



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
CURSO DE DOUTORADO EM RECURSOS NATURAIS**



Açude Coremas - Foto DNOCS

**TESE DE DOUTORADO EM RECURSOS NATURAIS**

**ÁREA : RECURSOS HÍDRICOS**

**TÍTULO : "INTER-RELAÇÕES ENTRE TSMs GLOBAIS,  
SISTEMAS ATMOSFÉRICOS DE MESO E GRANDE  
ESCALAS E ANOMALIAS DE VOLUME DOS  
PRINCIPAIS RESERVATÓRIOS DE ÁGUA DA  
PARAÍBA "**

**CANDIDATO : MANOEL FRANCISCO GOMES FILHO**

**Campina Grande – PB, 04 de agosto de 2000**



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
CURSO DE DOUTORADO EM RECURSOS NATURAIS

**TESE DE DOUTORADO**

**TÍTULO :** INTER-RELAÇÕES ENTRE TSMS GLOBAIS, SISTEMAS ATMOSFÉRICOS DE MESO E GRANDE ESCALAS E ANOMALIAS DE VOLUME DOS PRINCIPAIS RESERVATÓRIOS DE ÁGUA DA PARAÍBA

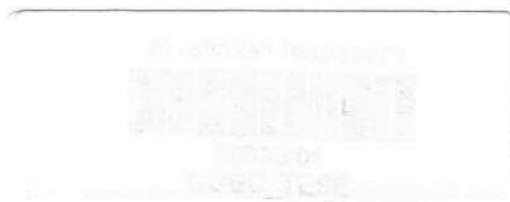
**DOUTORANDO :** MANOEL FRANCISCO GOMES FILHO

**ORIENTADORES :**

Prof. VAJAPYAM S. SRINIVASAN PhD

Prof. JOSÉ ORIBE ROCHA DE ARAGÃO PhD

Campina Grande – Paraíba  
agosto de 2000





G633i Gomes Filho, Manoel Francisco.  
Inter-relações entre TSMS globais, sistemas atmosféricos de meso e grande escalas e anomalias de volume dos principais reservatórios de água da Paraíba / Manoel Francisco Gomes Filho. - Campina Grande, 2000.  
122 f. : il. color.

Tese (Doutorado em Recursos Naturais) - Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2000.  
"Orientação: Prof. Dr. Vajapeyam S. Srinivasan, Prof. Dr. José Oribe Rocha de Aragão".  
Referências.

1. Reservatórios de Água - Paraíba (PB). 2. Sistemas Atmosféricos de Meso e Grande Escala. 3. Recursos Hídricos. 4. Recursos Naturais - Tese. I. Srinivasan, Vajapeyam S. II. Aragão, José Oribe Rocha de. III. Universidade Federal da Paraíba - Campina Grande (PB).

CDU 628.13(813.3)(043)

MANOEL FRANCISCO GOMES FILHO

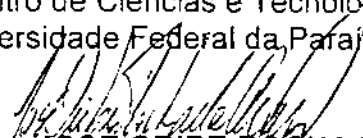
**INTER-RELAÇÕES ENTRE TSMs GLOBAIS, SISTEMAS ATMOSFÉRICOS DE MESO E GRANDE ESCALAS E ANOMALIAS DE VOLUME DOS PRINCIPAIS RESERVATÓRIOS DE ÁGUA DA PARAÍBA**

APROVADA COM DISTINÇÃO EM: 04/08/2000

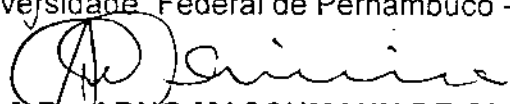
**BANCA EXAMINADORA:**



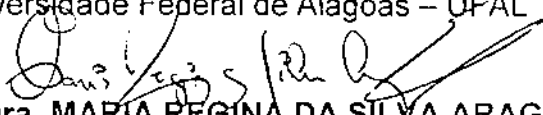
**Prof. Dr. VAJAPEYAM S. SRINIVASAN**  
Departamento de Engenharia Civil – DEC  
Centro de Ciências e Tecnologia – CCT  
Universidade Federal da Paraíba – UFPB



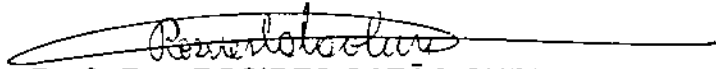
**Prof. Dr. JOSÉ ORIBE ROCHA DE ARAGÃO**  
Departamento de Oceanografia – DOCEAN  
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE



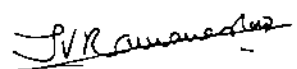
**Prof. Dr. ARNO MASCHMANN DE OLIVEIRA**  
Departamento de Geologia e Topografia – DGT  
Universidade Federal de Alagoas – UFAL



**Profa. Dra. MARIA REGINA DA SILVA ARAGÃO**  
Departamento de Ciências Atmosféricas – DCA  
Centro de Ciências e Tecnologia – CCT  
Universidade Federal da Paraíba – UFPB



**Profa Dra. ROSIRES CATÃO CURI**  
Departamento de Engenharia Civil – DEC  
Centro de Ciências e Tecnologia – CCT  
Universidade Federal da Paraíba – UFPB



**Prof. Dr. TANTRAVAHÍ VENKATA RAMANA RAO**  
Departamento de Ciências Atmosféricas – DCA  
Centro de Ciências e Tecnologia – CCT  
Universidade Federal da Paraíba – UFPB



*“A solução naturalmente indicada para retenção d’água é a açudagem. Guardar a água caída no inverno para distribuí-la na seca; guardá-la nos anos chuvosos para distribuí-la nos escassos. “*

**Arrojado Lisboa.**

**Em 28 de agosto de 1913.**

## DEDICATÓRIA

Esta tese é dedicada às pessoas mais importantes da minha vida e, por isso, co-responsáveis pela sua conclusão :

*À*

*minha esposa Lenilda M. C. Gomes,*

*minhas filhas, Cynthia e Cybele,*

*meus irmãos , Conceição, Tereza, José e Gervásio .*

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a DEUS porque ELE, sendo o Grande Arquiteto do Universo, é a razão de toda nossa existência.

Ao Departamento de Ciências Atmosféricas do CCT da UFPB, pela oportunidade que me foi dada para realizar este curso de doutorado.

Aos Professores Vajapeyam S. Srinivasan e José Oribe Rocha de Aragão, por suas orientações,

À minha família pela compreensão pelos tantos dias que embora perto, estive ausente, dedicando meu tempo à conclusão deste trabalho,

Ao Dr. Clóvis Sansígolo do INPE de São José dos Campos pelas sugestões e parecer sobre o Plano da Tese,

A todos colegas Professores da Ativa e Aposentados pela colaboração, especialmente às Professoras Margrit H. Nitzsche e Maria Regina da Silva Aragão pelas discussões e valiosas sugestões,

Aos Professores do DEC, Área de Recursos Hídricos, Carlos de Oliveira Galvão e Eduardo Enéas de Figueiredo pela ajuda no uso dos modelos hidrológicos, Tank Model e NAVMO, respectivamente.

A Senhora Eyres Diana Ventura, nossa incansável colaboradora de todas as horas, pelo apoio computacional.

Ao LMRS/PB, pela cessão de dados da precipitação diária de estações da região do Sertão e figuras utilizadas neste trabalho,

Aos meus alunos, orientados tanto de Iniciação Científica quanto de Mestrado, que talvez até sem perceberem, deram uma parcela de contribuição para a realização deste trabalho, em especial a Adma Raia pela contribuição para o uso do programa PRECIP e Edglay Enéas pela ajuda na programação Fortran.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a finalização deste trabalho.

## RESUMO

Apresenta-se uma análise das influências dos sistemas atmosféricos de meso e grande escalas, sobre os recursos hídricos armazenados nos principais reservatórios de água na Paraíba. Essa análise foi realizada sob dois aspectos distintos: primeiramente, investigou-se a influência em grande escala, através do exame das correlações entre as anomalias de temperatura dos oceanos Atlântico e Pacífico em uma base global e as anomalias de volume para os três reservatórios principais do estado que foram Boqueirão de Cabaceiras, Coremas/Mãe D'água e Engenheiro Ávidos. Os resultados obtidos mostram que existem fortes correlações negativas entre as temperaturas superficiais do oceano Pacífico nas regiões denominadas NINO1+2 e NINO3 e os volumes considerados. Considerando a influência dos sistemas de mesoescala sobre os volumes, observou-se a partir de histogramas de frequência da ocorrência de sistemas convectivos de mesoescala que a maior atividade desses sistemas ocorria no mês de março nas áreas dos reservatórios e que nos anos de El Niño essa atividade era bastante reduzida, com repercussão nos volumes mensais. Para se estimar qual a contribuição desses sistemas para o volume dos reservatórios, realizou-se um estudo de caso para a ocorrência de uma linha de instabilidade no mês de maio do ano de 1999, com estimativa do volume de água acrescentado aos reservatórios através da simulação da vazão correspondente, usando-se para isso dois modelos hidrológicos diários, sendo um global (Tank Model) e outro distribuído (NAVMO). Os resultados mostram que um volume considerável de água de um determinado reservatório é proveniente dos eventos de mesoescala.

## ABSTRACT

An analysis of the influence of the atmospheric large scale systems and mesoscale, on the deviations of the volumes of water stored in the main reservoirs of Paraíba in Northeast of Brazil is presented here. The analysis was accomplished under two different aspects: firstly, it was investigated through the nature of the correlations between the anomalies of the temperature of the Atlantic and Pacific Oceans on a global base and the volume anomalies for the three main reservoirs of the state of Paraíba namely, Boqueirão , Coremas and Engenheiro Ávidos. The results show that strong negative correlations exist among the surface temperatures of the Pacific Ocean in the areas denominated NINO1+2 and NINO3 and the considered volume anomalies. Considering the influence of the mesoscale convective systems on the volumes, the analysis of the histograms of frequency of the occurrence of these systems, that the largest activity of these systems occur in the month of March in the areas of the reservoirs and that in El Niño years that activity is quite reduced, with large repercussions on the monthly volumes. To evaluate the contribution of those systems for the volume of the reservoirs, a case study of an occurrence in the month of May 1999, was made to estimate the volume of water contributed to the reservoirs through the simulation of the corresponding river discharge, two hydrologic daily flow models, being one global (Tank Model) and another distributed (NAVMO) were used for simulating the flow. The results show that the mesoscale systems that occur on the area of the reservoirs are responsible for the contribution of significant volumes.



## SUMÁRIO

I. Introdução.....	18
II. Revisão Bibliográfica.....	23
III. Dados e Metodologia .....	34
IV. Resultados e Discussão .....	46
V. Conclusões .....	111
VI. Referências Bibliográficas.....	113
VII. Anexos .....	118
Anexo 1	
Fluxograma do Programa PRECIP para estimativa da precipitação por satélite	
Anexo 2	
Fluxograma do Modelo NAVMO	
Anexo 3	
Relação dos postos meteorológicos utilizados pelo modelo NAVMO	
Anexo 4	
Bacia do rio Piancó, principal contribuinte para o açude Coremas	

## LISTA DE FIGURAS

Figura I.1	Médias para dez/jan/fev/mar das anomalias de volume do Coremas (CODJFM) e dos índices, Dipolo do Atlântico (DDJFM) e Oscilação do Sul (OSDJFM)	21
Figura II.1	Correlações entre TSM médias para novembro a janeiro e a precipitação na área do reservatório Coremas para fevereiro	26
Figura II.2	Correlações entre TSM médias para novembro a janeiro e a precipitação na área do reservatório Coremas para março	26
Figura II.3	Correlações entre TSM médias para novembro a janeiro e a precipitação na área do reservatório Coremas para abril	27
Figura II.4	Correlações entre TSM médias para novembro a janeiro e a precipitação na área do reservatório Coremas para abril	27
Figura II.5	Imagens setorizadas do satélite Meteosat 4 no canal infravermelho das 2:00 às 10:00 horas, tempo local, para o dia 15 de março de 1994	33
Figura III.1	Localização dos açudes monitorados na Paraíba, inclusive os que foram considerados neste trabalho	34
Figura III.2	Regiões do Oceano Pacífico correspondentes aos índices usados neste trabalho	41
Figura III.3	Representação esquemática do modelo Tank Model diário para regiões semi-áridas	44
Figura IV.1	Correlações entre as anomalias de volume do açude Coremas para fevereiro e as anomalias de TSM, média para novembro a janeiro	47

Figura IV.2	Correlações entre as anomalias de volume do açude Coremas para março e as anomalias de TSM, média para novembro a janeiro	48
Figura IV.3	Correlações entre as anomalias de volume do açude Coremas para abril e as anomalias de TSM, média para novembro a janeiro	48
Figura IV.4	Correlações entre as anomalias de volume do açude Coremas para abril e as anomalias de TSM, média para fevereiro a abril	49
Figura IV.5	Correlações entre as anomalias de volume do açude Coremas para maio e as anomalias de TSM, média para fevereiro a abril	50
Figura IV.6	Correlações entre as anomalias de volume do açude Coremas para junho e as anomalias de TSM, média para fevereiro a abril	50
Figura IV.7	Correlações entre as anomalias de volume do açude Boqueirão para fevereiro e as anomalias de TSM, média para novembro a janeiro	52
Figura IV.8	Correlações entre as anomalias de volume do açude Boqueirão para março e as anomalias de TSM, média para novembro a janeiro	54
Figura IV.9	Correlações entre as anomalias de volume do açude Boqueirão para abril e as anomalias de TSM, média para novembro a janeiro	54
Figura IV.10	Correlações entre as anomalias de volume do açude Boqueirão para maio e as anomalias de TSM, média para novembro a janeiro	55
Figura IV.11	Correlações entre as anomalias de volume do açude Boqueirão para fevereiro e as anomalias de TSM, média para fevereiro a abril	56
Figura IV.12	Correlações entre as anomalias de volume do açude Boqueirão para março e as anomalias de TSM, média para fevereiro a abril	56
Figura IV.13	Correlações entre as anomalias de volume do açude Boqueirão para março e as anomalias de TSM, média para fevereiro a abril	57
Figura IV.14	Correlações entre as anomalias de volume do açude Boqueirão para maio e as anomalias de TSM, média para fevereiro a abril	57

Figura IV.15	Correlações entre as anomalias de volume do açude Engenheiro Ávidos para fevereiro e as anomalias de TSM, média para novembro a janeiro	60
Figura IV.16	Correlações entre as anomalias de volume do açude Engenheiro Ávidos para março e as anomalias de TSM, média para novembro a janeiro	60
Figura IV.17	Correlações entre as anomalias de volume do açude Engenheiro Ávidos para abril e as anomalias de TSM, média para novembro a janeiro	61
Figura IV.18	Correlações entre as anomalias de volume do açude Engenheiro Ávidos para maio e as anomalias de TSM, média para novembro a janeiro	61
Figura IV.19	Correlações entre as anomalias de volume do açude Engenheiro Ávidos para abril e as anomalias de TSM, média para fevereiro a abril	62
Figura IV.20	Correlações entre as anomalias de volume do açude Engenheiro Ávidos para maio e as anomalias de TSM, média para fevereiro a abril	63
Figura IV.21	Histogramas de frequência de sistemas de mesoescala na área da Bacia Hidrográfica do Coremas, para o período de 1934 a 1985	73
Figura IV.22	Histogramas de frequência de sistemas de mesoescala na área da Bacia Hidrográfica do Boqueirão, no período de 1961 a 1985	75
Figura IV.23	Histogramas de frequência de sistemas de mesoescala na área da Bacia Hidrográfica do Engenheiro Ávidos, para o período de 1936 a 1985	77
Figura IV.24	Número de sistemas convectivos de mesoescala na área do açude Coremas e desvios da vazão do Rio Piancó no mês de fevereiro, para o período de 1964 a 1985	87
Figura IV.25	Número de sistemas convectivos de mesoescala na área do açude Coremas e desvios da vazão do Rio Piancó no mês de março, para o período de 1964 a 1985	88
Figura IV.26	Número de sistemas convectivos de mesoescala na área do açude	

	Coremas e desvios da vazão do Rio Piancó no mês de abril, para o período de 1964 a 1985	88
Figura IV.27	Imagens do satélite GOES 8 no canal infravermelho, setorizadas para a Região Nordeste, mostrando um sistema convectivo de mesoescala sobre os estados do R.G. do Norte, Paraíba e Pernambuco	91
Figura IV.28	Imagens do satélite GOES 8 no canal infravermelho, setorizadas para a Região Nordeste, mostrando um sistema convectivo de mesoescala, em fase de dissipação	92
Figura IV.29	Campo meteorológico da pressão à superfície em grande escala, para o dia 13.05.99 às 12 TMG dado pelo CPTEC	93
Figura IV.30	Campos meteorológicos de grande escala para o dia 13.05.99 às 12 TMG, dados pelo CPTEC	94
Figura IV.31	Campos meteorológicos de grande escala para o dia 13.05.99 às 12 TMG, dados pelo CPTEC	95
Figura IV.32	Estimativa da precipitação ocorrida entre os dias 13 e 14 de maio de 1999 pelo modelo PRECIP, que utiliza imagens do satélite GOES 8 e radar	96
Figura IV.33	Estimativa da precipitação ocorrida entre os dias 13 e 14 de maio de 1999 pelo modelo PRECIP, que utiliza imagens do satélite GOES 8 e radar	97
Figura IV.34	Estimativa da precipitação ocorrida entre os dias 13 e 14 de maio de 1999 pelo modelo PRECIP, que utiliza imagens do satélite GOES 8 e radar	98
Figura IV.35	Vazão observada e vazão simulada pelo Tank Model, para os anos de 1987 a 1988	101
Figura IV.36	Vazão observada e vazão simulada pelo Tank Model, para o ano de 1988	101
Figura IV.37	Vazões calculadas pelos modelos Tank Model e NAVMO para o evento dos dias 13 a 14.05.99	102
Figura IV.38	Vazões calculadas pelo modelo NAVMO para o evento dos dias 13 a 14.05.99	103



Figura IV.39	Desvios normalizados da precipitação média mensal, para todos os postos da área do açude Coremas nos meses de fevereiro a abril da série de 1909 a 1993	107
Figura IV.40	Desvios normalizados dos totais anuais da precipitação, para todos os postos da área do açude Coremas para a série 1909 a 1993	108

## LISTA DE TABELAS

Tabela III.1	Correlações entre as anomalias de TSM e de volume dos açudes Considerados	35
Tabela III.2	Sistema de mesoescala observado em 15 de março de 1994	42
Tabela IV.1	Episódios El Niño ocorridos no período de 1934 a 1985 e desvios da frequência do número de casos de sistemas de mesoescala na área do Coremas.	81
Tabela IV.2	Episódios El Niño ocorridos no período de 1934 a 1985 e desvios da frequência do número de casos de sistemas de mesoescala na área do Engenheiro Ávidos.	83
Tabela IV.3	Episódios El Niño ocorridos no período de 1934 a 1985 e desvios da frequência do número de casos de sistemas de mesoescala na área do Boqueirão.	85
Tabela IV.4	Correlações entre o número de sistemas convectivos de mesoescala na área do açude Coremas e os desvios normalizados da vazão do Rio Piancó no sertão da Paraíba, período de 1964 a 1986	87

## LISTA DE ABREVIATURAS USADAS

BHD	Bacia Hidrográfica de Drenagem
CCT	Centro de Ciências e Tecnologia
CDB	Climate Diagnostics Bulletin
CPTEC	Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos
DCA	Departamento de Ciências Atmosféricas
DEC	Departamento de Engenharia Civil
ENOS	El Niño – Oscilação do Sul
FUNCEME	Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
GOES 8	Geostationary Orbital Earth Satellite 8
hPa	hecto Pascal - que equivale a 100 Pascais
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IOS	Índice da Oscilação do Sul
LMRS/PB	Laboratório de Meteor. Rec. Hídricos e Sensor. Remoto da PB.
NAVMO	Niederschlag – Abluss Verdugstungs Modell
NCEP	National Centers for Environmental Prediction
NEB	Nordeste Brasileiro
RAMS	Regional Atmospheric Modeling System
TMG	Tempo Médio de Greenwich
TSM	Temperatura da Superfície do Mar
UFPB	Universidade Federal da Paraíba
USA	United States of the America
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

## 1. INTRODUÇÃO

A região tropical é geralmente definida, como a área em volta do globo terrestre compreendida pelos paralelos de 23° 27' de latitude norte e sul, chamados Trópicos de Câncer e Capricórnio, respectivamente. Essa região, devido às peculiaridades inerentes à sua localização, tais como maior quantidade de energia disponível, temperaturas mais altas e grande teor de umidade no ar, deveria ser uma região de clima úmido, com precipitações abundantes, favorável ao surgimento de grandes florestas. Isso é verdade para uma parte dessa região, porém existem áreas que, ao contrário do que se esperava, apresentam climas muito próximos dos desertos.

Este é o caso do nordeste da América do Sul, onde está localizada a Região Nordeste do Brasil – NEB. Esta região apresenta, em sua quase totalidade, clima semi-árido, com uma grande variabilidade na distribuição da precipitação, tanto em uma escala espacial como temporal. Os problemas relacionados com essa variabilidade na distribuição das chuvas, tais como estiagens prolongadas ou chuvas muito intensas, causam sérios transtornos nessa área que é densamente povoada.

O Estado da Paraíba entre outros, sofre com os sérios problemas de estiagem que ocorrem no NEB. Esse fenômeno que, à luz do conhecimento científico atual, está intimamente ligado à circulação atmosférica de grande escala, causa sérios transtornos às populações nordestinas, principalmente àquelas localizadas nos estados pertencentes ao Polígono das Secas.

De uma forma análoga, existe um outro aspecto que causa efeito inverso ao das secas, porém que não é menos traumático que o primeiro, que é formado pelos sistemas que provocam grandes precipitações em curtos intervalos de tempo. Estes podem estar associados com circulações atmosféricas de grande escala como, por exemplo, aquelas provocadas pelo sistema recíproco do El Niño, que é chamado de La Niña, assim como também na mesoescala, os sistemas convectivos.

Apesar de ainda não existirem estudos detalhados sobre o assunto, especula-se que, anos com precipitações muito acima da média, nos quais ocorrem grandes inundações, são tão prejudiciais à região quanto anos de seca, já que causam, por exemplo, prejuízos materiais com a perda das sementes plantadas, estradas destruídas, barragens estouradas, além de, é claro, as vidas humanas perdidas em desabamentos e enchentes.

Referindo-nos a um desses aspectos de grande escala que influencia as chuvas no Nordeste, temos o fenômeno conhecido por *El Niño* que é o aquecimento anômalo das águas superficiais do Oceano Pacífico ao longo da região equatorial. Como consequência, ocorre a formação de uma circulação anômala, envolvendo movimentos ascendentes e descendentes sobre as regiões equatoriais dos Oceanos Pacífico e Atlântico, respectivamente, com movimentos horizontais na direção leste-oeste. O ramo descendente dessa circulação, que é denominada de Circulação de Walker, sobre a região do Atlântico diminui os movimentos ascendentes sobre a Amazônia e o Nordeste do Brasil, causando diminuição na formação de nuvens e reduzindo substancialmente a precipitação sobre essas duas regiões. Esse fenômeno é caracterizado por episódios que podem ser classificados em fracos, moderados e fortes, dependendo do maior ou menor grau de aquecimento das águas do mar, da extensão horizontal e do tempo de duração desse aquecimento. O fenômeno El Niño, ocorre geralmente, associado com a fase negativa da Oscilação do Sul, que é uma oscilação na pressão atmosférica ao nível do mar, em duas regiões distintas do Oceano Pacífico (Tahiti e Darwin) e denomina-se *ENOS-El Niño/Oscilação do Sul*. Esse fenômeno tem sido associado, durante muitos anos, às secas no Nordeste.

Outro fenômeno importante normalmente associado com as secas do Nordeste é o conhecido como *Dipolo do Atlântico*. Quando o Oceano Atlântico Tropical Norte está mais quente do que o normal e o Atlântico Sul mais frio, uma circulação térmica anômala reduz os movimentos ascendentes sobre o Nordeste, inibindo a formação de nuvens e reduzindo, em consequência, as chuvas.



Se por um lado esses fenômenos atuam como inibidores das chuvas sobre a região, por outro lado, existem os fenômenos que normalmente estão associados com precipitações intensas, como é o caso dos sistemas convectivos de mesoescala. Um tipo bem característico desses sistemas, surge no Oceano Atlântico próximo à costa paraibana, se desloca segundo uma trajetória aproximadamente retilínea na direção leste/oeste e chega a atingir o sertão, provocando chuvas intensas ao longo do seu caminho. Este tipo de sistema tem sido observado com maior frequência, no mês de março (Gomes Filho et al. 1996). Outro tipo desses sistemas surge na região sudoeste da Paraíba, onde esse estado encontra os do Ceará e Pernambuco. Também com maior frequência de ocorrer em março, esse sistema tem nebulosidade característica de forma arredondada e provoca muita precipitação naquela região (Rodrigues, 1995).

Sobre os sistemas atmosférico-oceânicos de grande escala, existe uma vasta literatura a respeito, na qual as ocorrências dos fenômenos *ENOS* e *Dipolo do Atlântico* e suas influências na precipitação do NEB estão documentadas porém, no que diz respeito à mesoescala, a literatura é muito limitada. Neste trabalho, foi estudado dois principais aspectos da influência desses sistemas atmosféricos resultantes das distribuições de TSMs no Atlântico e Pacífico sobre os recursos hídricos em disponibilidade na Paraíba. No primeiro caso, ficou estabelecida uma relação entre a ocorrência de episódios *ENOS* e *Dipolo do Atlântico*, a partir das anomalias de temperatura da superfície do mar - TSM e as anomalias dos volumes dos principais reservatórios d'água no estado. Com respeito ao segundo aspecto, a idéia era verificar qual a contribuição efetiva de um sistema típico de mesoescala, (nas ocorrências registradas no período chuvoso que começa em fevereiro e termina em maio, por exemplo) para os volumes dos principais reservatórios d'água na área em estudo e qual o percentual de aumento nesses recursos hídricos com relação à média, tanto em uma base mensal como em uma base diária. No último caso, seria necessário uma análise detalhada a nível de uma bacia. Consequentemente, a bacia que com a série mais longa de dados seria escolhida e, seguindo esse critério, na Paraíba, a bacia do Rio Piancó que alimenta o reservatório de Coremas foi considerada.

Em síntese, o problema da precipitação e, por extensão, dos recursos hídricos (armazenamento) na Paraíba abordados neste trabalho pode ser visto sob dois aspectos : o primeiro, que diz respeito à grande escala, tem sido geralmente associado com a falta ou redução das chuvas na região, mas que pode também estar associado com o excesso de precipitação. Este, está relacionado a fenômenos atmosférico-oceânicos cuja origem está

em outras regiões do planeta, tais como o El Niño-Oscilação do Sul, Circulação de Walker, Circulação de Hadley. No segundo aspecto, que está relacionado com os fenômenos de mesoescala, temos as brisas marítimas e terrestres, os sistemas convectivos de mesoescala entre outros, devendo-se salientar que esses últimos são ligados a mecanismos que contribuem para aumentar a precipitação em uma escala temporal pequena, da ordem de horas ou dias e, conseqüentemente, transferir para um determinado reservatório, grandes quantidades de água em um curto espaço de tempo.

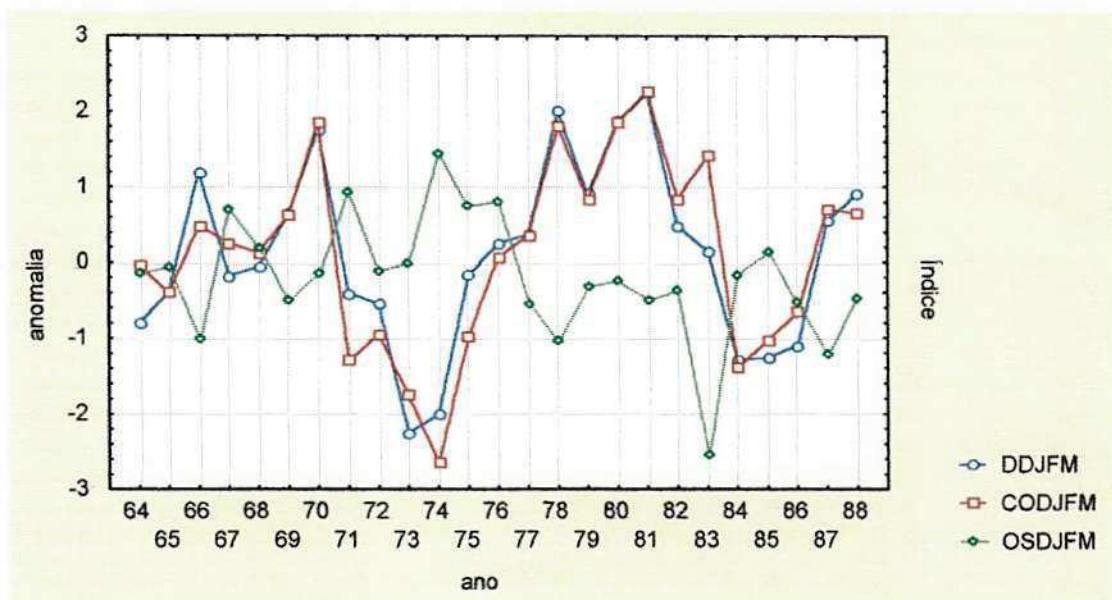


Figura I.1 - Médias para, dez/jan/fev/mar das anomalias de volume de Coremas (CODJFM) e dos índices, Dipolo do Atlântico (DDJFM) e Oscilação do Sul (OSDJFM).

Este trabalho tem como principal objetivo mostrar como se realiza a influência dos sistemas atmosféricos de meso e grande escalas sobre os volumes dos principais reservatórios d'água (açudes) na Paraíba, de uma forma integrada, sem atenção especial aos detalhes de ordem hidrológica, uma vez que sobre a precipitação a influência em grande escala tem sido muito estudada e, hoje em dia, é bastante conhecida ver por exemplo, Uvo et al (1998); Trenberth (1997 a, 1997b). Por sua vez, esses reservatórios estão submetidos a diferentes regimes pluviométricos (quando vistos sob a ótica de uma regionalização da precipitação) e sofrem diretamente suas influências. Uma vez estabelecidas essas influências (ver por exemplo a figura I.1), será desenvolvido um estudo de correlações para se estimar a repercussão em termos de redução nas atividades dos

estabelecidas essas influências (ver por exemplo a figura I.1), será desenvolvido um estudo de correlações para se estimar a repercussão em termos de redução nas atividades dos sistemas atmosféricos sobre área dos reservatórios estudados e portanto, nos volumes observados, especialmente, no caso da mesoescala, uma vez que a taxa de precipitação desses sistemas pode ser estimada em uma base horária, por exemplo, através do uso de software apropriado e, com isso, realizar-se uma estimativa da água acrescentada a um determinado reservatório, como consequência da precipitação correspondente a esses sistemas.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Existe, desde o final do século passado, um grande interesse de pesquisadores de todo o mundo pela investigação da influência dos sistemas atmosféricos de grande escala sobre o regime pluviométrico do Nordeste e, por extensão, sobre os recursos hídricos armazenados nos grandes reservatórios de água dessa região, embora isso não apareça de forma explícita. Trabalhos pioneiros como o devido a Walker (1928) tentaram relacionar a precipitação do Nordeste com a ocorrência do fenômeno ENOS.

Bjerknes (1966) relacionou o enfraquecimento na intensidade dos ventos de leste equatoriais nos anos de 1957 e 1958, com uma breve interrupção no sistema de ressurgência equatorial, o que, por sua vez, provocou o surgimento de anomalias positivas de temperatura da ordem de 3 a 4 graus nas águas do Pacífico equatorial, desde a costa oeste da América do Sul até a linha de data.

Bjerknes (1969) confirmou a teoria de Walker de que as secas no Nordeste estão relacionadas com a ocorrência do fenômeno ENOS ao estudar as teleconexões entre as anomalias de TSM no Pacífico e a circulação atmosférica extratropical. Isso também viria a ser confirmado por Caviedes (1973).

Hastenrath & Heller (1977) estudaram os desvios característicos da circulação de grande escala com relação a anos extremamente secos e chuvosos no Nordeste e constataram que as secas nessa região estão associadas com anomalias positivas ao norte do equador e que, em anos chuvosos, ocorre o processo inverso, ou seja, anomalias

positivas ao sul do equador e negativas ao norte. Eles estudaram ainda a relação do posicionamento da ZCIT (Zona de Convergência Intertropical) e das anomalias de TSM na costa do Peru com a precipitação do Nordeste.

Moura & Shukla (1981), analisando anomalias de TSM sobre o Atlântico Tropical (Dipolo do Atlântico) e a precipitação sobre Fortaleza e Quixeramobim, no Ceará, confirmaram os resultados de Hastenrath & Heller (1977). Eles ainda mostraram, usando um modelo numérico da circulação global, que anomalias quentes na parte oeste do Oceano Atlântico ao norte do equador, aliadas a anomalias frias na parte equatorial e Tropical Sul, exercem o papel de fixar a ZCIT mais ao norte, causando uma diminuição substancial nas chuvas sobre o Nordeste brasileiro.

Oliveira (1982), usando imagens de satélites, relacionou a posição da ZCIT monitorada através do brilho no topo das nuvens, com a pluviosidade sobre o Nordeste brasileiro. Desse modo, no ano seco de 1972, a ZCIT se apresentou ao norte de sua posição normal e mais intensa, ao contrário do ano chuvoso de 1974, quando se apresentou ao sul e mais fraca.

Kousky & Ropelewski (1989) estudaram a evolução da Oscilação do Sul e como essa variação afeta os campos atmosféricos e oceânicos, em especial as TSMs do Pacífico e a precipitação sobre a América do Sul. Evidenciam que a parte nordeste desse continente tende a apresentar precipitações abaixo da média durante episódios quentes, normalmente associados com padrões de TSM quentes e precipitações abundantes na fase fria. As observações indicam que, de dezoito episódios quentes que ocorreram em oitenta e oito anos, dezessete estão associados com condições de secas naquela região.

Ropelewski & Halpert (1987) mostraram que treze dos dezessete episódios de Oscilação do Sul positiva estão relacionados com precipitações acima da média no período chuvoso na parte nordeste da América do Sul. Mostraram ainda que, desde o ano de 1940, dois terços dos períodos chuvosos nessa região estão associados com Índice de Oscilação do Sul positivo.

Mechoso & Perez-Iribarren (1992) investigaram as relações entre o Índice de Oscilação do Sul (IOS) e as vazões em dois grandes rios da parte sudeste da América do Sul, Uruguay e Negro, para o período de 1909 a 1989. Encontraram que as vazões em ambos os rios têm uma clara tendência de ser abaixo da média no período de junho a dezembro, nos anos com altos índices IOS (eventos frios no Pacífico equatorial) e uma ligeira tendência de ser acima da média no período de novembro a fevereiro em anos de El

Niño. Seus resultados estão de acordo com as associações propostas previamente entre extremos no IOS e precipitações no sudeste da América do Sul.

Harzallah et al. (1996) investigaram a relação entre as anomalias de temperatura da superfície do mar (TSM) tropicais e a precipitação sobre o Nordeste, usando observações e dados de modelos atmosféricos, para um melhor entendimento dos modos de variabilidade interanual. Uma amostra de sete simulações de dezenove anos foi usada para aumentar a significância estatística das análises, filtrando-se a variabilidade interna da atmosfera. Os autores encontraram que o modelo reproduz de forma realística a maioria das precipitações médias sobre o Nordeste, exceto para eventos ocasionais, principalmente aqueles relacionados com os ciclones da alta troposfera, que são parte da variabilidade interna da atmosfera. Assim, a precipitação do Nordeste, parece ser forçada primordialmente pelos oceanos vizinhos.

Diagramas de correlações entre as temperaturas da superfície do mar e as precipitações observadas para o Nordeste (por exemplo, para a área do reservatório de Coremas) mostram que esses campos se relacionam fortemente, mostrando também centros principais de correlações no Oceano Pacífico equatorial e Atlântico ao norte e ao sul do Equador (ver figuras de II.1 a II.4) coincidentes com os fenômenos observados El Niño e Dipolo do Atlântico. Essas figuras foram construídas a partir de resultados preliminares obtidos pelo autor, e reforçam a tese da relação das TSMs com a precipitação para a área do reservatório em estudo.



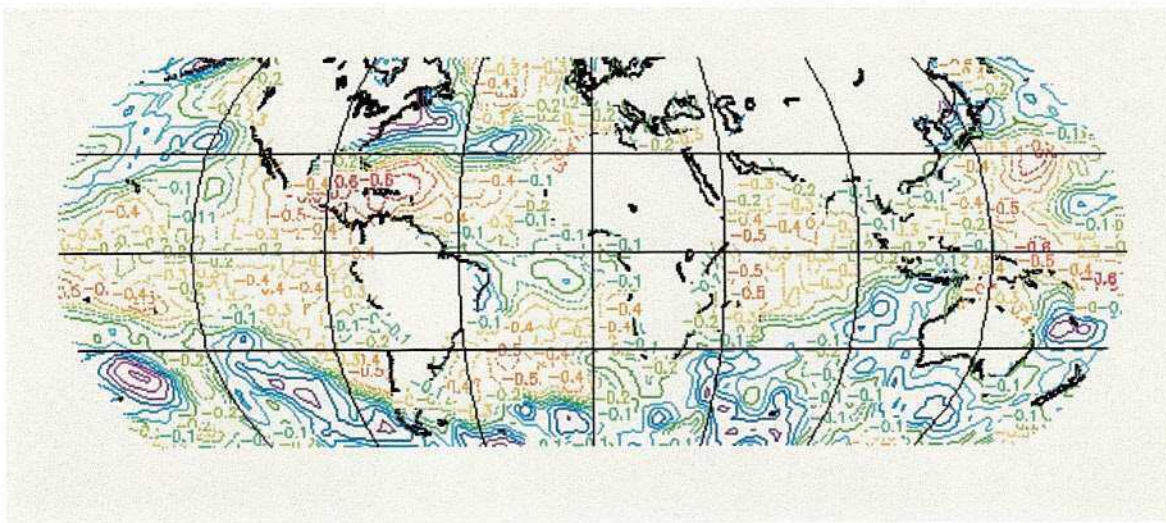


Figura II.1 – Correlações entre as TSMs médias para novembro a janeiro, e a precipitação na área do reservatório Coremas para fevereiro.

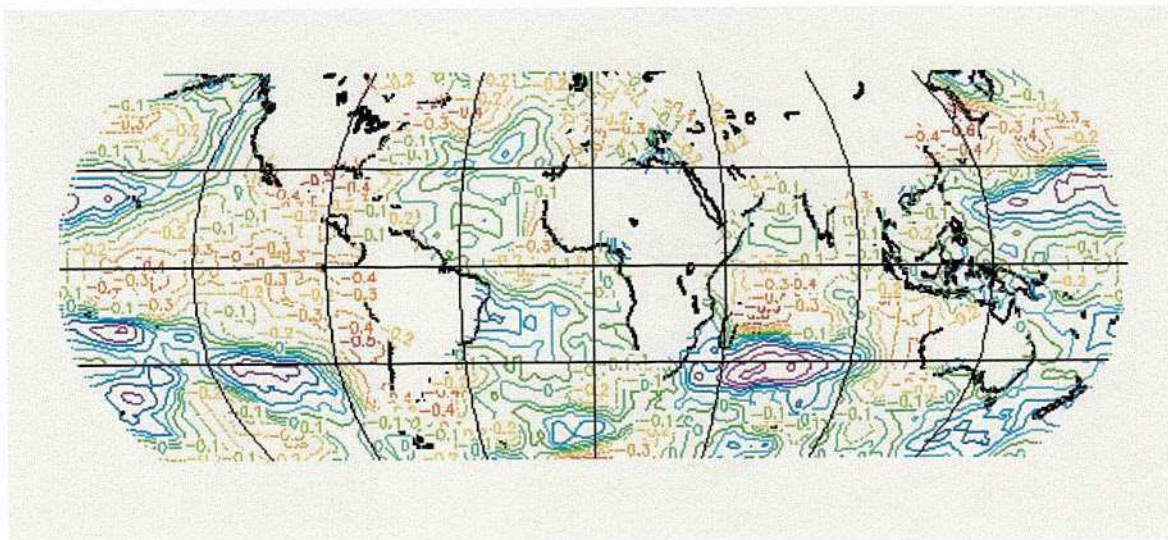


Figura II.2 – O mesmo que a figura 1, porém para março.



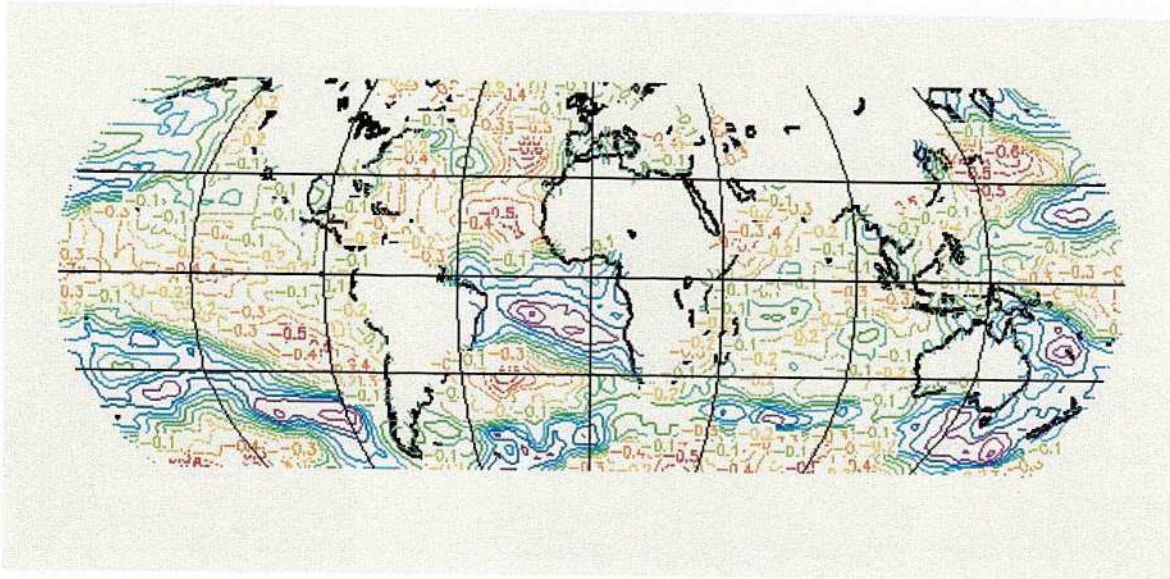


Figura II.3 - Correlações entre as TSMs médias para novembro a janeiro, e a precipitação na área do reservatório Coremas para abril.

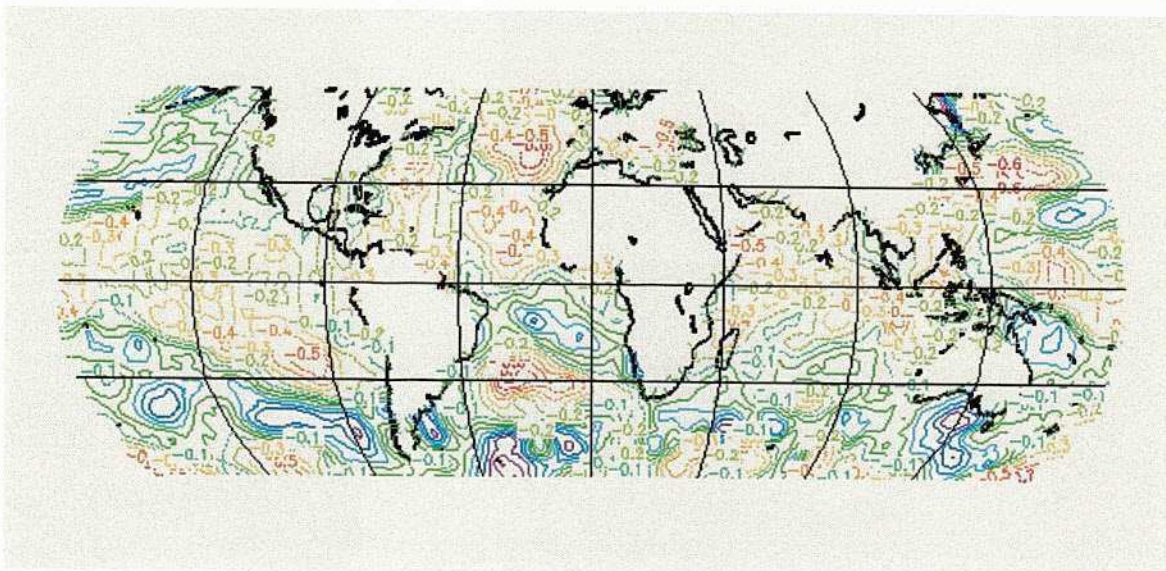


Figura II. 4 – O mesmo que a figura 3, porém para maio



Trenberth (1997a) apresentou uma revisão sobre o fenômeno ENOS e as teleconexões associadas às latitudes mais altas. O fenômeno ENOS, segundo ele, tem se mostrado previsível com um certo grau de confiabilidade para um ano a frente, o que, conseqüentemente, dá uma base para melhorar a previsão das variações interanuais do clima. Os processos envolvidos são enfatizados de modo a ressaltar as áreas, nas quais pesquisas futuras possam ser melhor direcionadas para aprimorar as previsões climáticas.

Genta et al. (1998) examinaram os registros de vazão durante o período 1901 a 1995, correspondentes a quatro rios principais do sudeste da América do Sul: Uruguay, Negro, Paraná e Paraguay. Os autores enfatizaram a detecção de padrões de longo período nesses dados. Demonstraram que, em média, nos últimos trinta anos, as vazões aumentaram após a metade dos anos sessenta, a uma taxa de crescimento aproximadamente linear, porém não necessariamente a mesma para todos os rios monitorados. Notaram ainda que parece haver uma tendência de desnível nos valores mais recentes. Este aumento na vazão está consistente com o decréscimo significativo na amplitude do ciclo sazonal em todos os rios, exceto o rio Negro. Uma análise da temperatura da superfície do mar, no Oceano Pacífico equatorial, sugere que um importante componente de tal acréscimo nas vazões está consistente com uma variabilidade de grande escala e baixa frequência do sistema climático.

Uvo et al. (1998) analisaram padrões mensais de precipitação no NEB com relação às TSMs nos oceanos Pacífico e Atlântico tropical, usando SVD (Single Values Decomposition). Encontraram que as relações entre a precipitação e as TSMs, em ambos os oceanos, variam consideravelmente através da estação chuvosa que vai de fevereiro a maio. Em fevereiro, as TSMs no Pacífico não estão bem correlacionadas com a precipitação na região, contudo as TSMs, no Atlântico equatorial sul, estão correlacionadas positivamente com a precipitação no setor sul do NEB. Esta última situação pode estar refletindo uma migração anômala da ZCIT para sul. No mês de março, as TSMs do Pacífico equatorial estão correlacionadas negativamente com a precipitação no NEB, enquanto que não foi encontrada qualquer relação consistente entre a precipitação e as TSMs no Atlântico. Fortes correlações entre as TSMs no Atlântico e a precipitação no NEB foram encontradas nos meses de abril e maio.

Souza et al. (1998) investigaram a distribuição pluviométrica na região do semi-árido nordestino em associação com anos em que se observou um padrão de aquecimento ou de resfriamento, configurando-se em toda a bacia do Atlântico tropical. As análises

feitas para os meses da estação chuvosa (fevereiro a maio) evidenciaram que, em geral, os anos com aquecimento ou resfriamento sobre toda bacia do Atlântico tropical estavam associados com uma grande irregularidade temporal e, principalmente, espacial da precipitação no semi-árido nordestino. Além desses, muitos outros trabalhos foram desenvolvidos sobre as relações entre as distribuições das TSMs tanto do Atlântico como do Pacífico com a precipitação e o clima na América do Sul, Nordeste do Brasil etc..., Ward & Folland (1991), Hastenrath (1995), Halpert and Ropelewski (1992), Kane (1997), Katz (1991), Kayano et al. (1990), Rasmusson & Carpenter (1982), Servain (1991). Outros sistemas de grande escala que atuam sobre o Nordeste e afetam diretamente sua estação chuvosa são as frentes frias provenientes do sul (Serra 1941 ; Aragão 1975 ; Kousky 1979), ondas de leste (Yamazaki & Rao 1977 ; Chan 1990), vórtices ciclônicos da alta troposfera, também conhecidos como baixas frias (Aragão 1975 ; Virji 1981 ; Kousky & Gan 1981).

A posição e intensidade da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) também têm influência nessa estação chuvosa como mostra Sakamoto (1993) . Estes sistemas atuam diferentemente em anos de episódios extremos de precipitação com variação no tempo, duração, estrutura e intensidade.

Os sistemas de mesoescala têm uma influência muito particular sobre a precipitação no Nordeste. Embora a literatura existente não seja extensa, podemos citar alguns trabalhos mais recentes, especialmente aqueles relacionados com a precipitação.

Kousky (1980) investigou a variação diária da precipitação na Região Nordeste do Brasil para o período 1961 a 1970 e concluiu que na costa leste, em média, a precipitação apresenta um máximo noturno ao longo da costa, devido à convergência entre a brisa terrestre e os ventos alísios e um máximo diurno de até 300 km de penetração no continente que está associado com o avanço da brisa marítima sobre a região. Do mesmo modo, a precipitação na costa do Nordeste é também influenciada pela propagação de aglomerados de nuvens no sentido leste-oeste, nos meses de maio a julho.

Silva Dias (1987) apresentou uma revisão bastante consubstanciada sobre os estudos realizados no tocante aos sistemas convectivos de mesoescala que, segundo a autora, são muito relevantes para previsões meteorológicas de curto prazo (períodos de 2 a 24 horas). Ela evidencia os aspectos dinâmicos relevantes para o desenvolvimento dos sistemas de mesoescala tais como os cumulonimbus individuais, linhas de instabilidade tropicais e de latitudes médias, incluindo as linhas de instabilidade pré-frontais, e os

complexos convectivos de mesoescala (CCMs). Apresentou também uma discussão bem detalhada sobre a interação entre as escalas meso e sinótica, a partir dos transportes convectivos de calor, umidade, quantidade de movimento (momentum) e vorticidade. Uma análise do ambiente sinótico favorável ao desenvolvimento desses sistemas convectivos em ambos os hemisférios é apresentada com muita propriedade.

Pandzic e Trinic (1991) apresentaram considerações sobre os padrões anuais de descarga mensal e balanço hídrico para a bacia do Rio Kupa no noroeste da Croácia, Yugoslávia. Eles usaram a técnica da análise em componentes principais para avaliar as descargas mensais observadas em 25 postos hidrológicos e os correspondentes precipitação e balanço hídrico, para 18 estações meteorológicas no período de 1961 a 1980. Para cada um dos campos considerados, duas componentes principais são mais significativas e descrevem 85% da variância total. Foi estabelecida uma correlação significativa entre as componentes principais da descarga, precipitação e balanço hídrico, especialmente para a estação úmida. Foi estabelecida então uma explicação para o padrão anual da descarga em termos da precipitação e balanço hídrico.

Pandzic e Trinic (1992) consideram as relações entre os campos da descarga do Rio Kupa noroeste da Croácia, Yugoslávia, a precipitação e o balanço hídrico em mesoescala e as anomalias da pressão à superfície em macroescala. Para isso, eles usaram a técnica da análise em componentes principais. Valores mensais da descarga em mesoescala para 25 estações hidrológicas, dados de precipitação e índice de seca de Palmer para 18 postos meteorológicos, assim como a pressão à superfície em macroescala uma grade de 12 por 19 pontos foram usados. Todos se referem ao período de 1961 a 1980. Duas componentes principais são mais significativas para cada um dos campos de mesoescala, descrevendo mais do que 85% da variância total. Além de uma correlação significativa entre a descarga em mesoescala, as anomalias de precipitação e o índice de Palmer, cinco padrões de anomalias espaciais foram estabelecidos para cada um dos campos. Um padrão de anomalia da pressão à superfície em macroescala corresponde a cada um desses cinco padrões.

Perrela (1993) observou em seus estudos sobre interpretação de imagens de satélites que as linhas de instabilidade sobre o Nordeste estão associadas com a penetração da brisa marítima. Elas são formadas a partir de cumulonimbus de diversos tamanhos que se organizam em linhas retas ou curvas. Essas linhas constituem um sistema que se

desenvolve associado à circulação de mesoescala, podendo durar vários dias e se propagar por muitos quilômetros sobre o continente.

Gomes Filho et al. (1996) relataram a ocorrência de um sistema convectivo de mesoescala que se originou próximo à costa paraibana e apresentou deslocamento quase em linha reta na direção leste-oeste, atingindo o sertão. Esse sistema (Figura II.5) apresentou ao longo de sua trajetória, precipitação bastante intensa, rajadas de vento fortes e trovoadas. Para monitorar o deslocamento desse sistema, usou-se uma faixa de um grau de latitude, centrada em 7° Sul ao longo do estado e sobre a qual a precipitação foi tomada como sendo a média para uma área de 1° por 1° de latitude/longitude. Esse procedimento minimizou prováveis superestimativas devidos a picos nos valores da precipitação observados sobre montanhas, por exemplo.

Gomes Filho et al. (1997) relacionaram as precipitações ocorridas em Campina Grande nos meses de março do período 1987 a 1996 com sistemas convectivos de mesoescala. Observaram que a precipitação desses meses, nesse período, em alguns casos, era bastante concentrada, ocorria de forma isolada e bastante intensa. Além do mais, nesses casos as precipitações guardavam uma boa semelhança com aquela observada no sistema do dia 15 de março de 1994, relatadas em Gomes Filho et al. (1996).

Souza et al. (1998) relatam a ocorrência de um complexo convectivo de mesoescala (CCM) formado sobre o Ceará no dia 24 de abril de 1997. Este sistema tinha as características que, segundo Maddox (1980), são necessárias para essa classificação de CCM, ou seja, as células cumulonimbus se agrupam em forma circular e têm crescimento vertical muito intenso num curto intervalo de tempo. Este sistema ocupou uma área maior do que 200.000 km<sup>2</sup> e provocou chuva intensa sobre a região de Fortaleza e arredores.

Vitorino et al. (1997) apresentaram como resultado, uma classificação de sistemas convectivos de mesoescala que ocorreram no período chuvoso, fevereiro a maio, do setor norte do Nordeste Brasileiro (NEB) mais especificamente sobre o Ceará, nos anos de 1993 e 1994.

Gomes Filho et al. (1999) apresentaram uma análise estatística baseada em correlações entre as anomalias de temperatura da superfície do mar (TSM) em uma base global, médias para três meses da pré-estação chuvosa do NEB, e anomalias normalizadas de volume dos principais açudes da Paraíba. Eles encontraram que existem fortes correlações negativas entre as temperaturas do Pacífico nas regiões NINO1+2 e NINO3 com os volumes mencionados. Esta metodologia também é aplicada por Gomes Filho et al.

(2000) para as vazões do rio Piancó, principal contribuinte do açude Coremas, um dos açudes estudados em Gomes Filho et al. (1999), com resultados semelhantes.

Existem ainda alguns trabalhos realizados sobre descargas dos rios da América do Sul e fenômenos atmosférico-oceânicos, tais como Molion & Moraes (1987) que desenvolveram um trabalho sobre o rio Paraná.

Como se pode depreender dessa revisão, existe uma lacuna a ser preenchida quando se considera o ciclo hidrológico em seu ramo aéreo interagindo com a parte terrestre, ou seja, a água que escoar sobre a superfície da terra. O problema da interação atmosfera-oceano já está bem delineado e de certo modo resolvido.

Entretanto, a interação da atmosfera com a superfície da terra, precisa rapidamente deixar de ser considerada como uma mera condição de fronteira inferior. É nessa direção e com esse propósito que este trabalho está sendo proposto.

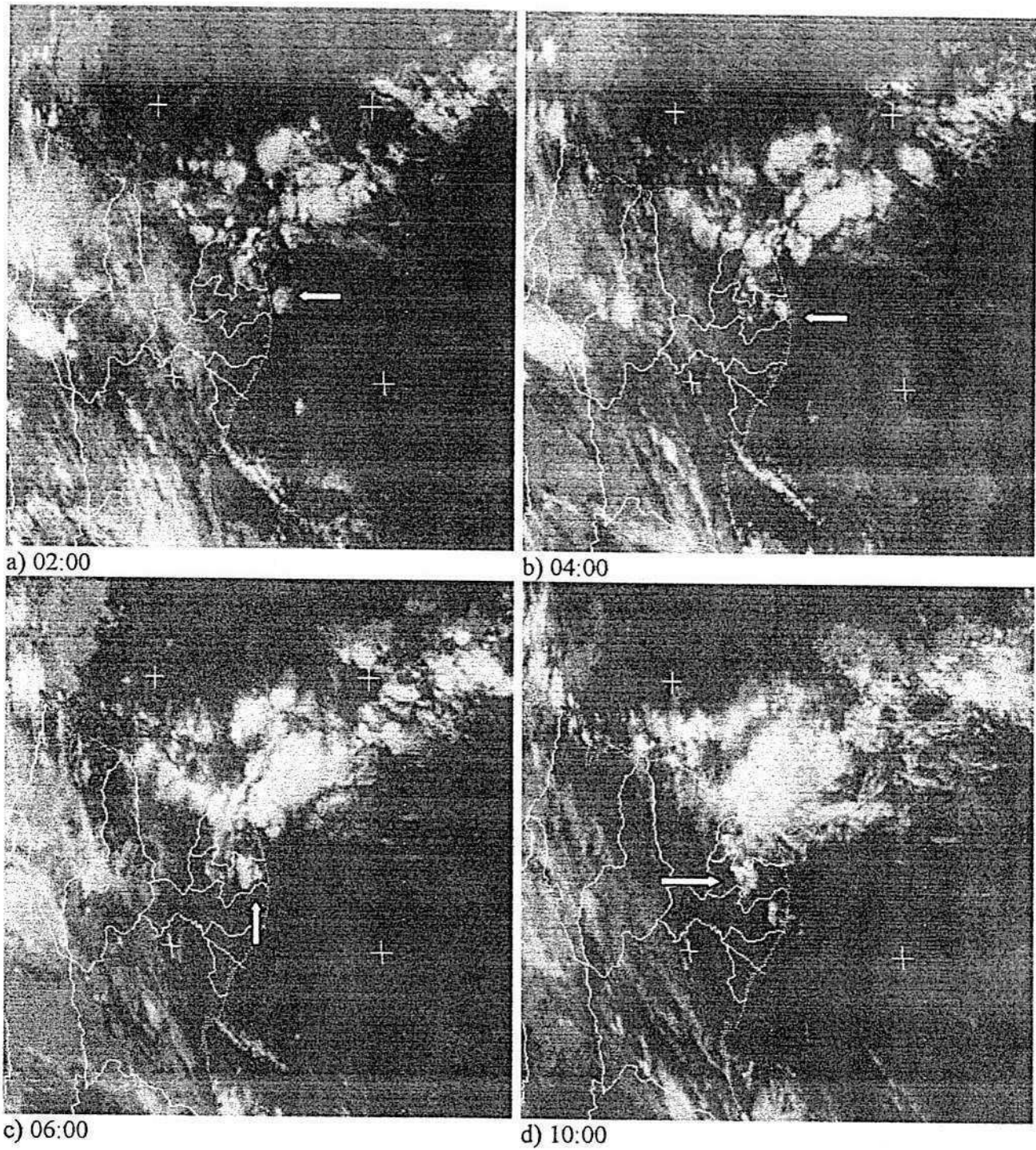


Figura II.5 - Imagens setorizadas do satélite Meteosat 4, no canal infravermelho das 2:00 as 10:00 horas, tempo local, do dia 15 de março de 1994.

Fonte : Gomes Filho et al. (1996)



### 3. DADOS E METODOLOGIA

#### 3.1 Dados utilizados e área de estudo

A área de estudo deste trabalho compreende a parte do território da Paraíba que inclui as bacias do alto Piranhas e médio Paraíba, onde estão localizados os reservatórios cujos dados de volume foram usados para as correlações com os índices de TSM dos Oceanos Pacífico e Atlântico. Esses reservatórios aparecem em destaque na Figura III.1



Figura III.1 Localização dos açudes monitorados na Paraíba, inclusive os que foram considerados neste trabalho: 1) Boqueirão ; 2) Coremas/Mãe D'água e 3) Engenheiro Ávidos.

Fonte: LMRS/PB.

As bacias destacadas na figura III.1 , apresentam as seguintes características:

Coremas/Mãe D'água - Bacia Hidrográfica : 7.968 Km<sup>2</sup> ( inclui Piancó, Aguiar e Riacho dos Porcos)

Bacia Hidráulica: 9.494 Ha

Engenheiro Ávidos - Bacia Hidrográfica : 1.124 Km<sup>2</sup>

Bacia Hidráulica : 2.800 Ha

Boqueirão de Cabaceiras - Bacia Hidrográfica: 12.410 Km<sup>2</sup>

Bacia Hidráulica: 2.680 Ha

Todos os dados utilizados na elaboração deste trabalho foram disponibilizados pelos órgãos responsáveis por suas coletas, tais como, DNOCS através do LMRS/PB, SUDENE, DCA/UFPB etc., e são compostos basicamente por :

- i - Séries de volumes e, por extensão, anomalias de três dos principais açudes da Paraíba, a saber:
  - Boqueirão – 1970 a 1998
  - Coremas - 1970 a 1998
  - Eng. Ávidos – 1970 a 1998
- ii - Série de anomalias de temperatura da superfície do mar (TSM) para todo o globo terrestre, desde 1970 até 1988
- iii - Valores de precipitação diária para estações selecionadas na Paraíba, localizadas nas bacias hidrográficas em estudo, de 1911 a 1996
- iv - Imagens setorizadas do satélite Meteosat4 no canal infravermelho e radar para acompanhamento e estimativa das características do sistema de meso escala para o mês de maio de 1999 e que foi usado para o estudo de caso
- v – Série de valores dos índices do Dipolo do Atlântico de janeiro de 1950 a novembro de 1998.
- vi – Série de valores dos índices de Oscilação do Sul de janeiro de 1950 a novembro de 1998.
- vii – Série de valores dos índices de El Niño de janeiro de 1950 a novembro de 1998.
- viii - Dados de precipitação diária para estações pluviométricas localizadas na área da bacia do rio Piancó (ver relação no Anexo 3) que foram usados para calibração e verificação do modelo Tank Model .



Calibração de 01.10.63 a 30.09.78

Validação de 01.10.78 a 30.09.83

Além desses, foram usados também para as mesmas estações, os dados do período recente de 01.10.97 a 30.06.99 para fins de simulação do evento considerado neste trabalho (caso dos dias 13 e 14.05.99).

### 3.2 Metodologia

#### 3.2.1 Fenômenos de Grande escala

Utilizando-se séries globais de anomalias de TSMs e de valores observados dos volumes dos açudes considerados neste trabalho, determina-se em primeiro lugar as anomalias de volume (normalizadas pela média) desses açudes para o período, pela subtração do valor médio determinado para o período considerado dos valores observados mensalmente e, em seguida, divide-se o resultado por esta média, ou seja :

$$A_i (V) = (V_i - \bar{V}) / \bar{V} \quad (1)$$

onde,

$A_i (V)$  é a anomalia de volume normalizada para um determinado açude no i-ésimo mês,

$V_i$  é o volume médio mensal observado para um determinado açude no i-ésimo mês,

$\bar{V}$  é o volume médio para o período considerado (1964 – 1993)

Considerando as anomalias das temperaturas da superfície do mar em uma base global, tem-se a expressão:

$$A_i(T) = T_i - \bar{T} \quad (2)$$

na qual,

$A_i(T)$  é a anomalia de TSM para o mês  $i$ ,  $T_i$  é a TSM observada no  $i$ -ésimo mês e  $\bar{T}$  é a média das TSM's globais para o período considerado (1964 a 1993) em 3200 pontos de grade, obtidas do Laboratoire de Meteorologie Dynamique (LMD) de Paris (Harzallah et al. 1996).

Com as séries dos valores das anomalias dos volumes e das anomalias das temperaturas da superfície do mar, determina-se a média das TSM's para dois períodos de três (03) meses, quais sejam, um período começando em novembro e terminando em janeiro e outro começando em fevereiro e terminando em abril. A seguir, determina-se as correlações entre as séries de anomalias de TSM e as anomalias dos volumes para cada um dos meses de fevereiro a maio, período chuvoso na região, que se inicia em fevereiro e termina em maio. Para se calcular as correlações, usaremos as expressões usuais dadas em Marques(1969). Por exemplo, a correlação linear é dada por :

$$r = \frac{S_{xy}}{S_x S_y} \quad (3)$$

em que,

$$S_{xy} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^K (x_i - \bar{x})(y_{i,j} - \bar{y}) \quad (4)$$



Na Tabela III.1 estão esquematizadas as correlações entre o vetor das anomalias médias das temperaturas da superfície do mar e a matriz das anomalias dos volumes dos reservatórios, representados pela matriz  $R_{ij}$  de dimensão N por K, com N sendo o número de anos e K, o número de meses. Considerando que serão usados campos globais de TSM's, este resultará em matrizes com essa dimensão para cada um dos pontos de grade e, evidentemente, para cada mês, será plotado um mapa de correlações para todo o globo, utilizando-se para isso, o pacote gráfico GrADS – Grid Analysis and Display System. A significância estatística das correlações foi testada usando-se o teste  $t$  de student.

Para alguns casos nos quais as condições de demanda e/ou entrada de água nos reservatórios foram muito alteradas, como por exemplo, construção de barragens à montante do açude, instalação de projetos de irrigação, alterações do projeto original, etc., seria usado para as correlações, ao invés das anomalias de volume do açude, o balanço hídrico para estimar a entrada total de água no reservatório e correlacioná-la com as anomalias de temperatura da superfície do mar. Usar-se-ia, nesse caso, a seguinte expressão :

$$(V_f)_{n,m} = (V_i)_{n,m} + E_{n,m} - S_{n,m} \quad (5)$$

onde :

$(V_f)_{n,m}$  é o volume de água no reservatório no final do mês m do ano n ,  
determinado pela curva cota-volume do açude,

$(V_i)_{n,m}$  é o volume de água no reservatório observado no início do mês m do  
do ano n,

$E_{n,m}$  representa o volume total de entrada de água no reservatório  
ou seja, precipitação efetiva na bacia vezes a área (a variável  
procurada pelo balanço hídrico),

$\underline{S}_{n,m}$  é a demanda hídrica total no reservatório que inclui a evaporação e o abastecimento, no mês  $m$  do ano  $n$ ,

ou explicitando o volume total de entrada de água  $\underline{E}_{n,m}$ :

$$E_{n,m} = (V_f)_{n,m} - (V_i)_{n,m} + S_{n,m} \quad (6)$$

Uma vez conhecidos o volume final, a demanda hídrica e o volume inicial, poderíamos estimar a entrada total de água  $\underline{E}$  no reservatório e correlacioná-la com as anomalias de temperatura da superfície do mar. Entretanto, para o período estudado, esse procedimento não foi necessário, uma vez que não havia grandes alterações no regime de demanda desses reservatórios.

### 3.2.1.1 Influência dos índices específicos

Utilizando-se a série de valores dos índices de anomalias de TSM do Pacífico, do Atlântico e da Oscilação do Sul, fornecidas pelo NCEP/NOAA/USA, calculou-se as correlações entre estes e as anomalias de volume dos três reservatórios considerados neste trabalho para verificar se, uma vez reduzindo a área de influência das correlações, a influência espacial sobre os coeficientes de correlação seria também reduzida.

As áreas do Pacífico cujos índices de TSM foram correlacionados com as anomalias de volume dos açudes são definidas abaixo (Figura III.2) Esses índices são os seguintes:

NINO1+2 - desvio normalizado das temperaturas da superfície do mar para a área entre os paralelos de  $0^\circ$  e  $10^\circ$  de latitude sul e os meridianos de  $80^\circ$  e  $90^\circ$  de longitude oeste

NINO3 - desvio normalizado das temperaturas da superfície do mar para a área entre os paralelos de  $5^\circ$  Norte e  $5^\circ$  de latitude sul e os meridianos de  $90^\circ$  e  $150^\circ$  de longitude oeste

NINO4 - desvio normalizado das temperaturas da superfície do mar para a área entre os paralelos de 5° Norte e 5° de latitude sul e os meridianos de 160° Leste e 150° de longitude oeste

IOS - desvio normalizado da diferença entre as pressões atmosféricas à superfície nos postos de Tahiti no Pacífico central e Port Darwin na Austrália

Todos esses desvios são normalizados pelo desvio padrão da série de dados, no período considerado, os Índices do Atlântico são definidos em Servain et al. (1991).

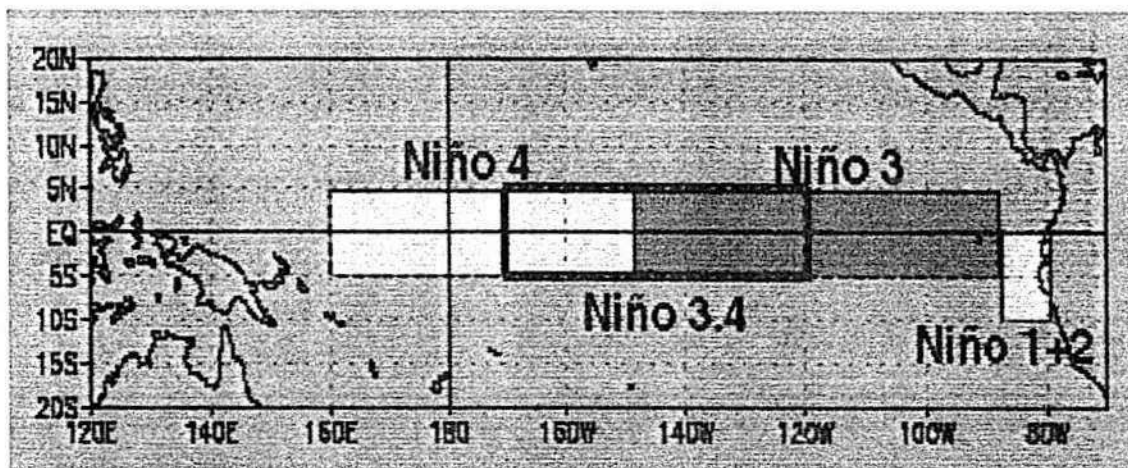


Figura III.2 Regiões do Oceano Pacífico correspondentes aos índices usados neste trabalho.

Fonte: CDB/NCEP

### 3.2.2 Fenômenos de Mesoescala

Sistemas convectivos de mesoescala têm sido observados propagando-se sobre a Paraíba e, devido a sua precipitação característica muito intensa e concentrada, acredita-se que devam dar uma contribuição significativa para o armazenamento de água nos reservatórios ao longo de suas trajetórias. Estes sistemas em sua grande maioria são originados pela convergência entre a brisa terrestre e os ventos alísios, o que em parte explica sua formação no oceano próximo à costa, e no período noturno, apresentam

deslocamento praticamente zonal, penetrando no continente e muitas vezes atingindo o sertão.

No estudo da influência dos sistemas de mesoescala sobre o armazenamento de água considerou-se dois aspectos. Primeiramente foi feito um levantamento, a partir da análise dos registros da precipitação diária para os postos de Coremas, Engenheiro Ávidos e Boqueirão, dos dias com precipitação superior a 30 mm que tenham ocorrido de forma isolada (sem chuva no dia anterior e no dia posterior). Admitindo-se que essa precipitação tenha ocorrido devido a um sistema convectivo de mesoescala, foram construídos histogramas da precipitação diária para os meses com ocorrência desse tipo de precipitação, assim como determinadas as frequências de ocorrência para se chegar à probabilidade de ocorrer sistemas desse tipo nos meses da estação chuvosa da região. A seguir, estudou-se a ocorrência de sistemas convectivos de mesoescala no período de fevereiro a maio de anos recentes (1987 a 1996) e, através dos histogramas da precipitação diária e análise de imagens de satélite, selecionou-se alguns casos de propagação desses sistemas, suas áreas de atuação, suas temperaturas (base e topo das nuvens) e, principalmente, a taxa com que a precipitação ocorreu.

Uma vez caracterizado um determinado sistema, ele foi acompanhado ao longo de sua trajetória e, a partir das anomalias mensais dos volumes dos açudes situados ao longo desse trajeto, calculou-se correlações entre a taxa de precipitação e essas anomalias de volume. Quando não foi possível determinar essa taxa, ela foi estimada utilizando-se o software PRECIP da FUNCEME (Fundação Cearense de Meteorologia), que utiliza três técnicas, a saber:

- i. - CST (Convective Stratiform Technique), desenvolvida por Adler & Negri (1988), que diferencia as precipitações convectivas e estratiformes. Esta técnica avalia a temperatura do topo da nuvem e, a partir desta, a área com precipitação, ou seja, utiliza-se de um limiar de temperatura de 240K para filtrar nuvens cirrus não precipitantes e, a partir daí, utiliza um modelo unidimensional de nuvens para definir as taxas de precipitação convectiva. Para a chuva estratiforme, supõe-se uma taxa de 2mm/h de precipitação.
- ii. - GPI (Goes Precipitation Index), desenvolvida por Arkin (1979), é uma técnica simples que considera somente o desenvolvimento de nuvens convectivas; assim, topos mais altos (frios) têm maior probabilidade de precipitar. Para isso, esse

software utiliza um limiar de temperatura de 240K , ao qual atribui uma taxa de precipitação empírica de 3mm/h.

- iii. - NAWT (Negri – Adler – Wetzel Technique; Negri et al., 1984; Adler & Negri 1993), que utiliza uma temperatura discriminante de 240K para as nuvens cirrus. A partir dessa discriminação, definem-se dois outros limiares de temperatura de brilho, uma temperatura (T10%) que define os 10% mais frios da nuvem e outra correspondente aos 50% (T50%) mais frios da nuvem. O modelo realiza uma discriminação entre nuvens cirrus através de uma relação empírica entre a área da nuvem e a diferença entre T10% e T50%, onde se considera que quanto maior for a diferença, maior a probabilidade da nuvem ser do tipo convectiva. Aos pixels com temperatura menor do que T10% e T50%, atribui-se a taxa de 2mm/h de precipitação.

O modelo de estimativa da precipitação derivada de imagens de satélite GOES-8 e de radar meteorológico Doppler, instalado no Departamento de Ciências Atmosféricas da UFPB, foi desenvolvido pelo grupo da Divisão de Meteorologia por Satélite do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais); consiste basicamente em uma relação simples obtida através de critérios estatísticos entre a temperatura de brilho do GOES-8 e a refletividade do radar meteorológico Doppler ( Valadão 1996).

Em resumo, para se chegar a uma relação direta entre a temperatura de brilho do GOES-8 e a taxa de precipitação do radar Doppler de Bauru – SP, dada em dBz, degradou-se a imagem do radar Doppler através de médias de 1km para 4 km, para compatibilizá-la com a imagem no canal infravermelho do GOES-8 que possui resolução espacial de 4 km. A seguir, para cada nível de precipitação foram estimados, respectivamente, os valores mínimo, máximo e a moda correspondentes na imagem do radar meteorológico Doppler. Com os valores máximo e mínimo determinou-se a faixa de temperatura de brilho ( $215K < T < 280K$ ) da imagem GOES-8 e considerou-se, nesta faixa, o valor da precipitação obtido.

Para se estimar a quantidade de água que foi acrescentada a um reservatório, foi feito um estudo de caso de um sistema convectivo de mesoescala tipo linha de instabilidade que se formou sobre os estados do Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco, na noite do dia 13.05.99 e que perdurou até a manhã do dia 14, em seguida, ainda com este objetivo, foram utilizados dois modelos hidrológicos, sendo um integrado



do tipo TANK MODEL diário, e outro do tipo distribuído, o modelo alemão NAVMO, que também foi utilizado em uma base diária, cujos resultados podem ser vistos, a partir das figuras IV.36 e IV.37

O primeiro modelo, que está representado esquematicamente na Figura III.3 e está descrito em Diniz (1994), foi calibrado com dados de precipitação diária para a bacia do rio Piancó, que alimenta o reservatório Coremas, um dos reservatórios considerados neste trabalho. O segundo modelo, cujo fluxograma é mostrado no Anexo 2, é um modelo distribuído, calibrado para a bacia do rio Piancó utilizando-se dezesseis (16) postos pluviométricos na área da bacia e dados de evaporação da estação climatológica principal do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET em São Gonçalo Lopes (1994). Este modelo, por ser um modelo distribuído, além de levar em consideração mais informações sobre os aspectos fisiográficos da bacia, ele deve apresentar melhores resultados que o modelo Tank Model.

#### ESQUEMA DO MODELO TANK MODEL

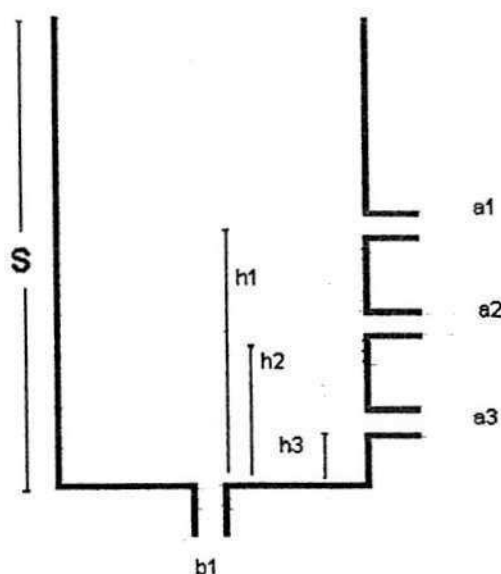


Figura III.3 - Representação esquemática do modelo Tank Model diário para regiões semi - áridas.

Equações do Tank Model :

$$q_s = a(s - h)$$

$$q_b = b.s$$

$$\frac{ds}{dt} = P - q_s - q_b - E_v$$

onde  $s$  é a altura de água no tanque,  $t$  o tempo,

$a$ ,  $b$ , e  $h$  são os coeficientes do modelo e são função das características físicas da bacia representada.

$P$  e  $E_v$  são, respectivamente, a precipitação média na área da bacia e a evapotranspiração real por unidade de tempo.

Pode-se estimar também, utilizando-se a metodologia disponível na literatura, qual seria a lâmina escoada relativa a essa precipitação, se ela fosse igualmente distribuída sobre a área de atuação do sistema e qual seria a repercussão no volume dos reservatórios que ficam ao longo de sua trajetória. Para isso, pode-se fazer uso da mesma metodologia encontrada em Gomes Filho et al. (1996) que utilizou áreas de um grau de latitude de largura, por um grau de longitude, centradas em 7° Sul, ao longo de todo o Estado da Paraíba, para estimar a taxa da precipitação ocorrida naquela ocasião. Evidentemente, para isso seria necessária a existência de uma base de dados diários para as estações pluviométricas localizadas na área em questão, o que nem sempre é possível.

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 - Análise Climática**

#### **4.1.1 - Correlações entre as anomalias de volume dos três principais reservatórios de água da Paraíba e as anomalias de TSM globais.**

Os resultados obtidos para as correlações entre as anomalias de volume e as anomalias de TSM podem ser agrupados do seguinte modo:

- correlações entre as anomalias de volume dos açudes Coremas, Boqueirão e Engenheiro Ávidos, em cada um dos meses do trimestre mais chuvoso no norte do NEB, de fevereiro a abril, e as anomalias médias de TSM para o trimestre novembro a janeiro;
- correlações entre as anomalias de volume dos açudes Coremas, Boqueirão e Engenheiro Ávidos em três meses do período chuvoso no NEB, nesse caso, de abril a junho e as anomalias médias de TSM para o trimestre fevereiro a abril.

##### **4.1.1.1 - Açude de Coremas**

a – trimestre novembro a janeiro

O mapa global de correlação mostrado na Figura IV.1, apresenta as correlações entre as anomalias de volume do açude Coremas, em fevereiro, e as anomalias médias de TSM globais para o trimestre novembro a janeiro. Pode-se notar, na figura, regiões do oceano

com correlações negativas no Pacífico leste e central, com máximos concentrados ao sul do equador, aproximadamente, nas regiões denominadas NINO3 e NINO1+2. Algumas regiões com correlações positivas aparecem no Pacífico, principalmente, ao longo do cinturão de altas subtropicais centrado em  $30^{\circ}$  sul e norte. Na área do Atlântico, aparece uma área de correlações negativas ao norte de  $30^{\circ}$  sul, estendendo-se desde a costa da África até o Brasil. Uma pequena região de correlações positivas surge na região da alta semi-estacionária do Atlântico sul, (aproximadamente  $30^{\circ}$  Sul;  $0^{\circ}$  Oeste) cujos resultados devem ser recebidos com cautela, pois as observações nessas regiões são em número menor que nas regiões tropicais, especialmente, no hemisfério sul. Para o mês de março (Figura IV.2), as correlações negativas do Pacífico equatorial ficam espalhadas até a área central daquele oceano; as correlações negativas do Atlântico equatorial sul são intensificadas e uma área de correlações positivas surge no Atlântico subtropical norte, centrada em  $30^{\circ}$  norte. Uma vez mais, as áreas no cinturão de altas subtropicais apresentam correlações positivas.

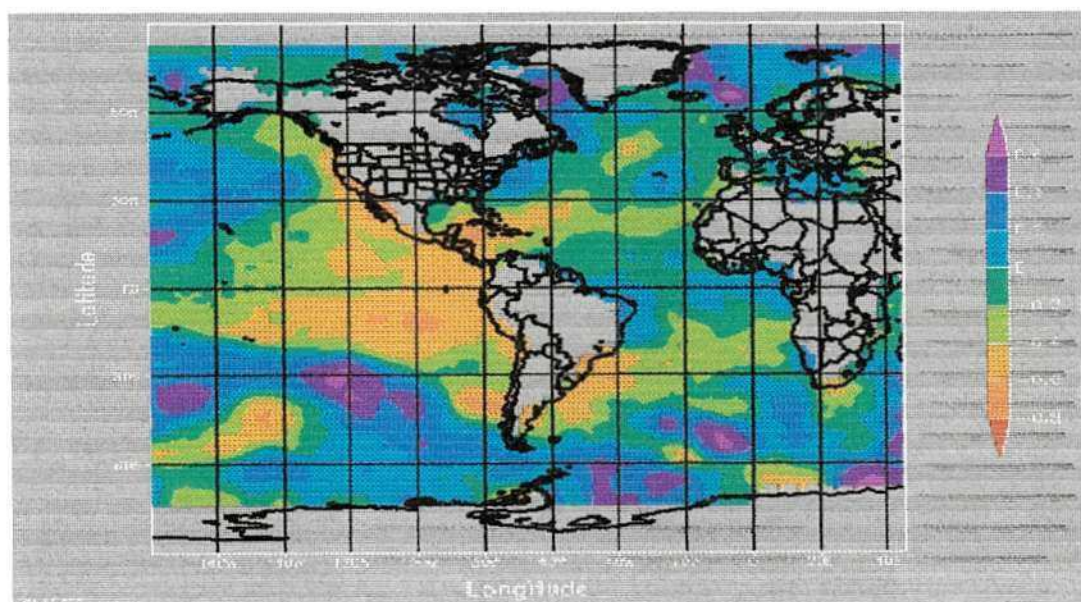


Figura IV.1 - Correlações entre as anomalias de volume do açude Coremas para Fevereiro e as anomalias de TSM, média para novembro a janeiro. O intervalo utilizado na escala de cores é de 0,2



Considerando-se o mês de abril (Figura IV.3), a área com anomalias negativas próximo à costa oeste sul-americana, apesar de menos extensa, apresenta correlações maiores (com valores de até  $-0,8$ ) que as observadas nos meses de fevereiro e março. Permanecem sobre o cinturão subtropical as correlações positivas já observadas, porém com valores maiores (da ordem  $0,7$ ).

Praticamente, todo o Oceano Atlântico, neste mês, está correlacionado positivamente, com exceção do extremo norte e de um pequeno núcleo próximo à África, no Atlântico tropical norte.

b - trimestre de fevereiro a abril.

Em abril, figura IV.4, as correlações das anomalias de volume do Coremas com as TSMs médias para fevereiro a abril apresentam no Pacífico o padrão esperado de valores negativos na faixa equatorial. Na área do Atlântico, surgem correlações negativas fracas no lado sul do equador e positivas no lado norte. No mês de maio, conforme figura IV.5, o padrão de correlações do Pacífico não se altera, exceto por valores menores e na área do Atlântico, as correlações se alternam entre valores negativos e positivos, porém pequenos.

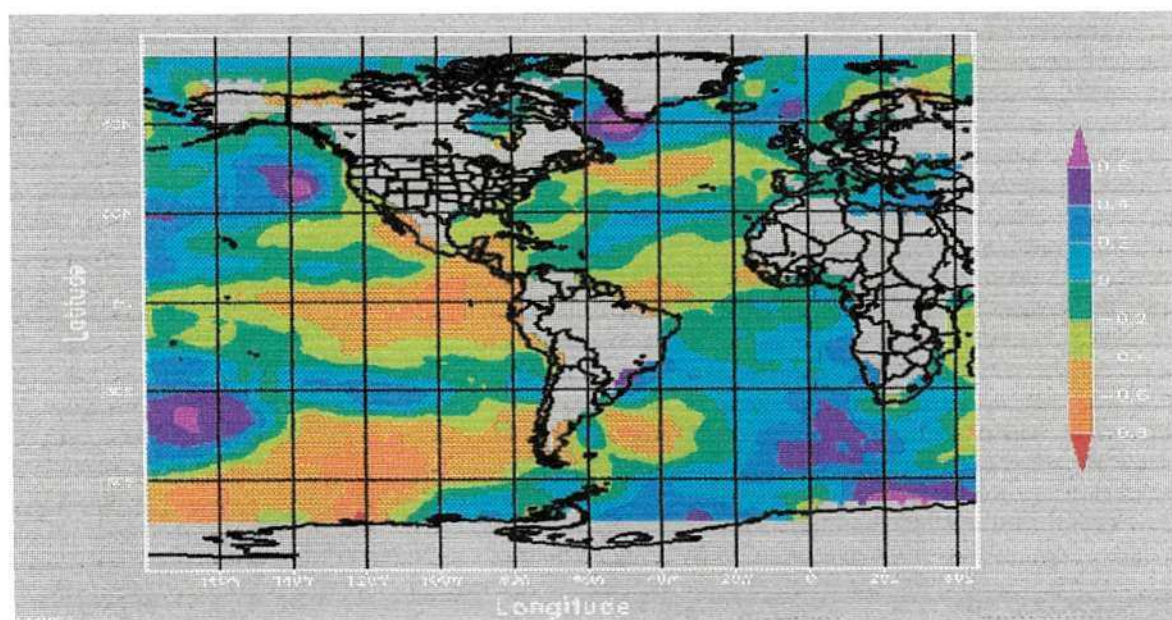


Figura IV.4 - Correlações entre as anomalias de volume do açude Coremas para abril e as anomalias de TSM, média para fevereiro a abril. O intervalo utilizado na escala de cores é de  $0,2$



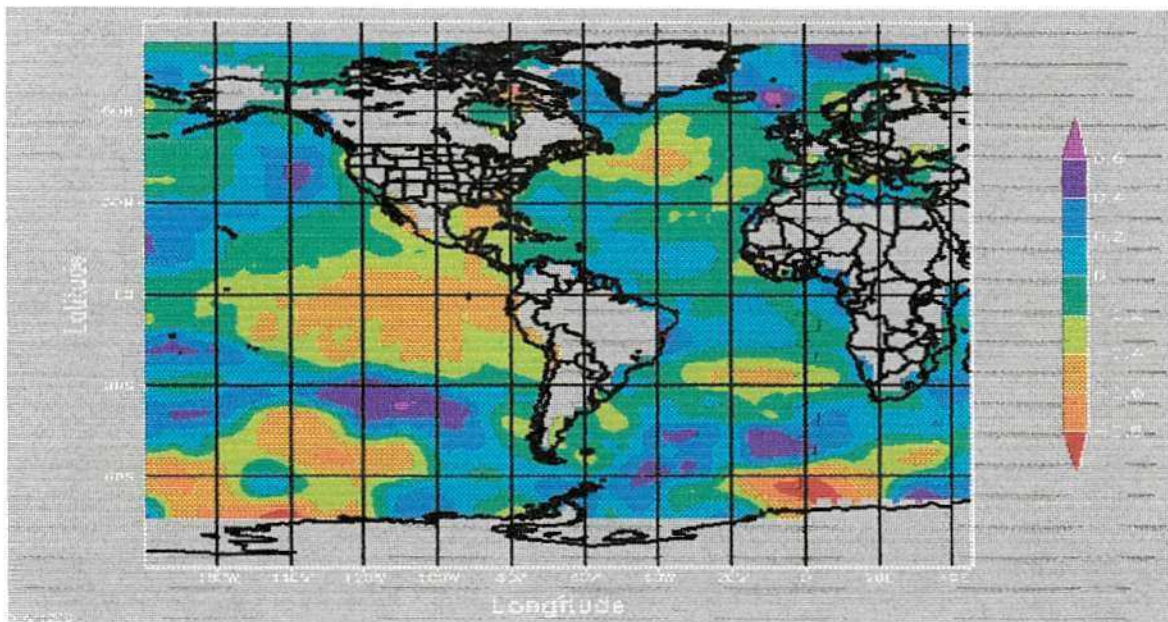


Figura IV.5 - Correlações entre as anomalias de volume do açude Coremas para maio as anomalias de TSM, média para fevereiro a abril. O intervalo utilizado na escala de cores é de 0,2

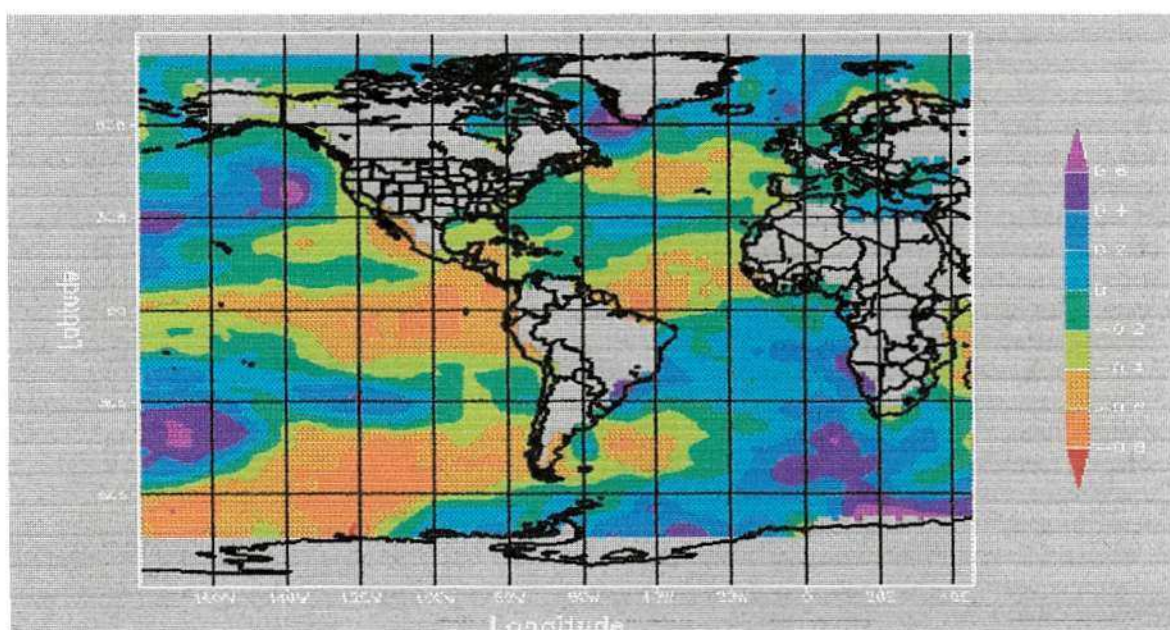


Figura IV.6 - Correlações entre as anomalias de volume do açude Coremas para junho as anomalias de TSM, média para fevereiro a abril. O intervalo utilizado na escala de cores é de 0,2

No mês de junho, figura IV.6, as correlações negativas do lado do Pacífico se prolongam na direção do Pacífico central e apresentam valores maiores que em maio, enquanto na área do Atlântico, surgem correlações negativas logo ao norte do equador. A parte ao sul permanece com correlações negativas porém fracas.

## SÍNTESE

Em síntese, as anomalias de temperatura da superfície do mar, no trimestre de novembro a janeiro, nas áreas do Oceano Pacífico, onde são determinados os índices NINO1+2, NINO3 e NINO4, tem correlações negativas com as anomalias de volume do Coremas, indicando que águas quentes na região do Pacífico Equatorial central, serão desfavoráveis para o armazenamento de água por aquele reservatório. Dessas áreas, a que está mais fortemente correlacionada negativamente com o Coremas, pela análise dos mapas de correlações globais, é a área NINO3. A mesma situação ocorre quando analisamos os mapas de correlações para o trimestre de fevereiro a abril.

Quando analisamos os mapas de correlações com as temperaturas da superfície do Atlântico, verificamos que não existe um padrão bem definido de correlações positivas ou negativas com o Coremas. Salvo que, a parte imediatamente ao norte do equador apresenta, na maioria dos meses, correlações negativas, indicando que temperaturas mais quentes ali serão desfavoráveis ao armazenamento de água nesse açude, especialmente, para as temperaturas médias para o trimestre fevereiro a abril.



#### 4.1.1.2 - Açude de Boqueirão

a - trimestre novembro a janeiro

Considerando-se as correlações para o açude Boqueirão, conforme a Figura IV.7, pode-se ver que, no mês de fevereiro, as correlações do setor do Pacífico permanecem positivas, porém com menor intensidade e abrangem área maior. No Atlântico, na área de atuação da ZCIT, aparecem correlações negativas com valores baixos.

A área com correlações negativas no setor da alta semi-estacionária do Atlântico sul expandiu-se na direção norte, formando uma grande área, inclusive próximo ao continente, no setor da Zona de Convergência do Atlântico Sul - ZCAS.

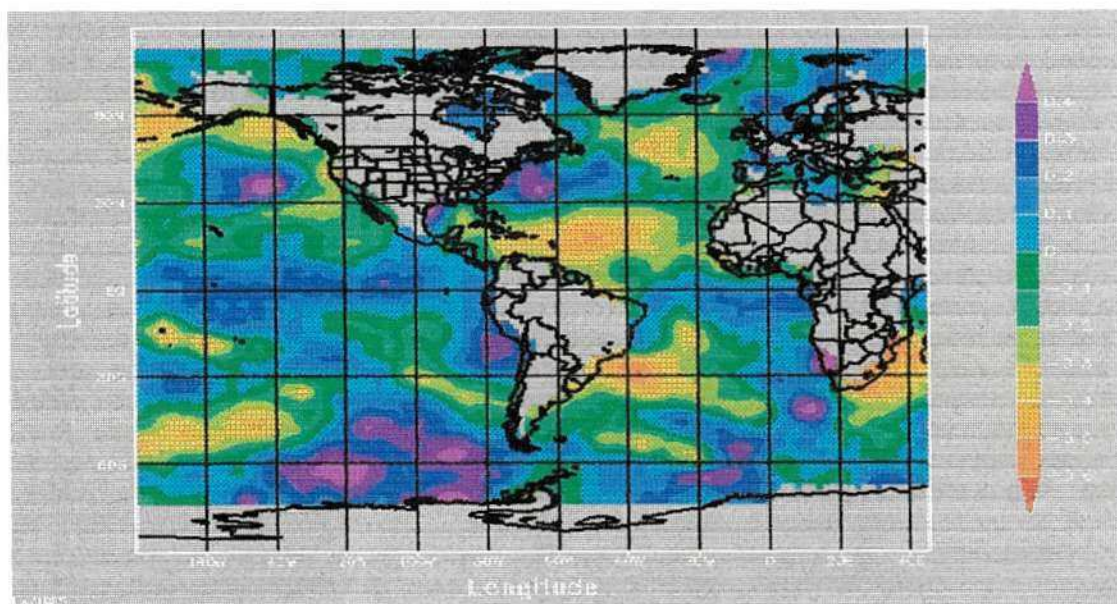


Figura IV.7 - Correlações entre anomalias de volume de Boqueirão para fevereiro e as anomalias de TSM, média para novembro a janeiro. O intervalo utilizado na escala de cores é de 0,1



A partir da Figura IV.8, vê-se que, no mês de março, as correlações, tanto no Pacífico como no Atlântico, se tornam negativas, abrangendo também as áreas NINO1+2 e NINO3. O setor do Atlântico tropical está caracterizado pela presença de correlações negativas de norte a sul, porém existe uma área positiva na costa do Brasil. No mês de abril, como pode ser visto na Figura IV.9, há alternância de correlações positivas e negativas no dois oceanos, com alguns pequenos núcleos de correlações negativas mais intensas ao longo da área equatorial.

Em maio (Figura IV.10), há uma grande área com correlações negativas ao longo do setor NINO1+2 e NINO3; no Atlântico, a alternância de centros positivos e negativos predomina de norte a sul.

Como pode ser observado a partir desses resultados, a influência da distribuição de anomalias de temperatura da superfície do mar (TSM) sobre os reservatórios de água na Paraíba considerados neste trabalho, sugere que, para o reservatório Boqueirão, a influência maior é do Oceano Atlântico sul, correlações positivas em sua maioria, indicando que águas quentes, nesse oceano, afetariam positivamente os volumes daquele reservatório; enquanto que o Oceano Pacífico, por sua vez, apresentando correlações negativas, influencia negativamente o reservatório Coremas, como era de se esperar, pois nos episódios El-Niño as águas quentes naquele oceano modificam a Circulação de Walker de forma a reduzir as chuvas, com conseqüente diminuição dos volumes observados.

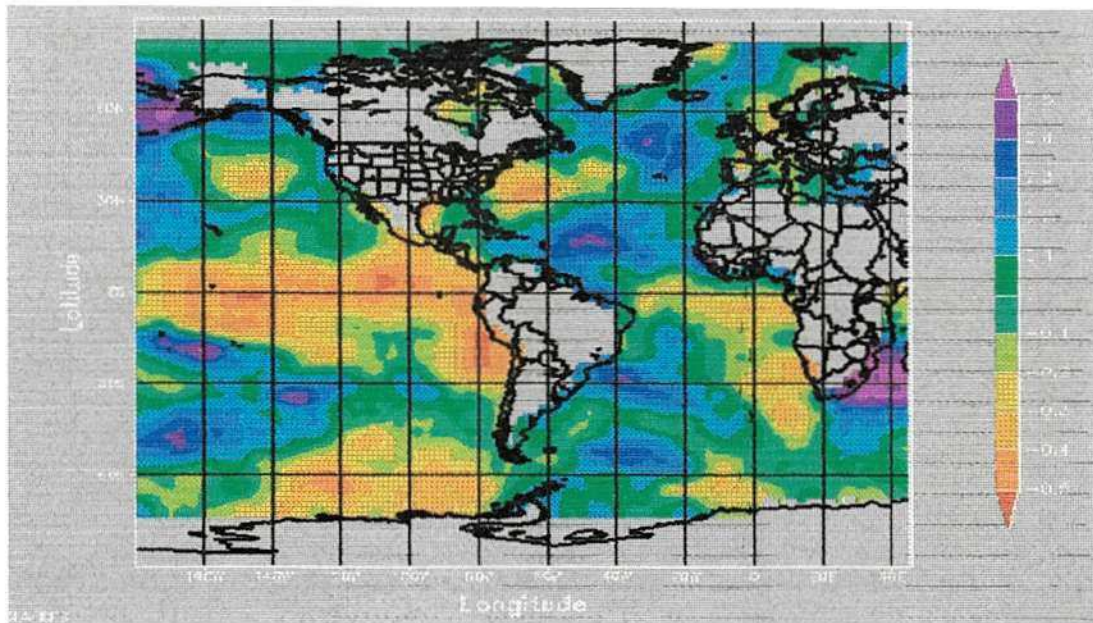


Figura IV.8- Correlações entre anomalias de volume de Boqueirão para março e as anomalias de TSM, média para novembro a janeiro. O intervalo utilizado na escala de cores é de 0,1

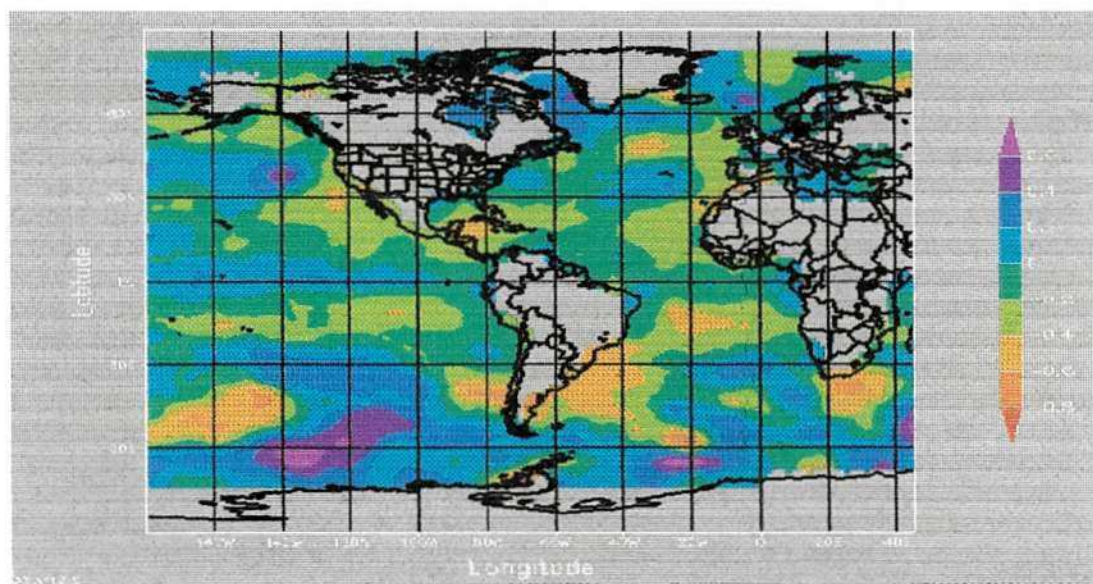


Figura IV.9 - Correlações entre anomalias de volume de Boqueirão para abril e as anomalias de TSM, média para novembro a janeiro. O intervalo utilizado na escala de cores é de 0,2



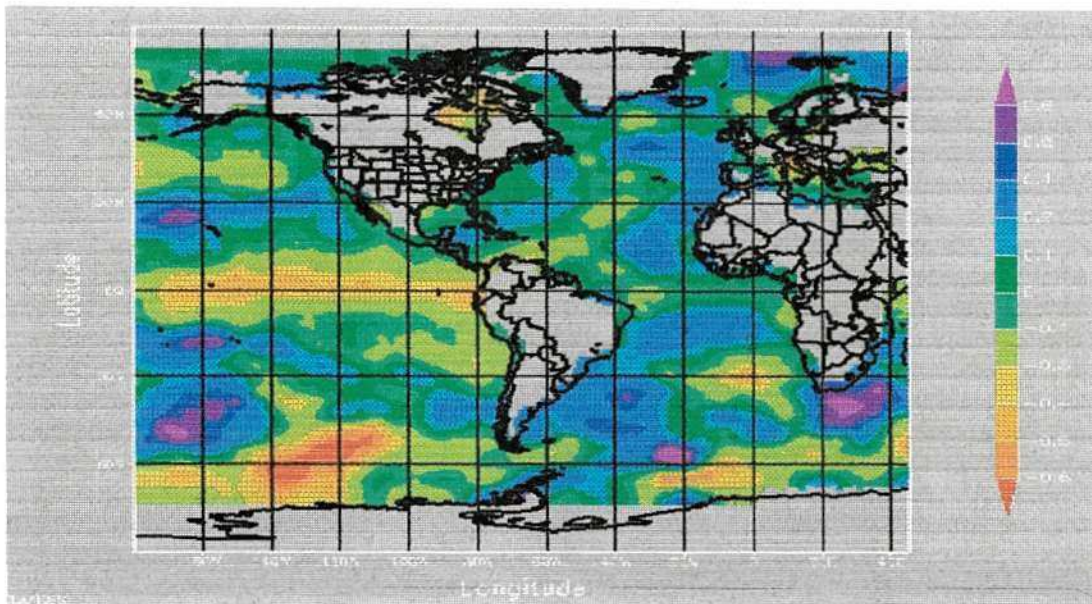


Figura IV.10 - Correlações entre anomalias de volume de Boqueirão para maio e as anomalias de TSM, média para novembro a janeiro. Os intervalos utilizados pelo pacote GrADS para esta figura estão irregulares

b - trimestre fevereiro a abril

Considerando as TSM's médias para fevereiro a abril, as correlações para fevereiro, Figura IV.11, com os volumes do reservatório Boqueirão se apresentam positivas na área do Pacífico e negativas na área do Atlântico, sendo mais intensas ao norte.

Em março, Figura IV.12, as áreas no Pacífico se tornam fortemente negativas, com valores de coeficientes de correlação de  $-0.5$  a maiores, enquanto que, na área do Atlântico, estas correlações são negativas ao sul e positivas ao norte do equador. No mês de abril, Figura IV.14, as correlações do Pacífico continuam negativas, porém menos intensas e, na área do Atlântico, o com correlações negativas ao sul do equador, se espalha por toda região tropical sul e um pequeno núcleo positivo permanece ao norte.

Em maio, Figura IV.14, há correlações negativas em todas áreas consideradas neste trabalho, tanto no Pacífico como no Atlântico. No mês de junho, as áreas do Pacífico se tornam positivas e o Atlântico continua com correlações negativas, exceto um núcleo positivo na região da foz do rio Amazonas.

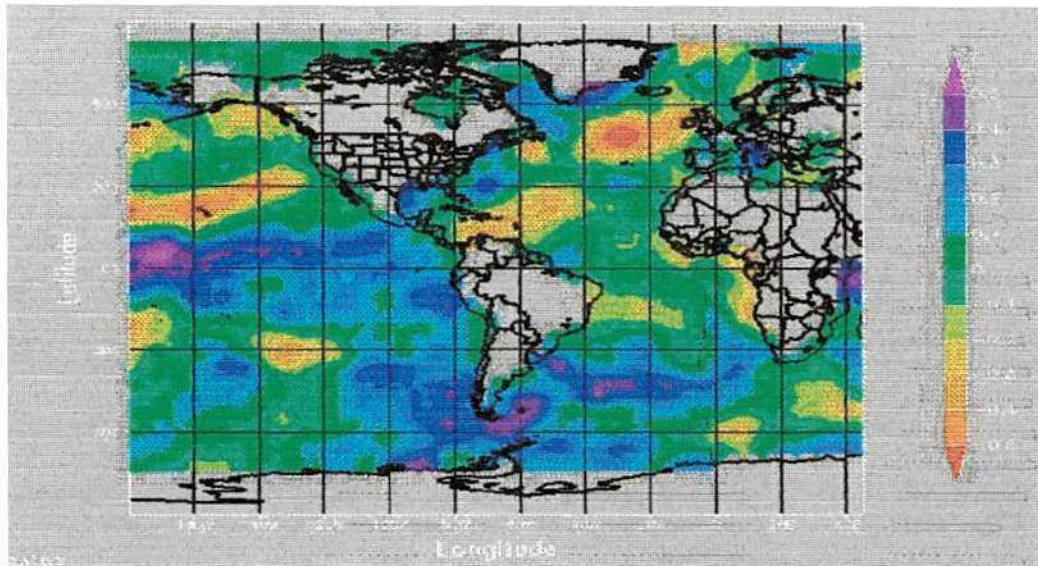


Figura IV.11 - Correlações entre anomalias de volume de Boqueirão para fevereiro e as anomalias de TSM, média para fevereiro a abril. O intervalo utilizado na escala de cores é de 0,1

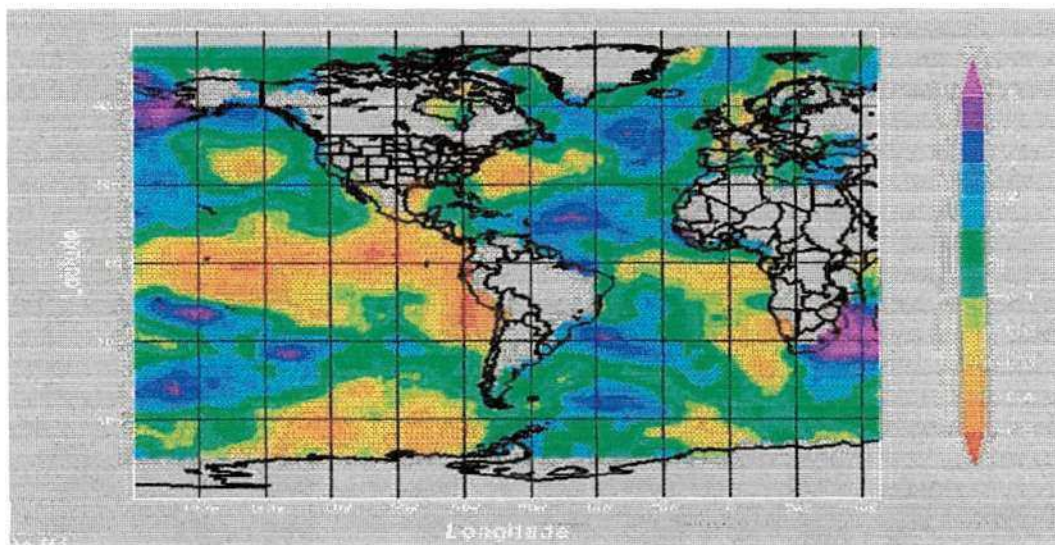


Figura IV.12 - Correlações entre anomalias de volume de Boqueirão para março e as anomalias de TSM, média para fevereiro a abril. O intervalo utilizado na escala de cores é de 0,1



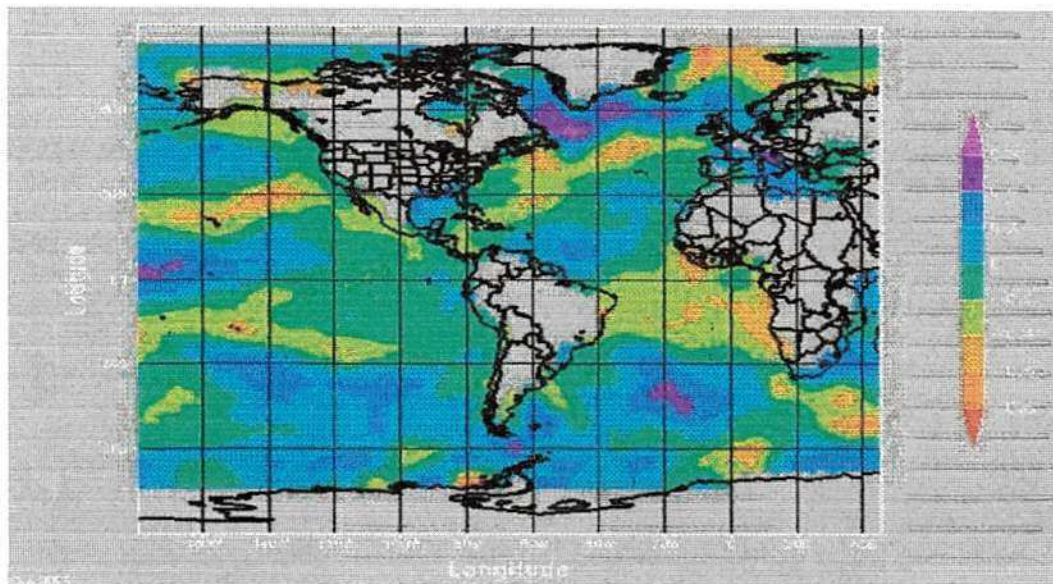


Figura IV.13 - Correlações entre anomalias de volume de Boqueirão para abril e as anomalias de TSM, média para fevereiro a abril. O intervalo utilizado na escala de cores é de 0,2

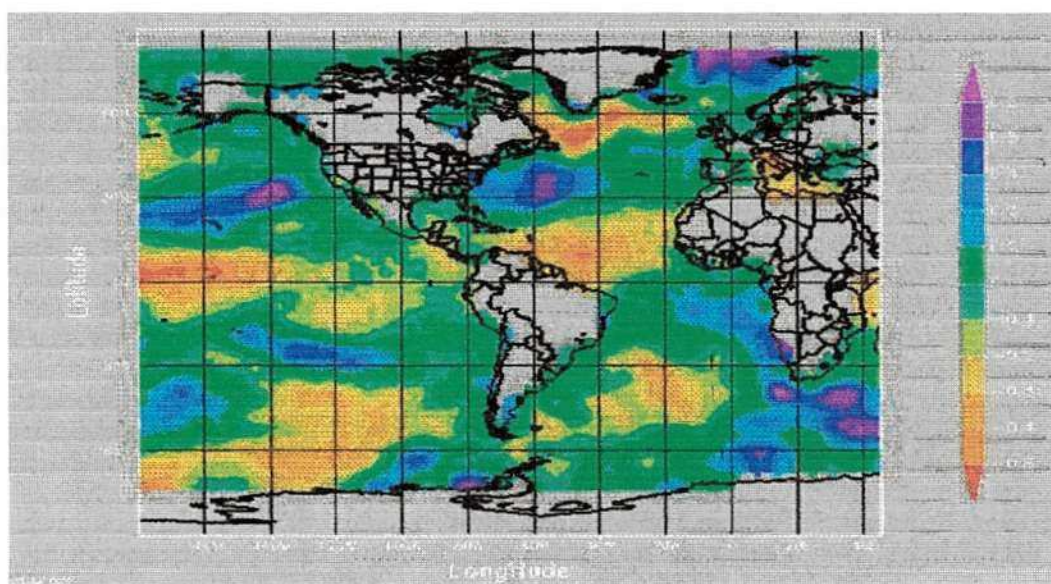


Figura IV.14 - Correlações entre anomalias de volume de Boqueirão para maio e as anomalias de TSM, média para fevereiro a abril. Os intervalos utilizados pelo pacote GrADS para esta figura estão irregulares

Resumindo o que os mapas de correlações apresentaram, podemos observar que as temperaturas da superfície do Pacífico no trimestre de novembro a janeiro não exercem grande influência sobre os volumes do açude Boqueirão, com uma exceção para o mês de março, quando são apresentadas correlações negativas, especialmente na área NINO1+2. No trimestre fevereiro a abril, novamente o mês de março é o que apresenta correlações negativas fortes entre as temperaturas na área NINO1+2 e o Boqueirão.

Na área do Atlântico, o trimestre novembro a janeiro não mostra tendência de ser favorável ou desfavorável, apenas no mês de fevereiro aparecem correlações negativas na área imediatamente ao norte do equador. No trimestre de fevereiro a abril, correlações negativas surgem nos meses de fevereiro e maio na mesma área ao norte do equador.

Apesar de estarem localizados em regiões com climas parecidos (ambos semi-áridos), a região do Cariri onde está localizado o açude Boqueirão apresenta, em termos de precipitação, uma ligeira diferença com relação à região do Sertão, onde está localizado o açude Coremas. Isso significa que os dois açudes não estão localizados na mesma região pluviometricamente homogênea, estando portanto, sujeitos a diferentes regimes de precipitação na Região Nordeste.

Esses regimes são caracterizados, basicamente, pelo tipo de sistema atmosférico que predomina sobre a área em questão. Evidentemente, esta não é a única explicação para este fato, de modo que outras explanações podem existir para esta diferença em termos de correlações.



#### 4.1.1.3 Açude Engenheiro Ávidos

a - trimestre novembro a janeiro

A análise das correlações médias para o trimestre de novembro a janeiro entre as anomalias de volume do reservatório Engenheiro Ávidos e as anomalias de temperatura da superfície do mar, mostradas na seqüência de figuras de IV.15 a IV.20, apresentou o seguinte resultado:

Em fevereiro, Figura IV.15, a área do Pacífico próxima à costa da América do Sul, se apresenta negativamente correlacionada, embora com valores baixos, enquanto as correlações da área do Atlântico são intensificadas, com valores em torno de 0,7 .

Em março, as correlações negativas da área do Oceano Pacífico ficaram um pouco mais intensas, enquanto que a área com correlações positivas no Oceano Atlântico, ficaram mais concentradas na zona de atuação da ZCIT, porém ainda intensas. Em abril, as correlações negativas se intensificam ao longo do Pacífico equatorial, nas regiões denominadas NINO1+2 e NINO3. A área do Atlântico permanece positivamente correlacionada. Correlações negativas surgem na área da ZCAS. Em maio, a área do Pacífico equatorial permanece correlacionada negativamente, embora apresente correlações fracas. O Atlântico apresenta fortes correlações positivas em toda área equatorial, com coeficientes maiores que 0,6.

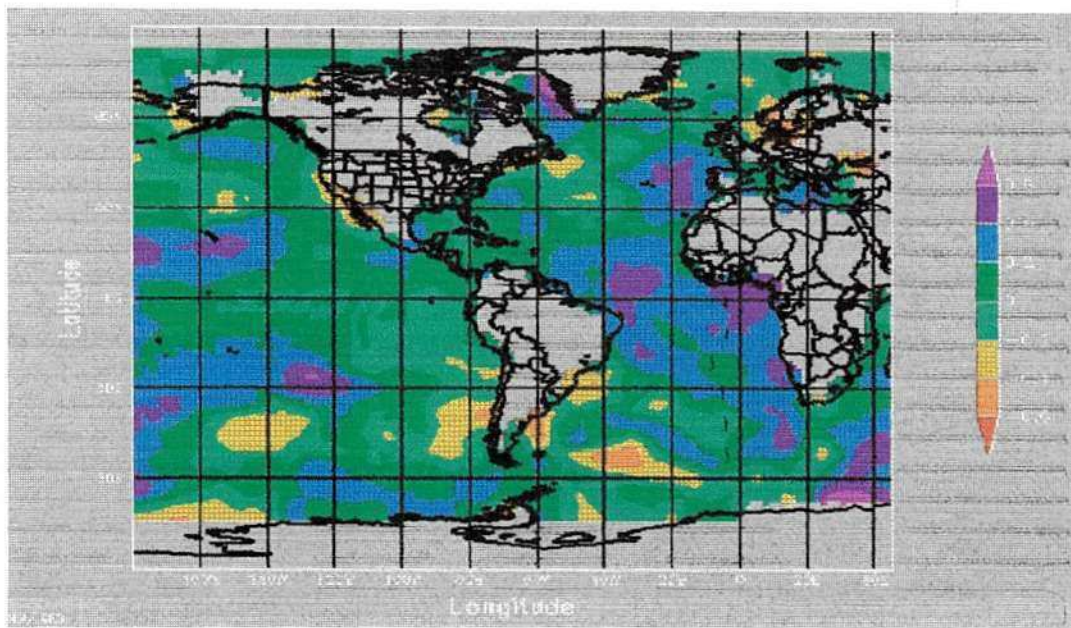


Figura IV.15 - Correlações entre anomalias de volume de Eng. Ávidos para fevereiro e as anomalias de TSM, média para novembro a janeiro. O intervalo utilizado na escala de cores é de 0,2

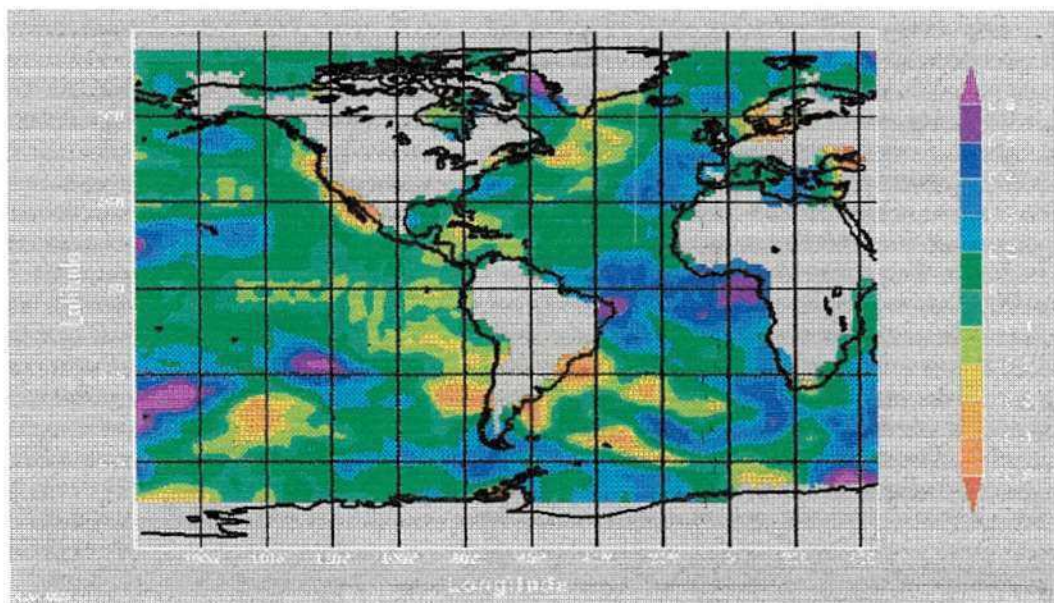


Figura IV.16 - Correlações entre anomalias de volume de Eng. Ávidos para março e as anomalias de TSM, média para novembro a janeiro. O intervalo utilizado pelo pacote GrADS na escala de cores desta figura está irregular.



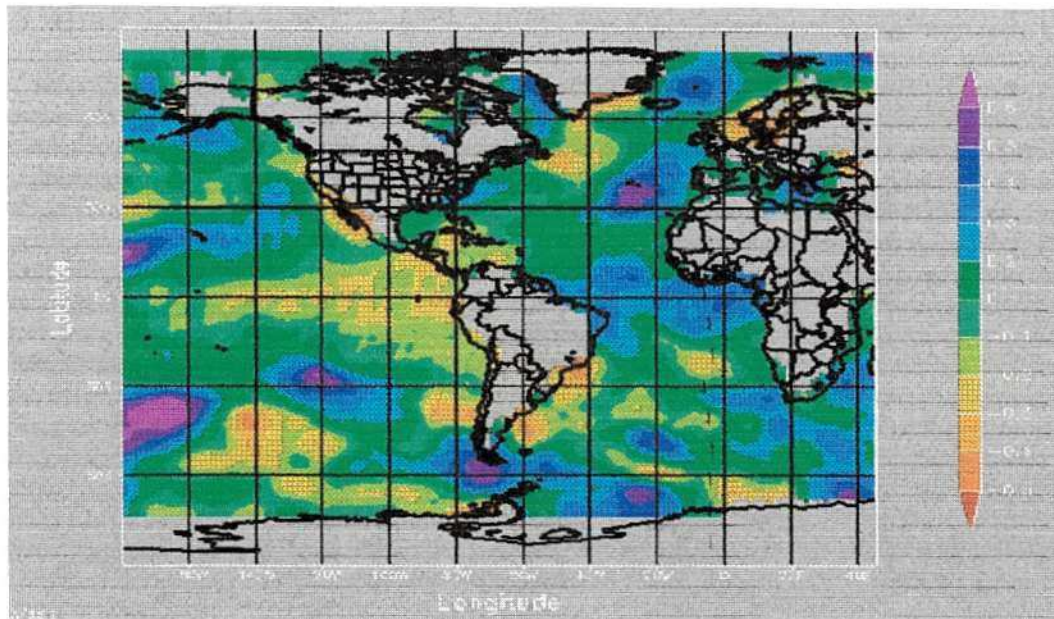


Figura IV.17 - Correlações entre anomalias de volume de Eng. Ávidos para abril e as anomalias de TSM, média para novembro a janeiro. O intervalo utilizado pelo pacote GrADS na escala de cores desta figura está irregular.

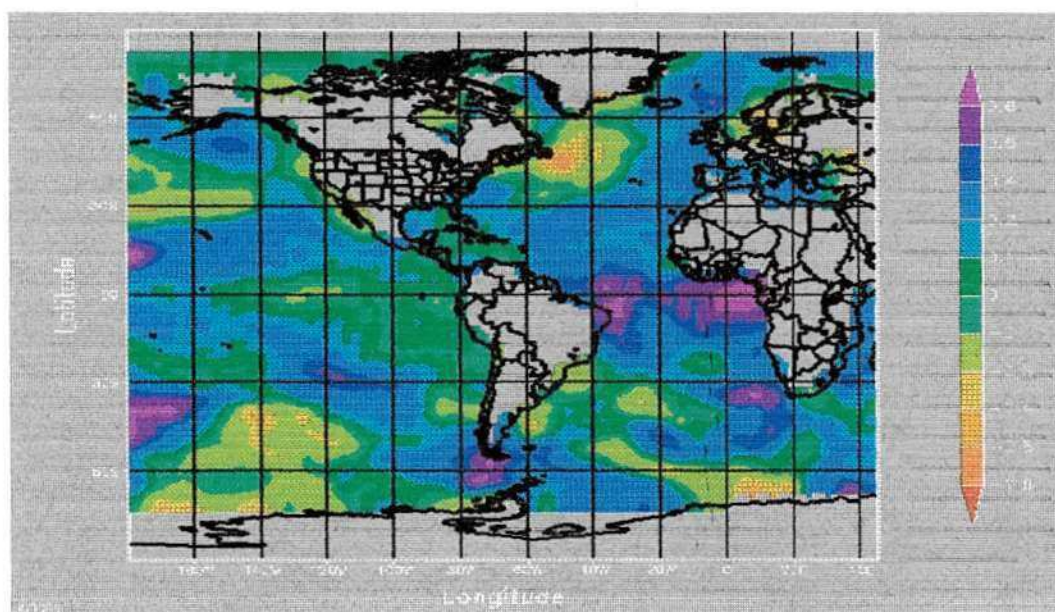


Figura IV.18 - Correlações entre anomalias de volume de Eng. Ávidos para maio e as anomalias de TSM, média para novembro a janeiro. O intervalo utilizado pelo pacote GrADS na escala de cores desta figura está irregular.

b - trimestre de fevereiro a abril

Considerando o trimestre fevereiro a abril, fortes correlações negativas, da ordem de  $-0,8$  e superiores aparecem na área NINO1+2 em abril, enquanto que no Atlântico surge um sinal fraco do dipolo. Em maio, a situação anterior fica mantida, porém com uma ligeira intensificação das correlações negativas na área do Atlântico norte.

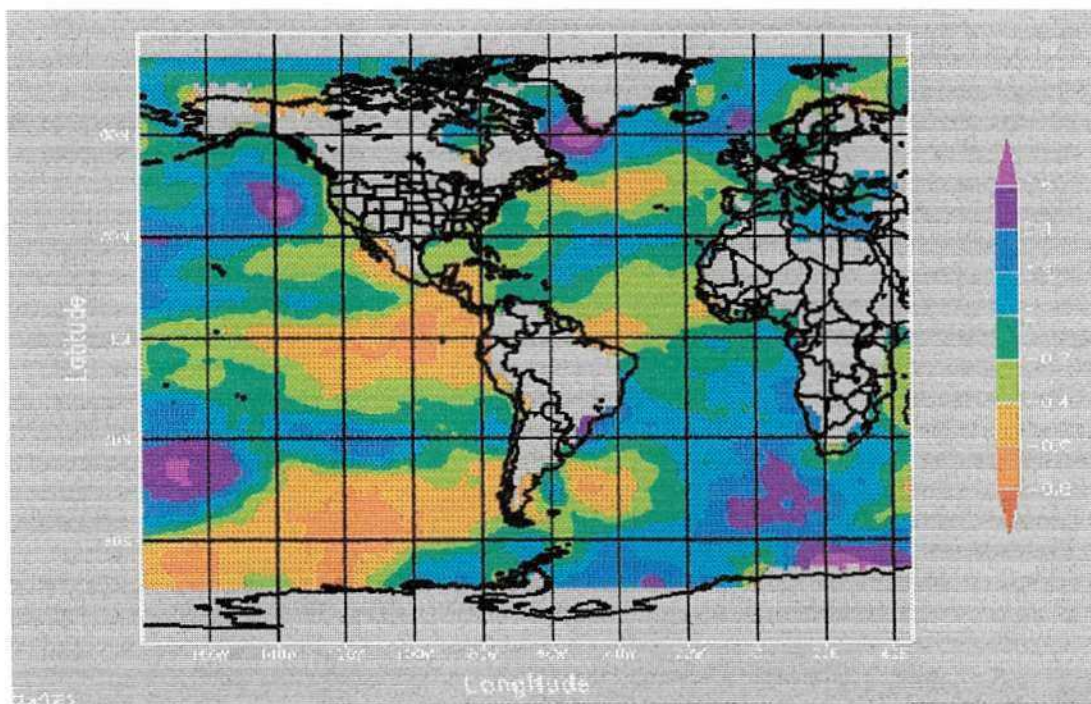


Figura IV.19 - Correlações entre anomalias de volume de Eng. Ávidos para abril e as anomalias de TSM, média para fevereiro a abril. O intervalo utilizado na escala de cores é de 0,2



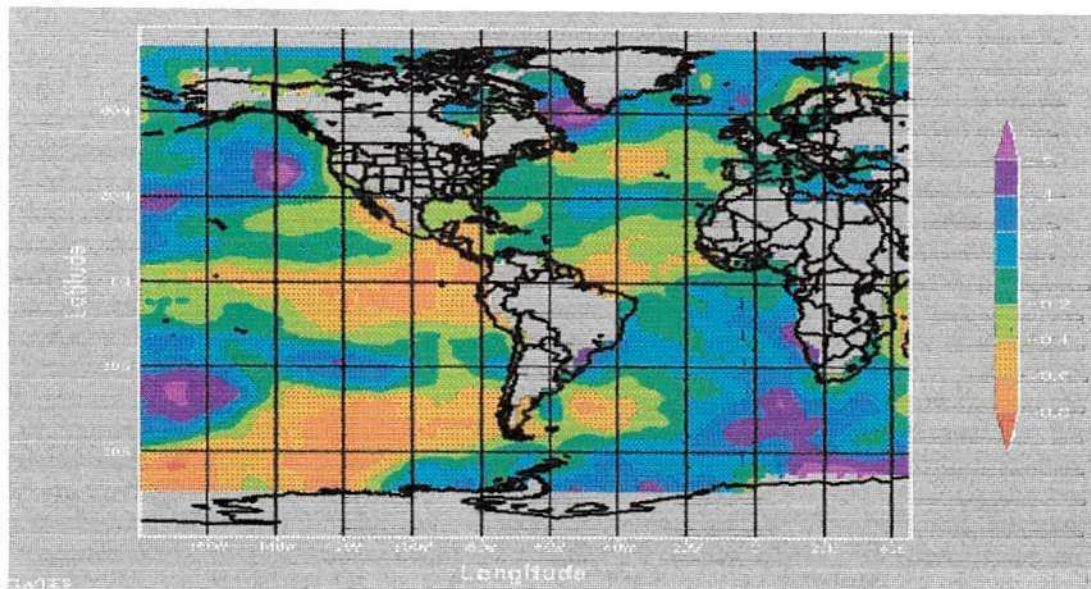


Figura IV.20 - Correlações entre anomalias de volume de Eng. Ávidos para maio e as anomalias de TSM, média para fevereiro a abril. O intervalo utilizado na escala de cores é de 0,2

Em resumo, pode-se dizer que as correlações entre as anomalias de temperatura da superfície do mar e as anomalias de volume do reservatório Engenheiro Ávidos no trimestre novembro a janeiro, se apresentaram positivas em todo atlântico tropical em janeiro, fevereiro e março e na área do Pacífico, as correlações estiveram negativas porém fracas. Entretanto, as correlações do Atlântico, especialmente no lado equatorial sul estiveram bastante fortes positivas a partir de abril. No Pacífico, as correlações se mantiveram negativas porém fracas até o fim do período.

No trimestre de fevereiro a abril, na área do Atlântico tropical, as correlações se apresentaram positivas ao sul e negativas ao norte do equador, indicando a influência que esse oceano exerce sobre o armazenamento de água nesse açude, o que de certo modo é esperado. As correlações do lado do Pacífico estiveram fortemente negativas em todo o período de abril a maio com valores maiores que  $-0,6$ .

## SÍNTESE

### **Anomalias de TSM do Pacífico positivas ( correlações negativas )**

Quando ocorre um episódio El Niño, a evaporação das águas superficiais do Oceano Pacífico aumenta, causando um aumento substancial da atividade convectiva, que é o mecanismo pelo qual a atmosfera tropical transfere calor e umidade para os altos níveis, resultando na formação de nuvens e conseqüente precipitação que, nesse caso, fica acima do normal. Há desse modo, a geração de uma circulação térmica direta no sentido leste/oeste, denominada Circulação de Walker, na qual os movimentos são ascendentes sobre a região das anomalias de TSM positivas do Pacífico e descendentes sobre a área do Atlântico adjacente à região Nordeste, inibindo a formação de nuvens e reduzindo a precipitação. A conseqüência direta disto é uma redução substancial no armazenamento de água nos açudes locais, como é observado.

### **Anomalias de TSM do Atlântico quentes ao norte e frias ao sul – Dipolo do Atlântico - correlações negativas ao norte e positivas ao sul**

Esse mecanismo, que foi proposto por Moura & Shukla (1981), atua para reduzir a precipitação e o conseqüente armazenamento de água nos açudes do nordeste. É caracterizado por anomalias de TSM positivas ao norte e negativas ao sul do equador na área do Atlântico, significando águas mais quentes ao norte e mais frias ao sul. A exemplo do Pacífico, esse mecanismo induz movimentos ascendentes ao norte do equador e descendentes ao sul, sobre a área adjacente à região nordeste, numa circulação meridional anômala, onde o ar que sobe ao norte do equador, pelo fato de as águas superficiais estarem mais aquecidas lá, descem ao sul, o que reduz a nebulosidade e, por extensão, a precipitação com repercussão sobre os volumes dos açudes da região. É por este motivo que as correlações entre as anomalias de volume dos açudes se apresentam negativas com relação às anomalias de TSM no lado norte do equador



#### **4. 1. 2 - Correlações entre as anomalias de volume dos três principais reservatórios de água da Paraíba e os índices do Pacífico e do Atlântico.**

##### **4. 1. 2. 1 - Reservatório de Coremas**

###### **a – NINO1+2**

Os volumes de Coremas estão negativamente correlacionados com esse índice, que corresponde às anomalias de TSM do Oceano Pacífico, na área compreendida entre os paralelos de 0° a 10° Sul e meridianos de 80° a 90° Oeste ( Ver fig. IV.21 ). Correlações com nível de significância a  $p < 0.05$  aparecem desde janeiro até dezembro com valores que vão desde  $-0.39$  até  $-0.65$  . As maiores correlações negativas correspondem ao índice NINO1+2 de fevereiro, com anomalias de volume para junho, agosto, setembro e outubro, sendo que a máxima correlação de  $-0.65$  corresponde ao índice de maio, com as anomalias de dezembro.

###### **b – NINO3**

As anomalias de volume de Coremas, estão negativamente correlacionadas com esse índice que corresponde às anomalias de TSM do Pacífico média para a área entre os paralelos de 5° Norte a 5° Sul e 90° a 150° Oeste, como mostra a Figura IV.21. As correlações mais significativas a  $p < 0.05$  , situam-se entre  $-0.39$  e  $-0.70$  , com valores de  $-0.53$  obtidos para os índices NINO3 de fevereiro e março com as anomalias de volume para março. Entretanto, essas correlações aumentam para os meses do segundo semestre até atingir o valor máximo de  $-0.70$  em dezembro, com o índice NINO3 de abril.

###### **c – NINO4**

As correlações dos volumes do reservatório Coremas com esse índice, que corresponde a média para a área entre 5° Norte a 5° Sul e 150° Oeste a 160° Leste, estão negativas e significativas a  $p < 0.05$  a partir de abril para os índices NINO4 de março e abril. Essas correlações variam entre  $-0.38$  e  $-0.56$ , sendo que este valor máximo negativo corresponde à correlação entre o índice para abril com as anomalias de volume para novembro. Para esse índice, as maiores correlações ( $> 0.50$ , em valor absoluto) estão entre as anomalias de volume para julho a dezembro e o índice NINO4 para abril.

#### d – Índice da Oscilação do Sul – IOS

Esse índice, está positivamente correlacionado com as anomalias de volume de Coremas, com correlações significativas a  $p < 0.05$  para anomalias em todo ano e índices entre janeiro e abril. Essas correlações variam entre  $0.38$  e  $0.63$ , com o valor máximo correspondendo ao índice de abril com as anomalias de volume de outubro.

#### e – Índice do Atlântico Sul ( ATLS )

Esse índice apresenta-se pouco significativamente correlacionado com as anomalias de volume do Coremas. Apenas dois meses desse índice, fevereiro e março, estão correlacionados com anomalias de março, com significância a  $p < 0.05$ , porém com valores modestos,  $-0.40$  e  $-0.45$ . Existem correlações positivas porém sem significância estatística.

#### f - Índice do Atlântico Norte ( ATLN )

Este índice se apresenta negativamente correlacionado com as anomalias de volume para Coremas, com coeficientes variando entre  $-0.37$  e  $-0.45$ , significativos para  $p < 0.05$ . Os índices que apresentam melhores correlações com os volumes são os de setembro e outubro, que tem correlações significativas desde abril até dezembro, apresentando maiores valores em junho, julho e agosto, em torno de  $-0.45$ . Correlações significativas também são apresentadas desde junho até dezembro, para os índices de maio e um valor máximo de  $-0.45$  pode ser visto em novembro e dezembro.

#### 4. 1. 2. 2 - Reservatório Boqueirão

##### a - NINO1+2

Esse índice, como já definido na seção anterior, está negativamente correlacionado com as anomalias de volume de Boqueirão, com coeficientes de correlação significativos a  $p < 0.05$ , que vão desde abril até dezembro, com valores de  $-0.36$  a  $-0.38$  para os índices de janeiro e desde março até dezembro, com valores de  $-0.47$  a  $-0.49$  para os índices de fevereiro. Para todos os outros meses, as correlações são negativas porém não significativas.

##### b - NINO3

As correlações dos índices NINO3 com as anomalias de volume para Boqueirão, apesar de serem todas negativas, não tem significância estatística, exceção apenas para o mês de dezembro com o índice de janeiro, coeficiente de  $-0.37$  e os meses de novembro e dezembro com os índices de março.

##### c - NINO4

Esse índice, não apresenta correlações significativas com as anomalias de volume do reservatório de Boqueirão.

##### d - Índice da Oscilação do Sul - IOS

Esse índice, apresenta correlações negativas significativas a  $p < 0.05$  com as anomalias de volume para os meses de março a novembro, com coeficientes de correlação variando de  $-0.42$  a  $-0.45$ , com máximo em novembro apenas com o mês de abril desse índice.

##### e - Índice do Atlântico Sul ( ATLS )

Esse índice não apresentou correlações significativas com as anomalias de volume para Boqueirão.

#### f- Índice do Atlântico Norte ( ATLN )

Esse índice apresenta-se negativamente correlacionado com as anomalias de volume de Boqueirão, especialmente a partir de julho quando os coeficientes de correlação são significativas a  $p < 0.05$ , com valores entre  $-0.37$  e  $-0.59$ . As máximas correlações negativas são para os índices de setembro e outubro com os volumes de abril, com valores de  $-0.57$  e  $-0.59$ , respectivamente. É importante ressaltar que para todos os meses, as anomalias do volume de Boqueirão apresentam correlações significativas a  $p < 0.05$  com os índices de julho a dezembro.

#### 4. 1. 2. 3 - Reservatório Engenheiro Ávidos

##### a - NINO1+2

As correlações dos volumes do reservatório Engenheiro Ávidos com as anomalias de TSM nesta área são praticamente todas negativas e na sua grande maioria, sem muita significância estatística. Exceção para alguns meses do índice de maio a agosto, com os volumes de março a novembro, ainda assim com valores baixos. Um máximo pode ser observado em março, com valor  $-0,44$  a  $p < 0,05$ , correspondente à correlação das TSM's de março com o índice da maio, que está correlacionado com as anomalias de volume desde março até novembro.

##### b – NINO3

Esse índice apresenta correlações positivas e negativas com os volumes do reservatório considerado porém, as correlações negativas são as mais significativas. Os índices de fevereiro e março estão correlacionados com os volumes abril; os índices de janeiro a março, estão correlacionados com os volumes de junho; os índices de fevereiro a abril, são correlacionados com os volumes de julho a dezembro sendo que a partir de agosto, outros meses são também correlacionados, tais como maio e janeiro. A máxima

correlação negativa foi obtida para o índice de fevereiro com os volumes de dezembro, sendo de -0,45 a  $p < 0,05$ .

#### c - NINO4

A maioria das correlações desse índice com os volumes do Engenheiro Ávidos são negativas e com pouca significância estatística. Apenas o mês de abril desse índice apresentou correlações com significância a  $p < 0,05$ , com os volumes de julho a dezembro. Essas correlações vão desde -0,37 a -0,46, sendo este último valor para o mês de setembro.

#### d - Índice da Oscilação do Sul – IOS

Correlações positivas são apresentadas para este índice com os volumes de engenheiro Ávidos em praticamente todos os meses, com poucas exceções e com valores pequenos. As maiores correlações positivas e com significância estatística são para o índice de janeiro com os meses de maio a dezembro dos volumes e abril do índice com os meses de julho a dezembro dos volumes com o valor máximo de 0,49 a  $p < 0,05$  em setembro com o índice de janeiro.

#### e - Índice do Atlântico Sul (ATLS)

As correlações mais significativas desse índice com os volumes do reservatório em estudo são positivas e concentram-se basicamente a partir de junho com os volumes de maio até dezembro, com valor máximo de 0,55 para o índice de agosto com os volumes de setembro.

#### f - Índice do Atlântico Norte (ATLN)

Não há correlações significativas entre esse índice e os volumes do reservatório Engenheiro Ávidos.



## SÍNTESE

O resultado das correlações entre as anomalias de volume dos três açudes considerados neste trabalho, com os índices do Pacífico, do Atlântico e da Oscilação do Sul, se apresentou melhor do que com as anomalias de TSM globais, uma vez que são médias das anomalias de TSM do Pacífico considerando uma área menor. Este procedimento, reduz bastante a possibilidade de multiplicidade, ou seja, o efeito da correlação espacial, uma vez que, diminui os graus de liberdade. Nesse caso então, como era de se esperar, as correlações se apresentaram melhores do que com o campo global, com valores dos coeficientes de correlação maiores e com níveis de confiança, em alguns casos, maiores que 95%. As anomalias de volume dos açudes Coremas e Boqueirão, apresentaram melhores respostas (em termos de correlação) aos índices do El Niño com correlações negativas significativas, do que o reservatório Engenheiro Ávidos (ver quadro resumo a seguir) . Talvez esse açude esteja melhor correlacionado com os efeitos locais que de grande escala. As melhores correlações negativas foram obtidas para o índice NINO3. Essa característica também estava presente nas correlações com as TSMs globais.

## QUADRO RESUMO

ÍNDICE	COREMAS	BOQUEIRÃO	ENG. ÁVIDOS
NINO1+2	Correlac. Negativamente, máx. de -0,65 a $p < 0,05$ para maio com Vol. de dezembro	Correlac. Negativamente, máx. de -0,47 a $p < 0,05$ para fev. com Vol. de março a dezembro	Correlac. Negativamente, máx de -0,44 a $p < 0,05$ para maio com Vol. de março a novembro
NINO3	Correlac. Negativamente, máx de -0,70 a $p < 0,05$ para abril com Vol de dezembro	Correlac. Negativamente, máx de -0,73 para janeiro com Vol de dezembro	Correlac. Negativamente, máx de -0,45 a $p < 0,05$ para fevereiro com Vol de dezembro
NINO4	Correlac. Negativamente, máx de -0,56 a $p < 0,05$ para abril com Vol de novembro	Não há correlações significativas com esse índice.	Correlac. Negativamente, máx de -0,46 a $p < 0,05$ para abril com Vol de julho a dezembro
IOS	Correlac. Positivamente, máx de 0,56 a $p < 0,05$ para abril com Vol de outubro	Correlac. Negativamente, máx de -0,45 a $p < 0,05$ para Abril com Vol de novembro	Correlac. Positivamente, máx de 0,49 a $p < 0,05$ para janeiro com Vol de setembro
ATLS	Correlac. Negativamente, máx de -0,45 a $p < 0,05$ para fevereiro e março com Vol de março	Não há correlações significativas com esse índice.	Correlac. Positivamente. porém sem muita significação
ATLN	Correlac. Negativamente, máx de -0,45 a $p < 0,05$ para maio com Vol de novembro e dezembro	Correlac. Negativamente, máx de -0,59 a $p < 0,05$ para Setembro e outubro com Vol de abril	Correlac. Positivamente, máx de 0,55 para agosto com Vol de setembro

#### 4. 1. 3 - Frequência de ocorrência de sistemas convectivos de mesoescala na área dos três principais reservatórios de água da Paraíba.

Foram analisados histogramas de precipitação diária nos meses de janeiro a maio, época chuvosa na maior parte das regiões do Cariri e Sertão onde estão localizados os três principais reservatórios de água da Paraíba, a saber: Boqueirão, Coremas e Engenheiro Ávidos. Na contagem dos sistemas de mesoescala foi suposto que toda precipitação diária superior a trinta (30) milímetros, era resultante desse tipo de sistema. Esse valor, evidentemente, não surgiu do acaso. Devido ao reduzido número de referências existente, tomou-se como exemplo o sistema descrito em Gomes Filho (1996) que, em média, precipitou um valor aproximado de 30mm sobre as localidades em sua trajetória. A partir daí, foram construídos os histogramas apresentados e analisados a seguir:

##### 4. 1. 3. 1 - Reservatório de Coremas

###### janeiro

No período considerado, 1934 a 1985, houve uma média de 1,1 sistemas convectivos de mesoescala observados por mês, sendo que o número máximo observado para esse mês foi de cinco (5) no ano 1940, ver histogramas na figura IV.21

###### fevereiro

Esse mês apresentou uma média de 1,6 sistemas de mesoescala observados para o período, sendo que o número máximo observado foi de cinco (5) nos anos de 1963, 67 e 78.

###### março

Nesse mês, que apresentou a maior média de sistemas observados, 2,4 sistemas por mês, a máxima frequência observada foi de oito (8) sistemas no ano 1940. Esse mês também apresentou a maior regularidade de ocorrência desse tipo de sistema.

###### abril

Esse mês apresentou uma média de 1,6 sistemas por mês e um número máximo observado de oito (8) sistemas no ano 1985. Esse mês também apresentou uma boa regularidade de ocorrência.

###### maio

O mês de maio apresentou a menor média de ocorrência de sistemas de mesoescala com 0,6 sistema/mês. O valor máximo observado foi de quatro (4) sistemas no ano 1945

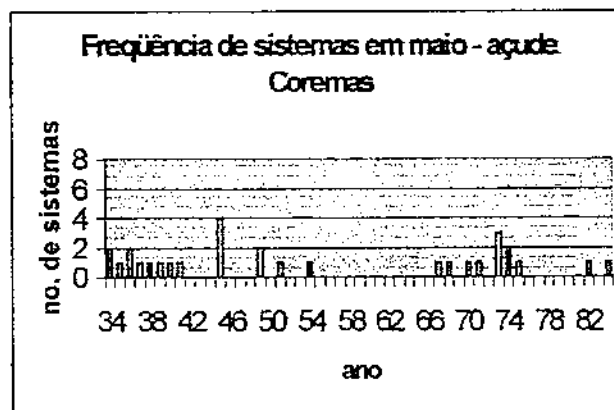
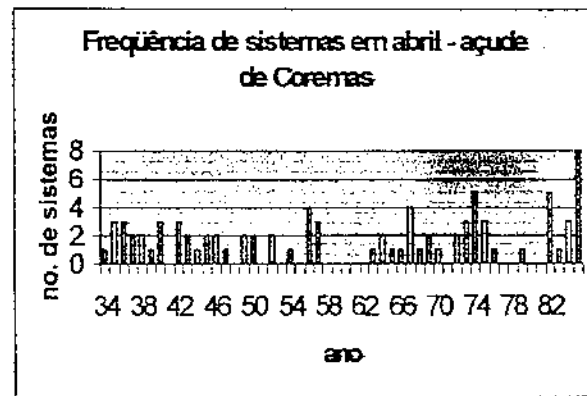
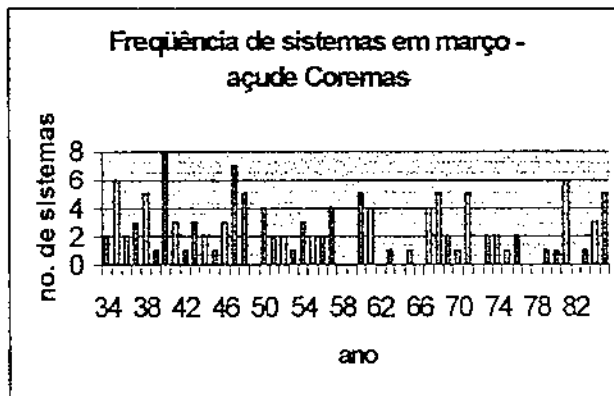
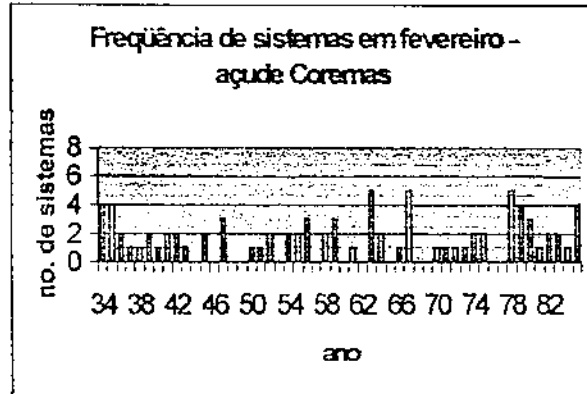
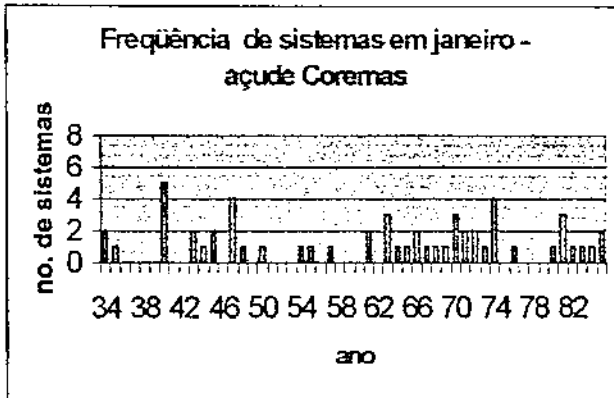


Figura IV.21 - Histogramas de frequência de sistemas de mesoescala na área da Bacia Hidrográfica de Coremas, no período de 1934 a 1984.

#### 4. 1. 3. 2 - Reservatório Boqueirão

Para esse reservatório, foram analisados dados diários da precipitação do período 1961 a 1985 e contabilizados os dias com precipitação determinada pelo critério visto anteriormente ( item 4.1.3) . a análise a seguir esta baseada nos histogramas apresentados na figura IV.22

##### janeiro

Esse mês apresentou uma frequência média de 0,2 sistemas/mês com apenas quatro anos apresentando ocorrências, os anos de 1975, 77, 81 e 83. Cada um desses anos com uma (1) ocorrência.

##### fevereiro

O número médio de sistemas observados para esse mês foi de 0,5 sistemas/mês. O número máximo de ocorrências para esse mês foi registrado no ano 1985 com quatro (4) ocorrências.

##### março

O mês de março apresentou uma média de 0,7 sistemas/mês e foi observado um máximo de quatro (4) sistemas no ano 1981.

##### abril

A maior média de ocorrência de sistemas de mesoescala para esse reservatório foi observada nesse mês de abril, sendo de 0,8 sistemas/mês. Um número máximo de três (3) ocorrências foi observado no ano 1977.

##### maio

O mês de maio, apresenta média de ocorrência de sistemas igual ao mês de janeiro com 0,2 sistemas/mês. Além disso, apenas em três anos houve ocorrência de sistemas de mesoescala, 1976 com uma (1); 1977 com duas (2) e 1984 com uma (1) ocorrência.



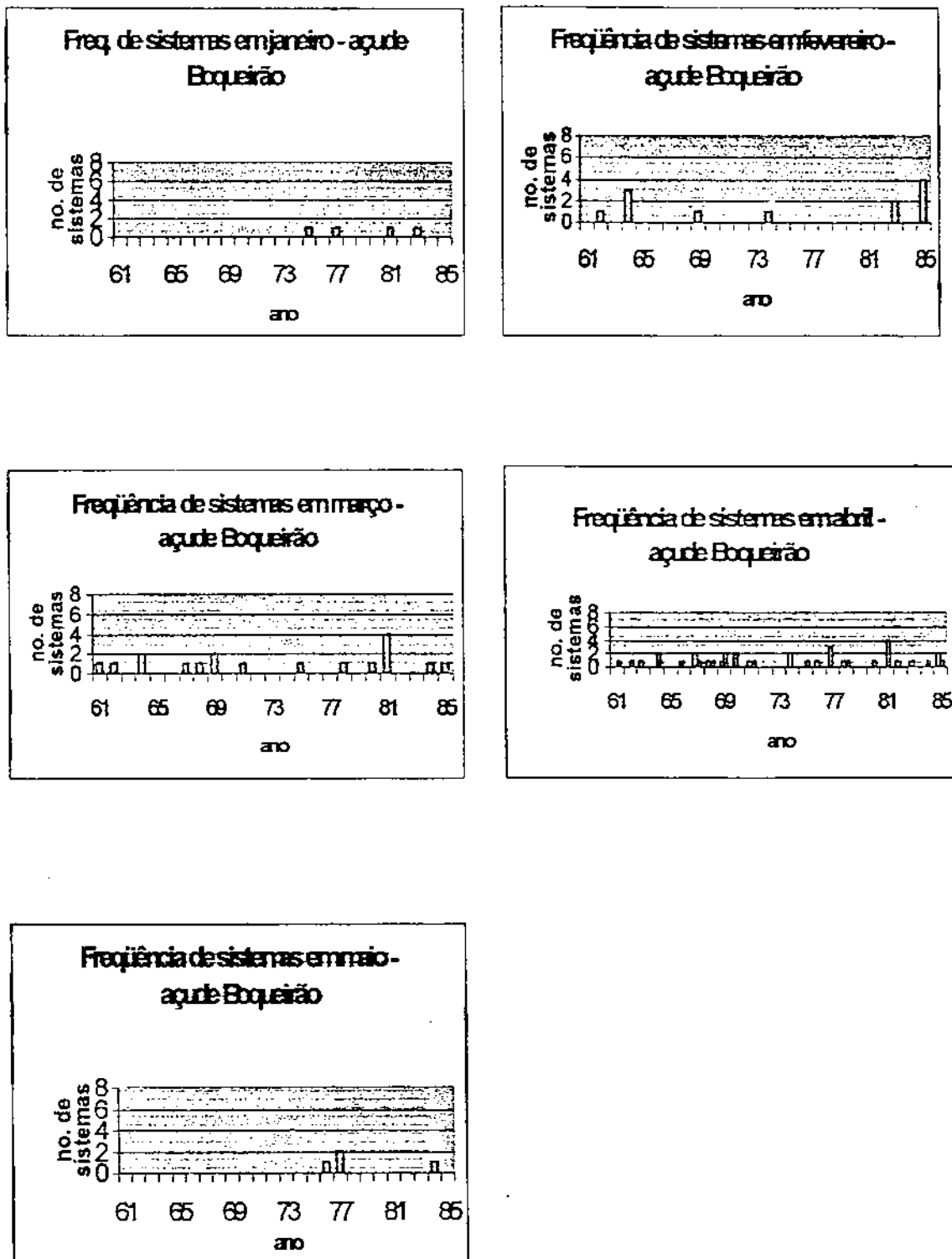


Figura IV.22 - Histogramas de frequência de sistemas de mesoescala na área da Bacia Hidrográfica de Boqueirão, no período de 1961 a 1985.

#### 4.1.3.3 - Reservatório Engenheiro Ávidos.

Analisou-se para este reservatório, dados da precipitação diária no período de 1936 a 1985, usando-se para contabilizar os sistemas de mesoescala, o critério adotado no item 4.1.3. Ver histogramas na figura IV.23

##### janeiro

No mês de janeiro, foi observado um número médio de 1,3 sistemas/mês, com um máximo de cinco (5) sistemas observados nos anos de 1975 e 1985. Esse reservatório apresenta na segunda metade do período, uma boa regularidade de ocorrências desse tipo de sistema.

##### fevereiro

Nesse mês, a média observada foi de 1,9 sistemas/mês e o número máximo de sistemas observados foi de seis (6) nos anos de 1963, 76 e 80. A exemplo do mês anterior, há uma regularidade de ocorrências na segunda metade do período.

##### março

Este mês, a exemplo do reservatório Coremas, apresenta a maior média de ocorrências, sendo de 2,6 sistemas/mês. Apresenta também um máximo de oito (8) ocorrências, sendo que para o ano 1981. Uma vez mais, há uma boa regularidade de ocorrências desse tipo de sistema nesse mês, no período estudado.

##### abril

Uma média de 1,7 sistemas/mês foi observada nesse mês. Dois anos com um valor máximo de sete (7) ocorrências foram registrados, que foram 1965 e 1973. Há uma tendência de concentração das maiores frequências próximo do final do período de estudo, mais ou menos entre 1965 e 1974.

##### maio

Este mês, a exemplo dos outros reservatórios, apresenta a menor média de ocorrência, com 0,3 sistemas/mês. O valor máximo de sistemas para esse mês foi de três (3) sistemas no ano de 1977.

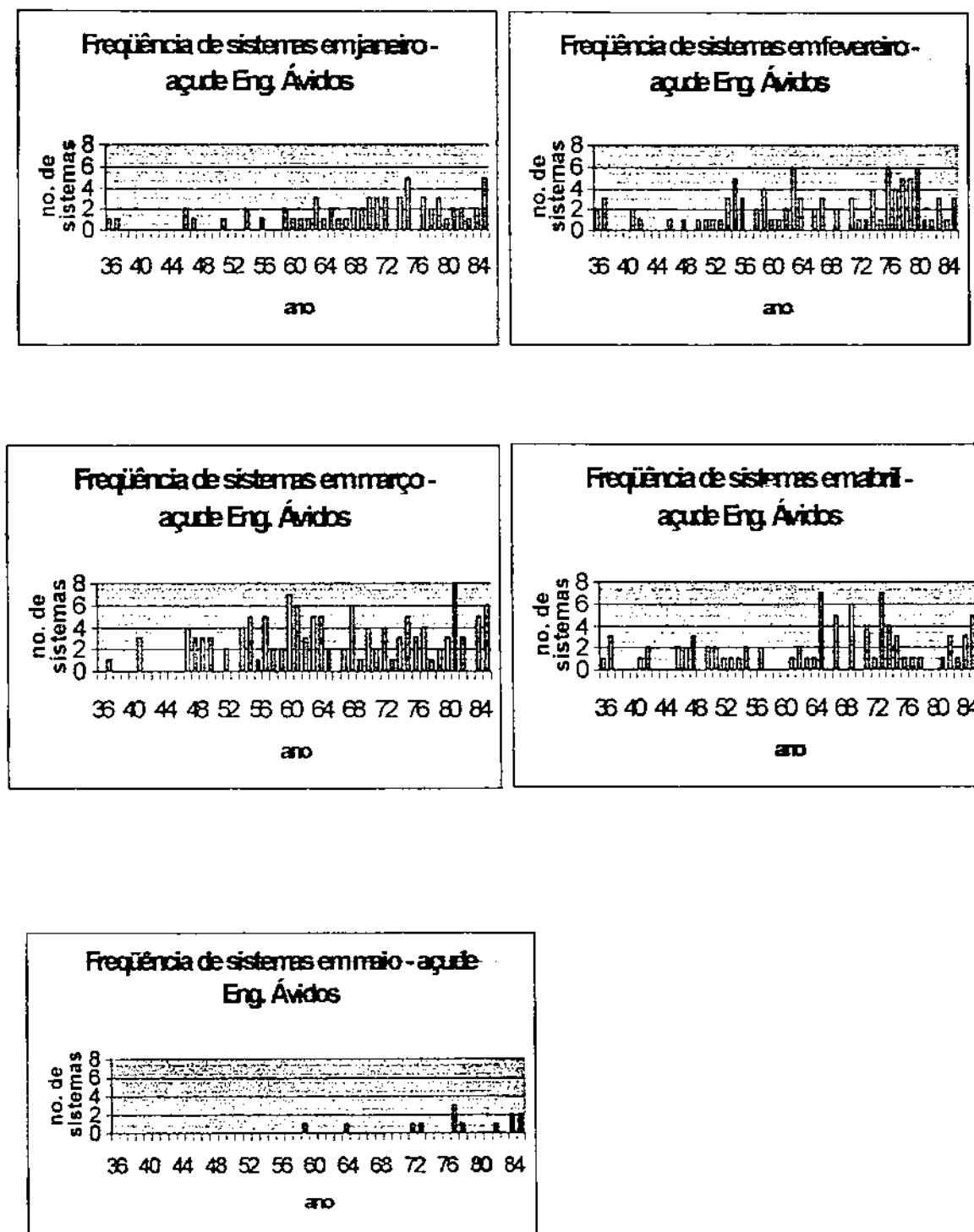


Figura IV.23 - Histogramas de frequência de sistemas de mesoescala na área da Bacia Hidrográfica de Engenheiro Ávidos, para o período de 1936 a 1985.

Deve ser salientado aqui que alguns anos apresentaram ausência total de dados e que, nesses casos, para não haver discontinuidades nos gráficos, foi-lhes atribuído o valor zero. Este procedimento não promoveu qualquer alteração nos resultados porque foram poucos casos.

Uma outra observação importante é que a influência desses sistemas sobre os totais mensais de precipitação parece ser definitiva, como observa Gomes Filho (1996). No mês onde a frequência de ocorrência desses sistemas é do maior que a média, o total mensal também o é, o mesmo valendo para os totais anuais, quando são considerados os meses do período chuvoso na região dos reservatórios considerados, quais sejam, janeiro a maio. Uma observação importante cabe aqui: a relação com a vazão não parece ser tão direta como alguns poderiam esperar. Nem sempre precipitação acima da média, de per si, será capaz de garantir vazões igualmente acima da média. Isto pode ser constatado a partir da figura IV.25, que pelo menos para o mês de fevereiro, quando se inicia o período chuvoso na região, o solo ainda não recebeu umidade e, portanto, toda ou quase toda a água que cai sobre ele é usada para saturá-lo, não apresentando valores significativos de vazão que, desta forma, apresenta desvios negativos mesmo na presença de um número expressivo de sistemas de mesoescala.

#### **4.1.4 - Correlações dos índices com os desvios do número total de sistemas de mesoescala nas áreas dos três reservatórios no trimestre fevereiro a abril.**

Para dar mais consistência à análise das correlações das anomalias de volume dos açudes considerados com os índices do Atlântico, Pacífico e Oscilação do Sul, realizamos os cálculos das correlações, desta feita não somente com os desvios do número de sistemas de mesoescala na área dos reservatórios para os meses individuais, mas usando os desvios do número total de sistemas no trimestre de março a abril, nas áreas dos reservatórios Coremas, Boqueirão e Engenheiro Ávidos. Os resultados mostram que o número esperado de sistemas na área de cada um dos açudes passou a ser, respectivamente, 5,6 para o

Coremas, 5,9 para o Engenheiro Ávidos e 2,1 para o Boqueirão. Essa análise mostrou um aspecto importante sobre as correlações entre as anomalias de volume e os índices, quando consideramos o trimestre: o reservatório Engenheiro Ávidos é mais sensível aos índices do El Niño do que o Coremas e Boqueirão, principalmente aos índices NINO3 e NINO4. Com relação aos índices do Atlântico, considerando apenas as correlações com significação a  $p < 0,05$ , o Engenheiro Ávidos responde negativamente aos índices do Atlântico Norte dos meses de fevereiro a maio e positivamente ao do Dipolo do Atlântico dos meses de março a junho. Ainda sobre esse índice, o reservatório de Coremas está correlacionado positivamente com o índice de outubro. O reservatório Coremas está positivamente correlacionado com o Índice do Atlântico Sul dos meses de janeiro e julho. O Índice da Oscilação do Sul de abril apresenta correlações positivas com o Coremas e o Engenheiro Ávidos e os índices de janeiro e fevereiro estão positivamente correlacionados com as anomalias de volume do Engenheiro Ávidos. Um aspecto importante foi que o reservatório Boqueirão não apresentou correlações significativas com nenhum índice considerado, para o caso do trimestre fevereiro a abril.

Estes resultados podem ser resumidos em um quadro resumo para cada um dos açudes que apresentaram correlações com significância estatística:

### 1. Açude Coremas

mês	SOI	IATLS	DIPOLO
janeiro		0,53	
abril	0,55		
julho		0,50	
outubro			0,50

### 2. Açude Engenheiro Ávidos

mês	NINO1+2	NINO3	NINO4	SOI	IATLN	DIPOLO
janeiro		-0,60	-0,55	0,52		
fevereiro	-0,58	-0,61	-0,57	0,59	-0,54	
março		-0,58	-0,55		-0,64	0,57



abril	-0,50	-0,69	-0,72	0,57	-0,66	0,60
maio		-0,54	-0,63		-0,57	0,61
junho						0,57

Existe uma grande diferença entre as correlações apresentadas aqui e aquelas realizadas com as anomalias de volume dos reservatórios consideradas mês a mês e os índices também considerados desta forma. Como já foi amplamente mostrado na literatura meteorológica, a maior parte da precipitação na região tropical é de origem convectiva, o que explica a boa concordância entre os totais de sistemas convectivos no trimestre mais chuvoso da região dos açudes com a precipitação anual, assim como também explica, em parte, as diferenças encontradas com relação às correlações das anomalias de volume para os meses individuais com o número de sistemas no trimestre mais chuvoso. No caso da precipitação em si, a literatura mostra que as correlações são boas para os índices do El Niño com as ocorrências de secas. Isto também aparece quando consideramos as anomalias de volume mês a mês com esses índices. Neste caso, já foi mostrado anteriormente que nem sempre esse fenômeno reduz para zero a atividade convectiva na área dos açudes em todos os meses, de modo que, algum mês individual pode contribuir para que no trimestre haja alguma chuva contribuindo para os volumes.

#### Observações:

O reservatório de Boqueirão, não apresentou correlações significativas com quaisquer dos índices. Do mesmo modo, o Índice do Atlântico Sul não apresentou correlações de significância estatística com as anomalias de volume do reservatório Engenheiro Ávidos.

#### 4.1.5. - Ligação entre a grande escala e a mesoescala

Um possível elo de ligação entre o problema quando visto sob as perspectivas da grande escala e da mesoescala, pode ser o fato de haver ou não uma redução substancial na atividade de sistemas de mesoescala em períodos de atuação do El Niño. Para se detectar se houve ou não redução no número desses sistemas, analisou-se para os reservatórios Coremas, Engenheiro Ávidos e Boqueirão, os anos em que ocorreram episódios El Niño considerados fracos, moderados ou fortes e desvios do número de sistemas de mesoescala que ocorreram nos meses do período chuvoso, para se detectar uma possível redução nesse número.

**Tabela IV.1** – Episódios El Niño ocorridos no período de 1934 a 1985 e desvios da frequência do número de casos de sistemas de mesoescala na área do Coremas.

Obs: Os números entre parênteses são os anos de início da seca no NEB a partir do estabelecimento do episódio e são (0) se ocorreu no mesmo ano e (+1) se ocorreu no ano seguinte ao do episódio.

Ano\Mês	jan	fev	mar	abr	maí	desvJan	desvFe	desvMar	desvAb	desvMa	El-Niño
34	2	4	2	1	2	0.92	2.37	-0.38	-0.63	1.40	
35	1	4	6	3	1	-0.08	2.37	3.62	1.37	0.40	
36	0	2	2	3	2	-1.08	0.37	-0.38	1.37	1.40	
37	0	1	3	2	1	-1.08	-0.63	0.62	0.37	0.40	
38	0	1	5	2	1	-1.08	-0.63	2.62	0.37	0.40	
39	0	2	1	1	1	-1.08	0.37	-1.38	-0.63	0.40	mod
40	5	1	8	3	1	3.92	-0.63	5.62	1.37	0.40	
41	0	2	3	0	1	-1.08	0.37	0.62	-1.63	0.40	forte
42	0	2	1	3	0	-1.08	0.37	-1.38	1.37	-0.60	(+ 1)
43	2	1	3	2	0	0.92	-0.63	0.62	0.37	-0.60	fraco
44	1	0	2	1	0	-0.08	-1.63	-0.38	-0.63	-0.60	
45	2	2	1	2	4	0.92	0.37	-1.38	0.37	3.40	
46	0	0	3	2	0	-1.08	-1.63	0.62	0.37	-0.60	

47	4	3	7	1	0	2.92	1.37	4.62	-0.63	-0.60	
48	1	0	5	0	0	-0.08	-1.63	2.62	-1.63	-0.60	
49	0	0	0	2	2	-1.08	-1.63	-2.38	0.37	1.40	
50	1	1	4	2	0	-0.08	-0.63	1.62	0.37	-0.60	
51	0	1	2	0	1	-1.08	-0.63	-0.38	-1.63	0.40	fraco(0)
52	0	2	2	2	0	-1.08	0.37	-0.38	0.37	-0.60	(+ 1)
53	0	0	1	0	0	-1.08	-1.63	-1.38	-1.63	-0.60	mod. (0)
54	1	2	3	1	1	-0.08	0.37	0.62	-0.63	0.40	
55	1	2	2	0	0	-0.08	0.37	-0.38	-1.63	-0.60	
56	0	3	2	4	0	-1.08	1.37	-0.38	2.37	-0.60	
57	1	0	4	3	0	-0.08	-1.63	1.62	1.37	-0.60	forte
58	0	2	0	0	0	-1.08	0.37	-2.38	-1.63	-0.60	(+1)
59	0	3	0	0	0	-1.08	1.37	-2.38	-1.63	-0.60	
60	0	0	5	0	0	-1.08	-1.63	2.62	-1.63	-0.60	
61	2	1	4	0	0	0.92	-0.63	1.62	-1.63	-0.60	
62	0	0	0	0	0	-1.08	-1.63	-2.38	-1.63	-0.60	
63	3	5	1	1	0	1.92	3.37	-1.38	-0.63	-0.60	
64	1	2	0	2	0	-0.08	0.37	-2.38	0.37	-0.60	
65	1	0	1	1	0	-0.08	-1.63	-1.38	-0.63	-0.60	mod.
66	2	1	0	1	0	0.92	-0.63	-2.38	-0.63	-0.60	(+ 1)
67	1	5	4	4	1	-0.08	3.37	1.62	2.37	0.40	
68	1	0	5	1	1	-0.08	-1.63	2.62	-0.63	0.40	
69	1	0	2	2	0	-0.08	-1.63	-0.38	0.37	-0.60	fraco
70	3	1	1	1	1	1.92	-0.63	-1.38	-0.63	0.40	(+1)
71	2	1	5	0	1	0.92	-0.63	2.62	-1.63	0.40	
72	2	1	0	2	0	0.92	-0.63	-2.38	0.37	-0.60	mod.
73	1	1	2	3	3	-0.08	-0.63	-0.38	1.37	2.40	
74	4	2	2	5	2	2.92	0.37	-0.38	3.37	1.40	
75	0	2	1	3	1	-1.08	0.37	-1.38	1.37	0.40	
76	1	0	2	1	0	-0.08	-1.63	-0.38	-0.63	-0.60	fraco(0)
77	0	0	0	0	0	-1.08	-1.63	-2.38	-1.63	-0.60	
78	0	5	0	0	0	-1.08	3.37	-2.38	-1.63	-0.60	
79	0	4	1	1	0	-1.08	2.37	-1.38	-0.63	-0.60	

80	1	3	1	0	0	-0.08	1.37	-1.38	-1.63	-0.60	
81	3	1	6	0	0	1.92	-0.63	3.62	-1.63	-0.60	
82	1	2	0	5	1	-0.08	0.37	-2.38	3.37	0.40	forte(0)
83	1	2	1	1	0	-0.08	0.37	-1.38	-0.63	-0.60	(+1)
84	1	1	3	3	1	-0.08	-0.63	0.62	1.37	0.40	
85	2	4	5	8	1	0.92	2.37	2.62	6.37	0.40	

Média 1,1 1,6 2,4 1,6 0,6

**Tabela IV.2** – Episódios El Niño ocorridos no período de 1936 a 1985 e desvios da frequência do número de casos de sistemas de mesoescala na área do Eng. Ávidos.

Obs: Os números entre parênteses são os anos de início da seca no NEB a partir do estabelecimento do episódio e são (0) se ocorreu no mesmo ano e (+1) se ocorreu no ano seguinte ao do episódio.

Ano\Mês	jan	fev	mar	abr	mai	desvJan	desvFev	desvMa	desvAb	desvMai	El-Niño
36	1	2	0	1	0	-0,28	0,08	-2,58	-0,66	-0,26	
37	1	3	1	3	0	-0,28	1,08	-1,58	1,34	-0,26	
38	0	0	0	0	0	-1,28	-1,92	-2,58	-1,66	-0,26	
39	0	0	0	0	0	-1,28	-1,92	-2,58	-1,66	-0,26	mod.
40	0	0	0	0	0	-1,28	-1,92	-2,58	-1,66	-0,26	
41	0	2	3	1	0	-1,28	0,08	0,42	-0,66	-0,26	forte
42	0	1	0	2	0	-1,28	-0,92	-2,58	0,34	-0,26	(+1)
43	0	0	0	0	0	-1,28	-1,92	-2,58	-1,66	-0,26	fraco
44	0	0	0	0	0	-1,28	-1,92	-2,58	-1,66	-0,26	
45	0	0	0	0	0	-1,28	-1,92	-2,58	-1,66	-0,26	
46	2	1	0	2	0	0,72	-0,92	-2,58	0,34	-0,26	
47	1	0	4	2	0	-0,28	-1,92	1,42	0,34	-0,26	
48	0	1	3	3	0	-1,28	-0,92	0,42	1,34	-0,26	
49	0	0	3	0	0	-1,28	-1,92	0,42	-1,66	-0,26	
50	0	1	3	2	0	-1,28	-0,92	0,42	0,34	-0,26	

51	1	1	0	2	0	-0,28	-0,92	-2,58	0,34	-0,26	fraco(0)
52	0	1	2	1	0	-1,28	-0,92	-0,58	-0,66	-0,26	(+1)
53	0	1	0	1	0	-1,28	-0,92	-2,58	-0,66	-0,26	mod.(0)
54	2	3	4	1	0	0,72	1,08	1,42	-0,66	-0,26	
55	0	5	5	2	0	-1,28	3,08	2,42	0,34	-0,26	
56	1	3	1	0	0	-0,28	1,08	-1,58	-1,66	-0,26	
57	0	0	5	2	0	-1,28	-1,92	2,42	0,34	-0,26	forte
58	0	2	2	0	0	-1,28	0,08	-0,58	-1,66	-0,26	(+1)
59	2	4	2	0	1	0,72	2,08	-0,58	-1,66	0,74	
60	1	1	7	0	0	-0,28	-0,92	4,42	-1,66	-0,26	
61	1	1	6	1	0	-0,28	-0,92	3,42	-0,66	-0,26	
62	1	2	3	2	0	-0,28	0,08	0,42	0,34	-0,26	
63	3	6	5	1	0	1,72	4,08	2,42	-0,66	-0,26	
64	1	3	5	1	1	-0,28	1,08	2,42	-0,66	0,74	
65	2	0	2	7	0	0,72	-1,92	-0,58	5,34	-0,26	mod.
66	1	2	0	0	0	-0,28	0,08	-2,58	-1,66	-0,26	(+1)
67	1	3	2	5	0	-0,28	1,08	-0,58	3,34	-0,26	
68	2	0	6	0	0	0,72	-1,92	3,42	-1,66	-0,26	
69	2	2	1	6	0	0,72	0,08	-1,58	4,34	-0,26	fraco
70	3	0	4	0	0	1,72	-1,92	1,42	-1,66	-0,26	(+1)
71	3	3	2	4	0	1,72	1,08	-0,58	2,34	-0,26	
72	3	1	4	1	1	1,72	-0,92	1,42	-0,66	0,74	mod.
73	0	1	1	7	1	-1,28	-0,92	-1,58	5,34	0,74	
74	3	4	3	4	0	1,72	2,08	0,42	2,34	-0,26	
75	5	1	5	3	0	3,72	-0,92	2,42	1,34	-0,26	
76	0	6	3	1	0	-1,28	4,08	0,42	-0,66	-0,26	fraco(0)
77	3	4	4	1	3	1,72	2,08	1,42	-0,66	2,74	
78	2	5	1	1	1	0,72	3,08	-1,58	-0,66	0,74	
79	3	5	2	0	0	1,72	3,08	-0,58	-1,66	-0,26	
80	1	6	3	0	0	-0,28	4,08	0,42	-1,66	-0,26	
81	2	1	8	1	0	0,72	-0,92	5,42	-0,66	-0,26	
82	2	1	3	3	1	0,72	-0,92	0,42	1,34	0,74	forte(0)
83	1	3	0	1	0	-0,28	1,08	-2,58	-0,66	-0,26	(+1)



84	2	1	5	3	2	0,72	-0,92	2,42	1,34	1,74
85	5	3	6	5	2	3,72	1,08	3,42	3,34	1,74

Média 1,28 1,92 2,58 1,66 0,26

**Tabela IV.3** – Episódios El Niño ocorridos no período de 1961 a 1985 e desvios da frequência do número de casos de sistemas de mesoescala na área do Boqueirão.

Obs: Os números entre parênteses são os anos de início da seca no NEB a partir do estabelecimento do episódio e são (0) se ocorreu no mesmo ano e (+1) se ocorreu no ano seguinte ao do episódio.

Ano\Mês	jan	fev	mar	abr	mai	desvJan	desvFe	desvMa	desvAb	desvMa	El-Niño
						v	r	r	i		
61	0	0	1	0	0	-0,16	-0,48	0,28	-0,8	-0,16	
62	0	1	1	0	0	-0,16	0,52	0,28	-0,8	-0,16	
63	0	0	0	1	0	-0,16	-0,48	-0,72	0,2	-0,16	
64	0	3	2	0	0	-0,16	2,52	1,28	-0,8	-0,16	
65	0	0	0	0	0	-0,16	-0,48	-0,72	-0,8	-0,16	mod.
66	0	0	0	1	0	-0,16	-0,48	-0,72	0,2	-0,16	(+1)
67	0	0	1	2	0	-0,16	-0,48	0,28	1,2	-0,16	
68	0	0	1	1	0	-0,16	-0,48	0,28	0,2	-0,16	
69	0	1	2	1	0	-0,16	0,52	1,28	0,2	-0,16	fraco
70	0	0	0	2	0	-0,16	-0,48	-0,72	1,2	-0,16	(+1)
71	0	0	1	1	0	-0,16	-0,48	0,28	0,2	-0,16	
72	0	0	0	0	0	-0,16	-0,48	-0,72	-0,8	-0,16	mod.
73	0	0	0	0	0	-0,16	-0,48	-0,72	-0,8	-0,16	
74	0	1	0	2	0	-0,16	0,52	-0,72	1,2	-0,16	
75	1	0	1	0	0	0,84	-0,48	0,28	-0,8	-0,16	
76	0	0	0	1	1	-0,16	-0,48	-0,72	0,2	0,84	fraco(0)
77	1	0	0	3	2	0,84	-0,48	-0,72	2,2	1,84	
78	0	0	1	1	0	-0,16	-0,48	0,28	0,2	-0,16	

79	0	0	0	0	0	-0,16	-0,48	-0,72	-0,8	-0,16	
80	0	0	1	0	0	-0,16	-0,48	0,28	-0,8	-0,16	
81	1	0	4	0	0	0,84	-0,48	3,28	-0,8	-0,16	
82	0	0	0	1	0	-0,16	-0,48	-0,72	0,2	-0,16	forte(0)
83	1	2	0	1	0	0,84	1,52	-0,72	0,2	-0,16	(+1)
84	0	0	1	0	1	-0,16	-0,48	0,28	-0,8	0,84	
85	0	4	1	2	0	-0,16	3,52	0,28	1,2	-0,16	

Média 0,16 0,48 0,72 0,8 0,16

Analisando a contribuição dos sistemas convectivos de mesoescala para a vazão do Rio Piancó e, conseqüentemente, para os volumes do açude Coremas, encontramos uma relação muito forte entre o número de sistemas que ocorreram na área daquele reservatório, a precipitação média na área das Bacias Hidrográficas de Drenagem dos rios contribuintes e a vazão média mensal do Rio Piancó que é o principal contribuinte. Note-se a partir das figuras de IV.25 a IV.27, que nos anos de eventos El Niño, há uma redução substancial na atividade de sistemas convectivos de mesoescala e seu conseqüente reflexo nas vazões. Pode-se destacar o mês de fevereiro, nos anos 67, 68 por exemplo, um número de sistemas convectivos relativamente grande, não produziu vazões, nem mesmo iguais à média apresentando, portanto, desvios negativos. Note-se que, nesse caso, a precipitação correspondente estava situada acima da média climatológica apresentando desvios positivos. Um outro aspecto importante é que as correlações entre os desvios da vazão no Rio Piancó para os três meses centrais do período chuvoso na área do Coremas, fevereiro a abril, com o número de sistemas convectivos de mesoescala observados nesses meses no período de 1964 a 1985, encontramos correlações muito significativas como mostrado na tabela IV.4.

**Tabela IV.4** – Correlações entre o número de sistemas convectivos de mesoescala na área do açude Coremas e os desvios normalizados da vazão do Rio Piancó, no sertão da Paraíba. Período de 1964 a 1985.

Número de sistemas no mês de:	Desvio da vazão em fevereiro	Desvio da vazão em março	Desvio da vazão em abril
fevereiro	$r = 0,1566$ $p < 0,486$	$r = 0,3388$ $p < 0,123$	$r = 0,4027$ $p < 0,063$
março	$r = 0,1182$ $p < 0,600$	$r = 0,4082$ $p < 0,059$	$r = 0,4824$ $p < 0,023$
abril	$r = 0,1895$ $p < 0,398$	$r = 0,3945$ $p < 0,069$	$r = 0,7060$ $p = 0,000$



**Figura IV.24** – Número de sistemas convectivos de mesoescala na área do açude Coremas, e desvios da vazão do Rio Piancó, no mês de fevereiro para o período de 1964 a 1985

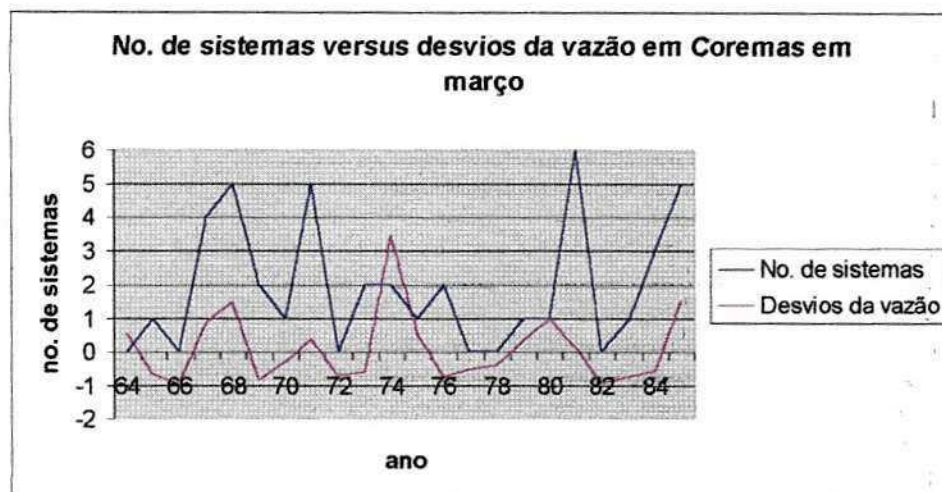


Figura IV.25 – Número de sistemas convectivos de mesoescala na área do açude Coremas, e desvios da vazão do Rio Piancó, no mês de março para o período de 1964 a 1985

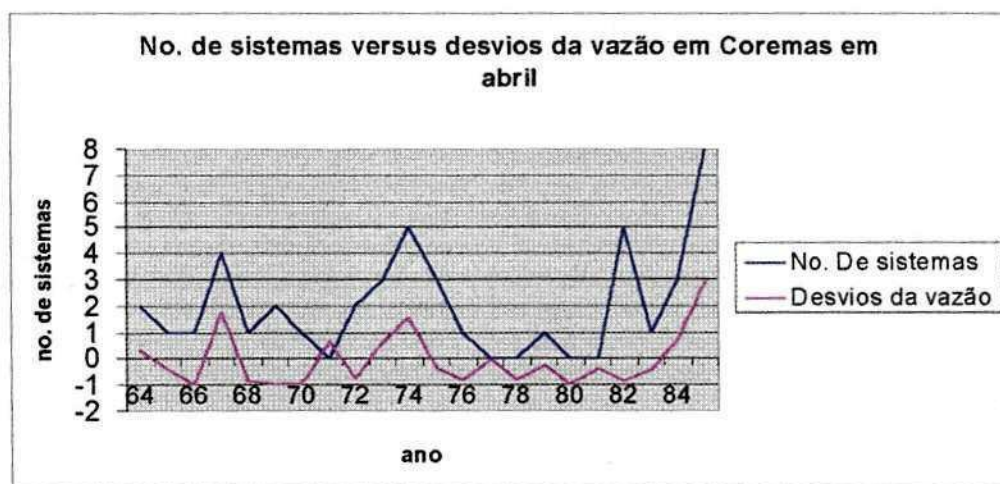


Figura IV.26 – Número de sistemas convectivos de mesoescala na área do açude Coremas, e desvios da vazão do Rio Piancó, no mês de abril para o período de 1964 a 1985

Como pode se depreender dos resultados apresentados nas tabelas de IV.1 a IV.4 e figuras IV.24 a IV.26, nos anos em que ocorreram episódios El Niño fortes, ou no ano seguinte ao episódio, houve uma redução no número de sistemas de mesoescala que se formaram nas áreas dos reservatórios, indicando assim uma ligação importante entre essas

duas escalas dos movimentos atmosférico-oceânicos. Este é um dado novo nas relações entre a ocorrência de um evento El Niño no Pacífico e a circulação atmosférica sobre o NEB, uma vez que não se conhecia qual seria essa relação entre fenômenos de escala mais regional com os de grande escala. Quando, mesmo na presença de um evento El Niño, os sistemas de mesoescala estiveram atuando, havia a formação de vórtices ciclônicos de ar superior, que é um mecanismo que favorece a formação desses sistemas de mesoescala porém, seu período de atuação não coincide com a época das chuvas e sim um pouco antes dessa época, ou seja de novembro a janeiro, como foi o caso do ano de 1997. Deve ser esclarecido que, esse tipo de sistema de mesoescala está incluído na circulação de uma escala maior, caso do vórtice ciclônico, e não deve ser confundido com os sistemas gerados localmente, como os devidos às ondulações do terreno (orografia).

Uma outra maneira de se estabelecer uma ligação entre o problema em meso e grande escalas seria através da previsão do tempo em mesoescala, utilizando-se para isso os campos de grande escala do NCEP/USA, mais as previsões do modelo global do CPTEC/INPE. Uma vez detectadas condições favoráveis ao desenvolvimento de um sistema convectivo, um modelo de mesoescala, o RAMS por exemplo, seria alimentado com esses dados do modelo global para fornecer a previsão em mesoescala e a precipitação acumulada num período, que poderia ser de 06 ou 12 horas adiante. A partir daí, um modelo hidrológico distribuído do tipo chuva vazão (NAVMO) seria utilizado para fornecer a vazão correspondente àquela precipitação e finalmente, fechando a cadeia, estaria o acréscimo em termos de volume de água que seria fornecido ao reservatório localizado sobre a trajetória do sistema convectivo.

Este procedimento desencadearia um processo de acoplamento entre os modelos atmosféricos e hidrológicos que levaria certamente a uma melhora substancial nas previsões meteorológicas de prazo curto, além de favorecer o processo de gerenciamento dos recursos hídricos, com a previsão estimativa da água que estaria disponível em um dado ano, onde a redução na precipitação fosse esperada.



## 4.2 - Estudo de Caso

A Linha de Instabilidade que se formou entre o final do dia 13.05.99 e o início do dia 14.05.99 sobre a Paraíba e que resultou em acréscimo nos volumes dos açudes considerados neste trabalho.

### 4.2.1 - Análise meteorológica

O sistema começou a ser visualizado a partir da imagem das 21:00 horas TMG, 18:00 horas Local, do dia 13 de maio (Fig. IV.27B) com áreas de nebulosidade distintas, uma sobre o Estado de Pernambuco e outra área sobre o Rio Grande do Norte e Paraíba. Na imagem das 00:00 TMG, 21:00 horas Local, podia-se visualizar um único sistema formado pela união das áreas de nebulosidade vistas anteriormente, conforme Figura IV.27C, formando uma linha de cumulonimbus vigorosa, que apresentou trovoadas, rajadas de vento e precipitação intensa característica desse tipo de sistema de mesoescala. Essa linha de instabilidade tinha orientação meridional, ligeiramente inclinada na direção noroeste/sudeste, estendia-se desde Alagoas até o Rio Grande do Norte.

Às 0:00 horas TMG do dia 14 de maio, após intensa precipitação, o sistema agora com forma quase arredondada expande-se para oeste e já cobre todo o sertão da Paraíba, parte de Pernambuco e Rio grande do Norte (ver Fig. IV.27D). Ainda sobre o sertão, o sistema se encontra às 05:45 horas TMG como pode ser visto a partir da imagem do satélite. Agora mais a oeste de sua posição inicial já sobre pequena parte do território do ceará, ele continua a precipitar sobre o sertão da Paraíba e Pernambuco (Fig. IV.28A).

Já em estado de dissipação, o sistema se une a outras áreas com convecção sobre parte do sul do Ceará e Piauí, como mostra a imagem do satélite das 9:00 horas TMG do dia 14 de maio, ilustrada nas Figuras IV.28B,C. Deve ser salientado que no dia 13, havia intensa atividade convectiva ao longo da costa norte do Brasil, especialmente no litoral dos Estados do Maranhão, Piauí e Ceará, além de um núcleo convectivo intenso no agreste de Pernambuco, que parece ter originado o desenvolvimento da linha de cumulonimbus em estudo (Fig. IV.27A).



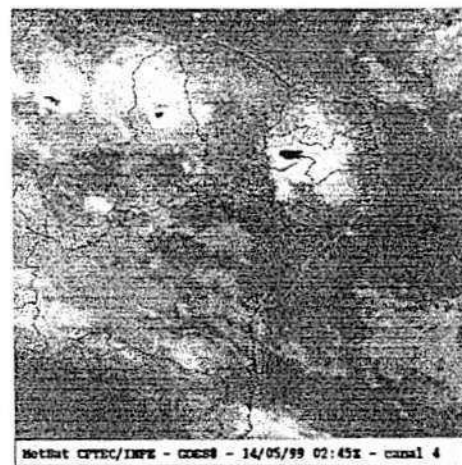
(A)



(B)



(C)



(D)

Figura IV.27- Imagens do satélite GOES 8 no canal Infravermelho, setorizadas para a Região Nordeste, mostrando um sistema convectivo de mesoescala sobre os Estados R. G. do Norte, Paraíba e Pernambuco.

A) 13.05.99 às 18 TMG ; B) 13.05.99 às 21 TMG ; C) 14.05.99 às 00 TMG e D) 14.05.99 às 03 TMG .



(A)



(B)



(C)

Figura IV.28 - Imagens do satélite GOES 8 no canal Infravermelho, setorizadas para a Região Nordeste, mostrando um sistema convectivo de mesoescala sobre os Estados R. G. do Norte, Paraíba e Pernambuco.

A) 14.05.99 às 06 TMG ; B) 14.05.99 às 09 TMG ; C) 14.05.99 às 12 TMG.

Analisando o campo do vento para os baixos níveis em 850 hPa, o escoamento é de nordeste ( ver Figura IV.32A ) com uma crista bem definida sobre o litoral da região. Uma forte confluência pode ser observada no campo do vento sobre a área litorânea dos Estados do Maranhão, Piauí e Ceará, coincidente com a área onde foi observada intensa convecção, mostrada na imagem das 20:45 TMG do dia 13.

Nos níveis mais altos como mostrado na Figura IV.32B (200hPa) o escoamento é de nordeste na parte norte, virando para noroeste mais ao sul. Isto resulta em um cisalhamento vertical do vento, que parece ser uma das condições para ocorrência de sistemas convectivos intensos. A área sob a ação da linha de instabilidade está no dia 13.05 apresenta advecção de ar frio nos baixos níveis e em 500 hPa, havia advecção de vorticidade anticiclônica. O campo da pressão ao nível médio do mar não apresenta característica marcante. Como pode ser observado, os campos meteorológicos de grande escala já apresentavam condições favoráveis ao desenvolvimento de sistemas convectivos de mesoescala no dia 13 de maio. Este sistema, como veremos mais adiante, causou precipitações intensas nas áreas das bacias dos rios Piancó e Paraíba onde estão localizados os reservatórios Coremas e Boqueirão.

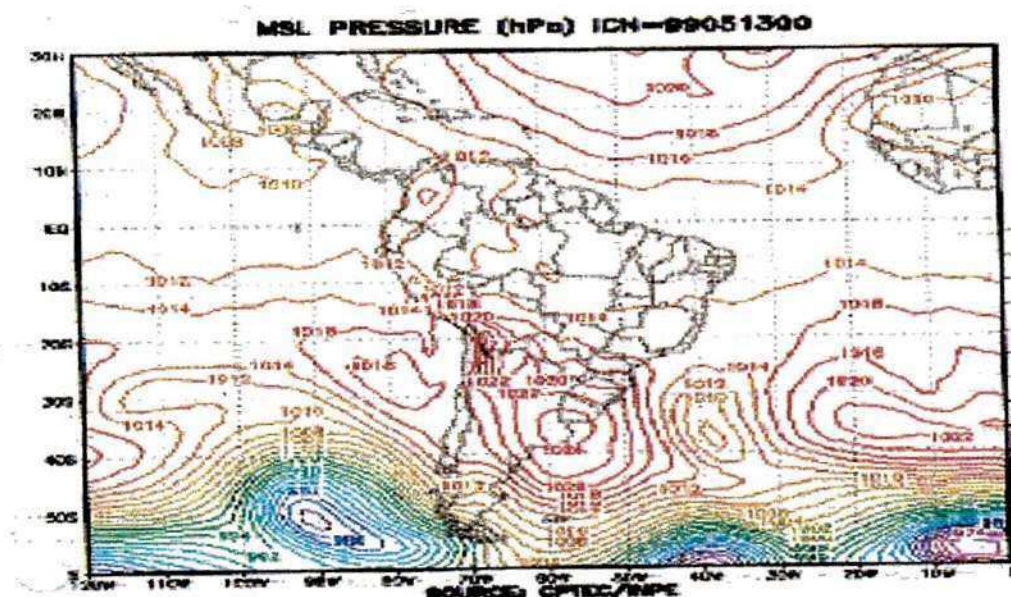
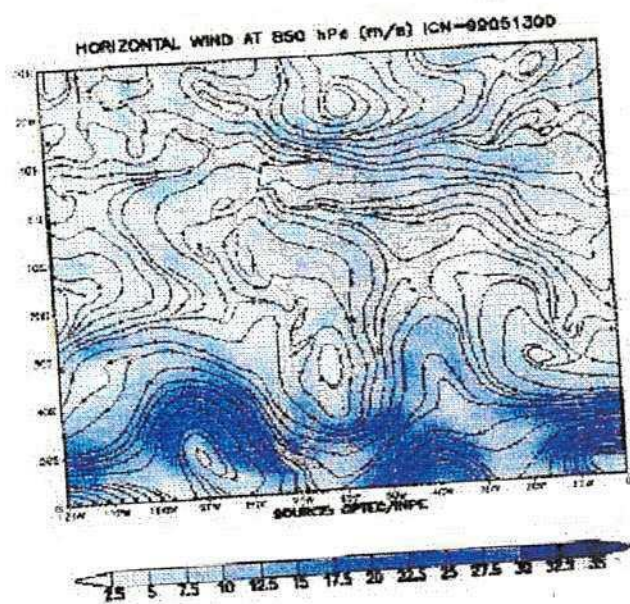
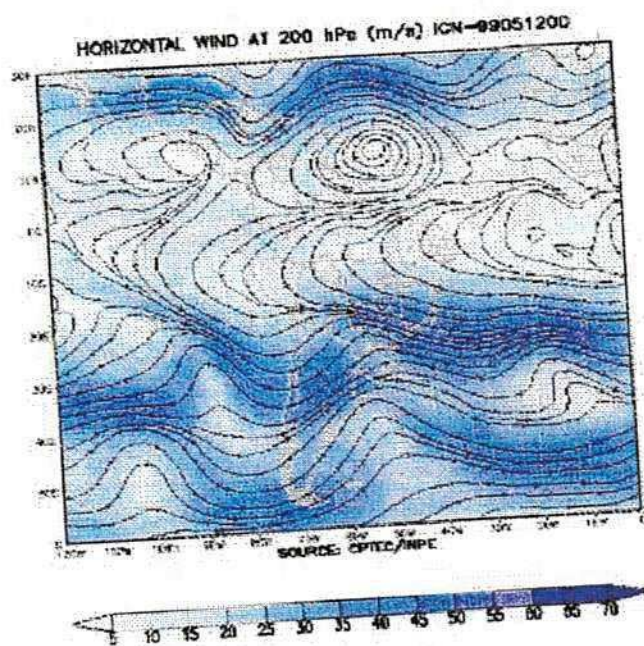


Figura IV.29 – Campo meteorológico da pressão à superfície em grande escala, para o dia 13.05.99 às 12 TMG dado pelo CPTEC





(A)



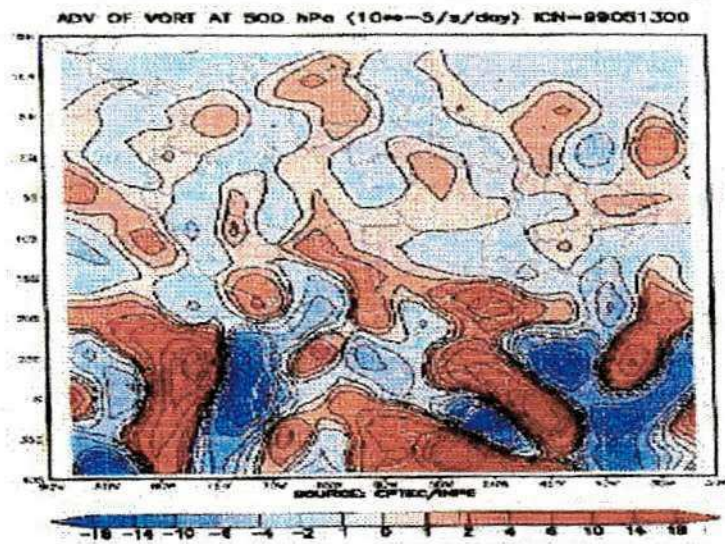
(B)

Figura IV.30 – Campos meteorológicos de grande escala para o dia 13.05.99 às 12 TMG,

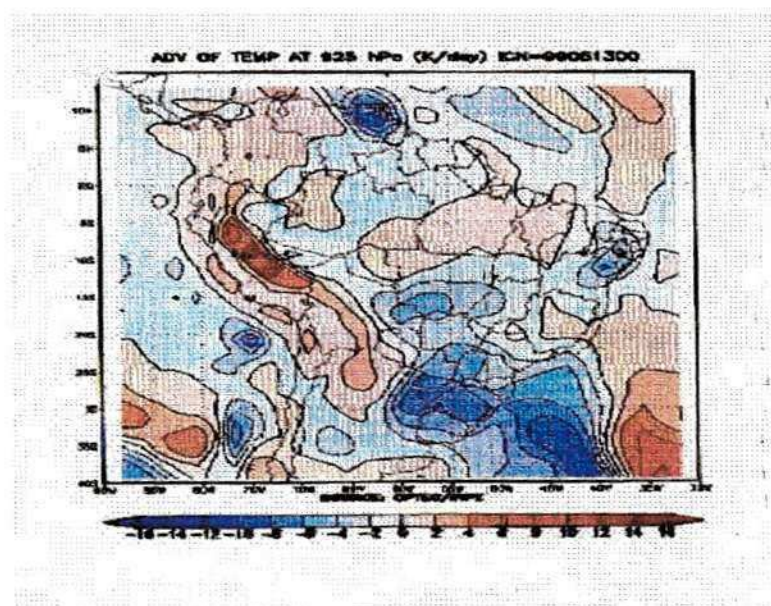
dados pelo CPTEC : A) linhas de corrente no nível de 850 hPa

B) linhas de corrente no nível de 200 hPa.





(A)



(B)

Figura IV.31 – Campos meteorológicos de grande escala para o dia 13.05.99 às 12 TMG,

dados pelo CPTEC :

A) advecção de vorticidade no nível de 500 hPa

B) advecção de temperatura no nível de 825 hPa

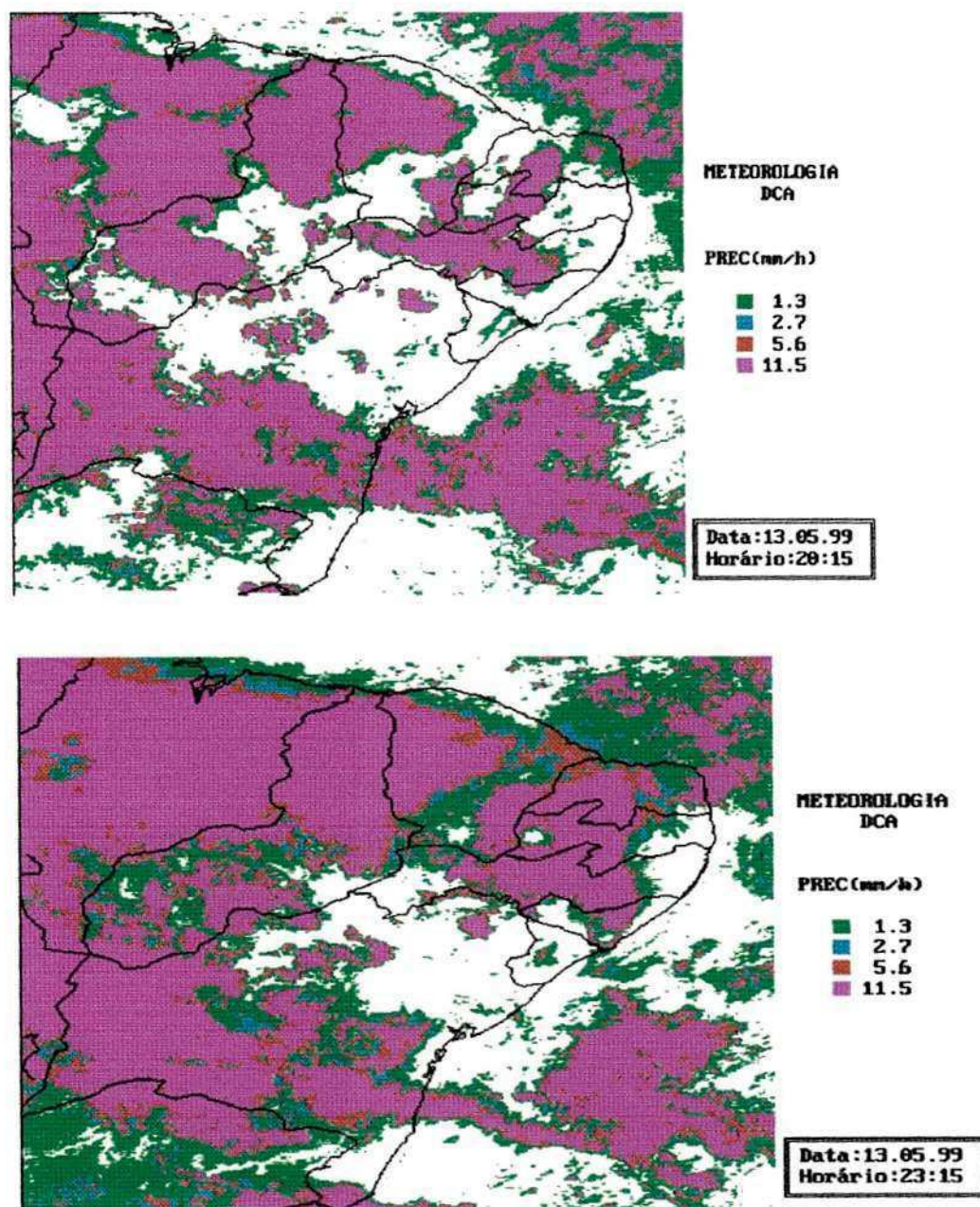


Figura IV.32 – Estimativa da precipitação ocorrida entre os dias 13 e 14 de maio de 1999 pelo modelo PRECIP, que utiliza imagens do satélite GOES 8 e radar. Os horários estão indicados nas figuras.



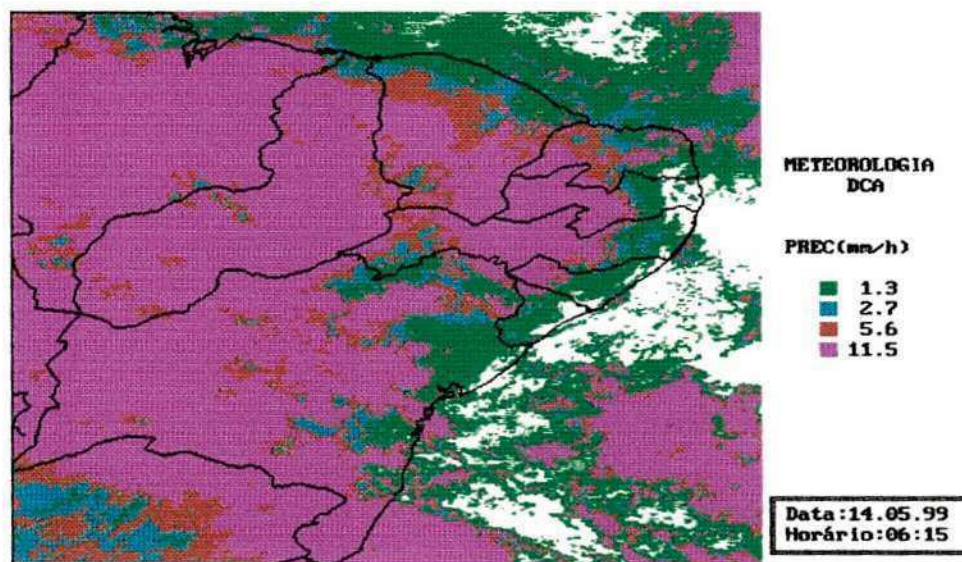
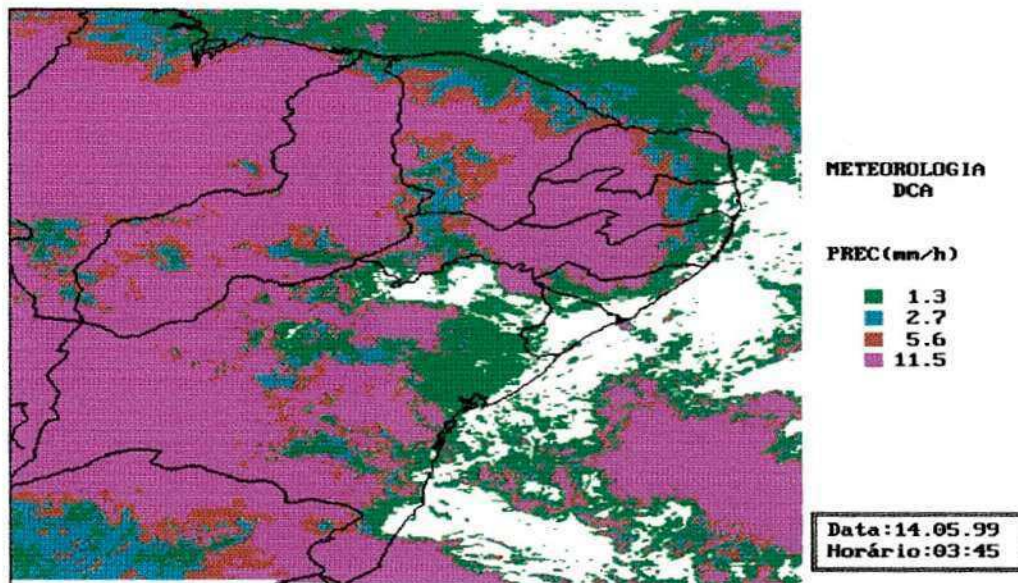


Figura IV.33 – Estimativa da precipitação ocorrida entre os dias 13 e 14 de maio de 1999 pelo modelo PRECIP, que utiliza imagens do satélite GOES 8 e radar. Os horários estão indicados nas figuras.

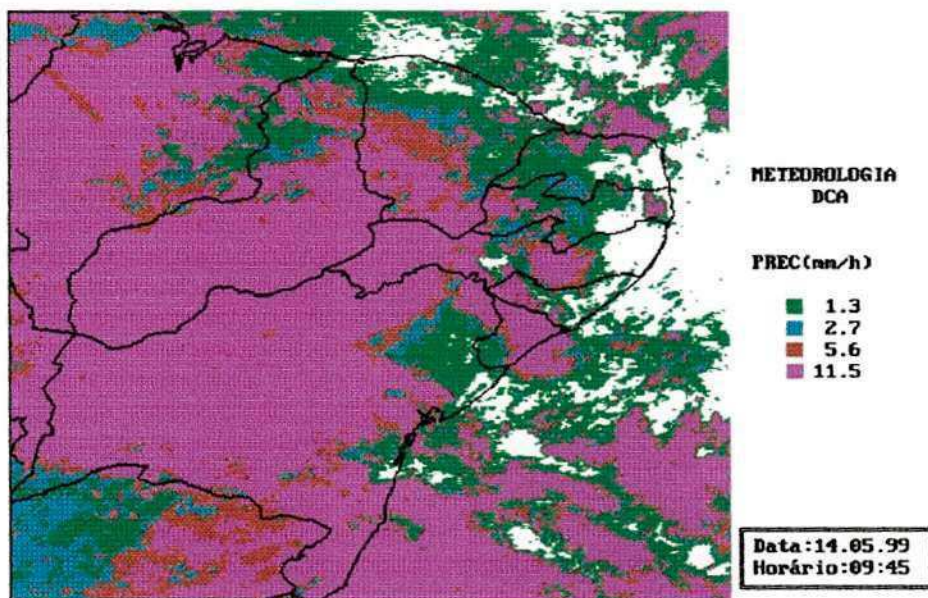


Figura IV.34 – Estimativa da precipitação ocorrida entre os dias 13 e 14 de maio de 1999 pelo modelo PRECIP, que utiliza imagens do satélite GOES 8 e radar. Os horários estão indicados nas figuras.

A análise das figuras IV.34 até IV.36 mostra que, o modelo PRECIP estimou para as áreas dos reservatórios de Coremas e Engenheiro Ávidos uma taxa de precipitação de 11.5 mm/h em período de 8 horas o que equivaleria a um total de 92,0 mm nesse intervalo. As observações mostram que no dia 14, foram registrados para os postos de Coremas e Cajazeiras respectivamente, 94,0 mm e 85,0 mm, o que confere ao modelo nos dois casos um erro médio em torno de 5 % o que é perfeitamente aceitável nesse tipo de problema. Como o modelo previa essa taxa de precipitação para a área total da bacia, precisamos ter em mãos a precipitação média observada nesse dia nas áreas dessas bacias para podermos comparar com os resultados do modelo. No caso do reservatório Boqueirão, a precipitação registrada no posto em Cabaceiras, 10,2 mm está muito aquém da estimativa do modelo, que nesse caso estava prevendo 6 horas de chuva à taxa de 11,5 mm/h o que dá um total

de 69,0 mm o que mais uma vez requer a análise da precipitação média observada na área da bacia para fins de comparação.

No caso da bacia do rio Piancó, a precipitação média observada nos postos meteorológicos da área confere para o dia considerado uma média de aproximadamente 42,0 milímetros.



#### 4.2.2 - Análise Hidrológica

Entre os modelos conceituais mais utilizados, o Tank Model é um deles. Este modelo, basicamente, representa alguns processos físicos do ciclo hidrológico com muita propriedade, a partir de equações empíricas, não necessariamente relacionadas aos fenômenos físicos.

Os modelos conceituais, chuva/vazão, foram desenvolvidos e largamente utilizados, no mundo inteiro, para aproximar, através de suas estruturas, os mecanismos físicos gerais que governam o ciclo hidrológico, a nível de uma bacia hidrográfica. Eles representam a fase de umidade do solo no ciclo hidrológico, com alguns sub-sistemas inter-conectados, cada um representando um certo componente no curso de um evento hidrológico. Para descrever a operação física desses processos são utilizadas funções matemáticas que são determinadas, às vezes empiricamente, e devem ser fisicamente realísticas. Evidentemente o grau de sofisticação ou realismo de um modelo chuva/vazão fica determinado pelo nível de detalhamento usado na representação de um processo hidrológico. Uma etapa fundamental e crítica na aplicação prática desses modelos é a calibração. Embora, certos modelos chuva/vazão já usem métodos de calibragem automática, não há garantia que o conjunto ótimo real seja sempre conseguido.

Um dos modelos utilizados neste trabalho foi o Tank Model que tem a estrutura como mostrado na figura III.1, aplicável para bacias situadas em regiões semi-áridas. O modelo foi calibrado para a bacia do rio Piancó, que é o principal contribuinte para o reservatório de Coremas.

Para se estimar a vazão correspondente à precipitação do dia usado como “estudo de caso” aqui, o Tank Model foi calibrado com dados de cinco anos de precipitação e vazão diárias, no período de 1981 a 1985, e a partir daí foram feitas algumas simulações de verificação do modelo. A primeira simulação de validação com resultados aceitáveis foi realizada com dois anos de dados diários, isto é, 1987 e 1988, obtendo-se um coeficiente de correlação  $r = 0,80$  e com  $r^2 \approx 0,64$ , entre as vazões observadas e simuladas a nível diário. Uma Segunda simulação foi realizada para um só ano, 1988, apresentando melhores resultados e, nesse caso, o coeficiente de correlação  $r = 0,83$  com  $r^2 \approx 0,70$  (ver Figuras de IV.35 a IV.38).

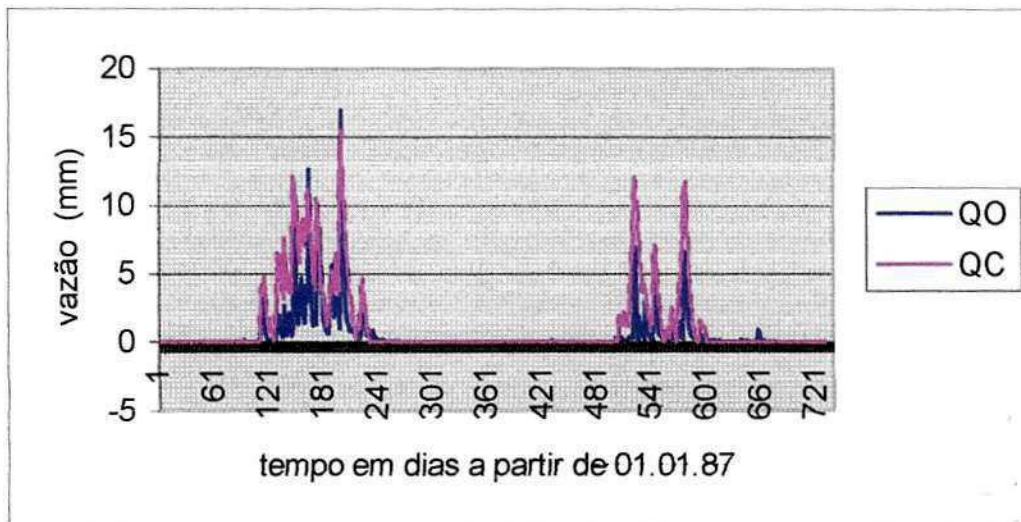


Figura IV.35 - Vazão observada (QO) e vazão simulada (QC) para dois anos 1987 – 1988. Coeficiente de correlação  $r = 0,79$ .

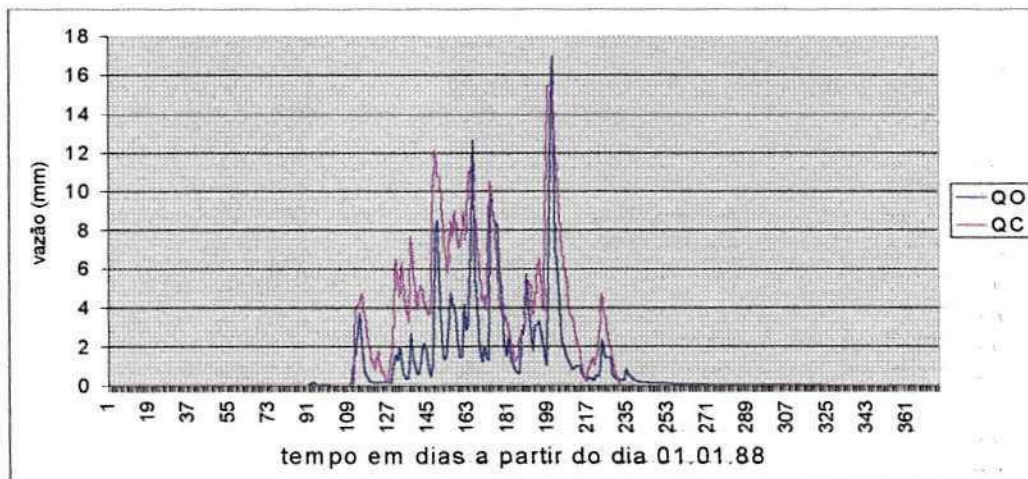
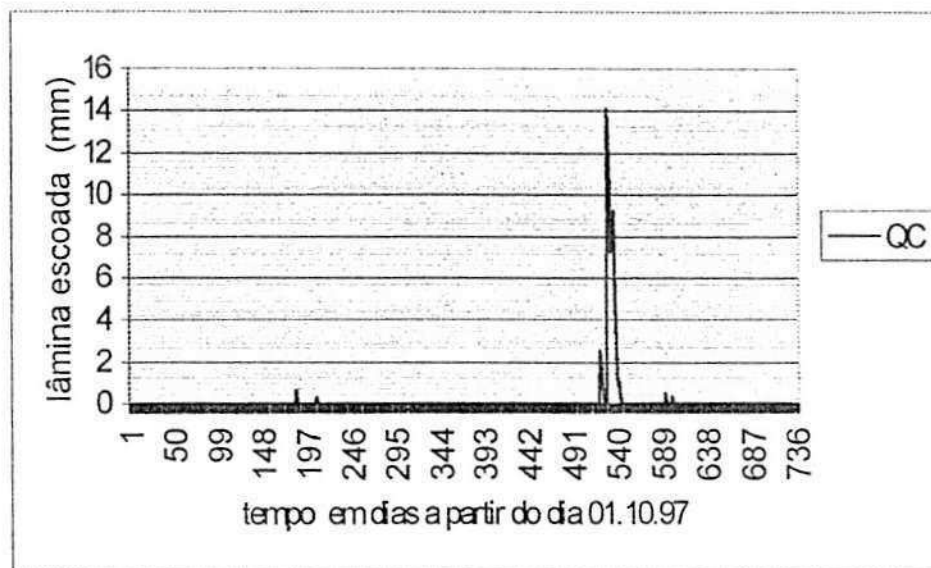
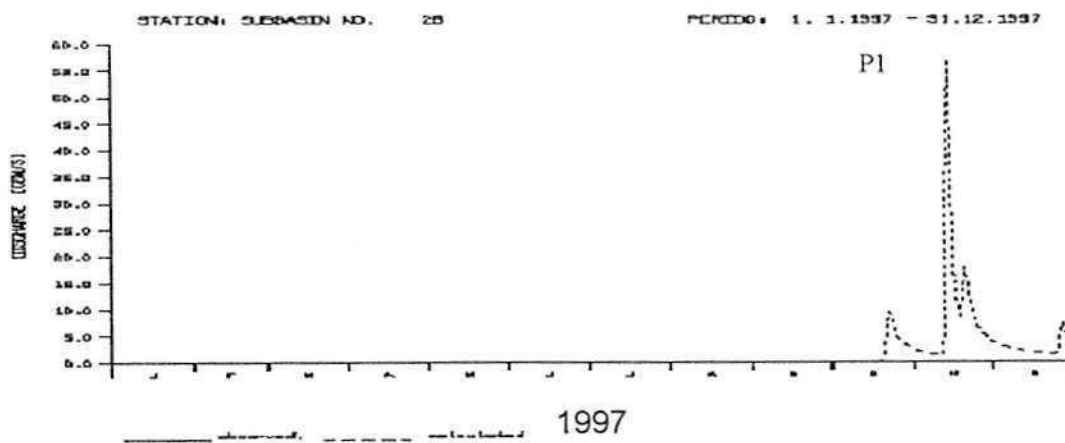


Figura IV.36 - Vazão observada (QO) versus vazão simulada (QC) para o ano de 1988. Coeficiente de correlação  $r = 0,83$

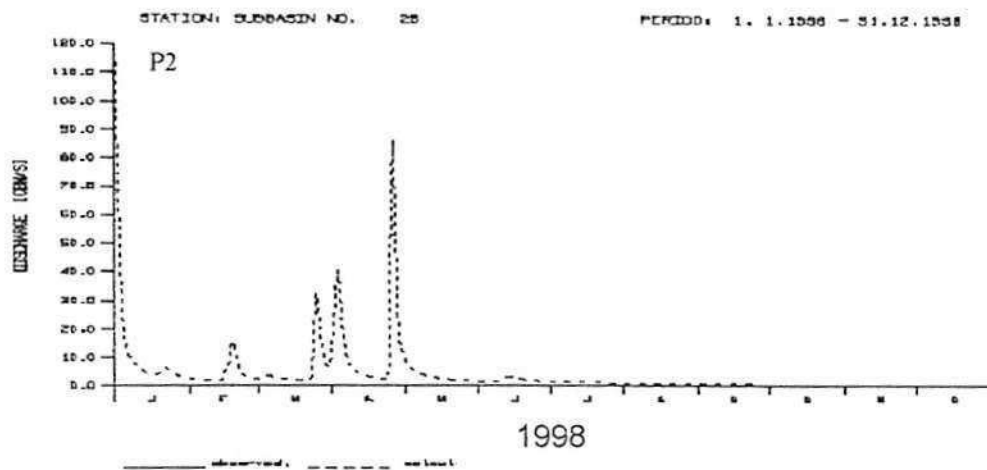


(a)

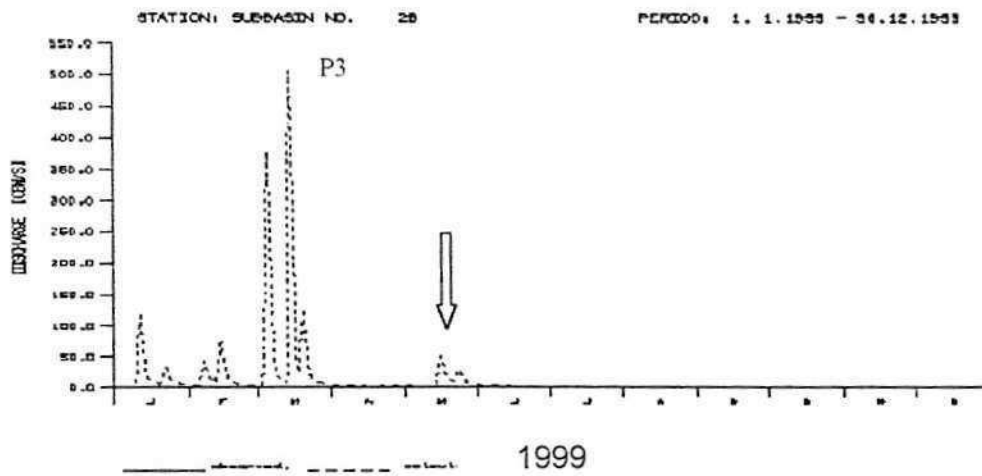


(b)

Figura IV.37 – Vazão calculada para o evento dos dias 13/14.05.99.  
 a) usando o Tank Model ; b) usando o modelo distribuído NAVMO.



(a)



(b)

Figura IV.38 – Vazão calculada para o evento dos dias 13/14.05.99.  
a, b) usando o modelo distribuído NAVMO.

Um segundo modelo chuva/vazão foi utilizado para estimar a vazão correspondente à precipitação do sistema convectivo de mesoescala considerado no estudo de caso. Trata-se de um modelo distribuído, desenvolvido no Instituto de Recursos Hídricos da

Universidade de Bundeswehr, Munique, Alemanha (Kleeberg et al, 1989) e instalado no Depto. de Engenharia Civil do CCT da UFPB, o NAVMO

Esse modelo foi calibrado para a bacia do rio Piancó (Figueiredo et al 1991, 1993) e validado com dados históricos de precipitação pluviométrica de postos localizados na área dessa bacia hidrográfica, (cuja relação encontra-se no Anexo 3, deste trabalho) e dados de fluviometria coletados no posto Piancó. O Anexo 4 mostra a bacia do Alto Piranhas, onde estão localizados o rio Piancó e o reservatório Coremas.

Uma vez que esse modelo já estava calibrado para a bacia do Piancó, ele foi executado com os dados da precipitação do evento ocorrido nos dias 13/14 de maio de 1999, da mesma forma que na simulação usando o Tank Model, com os dados desse evento incluídos no período de simulação de dois anos, começando em 01 de outubro de 1997 e terminando em 19 de setembro de 1999. Vê-se na figura IV.37a que a simulação da vazão correspondente ao evento acima citado, usando-se o Tank Model, não apresentou resultado satisfatório devido às limitações do modelo pois, mesmo quando se utilizava uma precipitação média para toda a área da bacia, usando-se as precipitações observadas naquele dia, ao invés da precipitação estimada pelo modelo PRECIP, o resultado não foi melhor. Quando se usou o Modelo NAVMO, houve uma melhora na representação da vazão do evento, conforme mostra a figura IV.38b, o hidrograma referente à precipitação dos dias 13 e 14 aparece claramente, e pode-se notar que, na simulação do Tank Model, este hidrograma não estava representado adequadamente.

Os resultados do Modelo NAVMO mostram ainda (ver figuras IV.37b e IV.38 a), para o período simulado, três picos das vazões, a saber : p1 para o ano 1997, p2 para o ano de 1998 e p3 para o ano de 1999. A esses pontos correspondem :

p1 >> Vazão média de 56,7 metros cúbicos por segundo, que corresponde a 37,9 milhões de metros cúbicos de água para um dia.

p2 >> Vazão de 116,5 metros cúbicos por segundo, que corresponde a 125,2 milhões de metros cúbicos diários de água

p3 >> Vazão de 505,5 metros cúbicos por segundo que corresponde a 365 milhões de metros cúbicos de água por dia.



#### 4. 2. 3. - Repercussão de um ano El Niño nos volumes do açude Coremas

como uma conseqüência da ligação entre os fenômenos das escalas grande e meso, podemos estimar, uma vez estabelecida uma condição desfavorável em termos de TSM, como é o caso de um evento El Niño, qual seria a provável redução no volume de água que o Coremas teria na temporada chuvosa correspondente, com a diminuição na atuação dos sistemas de mesoescala.

Analisando a série pluviométrica da precipitação média para todos os postos na área da BHD do Coremas, verificamos que, na série de 1911 a 1993, ocorreram 13 episódios El Niño, sendo 07 fortes e 06 moderados e que a redução média nos totais mensais de precipitação considerando apenas os episódios fortes, foi de 46,5% , 47,6% e 47,5% para fevereiro, março e abril, respectivamente. Onde esses percentuais foram encontrados calculando-se as perdas observadas em todos os casos de El Niño fortes que ocorreram nesse período. A justificativa para somente se usar os eventos fortes é que eles reduzem a precipitação simultaneamente nos três meses centrais do período chuvoso, ou seja, fevereiro, março e abril, o que nem sempre ocorre nos eventos moderados.

Supondo que essas perdas percentuais possam ser transmitidas diretamente às vazões, teríamos as seguintes relações :

$$Q_{\text{fevereiro}} * 0,465 ; Q_{\text{março}} * 0,476 \text{ e } Q_{\text{abril}} * 0,475$$

com os Q's, representando as vazões médias mensais, medidas no posto Piancó, para a série de dados dos anos 1969 a 1992, para os meses indicados.

Isto nos leva a acreditar que em fevereiro, caso um episódio El Niño fosse estabelecido no Oceano Pacífico, o reservatório Coremas, na melhor das hipóteses, deixaria de receber,

$$18,41 \text{ ( m}^3/\text{s) * 0,465 * 86.400 * 28 (s) = } \underline{20.709.924} \text{ m}^3 \text{ de água.}$$

Raciocínio semelhante nos levaria a acreditar que, em março, teríamos a perda de,

$$47,76 \text{ ( m}^3/\text{s) * 0,476 * 86.400 * 31 (s) = } \underline{60.890.102} \text{ m}^3 \text{ de água e,}$$

analogamente, em abril,

$$50,06 \text{ (m}^3/\text{s)} * 0,475 * 86.400 * 30 \text{ (s)} = \underline{61.633.892 \text{ m}^3} \text{ de água.}$$

Isto a equivale a uma perda total de

$$\underline{143.233.918 \text{ m}^3}, \text{ na melhor das hipóteses !}$$

Considerando agora, esse mesmo período para o caso de eventos moderados, temos que há uma redução de 65% no número de casos de sistemas de mesoescala na área do Coremas porém, apenas no mês de março, com os outros dois meses, fevereiro e abril, apresentando o número esperado de sistemas.

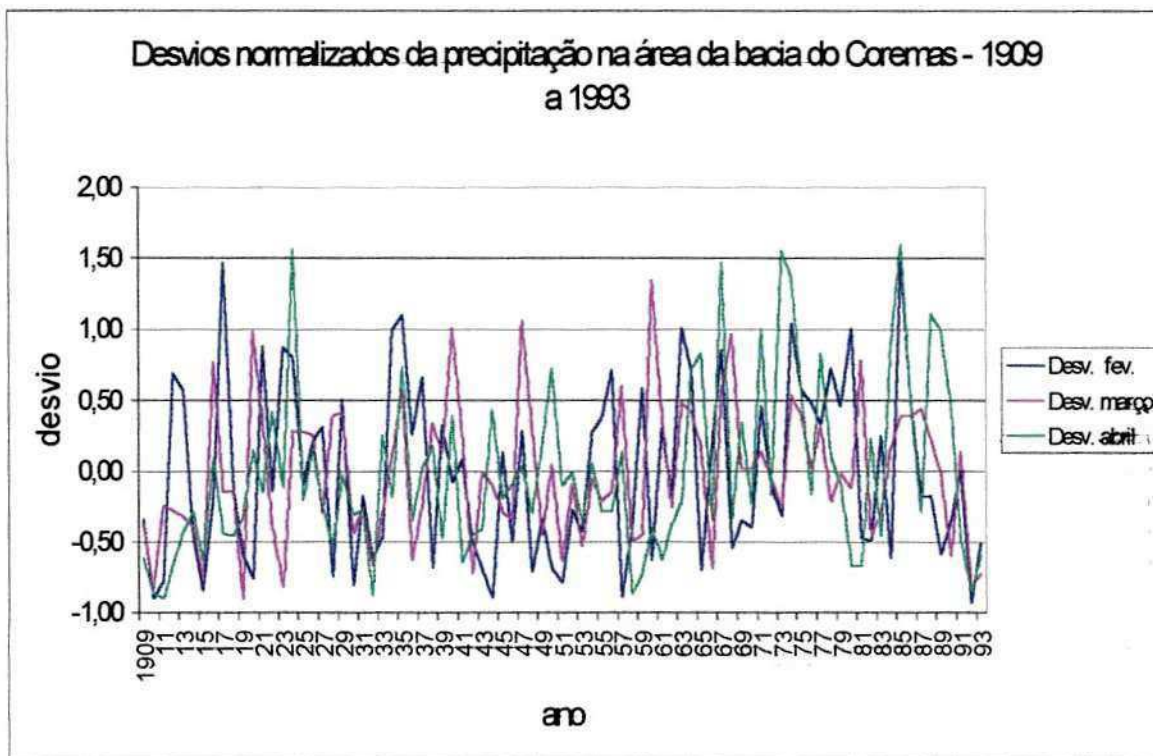


Figura IV.39 – Desvios normalizados da precipitação média mensal para todos os postos da área do açude Coremas nos meses de fevereiro a abril da série 1909 a 1993.

Um aspecto a ser salientado, e que está evidenciado a partir da Figura IV.40, é que há uma tendência de, mesmo em anos com eventos fortes, os desvios da precipitação anual não se situarem muito abaixo da média entre os anos 1909 até mais ou menos 1930, com exceção para o ano de 1911, que apresentou desvio grande negativo. O ano de 1936, apesar de não se ter notícia de qualquer evento El Niño moderado ou forte, apresentou grande desvio negativo, muito maior que o ano de 1911 que foi um ano de evento forte. A partir de 1937, até 1959, os desvios eram grandes tanto nos casos de eventos fortes, quanto nos

casos de eventos moderados, inclusive no ano de 1951 que foi um ano de El Niño fraco. Após esse período, os desvios voltam a ser menores, mesmo nos casos de eventos fortes, à exceção do ano de 1992, que apresentou o maior desvio da série de 96 anos.

Quando analisamos os desvios relativos aos meses de fevereiro a abril, uma característica importante aparece, nesse caso, os meses que parecem ser mais afetados pela redução ou ausência de sistemas de mesoescala na área do Coremas são os meses de fevereiro e março (ver Figura IV.39) enquanto que, o mês de abril, além de na maior parte dos anos não apresentar os mesmos desvios que os outros, ainda apresenta grandes desvios positivos nos anos mais recentes, a partir de 1969, por exemplo.

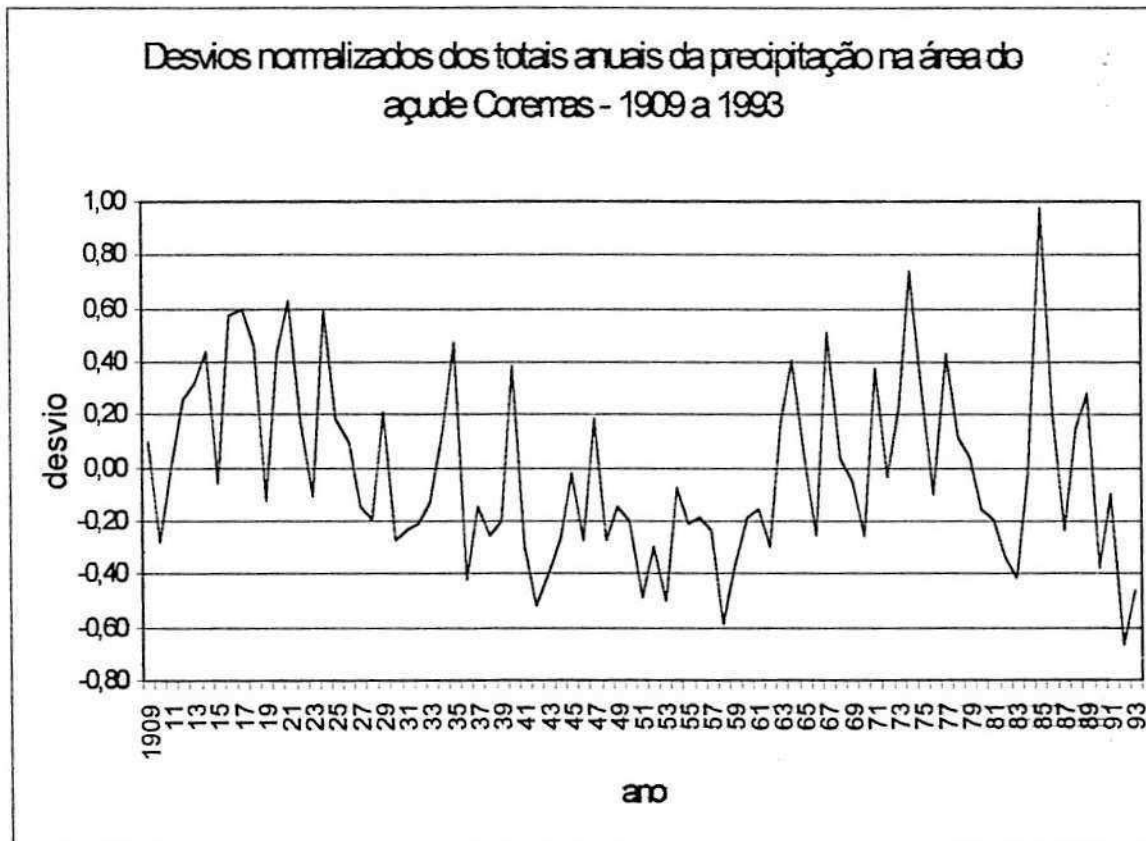


Figura IV.40 – Desvios normalizados dos totais anuais de precipitação para todos postos da área da bacia do açude Coremas para a série 1909 a 1993.

A partir dos resultados obtidos com as correlações entre as anomalias de volume dos reservatórios, considerados neste trabalho, e os índices oceânicos para a área do Pacífico tropical, pode-se estabelecer que de uma maneira geral, com poucas exceções, essas anomalias estiveram correlacionadas negativamente com os índices considerados.

Isto quer dizer que anomalias de temperatura da superfície do mar positivas, ou seja, áreas mais quentes que a média estão relacionadas à redução nos volumes dos reservatórios.

Correlações positivas, com significância estatística, aparecem apenas entre o Índice da Oscilação do Sul e as anomalias de volume para os reservatórios Coremas e Engenheiro Ávidos, ambos em uma região pluviometricamente homogênea.

O reservatório Boqueirão apresenta correlações negativas para esse índice, com máximo em abril, com as anomalias de volume para novembro. De todos os resultados obtidos, as melhores correlações são apresentadas para o índice NINO3. O reservatório de Coremas, anomalias para dezembro (época do mínimo no armazenamento, do ciclo anual), está fortemente correlacionado com o índice de abril, enquanto que, o reservatório de Boqueirão, anomalias também de dezembro, está fortemente correlacionado com o índice de janeiro. Isto pode representar uma confirmação da tendência de que, assim como na precipitação, a influência maior do fenômeno El Niño é para os períodos secos.

No caso das temperaturas da superfície do mar, em seu aspecto global, a influência não é tão fortemente sentida como no caso dos índices, porém, deve ser ressaltado o seguinte: as correlações negativas que aparecem mais claramente identificadas são para as áreas do Pacífico, onde estão definidos os índices NINO1+2, NINO3 e NINO4. Isto é verdadeiro para todos os três reservatórios aqui considerados. Duas áreas de correlações positivas são identificadas na área do Atlântico Sul, uma localizada na região da alta semi-estacionária do Atlântico e outra na área de atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). É inegável a influência desses dois sistemas sobre a precipitação do NEB, por exemplo. Evidentemente, apesar desses resultados terem um caráter um tanto crítico, talvez até mesmo preliminares, eles mostram que, verdadeiramente, as temperaturas da superfície dos oceanos adjacentes ao NEB têm suas influências na distribuição das chuvas nesta região, como citado em Harzallah et al (1996) e, conseqüentemente, no armazenamento de água nos reservatórios considerados neste trabalho.

Quando olhamos para o problema em mesoescala, podemos considerar basicamente dois aspectos: o caso dos sistemas de mesoescala que atuaram no passado, porém que influenciaram de uma forma decisiva no armazenamento de água nesses reservatórios e um estudo de caso, onde essa influência pode ser acompanhada passo a passo, desde a formação do sistema atmosférico, o monitoramento de seu deslocamento, ao longo de sua trajetória, conseqüentemente, do seu tempo de vida (atividade) até sua dissipação e

transformação da água precipitada por ele em vazão nos rios contribuintes, até seu destino final que vem a ser o volume de água acrescentado ao reservatório.

Analisando primeiramente o caso dos sistemas que ocorreram no passado, observamos através dos histogramas de frequência que, sobre a área dos reservatórios Coremas e Engenheiro Ávidos, esse tipo de sistema era bastante freqüente, especialmente nos meses de janeiro a abril, com maior freqüência de ocorrer em março. Na área do reservatório Boqueirão, os sistemas de mesoescala não eram muito freqüentes, ainda assim o mês que apresentou maior número de observações ao longo dos anos foi abril, embora, o número de anos com dados para esse reservatório tenha sido sensivelmente menor que os outros dois reservatórios.

Uma outra característica mostrada nos resultados é que parece haver uma tendência de aumento no número de sistemas de mesoescala, na área desses reservatórios, em anos mais recentes, especialmente na área do Engenheiro Ávidos. Isto está de acordo com a tendência observada em rios da parte nordeste da América do Sul e relatado em Mechoso et al. (1992).

Outro aspecto importante de ser citado é a redução na freqüência de ocorrência de sistemas convectivos de mesoescala, na área dos reservatórios Coremas e Engenheiro Ávidos, em anos de El Niño, principalmente, nos anos com episódios moderados a fortes, especialmente no mês que historicamente apresenta a maior freqüência, ou seja, o mês de março. Ainda assim, houve o caso do ano de 1960 que embora sob ação de um episódio forte, o mês de março apresentou atuação de sistemas de mesoescala acima da média para a área do Coremas. Isto pode estar indicando que a atividade dos sistemas de mesoescala sofre uma grande redução em anos de El Niño, porém, essa atividade não é necessariamente suprimida nesses casos. O reservatório Boqueirão, talvez pelo pequeno número de anos com observações, não apresentou um padrão de comportamento com relação à ocorrência de anos com episódios El Niño, porém, ainda assim, os desvios estiveram em sua maioria negativos nesses anos.

Como um estudo de caso, apresentamos o sistema observado no dia 13 de maio de 1999, portanto um caso recente, entre às 18 horas local e às 6 horas do dia 14 de maio do mesmo ano (ver seqüência de figuras IV.27 a IV.34). Esse sistema, inicialmente, se apresentou na forma de uma linha de instabilidade com orientação quase meridional cruzando todo o estado da Paraíba, onde causou trovoadas, ventos fortes e precipitação intensa, atingindo ainda os estados de Pernambuco e Rio Grande do Norte. Algumas horas



depois, ele assumiu uma forma quase circular, cobrindo todo o sertão, Curimataú e Cariri paraibanos, deslocando-se para oeste, onde entrou em dissipação sobre o Ceará.

Para acompanhar a trajetória desse sistema, foram usadas imagens do satélite GOES 8, no canal infravermelho, imagens digitalizadas compostas do satélite GOES 8 mais radar, campos meteorológicos de grande escala e observações de superfície para a área dos reservatórios em estudo. Além do que, para verificar qual o acréscimo no volume de um dos reservatórios na área de atuação desse sistema, foram utilizados dois modelos hidrológicos sendo um integrado do tipo Tank Model diário e outro distribuído, o NAVMO de origem alemã. Foram devidamente calibrados por uma série de precipitações diárias (período 1980 – 1986) para estações na área da bacia hidrológica do rio Piançó e verificados para dois períodos, sendo um de dois anos 1987 a 1988 e outro de um único ano, 1988.

Considerando o Tank Model, os resultados obtidos, apesar deste tipo de modelo apresentar alguns problemas na reprodução da vazão, foram obtidas correlações da ordem de 83 % entre a vazão observada e a vazão simulada com o modelo, o que, considerando o tamanho da amostra, é bastante significativo (Royall, 1986). Quando consideramos os resultados do modelo NAVMO, a representação da vazão correspondente à precipitação do sistema do dia 13.05.99 fica bem melhor e pode ser visualizada através da figura IV.38.

Esses resultados indicam que, se tivermos condições de prever a precipitação de um desses sistemas de mesoescala na área da bacia, seja de forma integrada ou distribuída pelos postos pluviométricos, poderemos, sem muita dificuldade, prever o acréscimo de volume de água no reservatório que será fornecido por ele.

Fica evidente diante desses resultados que um sistema típico de mesoescala como esse, mostrado no período de 13 a 14 de maio, contribuiu para um aumento substancial no volume de um açude situado sobre sua trajetória, sem considerar o volume de água que é acrescentado de forma direta pela precipitação sobre a área do açude. Nesse caso, a lâmina escoada prevista pelo modelo apenas no dia 14.05.99 foi da ordem de 0,5 mm, o que, considerando a área da bacia contribuinte, equivale ao consumo diário de água para uma cidade de porte médio. Evidentemente, o volume acrescentado naquele dia foi bem maior do que o previsto pelo modelo, porque não estamos levando em conta a água que foi acrescentada de forma direta, uma vez que a área do reservatório é muito grande, nem a das pequenas sub-bacias que contribuem para o volume do reservatório, nesse caso, o riacho Aguiar e riacho dos Porcos.

## 5. CONCLUSÕES

Os sistemas de grande escala que foram correlacionados com os volumes dos reservatórios, considerados neste trabalho, exercem uma influência marcante sobre estes, principalmente, aqueles sistemas relacionados com períodos de seca, como El Niño e Oscilação do Sul.

Das áreas do Pacífico, as correspondentes aos índices NINO1+2 e NINO3 são as que estão mais fortemente correlacionadas negativamente com os reservatórios Coremas e Engenheiro Ávidos.

Os índices do Atlântico, ou seja, norte e sul, apresentam correlações negativas com o reservatório Coremas e o índice do Atlântico Norte, apresenta correlações negativas com todos os três reservatórios considerados.

Os sistemas de mesoescala, principalmente, na área dos reservatórios Coremas e Engenheiro Ávidos, dão contribuição importante para os volumes desses reservatórios. Há uma tendência de ocorrer mais sistemas no mês de março, o que já havia sido observado para outras regiões da Paraíba.

Há uma queda considerável no número de sistemas de mesoescala em anos de El Niño fortes, especialmente, no mês de março, quando a frequência de ocorrência esse tipo

de sistema é maior. Por outro lado, em anos com maior ocorrência desses sistemas, as vazões ficam muito acima da média, como em 1985 (250%) e 1974 (442%) por exemplo.

Pode-se estimar uma provável redução nos volumes desses reservatórios, uma vez estabelecido um evento El Niño, a partir da diminuição do número esperado de ocorrência desses sistemas.

### **5.1 Sugestão para trabalho futuro**

Uma meta que vem sendo perseguida há muito tempo principalmente por hidrologistas e pesquisadores ligados à área de recursos hídricos é o acoplamento entre os modelos atmosféricos e hidrológicos. Hoje em dia, essa tarefa parece estar mais próxima de ser realizada, uma vez que modelos atmosféricos de mesoescala, como o RAMS, por exemplo, já incluem em seus códigos vários níveis de solo, nos quais são calculados a umidade do solo e o escoamento e superficial. Logo, uma sugestão para trabalho futuro, nessa área, não poderia deixar de ser a calibração desse segmento “hidrológico” do modelo atmosférico, a partir de modelos hidrológicos do tipo chuva/vazão distribuídos como, por exemplo, o modelo NAVMO.

Esse modelo, por se utilizar de dados de todas as estações pluviométricas na área da bacia para a qual foi calibrado, poderia ser facilmente adaptado a receber as informações em pontos de grade do modelo atmosférico e, com isso, prever a vazão referente a uma dada precipitação prevista por esse modelo que, por sua vez, seria calibrado com o escoamento superficial do modelo hidrológico.

Uma segunda recomendação seria estudar a variabilidade decadal ou pentadal dos efeitos do El Niño sobre a precipitação ou mesmo os volumes de reservatórios do Nordeste, uma vez que outros grupos de pesquisa no Brasil já estão interessados no estudo dessa variabilidade.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aragão, J. O. R. : A study of the structure of synoptic perturbations in Northeast Brazil. *Instituto de Pesquisas Espaciais . São José dos Campos, S.P., Brazil, 1975, 51 p.p.*, (M.Sc. dissertation).
- Adler, R. F. & Negri, A. J. : A satellite infrared technique to estimate tropical convective and stratiform rainfall. *Journal of Applied Meteorology*, 27, 30-51, 1988.
- \_\_\_\_\_ & \_\_\_\_\_ : A comparison of three satellite infrared rainfall techniques over Japan and surrounding waters. *Journal of Applied Meteorology*, 32, 357-373, 1993.
- Arkin, P. A. : The relationship between fractional coverage of high cloud and rainfall accumulations during GATE over b-scale array. *Monthly Weather Review*, 107, 1382 – 1387, 1979.
- \_\_\_\_\_ : A diagnostic precipitation index from IR satellite imagery. *Trop.Ocean Atmosphere Newsletter.*, 17, 5 – 7, 1983.
- Bjerknes, J. : Possible response of the atmospheric Hadley circulation to equatorial Anomalies of ocean temperature. *Tellus XVIII*, 4 1966.
- Bjerknes, J. : Atmospheric teleconnections from the equatorial Pacific. *Monthly Weather Review*, 97 , 163 – 172, 1969.
- Caviedes, C. N. : Secas and El Nino: Two simultaneous climatical hazards in South America. *Proc. American Geography Association* , 5, 1973, 44 - 49.

- Chan, S. C.: **Analysis of the easterly wave disturbances over South Atlantic Ocean** Instituto Nac. de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, S.P. Brazil, 1990 104 p.p. (M.Sc. dissertation)
- Diniz, L. da S. : **Calibração automática de modelos chuva-vazão usando um algoritmo genético**. Campina Grande : UFPB, 1994, 132 p.(Dissertação de Mestrado).
- Figueiredo, E. E. : **Scale effects and land use change impacts in sediment yield modelling in a Semi-arid Region**. PhD Thesis, University of Newcastle upon Tyne, England, 1998.
- Figueiredo, E. E. , Overland, H. and Kleeberg, H. B. : O Modelo NAVMO de simulação do escoamento superficial. In : IX Simpósio Bras. De Rec. Hídricos, 1991, Rio de Janeiro, **Anais** , 337 – 346 p.
- Genta, J. L. ; Perez-Iribarren, G. ; Mechoso, C. R. : A recent increasing trend in the Streamflow of rivers in southeastern South America. **Journal of Climate**, Vol 11, 1998, 2858 – 2862.
- Gomes Filho, M. F. Souza, E. P e Becker, C. T : Sistemas convectivos de mesoescala com precipitação intensa na Paraíba : Um estudo de caso. **Revista Brasileira de Meteorologia** 11, 36 – 43, 1996.
- Gomes Filho, M. F. ; Cavalcanti, E. P. e Silva, A. R. : Análise da precipitação do mês de março em Campina Grande - Paraíba no período 1987 a 1996. **Revista Atmosfera & Água**, II, 12 - 15. 1997.
- Gomes Filho, M. F. ; Aragão, J. O R e Srinivasam, V. S. : Relações entre as TSM's globais e os volumes dos principais reservatórios de água da Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, vol. 3, No. 1, 74-81, 1999.
- Gomes Filho, M. F. ; Souza, F. de A. S. ; Cavalcanti , E. P. : Relações entre as vazões médias mensais do rio Piancó no sertão da Paraíba e as anomalias de TSM dos Oceanos Atlântico e Pacífico tropical. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Aceito para publicação
- Halpert, M. S. and Ropelewski, C. F. : Surface temperature patherns associated wirh Southern Oscillation. **Journal of Climate**, vol. 5, june 1992.
- Harzallah ; Aragão, J.O.R. ; Sadourny, R. : Interannual rainfall variability in Northeast Brazil : Observation and Model Simulation. **International Journal of Climatology**, 16, 861 – 878, 1996.
- Hastenrath, S. and Heller, L. : Dynamics of climate hazards in Northeast Brazil **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society** , 103, 77 – 92, 1977.
- Kane, R. P. : Prediction of drought in NE BRAZIL: role of ENSO and use of periodicities. **International Journal of Climatology**, 17, 655 – 665, 1997.



- Katz, R. W. and Brown, B. G. : The problem of multiplicity in research on teleconnections **International Journal of Climatology** , 11, 505 – 513 , 1991
- Kayano, M. T., Kousky, V. E., Studzinski, C. D. and Dias, P. L. S., : As variações intra-sazonais da precipitação no Brasil durante o verão de 1989/1990, **Boletim Climanálise**, INPE, 5 4 , 40 – 50, 1990.
- Kleeberg, H. B. ; Overland, H. and Paus, G. B. : NAVMO Version 1.1, Institut für Wassevesen, Universität der Bundeswer. Munchen, 1989.
- Kousky, V. E.: Frontal influences on Northeast Brazil, **Monthly Weather Review** 10, 71140 – 1153, 1979.
- Kousky, V. E. : Diurnal rainfall variation in Northeast Brazil , **Monthly Weather Review** 108, 488 – 498, 1980.
- Kousky, V. E. and Gan, M. A. : Upper tropospheric cyclonic vortices in the tropical South Atlantic , **Tellus**, 33, 538 – 551, 1981.
- Lopes, P. L. : Avaliação do escoamento superficial da bacia do rio Piancó utilizando O modelo NAVMO. Dissertação de Mestrado, DEC/UFPB, Campina Grande, 1994.
- Maddox, R. A : Mesoscale convective complexes. **Bulletin of the American Meteorol Society**, v.53, p. 135 – 156, 1980.
- Marques, Rubens Murillo : **Elementos de Estatística**, Instituto Central de Matemática, Departamento de Estatística – UNICAMP, Campinas – São Paulo, 1969.
- Mechoso, C. R. ; Perez-Iribarren, G. : Streamflow in Southeast South America and the Southern Oscillation. **Journal of Climate**, vol. 5 December 1992.
- Molion, L. C. B.e J. C. de Moraes : Oscilação Sul e descarga de rios na América do Sul Tropical. **Revista Bras. de Engenharia**, Caderno de Recursos Hídricos. Vol. 5, 1987. pgs. 53 – 63.
- Moura, A. D. and Shukla, J. : On the dynamics of drought in Northeast Brazil : Observations, theory and Numerical Experiments with a General Circulation Model. **Journal of the Atmospheric Sciences** , 38, 2653 – 2675, 1981.
- Negri, A. J.; Adler, R. F.& Wetzal, P. J. : Satellite rain estimation: An analysis of griffith – Woodley Technique, **Journal of Climate and Applied Meteorology** 23,102 – 116, 1984.
- Oliveira, L. L. : **Zonas de Convergência do Atlântico Sul e suas influências no Regime de precipitação do Nordeste do Brasil**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1982 – Publicação INPE, 2307 – TDL/074. (Dissertação de Mestrado em Meteorologia)

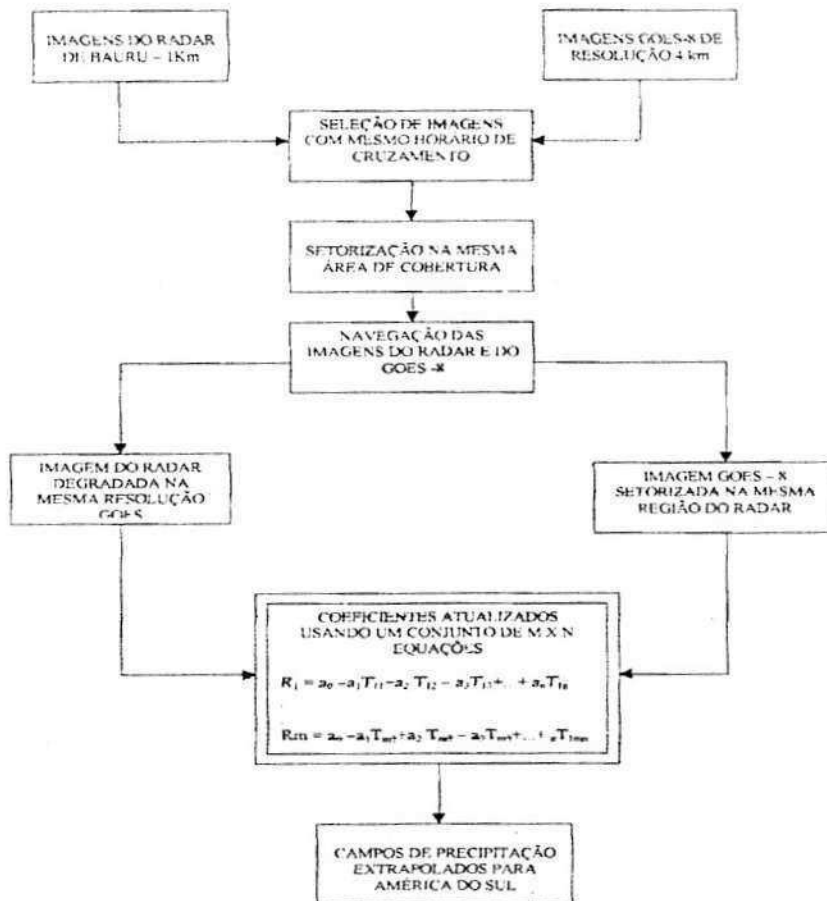
- Pandzic, K. and Trninic, D. : Principal component analysis of the annual regime of hydrological and meteorological fields in a river basin. **Journal of Climatology**, 11, 909 – 922, 1991.
- Pandzic, K. and Trninic, D. : Principal component analysis of a river basin discharge and precipitation anomaly fields associated with the global circulation . **Journal of Hydrology**, 132, 343 - 360, 1992
- Perrela, A. C. F.: **Classificação de sistemas de nuvens**. In : *III Curso de Interpretação de Imagens de Satélites Meteorológicos*. Universidade do Vale do Paraíba – UNIVAP São José dos Campos – SP, 1993.
- Rasmusson, E. M. and T. H. Carpenter : Variations in tropical sea surface temperature And surface wind fields with the Southern Oscillation/el Niño. **Mon. Wea. Ver** 110, 1982, 354 - 384
- Refsgaard, J. C. and Storm, B. : **Construction, Calibration and Validation of Hydrol. Models** . In : M. B. Abott and J. C. Refsgaard (editors). *Distributed Hydrologica Models*. Kluwer Academic Publishers, London, 1996.
- Ropelewski, C.F. and Halpert, M. S. : Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation, **Monthly Weather Review** , 115 1606 – 1626, 1987
- Rodrigues, R. de S. : **Estudo das circulações de mesoescala sobre a Paraíba** Dissertação de Mestrado, Publicação DCA/CMM – TD 04/95, 1994.
- Royall, R. M. : The effect of sample size on the meaning of significance tests **The American Statistician**, Vol. 40, No. 4, 313 – 315, 1986.
- Sakamoto, M. S. : **Zona de convergência do Atlântico Sul – ZCAS**. III Curso de Interpretação de imagens de satélite e análise meteorológica. UNIVAP, São José dos Campos – SP, outubro de 1993. ampos
- Serra, A. B. : The general circulation over South America, **Bulletin of the American Meteorological Society**, 22, 173 – 179, 1941.
- Servain, J. : Simple climatic indices for the Tropical Atlantic Ocean and applications **Journal of Geophysical Resources**, 46(c8) 1991, 15137-15146.
- Silva Dias, M. A F da : Sistemas de mesoescala e previsão de tempo a curto prazo **Revista Brasileira de Meteorologia**, Vol. 22, 1987, 133 – 150.
- Souza, E. B. ; Alves, J. M. B. e Xavier, T. M. B. S. : A estação chuvosa no semi-árido nordestino nos anos de predominância de aquecimento ou de resfriamento em toda bacia do Atlântico Tropical. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, vol. 3, No. 2, Abril/junho 1998.

- Trenberth, K. E. : Short-term climate variations: recent accomplishments and issues for future progress . **Bulletin of the American Meteorological Society** , Vol. 78, No. 6, jun 1997a, 1081 – 1096.
- Trenberth, K. E. : The definition of El Niño. **Bull. of Amer. Met. Soc.** 78 (12), 1997b, 2771 – 2777.
- Uvo, C. R. B. ; Repelli, C. ; Zebiak, S. E. and Kushnir, Y. : The relationships between Tropical Pacific and Atlantic SST and northeast Brazil monthly precipitation. **Journal of Climate**, Vol. 11, p. 551-562, 1998.
- Valadão, C. E. A. PRECIP : Um sistema para realizar estimativa da precipitação via satélite. In : IX Congresso Brasileiro de Meteorologia, 1996, Campos do Jordão - SP **Anais**, volume 1, 666-670p.
- Virji, H. : A preliminary study of summertime tropospheric circulation patterns over South America estimated from cloud winds, **Monthly Weather Review**, 109, 599 – 610, 1981.
- Vitorino, M, I. , Silva, M. E. S. e Alves, J. M. :Classificação de sistemas convectivos de mesoescala no setor norte do Nordeste Brasileiro. **Revista Bras. de Meteorol.** v.12, n.1, p. 21 – 32 , 1997.
- Walker G. T.,: Ceará ( Brazil ) famines and the general air movement. **Beitrait PhysiFreinen Atmosphere** , 14, 88 – 93, 1928 .
- Ward, M. N. and Folland, C. K. : Prediction of seasonal rainfall in the N.NE Brazil using eigenvectors of sea surface temperature. **Int. J. of Climatology**, 11, 711 – 743.
- Yamazaki, Y. and Rao, V. B. : Tropical cloudiness over the South Atlantic Ocean **Journal of the Meteorological Society of Japan.** 55, 203 – 207, 1977



## ANEXO 1

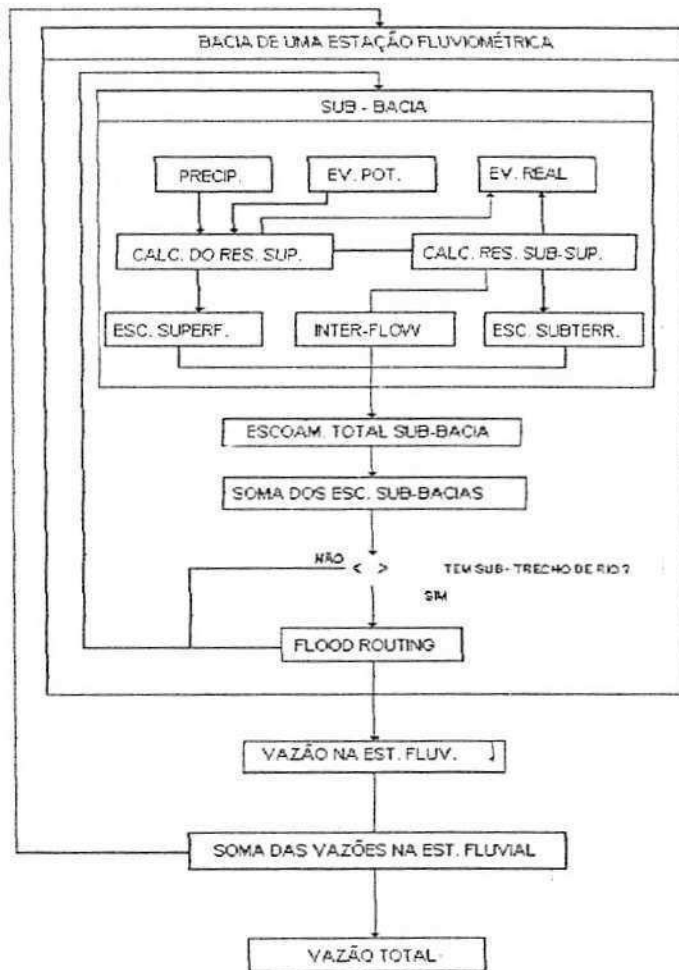
Fluxograma do Programa PRECIP para estimativa da precipitação por satélite.





## ANEXO 2

## Fluxograma do modelo distribuído NAVMO



## ANEXO 3

Postos pluviométricos na área da bacia do rio Piancó usados pelo Modelo NAVMO e períodos de dados existentes.

Código	Nome do Posto	Coordenadas Long : Lat	Período dos dados
3737006	Piancó	37° 36' : 7° 12'	1960/1983
3738025	Aguiar	38° 11' : 7° 05'	1960/1983
3738013	Princesa Izabel	38° 01' : 7° 44'	1960/1983
3738017	Itaporanga	38° 10' : 7° 18'	1960/1983
3738023	Bom Jesus	38° 22' : 7° 21'	1960/1983
3843587	S. B. Ventura	38° 13' : 7° 24'	1963/1983
3843919	Ibiara	38° 25' : 7° 29'	1963/1983
3853197	Conceição	38° 31' : 7° 33'	1963/1983
3738014	Nova Olinda	38° 03' : 7° 28'	1963/1983
3738015	Manaira	38° 10' : 7° 42'	1963/1983
3736000	Emas	37° 43' : 6° 43'	1962/1978

ANEXO 4

Bacia Hidrográfica do alto Piranhas onde está localizado o rio Piancó.

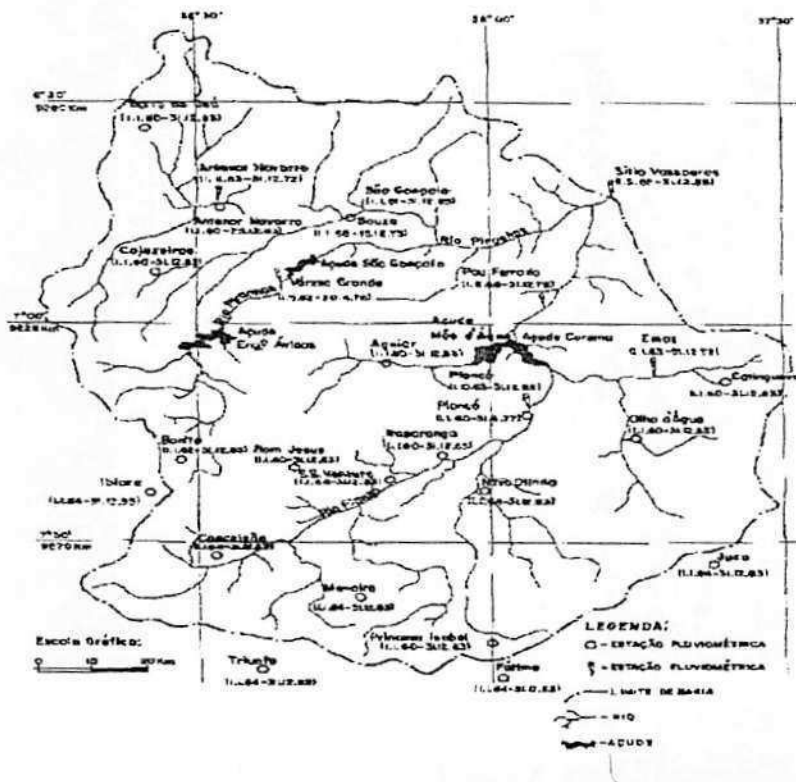


Figura 1 - Bacia Hidrográfica do Alto Piranhas