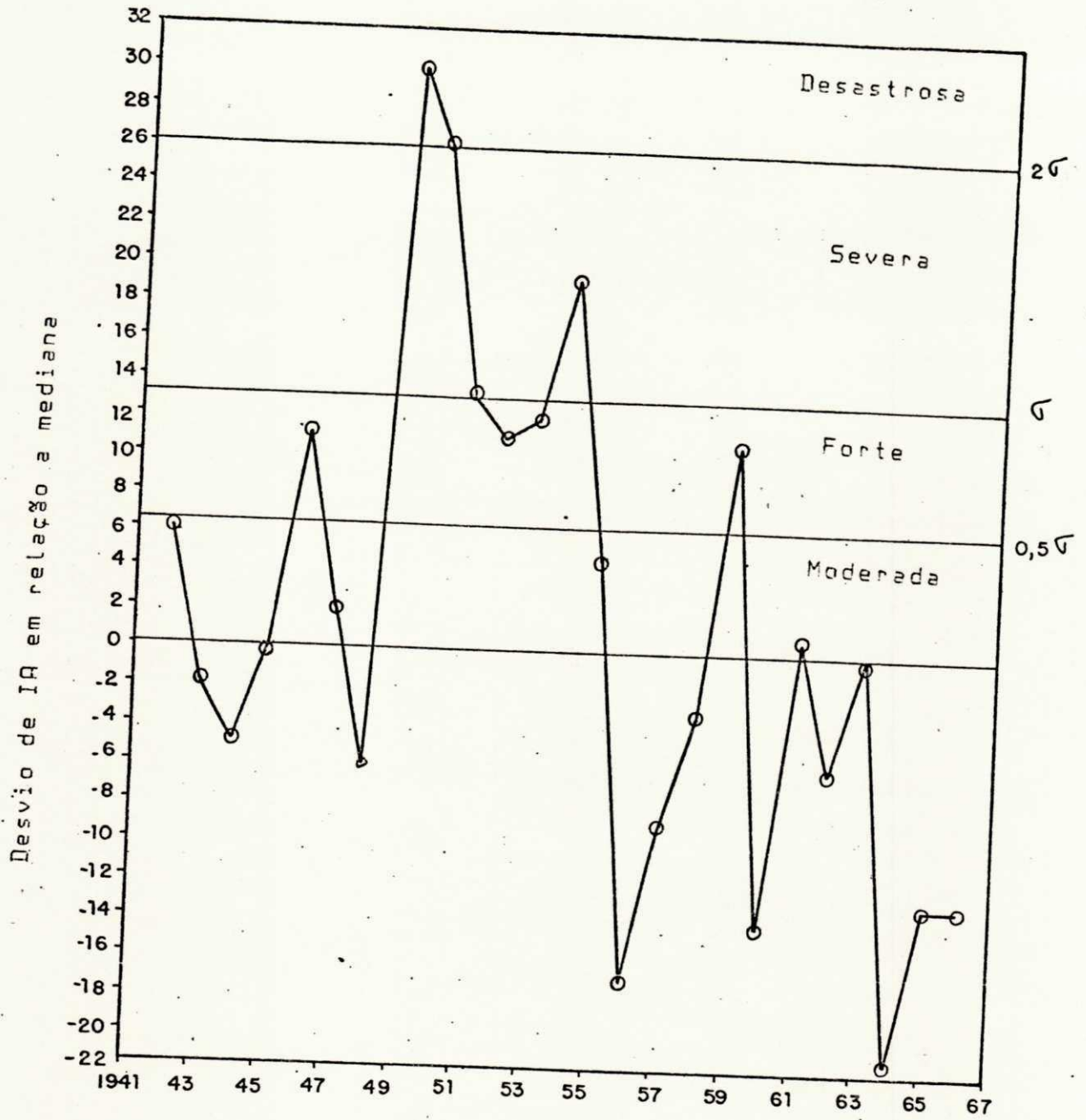


Figura 4.14 - Alagoas-BR. Marcha anual do índice de aridez

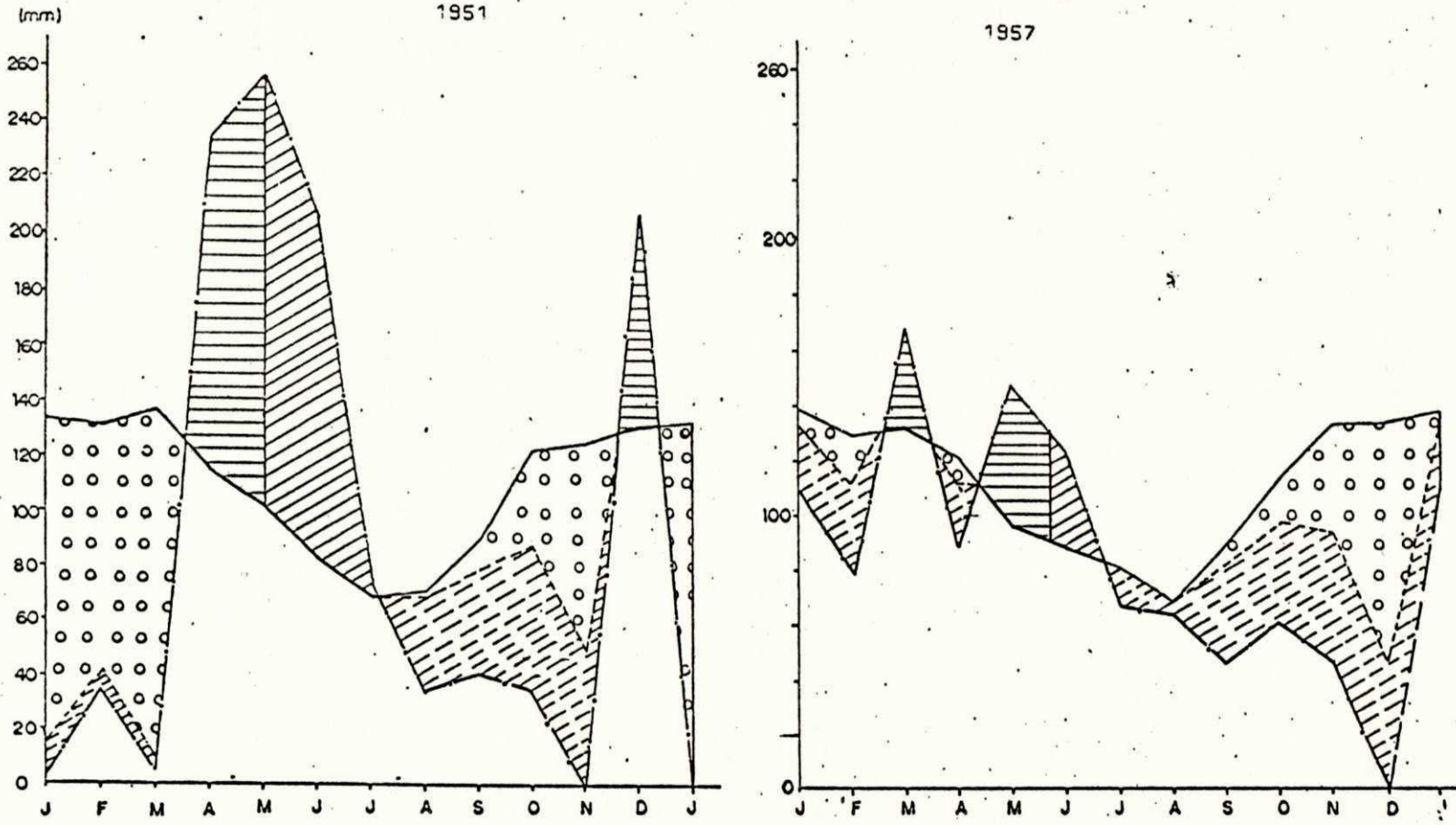
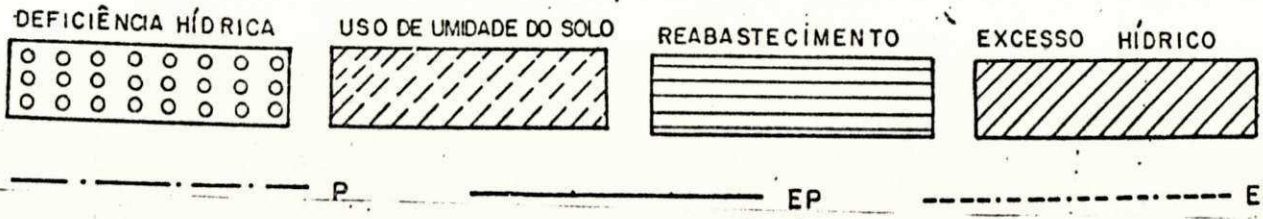


Figura 4.15 - Alagoinhas-BA. Balanços hídricos



apresentado, obviamente causado pela má distribuição da precipitação durante o ano, pode resultar em classificações comprometedoras de intensidades de secas quando a análise é baseada exclusivamente em valores de precipitação.

Tabela 4.5 - Alguns Parâmetros dos BHs Normal e Seriado  
Localidade: Alagoinhas-BA

ANO	PARÂMETROS								
	P	EP	ER	DH	EH	IA	IH	IU	
NORMAL	1201	1332	1147	185	54	14	04	-10	
1951	1134	1308	0850	458	161	35	12	-23	
1957	1001	1319	1141	178	006	13	00	-13	

O regime de umidade de Alagoinhas dá conta de que ocorreram 12 variações, sendo que 4 dirigiram-se para posições mais áridas e 8 para as mais úmidas, como é mostrado na Figura 4.16. Note-se que nesta localidade as mudanças climáticas temporárias alcançaram cerca de 50% dos anos analisados, caracterizando uma grande variabilidade interanual.

Observa-se ainda com relação às mudanças climáticas temporárias e intensidades de secas que 1951 e 1957 apresentaram o mesmo tipo de regime de umidade, qual seja: C (árido sub-úmido). No entanto, 1951 foi submetido a seca de terceiro grau (severa) enquanto que 1957 não experimentou nem um tipo de seca.

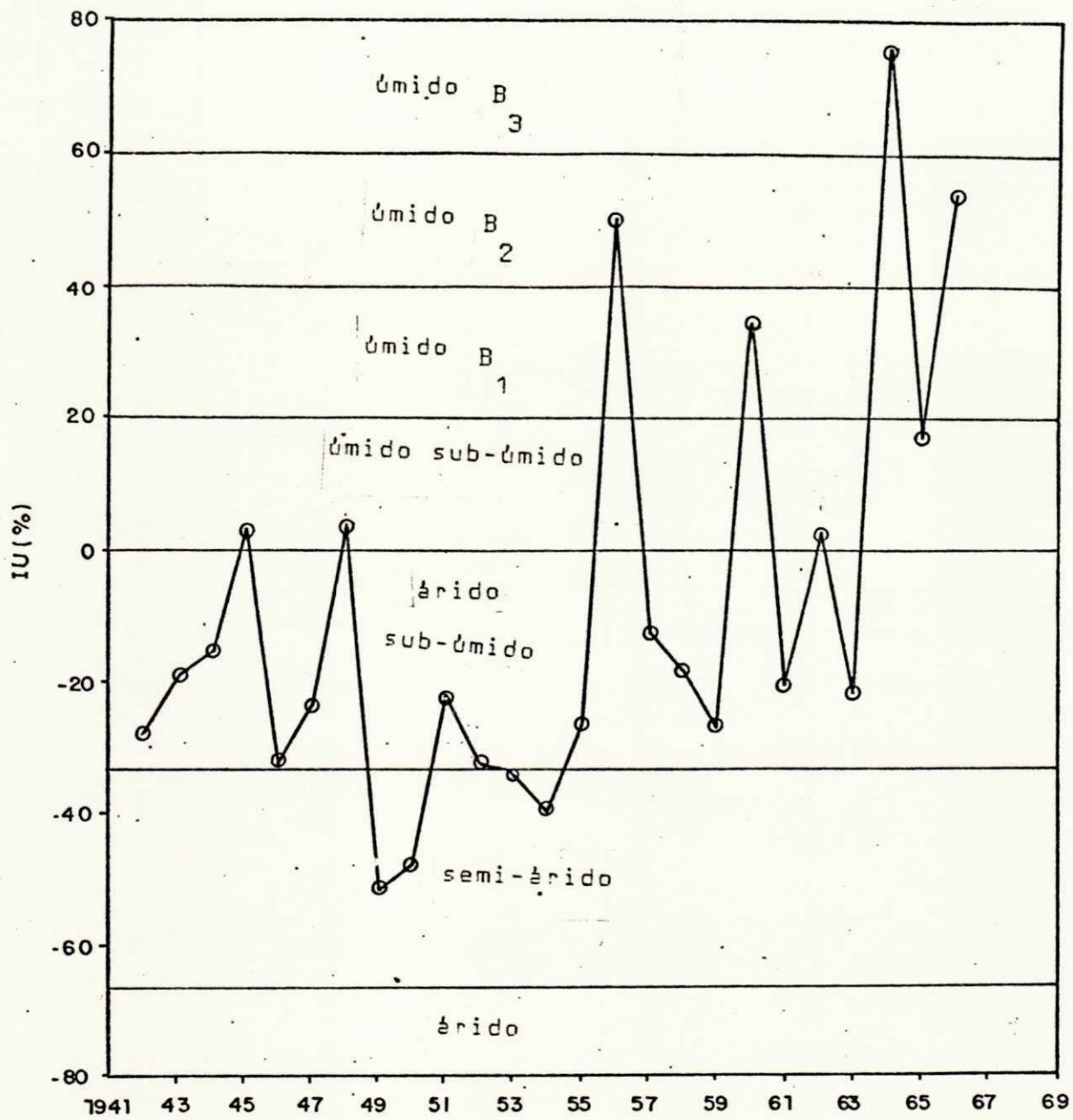


Figura 4.16 - Alagoínhas-BA. Mudanças climáticas temporárias

#### 4.1.6 - Análise dos Resultados de Umbuzeiro-PB

A marcha mensal do BH normal de Umbuzeiro (Figura 4.17) mostra que de maio a julho, os totais mensais de precipitação foram maiores do que os de EP; no entanto, não houve EH nesse período. De agosto a abril a ER mostra-se superior à precipitação e nesse mesmo período o solo contribuiu também com o fornecimento de umidade no processo de evapotranspiração. De agosto a abril ocorreu DH, sendo que de agosto a dezembro essa DH se mostrou crescente e, a partir de janeiro, decrescente.

No estudo da série temporal de Umbuzeiro, que apresenta-se com 30 anos de dados e que tem fórmula climática  $C B' da'$ , detectaram-se 14 secas, como mostra a Figura 4.18. No decorrer desse período, 3 secas moderadas, 5 fortes, 4 severas e 2 desastrosas foram registradas, sendo que na primeira década (1931 a 1941), ocorreram 1 seca moderada, 3 fortes e 3 severas. De 1942 a 1951, somente 1 seca moderada foi observada, porém de 1952 a 1961, notaram-se 1 seca moderada, 2 fortes, 1 severa e 2 desastrosas. De acordo com esses resultados, conclui-se que 47% dos anos analisados apresentaram seca de algum tipo.

A marcha anual do índice de umidade assegura que o maior número de oscilações (14) no regime de umidade se dirigiu para situações mais áridas, visto que somente 1 mudança foi registrada para o mais úmido, como é mostrado na Figura 4.19.

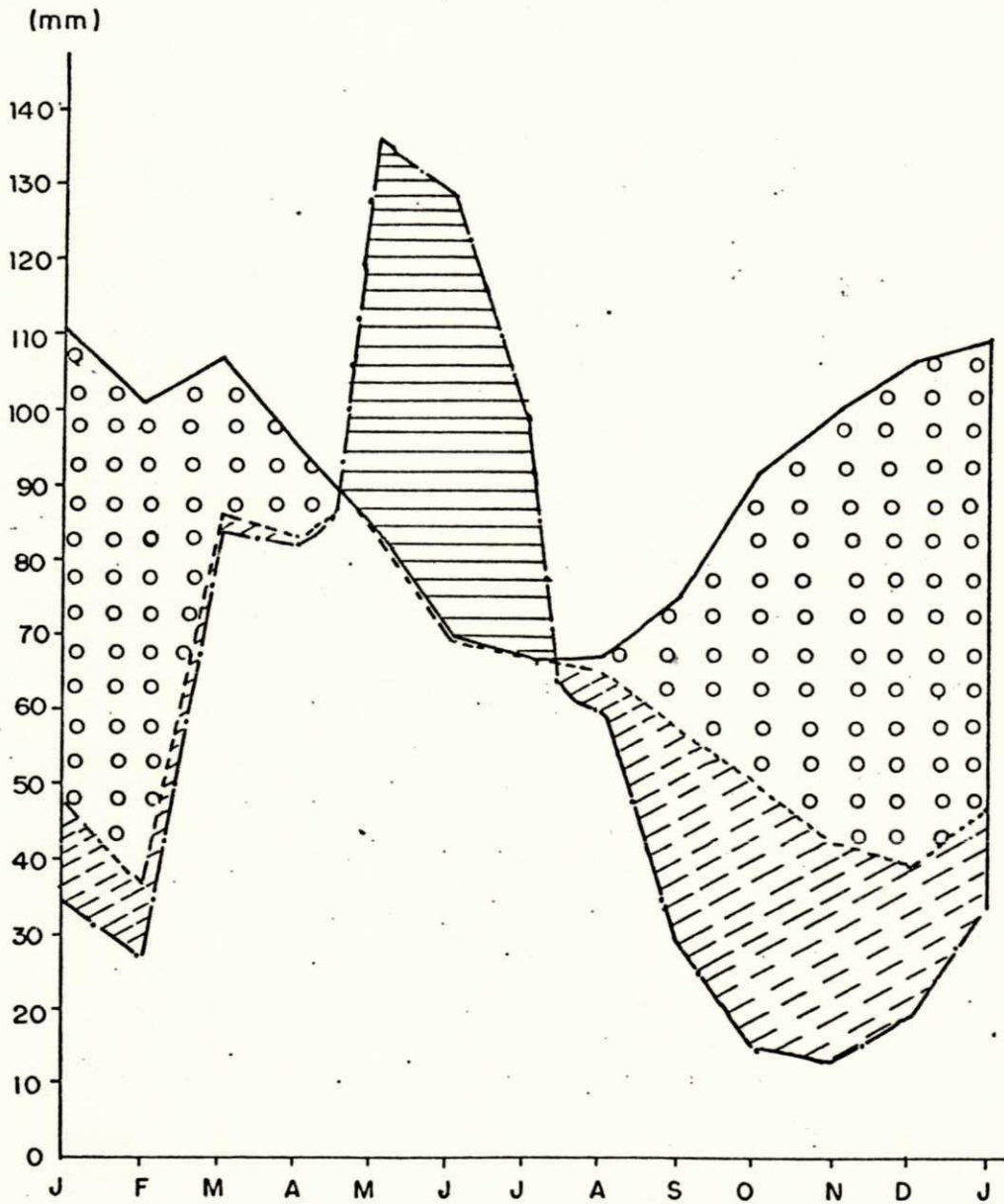
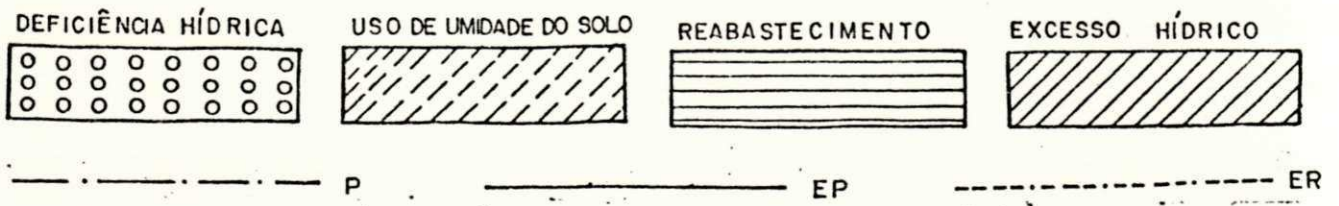


Figura 4.17 - Umbuzeiro-PB. Balanço hídrico normal

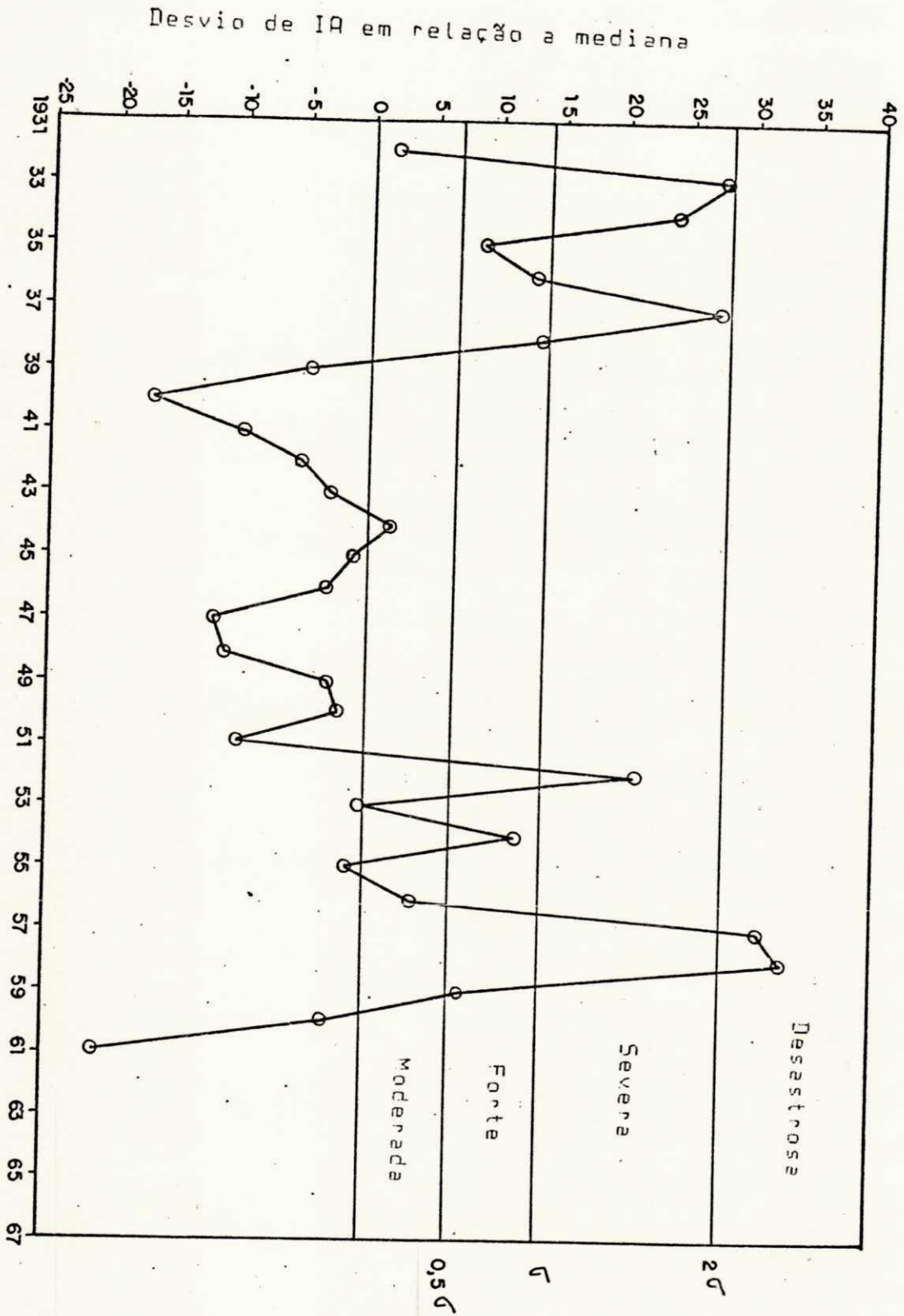


Figura 4.18 - Umbuzeiro-PB. Marcha anual do Índice de aridez

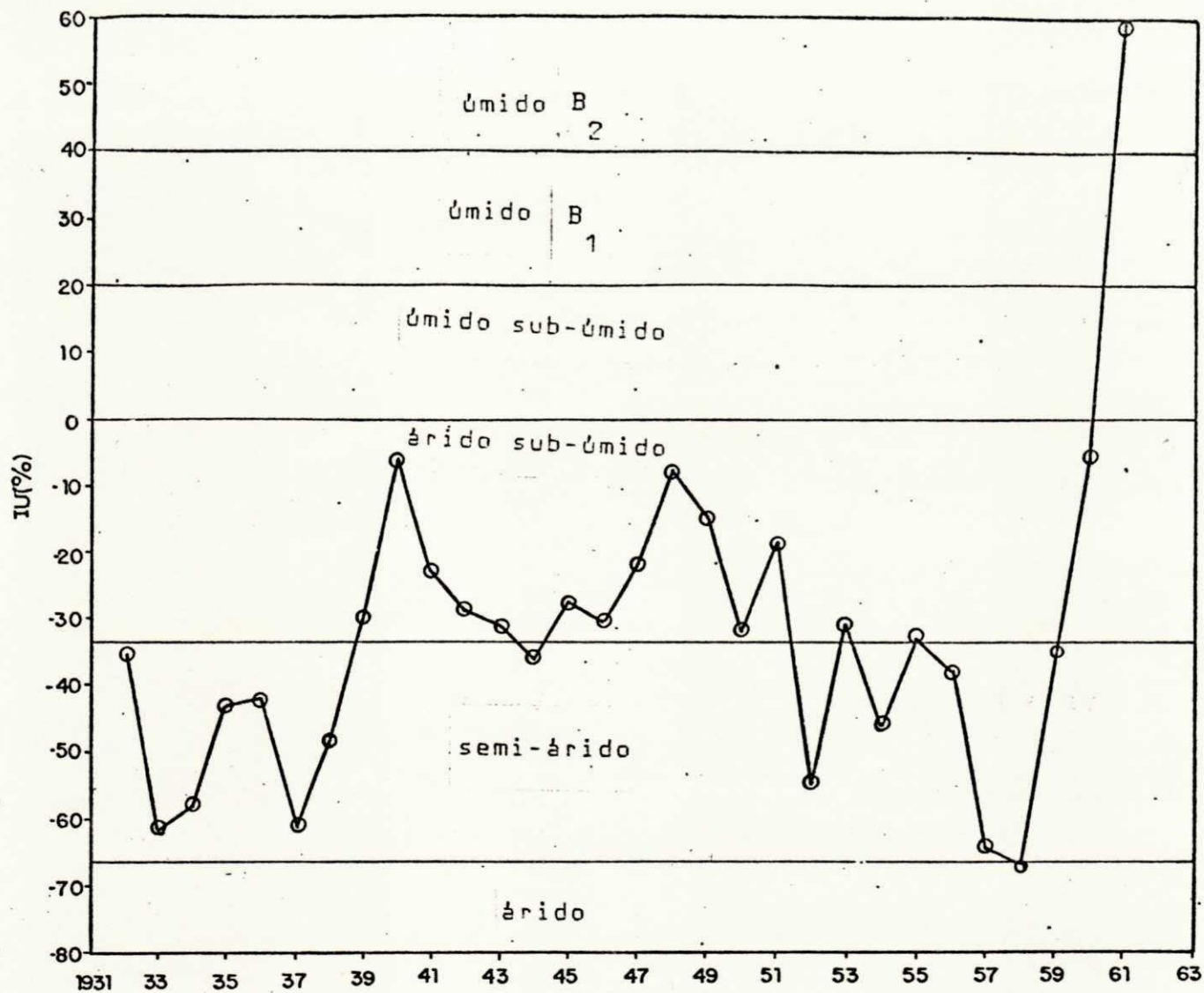


Figura 4.19 - Umbuzeiro-PB. Mudanças climáticas temporárias

#### 4.1.7 - Análise dos Resultados de Quixadá-CE

O BH normal de Quixadá (Figura 4.20) indica que de fevereiro a abril a precipitação foi maior do que a EP. Neste intervalo de tempo a precipitação foi suficiente apenas para iniciar o processo de reabastecimento do solo que, por sua vez, não alcançou a sua capacidade de campo. De maio até janeiro a EP se manteve acima da precipitação, tendo também nesse período ocorrido DH.

Para uma série com 26 anos Quixadá, que possui fórmula climática DA'da', registrou 13 secas, sendo 6 moderadas, 2 fortes, 4 severas e 1 desastrosa, como apresentado na Figura 4.21. Esses resultados mostram que 50% dos anos no período estudado experimentaram algum tipo de seca.

O número de anos com secas de cada categoria no decorrer de cada década foi observado. Na primeira década (1925 a 1934), verificaram-se 2 secas moderadas, 1 forte, 2 severas e 1 desastrosa. De 1935 a 1944, identificaram-se 2 secas moderadas, 1 forte e 2 severas, além de 2 secas moderadas constatadas entre os anos de 1945 e 1950.

De acordo com a marcha anual do índice de umidade, poucas foram as oscilações no regime de umidade de Quixadá. Neste sentido, detectaram-se 5 mudanças para o mais árido e 2 para o mais úmido, como mostra a Figura 4.22.

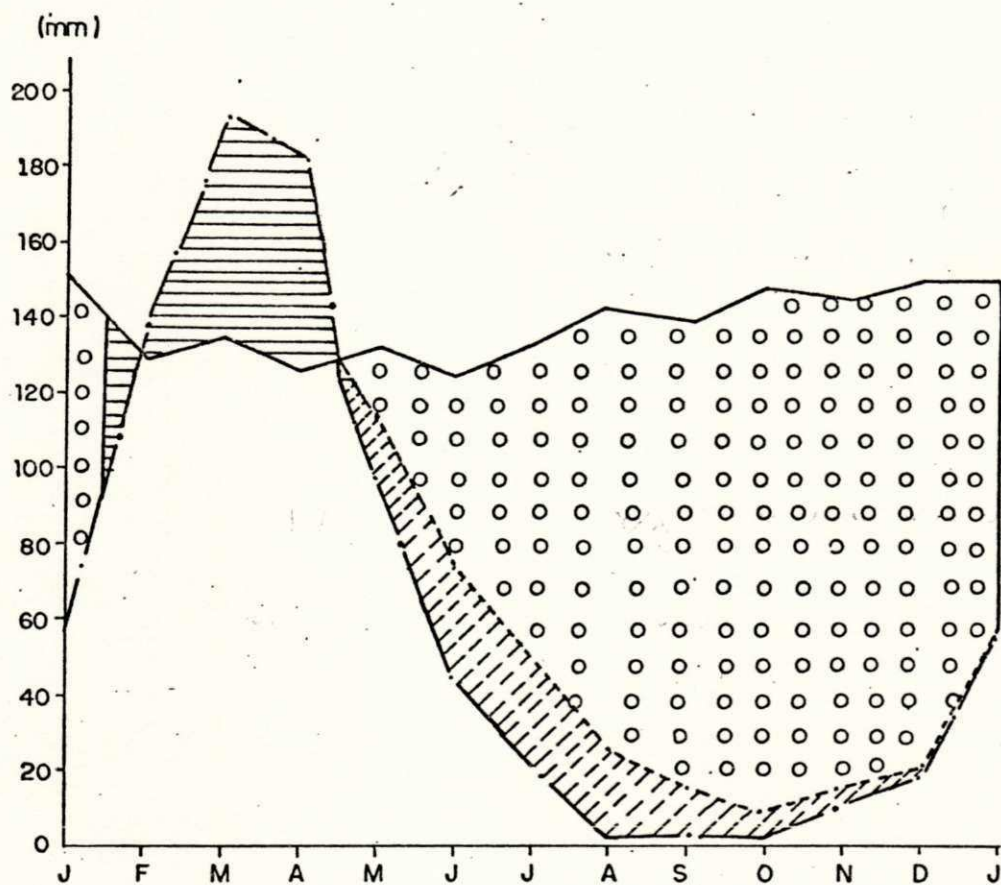
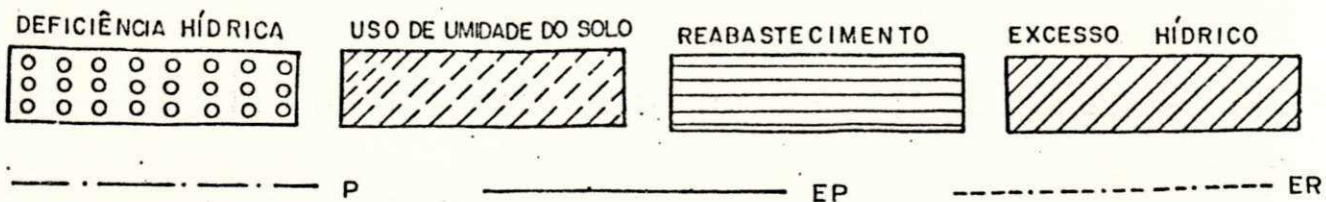


Figura 4.20 - Quixadá-CE. Balanço hídrico normal



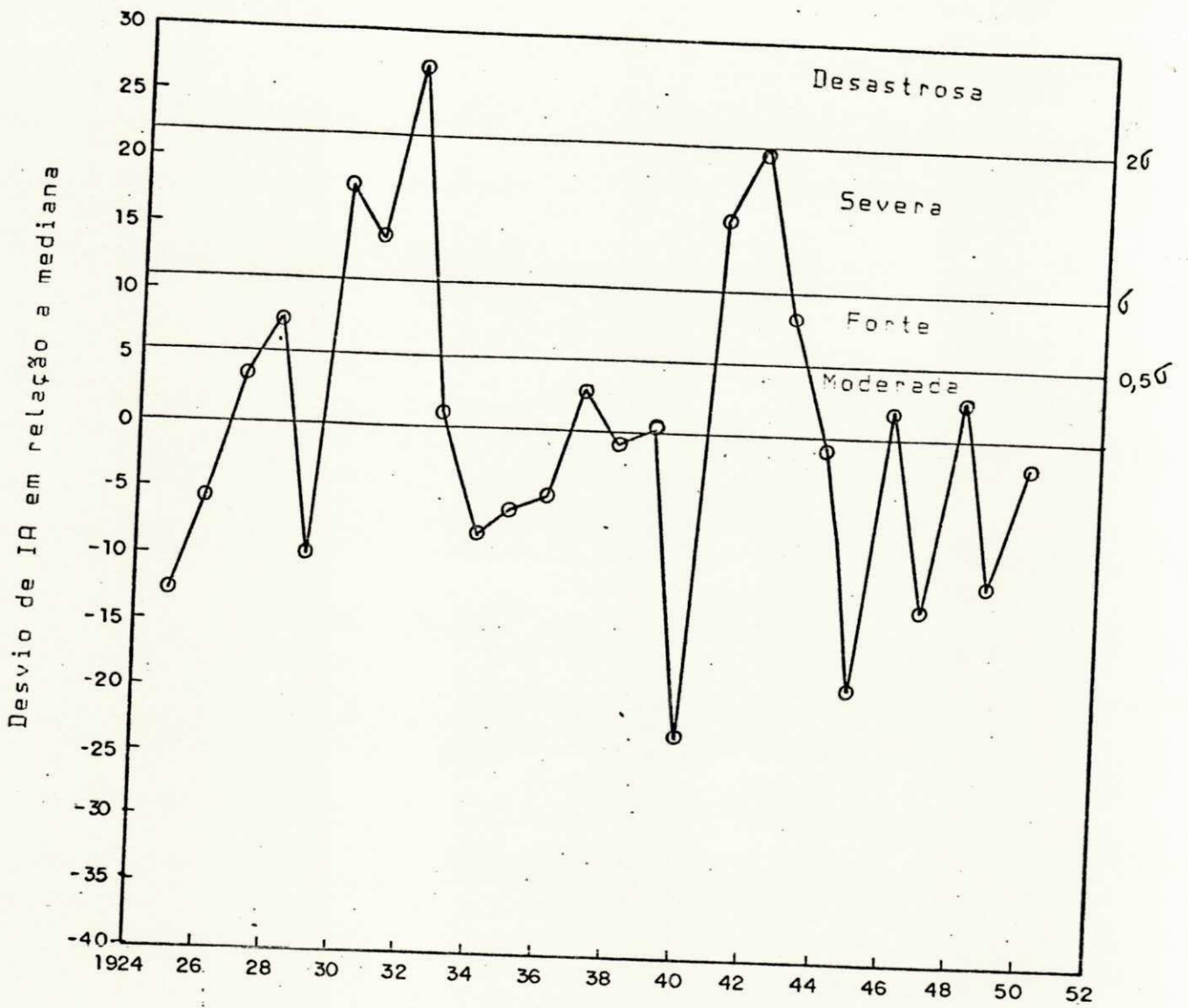


Figura 4.21 - Quixadá-CE. Marcha anual do índice de aridez

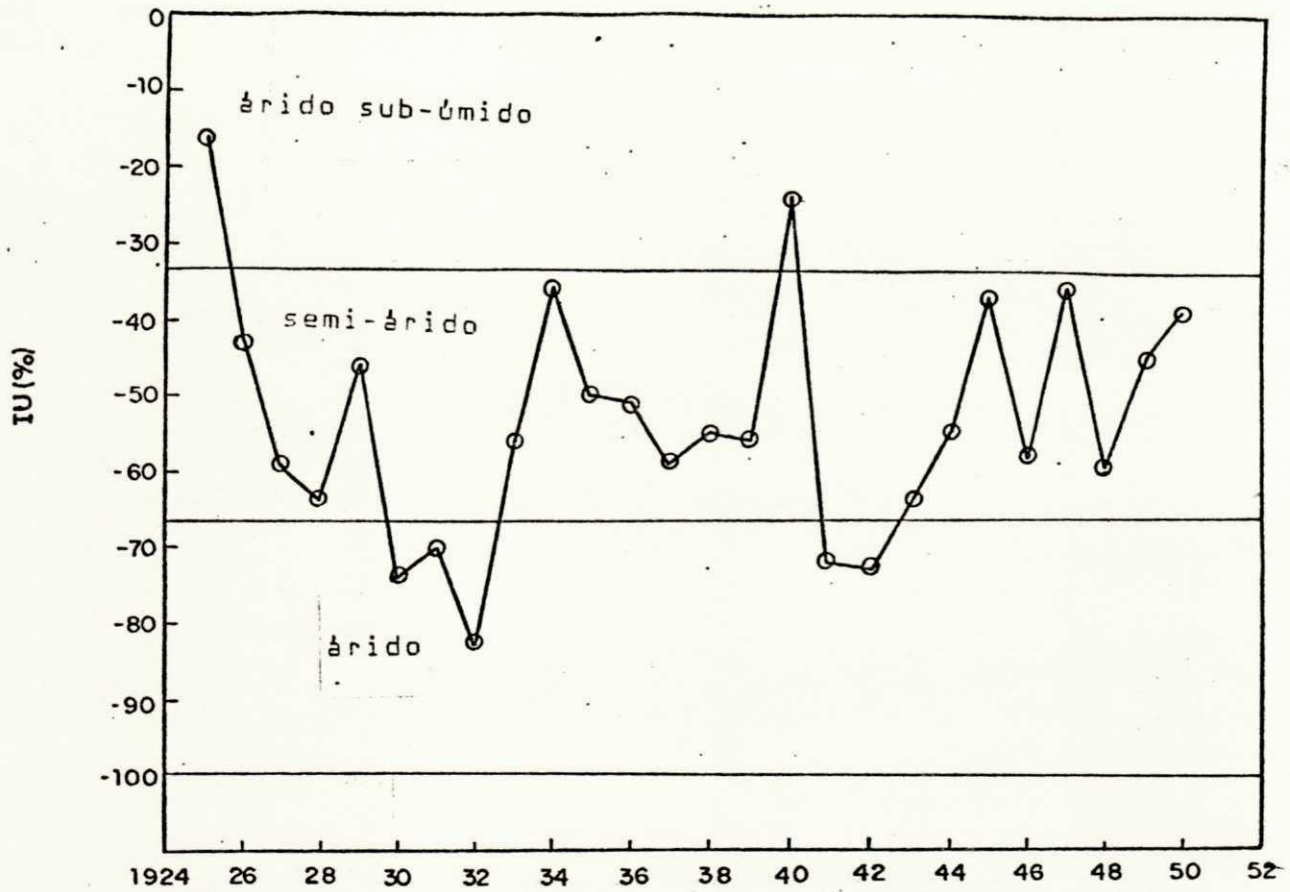


Figura 4.22 - Quixadá-CE. Mudanças climáticas temporárias

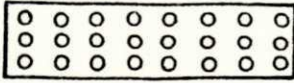
#### 4.1.8 - Análise dos Resultados de Quixeramobim-CE

O BH do ano normal de Quixeramobim (Figura 4.23), mostrou que não ocorreu EH em nenhum dos meses do ano; porém, nos meses de março e abril a precipitação foi maior do que a EP. Por outro lado, verificou-se a existência de DH de maio a fevereiro.

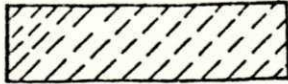
Na série estudada de 39 anos, registraram-se 18 secas em Quixeramobim, que tem fórmula climática DA'da'. Destas, 6 foram moderadas, 3 fortes, 8 severas e 1 desastrosa. Para cada década do período verificou-se a frequência de anos com seca. De 1925 a 1934, foram observadas 1 seca moderada, 1 forte, 2 severas e 1 desastrosa. De 1935 a 1944, apenas 3 secas severas foram observadas. Na última década (1945 a 1954), constataram-se 1 seca moderada, 2 fortes e 2 severas, além de 4 secas moderadas e 1 severa, registradas entre os anos de 1955 e 1963, como é mostrado no Figura 4.24.

Estudando-se as mudanças climáticas temporárias de Quixeramobim-CE através da marcha anual do Índice de umidade, constataram-se 13 flutuações em relação ao regime de umidade normal que foi do tipo D (semi-árido). Do total de oscilações ocorridas, apenas 1 foi para o mais úmido; as demais seguiram para as situações mais áridas, como podem ser vistas através da figura Figura 4.25.

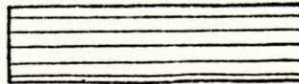
DEFICIÊNCIA HÍDRICA



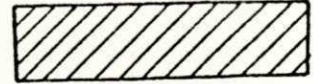
USO DE UMIDADE DO SOLO



REABASTECIMENTO



EXCESSO HÍDRICO



P

EP

ER

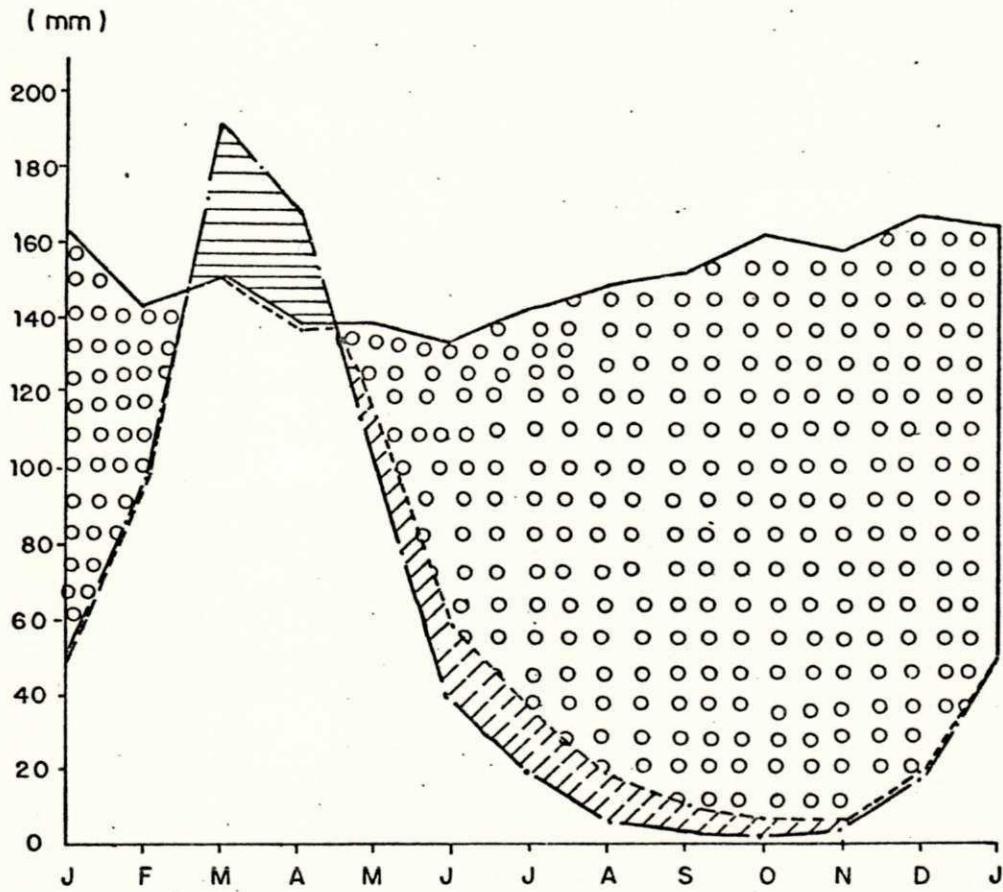


Figura 4.23 - Quixeramobim-CE. Balanço hídrico normal

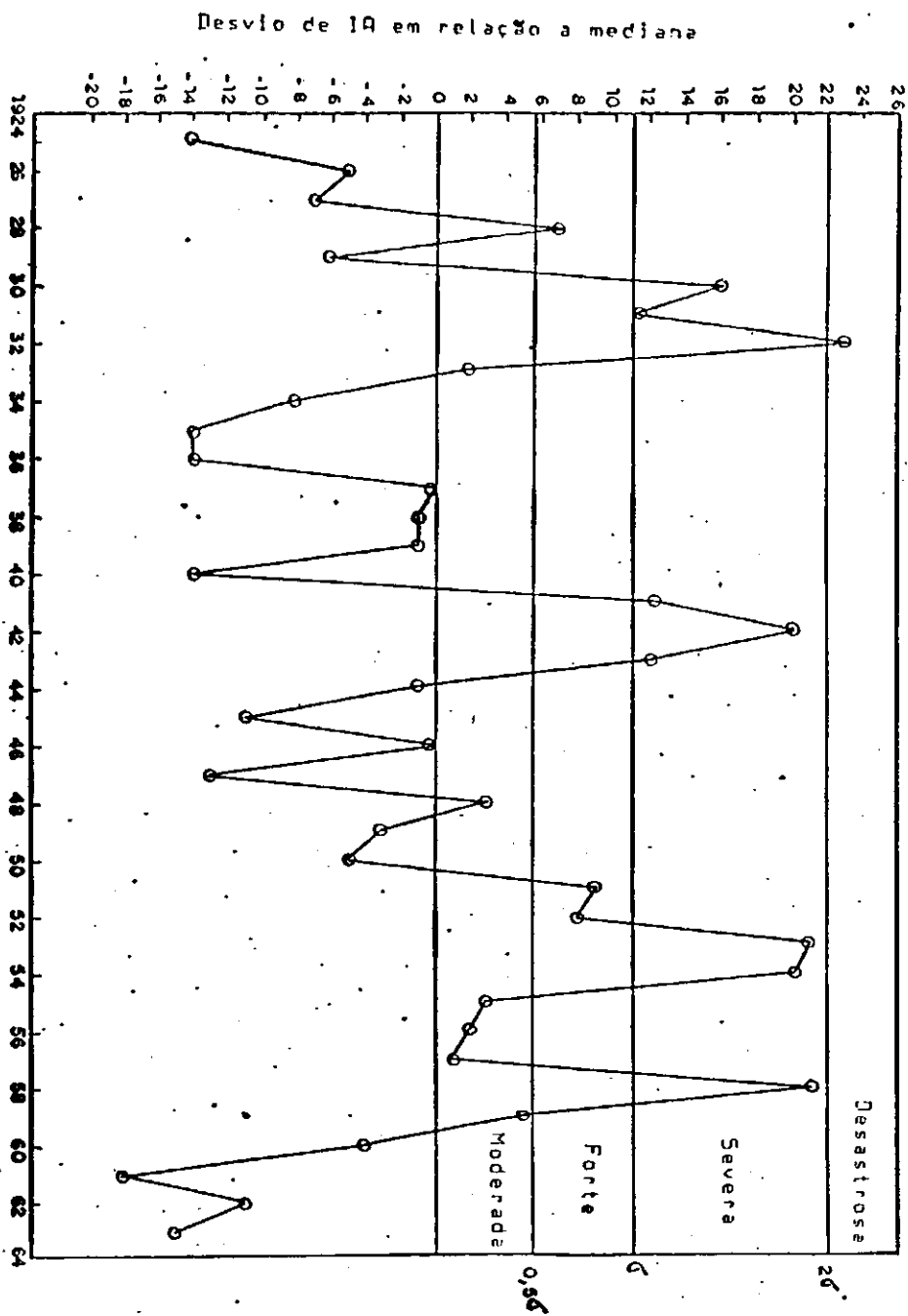


Figura 4.24 - Duixeramobim-CE. Marcha anual do Índice de aridez

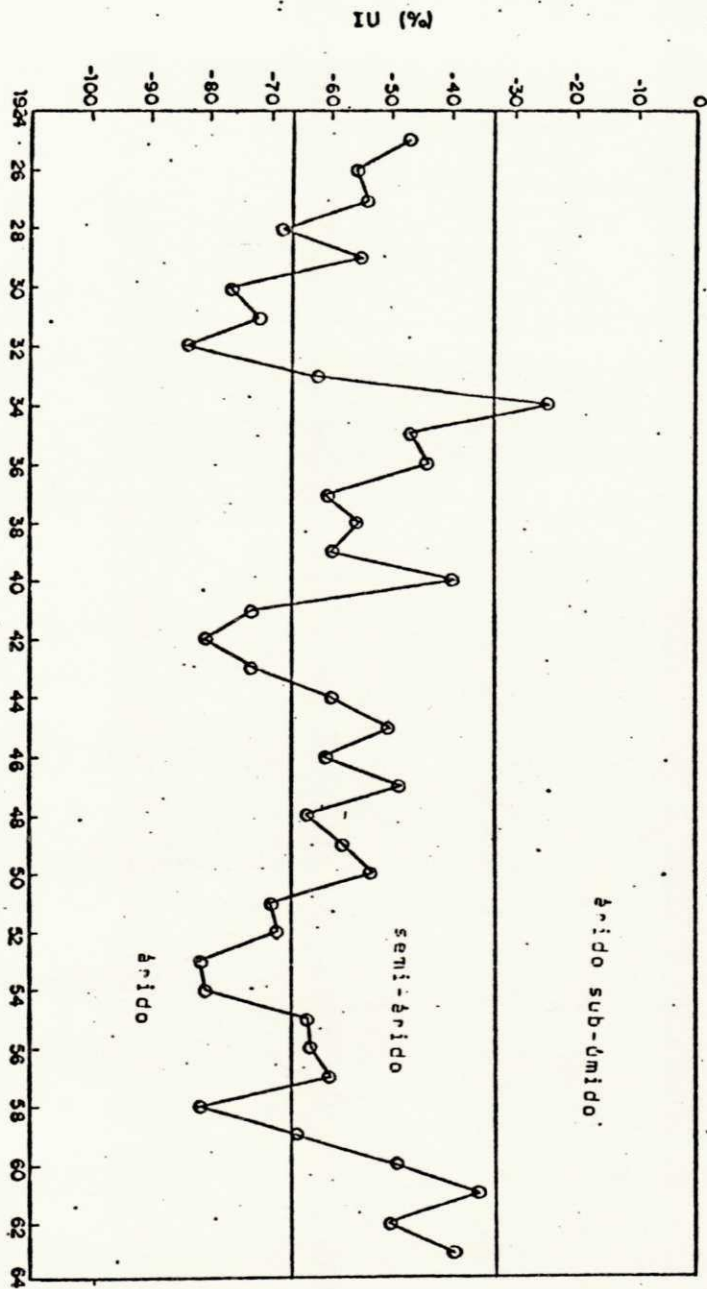


Figura 4.25 - Quixeramobim-CE. Mudanças climáticas temporárias

#### 4.1.9 - Análise dos Resultados de Iguatu-CE

Como é mostrado através do BH normal de Iguatu (Figura 4.26), somente nos meses de fevereiro, março e abril a precipitação foi maior do que a EP; entretanto, nesse período não ocorreu EH. A precipitação registrada nesse mesmo período contribuiu para o reabastecimento do solo que esteve com déficit hídrico de maio a janeiro. De maio a dezembro a ER foi maior do que a precipitação, motivo pelo qual o solo cedeu umidade que foi utilizada no processo de evapotranspiração.

Dos 48 anos analisados Iguatu, que apresenta fórmula climática DA'da', foi submetido a 23 secas, como mostra a Figura 4.27. Deste total de secas, 7 foram do tipo moderada, 9 fortes, 6 severas e 1 desastrosa, as quais foram distribuídas no decorrer dos anos da seguinte maneira: de 1925 a 1934, registraram-se 1 seca moderada, 2 fortes e 3 severas; de 1935 a 1944, observaram-se 3 secas fortes, 1 severa e 1 desastrosa; de 1945 a 1954 foram identificadas 4 secas, sendo 1 moderada, 2 fortes e 1 severa; de 1955 a 1964, verificaram-se 3 secas moderadas, 2 fortes e 1 severa, além de 2 secas moderadas ocorridas entre os anos de 1965 e 1972.

De acordo com a marcha anual do índice de umidade, analisaram-se as mudanças climáticas temporárias de Iguatu. Concluiu-se que existiram 18 oscilações climáticas, sendo 11 para faixas mais áridas e 7 para mais úmidas, conforme mostradas na Figura 4.28.

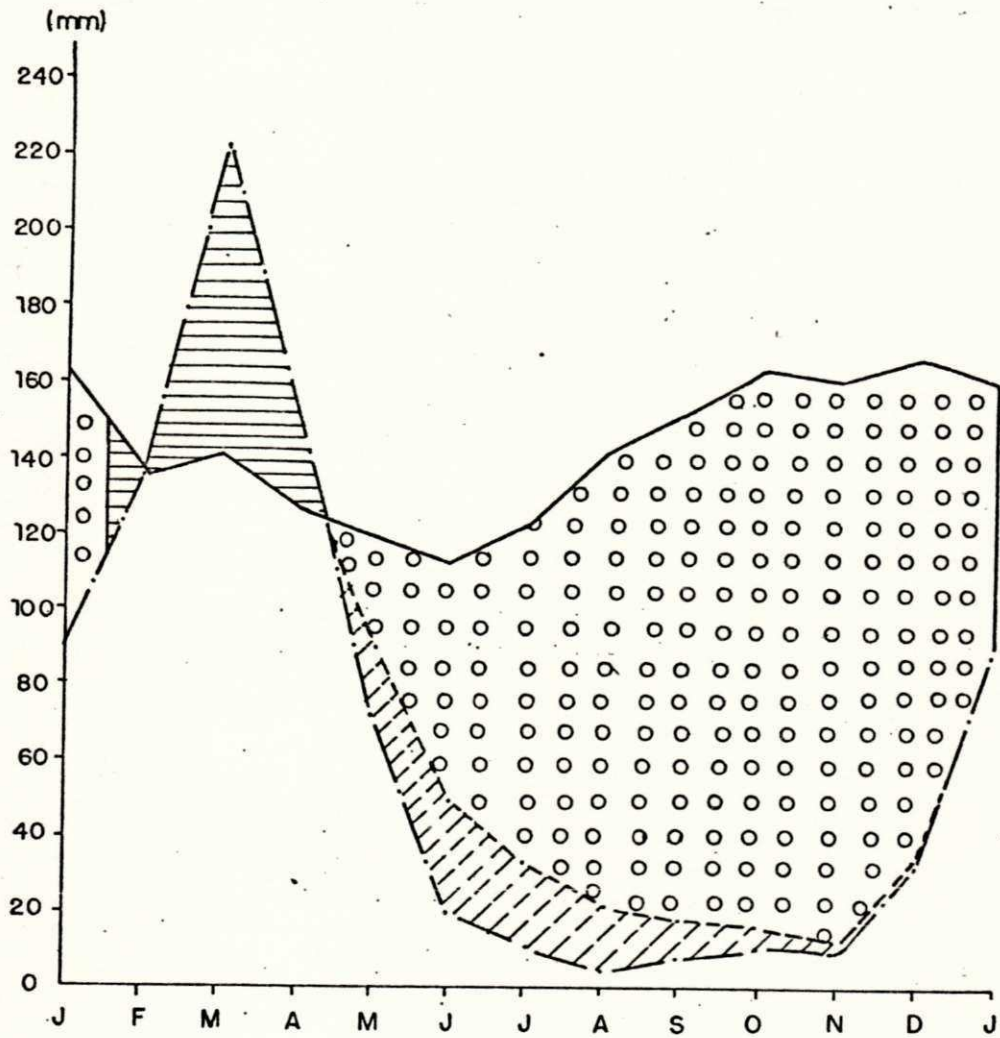
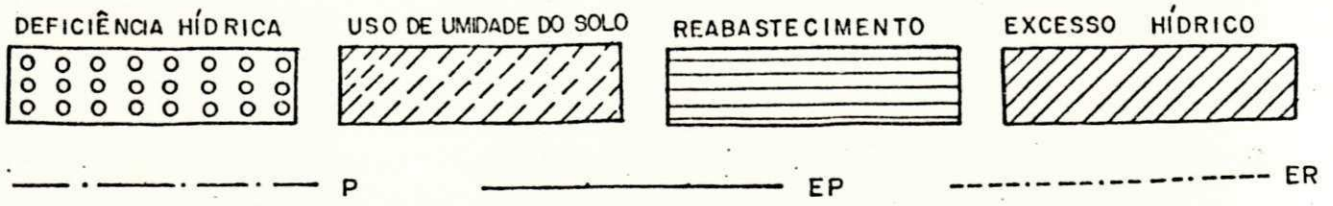


Figura 4.26 - Iguatu-CE. Balanço hídrico normal



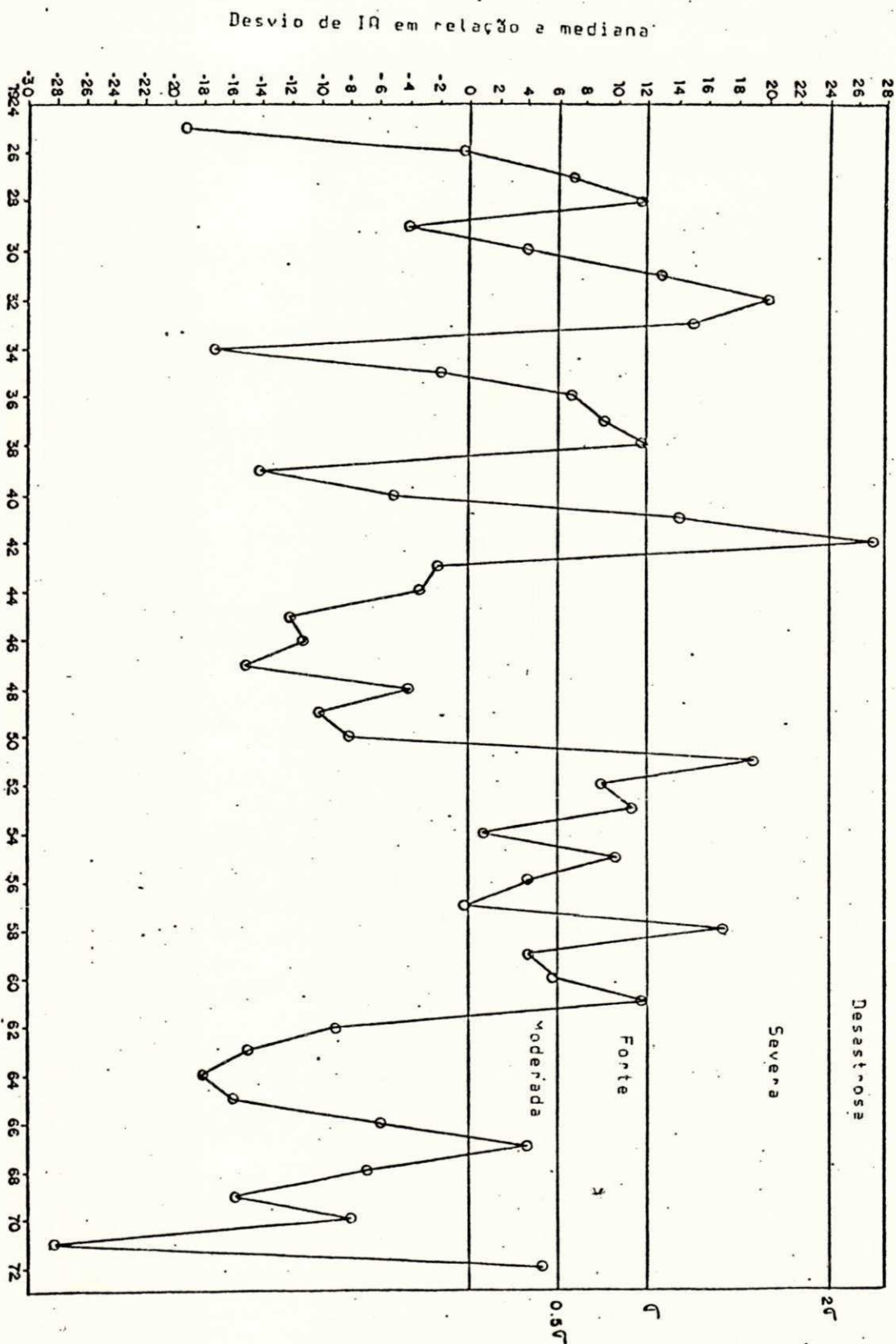


Figura 4.27 - Iguatu-CE. Marcha anual do índice de aridez

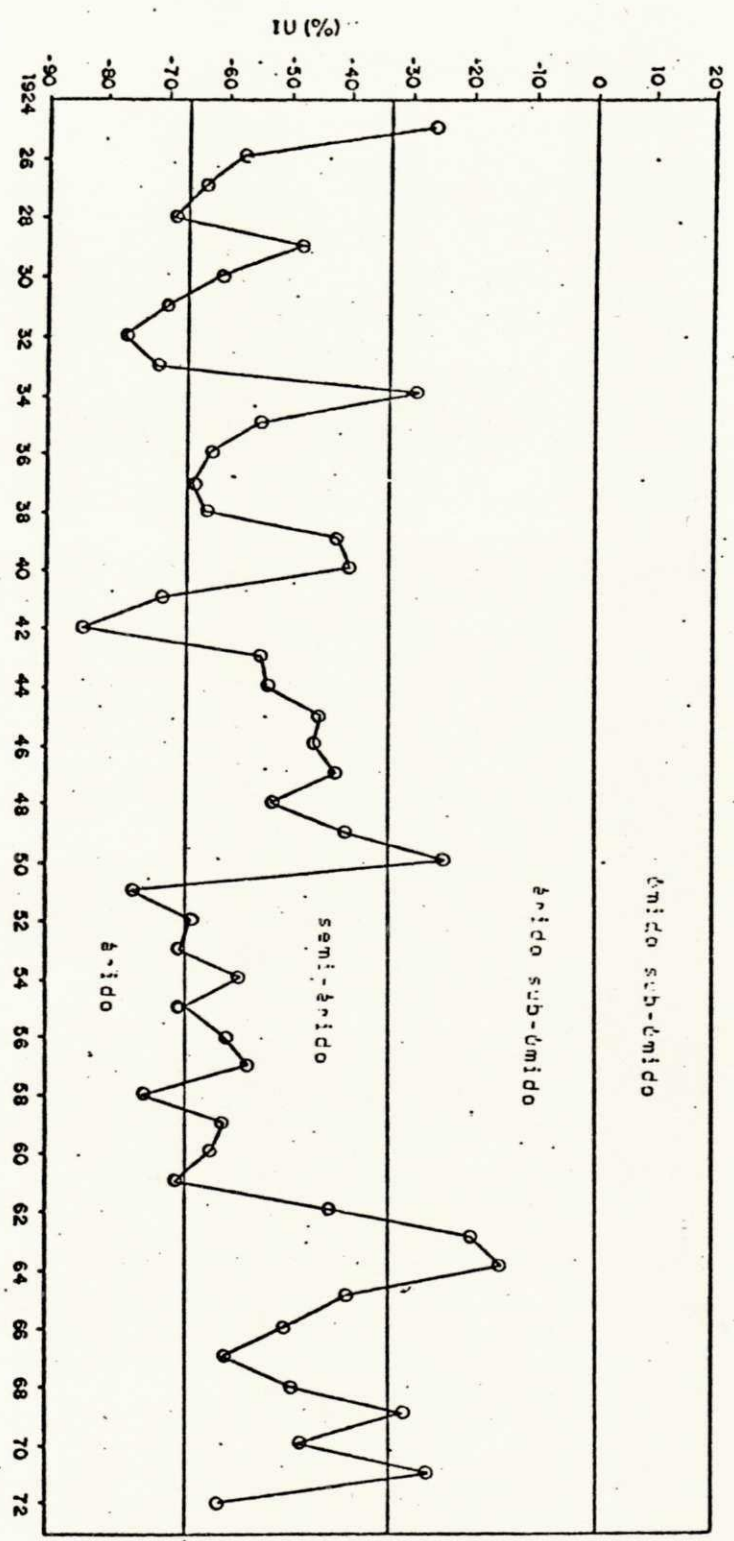


Figura 4.28.- Iguatu-CE. Mudanças climáticas temporárias

#### 4.1.10 - Análise dos Resultados de São Gonçalo-PB

A marcha mensal do BH do ano normal de São Gonçalo, representada na Figura 4.29, mostra que somente de fevereiro a abril a precipitação, que atingiu seu máximo em março, foi maior do que a EP; no entanto, isso não foi suficiente para que houvesse EH. De maio a janeiro a ER foi maior do que a precipitação e nesse mesmo período o solo se constituiu numa das fontes de umidade para o processo de evapotranspiração. A DH, que teve início em maio, aumentou continuamente até outubro, quando ocorreu o seu maior valor (128 mm).

Para uma série estudada com 38 anos São Gonçalo, que apresenta fórmula climática DA'da', experimentou 19 secas, sendo 9 moderadas, 4 fortes, 5 severas e 1 desastrosa, como são mostradas na Figura 4.30. Tais secas foram distribuídas em cada década da seguinte forma: de 1943 a 1952, verificaram-se 4 secas moderadas, 2 severas e 1 desastrosa; de 1953 a 1962, observaram-se 3 secas moderadas, 2 fortes e 2 severas e, finalmente, de 1963 a 1972, apenas 3 secas foram identificadas, sendo 1 moderada, 1 forte e 1 severa. Registraram-se, ainda, 1 seca moderada e 1 forte entre os anos de 1973 e 1980.

As mudanças climáticas temporárias analisadas através da marcha anual do índice de umidade, mostraram 10 oscilações. Destas mudanças, apenas 2 foram para as faixas mais áridas e 8 foram na direção das mais úmidas, como é mostrado na Figura 4.31.

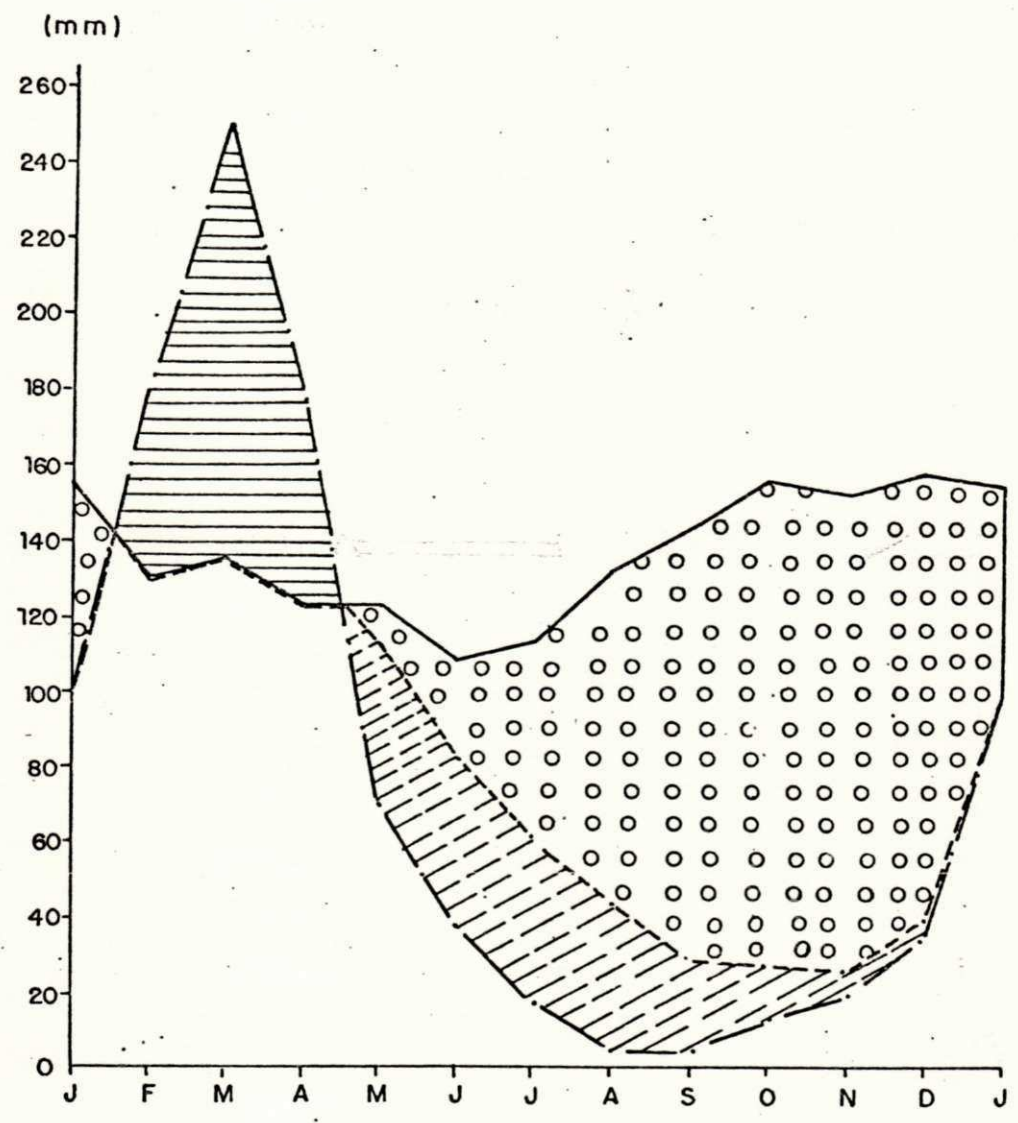
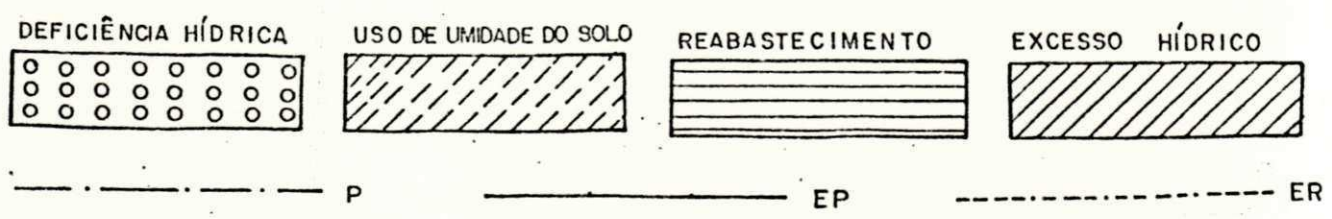


Figura 4.29 - São Gonçalo-PB. Balanço hídrico normal

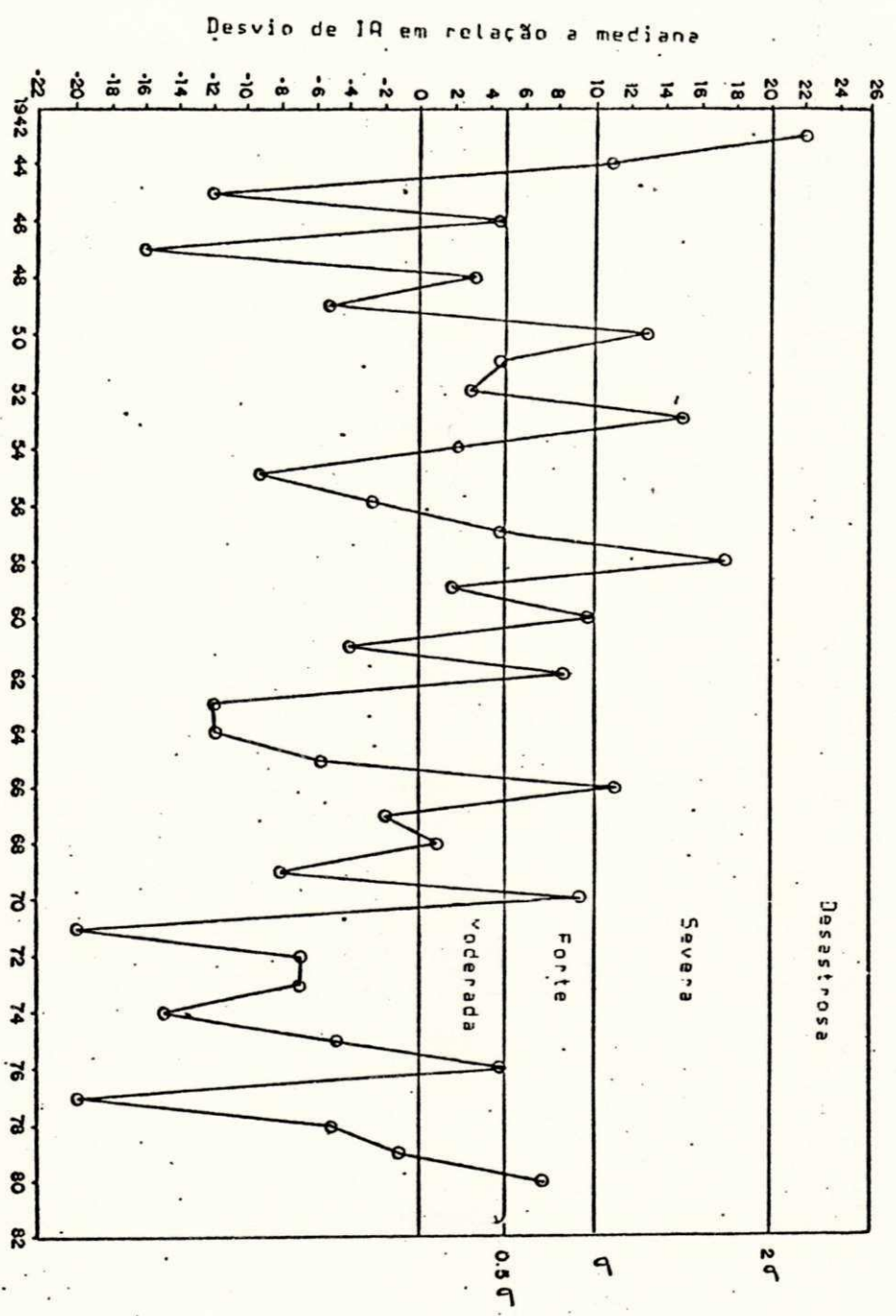


Figura 4.30 - São Gonçalo-PB. Marcha anual do Índice de aridez

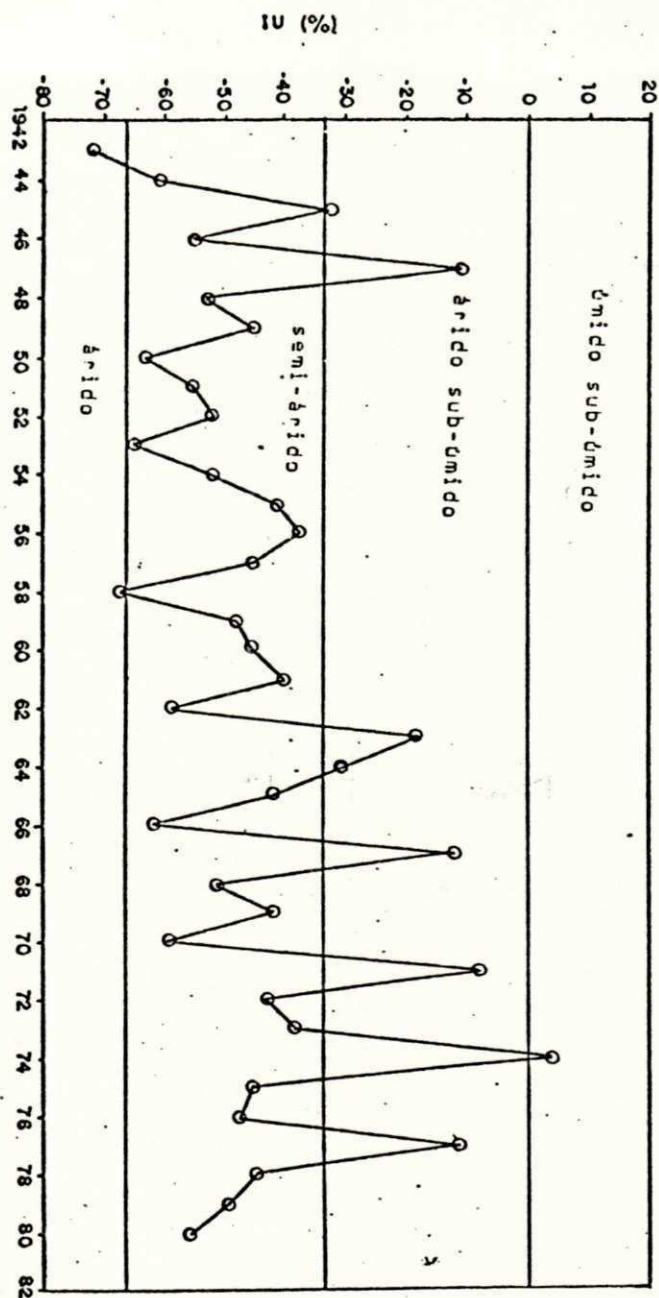


Figura 4.31 - São Gonçalo-PB. Mudanças climáticas temporárias

#### 4.1.11 - Análise dos Resultados de Propriá-SE

A marcha mensal do BH normal de Propriá (Figura 4.32), indica que só de maio a julho é que a precipitação foi maior do que a EP, no entanto não ocorreu EH, visto que a precipitação contribuiu apenas para o reabastecimento do solo sem, contudo, levá-lo à capacidade de campo. De agosto a abril o solo foi um dos responsáveis pelo fornecimento de umidade para a evapotranspiração. A DH iniciada em agosto se prolongou até abril, tendo alcançado o seu máximo em janeiro.

Para Propriá, que possui fórmula climática DA'da', estudou-se uma série de 27 anos. Desta, 13 secas foram identificadas, como mostra a Figura 4.33, sendo que 3 foram moderadas, 2 fortes, 7 severas e 1 desastrosa. Nos dez primeiros anos da série, ocorreram 1 seca moderada, 4 severas e 1 desastrosa. De 1935 a 1944, registraram-se 2 secas moderadas, 1 forte e 1 severa. No restante do período, ocorreram mais 1 seca forte e 2 severas. Com isto, observa-se que 48% dos anos analisados experimentaram secas de algum tipo.

O estudo das mudanças climáticas temporárias de Propriá indica que ocorreram 7 variações no seu regime de umidade em relação ao regime de umidade climaticamente determinado, sendo que apenas 1 situou-se em posição mais árida e 6 em mais úmidas, como pode ser visto na Figura 4.34.

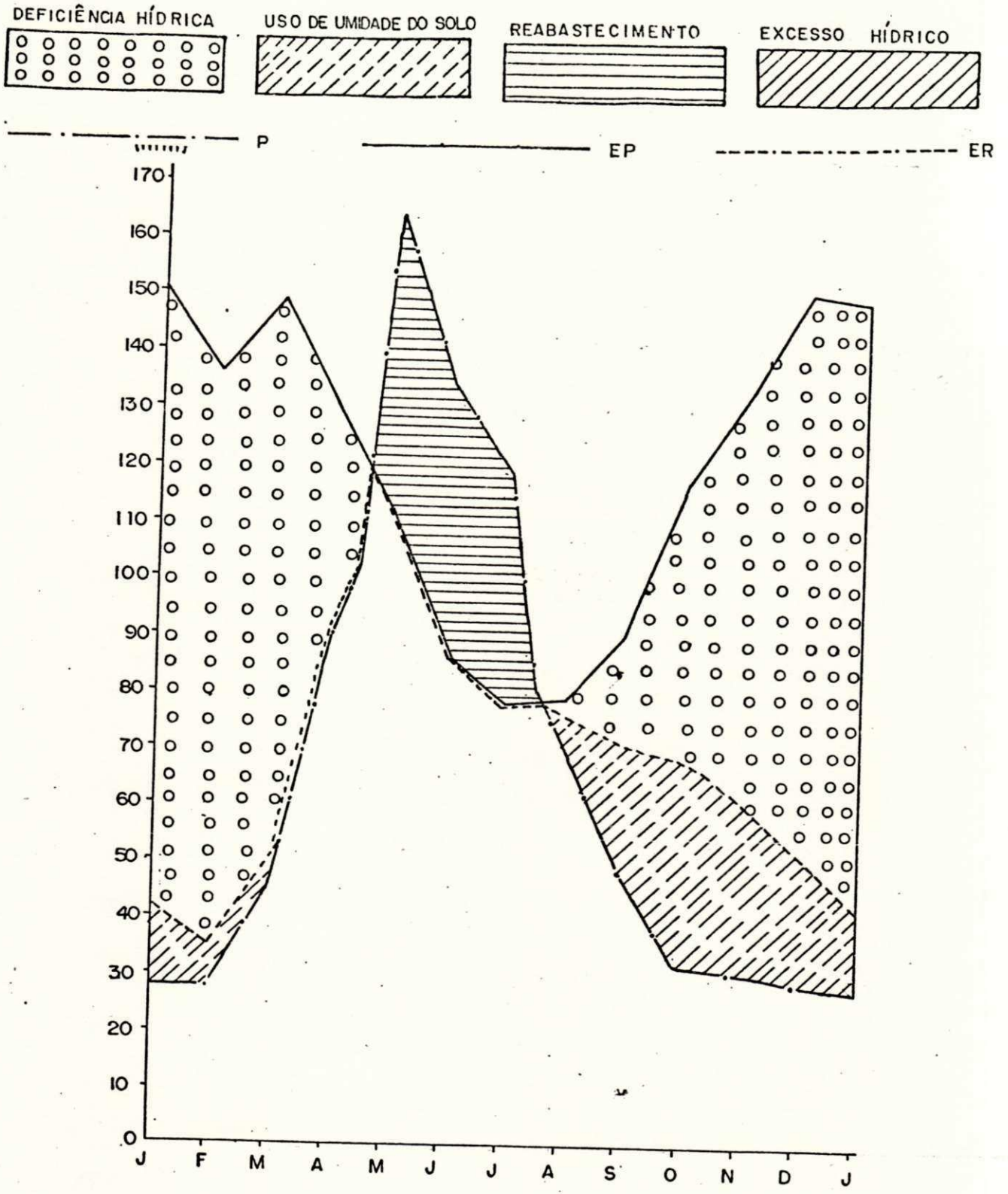


Figura 4.32 - Propriá-SE. Balanço hídrico normal



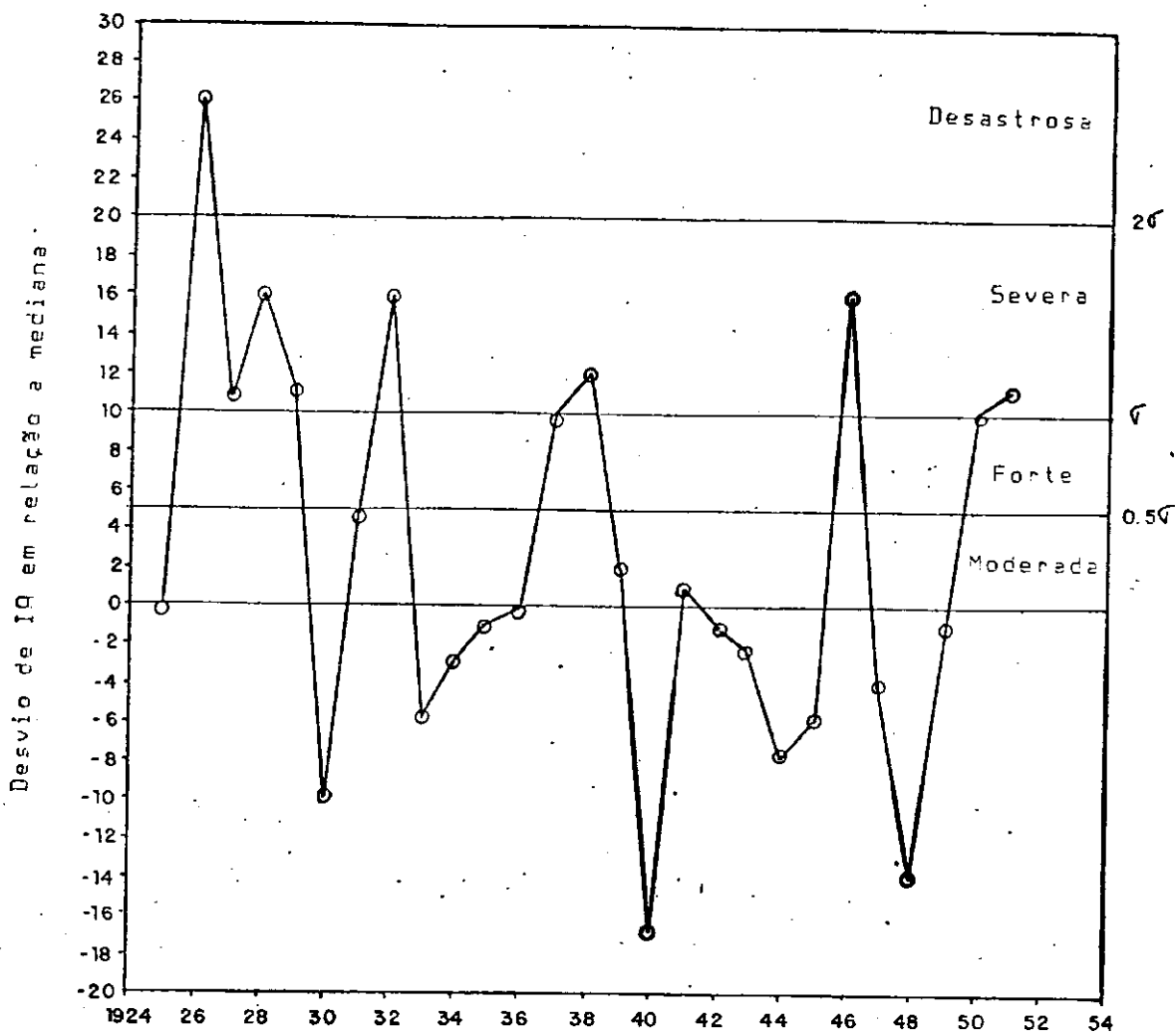


Figura 4.33 - Propriá-SE. marcha anual do índice de aridez

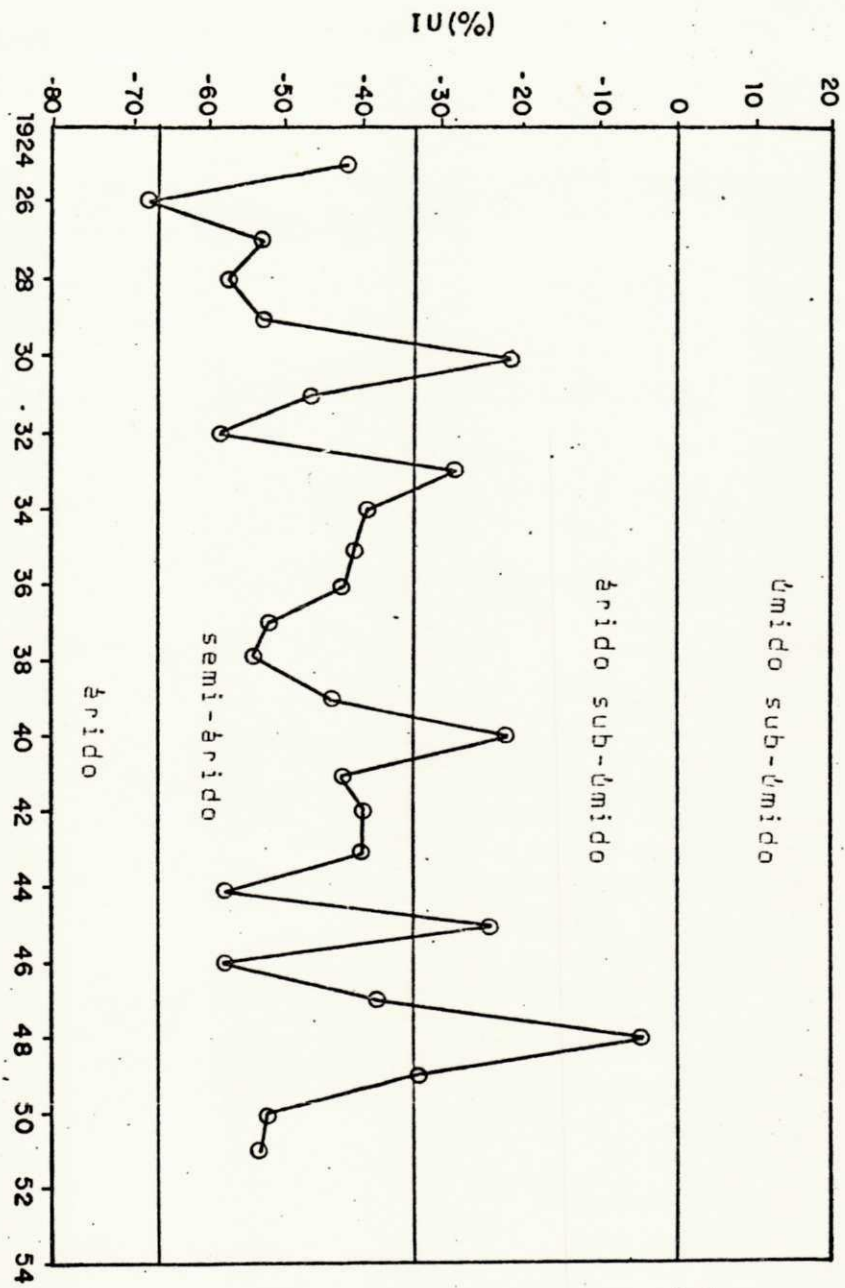


Figura 4.34 - Propriá-SE. Mudanças climáticas

#### 4.1.12 - Análise dos Resultados de Campina Grande-PB.

O BH normal de Campina Grande (Figura 4.35) indica que a precipitação foi maior do que a EP nos meses de maio, junho e julho. Em nenhum dos meses verificou-se EH e a DH ocorreu durante nove meses do ano (agosto a abril), ao mesmo tempo em que a ER foi superior à precipitação, principalmente de agosto a janeiro onde a diferença entre uma e outra foi mais acentuada. A EP sofreu um processo gradativo de diminuição de abril até julho, e em seguida começou a aumentar sucessivamente até o mês de janeiro, onde notou-se o seu maior valor (113 mm).

Para os 32 anos analisados, detectaram-se 15 secas de diferentes categorias para a localidade de Campina Grande, que tem fórmula climática DB' da'. Das secas registradas nesse período, 4 foram moderadas, 7 fortes, 3 severas e 1 desastrosa. Verificou-se que de 1925 a 1934, Campina Grande foi submetida a 1 seca moderada, 1 forte e 2 severas. Já de 1935 a 1944, 3 secas moderadas e 2 fortes foram registradas. Na última década (1945 a 1954), apenas 3 secas fortes, 1 severa e 1 desastrosa ocorreram, como pode ser visto na Figura 4.36. Complementando a investigação, constatou-se que o ano de 1955 foi afetado por 1 seca do tipo forte. Deste modo, 47% dos 32 anos analisados foram submetidos a algum tipo de seca.

Na análise da marcha anual do Índice de umidade identificaram-se 10 mudanças no regime de umidade, como pode ser visto na Figura 4.37. Destas mudanças, apenas 1 foi para posição mais árida, enquanto que 9 foram para situações mais úmidas.

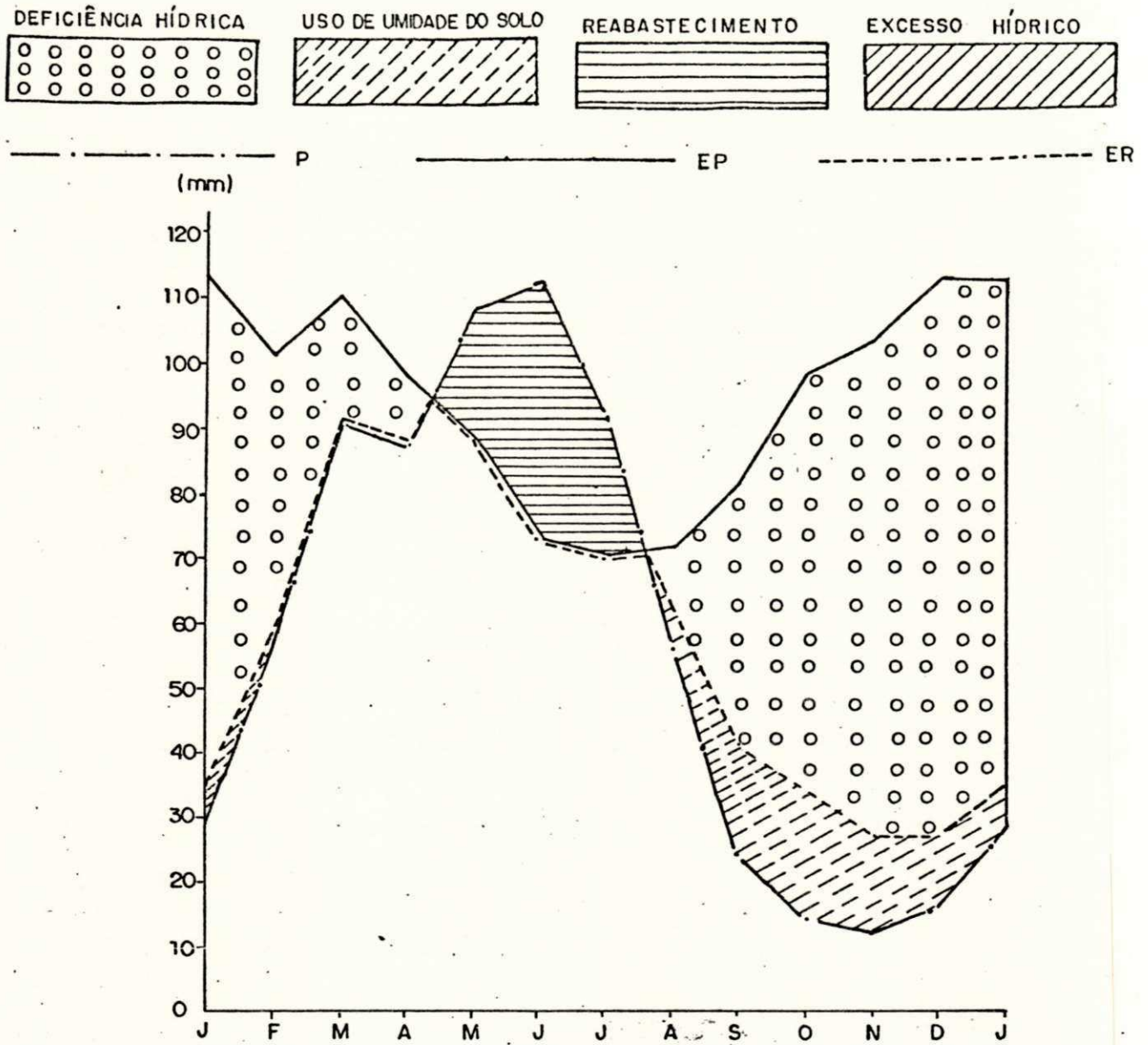
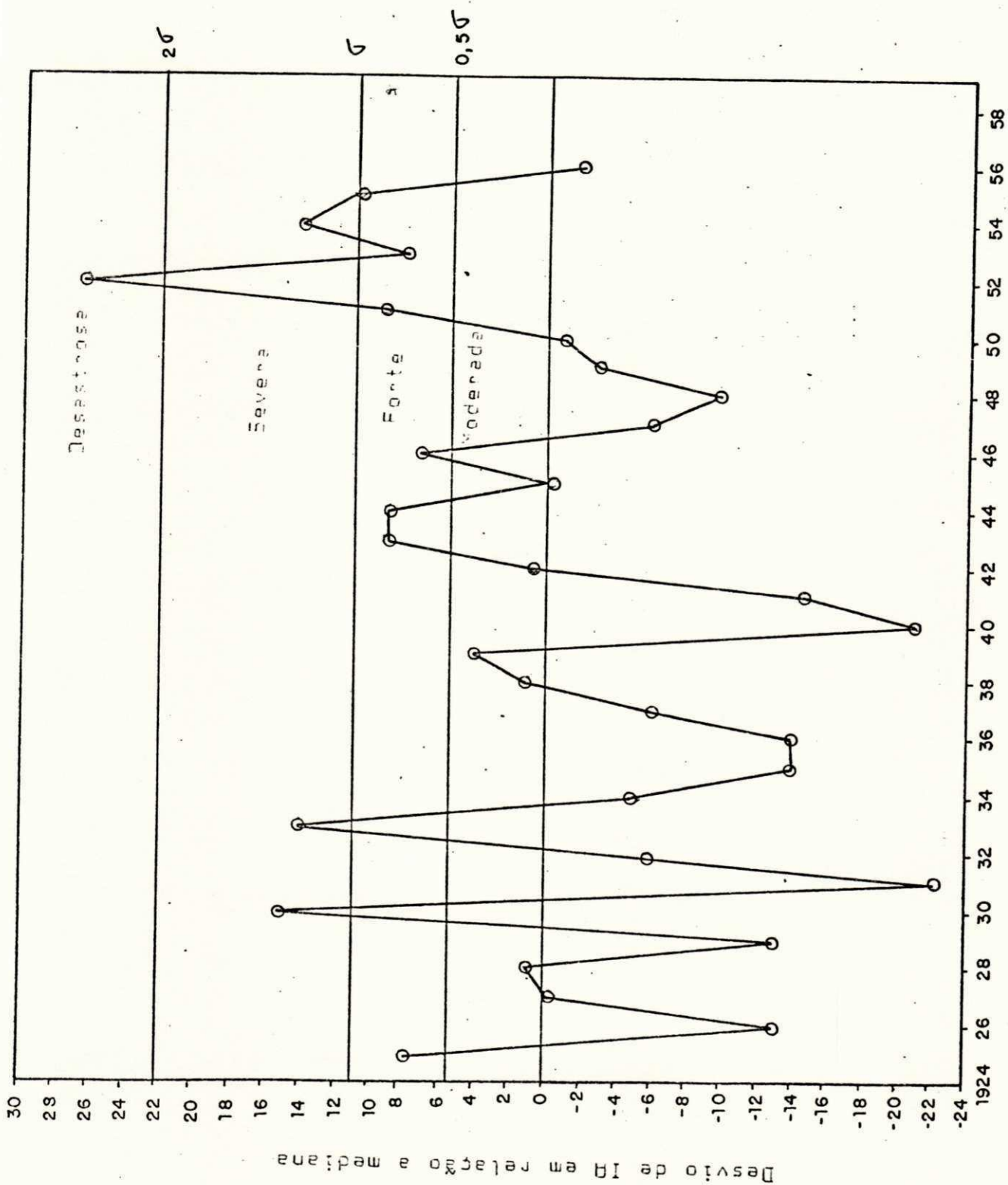


Figura 4.35 - Campina Grande-PB. Balanço hídrico normal

Figura 4.36 - Campina Grande-PB. Marcha anual do índice de aridez



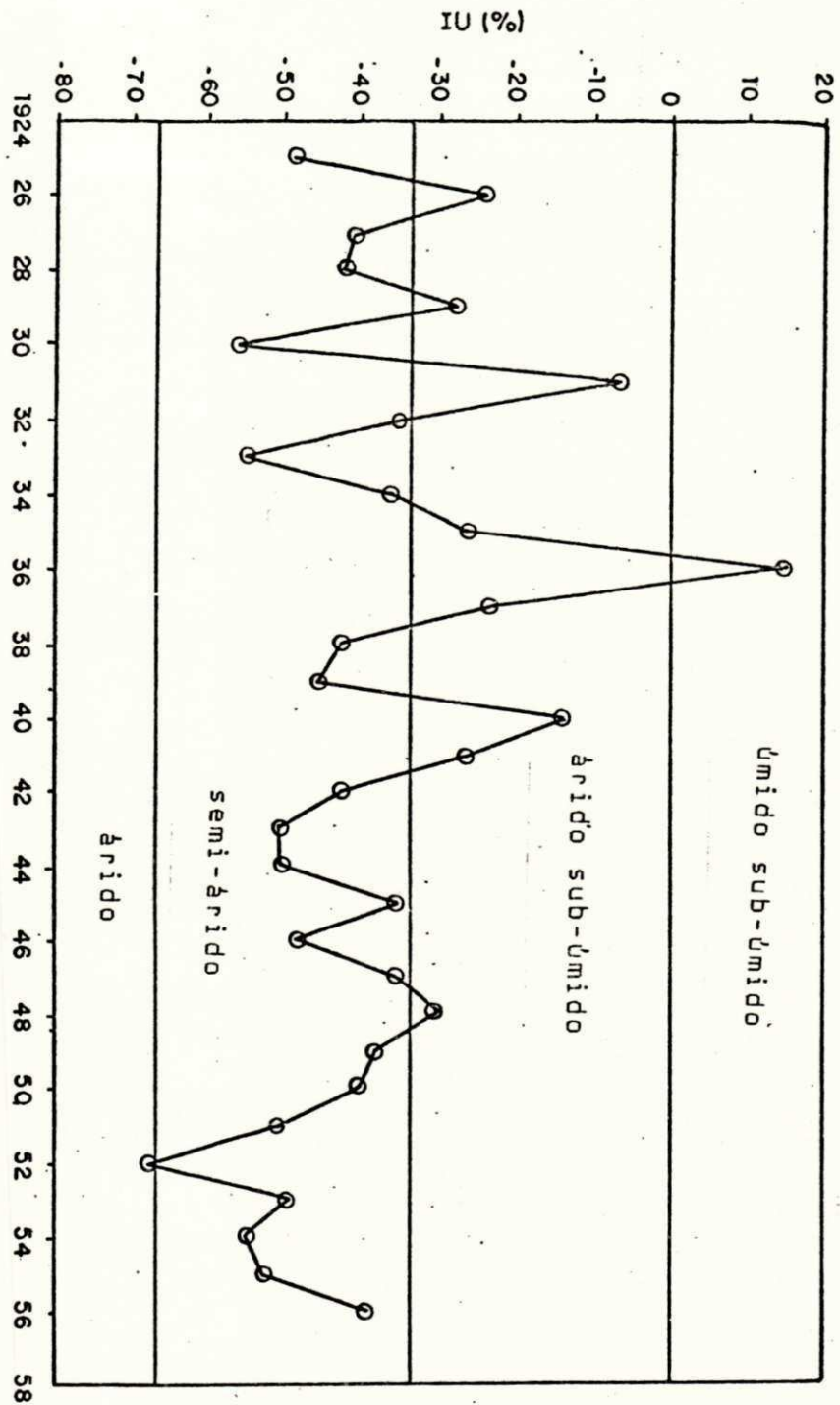


Figura 4.37 - Campina Grande-PB. Mudanças climáticas temporárias

#### 4.1.13 - Análise dos Resultados de João Pessoa-PB

O BH normal de João Pessoa (Figura 4.38) mostra que de março a agosto a precipitação foi maior do que a EP. No início de abril o solo alcançou sua capacidade máxima de retenção de umidade. A partir de então, ocorreu EH até agosto. De setembro a fevereiro a ER mostrou-se maior do que a precipitação, ao mesmo tempo em que o solo se apresentou como um dos responsáveis pelo fornecimento de umidade para a evapotranspiração. Iniciada em setembro e findada em fevereiro, a DH aumentou consecutivamente até dezembro, onde verificou-se o seu maior valor (96 mm).

Dos 30 anos analisados João Pessoa, que tem fórmula climática C A's a', submeteu-se a 14 secas, onde 4 foram moderadas, 7 fortes e 3 severas, conforme indica-se na Figura 4.39. As secas se distribuíram da seguinte forma: nos dez primeiros anos da série, registraram-se 1 seca moderada e 4 fortes; de 1935 a 1944, somente 2 secas fortes e 1 severa ocorreram; de 1945 a 1954, identificaram-se 3 secas moderadas, 1 forte e 2 severas.

As mudanças climáticas temporárias analisadas através da marcha anual do Índice de umidade, indicam 17 mudanças, sendo que 7 foram para as faixas mais áridas e 10 para as mais úmidas, como mostra a Figura 4.40.

Aspecto interessante verificado com relação às mudanças climáticas temporárias e intensidades de secas em João Pessoa, referem-se aos anos de 1951 e 1952. 1951 foi um ano submetido a

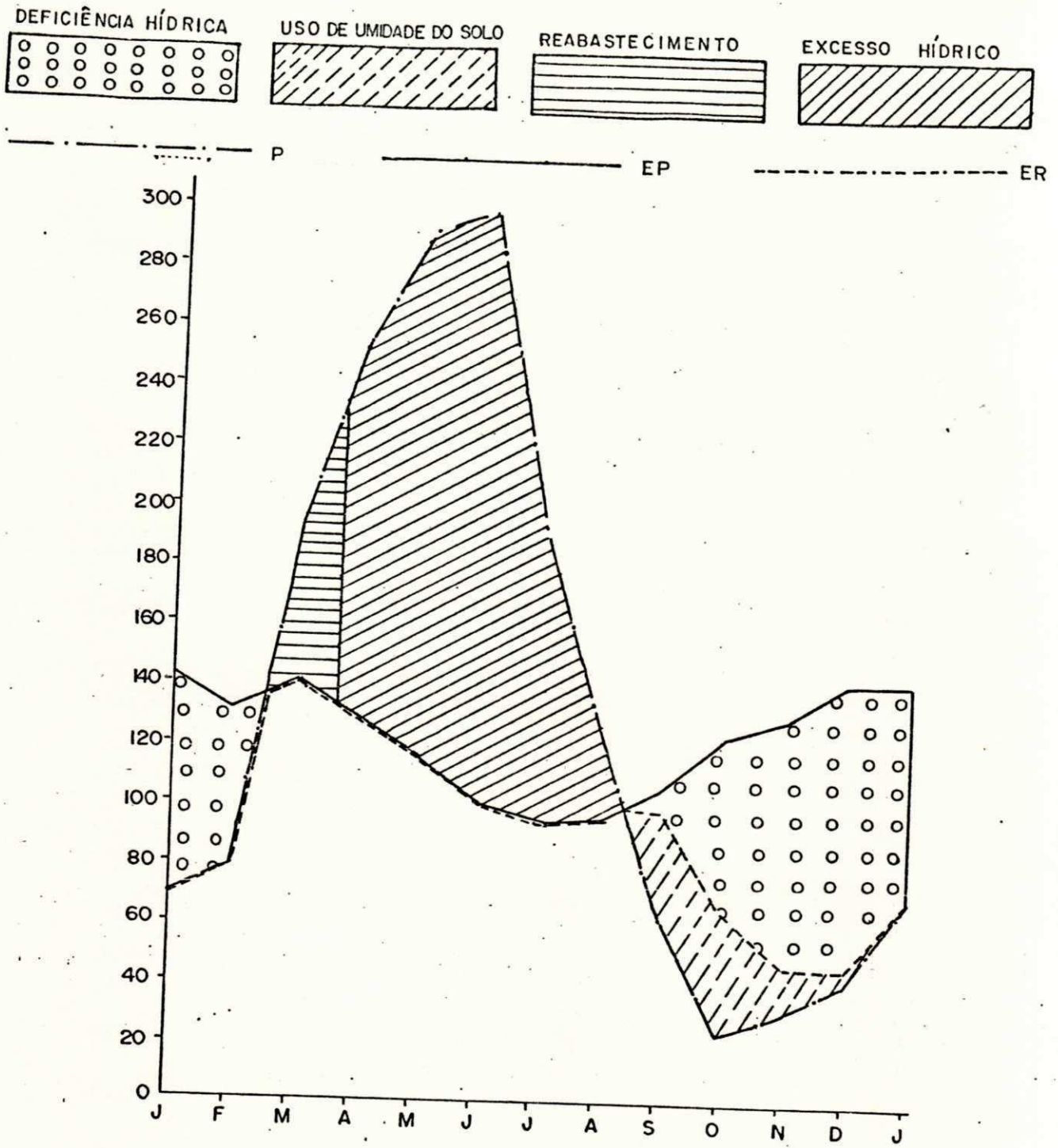


Figura 4.38 - João Pessoa-PB. Balanço hídrico normal



Desvio de IA em relação a mediana

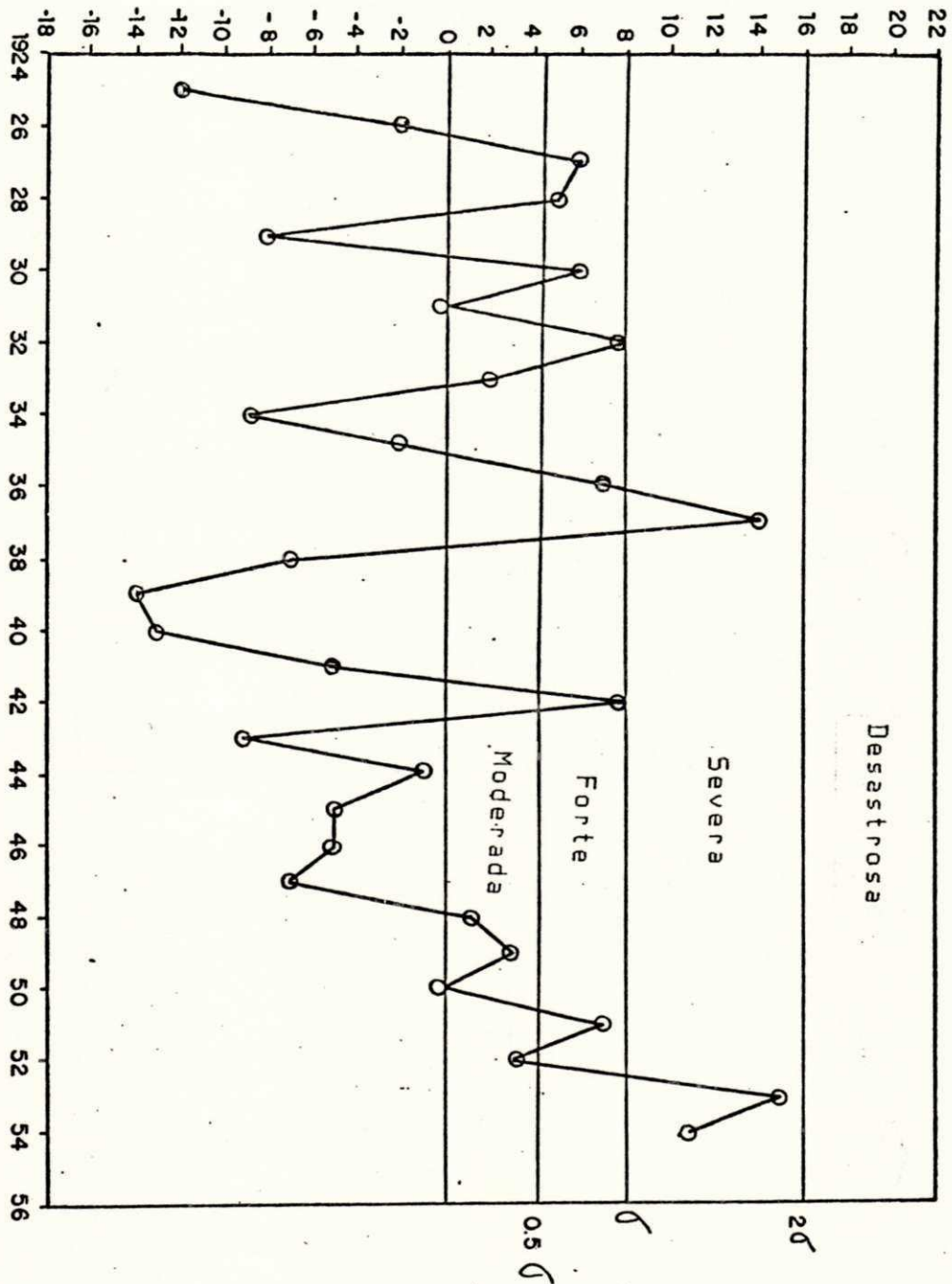


Figura 4.39 - João Pessoa-PB. Marcha anual do Índice de aridez

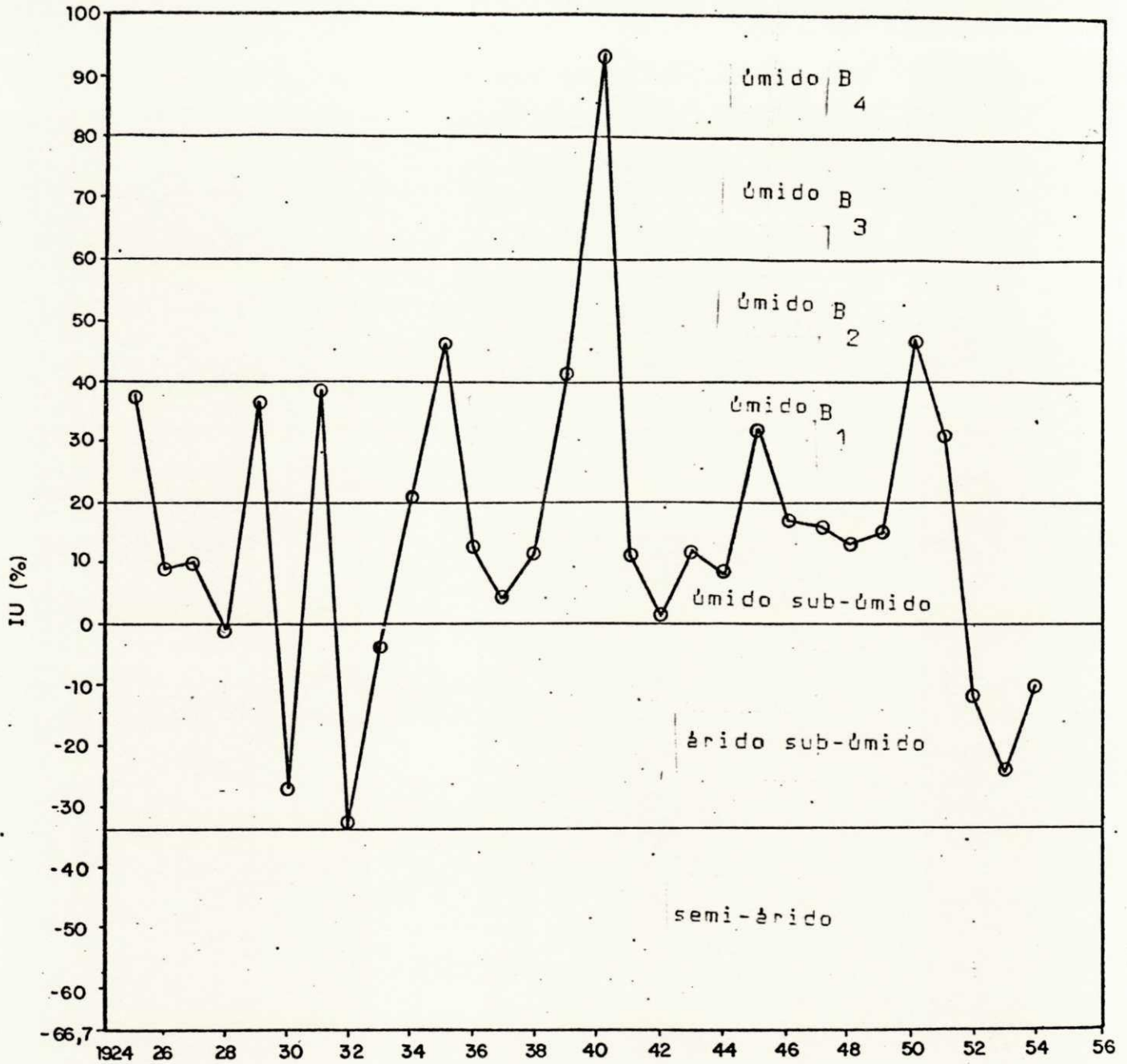


Figura 4.40 - João Pessoa-PB. Mudanças climáticas temporárias

seca forte; no entanto, foi bem mais úmido do que 1952, que apresentou seca moderada. Em ambos, registraram-se regimes de umidade B (úmido) e C (árido sub-úmido), respectivamente.

#### 4.1.14 - Análise dos Resultados de Tapacurá-PE

Como mostra a marcha mensal do BH normal de Tapacurá (Figura 4.41), de março a agosto a precipitação alcançou maiores valores do que a EP; no entanto, só no decorrer de maio é que verificou-se EH. De setembro a fevereiro a ER foi maior do que a precipitação, quando então o solo passou a se constituir em fonte de umidade para a evapotranspiração. Nesse mesmo período ocorreu DH. A EP sofreu uma diminuição gradativa no período de abril a julho, onde se constatou o seu menor valor (82 mm).

Para Tapacurá, que tem fórmula climática  $C A'_{2} s a'_{2}$ , foi analisada uma série com 25 anos, dos quais 12 foram submetidos a algum tipo de seca. Destas, 4 foram moderadas, 4 fortes e 4 severas. Nos dez primeiros anos ocorreram 2 secas moderadas, 2 fortes e 1 severa. Na década seguinte, registraram-se 5 secas, sendo 1 moderada, 2 fortes e 2 severas; e mais 1 moderada e outra severa, registradas nos últimos anos da série, como pode ser visto na Figura 4.42.

O regime de umidade em Tapacurá apresentou, segundo a marcha anual do índice de umidade, 12 variações, sendo que 9 delas foram na direção do mais árido e apenas 3 na do mais úmido, como mostra a Figura 4.43. Um outro aspecto que deve ser ressaltado refere-se

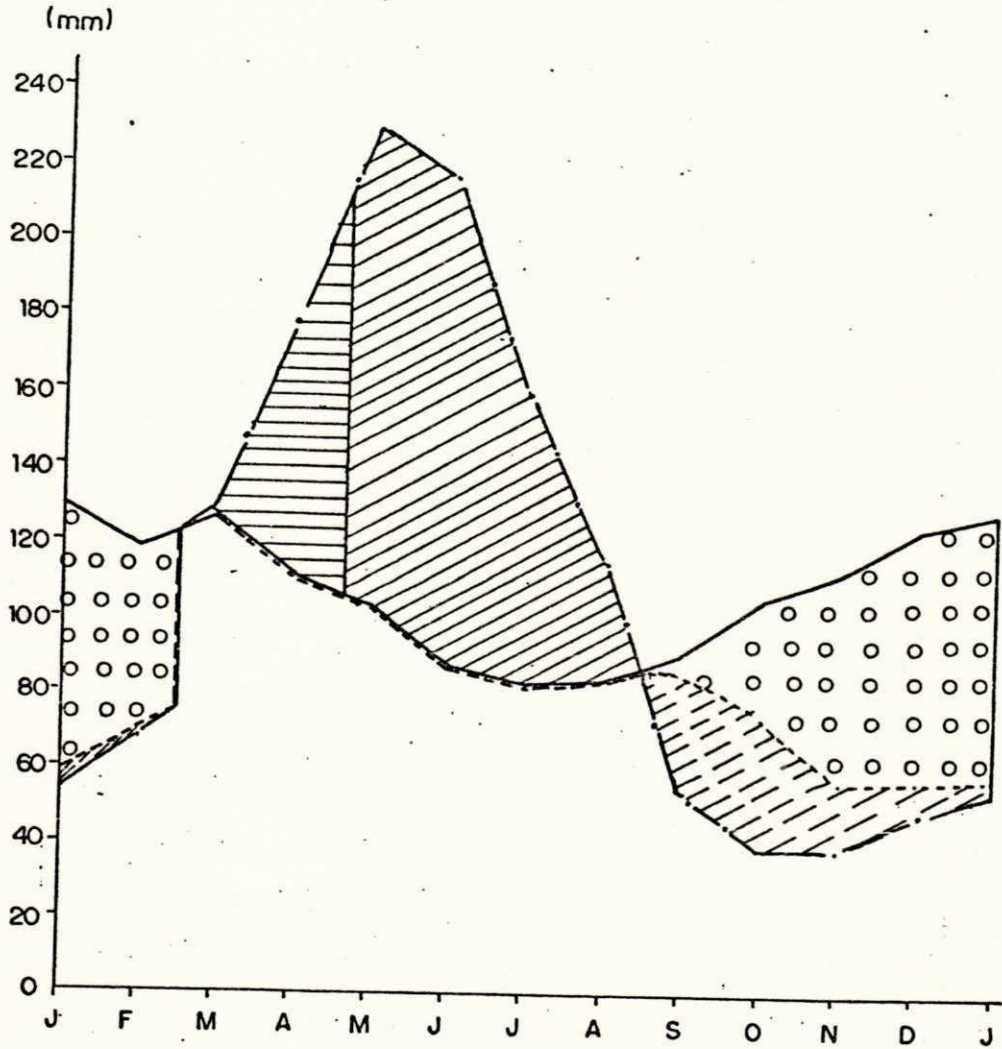
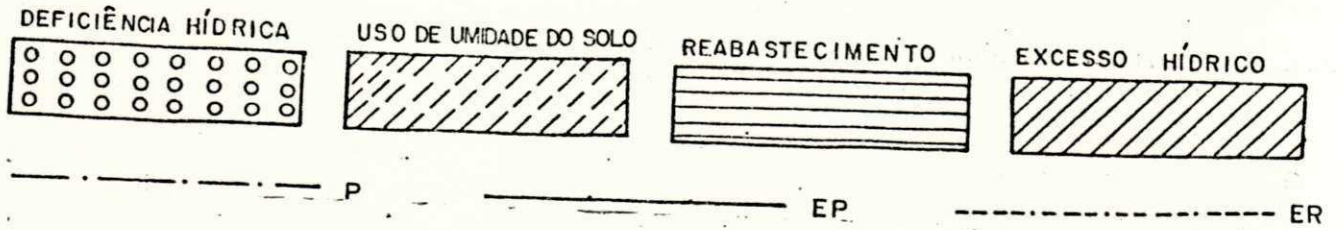


Figura 4.41 - Tapacurá-PE. Balanço hídrico normal

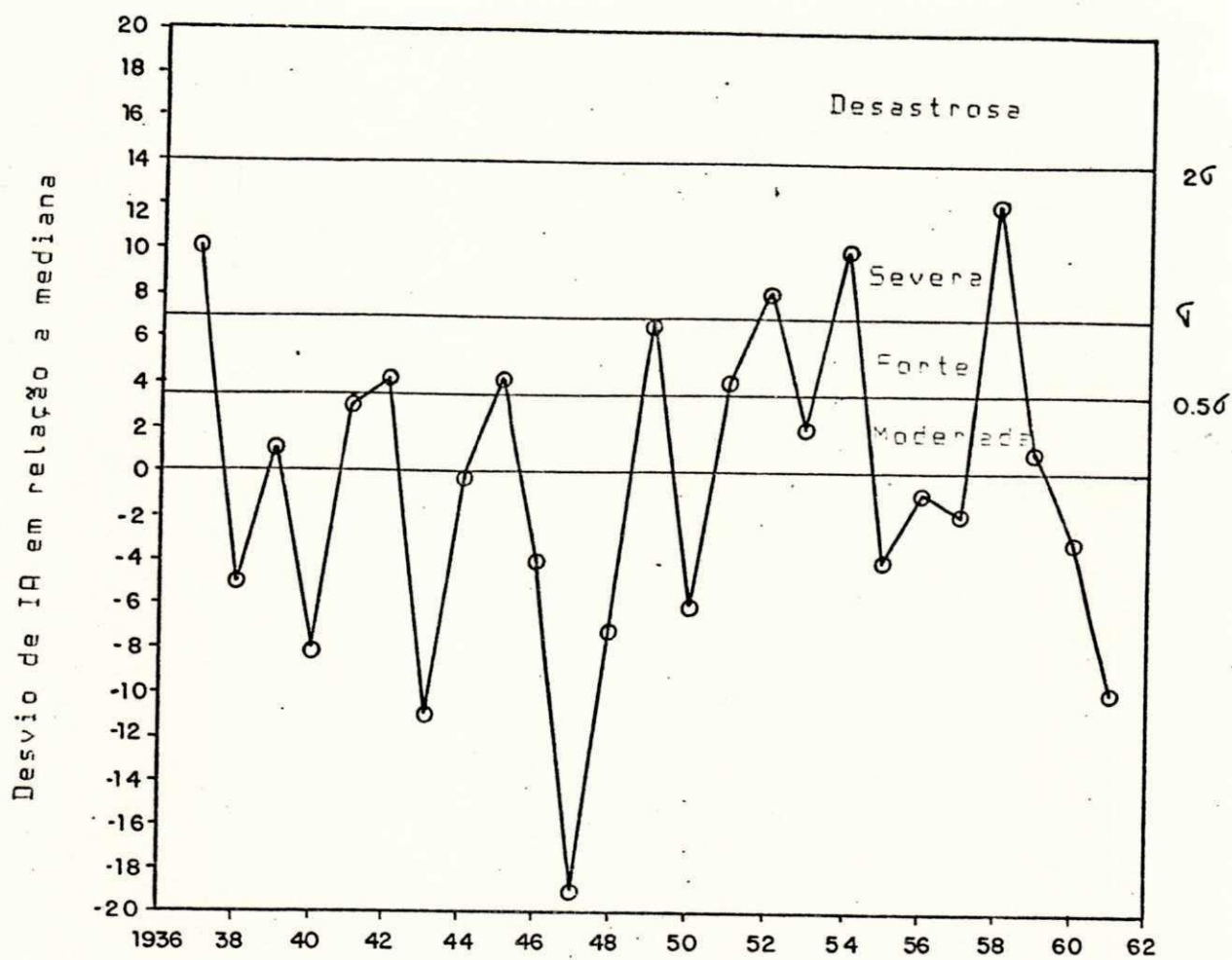


Figura 4.42 - Tapacurá-PE. Marcha anual do índice de aridez

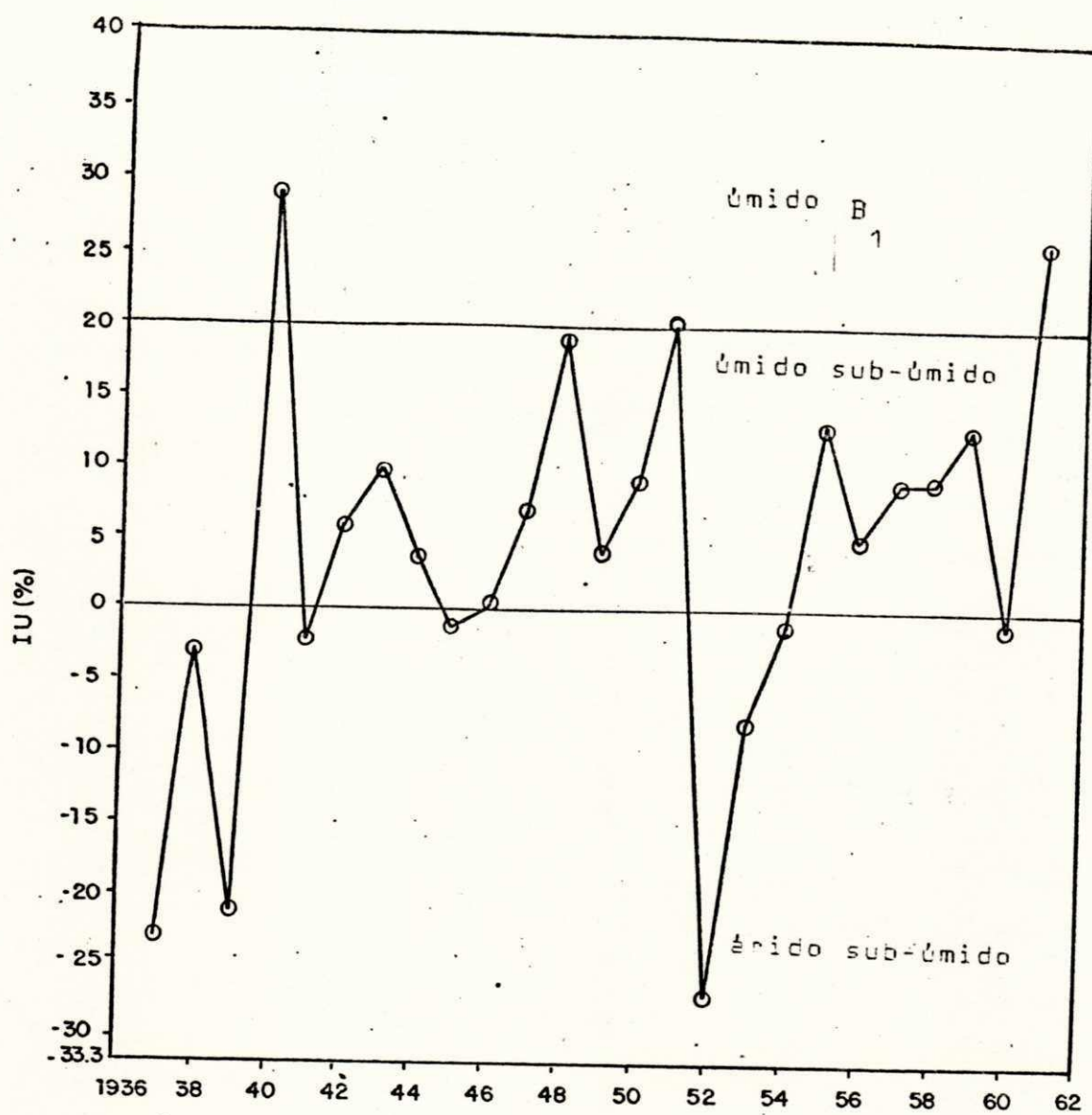


Figura 4.43 - Tapacurá-PE. Mudanças climáticas temporárias

aos anos de 1958 e 1938. O primeiro enfrentou seca do terceiro grau (severa) e o segundo não teve incidência de seca. No entanto, 1938 teve um regime C<sub>1</sub> (árido sub-úmido) e 1958 C<sub>2</sub> (úmido sub-úmido).

#### 4.1.15 - Análise dos Resultados de Remanso-BA

Como pode ser observado na Figura 4.44 a marcha mensal do BH normal de Remanso mostra que todos os meses do ano foram submetidos a deficiência hídrica. Para Remanso, que tem fórmula climática EA'da', analisou-se 31 anos, dos quais 13 foram de secas. Observaram-se 4 secas moderadas, 6 fortes e 3 severas. De 1925 a 1934, verificaram-se 1 seca moderada, 3 fortes e 1 severa. Nos dez anos seguintes, registraram-se 1 seca moderada, 1 forte e 2 severas. A terceira década foi submetida a 1 seca moderada e 2 fortes, além de 1 seca moderada ocorrida em 1955, como mostra a Figura 4.45.

De acordo com a análise da marcha anual do Índice de umidade, detectaram-se 11 mudanças no regime de umidade, sendo que todas foram para as faixas mais úmidas, como se pode ver na Figura 4.46.

#### 4.16 - Síntese de Alguns Resultados

Conforme os resultados obtidos para as 15 localidades estudadas, as secas que mais ocorreram foram as do tipo moderada. Também são mostradas na Figura 4.47 as freqüências decenais de

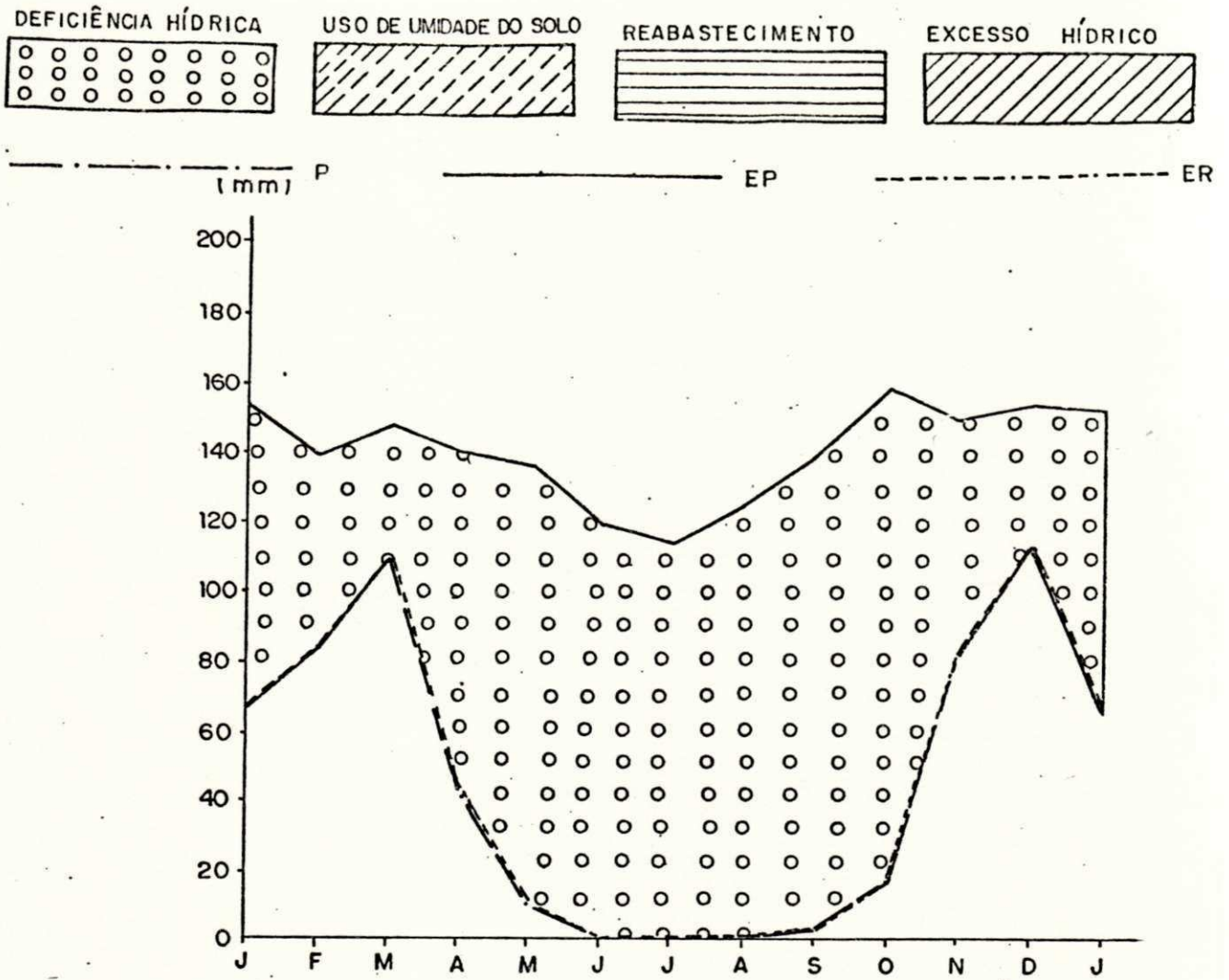


Figura 4.44 - Remanso-BA. Balanço hídrico normal



Desvio de IA em relação a mediana

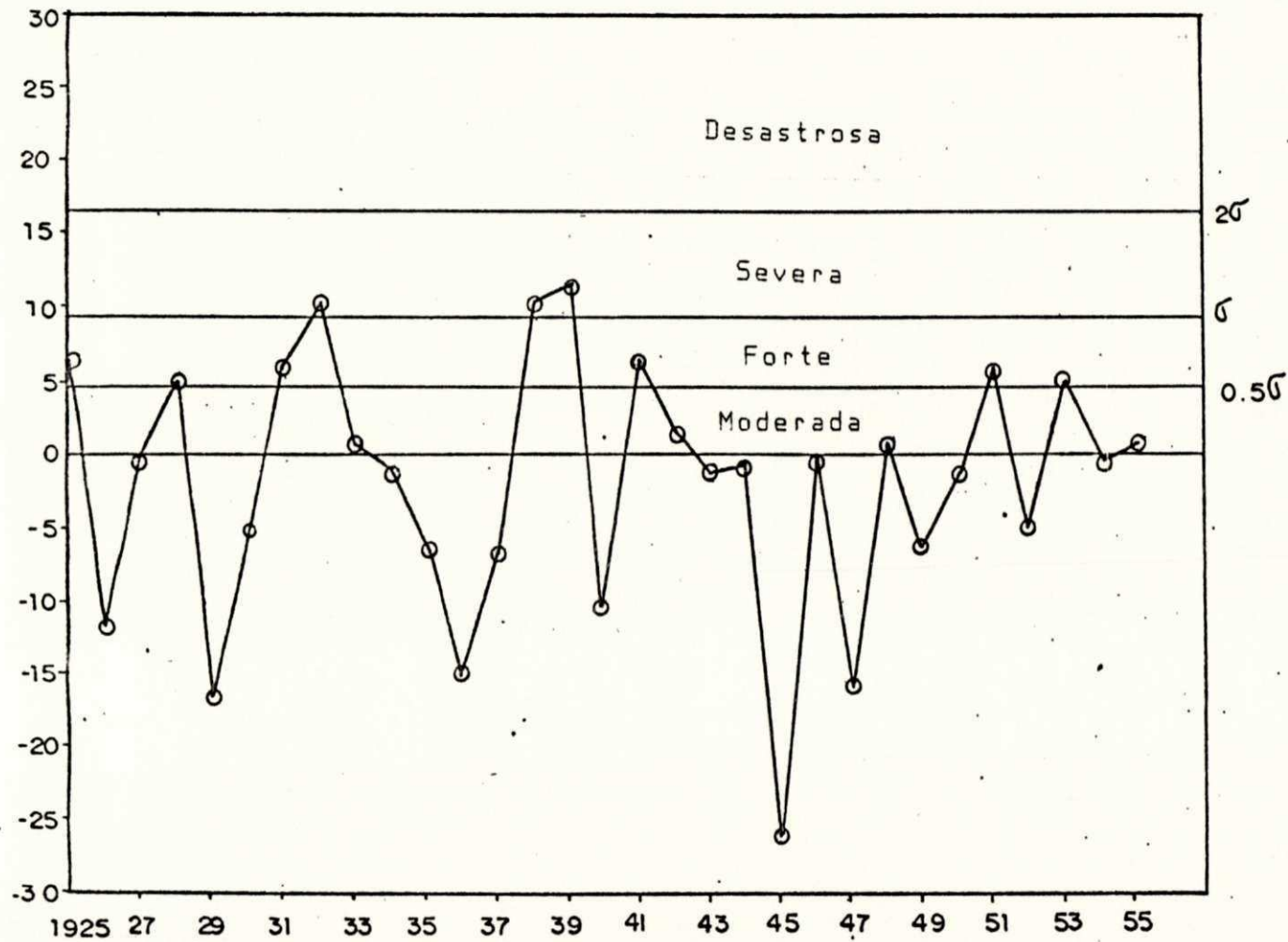


Figura 4.45 - Remanso-BA. Marcha anual do Índice de aridez

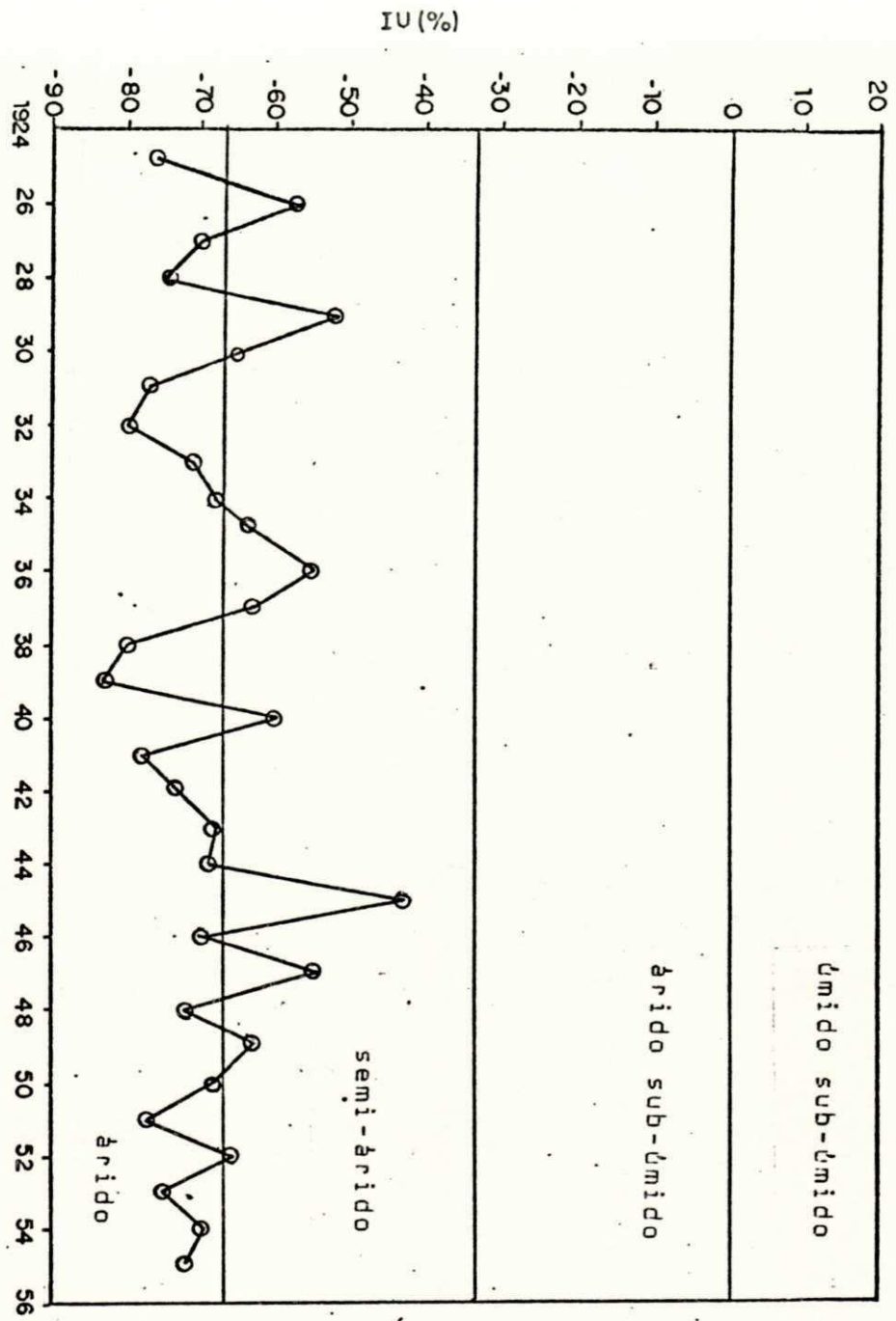


Figura 4.46 - Remanso-BA. Mudanças climáticas temporárias

Número de anos com secas

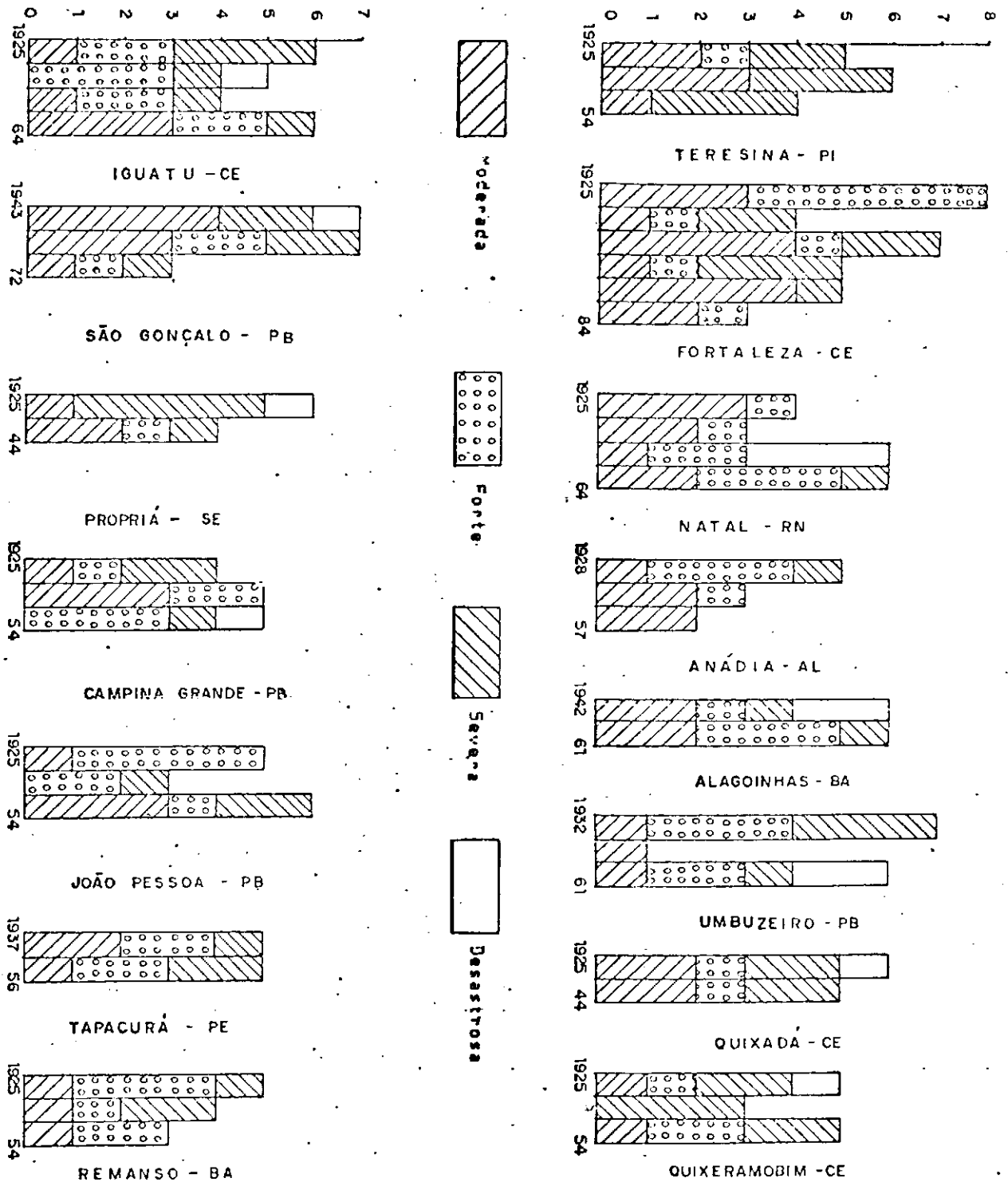


Figura 4.47 - Frequência decenal de anos com secas

secas ( número de anos de seca de cada categoria em em décadas sucessivas) para os respectivos locais estudados nesta pesquisa.

#### 4.2 - Análise dos Resultados do Método do Desvio Acumulado

A duração e a intensidade de uma ocorrência de seca são dois aspectos altamente relevantes; haja visto que ambas, juntas, determinam o impacto final que o déficit de umidade provoca nas atividades agrícolas de uma região. Usando-se a técnica do Desvio Acumulado e determinando-se o Índice de severidade de seca (ISS), identifica-se o período mais afetado por uma seca, conforme ilustrado nas Figuras 4.48 e 4.49. Estudaram-se duas ocorrências de secas severas em Teresina (Figura 4.48), identificadas nos anos de 1932 e 1942 através do método de SUBRAHMANYAM & SUBRAMANIAM (1964), acima citado. Então, obtiveram-se para os períodos de março a junho de 1932 e de abril a julho de 1942 valores de ISS iguais a 29,3 e 37,3 unidades, respectivamente. Com isto verifica-se que embora tratando-se de anos com secas de mesma categoria, pode-se afirmar que 1942 foi um ano de seca mais ostil do que 1932, muito embora esta última tenha apresentado um índice anual de aridez igual a 70%, enquanto que o outro (1942) apresentou IA igual a 66%. Estudo com os mesmos propósitos foram realizados para os anos de 1932 e 1958 para Quixeramobim (Figura 4.49), submetidos a secas desastrosa e severa, respectivamente. Calcularam-se os ISS para os períodos de fevereiro a julho de 1932 e de janeiro a abril de 1958; para ambos, foram obtidos valores iguais a 39,0 e 53,8 unidades. Observa-se que embora 1932 tenha tido seca desastrosa, segundo o

Figura 4.48 - Teresina-PI. Variação acumulada das deficiências hídricas

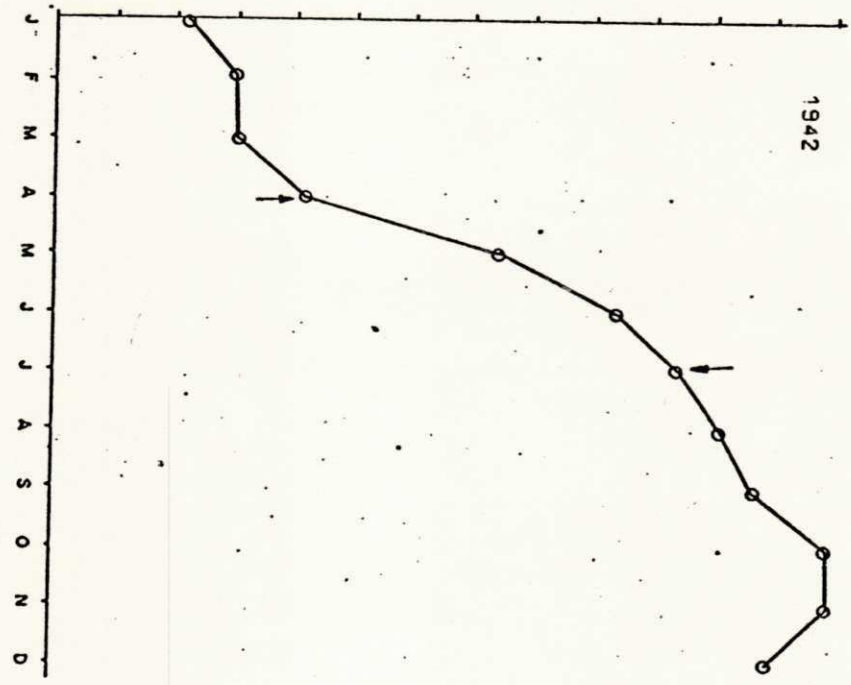
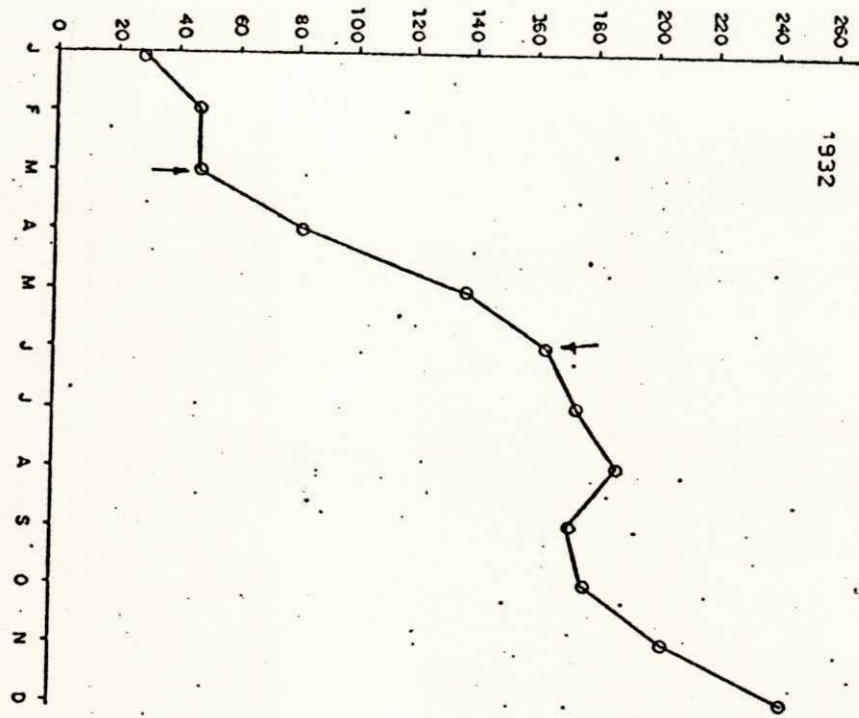
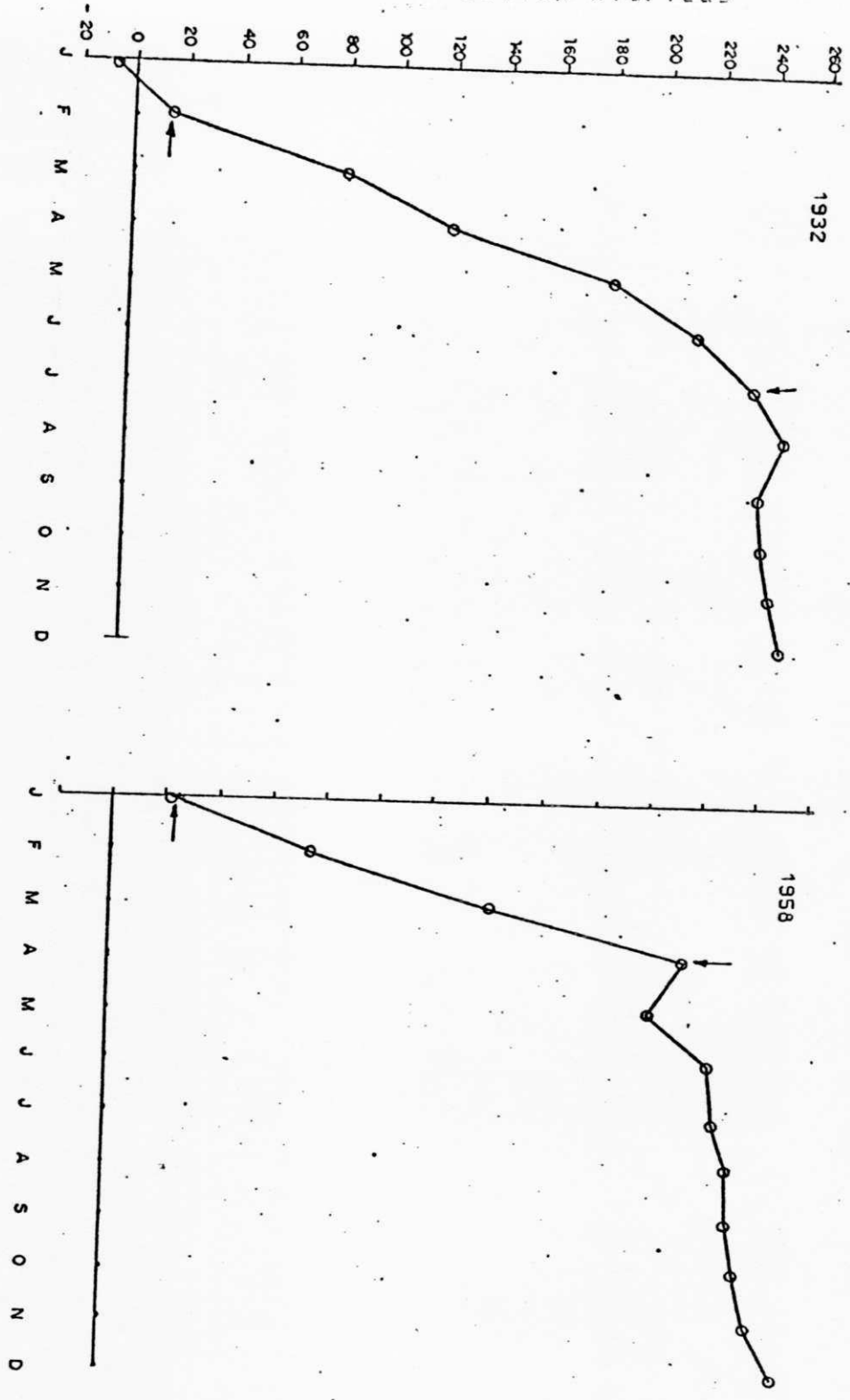


Figura 4.49 - Quixeramobim-CE. Variação acumulada das deficiências hídricas



Índice de aridez, o ISS revela que a seca severa de 1958 mostrou-se mais rigorosa do que a seca desastrosa de 1932.

Estes dois exemplos ilustrados evidenciam a importância do ISS como forma de obter, para situações específicas, informações mais detalhadas acerca dos efeitos danosos de secas de um mesmo tipo ou, até mesmo, de tipos diferentes. Tais análises possibilitam diferenciar o rigor através do ISS, que quanto maior for maior terá sido o impacto da seca nas atividades agropecuárias de uma região.

Ocasionalmente, pode ocorrer que o ISS de um período seja maior que o de um outro. Se os períodos forem iguais, não resta dúvida de que a seca de maior rigor é aquela com maior ISS, mas se forem diferentes? Qual produziria maiores efeitos sobre a produção agrícola: (a) se a de uma seca de curta duração e ISS maior, ou: (b) se a de uma outra seca com duração maior, porém com ISS menor?

Naturalmente que há a necessidade de informações estatísticas sobre a produtividade agrícola para dirimir-se tal questionamento.

#### 4.3 - Análise Estatística do Índice R

O modelo Beta foi aplicado às 180 (cento e oitenta) séries do índice R correspondentes aos 12 meses das 15 estações climatológicas constantes da pesquisa, verificando-se que em 145 casos o ajustamento do modelo se mostrou muito satisfatório, isto

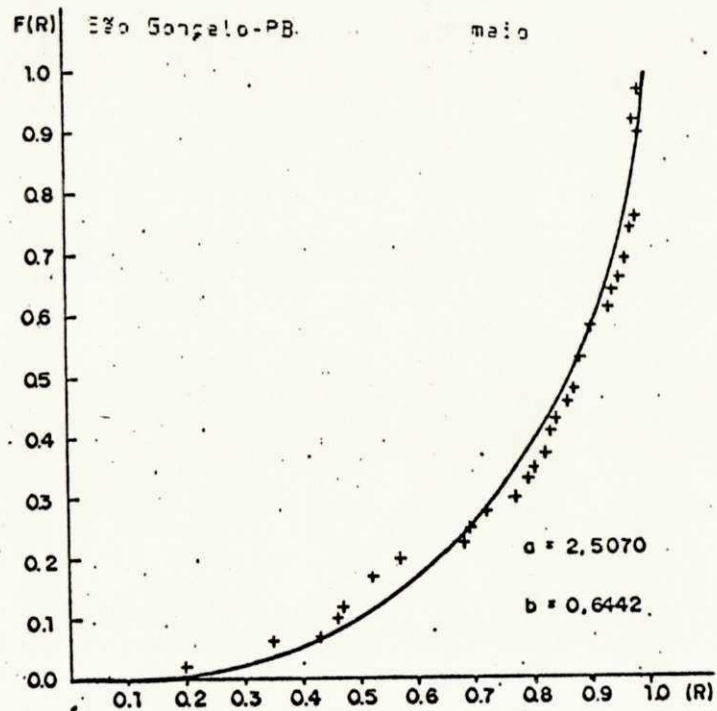
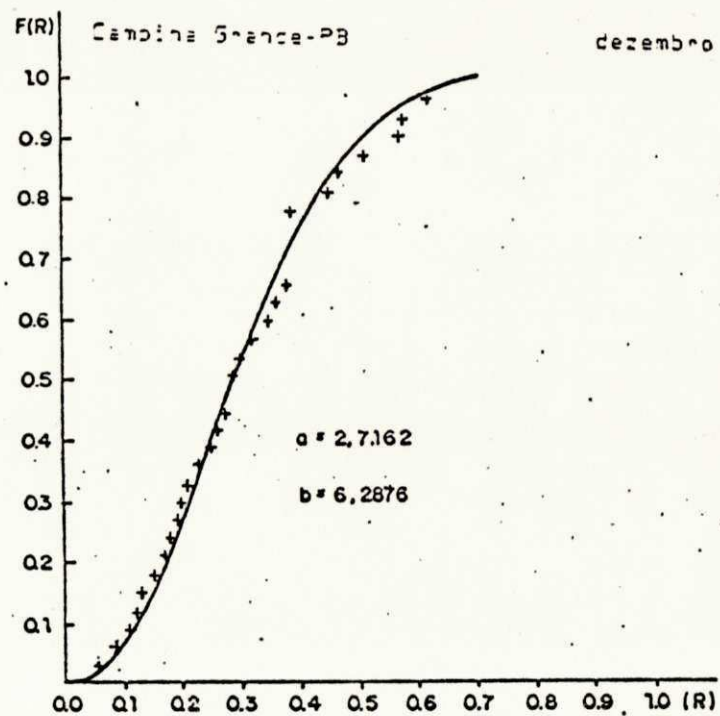
em razão de que na grande maioria desses 145 casos a Hipótese Nula de que os dados se distribuem segundo o modelo Beta foi aceita ao nível de significância de 0,20. Apenas em duas das 145 séries, o ajustamento se deu apenas ao nível de significância igual a 0,05. Estes resultados comprovam a representatividade do modelo Beta sobre o índice R, como é mostrado nas Figuras 4.50 e 4.51. Deve-se ressaltar que em alguns casos (28 dos 145 considerados satisfatórios) o ajustamento só se verificou para valores de R menores do que 0,95. Estes resultados, aliás, estão em concordância com os obtidos em outros trabalhos realizados por YAO (1969). Observa-se também, que na maioria das séries com ajustamento não satisfatório, verificou-se uma concentração muito intensa de R em torno da unidade ou, num outro extremo, próximo do valor nulo.

Quando procede-se uma comparação dos meses com probabilidade de excedência de  $R = 0.60$  superior a 80%, verifica-se que em geral o trimestre mais chuvoso coincide com o trimestre potencialmente mais apto para a prática agrícola, havendo em alguns casos defasagem de um mês entre um e outro. Entenda-se por potencialmente mais apto, como aquele mês em que a probabilidade de excedência de  $R = 0.60$  vem a ser maior ou igual a 80%, ou seja:  $P ( R > 0.60 ) > 80\%$ .

Das localidades estudadas somente três apresentam dois meses (março e abril) potencialmente aptos que são: Quixeramobim-CE, Quixadá-CE e Iguatu-CE. A situação mais crítica, porém, é a de Remanso-BA, onde não registrou-se sequer um mês potencialmente



Figura 4.50 - Curvas da Distribuição Beta e valores obtidos pela Kimball



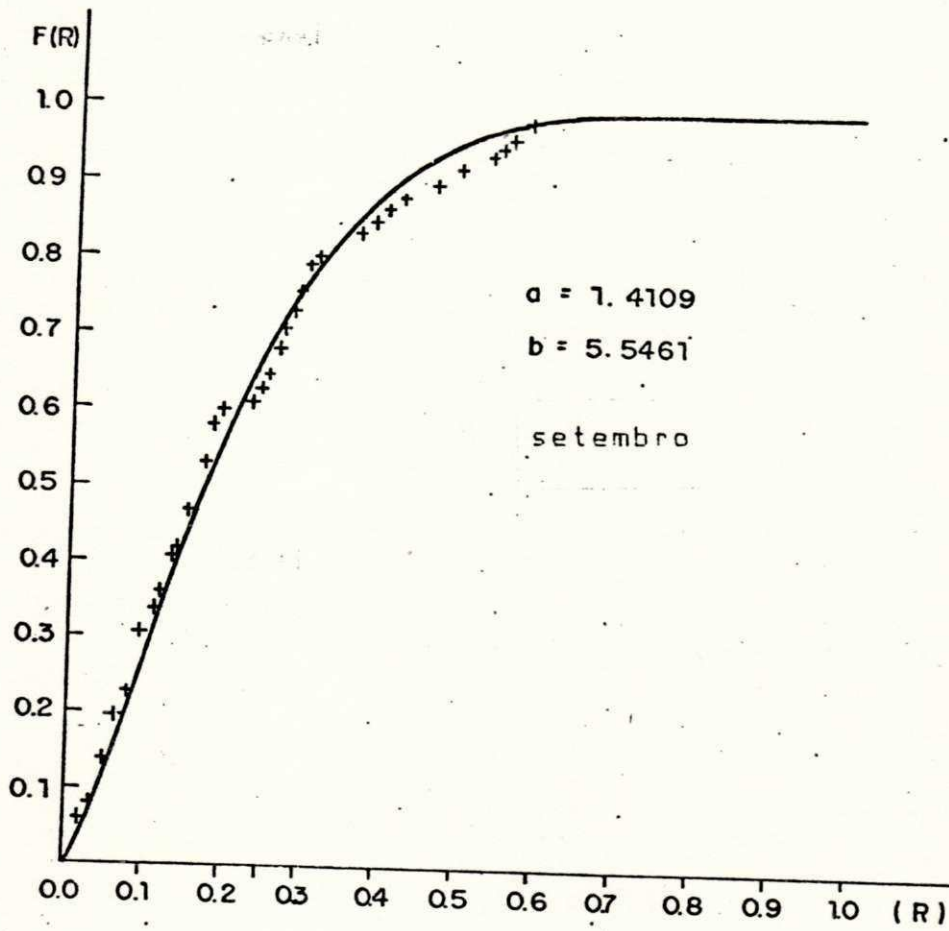


Figura 4.51 - Fortaleza-CE. Curva da Distribuição Beta e valores obtidos pela Kimball

apto. Os locais com pelo menos cinco meses potencialmente aptos são: Tapacurá ( de março a agosto ), Natal-RN (de março a agosto), João Pessoa-PB (de março a setembro), Anádia-AL (de abril a outubro) e Alagoinhas-BA (de abril a setembro). Com quatro meses aptos registraram-se as localidades de : Propriá-SE (de abril a julho), Campina Grande-PB (de maio a agosto), São Gonçalo-PB (de fevereiro a maio), Fortaleza-CE (de março a junho), Umbuzeiro-PB (de maio a agosto) e Teresina-PI (de janeiro a abril).

De acordo com os resultados acima, constata-se que a prática agrícola em Remanso-BA é de altíssimo risco; requerendo, portanto, o recurso sistemático da irrigação. Por outro lado, os locais com 2 meses potenciais também apresentam um grande risco.

Nos casos estudados os riscos são de menores proporções em Propriá-SE, Campina Grande-PB, São Gonçalo-PB, Fortaleza-CE, Umbuzeiro-PB e Teresina-PI. Normalmente, não ocorrem deficiências hídricas comprometedoras em Tapacurá-PE, Natal-RN, João Pessoa-PB, Anádia-AL e Alagoinhas-BA.

Como forma de oferecer subsídio ao planejamento de atividades agrícolas nas localidades incluídas na pesquisa, são apresentadas tabelas de probabilidades de excedência para diversos valores de R. Nessas tabelas constam os parâmetros a e b do modelo Beta, o método empregado em suas estimativas e os desvios máximos verificados entre as distribuições empírica e teórica. Nos meses marcados com asterisco o ajustamento é muito satisfatório, para valores de R menores do que 0,95.

TABELA 4.6 - Probabilidade de Excedência de R. TERESINA-PI

mês	parâmetros		método	dmax	Valores do Índice R			
	a	b			0,60	0,70	0,80	0,90
jan	1,544	0,403	X	0,16	0,80	0,73	0,63	0,48
fev	7,533	0,528	X	0,06	0,99	0,97	0,92	0,77
mar	-	-	K	0,05	1,00	1,00	1,00	1,00
abr	3,272	0,165	X	0,05	0,98	0,96	0,92	0,85
mai	1,504	0,507	X	0,13	0,74	0,66	0,54	0,39
jun	1,319	2,271	X	0,11	0,18	0,09	0,00	0,00
jul	1,310	9,164	X	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00
ago	-	-	K	-	0,49	0,47	0,46	0,45
set	-	-	K	-	0,04	0,00	0,00	0,00
out	0,580	1,762	X	0,15	0,13	0,08	0,05	0,03
nov	0,573	1,123	X	0,13	0,23	0,17	0,11	0,06
dez	0,549	0,802	M	0,08	0,32	0,25	0,18	0,11

X = máxima verossimilhança    M = momentos    K = Kimball

TABELA 4.7 - Probabilidade de Excedência de R. FORTALEZA-CE

mês	parâmetros		método	dmax	Valores do Índice R			
	a	b			0,60	0,70	0,80	0,90
jan	0,806	0,636	M	0,11	0,49	0,41	0,31	0,20
fev	0,784	0,244	M	0,05	0,75	0,69	0,62	0,52
mar	-	-	K	-	0,95	0,94	0,93	0,92
abr	-	-	K	-	1,00	1,00	0,95	0,94
mai	10,364	0,591	X	0,04	1,00	0,99	0,96	0,82
jun	3,623	0,556	X	0,10	0,93	0,86	0,75	0,56
jul	1,272	0,696	X	0,08	0,60	0,50	0,38	0,24
ago	1,264	2,391	X	0,11	0,15	0,08	0,03	0,01
set	1,411	5,546	X	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00
out	1,590	15,554	X	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00
nov	0,858	8,183	X	0,20	0,01	0,00	0,00	0,00
dez	-	-	K	-	0,12	0,08	0,07	0,05

X = máxima verossimilhança    M = momentos    K = Kimball

TABELA 4.8 - Probabilidade de Excedência de R. NATAL-RN

mês :	parâmetros :		método :	dmax :	Valores do Índice R			
	a	b			0,60	0,70	0,80	0,90
jan	0,407	0,817	M	0,10	0,28	0,22	0,17	0,11
fev	0,403	0,314	M	0,15	0,54	0,49	0,43	0,34
mar	0,975	0,173	X	0,14	0,85	0,81	0,75	0,67
abr	-	-	K	-	0,93	0,91	0,88	0,87
mai	-	-	K	-	1,00	0,98	0,97	0,94
jun	-	-	K	-	1,00	1,00	1,00	0,76
jul	-	-	K	-	1,00	0,96	0,95	0,94
ago	7,445	0,628	X	0,17	0,99	0,97	0,90	0,72
set	2,540	1,116	X	0,14	0,69	0,55	0,38	0,19
out	2,187	4,599	X	0,17	0,07	0,02	0,00	0,00
nov	1,541	8,215	X	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00
dez	0,687	2,728	X	0,19	0,06	0,03	0,02	0,01

X = máxima verossimilhança      M = momentos      K = Kimball

TABELA 4.9 - Probabilidade de Excedência de R. ANADIA-AL

mês :	parâmetros :		método :	dmax :	Valores do Índice R			
	a	b			0,60	0,70	0,80	0,90
jan	3,215	3,615	X	0,09	0,25	0,11	0,03	0,00
fev	1,584	1,506	X	0,17	0,39	0,26	0,15	0,05
mar	1,212	0,685	X	0,17	0,59	0,49	0,38	0,24
abr	2,950	0,468	X	0,18	0,91	0,85	0,75	0,57
mai	-	-	K	-	1,00	1,00	0,85	0,44
jun	-	-	K	-	1,00	1,00	1,00	1,00
jul	-	-	K	-	1,00	1,00	1,00	1,00
ago	-	-	K	-	1,00	1,00	1,00	1,00
set	19,871	0,961	X	0,18	1,00	1,00	0,99	0,88
out	7,504	1,490	X	0,12	0,95	0,86	0,67	0,35
nov	3,543	1,652	X	0,11	0,68	0,51	0,31	0,12
dez	4,102	3,743	X	0,10	0,34	0,16	0,05	0,00

X = máxima verossimilhança      M = momentos      K = Kimball

TABELA 4.10 - Probabilidade de Excedência de R. ALAGOINHAS-BA

mês :	parâmetros :		método :	dmax :	Valores do Índice R			
	a	b			0,60	0,70	0,80	0,90
jan	1,484	0,985	X	0,12	0,54	0,42	0,29	0,15
fev	1,204	0,991	X	0,20	0,46	0,35	0,24	0,12
mar	0,613	0,471	M	0,16	0,51	0,44	0,36	0,26
abr	10,870	0,747	X	0,16	1,00	0,99	0,94	0,77
mai	1,715	0,140	M	0,04	0,94	0,91	0,87	0,38
jun	9,714	0,601	X	0,04	1,00	0,99	0,95	0,80
jul	2,672	0,117	M	0,07	0,98	0,96	0,93	0,87
ago	12,931	0,648	X	0,07	1,00	1,00	0,97	0,85
set	2,645	0,540	X	0,17	0,87	0,79	0,68	0,49
out	2,067	0,785	X	0,07	0,73	0,61	0,47	0,28
nov	1,956	0,497	X	0,22	0,82	0,73	0,62	0,45
dez	1,993	0,683	X	0,08	0,75	0,65	0,51	0,32

X = máxima verossimilhança    M = momentos    K = Kimball

TABELA 4.11 - Probabilidade de Excedência de R. UMBUZEIRO-PB

mês :	parâmetros :		método :	dmax :	Valores do Índice R			
	a	b			0,60	0,70	0,80	0,90
jan	0,777	1,218	X	0,21	0,26	0,18	0,11	0,05
fev	1,149	1,660	X	0,13	0,25	0,16	0,08	0,03
mar	0,745	0,539	M	0,11	0,50	0,44	0,35	0,24
abr	-	-	K	-	0,68	0,63	0,60	0,54
mai	-	-	K	-	0,94	0,91	0,85	0,63
jun	-	-	K	-	0,90	0,89	0,87	0,77
jul	-	-	K	-	0,87	0,86	0,85	0,84
ago	3,279	0,484	X	0,16	0,93	0,86	0,76	0,58
set	1,786	0,724	X	0,09	0,70	0,59	0,46	0,29
out	1,381	1,203	X	0,13	0,43	0,31	0,20	0,09
nov	1,210	1,553	X	0,09	0,29	0,19	0,10	0,04
dez	1,455	2,195	X	0,11	0,21	0,12	0,05	0,01

X = máxima verossimilhança    M = momentos    K = Kimball

TABELA 4.12 - Probabilidade de Excedência de R. QUIXADA-CE

mês :	parâmetros :		método :	dmax :	Valores do Índice R			
	a	b			0,60	0,70	0,80	0,90
jan	0,962	1,569	X	0,11	0,24	0,16	0,09	0,03
fev	-	-	K	-	0,64	0,62	0,61	0,60
mar	1,362	0,201	M	0,08	0,88	0,84	0,78	0,68
abr	1,200	0,133	M	0,03	0,91	0,88	0,83	0,76
mai	0,802	0,218	M	0,07	0,77	0,72	0,66	0,57
jun	1,689	0,704	X	0,08	0,57	0,47	0,36	0,22
jul	1,071	1,429	X	0,16	0,29	0,19	0,11	0,04
ago	1,120	3,803	X	0,13	0,04	0,00	0,00	0,00
set	1,574	9,517	X	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00
out	2,070	21,674	X	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00
nov	-	-	K	-	0,06	0,05	0,00	0,00
dez	1,368	8,031	X	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00

X = máxima verossimilhança      M = momentos      K = Kimball

TABELA 4.13 - Probabilidade de Excedência de R. QUIXERAMOBIM-CE

mês :	parâmetros :		método :	dmax :	Valores do Índice R			
	a	b			0,60	0,70	0,80	0,90
jan	0,686	1,295	X	0,15	0,22	0,15	0,09	0,04
fev	0,617	0,418	M	0,17	0,55	0,48	0,40	0,30
mar	0,934	0,189	X	0,05	0,83	0,78	0,73	0,63
abr	1,260	0,154	X	0,03	0,90	0,86	0,82	0,73
mai	0,867	0,271	X	0,06	0,75	0,69	0,62	0,51
jun	1,161	0,953	X	0,07	0,46	0,36	0,24	0,13
jul	0,928	1,698	X	0,11	0,20	0,12	0,06	0,00
ago	1,448	5,923	X	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00
set	1,756	14,225	X	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00
out	2,355	37,221	X	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00
nov	1,522	24,937	X	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00
dez	0,743	5,043	X	0,21	0,02	0,00	0,00	0,00

X = máxima verossimilhança      M = momentos      K = Kimball

TABELA 4.14 - Probabilidade de Excedência de R. IGUATU-CE

mês :	parâmetros :		método :	dmax :	Valores do Índice R			
	a	b			0,60	0,70	0,80	0,90
jan	0,669	0,674	M	0,10	0,42	0,34	0,26	0,16
fev	0,943	0,353	M	0,17	0,71	0,64	0,55	0,43
mar	2,219	0,194	M	0,03	0,94	0,91	0,86	0,76
abr	2,351	0,243	M	0,04	0,94	0,90	0,83	0,72
mai	1,506	0,545	X	0,09	0,73	0,63	0,52	0,36
jun	1,067	0,909	X	0,09	0,45	0,35	0,24	0,13
jul	1,455	2,515	X	0,05	0,16	0,08	0,03	0,01
ago	1,408	5,113	X	0,06	0,02	0,00	0,00	0,00
set	1,135	5,974	X	0,10	0,01	0,00	0,00	0,00
out	0,957	6,511	X	0,17	0,01	0,00	0,00	0,00
nov	-	-	K	-	0,03	0,02	0,00	0,00
dez	-	-	K	-	0,10	0,04	0,03	0,02

X = máxima verossimilhança      M = momentos      K = Kimball

TABELA 4.15 - Probabilidade de Excedência de R. SÃO GONÇALO-PB

mês :	parâmetros :		método :	dmax :	Valores do Índice R			
	a	b			0,60	0,70	0,80	0,90
jan	0,637	0,458	M	0,09	0,53	0,46	0,38	0,27
fev	1,115	0,215	M	0,08	0,84	0,79	0,52	0,27
mar	18,051	0,654	X	0,06	1,00	1,00	0,99	0,55
abr	9,293	0,578	X	0,04	1,00	0,99	0,95	0,80
mai	2,507	0,644	X	0,08	0,83	0,74	0,60	0,41
jun	2,399	1,177	X	0,10	0,65	0,51	0,34	0,16
jul	1,942	2,019	X	0,13	0,34	0,20	0,10	0,03
ago	2,930	7,559	X	0,05	0,02	0,00	0,00	0,00
set	1,845	8,433	X	0,12	0,01	0,00	0,00	0,00
out	1,392	7,166	X	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00
nov	-	-	K	-	0,07	0,06	0,05	0,04
dez	0,615	1,436	X	0,17	0,18	0,12	0,07	0,03

X = máxima verossimilhança      M = momentos      K = Kimball



TABELA 4.16 - Probabilidade de Excedência de R. PROPRIA-SE

mês :	parâmetros :		método :	dmax :	Valores do Índice R			
	a	b			0,60	0,70	0,80	0,90
jan	1,986	2,853	X	0,16	0,09	0,04	0,01	0,00
fev	1,694	4,357	X	0,09	0,05	0,00	0,00	0,00
mar	0,931	1,655	X	0,14	0,20	0,13	0,07	0,02
abr	1,112	0,673	X	0,12	0,57	0,47	0,36	0,23
mai	1,896	0,205	M	0,08	0,92	0,88	0,83	0,73
jun	1,972	1,153	M	0,10	0,95	0,92	0,87	0,80
jul	-	-	K	-	1,00	1,00	1,00	0,95
ago	3,798	0,543	X	0,16	0,94	0,88	0,77	0,58
set	1,979	0,716	X	0,06	0,74	0,63	0,49	0,31
out	1,350	1,097	X	0,09	0,46	0,34	0,22	0,11
nov	1,229	1,548	X	0,19	0,30	0,19	0,10	0,04
dez	1,673	2,971	X	0,06	0,14	0,06	0,02	0,00

X = máxima verossimilhança      M = Momentos      K = Kimball

TABELA 4.17 - Probabilidade de Excedência de R. CAMPINA GRANDE-PB

mês :	parâmetros :		método :	dmax :	Valores do Índice R			
	a	b			0,60	0,70	0,80	0,90
jan	1,012	1,768	X	0,14	0,20	0,12	0,06	0,02
fev	0,925	0,807	X	0,16	0,45	0,36	0,26	0,15
mar	0,908	0,492	M	0,16	0,61	0,53	0,43	0,30
abr	1,060	0,367	M	0,15	0,73	0,66	0,57	0,44
mai	4,094	0,546	X	0,16	0,95	0,89	0,79	0,60
jun	1,858	0,195	X	0,11	0,93	0,89	0,83	0,74
jul	6,038	0,515	X	0,21	0,98	0,95	0,89	0,72
ago	2,908	0,580	X	0,10	0,88	0,80	0,68	0,49
set	1,689	0,937	X	0,11	0,60	0,48	0,34	0,18
out	1,491	1,635	X	0,11	0,33	0,22	0,11	0,04
nov	1,670	3,208	X	0,08	0,12	0,05	0,00	0,00
dez	2,716	6,288	X	0,05	0,03	0,00	0,00	0,00

X = máxima verossimilhança      M = momentos      K = Kimball

TABELA 4.18 - Probabilidade de Excedência de R. JOÃO PESSOA-PB

mês :	parâmetros :		método :	dmax :	Valores do Índice R			
	a	b			0,60	0,70	0,80	0,90
jan	0,873	0,864	X	0,17	0,41	0,32	0,22	0,12
fev	0,901	0,620	X	0,14	0,53	0,44	0,34	0,22
mar	0,826	0,197	M	0,06	0,80	0,75	0,69	0,60
abr	6,581	0,454	X	0,04	0,99	0,97	0,92	0,77
mai	-	-	K	-	1,00	1,00	1,00	1,00
jun	-	-	K	-	0,97	0,96	0,93	0,24
jul	-	-	K	-	1,00	1,00	1,00	1,00
ago	-	-	K	-	1,00	0,98	0,96	0,94
set	4,459	0,780	X	0,10	0,93	0,85	0,72	0,48
out	5,124	5,088	X	0,08	0,27	0,10	0,02	0,00
nov	1,580	2,721	X	0,15	0,16	0,08	0,03	0,00
dez	0,837	1,369	X	0,15	0,24	0,16	0,09	0,04

X = Máxima verossimilhança      M = Momentos      K = Kimball

TABELA 4.19 - Probabilidade de Excedência de R. TAPACURA-PE

mês :	parâmetros :		método :	dmax :	Valores do Índice R			
	a	b			0,60	0,70	0,80	0,90
jan	0,957	1,206	X	0,15	0,32	0,22	0,14	0,03
fev	0,908	0,690	X	0,13	0,50	0,41	0,31	0,19
mar	0,743	0,186	M	0,06	0,79	0,74	0,69	0,60
abr	2,263	0,198	M	0,06	0,95	0,91	0,86	0,77
mai	-	-	K	-	1,00	1,00	0,88	0,46
jun	-	-	K	-	1,00	1,00	1,00	1,00
jul	-	-	K	-	1,00	1,00	1,00	1,00
ago	-	-	K	-	1,00	1,00	1,00	1,00
set	9,791	1,052	X	0,07	0,99	0,97	0,88	0,62
out	3,284	1,514	X	0,10	0,69	0,52	0,33	0,13
nov	1,556	1,428	X	0,17	0,41	0,28	0,16	0,06
dez	1,256	1,310	X	0,18	0,37	0,26	0,15	0,06

X = máxima verossimilhança      M = momentos      K = Kimball

TABELA 4.20 - Probabilidade de Excedência de R. REMANSO-BA

mês :	parâmetros :		método :	dmax :	Valores do Índice R			
	a	b			0,60	0,70	0,80	0,90
jan	1,139	1,180	X	0,07	0,38	0,27	0,17	0,08
fev	-	-	K	-	0,39	0,35	0,32	0,24
mar	0,700	0,336	M	0,15	0,65	0,58	0,50	0,39
abr	0,543	0,894	M	0,06	0,29	0,22	0,15	0,09
mai	0,797	3,827	X	0,14	0,28	0,14	0,00	0,00
jun	-	-	K	-	0,00	0,00	0,00	0,00
jul	-	-	K	-	0,00	0,00	0,00	0,00
ago	-	-	K	-	0,00	0,00	0,00	0,00
set	-	-	K	-	0,00	0,00	0,00	0,00
out	-	-	K	-	0,07	0,00	0,00	0,00
nov	0,665	0,840	X	0,10	0,45	0,35	0,25	0,14
dez	1,117	0,543	X	0,16	0,64	0,55	0,44	0,30

X = Máxima verossimilhança      M = Momentos      K = Kimball

## 5. CONCLUSÕES E SUGESTÃO

1. Muitas vezes a precipitação é usada como único parâmetro no estudo de secas em regiões áridas e semi-áridas. Entretanto, os resultados obtidos neste estudo, que não levam em conta somente a precipitação mas, também; a demanda hídrica, mostram que a análise de seca feita com base exclusivamente no suprimento hídrico (precipitação) pode produzir informações vulneráveis e bastante diferentes daquelas advindas de análises que consideram conjuntamente suprimento e demanda hídricas.

2. Em certas situações desvios ocasionais do índice anual de umidade alcançam tamanha magnitude que o regime de umidade de uma localidade muda para uma ou mais etapas direcionadas para o mais úmido ou para o mais árido. Neste sentido constatou-se que todas as estações que possuem tipo climático C<sub>1</sub> (árido sub-úmido) ou C<sub>2</sub> (úmido sub-úmido), apresentam freqüentes flutuações no regime de umidade e conseqüentemente ocorrem intensas mudanças climáticas temporárias na direção do mais úmido ou do mais árido.

3. Constatou-se que não necessariamente existe uma correlação entre a ocorrência de uma mudança climática temporária na direção mais árida e intensidade de seca de um dado ano e local.

4. O modelo Beta se mostrou muito adequado como modelo probabilístico para representar valores mensais do índice R.
5. A prática agrícola nas localidades de Quixeramobim-CE, Quixadá-CE, Iguatu-CE e especialmente em Remanso-BA, segundo os resultados aqui obtidos, é de alto risco, requerendo de forma sistemática o uso da irrigação.
6. Parece possível que a técnica do desvio acumulado pode proporcionar resultados mais realísticos a respeito de efeitos de secas sobre a agricultura do que análises baseadas em valores anuais do índice de aridez.
7. Sugere-se que sejam preenchidas as falhas nas séries temporais de temperaturas mensais do maior número possível de Estações Climatológicas Principais e Ordinárias em operação no NEB, como forma de viabilizar uma regionalização de áreas susceptíveis aos diferentes tipos de seca.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRAGA, C. C. Contribuição ao Estudo da Distribuição da Chuva no Estado do Rio Grande do Norte. Campina Grande, PB. UFPB. 1984. 84p (Tese de Mestrado).
- BHATIA, S. S. Arid Zone of India and Pakistan - A study in its water balance and delimitation. **Indian Journal Meteorology and Geophysics**, 8(4), 1957. pp 355-366.
- DALE, R. F. & SHAW, R. H. Effect on Corn Yield of Moisture Stress and Stand at Two Fertility Levels. **Agronomy Journal**, 57, 1965. pp 475-479.
- FERNANDEZ, B. & GONDIM, A. W. de A. Estimativa de Evapotranspiração em Areia-PB. **Agropecuária Técnica**, 1(1), 1980. pp 68-83.
- GOMES, P. A. A solução Agronômica do Problema das Secas. **Boletim do DNOCS**, 19(3), 1959. pp 238-247.
- GHOSE, S.K. & POULTNEY, R. G. Critério Prático para estimativa das Condições de seca do Nordeste Brasileiro. **Boletim de Recursos Naturais**, 10(1/2), 1972. pp 65-82.
- HARGREAVES, G. H. Disponibilidades e Deficiências de Umidade para a Produção Agrícola no Ceará. Project Report Contract No. AID

csd 2167, Utah State University, 1973. 88p.

----- **Climatic Zoning for Agricultural Production in Northeast Brazil.** Project Report Contract No. AID/csd-2167; Utah State University, 1974. 88p.

JOHNSON, D. Zoneamento Agroclimatológico do Milho e do Sorgo Granífero no Nordeste do Brasil. *Revista Econômica do Nordeste*, 3(11), 1980. pp 461-469.

MATHER, J. R. **Climatic Classification for Environmental Biology.** *Publications in Climatology*, XIX(4), 1966. pp 339-352.

MOTA, F. S. da et al. Balanço Hídrico do Rio Grande do Sul. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 5, 1970. pp 1-27.

----- **Índice de Seca para a Soja - contribuição para um modelo de previsão do rendimento da soja no Rio Grande do Sul.** *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 16(3), 1981. pp 371-383.

MIELKE Jr. , P. W. Convenient Beta Likelihood Techniques for Describing and Comparing Meteorological Data. *Journal of Applied Meteorology*, 1975. pp 985-990.

RATISBONA, L. R. Climates of Central and South América. *World Survey of Climatology*, 12, 1976. pp 255-269.

REDDY, S. J. Climatic Classification: The Semi-Arid Tropics and Its Environment. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 18(8), 1983. pp 823-847.

SUBRAHMANYAM, V. P. Climatic Types of India according to the

- rational classification of Thornthwaite. **Indian Journal of Meteorology and Geophysics**, 7(3), 1956. pp 253-264.
- SUBRAHMANYAM, V.P., SUBBA RAD, B. and SUBRAHMANIAM, A.R. Moisture Adequacy in Relation to the Distribution of Some Crops in India. **Inter. Union of Geodecy and Geophysics**, Berkeley Symposium, 1963. pp 462-467.
- SUBRAHMANYAM, V. P. & SUBRAMANIAM, A. R. Aplication of Water Balance concepts for a Climatic Study of Droughts in South India. **Indian Journal of Meteorology and Geophysics**, 15(3), 1964. pp 393-402.
- SUBRAHMANYAM, V. P. & SASTRI, C. V. S. A Study of Aridity and Droughts at Visakhapatnam. **Annals of The Arid Zone**, 8, 1969. pp 18-22.
- SUBRAHMANYAM, V. P. KARUNA, K. K. Aplication of Water Balance Concepts in Geographical Studies. **The Indian Geographical Society Golden Jubilee Volume**, 1976. pp 244-253.
- SUBRAHMANYAM, V. P. & MALINE, B. H. Delimitation of Drought-Prone Areas - Techniques and Methodology. In: Proceedings of the all India Simposium on Drought Prone Areas of India. S.V. UNIVERSITY. 1979. pp. 31-35.
- SILVA, A. T. A. & MARQUES, V. S. Determinação de Períodos Secos e Chuvosos para a Região Nordeste do Brasil. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia. **ANAIS**. Sociedade Brasileira de Meteorologia. Rio de Janeiro, 3, 1984. pp 291-308.



- THORNTHWAITE, C. W. An Approach Toward a Rational Classification of Climate. **The Geographical Review**, 38(1), 1948. pp 55-94.
- THORNTHWAITE, C.W. & MATHER, J.R. The water balance. **Publications in Climatology, Laboratory of Climatology**, 8(1). 104 p. 10
- THORNTHWAITE, C. W. & MATHER, J. R. **Instructions and Tables for Computing Potential Evapotranspiration and the Water Balance.** Publications in Climatology. Laboratory of Climatology, 10(3), 1957. pp 185-311.
- WILHITE, D. A. & GLANTZ, M. H. Understanding The Drought Phenomenon: The Role of Definitions. **Water International**, 10, 1985. pp 111-120.
- XAVIER, T. M. B. S. & XAVIER, A. F. S. Classificação de Anos Secos e Chuvosos na Região Nordeste do Brasil e sua Contribuição Espacial. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 3, **ANAIS**. Rio de Janeiro. Sociedade Brasileira de Meteorologia. 3, 1984. pp 267-275.
- YAO, A. Y. M. The R Index for Plant Water Requirement. **Agricultural Meteorology**, 6, 1969. pp 259-273.
- Evaluating Climatic Limitations for a Specific Agricultural Enterprise. **Agricultural Meteorology**, 12, 1973. pp 65-73.
- Agricultural Potential Estimated from the Ratio of Actual To Potential Evapotranspiration. **Agricultural**

Meteorology, 13, 1974. pp 405-417.

-----A Statistical Model for the Surface Relative Humidity.

Journal of Applied Meteorology 13, 1974. pp 17-21.