



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

INPE-7237-TDI/690

**ANÁLISE ESPAÇO TEMPORAL DE ÍNDICE DE VEGETAÇÃO
AVHRR/NOAA E PRECIPITAÇÃO NA REGIÃO
NORDESTE DO BRASIL EM 1982-85**

Humberto Alves Barbosa

Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto, orientada pelo
Dr. Alberto Waingort Setzer, aprovada em abril de 1998.

INPE
São José dos Campos
1999

528.711.7:551.5

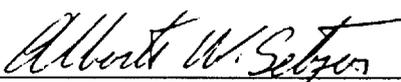
BARBOSA, H. A.

Análise espaço temporal de índice de vegetação
AVHRR/NOAA e a precipitação na região nordeste do Brasil em
1982-85 / H. A. Barbosa - São José dos Campos: INPE, 1998.
169p. – (INPE-7237-TDI/690).

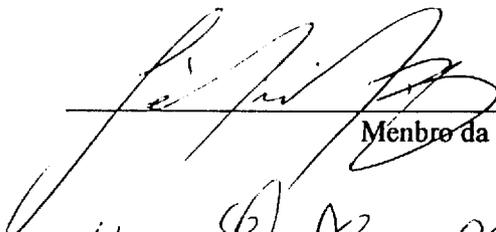
1.Índice de vegetação. 2.Região Nordeste. 3.Precipitação
(meteorologia). 4.El nino. 5.La nina. 6.Radiómetro avan-
çado de resolução muito alta (AVHRR). 7.Mudança climá-
tica e variabilidade. I.Título.

Aprovada pela Banca Examinadora
em cumprimento a requisito exigido para a
obtenção do Título de Mestre em
Sensoriamento Remoto.

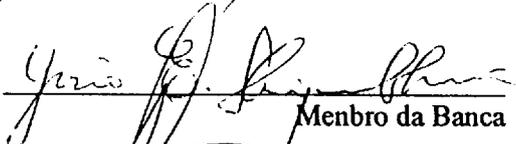
Dr. Alberto Waingort Setzer


Orientador/Presidente

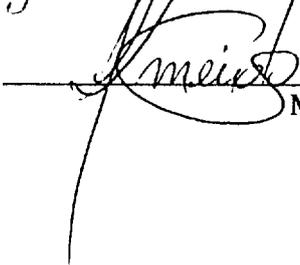
Dr. Getúlio Teixeira Batista


Membro da Banca

Dr. Yosio Edemir Shimabukuro


Membro da Banca

Dr. Sérgio Alberto de Oliveira Almeida


Membro da Banca
- Convidado-

Candidato: Humberto Alves Barbosa

São José dos Campos, 03 de abril de 1998

...mãe, obrigado.

AGRADECIMENTOS

Ao Dr. Alberto W. Setzer pela orientação e revisão, incentivo e amizade que foram essenciais para realização deste trabalho.

Ao Dr. Yosio Edemir Shimabukuro pela ajuda prestada na cessão de dados AVHRR/NOAA.

Ao Dr. João Roberto dos Santos, José Carlos Neves Epiphanyo e Antônio Roberto Formaggio por sua receptividade incentivo e amizade.

Aos Membros da Banca Examinadora pela avaliação e contribuições pertinentes para melhor qualidade da dissertação.

Ao Eng. Eugênio Sper de Almeida, Sidnei João Santos S. Siqueira, Rovedy Aparecida Busquim e Silva e Julio Pablo R. Fernandez pelo auxílio na leitura digital e elaboração de algoritmos computacionais.

Às secretárias Marilene Alves da Silva Moraes, Maria Etelvina Renó Dias Arbex e Terezinha dos Santos Botelho, um agradecimento especial pelo amor, compreensão, incentivo e exemplos de profissionalismo.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) pelos recursos fornecidos.

Às Instituições Universidade Federal da Paraíba/Departamento de Ciências Atmosféricas (UFPB/DCA) e a Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) pela cessão dos dados pluviométricos utilizados neste trabalho.

Ao Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) pela cessão dos dados de Temperatura da Superfície do Mar (TSM).

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de Mestrado.

Aos colegas do Sensoriamento Remoto, Meteorologia, Computação Aplicada, Geofísica, Astrofísica e CPTEC que diretamente ou indiretamente contribuíram para elaboração desse trabalho.

RESUMO

Este trabalho analisa a variação espacial e temporal do Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (IVDN) e da pluviometria sobre a região Nordeste do Brasil (NEB), de 1^o a 18^oS e de 35^o a 47^oW. Os anos estudados foram 1982 e 1983, secos, e 1984 e 1985, chuvosos, abrangendo o intenso evento El Niño/Oscilação Sul (ENOS) de 1982-83. Foram utilizados: médias mensais IVDN de 17.000 janelas de 3 x 3 pixels provenientes das imagens "Advanced Very High Resolution Radiometer" (AVHRR/NOAA) com resolução 7,6km, padrão "Global Area Coverage" (GAC) do arquivo GIMMS da Agência Espacial Norte Americana NASA; totais mensais de precipitação pluviométrica de 1.850 postos da Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) e; médias mensais de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) em pontos de grade a cada 2^o do "National Meteorological Center" (NMC) também baseadas no AVHRR. Na análise temporal foram utilizadas dez áreas-teste, representando diferentes fitofisionomias marcantes da região. Na análise espacial, a partir dos dados dos postos, procedeu-se à interpolação dos dados de precipitação para 5.571 pontos de grade espaçados em 0,25^o de latitude e longitude. Em relação a estudos anteriores, acrescentou-se a subdivisão por classes de vegetação, e o teste de correlações com retardo de tempo para o NEB. Os resultados mostraram que: *i*) as distribuições espacial e temporal de IVDN e pluviosidade mensais têm padrão semelhantes, e estatisticamente correlacionadas, podendo o IVDN ser usado como indicador do regime pluviométrico em períodos extremos de seca e chuva no NEB; *ii*) a melhor correlação foi encontrada entre totais de precipitação de dois meses consecutivos com o IVDN do último desses dois meses, da mesma forma que em trabalhos nos *Cerrados* e na África; *iii*) houve crescimento de IVDN na estação chuvosa também para o ano extremamente seco de 1983; *iv*) o IVDN e a precipitação mostraram-se mais adequados para avaliar o potencial hídrico da vegetação na forma de razão "Rain Greenness Ratio" (RGR) do que se utilizados em separado, e; *v*) a maior variação de IVDN ocorreu para a classe de área urbana. A aplicação destes resultados apresentam potencial para permitir avaliações regionais das áreas no NEB afetadas por secas intensas e também em recuperação de secas, melhores que as atuais, principalmente se combinadas com índices de dados *in situ* já em uso no NEB. Recomenda-se a continuidade do trabalho com dados orbitais de melhor resolução espacial.

SPATIAL-TEMPORAL ANALYSIS OF NOAA/AVHRR VEGETATION INDEX AND PRECIPITATION IN NORTHEAST REGION BRAZIL IN 1982-85

ABSTRACT

This work analyzes the spatial and temporal variation of Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and precipitation over the Northeast region of Brazil (NEB), between 1° to 18°S and 35° to 47°W. Studied were the dry years of 1982 and 1983 and the rainy years of 1984 and 1985, covering the intense El-Niño/Southern Oscillation (ENSO) event of 1982-83. The following parameters were used: monthly NDVI mean values 17,000 windows with 3 x 3 pixels each, originated from the Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) images of the NOAA satellites with a resolution of 7.6 km in the Global Area Coverage (GAC) format, from the NASA/GIMMS archives; monthly rainfall data from 1,850 stations of "Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste" (SUDENE) and; monthly means of Sea Surface Temperature (SST) in grid points with 2° spacing, also derived from the AVHRR and prepared by the National Meteorological Center (NMC). Ten test-areas representing prevailing and different phytophysionomies of the region were used for the temporal analysis. The spatial analysis was based on a grid of 5,571 precipitation data points spaced by 0.25° in latitude and longitude, interpolated from the original rain-gauge measurements. In relation to previous NEB studies, the subdivision of the vegetation in classes and the use of correlations with time lags were introduced. The results showed that: *i*) NDVI and precipitation monthly data follow similar patterns on temporal and spatial basis, being statistically correlated, where the NDVI can depict the precipitation regime in periods of unusual drought or rain in the NEB; *ii*) the best correlation was found between the combined precipitation of two consecutive months with the NDVI and the first of these two months; *iii*) there was an NDVI increase in the rainy season also for the extremely dry year of 1983; *iv*) NDVI and precipitation better represented the vegetation hidric potential in the form of a ratio, or Rain Greenness Ratio (RGR), than separately, and; *v*) the largest NDVI variation occurred for the urban area class. These results indicate a strong application potential to regional evaluations of areas under or recovering from strong droughts in the NEB, particularly if combined with in-situ data. The continuation of this research using orbital data with better spatial resolution is recommended.

SUMÁRIO

Pág.

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE SÍMBOLOS

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO25

1.1 Objetivos27

CAPÍTULO 2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA29

2.1 Sistemas atmosféricos que influenciam o clima do NEB29

2.2 El Niño/Oscilação Sul e suas conexões com o Atlântico Sul33

2.3 Temperatura da Superfície do Mar (TSM)35

2.4 Classificação da vegetação do NEB36

2.5 O sistema AVHRR/NOAA38

2.6 Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (IVDN)45

2.7 Imagem IVDN derivada do NOAA/AVHRR/GAC47

2.8 Efeitos no IVDN48

2.8.1 Contaminação por nuvens49

2.8.2 Efeitos atmosféricos50

2.8.3 Geometria de visada e iluminação52

2.8.4 Outros efeitos53

2.9 Aplicações de IVDN/AVHRR/NOAA para estudos da dinâmica da vegetação54

CAPÍTULO 3 - MATERIAIS E MÉTODOS57

3.1 Área de estudo57

3.2 Materiais	61
3.2.1 Dados de alturas pluviométricas	61
3.2.2 Imagens IVDN derivada do NOAA/AVHRR/GAC	61
3.2.3 Dados de TSM	64
3.2.4 Dados cartográficos	64
3.3 Métodos	65
3.3.1 Análises espacial e temporal dos dados pontuais	65
3.3.2 Determinação dos campos mensais de pluviosidade, IVDN e TSM	70
3.3.3 Determinação da cobertura vegetal dos postos pluviométricos	73
3.3.4 Extração e manipulação dos dados IVDN/AVHRR/NOAA/GAC	73
3.3.5 Análise estatística dos resultados	75
CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES	77
4.1 Análise temporal e relação entre a pluviosidade e IVDN para dez tipos de vegetação do NEB	77
4.1.1 Caatinga arbórea aberta (Ea)	80
4.1.2 Caatinga arbórea densa (Ed)	81
4.1.3 Caatinga arbustiva aberta (Eu)	83
4.1.4 Caatinga arbustiva densa (Es)	85
4.1.5 Cerrado (S)	86
4.1.6 Floresta estacional semidecidual (F)	88
4.1.7 Floresta estacional decidual (C)	90
4.1.8 Floresta ombrófila aberta (A)	91
4.1.9 Floresta ombrófila densa (D)	92
4.1.10 Área antropizada (T)	94
4.2 Análise de correlação entre IVDN e pluviometria	95
4.3 Análise estatística entre pluviosidade e IVDN nos campos numéricos	99
4.3.1 Análise da pluviosidade	102
4.3.2 Análise do IVDN	114
4.3.3 Análise temporal conjunta dos campos de 1982-85	125
4.4 Campos numéricos de correlações entre IVDN e precipitação	129

CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	137
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	141
APÊNDICE A – PROGRAMA PARA NAVEGAÇÃO DAS IMAGENS IVDN/AVHRR/GAC GERADA PELA NASA/GSFC	151
APÊNDICE B – PROGRAMA PARA EXTRAÇÃO DA MÉDIA DE 3 x 3 PIXEIS IVDN/AVHRR/GAC	155
APÊNDICE C – PROGRAMA PARA INTERPOLAÇÃO DOS DADOS PONTUAIS EM PONTO DE "GRADE" PARA O NEB	157
APÊNDICE D - TABELA DE CLASSIFICAÇÃO DOS 130 POSTOS PLU- VIOMÉTRICOS POR CLASSES DE VEGETAÇÃO DOMI- NANTE NA REGIÃO DO NEB	165

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
2.1-Diagrama esquemático da circulação de Walker para (1) anos normais 1984-85 e (2) anos de El Niño 1982-83.....	35
3.1-Região de Estudo. Distribuição espacial da precipitação média anual (mm) na região Nordeste do Brasil (NEB).....	57
3.2-Região de Estudo. Regimes pluviométricos do NEB no período de 1931-60, e a precipitação máxima média mensal (mm)	58
3.3-Imagem IVDN/AVHRR/NOAA/CVM padrão GAC processada pela NASA/GSFC, referente a julho de 1982.	63
3.4-Representação esquemática da "grade" e da distribuição aleatória das variáveis; os círculos indicam valores pontuais de chuva e IVDN.	71
3.5-Localização das regiões de Niños 4, 3, 2, 1 e do NEB.	72
3.6-Representação esquemática da defasagem temporal para as correlações lineares simultâneas e com "lags" entre precipitação e IVDN.	76
4.0-Distribuição espacial das dez áreas-teste selecionadas no NEB	78
4.1-Evolução temporal do IVDN (linha) e da pluviosidade (barra) do posto pluviométrico Catunda (CE) no período 1982-85.	81
4.2-Evolução temporal do IVDN (linha) e da pluviosidade (barra) do posto pluviométrico Puca (PI) no período 1982-85.	83
4.3-Evolução temporal do IVDN (linha) e da pluviosidade (barra) do posto pluviométrico Pedro II (PI) no período 1982-85.	84
4.4-Evolução temporal do IVDN (linha) e da pluviosidade (barra) do posto pluviométrico Casa Nova (BA) no período 1982-85.....	86
4.5-Evolução temporal do IVDN (linha) e da pluviosidade (barra) do posto pluviométrico Correntina (BA) no período 1982-85.	88
4.6-Evolução temporal do IVDN (linha) e da pluviosidade (barra) do posto pluviométrico Macaparana (BA) no período 1982-85.....	89
4.7-Evolução temporal do IVDN (linha) e da pluviosidade (barra) do posto pluviométrico Imperatriz (MA) no período 1982-85.....	90

4.8-Evolução temporal do IVDN (linha) e da pluviosidade (barra) do posto pluviométrico Amaragi (PE) no período 1982-85.....	92
4.9-Evolução temporal do IVDN (linha) e da pluviosidade (linha) do posto pluviométrico Ponto Chique (BA) no período 1982-85.	93
4.10-Evolução temporal do IVDN (linha) e da pluviosidade (linha) do posto pluviométrico Fortaleza (CE) no período 1982-85.....	95
4.11-Configuração dos campos numéricos espaciais mensais de precipitação (mm/mês) sobre a região do NEB, período janeiro a junho de 1982	106
4.12-Configuração dos campo numéricos espaciais mensais de precipitação (mm/mês) sobre a região do NEB, período julho a dezembro de 1982.....	107
4.13-Configuração dos campos numéricos espaciais mensais de precipitação (mm/mês) sobre a região do NEB, período janeiro a junho de 1983	108
4.14-Configuração dos campos numéricos espaciais mensais de precipitação (mm/mês) sobre a região do NEB, período julho a dezembro de 1983.....	109
4.15-Configuração dos campos numéricos espaciais mensais de precipitação (mm/mês) sobre a região do NEB, período janeiro a junho de 1984	110
4.16-Configuração dos campos numéricos espaciais mensais de precipitação (mm/mês) sobre a região do NEB, período julho a dezembro de 1984.....	111
4.17-Configuração dos campos numéricos espaciais mensais de precipitação (mm/mês) sobre a região do NEB, período janeiro a junho de 1985	112
4.18-Configuração dos campos numéricos espaciais mensais de precipitação (mm/mês) sobre a região do NEB, período julho a dezembro de 1985.....	113
4.19-Configuração dos campos numéricos espaciais mensais de IVDN sobre a região do NEB, período janeiro a junho de 1982	117
4.20-Configuração dos campos numéricos espaciais mensais de IVDN sobre a região do NEB, período julho a dezembro de 1982.....	118
4.21-Configuração dos campos numéricos espaciais mensais de IVDN sobre a região do NEB, período janeiro a junho de 1983	119
4.22-Configuração dos campos numéricos espaciais mensais de IVDN sobre a região do NEB, período julho a dezembro de 1983.....	120
4.23-Configuração dos campos numéricos espaciais mensais de IVDN sobre a região do NEB, período janeiro a junho de 1984	121

4.24-Configuração dos campos numéricos espaciais mensais de IVDN sobre a região do NEB, período julho a dezembro de 1984.....	122
4.25-Configuração dos campos numéricos espaciais mensais de IVDN sobre a região do NEB, período janeiro a junho de 1985	123
4.26-Configuração dos campos numéricos espaciais mensais de IVDN sobre a região do NEB, período julho a dezembro de 1985.....	124
4.27-Evolução temporal média espacial de IVDN e da pluviosidade de janeiro/1982 a dezembro/1985 sobre o NEB	126
4.28-Configuração dos campos numéricos espaciais de correlação com "lag=1mês" entre precipitação e IVDN, período de setembro a dezembro de 82-83	130
4.29-Configuração dos campos numéricos espaciais de correlação com "lag=1mês" entre precipitação e IVDN, período de setembro a dezembro de 84/85	131
4.30-Configuração dos campos espaciais mensais de anomalias de TSM ($^{\circ}$ C), Atlântico e Pacífico Leste Tropical, período janeiro a junho de 1983	132
4.31-Configuração dos campos espaciais mensais de anomalias de TSM ($^{\circ}$ C), Atlântico e Pacífico Leste Tropical, período julho a dezembro de 1983.....	133
4.32-Configuração dos campos espaciais mensais de anomalias de TSM ($^{\circ}$ C), Atlântico e Pacífico Leste Tropical, período janeiro a junho de 1985	134

LISTA DE TABELAS

	Pág.
2.1- Características orbitais e de imageamento do sistema sensor AVHRR/NOAA	39
2.2- Canais espectrais e aplicações do radiômetro AVHRR/NOAA	43
2.3- Efeitos atmosféricos na reflectância nos canais 1, 2 e no IVDN	52
4.1- Classificação da vegetação predominante no NEB e o número de postos pluviométricos em cada formação	78
4.2- Coeficientes de correlação linear com "lags" entre IVDN e pluviometria para tipos de vegetação dominante no NEB, período de 1982-85	97
4.3- IVDN integrado anual, precipitação (mm) e RGR para os tipos de vegetação dominante no NEB, no período de 1982-1985	98
4.4- Estatísticas mensais da precipitação (mm) do NEB com 5.571 pontos no período 1982-85	100
4.5- Estatísticas mensais de IVDN do NEB com 5.571 pontos no período 1982-85	101
4.6- IVDN integrado anual e coeficientes de correlação linear simultâneos e defasados entre valores médios mensais de IVDN e totais de precipitação para diferentes tipos de vegetação no Nordeste do Brasil, Leste da África e Sahel, no período de 1982-85	128
4.7- Médias mensais (N) e anomalias (A) de TSM ($^{\circ}$ C) para as regiões de Niños 1+2, 3, 4 e 3+4	135

LISTA DE SÍMBOLOS

I	comprimento de onda
s	desvio padrão
Δs	espaçamento da grade
\bar{x}	média
h	número de ponto de grade
$\Gamma(k,k')$	função resposta do filtro
$^{\circ}C$	graus Celsius
cm	centímetro
D	parâmetro de filtragem
e	exponencial
$f(x,y)$	variável observada distribuída aleatoriamente
$G(i,j)$	variável em ponto de grade
$G(x,y)$	variável em posição geográfica
$g(x,y)$	variável ponderada em ponto de grade
hPa	hecto Pascal
i	vetor na direção x
j	vetor na direção y
K	kelvin
K'	número de onda
K	parâmetro de filtragem
Km	quilômetro
Km^2	quilômetro quadrado
m	metro
mm	micrômetro
M	número máximo de pontos de observação
$M(I)$	exitância
min	minuto
$mrad$	miliradiano
ND	nível digital

P'	distância adimensional
P^*	distância dimensional
rpm	rotação por minuto
R^2	coeficiente de determinação
$W(P_i, D)$	função peso
$Y(t)$	série temporal

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

APT	Automatic Picture Transmission
AVHRR	Advanced Very High Resolution Radiometer
COADS	Comprehensive Oceanic and Atmospheric Data Set
CCT	Centro de Ciências e Tecnologia
COLA	Center for Ocean, Land and Atmosphere Studies
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
CVM	Composite Maximum Value
DCA	Departamento de Ciências Atmosféricas
ENOS	El Niño/Oscilação Sul
EOS	Earth Observation System
GAC	Global Area Coverage
GIMMS	Global Monitoring and Modeling Studies
GrADS	Grid Analysis and Display System
GSFC	Goddard Space Flight Center
GVI	Global Vegetation Index
GAC	Global Area Coverage
HRPT	High Resolution Picture Transmission
IDL	Interactive Data Language
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IFOV	Instantaneous Field of View
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IOS	Índice Oscilação Sul
IVDN	Índice de Vegetação de Diferença Normalizada
LAC	Local Area Coverage
LANDSAT	Land Satellite
Max	Máximo
Min	Mínimo
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NESDIS	National Environmental Satellite, Data and Information Service
NASDA	National Space Development Agency of Japan

NEB	Nordeste do Brasil
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
PC	Personal Computer
Pixel	Picture Element
IVAS	Índice de Vegetação Ajustado ao Solo
SUDENE	Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste
TIROS	Television and Infrared Observation Satellite
TM	Thematic Mapper
TSM	Temperatura da Superfície do Mar
UFPB	Universidade Federal da Paraíba
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

A região Nordeste do Brasil (NEB), localizada na faixa tropical, aproximadamente de 1^o a 18^oS e de 35^o a 47^oW, com dimensão territorial em torno de 1.550.000km², apresenta alta variabilidade espacial e temporal de pluviometria, e abrange diversos padrões morfológicos de cobertura vegetal. Cerca de 60% do NEB corresponde ao chamado "Polígono das Secas", que é uma das mais vastas áreas de semi-aridez das Américas.

As causas da grande variabilidade climática do NEB ainda não são completamente entendidas. Várias pesquisas sobre o clima dessa região têm reforçado a hipótese da variabilidade da precipitação estar estritamente relacionada a configurações atmosféricas e oceânicas de grande escala nos trópicos. Estas configurações atuam em relação ao aspecto quantitativo intra-anual e no que diz respeito à distribuição espacial e temporal das chuvas.

A cobertura vegetal do trópico semi-árido apresenta uma gradação de formas e variações que num dos extremos é representada por *Caatinga Arbórea Densa* e, no outro, por *Caatinga Arbustiva Aberta*. A "Caatinga" é o tipo de vegetação que caracteriza o semi-árido e ocupa 573.000km², cerca de 11% do território nacional, ou 37% do NEB (Joly, 1970), ocorrendo nos Estados da Bahia, Sergipe, Alagoas, Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte, Ceará, Piauí, Maranhão e Minas Gerais. Em alguns Estados, no entanto, essa relação é muito maior, pois quase 90% do território de Pernambuco é semi-árido; no Rio Grande do Norte este valor é 91%, no Ceará 93%, e na Paraíba 80%.

Por outro lado, o sensoriamento remoto orbital óptico pode ser utilizado para o monitoramento de variabilidades climáticas e dos possíveis impactos ambientais induzidos por mudanças climáticas, acompanhando suas evoluções temporal e espacial. Essa condição é particularmente importante numa região tão extensa e complexa como a do NEB, onde a densidade de estações meteorológicas de superfície é bastante irregular.

Assim, para detectar respostas da vegetação natural com diminuição de chuvas, ou outros efeitos ambientais, como desertificação, torna-se importante discriminar e quantificar, do ponto de vista dos sensores a bordo de satélites, a variabilidade natural do binômio vegetação/clima.

As séries multitemporais de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN) geradas com dados dos satélites da série NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), têm sido empregadas no monitoramento da cobertura vegetal em escala regional ou global. Estes dados estão relacionados à evolução temporal de radiação fotossinteticamente ativa absorvida, e ao ciclo fenológico da vegetação. Existem estudos em regiões semi-áridas da África (Nicholson et al., 1990; Justice et al., 1991b; Nicholson e Farar, 1994), no cerrado brasileiro (Assad et al., 1996; Almeida, 1997) e no NEB (Kazmierczak, 1994), onde foram encontradas correlações significativas entre precipitação e Índices de Vegetação. O IVDN calculado a partir de imagens AVHRR dos satélites NOAA tem sido utilizado para monitoramento global da vegetação porque as alterações provocadas por condições de iluminação, declividade da superfície, opacidade atmosférica e geometria de visada são parcialmente compensados com a união das imagens diárias em composições multitemporais, ou seja com a composição de valores máximos, onde se utiliza o maior valor do pixel no período de um mês (Holben, 1986). A maior vantagem dos satélites NOAA é sua alta resolução temporal, obtendo dados diariamente para todo o globo. A abordagem multitemporal torna possível o monitoramento constante das diversas modificações ocorridas na evolução dinâmica da vegetação em escala regional.

Os baixos índices pluviométricos registrados na região Nordeste do Brasil, particularmente no semi-árido, têm prejudicado sensivelmente a economia da região. Essa alta irregularidade espaço-temporal da pluviometria no semi-árido nordestino, torna difícil a previsibilidade e monitoramento das variabilidades climáticas e os possíveis impactos ambientais induzidos por mudanças climáticas. Neste contexto, as imagens temporais de Índices de Vegetação (IVDN), geradas com os dados dos satélites NOAA podem ser utilizadas para detectar a variabilidade natural do binômio vegetação/clima.

1.1 OBJETIVOS

O objetivo geral desta pesquisa é determinar a resposta dos dados de Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (IVDN) derivados das imagens AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer)/NOAA para diferentes tipos de vegetação do Nordeste do Brasil (NEB) em função da pluviometria, objetivando o monitoramento de eventos climáticos extremos nesta região. Para tanto são empregados dados de IVDN e de pluviometria do período 1982-1985 que englobam o intenso evento ENOS (El Niño/Oscilação Sul) de 1982-83 conforme os objetivos específicos abaixo.

- a) Análise das variações nos dados mensais de IVDN e pluviometria para dez áreas-teste com morfologia vegetal diferente de 520km² cada.
- b) Estimativa das correlações espacial e temporal entre o IVDN e a pluviometria para os dados das dez áreas-teste definidas no NEB.
- c) Estudo da evolução espacial e temporal dos campos numéricos mensais de IVDN e de pluviometria para região do NEB.

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 - SISTEMAS ATMOSFÉRICOS QUE INFLUENCIAM O CLIMA DO NEB

Vários autores classificam o Nordeste do Brasil (NEB) como região semi-árida, embora existam sub-regiões costeiras onde a precipitação média anual é maior do que 2.000mm. Devido à localização no extremo leste da América do Sul, na faixa tropical, o NEB está submetido à influência de vários sistemas atmosféricos, os quais, interagindo entre si, conferem-lhe características climáticas peculiares.

As causas da grande variabilidade intra-anual do clima do Nordeste ainda não são completamente entendidas, assim como também não são as razões determinantes da semi-aridez da região. Entretanto, uma análise da distribuição da precipitação sobre o Nordeste e regiões adjacentes sugere que o clima semi-árido é provavelmente causado por mecanismos da circulação geral da atmosfera, mais especificamente pela circulação de Hadley-Walker, portanto induzido por fatores climáticos externos à região (Climanálise, 1986).

A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) localiza-se na região do "cavado" equatorial entre os anticiclones subtropicais dos dois hemisférios, onde ocorre convergência de escoamento em baixos níveis. Nessa região encontra-se uma zona de baixa pressão à superfície que coincide com uma região de TSM (Temperatura da Superfície do Mar) mais alta; localiza-se também nessa área o eixo de confluência dos ventos alísios de nordeste e de sudeste, os quais fazem parte do ramo equatorial dos Anticiclones Subtropicais do Atlântico Norte e Sul, respectivamente (Climanálise, 1986).

O ar ascendente sobre a Amazônia descende sobre todo o Oceano Atlântico Subtropical, incluindo o Nordeste e possivelmente a costa oeste da África. Este ar descendente não é propício à formação de nuvens e, portanto, serve como fator limitante à precipitação. Esta é uma circulação predominantemente no sentido Oeste-Leste (parte superior da cé-

lula de Walker). Similarmente, há células de circulação no sentido norte-sul, com movimento ascendente na região da ZCIT sobre o Oceano Atlântico Equatorial, e movimento descendente sobre o Atlântico Subtropical de ambos os Hemisférios, e conhecidas como circulação de Hadley; nesta região também existe a convergência dos ventos alíseos. A composição destas duas células e a variabilidade intra-anual, tanto em intensidade como na localização geográfica, são, aparentemente fatores importantes para a semi-aridez do Nordeste e para alta variabilidade intra-anual da precipitação (Climanálise, 1986).

A ZCIT é parte integrante da circulação geral da atmosfera, portanto as razões para variações em sua intensidade e posição de ano para ano, as quais causam a enorme variabilidade intra-anual nas chuvas nordestinas, devem ser procuradas na circulação atmosférica planetária. Um número razoável de estudos observacionais indica a existência de ligação entre anomalias de precipitação no NEB e anomalias na circulação atmosférica numa escala espacial bem maior do que a do Nordeste propriamente dito (Hastenrath e Heller, 1977; Nobre et al., 1982). Estes estudos mostraram que, para a maioria dos anos com grandes desvios de precipitação em relação à média, a circulação atmosférica sobre todo o Atlântico é bastante distinta. E em anos chuvosos, o anticiclone está mais intenso que o normal e os ventos alísios de nordeste no Atlântico Norte estão mais intensos e a ZCIT mais deslocada para o sul. Para anos secos o reverso ocorre: o anticiclone no Atlântico Sul e os ventos alíseos de sudeste estão mais intensos e a ZCIT encontra-se mais ao norte do que em sua posição normal (Uvo et al., 1988).

Um outro importante causador de chuvas no Nordeste está ligado à penetração de sistemas frontais ou partes suas até as latitudes tropicais, originários das médias latitudes do Hemisfério Sul, que podem atingir o Nordeste, especificamente parte dos setores sul-sudeste do Estado da Bahia, quando os padrões de circulação nas latitudes subtropicais são favoráveis. Estes sistemas frontais penetram no Nordeste durante todo o ano e desempenham importante papel no máximo de precipitação do sul-sudeste do Nordeste de novembro a janeiro e estão também associados com o aumento da precipitação ao longo da costa leste 5° até 18°S (Virji e Kousky, 1983).

Algumas linhas de instabilidade geradas pelo deslocamento de superfície frontais vindas do sul conseguem alcançar regiões mais ao sul do NEB, e afetam tanto a nebulosidade como seu regime de chuvas. Esses sistemas enfraquecem o Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul e produzem uma configuração de pressão à superfície, favorável à ocorrência de ventos de norte ou nordeste sobre o norte do NEB, os quais são observados frequentemente durante os períodos chuvosos nessa região (Kousky, 1979).

Os vórtices ciclônicos dos altos níveis que penetram no Nordeste do Brasil, formam-se no Oceano Atlântico Sul entre os meses de setembro e abril e ocorrem em maior número nos meses de verão, especialmente em janeiro. Sua vida média varia consideravelmente, sendo que alguns duram apenas algumas horas e outros chegam a existir por mais de duas semanas. Sua trajetória é irregular porém, quase sempre deslocam-se de leste para oeste. Geralmente estão confinados na média e alta troposfera. Sua circulação ciclônica aumenta com a altura atingindo o máximo próximo ao nível de 200mb. Quando um vórtice penetra no Brasil, na maioria das vezes o faz próximo a Salvador (BA), e produz tempo bom na região sul e central do Nordeste, provocando chuvas no setor norte e nordeste (Gan, 1983).

A importância do anticiclone subtropical do Atlântico Sul, principalmente para o Brasil, foi ressaltada por Strang (1983), o qual mostrou o deslocamento geográfico médio do centro desse sistema ao nível do mar e nos níveis de 850, 700, 500, e 300hPa. O eixo desse sistema, em média, inclina-se com a altura sobre o continente sul-americano, mais ou menos em ângulo perpendicular à costa, atravessando o litoral no sul da Bahia. Verificou-se em um ano seco (1970) que o eixo do anticiclone inclinou-se meridionalmente para o norte, permanecendo sobre o oceano. Durante um ano chuvoso (1974), o eixo inclinou-se zonalmente para oeste, com grande penetração continental. O autor concluiu que o sentido em que se inclina o eixo do anticiclone parece ser importante para determinar as condições da estação na região semi-árida do NEB (março a maio), e que em anos de chuva mais ou menos regulares o eixo deve inclinar-se em qualquer ângulo intermediário no quadrante noroeste.

O máximo de precipitação ao longo da costa leste do NEB, ocorre durante maio-junho, e é provavelmente causado pela existência de uma região com predominância de movimento ascendente ao longo da costa. Este movimento é devido a convergência dos ventos alíseos, que sopram do mar para o continente e da brisa terrestre noturna que sopra do continente para o mar. As observações confirmam que mais de 50% da precipitação na região costeira ocorrem durante o período noturno e, também, que o contraste de temperatura continente-oceano que efetivamente força as circulações de brisas, é máximo durante maio-junho (Kousky, 1980).

Em estudo feito por Cavalcanti (1982) encontram-se detalhes sobre as principais características da linha associada à brisa para o período de 1975 a 1980. Foi verificado que há uma variação sazonal quanto a sua localização, bem como na frequência de seu aparecimento. No verão e outono, a linha de atividade convectiva desenvolve-se quase sempre ao sul do equador afetando a costa norte do NEB, e no inverno e primavera a maior parte da convecção se estabelece ao norte do equador atingindo parte da costa norte do Brasil, Guianas e Venezuela.

Yamazaki e Rao (1977) destacaram algumas características dos distúrbios que se propagam para oeste no Hemisfério Sul através da inspeção visual de imagens de satélite, de tal modo que a velocidade média de propagação dos distúrbios foi de 10m/s, o qual ocorreu com mais frequência entre as latitudes de 5°-15°S. Os autores sugerem que tais distúrbios façam parte dos sistemas que causam precipitação no litoral leste do NEB.

Algumas das áreas mais secas do Nordeste, as quais recebem somente 300mm por ano, são vales localizados à sotavento de barreiras topográficas que se elevam até 1.000m de altura. Por outro lado, à barlavento de tais barreiras topográficas existem áreas úmidas e próprias para a agricultura. Um aspecto adicional de relevância é que as circulações vale-montanha parecem ser outro importante mecanismo causador de chuvas para alguns vales do interior nordestino, como a região de Petrolina- PE (Climanálise, 1986).

2.2 - EL NIÑO/OSCILAÇÃO SUL E SUAS CONEXÕES COM O ATLÂNTICO SUL

Provavelmente, a mais dramática expressão da variabilidade intra-anual do Oceano Pacífico seja a combinação dos fenômenos de El Niño com a Oscilação Sul, resultando na terminologia conhecida no mundo científico como eventos de ENOS, com interações dinâmicas de larga escala entre os centros de pressão atmosférica das baixas latitudes e a circulação termohalina dos grandes vórtices oceânicos através dos Oceanos Pacífico e Índico (Glynn,1990). A constante investigação do fenômeno ENOS no Pacífico tem recebido importante atenção, especialmente desde a última década, devido à importância desses sinais nas variabilidades interanuais climáticas.

Glynn (1990) ressalta que o El Niño de 1982/1983 foi excepcionalmente severo, causando um aquecimento bem forte nas camadas oceânicas superiores da região Equatorial do Pacífico. Além de seu aquecimento intenso, a disseminação desse sinal (e suas conseqüências) sobre a bacia do Pacífico Central Leste foi anormal, atingindo profundidades antes nunca alcançadas.

O trabalho de Walker (1924) foi o pioneiro na descrição e funcionamento da Oscilação Sul. Em seus estudos sobre as monções na Índia o autor descobriu uma significativa conexão entre a pressão atmosférica de Buenos Aires (Argentina) e Sidney (Austrália). A essa conexão atribuiu o termo “gangorra” (“see-sawing”) devido a diferença de fase da pressão atmosférica das duas regiões. A fase da Oscilação Sul é dada pelo sinal do Índice de Oscilação Sul (IOS), sendo definida a fase positiva/negativa (valor positivo/negativo do IOS) quando o sistema de baixa pressão sobre a Indonésia e a alta pressão sobre o Pacífico Central Leste estão normalmente fortes/fracos. Na fase positiva da Oscilação Sul, a atividade convectiva na região equatorial permanece ao norte da sua posição normal no Pacífico Leste, resultando em condições mais secas na região equatorial. Na fase negativa, a atividade convectiva é maior nessa região e menor na região da Indonésia e norte da Austrália.

Há correlações significativas entre a Oscilação Sul e as anomalias pluviométricas sobre as bacias de drenagem que alimentam o Estuário do Rio do Prata e o complexo laguna Patos-Mirim na região sul do Brasil que são alimentadas nas porções leste das regiões montanhosas. Essas anomalias aparecem nos anos de El Niño, sendo aparentemente reforçadas pelas perturbações correlacionadas ao evento de ENOS nas TSM que se deslocam junto à Corrente Circumpolar Antártica (White e Peterson, 1996), formando um dipolo entre a bacia Argentina e o Mar de Weddel. Segundo Diaz e Studzinski (1994) as anomalias de precipitação do Uruguai e Rio Grande do Sul são influenciadas pela TSM do Pacífico, particularmente nos anos de ENOS.

Kousky e Cavalcanti (1988) observaram uma forte tendência para o El Niño ocorrer simultaneamente com a seca no NEB ou com a defasagem de até um ano. Embora o coeficiente de correlação entre o Índice de Oscilação Sul e a precipitação no NEB não seja muito alto, secas intensas tais como a de 1983 parecem estar associadas com os eventos El Niño. Esta associação é provavelmente explicada, ao menos parcialmente, pela ocorrência de uma forte convecção sobre o Pacífico Central Leste na região de águas anormalmente quentes. Esta convecção assegura movimento ascendente sobre o Pacífico Central Leste e movimento subsidente sobre as outras regiões incluindo o NEB. Este movimento subsidente inibe a convecção e causa secas. Tendo em vista que a estação chuvosa do NEB se restringe principalmente aos quatro ou cinco primeiros meses do ano, os efeitos do El Niño são sentidos no NEB durante este período. A grande seca de 1983 na região NEB e na Amazônia Central e Oriental esteve relacionada a este tipo de circulação anômala de Walker. A Figura 2.1 mostra de modo esquemático este tipo de circulação de Walker para anos normais 1984-1985 e para os anos de El Niño 1982-1983.

Os mecanismos físicos que conectam as flutuações sazonais de precipitação e as variações na Oscilação Sul não são bem entendidos. Entretanto, algumas explicações relacionadas à fase da Oscilação Sul e outras características atmosféricas têm sido propostas. A forte convecção observada sobre o Pacífico Leste e Central durante os meses de maio a julho de 1983 causou a intensificação do jato subtropical sobre o Brasil devido a interações não-lineares entre a convecção tropical e o jato subtropical (Nobre et al., 1982). Os jatos subtropicais mais fortes favorecem os bloqueios atmosféricos, e esta situação pa-

rece manter sistemas frontais persistentes no sul do Brasil e regiões adjacentes, ocasionando precipitações mais altas. A ausência de penetração de sistemas frontais parece reduzir a precipitação na região do NEB.

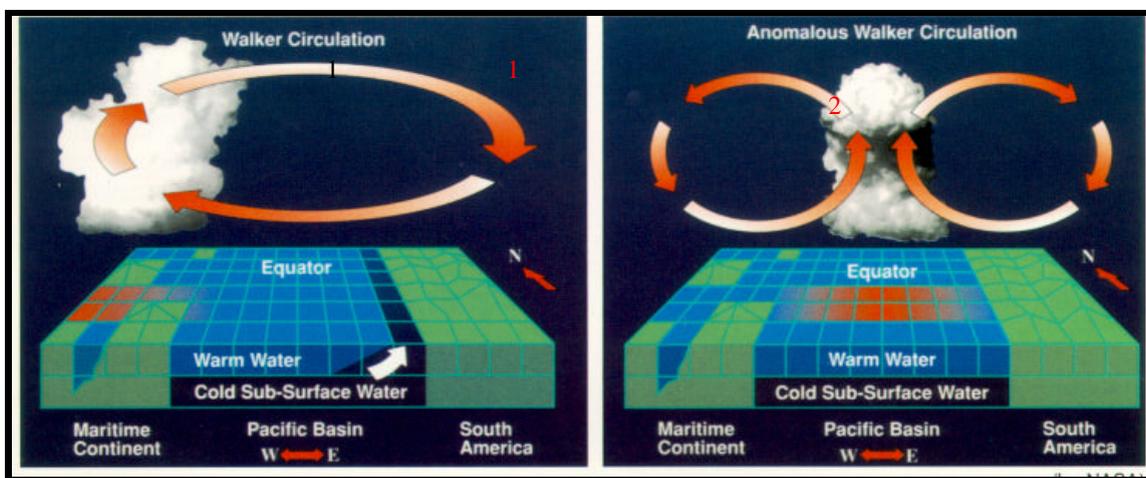


Fig. 2.1 - Diagrama esquemático da circulação de Walker para (1) anos normais 1984-85 e (2) anos de El Niño 1982-83.

FONTE: NASDA (1994, p.4).

No semi-árido do NEB, que se estende do leste do Piauí até o norte da Bahia, excluindo costa leste do NEB, o El Niño tende provocar atraso e redução da estação chuvosa, que normalmente ocorre de fevereiro a maio. Porém, vale lembrar do papel dominante que o Oceano Atlântico exerce sobre a variabilidade climática dessa região. Isto possivelmente pode suavizar ou ampliar os efeitos do El Niño.

2.3 - TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE DO MAR (TSM)

Estudos do clima terrestre requerem o entendimento das interações complexas entre o Oceano e a Atmosfera. A TSM exerce um papel fundamental nas trocas de energia entre estes meios. Pequenas mudanças na TSM podem apresentar significativas variações no acúmulo de calor pelo oceano, o que por sua vez, pode provocar grande impacto nos padrões de interação oceano-atmosfera e, conseqüentemente, nos padrões meteorológicos. As anomalias da TSM são desvios entre a TSM observada e o valor médio esperado para uma determinada área numa dada época do ano. Em estudos de modelagem e com

observações de campo já demonstraram que anomalias de TSM em macro-escala podem produzir variações significativas na circulação atmosférica (Robinson e Ward, 1989).

Os dados de TSM obtidos por satélite podem auxiliar no entendimento da dinâmica de massas d'água, por meio da visão sinótica de frentes oceânicas, durante certos períodos de tempo e de suas variabilidades. Relacionado à influência da TSM nos Oceanos Atlântico e Pacífico no regime de chuvas do período chuvoso do setor norte do NEB, vários estudos têm sido realizados. Estes estudos referem-se principalmente o acoplamento oceano-atmosfera em anos de ocorrência do evento ENOS e os padrões anômalos observados na atmosfera em várias áreas do globo. Especificamente para a região do Atlântico Tropical, Hastenrath e Heller (1977), mostraram que as chuvas de final de verão e outono austral do semi-árido nordestino estão correlacionadas com anomalias de TSM nos setores norte e sul desta região.

2.4 - CLASSIFICAÇÃO DA VEGETAÇÃO DO NEB

A forma, ou fisionomia, da vegetação é apenas um dos atributos no conceito de "tipo de vegetação", *lato sensu*. Segundo Eiten (1983), os outros atributos utilizados para definir um tipo de vegetação são: composição florística; habitat; vegetação clímax ou potencial local; e características de reflectância espectral, pertinentes a uma classificação com sensoriamento remoto, incluindo textura. Os cinco atributos de "tipo de vegetação" não são independentes. O total pluviométrico anual é um atributo de habitat, que afeta o atributo fisionomia, que, por sua vez, afeta a reflectância. Textura e drenagem do solo, são outras características de habitat que afetam a forma da vegetação e sua reflectância espectral.

No caso da cobertura vegetal do NEB, as variações intra-regionais de diversidade vegetal e da distribuição de tipos de vegetação detectadas via reflectância espectral podem revelar as respostas dos diferentes tipos de vegetação ao estresse hídrico. Deste modo, o sensoriamento remoto pode ser utilizado para verificar as previsões dos modelos climáticos. Para detectar as respostas da vegetação natural à diminuição de chuvas, ou outros efeitos ambientais, torna-se importante discriminar e quantificar, do ponto de vista dos sensores à bordo de satélites, a variabilidade natural do binômio vegetação/clima.

Uma consulta ao mapa fitogeográfico do Brasil revela nitidamente a extensão ocupada pela formação da caatinga, que cobre cerca de 37% do NEB. De acordo com Joly (1970), os maiores grupos florísticos do Brasil são: a Floresta Amazônica (40%), os Campos Cerrados (25%), a Mata Temperada (15%), a Caatinga (11%) e a Mata Atlântica (6%), estando as outras formações reunidas nos 3% restantes. Estudos de vegetação, tratam da classificação e mapeamento das formas fisionômicas de vegetação; formas de vegetação idênticas podem ocorrer em diferentes partes do mundo, tendo composições florísticas completamente diferentes.

Desta forma, o sensoriamento remoto orbital óptico representa um grande potencial de contribuição à atividades de caracterização e mapeamento da vegetação, sobretudo numa região extensa, inacessível e heterogênea como a do NEB, constituindo uma metodologia válida para aquisição de um conjunto amostral não tendencioso.

Há uma simetria entre as zonas climáticas e fitogeográficas africanas e as do NEB, tomando-se o Equador como eixo de referência. As semelhanças são grandes, especialmente sob o ponto de vista fitogeográfico; muitos gêneros são comuns a estas regiões. Mas há também diferenças, de uma maneira geral, enquanto as formações brasileiras são mais *arbóreas* que *herbáceas*. Pode-se dizer com isso que, na África, o que domina é o tipo clássico de *savanas* e de *estepes*: extensões de erva dominadas por árvores esparsas e distintas uma das outras. Ao passo que as formações do NEB são muito mais "fechadas", e a vegetação da zona semi-árida, especialmente, tem mais freqüentemente o aspecto de "Caatinga". Outra diferença, de grande importância, é que: com pluviometria igual, condições semelhantes de solos e espaçamento das árvores, o tapete herbáceo das formações africanas é muito mais denso e muito maior do que o das formações do NEB semi-árido. Por exemplo: o tapete herbáceo do NEB semi-árido tem o aspecto de uma relva e atinge apenas 1m de altura, na época de maturidade das ervas. Na África, as regiões de pluviometria idêntica apresentam savanas cujo tapete herbáceo atinge uma altura de 2 a 3m (Foury, 1973).

A vegetação da zona semi-árida é uma vegetação xerófila, isto é adaptada à seca. Esta adaptação se faz do mesmo modo que em outras regiões similares do Planeta: redução da

superfície foliar, transformação das folhas em espinhos, cutículas cerosas nas folhas etc.. Mas esta vegetação é, além do mais, organizada para suportar os longos períodos de seca, graça a constituição de reservas nutritivas e hídricas nas raízes tuberosas e xilopodias. Este fenômeno constitui uma adaptação à irregularidade da variação anual da precipitação (Eiten, 1983).

Esta vegetação xerófita constitui, sem dúvida alguma, o "clímax" da região. Apresenta diversas formas, nitidamente caracterizadas por terem recebido nomes especiais. A "*Caatinga*", palavra indígena que significa floresta branca ou floresta clara, compõe-se de uma camada arbórea de 10 a 15m de altura, com cobertura bastante densa, entretanto, não completamente fechada, em geral, depois de uma camada arbustiva de 4 a 6m de altura. A "*Caatinga*" engloba um grande número de formações e associações vegetais, fisionômica e floristicamente diferentes. Explica-se isto, em parte, considerando que as condições do meio são extremamente rigorosas de modo que a vegetação é adaptada ao máximo para poder resistir (Foury, 1973).

2.5 - O SISTEMA AVHRR/NOAA

Os satélites de órbita polar heliossíncrona da série NOAA foram primariamente projetados para o uso em previsão meteorológica, serviços de alerta hidrológica e oceanográfica, e monitoramento do espaço exterior, principalmente a atividade solar. O sistema AVHRR é um radiômetro imageador de cinco canais, sensível às porções do visível, infravermelho próximo e termal do espectro eletromagnético, por um sistema de varredura transversal "cross track" de imageamento.

Embora o propósito original destes sensores fossem o de fornecer a temperatura das nuvens, oceano e atmosfera, foram reconhecidas as suas possibilidades para monitorar a vegetação principalmente quando se introduziu a banda do visível e infravermelho próximo no NOAA-7 em junho de 1981. As suas bandas espectrais não são tão boas para a vegetação como as dos satélites Land Satellite (LANDSAT), também de órbita polar, mas a varredura dos seus sensores é direcionada mais para mapeamento em escala regional ou global, escala esta inapropriada para os últimos (Kidwell, 1991). A Tabela 2.1

descreve as principais características do sistema sensor AVHRR e dos parâmetros orbitais dos satélites NOAA.

TABELA 2.1 - CARACTERÍSTICAS ORBITAIS E DE IMAGEAMENTO DO SISTEMA SENSOR AVHRR/NOAA

CICLO DE COBERTURA	9 dias
ÂNGULO DE VARREDURA	55,4°
FAIXA DE IMAGEAMENTO	2.400km
ALTITUDE ORBITAL	833km
INCLINAÇÃO ORBITAL	98,8°
PERÍODO ORBITAL	102min
NÚMERO DE ÓRBITAS/DIA	14,1
CAMPO DE VISADA INSTÂNTANEO (IFOV)	1,4mrad
RESOLUÇÃO NO NADIR	1,1km
QUANTIZAÇÃO	10 bits

FONTE: Adaptada de Kidwell (1991, p. 1-3).

Este sistema sensor AVHRR/NOAA é composto por cinco módulos acondicionados em único equipamento.

- 1) Módulo de imageamento: composto de um motor síncrono, alojamento do motor e espelho de imageamento. O motor gira a 360rpm continuamente para produzir o imageamento transversal à órbita. O espelho (20,96cm no eixo menor e 29,46cm no eixo maior) é adequado para preencher o campo de visada de 20,32cm de diâmetro do telescópio;
- 2) Módulo de controle eletrônico: atua executando funções eletrônicas, incluindo processamento de dados, controle de temperatura, geração de telemetria, varredura e calibração;

- 3) Resfriador radiante: consiste de um alojamento de resfriamento, um radiador de primeiro estágio e uma cobertura de resfriamento. A cobertura de resfriamento sombreia a maioria da superfície do resfriador contra a radiação proveniente do meio externo. Os radiadores de primeiro e segundo estágio têm visada direta para o espaço exterior, radiando energia suficiente para que suas temperaturas de funcionamento sejam 105K;
- 4) Sistema óptico: consiste de um telescópio de 20,32cm de diâmetro de abertura combinado com um sistema óptico secundário que separa a irradiância em cinco bandas espectrais discretas; e
- 5) Estrutura de suporte: é a base onde os demais módulos encontram-se fixados.

Os detectores que são utilizados pelos canais do visível e do infravermelho próximo são fotodiodos quadrados de silício (0,254cm de lado com 99% de eficiência na coleta da radiação incidente). Os canais do infravermelho termal utilizam detectores resfriados a 105K. O detector do canal 3 é do tipo fotodiodo de Antimoneto de Índio, os canais 4 e 5, por sua vez, utilizam o fotocondutor de Telureto de Mercúrio-Cádmio. Todos estes detectores possuem $0,0173\text{cm}^2$ de área ativa.

Durante cada linha de imageamento, o sensor faz visada para o espaço exterior (irradiância zero) e um corpo interno de calibração (corpo negro quase perfeito) é mantido a temperatura de aproximadamente 290K. Este corpo interno de calibração contém 4 termômetros de resistências de platina pré-calibrados em laboratório, sendo suas leituras em nível digital incluídas no fluxo de dados. Através de curvas de calibração previamente selecionadas em laboratório, o nível digital de cada termômetro pode ser transformado em temperatura. A temperatura atribuída ao corpo interno de calibração é a média das temperaturas dos quatro termômetros. Pela determinação do sinal de saída do instrumento durante a visualização do corpo negro e do espaço exterior é possível ajustar sua reta padrão de calibração. A reta de calibração é gerada unindo-se os dois pontos correspondentes à existência do espaço exterior e a emitida pelo corpo interno de calibração. Os níveis digitais mais altos correspondem aos menores níveis de radiância e vice-versa.

Os sensores para os canais 4 e 5, ao contrário do sensor do canal 3, apresentam resposta não-linear. Para a faixa de temperatura da superfície normalmente encontrada, erros de até 1K podem ocorrer devido a este efeito (Rao et al., 1990).

Na prática, a reta de calibração do sensor AVHRR é feita para cada linha de varredura. Denotado por $M(I)$ a exitância radiante incidente nos detectores para um determinado comprimento de onda e por ND o número digital de saída, a curva de calibração é dada por:

$$M(I) = a \cdot ND + b$$

onde

" a " é a inclinação da curva e " b " o valor da intersecção desta com o eixo das ordenadas. Os valores de " b " e " a " são dados pelas seguintes expressões, determinadas pelas medidas de nível digital ND_s para a visada do espaço e do corpo interno de calibração ND_i e suas respectivas radiâncias N_s e N_i ,
 $a = (N_s - N_i) / (ND_s - ND_i)$ e $b = (N_s - a \cdot ND_s)$.

Os canais do visível (1 e 2) não são calibrados, ainda que possam fazer visada do espaço como ponto de referência (Kidwell, 1991).

Na operação normal do satélite é necessária a transmissão direta de dados AVHRR, telemetria, calibração e controle continuamente em tempo real. Esta transmissão direta em tempo real é denominada High Resolution Picture Transmission (HRPT), para dados com resolução espacial de 1,1km no nadir, ou Automatic Picture Transmission (APT) com resolução espacial de 4km. Além deste modo de transmissão, cerca de dez minutos de dados de alta resolução podem ser seletivamente gravados a bordo para posterior transmissão.

Os dados denominados Local Area Coverage (LAC) podem ser gravados sobre qualquer porção do globo, selecionada pela National Oceanic and Atmospheric Administration/ National Environmental Satellite Data and Information Service (NOAA/NESDIS),

sendo retransmitidos na mesma órbita em que são gravados, ou na órbita subsequente. Os dados LAC e HRPT têm formatos idênticos. Dados de baixa resolução (4km x 4km) de 115 minutos de varredura, também podem ser gravados e armazenados a bordo. Os dados denominados GAC contém somente uma de cada três linhas originais do AVHRR e volume de dados e resolução são posteriormente reduzidos pela média de cada quatro amostras adjacentes e omitindo a quinta amostra ao longo da linha de varredura orbital (Kidwell, 1991). Os dados Global Vegetation Index (GVI) são primeiramente “navegados” depois a precisão é truncada de 10 para 8 bits e depois compostos semanalmente. O produto GVI composto semanalmente tem alta variabilidade por causa da nebulosidade residual, sendo recomendado pelo menos duas semanas de composição. Além disso, são encontrados vários problemas de navegação GVI, erros de localização acima de 1 pixel, ou seja aproximadamente 25km, são típicos, com diferentes ajustes de navegação para diferentes continentes, sugerindo que existem erros de arredondamento nos cálculos cartográficos (Goward et al., 1993).

No trabalho de Gallo e Brown (1990), produzido pela NOAA/NESDIS ao estudar os efeitos da degradação espacial na produção do GVI observaram que as diferenças entre as resoluções LAC, GAC e GVI não foram devidas aos dados degradados e sim às divisões climáticas. Para cada área com o mesmo clima, os IVDN observados foram praticamente os mesmos, ainda que comparado em áreas homogêneas diversas como agrícolas, florestas, montanhas, rios e lagos. Dentro deste contexto, foi notado que o procedimento atual para gerar o GVI seleciona preferencialmente dados em posição de retroespalhamento em relação ao Sol, resultando em IVDN menores que os obtidos no nadir ou em uma posição adiante do Sol. Observou-se ainda neste trabalho que o pixel GVI como a média de todos os GAC, que resultou em dados com menores desvios padrões comparados com o LAC, GAC e GVI. Analisando o procedimento de composição temporal que escolhe máximo IVDN na semana, foram selecionados ângulos tanto em retroespalhamento como para a posição adiante do Sol sendo favorecida a posição adiante do Sol e ângulos próximos do nadir, os resultados evidenciaram que mais da metade dos dados resultaram diferentes de 7 em cada 12 locais quando selecionados pelo máximo IVDN ou máxima diferença de reflectâncias.

O propósito original deste sensor foi fornecer estimativa da cobertura de nuvens e medidas de temperatura da superfície. Bandas espectrais foram subsequentemente adicionadas para permitir melhor discriminação de nuvens, gelo e neve, e ainda para correção atmosférica para medidas de temperatura.

TABELA 2.2 - CANAIS ESPECTRAIS E APLICAÇÕES DO RADIÔMETRO AVHRR/NOAA

CANA L	TIROS N (μm)	NOAA 6,8 e 10 (μm)	NOAA 7, 9 11,12,14 (μm)	APLICAÇÕES
1	0,55-0,90	0,58-0,68	0,58-0,68	Mapeamento diurno de nuvens, gelo e neve.
2	0,725-1,10	0,725-1,10	0,725-1,10	Mapeamento de massas d'água, monitoramento da vegetação (combinado com o canal 1).
3	3,55-3,93	3,55-3,93	3,55-3,93	Mapeamento noturno de nuvens, TSM; detecção de queimadas e atividades vulcânicas.
4	10,5-11,5	10,5-11,5	10,3-11,3	Mapeamento diurno e noturno de nuvens, TSM, umidade do solo, atividades vulcânicas.
5	REPETE CANAL 4	REPETE CANAL 4	11,5-12,5	Mapeamento diurno e noturno de nuvens, TSM e umidade do solo.

FONTE: Adaptada de Rao et al. (1990, p.124).

As primeiras publicações que descrevem o potencial dos dados AVHRR para aplicações sobre a superfície terrestre apareceram em 1981. A natureza multitemporal dos dados tem possibilitado aos pesquisadores dedicação aos aspectos de monitoramento global e regional do sensoriamento remoto, até então impraticáveis devido à insuficiência de

imageamentos sem cobertura de nuvens e aos volumes de dados associados com a resolução espacial do sistema sensor TM/LANDSAT (Justice, 1986).

Em 1982 o Grupo de Estudos do Monitoramento e Modelamento de Inventário Global (GIMMS) da National Aeronautics and Space Administration (NASA) dedicou-se a estudos multitemporais da vegetação usando dados AVHRR/NOAA. O principal objetivo do grupo foi avaliar a utilização dos dados de satélites de baixa resolução espacial para prover informações sobre a distribuição e fenologia da vegetação.

Apesar dos canais espectrais terem sido escolhidos para proporcionar parâmetros meteorológicos, oceanográficos e hidrológicos, o sistema possui características que possibilitam estudos de monitoramento da vegetação.

O canal 1 corresponde à região visível do espectro onde há o pico de absorção da radiação pela clorofila ($0,67\mu\text{m}$), relacionando-o à atividade fotossintético da vegetação. O canal 2 encontra-se na porção do infravermelho de espectro onde a reflectância desta radiação pela vegetação é intensa. Associados, os canais 1 e 2 permitem inferir sobre a fitomassa foliar fotossinteticamente ativa na comunidade florestal (Tucker et al., 1991).

O Canal 3 corresponde ao infravermelho termal médio ($3,7\mu\text{m}$), sensível a temperatura entre -93°C a $+47^{\circ}\text{C}$. Este canal tem a particularidade de detectar a radiação térmica emitida, assim como a radiação refletida pelos alvos. É um canal que produz imagens difíceis de serem interpretadas. Kidwell (1991) o considera inutilizável, diante de grande incidência de ruídos. Entretanto, esta banda constitui uma fonte de informação interessante para monitoramento de queimadas (Setzer et al., 1992) e estudo da evolução espaço temporal da vegetação da zona tropical úmida por ser menos afetada pelo vapor d'água que os canais 4 e 5 (Laporte, 1991). A Tabela 2.2 descreve a faixa espectral de cada canal do sensor AVHRR/NOAA e suas aplicações.

Os canais 1 e 2 devem ser calibrados, usando uma correção do sensor e a intercalibração dos satélites, quando for o caso. Para a calibração dos canais visível e infravermelho

próximo, várias metodologias têm sido empregadas como as que consideram o monitoramento do brilho de alvos específicos e vôos experimentais. Rao (1993) recomenda os procedimentos de calibração que têm sido empregados pela NASA.

O sensor AVHRR à bordo dos satélites Television and Infrared Observation Satellite-N (TIROS-N), NOAA-6-8 e 10 possui 4 canais e nos satélites NOAA-7-9-11-12 e 14 possui 5 canais. Para manter o formato dos dados, o canal 4 é repetido quando apenas 4 canais estão disponíveis. Os canais 4 e 5 são os mais utilizados para estudos climatológicos e se referem à porção termal do espectro, onde a energia emitida dos alvos é detectada. Esta faixa do espectro também contribui para separar vegetação e solos.

Os horários diurnos de passagem dos satélites NOAA podem ser inconvenientes para determinadas aplicações. Para os satélites 6, 8, 10 e 12, o horário implica em baixos ângulos de iluminação solar em baixas latitudes, e para os satélites da série de números 7, 9, 11 e 14, o horário é propício à presença de cobertura nuvens convectiva.

2.6 - ÍNDICE DE VEGETAÇÃO DE DIFERENÇA NORMALIZADA (IVDN)

O canal 1 do sensor AVHRR (0,58-0,68 μ m) é a parte do espectro onde a clorofila causa considerável absorção e o canal 2 (0,725-1,1 μ m) é a parte do espectro onde a estrutura esponjosa da folha (mesófilo esponjoso) causa alta reflectância. Muitas combinações dos canais 1 e 2 têm sido propostas para obter o máximo contraste dessas propriedades para melhor caracterizar o vigor da vegetação. Muitos índices de vegetação têm sido propostos baseados na premissa de contraste espectral da reflectância entre a vegetação e os elementos de fundo na cena (Rouse et al., 1974). Estas combinações têm sido denominadas Índices de Vegetação, e compactam os dados espectrais de dois canais em um único canal. Um Índice de Vegetação ideal minimiza os efeitos variáveis de brilho de fundo enquanto enfatiza variações das medidas decorrentes da variação da densidade de vegetação.

O IVDN é dado por:

$$IVDN = (R2 - R1) / (R2 + R1)$$

onde,

R1= Reflectância medida no canal 1 do sensor AVHRR/NOAA

R2= Reflectância medida no canal 2 do sensor AVHRR/NOAA

O IVDN calculado a partir de imagens mosaicos AVHRR dos satélites NOAA compostas de vários dias tem sido utilizado para monitoramento global da vegetação porque as alterações provocadas por condições de iluminação, declividade da superfície e geometria de visada são parcialmente compensadas pelo mais alto valor de índice usado.

Em cenas com vegetação, o IVDN possui a amplitude de 0,1 a 0,6, e os maiores valores encontram-se associados a coberturas vegetais de alta densidade. Efeitos atmosféricos como espalhamento por partículas e aerossóis, espalhamento de Rayleigh, e nuvens de dimensão menores que o pixel, atuam para aumentar o valor da radiação registrada pela banda do visível em relação à banda do infravermelho próximo e reduzir o valor do Índice de Vegetação. Este efeito torna-se mais evidente em ângulos de imageamento maiores, e pode ser minimizado na elaboração de imagens mosaicos que registram os maiores valores de IVDN para os pixels da cena (Holben, 1986).

A presença de nuvens e água, normalmente estão associadas com valores baixos ou negativos. Rochas e solos possuem reflectâncias similares nas duas janelas e nestes casos o IVDN é próximo de zero. A cobertura vegetal responde com valores do IVDN variando de 0,1 a 0,6, conforme a sua arquitetura, densidade e umidade.

Pode-se reduzir os “ruídos” nas radiâncias medidas, somente aceitando medidas feitas em ângulos próximos ao nadir, porque visadas transversais implicariam numa maior camada atmosférica a ser atravessada pela radiação. A limitação do ângulo de visada em (mais ou menos 25°) foi utilizada no Inventário Global da Vegetação da África pela

National Aeronautics and Space Administration/Goddard Space Flight Center (NASA/GSFC), com uma composição temporal de 10 dias, reduzindo drasticamente a cobertura espacial, descartando grandes quantidades de informações (Gutman, 1991).

Nas regiões semi-áridas, o IVDN é altamente sensível à precipitação. Tucker et al. (1991) mostraram para a região do Sahel (África), que o coeficiente de variação do IVDN é maior justamente nas áreas onde existe a variação na posição da ZCIT. Nas regiões semi-áridas, onde o IVDN é muito pequeno, o coeficiente de variação apresentou uma sensibilidade à pequenas variações na reflectância da superfície, atmosfera e calibração dos sensores.

2.7 - IMAGEM IVDN DERIVADA DO NOAA/AVHRR/GAC

As técnicas de sensoriamento remoto aplicadas ao estudo do meio ambiente, têm sua aplicação generalizada atualmente. Têm sido utilizados para estudos ambientais os satélites de órbita polar tais como as séries de satélites NOAA, LANDSAT e SPOT, entre outros. A maior vantagem deste tipo de satélite, principalmente os da série NOAA, é a sua grande resolução temporal, obtendo dados diariamente, cobrindo todo o Globo. A cobertura diária global possibilita superar melhor a restrição do uso de imagens devido a contaminação por nuvens. Por causa da possibilidade da observação diária dos alvos com os satélites da série NOAA, pode-se explorar o grande potencial no monitoramento da evolução do vigor da cobertura vegetal numa escala regional ou global.

As séries temporais de Índice de Vegetação (IVDN), gerados com os dados dos satélites NOAA têm sido usadas para identificação e classificação da vegetação terrestre, estimativa da produção primária da vegetação, caracterização da dinâmica da vegetação, estimativa da precipitação, alerta de seca, estimativa da concentração de dióxido de carbono, e estimativa da temperatura da superfície.

O Grupo de Estudos do Monitoramento e Modelamento de Inventário Global (GIMMS) da NASA/GSFC produz imagens Índices de Vegetação derivadas de dados GAC. Os dados provenientes da NOAA são reorganizados por continente, e as informações relati-

vas aos oceanos são omitidas. Na etapa seguinte, são eliminados os dados afetados por contaminação por nuvens, espalhamento e absorção devido à atmosfera e visadas fora do nadir, com ângulos maiores que 25° (Los et al., 1994).

Os valores digitais dos canais 1 e 2 são convertidos em unidades de reflectância usando a calibração de pré-lançamento fornecida pela NOAA (a degradação do sensor não é considerada). O dado IVDN é então mapeado em blocos de 1 a 3 dias para uma projeção estereográfica. A partir de um determinado pixel, o programa de mapeamento calcula sua posição. Durante este mapeamento, a resolução é reduzida para permitir a visualização da projeção continental em uma tela de 1280 x 1024 pontos de contornos do continente e rios principais, resultando em uma imagem de resolução espacial de aproximadamente 7,6km x 7,6km.

A imagem diária pode apresentar grandes áreas com falta de informação, como resultado dos espaços entre as órbitas mapeadas, e dados eliminados durante os vários estágios do processamento. O preenchimento dos dados que faltam são feitos com a sobreposição de outras imagens diárias em composição, onde se utiliza o maior valor do IVDN do pixel no período de um mês. Isto acarreta uma redução dos efeitos atmosféricos de espalhamento e absorção, exceto absorção por ozônio, contaminação por nuvens e geometria de visada, fatores que diminuem o IVDN (Holben, 1986). O sucesso deste tipo de técnica depende da frequência de ocorrência de efeitos de cobertura de nuvens, presença de vapor d'água e aerossóis na atmosfera. Esta técnica é menos eficaz em áreas, onde um desses efeitos prevalece durante o período de composição, como por exemplo em regiões onde a cobertura de nuvens é persistente, pode-se mencionar África Equatorial e algumas regiões da Amazônia (Amapá e noroeste da Amazônia) que apresentam valores baixos de IVDN.

2.8 - EFEITOS NO IVDN

Os satélites polares da série NOAA têm ângulos zenitais de visada em cada varredura transversal à órbita do satélite de 0° até $\pm 55^\circ$ cobrindo cerca de 2.700km. Essa grande

abertura angular é responsável pela grande cobertura espacial da NOAA em menor intervalo de tempo e também pelo elevado nível de "ruído" introduzido na instrumentação devido aos efeitos atmosféricos e geométricos decorrentes. Todavia, diversos aspectos devem ser considerados na conclusão das análises como definida nos objetivos propostos neste trabalho, que podem ser observados na seqüência.

2.8.1 - CONTAMINAÇÃO POR NUVENS

Segundo Sellers e Schimel (1993), o tempo máximo de desenvolvimento das nuvens nos trópicos, é mais ou menos coincidente com a passagem vespertina dos satélites NOAA-7-9-11-14. Nuvens aparecem bastante claras nos canais 1 e 2 (reflectâncias geralmente maiores que 0,35 em ambos canais) e possuem valores negativos baixos de IVDN (-0,05 a -0,20). As nuvens têm temperaturas mais baixas que os solos, e também emitem mais efetivamente que a atmosfera limpa. Nuvens de gelo e cirrus são menos reflectivas no canal infravermelho próximo em relação ao visível, e nuvens de água são altamente reflectivas em toda a faixa do espectro solar até cerca de $5\mu\text{m}$ (Rashke et al., 1992).

As principais bandas de absorção de vapor d'água usadas para discriminação de nuvens são: 1,4; 1,9; 2,7 e $6,3\mu\text{m}$. A banda centrada em $6,3\mu\text{m}$ fornece informações importantes sobre nuvens altas, mas não é imageada pelo AVHRR/NOAA, assim como as outras acima citadas. Estas bandas seriam uma ferramenta importante na detecção de nuvens cirrus (nuvens de gelo) principalmente a banda $6,3\mu\text{m}$.

O uso de baixa resolução espacial (GAC e GVI) inevitavelmente leva à uma classificação duvidosa por não detectar a escala sub-pixel como por exemplo clareiras em florestas ou limites de áreas diferentes. Cross et al. (1991) fizeram uma classificação de florestas sujeitas a ocorrência de clareiras perto de Ariquemes (MT) usando comparativamente dados remotos de alta resolução (LANDSAT) e de baixa resolução (NOAA), separando duas categorias: florestas e não florestas (clareiras, estradas, vilas, floresta degradada). Resultados obtidos indicaram que 2/3 do pixel (LAC) deve ser coberto com

floresta para ser classificado como floresta, e que a área classificada como floresta pelo NOAA foi menor que a do LANDSAT.

A coerência espacial e/ou temporal utilizada freqüentemente em procedimento de discriminação de nuvens, baseia-se na informação que pixels contaminados por nuvens têm variância temporal maior em reflectâncias e temperaturas radiométricas do que os não contaminados. O método de coerência espacial/temporal falha nos casos em que o sistema de nuvens está em várias camadas ou as nuvens são menores que os pixels, e quando têm emissividade variável como as nuvens cirrus (Gallaudet, 1991).

2.8.2 - EFEITOS ATMOSFÉRICOS

A radiação proveniente do Sol ao atravessar a atmosfera interage com ela, resultando nos processos físicos denominados espalhamento e absorção. Define-se espalhamento como a distribuição angular do fluxo radiante ao colidir com um meio. A absorção é uma transformação termodinamicamente irreversível da energia radiante em calor. Denomina-se atenuação atmosférica à combinação destes dois efeitos. O conhecimento deste fenômeno é importante quando se pretende determinar a transmitância da atmosfera. Estes efeitos atuam de forma seletiva no espalhamento e absorção, dependendo do comprimento de onda da radiação incidente.

Os principais gases absorvedores no visível e infravermelho são o ozônio e o vapor d'água. O ozônio é encontrado fora da camada limite, na alta atmosfera, e o vapor d'água é encontrado dentro da camada limite (troposfera), sendo que ambos variam sazonalmente. Os aerossóis, vapor d'água e ozônio, são altamente variáveis temporal e espacialmente, sendo impossível fazer uma medida simultânea de tamanho e distribuição dos aerossóis da atmosfera a nível regional (King et al., 1992).

Muitos estudos reportam que os constituintes atmosféricos até 80km de altura influenciam na quantização da radiação visível, e a presença dos aerossóis modifica no sensoriamento remoto as características espectrais e a resolução dos detalhes da superfície terrestre. Para nuvens de tempestade no Equador cujo topo está a 17km, 10% da massa

atmosférica está entre o topo da nuvem e o satélite, mas para nuvens baixas e neblinas, 99% da massa atmosférica está entre o topo e o satélite (King et al., 1992).

Os aerossóis são definidos como partículas sólidas e líquidas com raio de 0,01-20 μm , que têm um papel no balanço de calor e fluxo da radiação. Os aerossóis de origem urbana têm pouca variação da sua espessura óptica com o comprimento de onda, espalhando igualmente em todos os comprimentos de onda. A espessura óptica dos aerossóis rurais tem o valor mínimo nos comprimentos de onda de 0,425 até 0,450 μm e aumenta em direção à faixa do vermelho (Bridgman, 1978). Normalmente a espessura óptica dos aerossóis aumenta a partir do nascer do Sol com o começo da convecção do ar e diminui à tarde (Bridgman, 1978). A Tabela 2.3 apresenta de uma forma simplificada a influência dos diferentes componentes da atmosfera sobre o IVDN.

A camada de ozônio é encontrada entre 20 e 30km de altura e varia diurnamente, sendo maior durante o dia quando a luz solar gera ozônio pela interação dos raios ultravioleta com o oxigênio. O vapor d'água é encontrado principalmente na parte inferior da atmosfera (troposfera), abaixo de 10km de altura. O conteúdo de vapor d'água pode variar significativamente em distâncias horizontais da ordem de 1.000km, e é geralmente muito maior no ar quente, deste modo variando com a latitude e com a estação do ano (Schumann e Waldvogel, 1987).

TABELA 2.3 - EFEITOS ATMOSFÉRICOS NA REFLECTÂNCIA NOS CANAIS 1, 2 E NO IVDN

	CANAL 1	CANAL 2
OZÔNIO	Redução na reflectância de 5 a 15%.	Nenhum efeito.
	Aumenta o IVDN de 0,00 a 0,03 para áreas com vegetação esparsa.	
ESPALHAMENTO MOLECULAR	Aumenta a reflectância de 0,02 a 0,07%.	Aumenta a reflectância de 0,005 a 0,025%.
	Redução no IVDN de 0,00 a 0,10 para áreas com vegetação densa.	
AEROSSÓIS	Apresenta a reflectância de 0,02 a 0,08% para névoa moderada e de 0,10 a 0,15% alta turbidez.	Mesmo efeito que o canal 1
	Redução no IVDN de 0,00 a 0,20 para áreas com vegetação densa	
VAPOR D'ÁGUA	Redução na reflectância de 0,0 a 0,5%.	Redução na reflectância de 10 a 30%.
	Redução no IVDN de 0,01 a 0,10 para áreas com vegetação esparsa.	

FONTE: Adaptada de Tanré et al. (1992, p.238).

2.8.3 - GEOMETRIA DE VISADA E ILUMINAÇÃO

O IVDN diário obtido pela NOAA é muito errático para ser utilizado na interpretação agrícola, e os dados têm que ser compostos pelo menos semanalmente. Mesmos nos dados com composição semanal o "ruído" pode ser maior que o acréscimo ou decréscimo

do vigor da vegetação (Dirjk et al., 1987). As mudanças do ângulo de visada e das condições atmosféricas introduzem uma componente de alta frequência de "ruído" no sinal.

O ciclo do ângulo de visada é de 9 dias (no Equador) para um alvo, e começa no máximo ângulo de retroespalhamento (-55°) do sensor AVHRR e vai até o máximo ângulo na posição adiante do Sol ($+55^\circ$). Ângulos perto do nadir ocorrem apenas em 4 dias do mês (Gutman, 1991). O período de repetição em que alvos são sensoriados pelo mesmo ângulo diminui com o aumento da latitude, e por conseguinte tem-se um aumento da probabilidade de ângulos de visada no nadir com o aumento da latitude.

Estudos de Goward et al. (1993) concluíram que o produto NOAA/GVI é defeituoso, mas algumas informações dos padrões em escala global podem ser obtidos se esses dados forem processados cuidadosamente. Os resultados apresentados nos estudos de Goward et al. (1993) foram: os dados GVI são primeiramente "navegados", depois a precisão radiométrica é truncada de 10 para 8 "bits" e depois compostos semanalmente; o produto NOAA/GAC obtém 27% da área total a ser sensoriada no nadir e 50% fora do nadir (55°), enquanto que utilizando o produto NOAA/GVI a porcentagem cai para 1% (nadir) e 35% dos dados fora do nadir, observando-se com isto praticamente a ausência de dados no nadir do produto NOAA/GVI. Foi observado também nesse trabalho que por causa do tipo de projeção, o número de GAC, mapeados para célula GVI varia de 1 até 20, dependendo da latitude e também porque as órbitas quando convergem para os pólos o número de observações coletadas por dia, por local, aumenta com a latitude, exemplificando: a 60° de latitude são coletados 3 observações por dia.

2.8.4 - OUTROS EFEITOS

Um trabalho foi desenvolvido por Smith et al. (1990), com mapas de fração da vegetação na cobertura do solo, obtidos das imagens LANDSAT no deserto da Califórnia. Conjuntamente, foram construídos através de mapas, as correlações da fração da vegetação com a altitude, temperatura do ar e da superfície, e precipitação, evapotranspiração e tipos de solos. Foram subtraídos do mapa de fração da vegetação, separadamente, cada

um dos outros mapas da correlação com os fatores acima citados. Analisando os mapas residuais para cada fator, foi concluído que no semi-árido, a vegetação é controlada primariamente pela precipitação, e a temperatura não se mostrou de maior influência na vegetação.

A variabilidade espacial dos solos, introduz "ruído" no IVDN. A característica de alta reflexão dos solos pode ser suficiente para tornar os IVDNs em diferentes regiões incompatíveis. Uma maneira de contornar este efeito foi sugerida por Huete (1987), introduzindo um fator de ajustamento de solo para os Índices de Vegetação. Rochas e solos expostos têm uma reflectância similar nas duas bandas empregadas, e o resultado é um índice IVDN próximo de zero.

A componente sazonal exerce influência na baixa produção de fitomassa foliar à proporção em que avança a estação seca, refletindo num decréscimo dos valores de IVDN em momentos de excesso hídrico para momento de déficit hídrico, representando uma condição de sazonalidade extrema para a região da *Caatinga*, a exemplo do verificado por Santos e Shimabukuro (1993) na área dos *Cerrados*.

2.9 - APLICAÇÕES DE IVDN/A VHRR/NOAA PARA ESTUDOS DA DINÂMICA DA VEGETAÇÃO

Assad et al. (1988), utilizando 70 imagens Índices de Vegetação (GVIs) semanais, realizaram levantamento para todo o Estado de Minas Gerais. O estudo comparou os valores dos Índices de Vegetação com as alturas pluviométricas de 86 estações selecionadas a partir de uma "grade" de 0,5°. As variáveis Índices de Vegetação e pluviosidade apresentaram correlação de $r = 0,77$. Os resultados mostraram que o Índice de Vegetação aumentou apenas no período posterior a um período de forte chuva, devido ao fato da cobertura vegetal necessitar de um tempo para absolver a água disponível e aumentar sua capacidade fotossintética e evapotranspirativa.

Com o uso de modelo de balanço hídrico de solos e plantas, foi estimado o déficit hídrico de plantas por Liu e Ferreira (1991), que foi correlacionado com o IVDN de cultu-

ras agrícolas no Estado de São Paulo, acumulado mensalmente, sugerindo que o IVDN provê maiores informações sobre o "status" de água na planta do que sobre a precipitação. A porcentagem de ocupação das culturas não ultrapassou 45%, tendo uma forte componente de vegetação natural. A melhor correlação com o déficit hídrico foi obtida com defasagem de 30 dias, significando que o IVDN respondeu melhor à vegetação remanescente de raízes mais profundas que não sofrem déficits hídricos em comparação com as culturas. A produtividade agrícola correlacionou bem com o IVDN subtraído do IVDN de base ("background").

Diallo et al. (1991) obtiveram uma regressão da produtividade bruta, medida no solo, de *arbustos* e *árvores* no Senegal com a série multitemporal do IVDN/AVHRR/NOAA, integrado no período de crescimento. Foi reconhecido no trabalho o potencial do AVHRR para monitoramento das pastagens no Sahel. A regressão do IVDN integrado com produção arbustiva foi de $R^2=0,59$, enquanto que com a produção total (*arbustos* e *árvores*) foi de $R^2=0,66$. Os dados de IVDN foram filtrados para nuvens e compostos temporalmente em 10 a 11 dias. A discriminação de nuvens foi feita eliminando dados de baixos valores de temperatura do canal 4 conjuntamente com baixos valores de IVDN.

Nos estudos no Sahel por Justice et al. (1991), foi observado um aumento brusco no IVDN acumulado após o fim da estação de crescimento (chuvas), maior do que a da própria estação de crescimento devido à diminuição do vapor de água atmosférico. O efeito do ar seco foi aumentar o valor do IVDN em relação ao ar mais úmido na estação de crescimento, para um alvo que não se modificou. Um aumento do vapor d'água por um fator 2 modificou o IVDN de 0,02.

Batista et al. (1993) analisaram a variação do IVDN para vários tipos de cobertura vegetal da região Norte do Brasil, e evidenciaram a separabilidade entre os diversos tipos de vegetação usando o IVDN e a variação fenológica desta vegetação em relação as estações do ano e eventos climáticos marcantes (fenômeno El Niño 1982-83). O resultado do IVDN para as amostras no cerrado, mostrou que o mesmo foi sempre distinto da *Floresta Densa Submontana*. Esta diferenciação foi mais pronunciada no período de seca,

especialmente no mês de setembro. Para as amostras de *Caatinga* houve uma grande variação nos valores do IVDN ao longo do ano, apresentando os menores valores médios durante a estação seca e os maiores valores alcançados foram quase semelhantes as amostras *Floresta Densa*.

Santos e Shimabukuro (1993), em análise multitemporal de duas classificações do cerrado (parte arbóreo e herbáceo/arbustivo) utilizando dados no padrão GAC do sensor AVHRR/NOAA, acompanharam a variação fenológica no período de janeiro a dezembro de 1990, usando o IVDN. Nos resultados encontrados verificaram que os maiores valores médios anuais de IVDN estão associados aos cerrados de maior fitomassa foliar (para porte arbóreo com 0,40) e os menores aos de menor fitomassa (para porte herbáceo/arbustivo com 0,32). O comportamento sazonal das duas classes estudadas apresentou-se semelhante ao longo do ano, com a ocorrência dos valores máximos no final da época chuvosa (maio) e valores mínimos na época seca (setembro).

Almeida (1997), analisou as correlações espaciais e temporais encontradas entre pluviometria e IVDN para o bioma do cerrado brasileiro, no período de agosto de 1981 a junho de 1991, em 234 estações pluviométricas, utilizando as imagens AVHRR/NOAA padrão GAC, como indicadores das variações sazonais (temporais) e geográficas (espaciais) da atividade fotossintética dos diferentes tipos fisionômicos do cerrado, e a pluviometria como agente natural que influi no crescimento e desenvolvimento da biomassa e por consequência nas alterações das taxas fotossintéticas. Os resultados alcançados indicaram que os valores de IVDN aumentaram no período seguinte após uma forte chuva, apresentando uma defasagem temporal entre o instante da precipitação e o tempo necessário para a absorção da água disponível pela vegetação, provocando nesta um aumento da atividade fotossintético registrado pelo aumento dos valores do IVDN. A área geográfica no cerrado foi dividida estatisticamente em dez grupos distintos, os quais apresentaram defasagens temporais "lags" individuais diferenciados, variando de um a cinco meses.

CAPÍTULO 3

MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 - ÁREA DE ESTUDO

A região Nordeste do Brasil (NEB), localizada na faixa tropical, aproximadamente entre 1°-18°S e 35°-47°W, com dimensão territorial em torno de 1.550.000km² (Figura 3.1), abrangendo os Estados da Bahia, Sergipe, Alagoas, Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte, Ceará, Piauí e Maranhão.

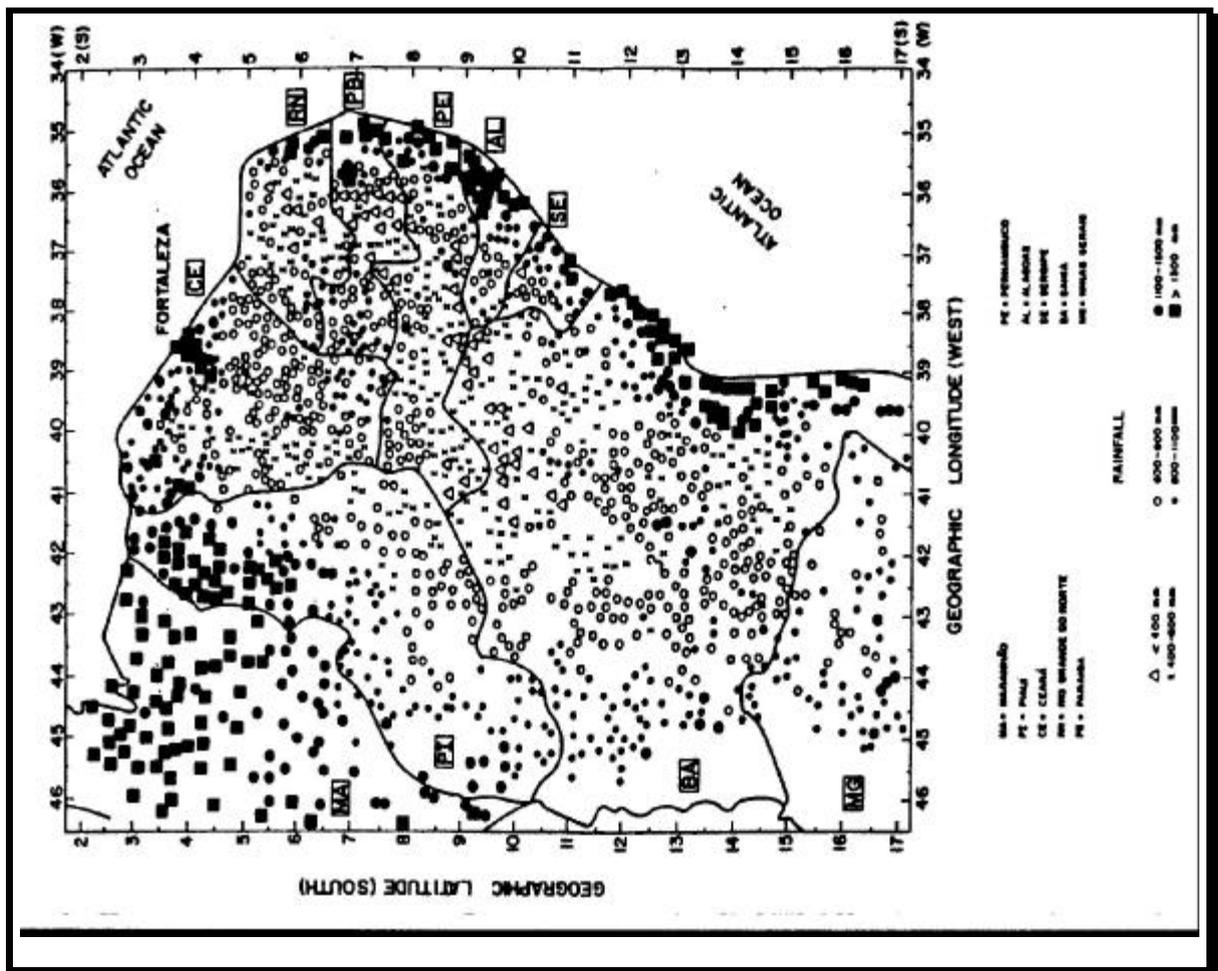


Fig. 3.1 - Região de estudo. Distribuição espacial da precipitação média anual (mm) na região Nordeste do Brasil (NEB).

FONTE: Cane e Trivedi (1990, p.325).

O Nordeste Brasileiro envolve diversos e complexos ecossistemas, conduzindo a uma grande diversidade da sua vegetação. Este complexo clima-vegetação é condicionado pela alta variabilidade espacial e temporal da pluviometria nesta região. Observa-se na Figura 3.1 que as áreas costeiras do Atlântico Leste apresentam um total de chuvas superior a 1.300mm por ano, enquanto que algumas áreas no interior não ultrapassam 400mm, o que é típico de regiões semi-áridas do Planeta. Assim como, o Sahel, Nordeste da África, Índia, entre outras.

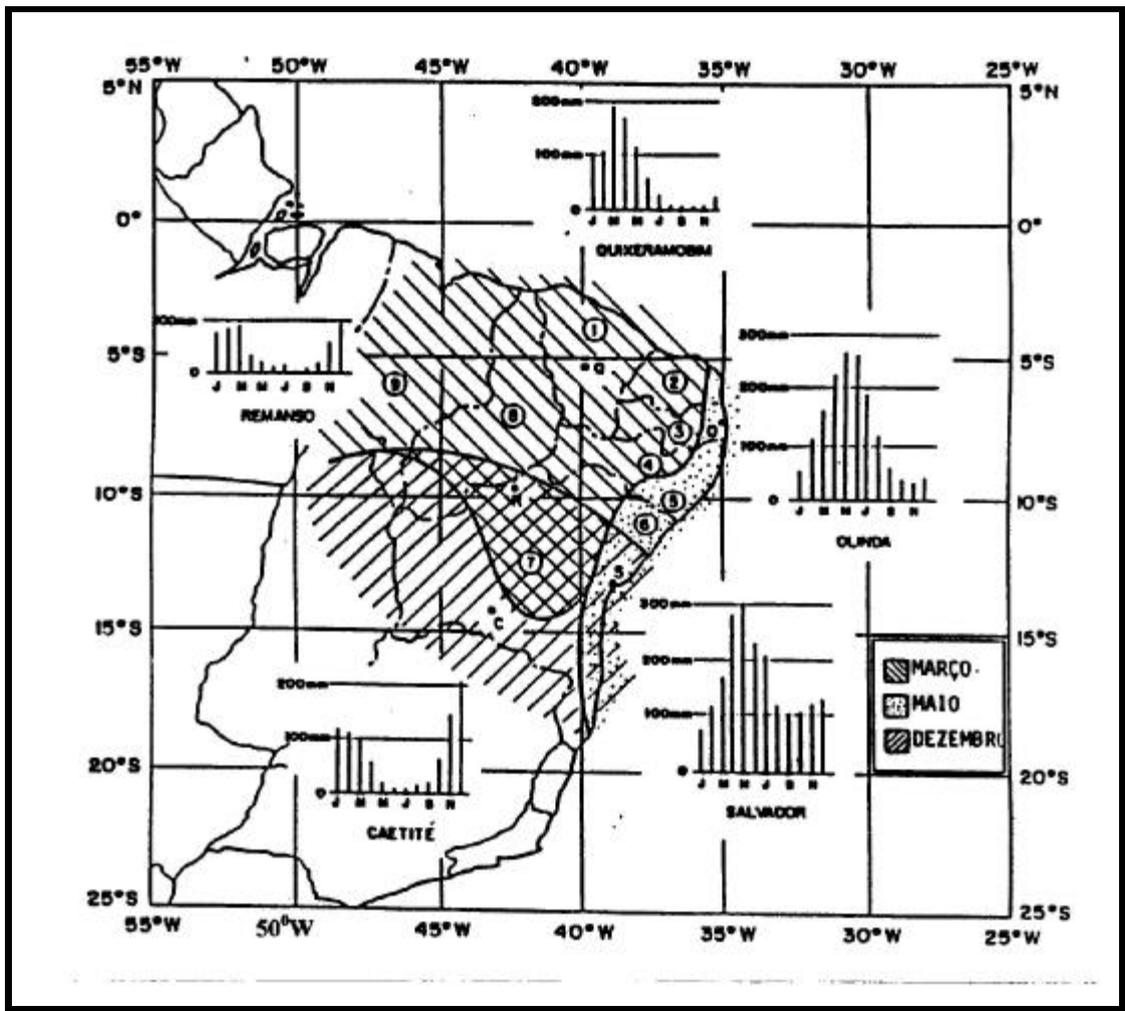


Fig. 3.2 - Região de Estudo. Regimes pluviométricos do NEB, no período 1931-60, e a precipitação máxima média mensal (mm).

FONTE: Adaptada de Kousky (1979, p. 1144).

A Figura 3.2 destaca a distribuição espacial do mês no qual a precipitação média mensal atinge o máximo e também mostra histogramas da distribuição anual da precipitação para 5 estações representativas. A existência de diferentes regimes de precipitação para regiões distintas do NEB indica que mais de um mecanismo é responsável pelas chuvas da região. A precipitação atinge um máximo mensal no setor norte da região durante março e abril (estação típica, Quixeramobim). As partes sul e sudeste do NEB recebem o maior volume de chuvas em novembro e dezembro (estação típica, Caetité), enquanto as áreas litorâneas de aproximadamente 5° a 18°S apresentam chuvas máximas entre maio e junho (estação típica, Olinda). Há algumas áreas que representam máximos secundários de precipitação, tais como as partes central e costeira do Estado da Bahia, por exemplo, Remanso, a qual é localizada em uma das partes mais secas do Nordeste, apresenta um máximo principal em dezembro e um máximo secundário em março.

Há uma gradação fisionômica da vegetação no NEB. Tal gradiente é altamente dependente da interação dos fatores ambientais, tais como: clima, solo e o relevo, e sobretudo da ação antrópica. Sendo o clima, dentre esses fatores ambientais, principalmente no que se refere à pluviosidade e sua distribuição espacial e temporal, o fator que provoca alterações mais bruscas nas regiões semi-áridas. A formação vegetal resultante das seguintes zonas climáticas, às quais correspondem igual número de formações fitogeográficas.

- 1) Uma faixa litorânea, com clima quente e úmido tropical, ou seja, com uma estação seca bem definida. O clímax dessa zona é uma vegetação *Florestal Densa*. Daí o nome "zona da mata", embora, atualmente, só restem fragmentos da floresta primitiva que a cobria inteiramente.
- 2) Uma zona de transição com clima condicionado pela altitude, designada pelo nome de "Agreste".
- 3) Uma zona semi-árida, com uma longa estação seca, coberta com vegetação xerófila, *Caatinga*.

- 4) Outra zona com clima tropical, mais úmida que a precedente e por esta razão coberta com uma vegetação mais alta, mais vigorosa e mais densa, lembrando exatamente as savanas africanas, guineenses e sudanesas, quanto ao aspecto. São os "*Campos Cerrados*" ou simplesmente "*Cerrados*".
- 5) A zona Amazônica, de clima equatorial, regularmente quente e úmida em todas as estações, com formação vegetal resultante deste clima é uma "*Floresta Ombrófila Densa*".

Há simetria entre as zonas climáticas e fitogeográficas africanas e as do NEB, tomando o Equador como o eixo de referência. À zona amazônica corresponde à região de floresta equatorial do outro continente (conjunto florestais da Costa do Marfim e do Congo). A zona dos Cerrados correspondem às regiões de savanas da Guiné e do Sudão e a zona semi-árida, à região saheliana africana. No Hemisfério Norte o deserto completo vem imediatamente após a zona saheliana, isto é devido à influência dos alíseos, ventos secos e aquecidos pela travessia do continente. No Hemisfério Sul, ao contrário, os alíseos vêm do mar e transportam umidade. Esta é a razão pelo qual não existe, na região do NEB, o deserto completo, sendo em seu lugar substituído por zonas úmidas (zona florestal litorânea e agreste). Esta anomalia é semelhante à que se encontra na costa da África, onde existe uma faixa costeira de vegetação guineense indo para o norte, até a fronteira da região saheliana.

Os solos, quanto ao seu potencial químico, em geral são tidos como férteis. Do ponto de vista físico, via de regra apresentam boa permeabilidade são bem arejados. Na superfície ocorrem, com frequência, fragmentos de rochas de tamanhos variáveis evidenciando intenso trabalho de desagregação mecânica (Ferri, 1974). No NEB não se pode deixar de fazer uma constatação; a pequena espessura dos solos e, por conseguinte sua extrema fragilidade. O risco de degradação dos solos sob efeito da erosão não apresenta em todas as partes o mesmo caráter de gravidade, mas é geral. Em toda região, as terras são exploradas sem nenhum cuidado e sem nenhuma precaução, no que diz respeito à conservação dos solos.

3.2 – MATERIAIS

3.2.1 - DADOS DE ALTURAS PLUVIOMÉTRICAS

A climatologia para o NEB, baseou-se na análise da pluviometria, parâmetro meteorológico que melhor evidencia as características das anomalias climáticas nos trópicos. Para tal, utilizaram-se séries temporais acumuladas mensais e anuais de precipitação para 1.850 postos meteorológicos do NEB, no período de janeiro de 1982 a dezembro de 1985.

Foram utilizados os totais mensais e anuais de precipitação desses postos pluviométricos, disponíveis na forma de arquivos gravados em disquetes, ou em fita magnética no Centro de Ciências e Tecnologia/Departamento de Ciências Atmosféricas/Universidade Federal da Paraíba (CCT/DCA/UFPB). Estes dados foram cedidos ao DCA da UFPB pela Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE). Constatou-se a falta de dados mensais em poucos postos pluviométricos e seu preenchimento foi estimada a partir de suas respectivas médias climatológicas. Tais séries foram consideradas confiáveis, no sentido de terem sido submetidas a contínuo e rigoroso controle de qualidade nas suas fases de aquisição e transcrição dos dados pela SUDENE e CCT/DCA/UFPB. Os postos pluviométricos possuem código de registro da estação, nome da estação, município, unidade da Federação, coordenadas geográficas, altitude e período de observação. Centro e trinta destes estão listados no Apêndice D.

3.2.2 - IMAGENS IVDN DERIVADAS DO NOAA/AVHRR/GAC

Para a execução dos objetivos propostos foram utilizadas imagens de mosaicos mensais de IVDN dos satélites NOAA/AVHRR, onde os efeitos atmosféricos são atenuados pela composição dos valores máximos (CVMs) de IVDN no período de um mês. As imagens são provenientes do arquivo do Projeto GIMMS, originárias do projeto de cooperação entre INPE e a NASA/GSFC dentro do programa EOS (Earth Observation System). Estas imagens Índices de Vegetação geradas com dados

AVHRR/NOAA/GAC/CVM foram cedidas pela Divisão de Sensoriamento Remoto/INPE.

As imagens estão organizadas em um arquivo com 10 anos de IVDN mensais da superfície da América do Sul, e correspondem ao período de agosto de 1981 a junho de 1991.

O GIMMS da NASA/GSFC produz as imagens IVDN através de dados GAC. Os dados são organizados por continente e as informações relativas aos oceanos são omitidas. São também eliminados dados afetados por contaminação de nuvens, espalhamento e absorção devido a atmosfera e visadas fora do nadir (ângulos maiores de 25^0). Esta seleção, presumivelmente, implica na determinação da cena radiométrica com melhor condição atmosférica no mês. Os procedimentos de composição temporal não garantem a obtenção de dados sem contaminação de nuvens. A composição temporal, segundo Gutman (1992) reduz os "ruídos" no sinal coletado, mas não elimina a contaminação residual de nuvens nos dados.

Os valores dos canais 1 e 2 do sensor AVHRR são convertidos em unidades de refletância usando a calibração de pré-vôo fornecida pela NOAA sem considerar a degradação do sensor. Os dados IVDN são mapeados em blocos de 1 a 3 dias para uma projeção estereográfica. Durante este mapeamento, a resolução é reduzida para permitir uma visualização da projeção continental em uma tela de 1280 x 1024 pontos. Os dados de saída são de padrão GAC remostrados, resultando em uma imagem IVDN de resolução espacial de 7,6km x 7,6km (Figura 3.3).

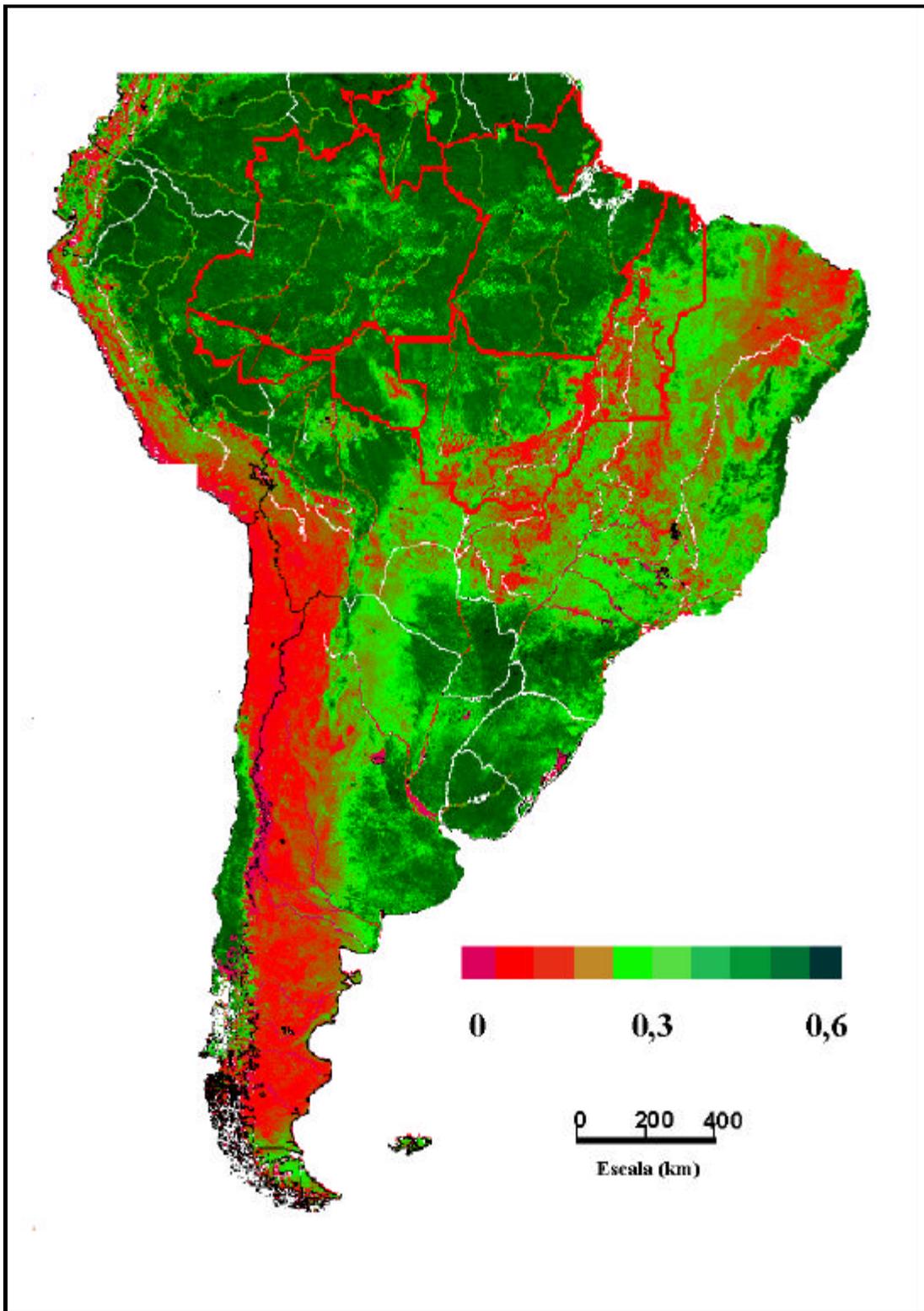


Fig. 3.3 - Imagem IVDN/AVHRR/NOAA/CVM padrão GAC processada pela NASA/GSFC, referente a julho de 1982.

3.2.3 - DADOS DE TSM

Foram utilizados dados médios mensais de TSM, provenientes, de medidas dos sensores a bordo de satélites meteorológicos, coletados por navios, e de análise em ponto de "grade" obtidos no Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE).

A série de dados de TSM disponível estende-se de janeiro de 1950 a dezembro de 1985. Os dados estão dispostos em pontos de "grade" com espaçamento longitudinal de 2^0 , selecionados para uma área compreendida entre 0^0 e 140^0W , e espaçamento latitudinal em pontos equidistantes de 2^0 para uma projeção Mercator de 20^0N a 60^0S .

Médias mensais e anomalias de TSM foram calculadas para as áreas de Niños (1+2, 3, 4, 3+4) levando-se em consideração o número de pontos de "grade" inseridos em cada área.

Na construção de séries temporais mensais de anomalias de TSM para os quatro anos de contraste (82, 83, 84 e 85), fez-se a climatologia da TSM referente a cada mês e em cada ano, utilizando-se os dados médios mensais de TSM em pontos de "grade" de $2^0 \times 2^0$ do período compreendido de 1950 a 1985, fornecidos pelo CPTEC/INPE. As anomalias mensais são desvios das médias mensais em relação à climatologia.

3.2.4 - DADOS CARTOGRÁFICOS

Para delimitação da cobertura vegetal do NEB foram utilizados os seguintes mapas: Mapa de Vegetação do Brasil (IBGE, 1993), na escala de 1:5.000.000; Mapas de Vegetação do Nordeste, as folhas topográficas SD.23, SD.24, SD.30, SC.23/24, SB.23/24, SB.24/25, Brasília, Salvador, Aracaju/Sergipe, Rio São Francisco/Aracaju, Teresina/Jaguaribe e Jaguaribe/Natal, respectivamente, na escala de 1:1.000.000. Estes materiais foram elaborados pela Divisão de Cartografia do Projeto RADAMBRASIL, mediante interpretação de mosaicos semicontrolados de imagens de radar de visada

lateral aerotransportado, levantamento de campo, aerofotos estereoscópicas e sobrevôos no período de maio a agosto de 1979.

3.3 - MÉTODOS

3.3.1 - ANÁLISES ESPACIAL E TEMPORAL DOS DADOS PONTUAIS

A análise espacial dos dados mensais colocados em forma de imagens Índice de Vegetação do satélite NOAA, e dados de pluviometria, compreendem informações de fontes distintas. Precisou-se georeferenciar informações de IVDN entre pixels próximos e precipitação para a mesma posição geográfica, no caso pixels de uma imagem e dados pontuais de postos pluviométricos. Desta forma, foi utilizado na primeira etapa o procedimento de coerência espacial, que consistiu na identificação dos postos pluviométricos, a partir das coordenadas geográficas fornecidas (latitude e longitude) dentro de imagem NOAA, e na extração do valor médio de uma janela de 3 x 3 pixels GAC.

O mapeamento só foi possível através da navegação das imagens, processo que utiliza os parâmetros dinâmicos do satélite para realizar a transformação entre os sistemas de coordenadas do satélite (linha, elemento) e da superfície terrestre (latitude, longitude). Um conjunto de subrotinas para a navegação de imagens dos satélites NOAA, foi fornecida pela NASA/GSFC (Apêndice A). Com essas subrotinas pode-se obter a partir de um par (latitude, longitude) o correspondente (linha, elemento) e vice-versa. Deve-se ressaltar que os valores de linha e elemento calculados pelas subrotinas como valores reais, são arredondados para valores inteiros, o que implica que um ponto selecionado para a montagem da grade seja na verdade o ponto mais próximo da posição terrestre (latitude, longitude) determinada previamente.

A variabilidade espacial intra-anual da pluviometria e IVDN, foi analisada através das composições de campos numéricos mensais em pontos de "grade". A ordenação e distribuição espacial dos 1.850 postos pluviométricos utilizados, e de 17.000 valores de IVDN extraídos das imagens IVDN, inicialmente foram feitas por latitude e longitude,

digitadas dentro de um arquivo "ASC". Os 1.850 postos pluviométricos estão distribuídos aleatoriamente em toda região do NEB, fez-se necessário aplicar método objetivo de interpolação. A interpolação dos dados observados nos postos pluviométricos para os pontos de "grade" torna-se importante quando se pretende aplicar análises de campos mensais, sobretudo numa região tão extensa como a do NEB, onde a densidade de rede de coleta de dados de superfície ainda é bastante irregular e em ambientes inacessíveis e heterogêneos, constituindo uma metodologia para aquisição de um conjunto amostral não tendencioso.

Para interpolar os dados de pluviometria e IVDN para pontos de "grade", utilizou-se o método de análise objetiva "passa baixa" proposto por Barnes (1964) e Doswell III (1977).

Assumindo que uma distribuição de uma determinada variável atmosférica $f(x, y)$ pode ser representada por uma Integral de Fourier, pode-se definir uma função suavizada correspondente, $g(x, y)$, que é obtida aplicando-se um filtro à função original. Como não se conhece a forma de $f(x, y)$, Barnes e Doswell III desenvolveram um método eficiente para se obter $g(x, y)$, onde um parâmetro f qualquer pode ser interpolado para o ponto de "grade", a partir da média ponderada entre as estações que rodeiam este ponto de "grade". Fazendo-se com que a mesma seja limitada à região de "grade" dando pesos diferenciados aos M dados da região. Esta média é expressa por:

$$g(x, y) = \frac{\sum_{i=1}^M W(P_i, D) f_i}{\sum_{i=1}^M W(P_i, D)} \quad (3.1)$$

Onde $W(P_i, D)$ é a função peso que depende da distância de onde foi obtido o dado em ponto de "grade" (P_i), " D " que pode ser definido como parâmetro de filtragem conforme Doswell III (1977), em função dos comprimentos de onda envolvidos na escala desejada, f_i é o valor observado (precipitação e IVDN) e $g(x, y)$ é o valor de f interpolado na "grade".

O comprimento de onda dimensional pode ser dado por $l = h \Delta s$, onde h é número de pontos de "grade", Δs é o espaçamento da "grade". A distância adimensional P' é dada por

$$P' = P^* / h \Delta s \quad (3.2)$$

E a função peso sugerida por Doswell III (1977) é dada por:

$$W(P', D) = e \left[- \left(h P' / 2D \right)^2 \right] \quad (3.3)$$

A Equação (3.3) pode também ser escrita em termos de parâmetros adimensionais introduzindo-se o parâmetro de filtragem adimensional (K) e o número de onda adimensional (K'). Com isto, a função-resposta é dada por:

$$\begin{aligned} \Gamma(k, k') &= e(-k.k'^2) \text{ como } k = D^2 \Delta s^2 \text{ e } k' = 2p / L \text{ tem-se:} \\ \Gamma(k, k') &= e \left[-D^2 \Delta s^2 (2p / L)^2 \right] \text{ ou} \\ \Gamma(k, k') &= e(-4p^2 D^2 \Delta s^2 / L^2) \end{aligned} \quad (3.4)$$

Uma das propriedades inerentes ao método de Barnes é a filtragem de comprimento de onda pequenas, ou seja altas frequências. O processo de filtragem é analisada aplicando-se a transformada de Fourier sobre a função-peso. Esta transformada é conhecida como função-resposta do filtro, e indica para um comprimento o quanto a amplitude original foi modificada após o procedimento de interpolação.

A análise de filtragem de alta frequência pode ser feita da seguinte forma: *i*) escolhe-se o número de onda K' , tal que para valores maiores deseja-se reduzir a amplitude da onda em maiores do que , por exemplo, 50%; *ii*) com esta condição, calcula-se o parâmetro D , $D = [\ln \Gamma(K, K')]^{1/2} L / 2 \Delta s p$.

A distribuição espacial dos dados de pluviometria e IVDN foi espacializada a partir de uma malha de $0,25^0$ de latitude e longitude dentro da área total do NEB. Foi utilizado um programa em linguagem FORTRAN (Apêndice C) para interpolar os dados para pontos de "grade" pelo método inicialmente descrito por Barnes (1964) e Doswell III (1977). Posteriormente, os dados foram convertidos em formato binário, com a finalidade de utilizá-los no ambiente GrADS (Grid Analysis and Display System).

De posse de todos campos numéricos espaciais utilizando o GrADS, foram determinadas as médias espaciais considerando todos os pontos de "grade" espacializados dentro da região do NEB, referentes aos parâmetros utilizados (chuva e IVDN) para cada mês e em cada ano estudado.

Para análise temporal foram selecionadas as classes de cobertura vegetal mais representativas das várias áreas descritas no mapa de vegetação do Brasil, IBGE (1993) na escala 1:5.000.000, abrangendo algumas localidades de acordo com a disponibilidade de dados de pluviometria deste trabalho e de sua distribuição espacial. Para seleção das dez áreas-teste foram usadas as coordenadas geográficas (latitude e longitude) dos postos pluviométricos do NEB, optando-se por apenas uma área antropizada.

Os procedimentos de composição temporal, compreendem um conjunto de observações $Y(t_1) \dots aY(t_n)$ tomadas e ordenadas nos instantes $t_1 \dots aY(t_n)$ no tempo. Em outras palavras, a série temporal representa a trajetória do processo físico que está sendo observado. Quando se analisa uma série temporal $Y(t)$, objetiva-se: *i*) analisar o fenômeno considerado e avaliar a adequação do modelo; *ii*) descrever o comportamento da série, verificando a existência de tendência, ciclos e variações sazonais, e *iii*) a previsão do fenômeno considerado.

Dentre os itens citados acima, apenas os três primeiros foram considerados neste trabalho. A etapa de previsão do fenômeno considerado não foi realizada. Isso, deve-se basicamente à diversidade dos sistemas atmosféricos atuantes e ao tamanho curto das séries analisadas, apenas quatro anos.

A variabilidade temporal intra-anual da pluviometria e IVDN foi analisada através da plotagem das séries temporais da precipitação acumulada mensal observada em cada localidade (estação típica) e IVDN médios mensais extraídos de uma janela 3 x 3 pixels centrada nas coordenadas das amostras previamente selecionadas. Para o estudo das séries temporais foram feitos gráficos, para as dez classes amostradas na região do NEB. Também foram feitas as médias de todas as curvas e o desvio padrão das mesmas em relação ao seu valor médio.

Visando-se o monitoramento espacial e temporal da pluviometria e IVDN, foram adotados os procedimentos abaixo para análise em pontos de "grade".

- 1) A elaboração de um algoritmo que teve como objetivo fornecer uma listagem de todos os postos pluviométricos amostrados, do conjunto de dados de precipitação acumulada mensal observada cedido pelo CCT/DCA/UFPB, indicando a seqüência hidrológica, período temporal pluviométrico amostrado (1982 a 1985), e se a mesma estava completa. Observou-se que em alguns poucos postos pluviométricos apresentaram falhas nas séries mensais, o que levou ao seu tratamento com análise estatística/meteorológica a partir de uma média climatológica.
- 2) A determinação da fisionomia da vegetação da região do NEB foi evidenciada em função das escalas, da ordem de *1:5.000.000* e *1:1.000.000*, utilizando-se como bases cartográficas mapas de vegetação. Estes materiais foram publicados pelo IBGE (1993) e Projeto RADAMBRASIL (1982), respectivamente. As informações levantadas nesta fase foram basicamente sobre a identificação e localização das 17 classes de formações.
- 3) A extração dos valores IVDN das imagens mensais da NASA/GSFC foi feita por um algoritmo (Apêndice B), calcular através dos dados das coordenadas de latitude e longitude dos postos pluviométricos amostrados, referentes a cada mês e em cada ano, no período de 1982-85, as médias espaciais de uma janela de 3 x 3

pixels centrada nas coordenadas fornecidas. Os arquivos resultantes foram convertidos em formato binário.

- 4) Os dados remotos utilizados (imagens IVDN) sofreram composição temporal de um mês, feita pela NASA/GSFC, ou seja, para cada pixel selecionado o conjunto de dados no mês apresentou a maior diferença dos canais 1 e 2 do NOAA/AVHRR-9 e 11. Este procedimento implica na seleção da informação radiométrica com melhor condição atmosférica no mês. Estes processos de composição temporal reduzem os "ruídos" no sinal coletado, mas não eliminam a contaminação residual de nuvens nos dados. Neste trabalho o teste para iniciar o procedimento de discriminação de nuvens foi feito utilizando a análise temporal, e baseia-se na informação de que pixels contaminados têm variação temporal maior em reflectâncias e valores muito baixos do que os não contaminados em relação aos valores da sua vizinhança.
- 5) A determinação das médias, desvios padrão, coeficientes de variação, valores mínimos e máximos foi feita para os 5.571 pontos de "grade", referentes a cada mês e em cada ano, utilizando o software GrADS. Foram calculados, os campos numéricos de correlação entre as variáveis precipitação e IVDN, com retardo de um mês, para todos os 5.571 pontos da "grade". Obteve-se também as séries temporais das respectivas médias espaciais mensais no intervalo 1° - 18° S e 35° - 47° W.

3.3.2 - DETERMINAÇÃO DOS CAMPOS MENSAIS DE PLUVIOSIDADE, IVDN E TSM

Foi utilizada a composição de dados mensais dos 1.850 postos interpolados em 5.571 pontos de "grade". Os valores de precipitação e IVDN nos pontos de "grade" foram determinados por médias ponderadas calculadas com base nos valores observados, usando um algoritmo do CPTEC (Apêndice C). A série de dados disponíveis estende-se de 1982 a 1985. Os dados estão dispostos em pontos de "grade" com o espaçamento longitudinal de $0,25^{\circ}$ indo de 32° a 47° W, e mesmo espaçamento latitudinal, de 1° a 18° S.

Tendo em vista que a região de estudo está localizada aproximadamente no limite dos trópicos, a utilização de coordenadas cartesianas para o cálculo da interpolação das variáveis não acarreta erro de aproximação relevante.

A interpolação dos dados observados nos postos pluviométricos para os pontos de "grade" foi feita utilizando-se a técnica proposta por Barnes (1964), onde se considerou um espaçamento da "grade" de $0,25^{\circ}$ por $0,25^{\circ}$ de latitude e longitude, respectivamente, com base nas características regionais e do espaçamento de "grade".

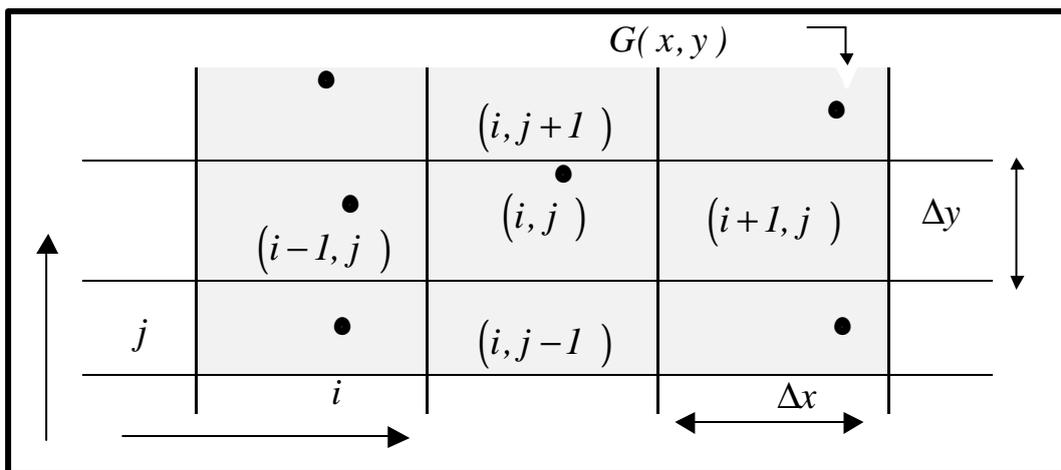


Fig. 3.4 - Representação esquemática da "grade" e da distribuição aleatória das variáveis; os círculos indicam valores pontuais de chuva e IVDN.

A interpolação das variáveis (chuva e IVDN) em pontos de "grade", $G(i, j)$, foi obtida partir de dados observacionais coletados em posições geográficas aleatórias, $G(x, y)$. Esta "grade" foi orientada no sentido oeste-leste, no eixo "x" ou das longitudes, e no sentido sul-norte, no eixo "y" ou das latitudes.

O espaçamento entre os intervalos de "grade" foi escolhido $\Delta x = \Delta y = 0,25^{\circ}$, que é comparável à distância média entre os postos pluviométricos de cerca de 30km, a representação esquemática dos pontos de observação com relação aos pontos de "grade" pode ser observada na Figura 3.4.

O Center for Ocean, Land and Atmosphere Studies (COLA) desenvolveu o GrADS para ser uma ferramenta de análise e visualização de dados de geociências. Com o uso deste sistema, que é gratuitamente distribuído via Internet para diversos tipos de estações de trabalho, desenvolveu-se no CPTEC/INPE um sistema baseado na linguagem Script do GrADS para análise e visualização de dados de previsão. Este sistema permite acionar uma seqüência de comandos armazenados em um arquivo "ASC" para o GrADS executá-la. Anomalias e médias mensais de TSM foram calculadas para as áreas de Niños, levando-se em consideração o número de pontos de "grade" inseridos em cada área (Figura 3.5).

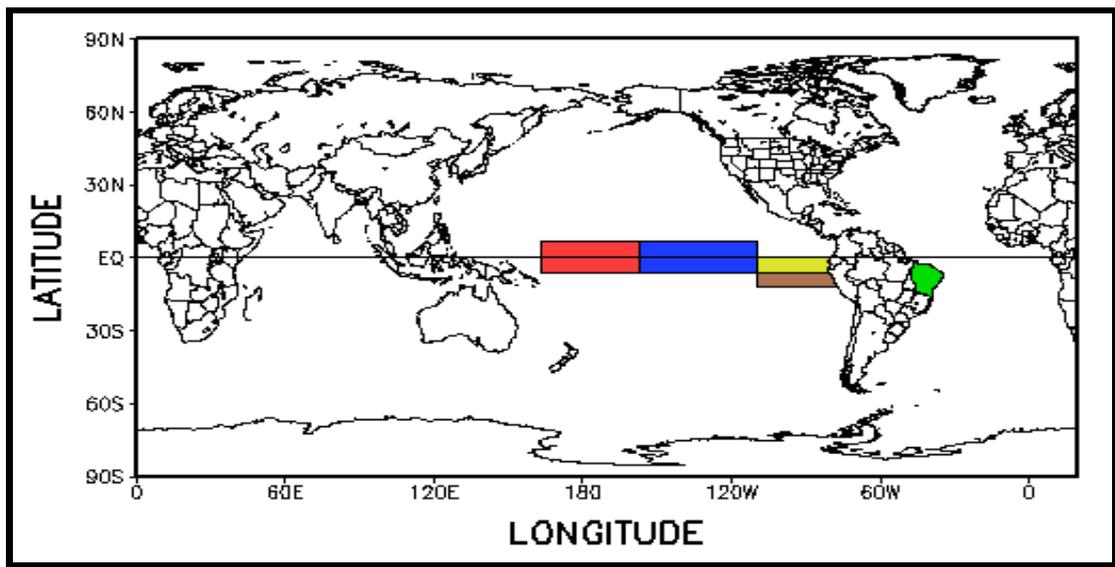


Fig. 3.5 - Localização das regiões de Niños 4, 3, 2, 1 e do NEB.

FONTE: Doty (1997, p.21).

Anomalias de TSM foram calculadas subtraindo a média de longo período (1950-85) dos valores mensais em cada ponto de "grade". Posteriormente, foi empregado o GrADS para visualização dos campos mensais de anomalias de TSM para os anos extremos seco e chuvoso (1983 e 1985).

3.3.3 – DETERMINAÇÃO DA COBERTURA VEGETAL DOS POSTOS PLUVIOMÉTRICOS

Utilizando-se o mapa de vegetação do Brasil (IBGE, 1993), na escala de *1:5.000.000*, foram identificadas as classes de coberturas vegetais mais características da região: *Estepe, Savana, Floresta Estacional Semidecidual, Floresta Estacional Decidual, Floresta Ombrófila Aberta, Floresta Ombrófila Densa, Área das Formações Pioneiras com Influência Fluvial ou Lacustre e Áreas de Tensão Ecológica*.

Os 130 postos pluviométricos selecionados para as classes de cobertura vegetal foram identificados de acordo com os mapas de vegetação do Projeto RADAMBRASIL (1982), na escala de *1:1.000.000*, através das coordenadas geográficas, como regiões isentas de qualquer ação antrópica, apenas a classe *Área Antropizada* está submetida a intenso processo de urbanização (Apêndice D).

3.3.4 – EXTRAÇÃO E MANIPULAÇÃO DOS DADOS IVDN/AVHRR/NOAA/GAC

As imagens IVDN derivadas de dados GAC/AVHRR/NOAA, correspondentes ao arquivo de 10 anos de IVDN mensais da superfície da América do Sul, originárias do grupo GIMMS, através da cooperação entre o INPE e a NASA/GSFC, foram compostas em IVDN máximo mensal a partir de dados diários de passagens ascendentes, com uma resolução nominal de 7,6km x 7,6km no Equador, mapeados para uma projeção estereográfica.

Os dados de entrada para o cálculo do IVDN pelo GIMMS foram digitais do tipo LAC, que representam uma amostra de 4 pixels LAC de 1,1km x 1,1km de resolução espacial. Os dados eliminados durante os vários estágios de processamento foram compensados com a mosaicagem das imagens diárias em composições multitemporais, ou seja com a composição de valores máximos (CVM), onde se utiliza o maior valor do pixel no período de um mês. Este arquivo contém as imagens mensais agrupadas referentes a cada mês e em cada ano para o período de agosto de 1981 a junho de 1991.

Na primeira etapa adotada para análise dos dados pontuais foi a obtenção dos dados de superfície. Foram utilizados para este fim os mapas de vegetação e os dados de precipitação mensal acumulada. Todos os pixels utilizados neste trabalho tiveram sua classificação confirmados pelos mapas de vegetação. Foram selecionados pixels representativos das várias áreas descritas nos mapas de vegetação para serem empregados na análise temporal. Foram coletados como dados orbitais 17.000 valores de IVDN para cada mês, utilizando as coordenadas geográficas dos 1.850 postos pluviométricos considerados inicialmente, antes da interpolação.

A segunda etapa feita no processo de mapeamento espacial começou com a definição da "grade" desejada dentro das imagens IVDN/AVHRR/NOAA/GAC (intervalo 1° - 18° S e 35° - 47° W). Em seguida para cada par (latitude, longitude) obteve-se a linha e o elemento na imagem. É importante ressaltar que os valores da linha e elemento calculados pelas subrotinas (Apêndice A) foram arredondados para valores inteiros, o que implica que um ponto selecionado para a montagem da "grade" seja na verdade o ponto mais próximo da posição terrestre (latitude, longitude) determinada previamente.

A terceira etapa feita foi a extração dos dados colocados em forma de imagens, a partir da localização de todos os postos pluviométricos, através das respectivas latitudes e longitudes, foi determinado a partir da média aritmética dos 9 pixels dos valores coletados nas janelas amostradas, utilizando-se o sistema IDL (Interactive Data Language). Foi desenvolvido um algoritmo em IDL (Apêndice B) que permitiu calcular a partir dos dados de linha e coluna referentes aos pontos amostrados das imagens IVDN, para cada mês e em cada ano, os valores de IVDN médios mensais de uma janela 3 x 3 pixels centrada nas coordenadas das amostras previamente selecionadas, ocupando portanto cada uma área de 520km².

O mapeamento espacial dos Índices de Vegetação só foi possível através da navegação das imagens IVDN/NOAA/GAC, utilizando os parâmetros dinâmicos do satélite para realizar a transformação entre os sistemas de coordenadas do satélite (linha, elemento) e da Terra (latitude, longitude). Um conjunto de subrotinas para a navegação de imagens dos satélites AVHRR/NOAA gravadas em fita magnética, foi fornecido pela

NASA/GSFC. Com essas subrotinas pode-se obter a partir de um par de latitude e longitude a linha e o elemento na imagem IVDN, e vice-versa.

Os dados coletados foram ordenados dentro de uma planilha eletrônica com a localização individual dos valores médios e a inclusão referencial do mês e ano atribuído a cada valor calculado. Além disso, foi estabelecida a separação do conjunto de dados correspondentes a cada posto pluviométrico individual considerado. Posteriormente, foram feitos gráficos colocando às séries temporais (precipitação e IVDN) juntas no mesmo gráfico para cada classe de cobertura vegetal classificada.

O teste do procedimento de detecção de pixels contaminados por nuvens foi feito, inicialmente, utilizando a variação do comportamento do sinal dos dados IVDN no espaço e no tempo. A análise da coerência temporal utilizada frequentemente em procedimentos de discriminação de nuvens, baseia-se na informação que pixels contaminados por nuvens têm variância temporal maior nas reflectâncias do que os não contaminados.

Com base nesses gráficos, analisou-se todas as séries temporais para cada tipo de cobertura vegetal classificada e também foram feitas médias de todas as curvas e o desvio padrão das mesmas em relação ao seu valor médio. Neste teste foi assumido que os pixels estavam contaminados por nuvens quando o desvio dos valores de IVDN da sua vizinhança (à esquerda e à direita) em relação à média total da série era superior ou inferior a três desvios padrão.

3.3.5 – ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS

Os dados de pluviometria e IVDN foram organizados em planilha eletrônica e então submetidos às análises estatísticas em aplicativos existentes para cálculos estatísticos em microcomputadores linha PC (Personal Computer). O ordenamento dos dados na planilha foi feito conjuntamente de forma alinhada e emparelhada, tendo como referencial de ajuste o mês e ano considerado para cada valor.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 - ANÁLISE TEMPORAL E RELAÇÃO ENTRE A PLUVIOSIDADE E IVDN PARA DEZ TIPOS DE VEGETAÇÃO DO NEB

Uma etapa da análise dos resultados foi a obtenção dos dados de pluviometria à superfície dos 1.850 postos do NEB, organizando-os por suas respectivas latitudes e longitudes para uso na análise dos campos numéricos. Destes postos, 130 foram inicialmente selecionados para estudo mais detalhado por estarem afastados de zonas antropizadas, destes, dez foram finalmente escolhidos para acompanhamento temporal. O Apêndice D relaciona os 130 postos com seu código, nome, município, unidade da Federação, e coordenadas geográficas; os assinalados em negrito foram os dez preferenciais, devido a fatores como séries mais longas e completas de dados, ausência de contaminação por nuvens nas imagens IVDN correspondentes, localização em região de vegetação e topografia homogêneas.

Estes dez postos representam também, em princípio, coberturas vegetais distintas tomando-se como base de informações os mapas "fitogeográficos" nas escalas 1:5.000.000 e 1:1.000.000, respectivamente publicados pelo IBGE (1993) e Projeto RADAMBRASIL (1982). A Tabela 4.1 apresenta as classes de vegetação definidas juntamente com a quantidade dos 130 postos encontrados em cada uma delas; em negrito estão destacadas as dez classes estudadas neste trabalho.

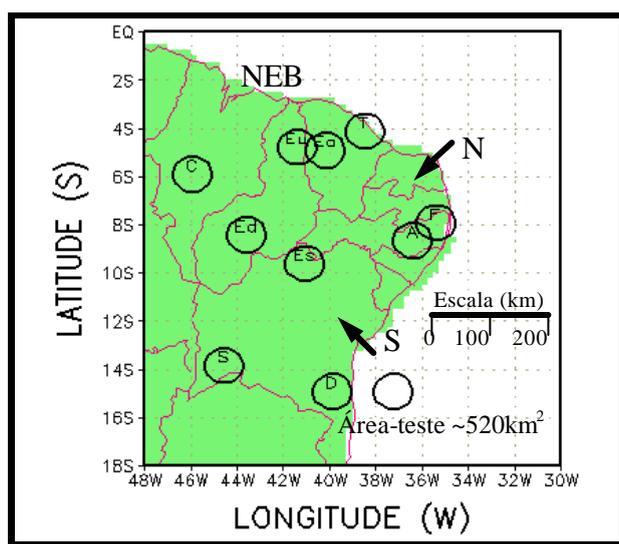


Fig. 4.0 - Distribuição espacial das áreas-teste selecionadas no NEB.

TABELA 4.1 - CLASSIFICAÇÃO DA VEGETAÇÃO PREDOMINANTE NO NEB E O NÚMERO DE POSTOS PLUVIOMÉTRICOS EM CADA FORMAÇÃO

CLASSES DE COBERTURA VEGETAL PREDOMINANTE		Nº POSTOS
<i>Ea</i>	<i>Caatinga Arbórea Aberta</i>	44
<i>Ed</i>	<i>Caatinga Arbórea Densa</i>	19
<i>Eu</i>	<i>Caatinga Arbustiva Aberta</i>	05
<i>Es</i>	<i>Caatinga Arbustiva Densa</i>	03
<i>F</i>	<i>Floresta Estacional Semidecidual</i>	10
<i>D</i>	<i>Floresta Ombrófila Densa (Veg. Secundária)</i>	05
<i>A</i>	<i>Floresta Ombrófila Aberta (Veg. Secundária)</i>	02
<i>C</i>	<i>Floresta Estacional Decidual</i>	03
<i>S</i>	<i>Cerrado</i>	22
<i>Ap</i>	<i>Pastagem</i>	08
<i>En</i>	<i>Área de Tensão Ecológica (Caatinga-Floresta Estacional)</i>	01
<i>Sn</i>	<i>Área de Tensão Ecológica (Cerrado-Floresta Estacional)</i>	01
<i>Sa</i>	<i>Área de Tensão Ecológica (Cerrado-Estepe)</i>	03
<i>Pa</i>	<i>Área de Formações Pioneiras (Veg.C/ Influência Pluvial)</i>	01
<i>Ac</i>	<i>Área de Tensão Ecológica (Caatinga-Agricultura)</i>	01
<i>On</i>	<i>Área de Tensão Ecológica (Ombrófila- Estacional)</i>	01
<i>T</i>	<i>Área Antropizada</i>	01
TOTAL		130

Um quadrado de nove pixels IVDN centrado em cada um dos dez postos foi selecionado, e a média mensal de seus valores usada nas análises. Como cada pixel representa cerca de 57,8km², cada conjunto equivale a ~520km² e desta forma constitui-se numa amostra mais característica da região, além de garantir navegação geográfica adequada da imagem.

Cabe lembrar que os mapas de vegetação usados apresentam discordância entre si, em particular pelo fato da base do Projeto Radambrasil (1982) decorrer de levantamento da década de 1970, enquanto que o mapa do IBGE (1993) indica uma possível reconstituição da distribuição de vegetação no início do século XVI.

A perturbação causada pelo El Niño além das variações normais, foi marcante nas diversas classes de cobertura vegetal, e em particular nas formas arbóreas e arbustivas: *Caatinga Arbórea Aberta*, *Caatinga Arbórea Densa*, *Caatinga Arbustiva Aberta* e *Caatinga Arbustiva Densa*. O ano de 1985 foi extremamente chuvoso enquanto 1983 foi extremamente seco devido ao evento ENOS, nos quatro anos estudados pode-se observar que o traçado dos gráficos que os valores IVDN foram mais altos para 1985 do que para 1983 e que existe uma tendência de crescimento no período chuvoso, mesmo no ano extremamente seco. De maneira geral observou-se grande variabilidade anual de precipitação nos dados, confirmando o conceito que no NEB o problema da seca é na verdade de má distribuição da precipitação; esta condição decorre da irregularidade na cobertura espaço/temporal pelos sistemas meteorológicos sinóticos causadores de chuvas. Os dados confirmaram também que ocorrem duas épocas distintas, sendo uma chuvosa, de janeiro a maio, *Verão e Outono*, e outra seca, de julho a setembro, *Inverno e Primavera*, associadas à sazonalidade climática na distribuição pluviométrica. A distribuição espacial das áreas-teste selecionadas é visualizada na Figura 4.0.

4.1.1 - CAATINGA ARBÓREA ABERTA (Ea)

A Figura 4.1 apresenta a evolução temporal do IVDN e da pluviosidade, referentes a cada mês do período estudado para o posto de Catunda, CE, onde prevalece a *Caatinga Arbórea Aberta*. Pode-se observar a periodicidade de caráter sazonal bem definida das variáveis analisadas, demonstrando tendência de crescimento do IVDN nos períodos chuvosos, mesmo nos anos secos de 1982-83.

No período 1982-85, a precipitação total teve média anual de 897,2mm, desvio padrão 131,4mm e coeficiente de variação 175,7%. Os dados da Figura 4.1 indicam que ao longo da série estudada, a máxima precipitação total mensal ocorreu em abril/85 com 639,7mm, enquanto a mínima foi de 0mm nos meses de maio a julho/83, em agosto de 82, 83, 84, e 85, em setembro de 82, 83, 84, e 85, em outubro de 83, 84, e 85, em novembro de 82, 83, 84, e 85, e em dezembro de 82 e 83. O período chuvoso de janeiro a maio de 1983 teve menos precipitação, que ocorreu apenas até abril. O total acumulado médio sazonal do período de janeiro a maio dos quatro anos de contraste foi 782,5mm, com cerca de 87% concentrados na estação chuvosa, e os 13% restantes distribuídos na estação seca.

Quanto ao IVDN nos anos secos de 1982-83, foi evidenciado que esta localidade apresenta nível superior a 0,4 somente em 4 meses de tendência úmida, março a junho de 82, em consequência da maior duração das estações secas entre 1982 e 83. Para os anos chuvosos de 1984-85 observou-se um conjunto de 12 meses, abril a agosto de 84 e fevereiro a setembro de 85, com IVDN superior à 0,4, em resposta ao aumento de chuvas, resultando em maior umidade do solo nas estações chuvosas.

A partir desta série temporal foram obtidos o valor máximo do índice mensal, 0,56, ocorrido em maio/85, enquanto o mínimo foi 0,05 em janeiro/84. É importante ressaltar que no período de maio/83 a janeiro /84 a precipitação acumulada foi apenas 13mm, devendo tal

fato estar associado ao El Niño de 1983. Em relação ao valor médio da série estudada, o IVDN foi de 0,29, o desvio padrão 0,17 e o coeficiente de variação 59%.

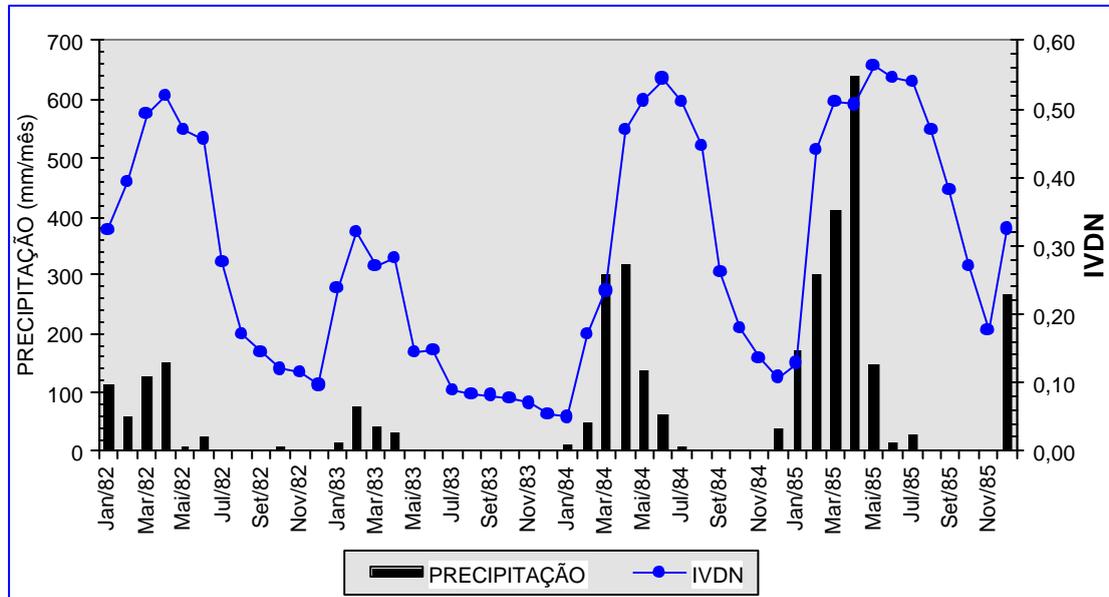


Fig. 4.1 - Evolução temporal do IVDN (linha) e da pluviosidade (barra) do posto pluviométrico Catunda (CE) no período 1982-85.

4.1.2 - CAATINGA ARBÓREA DENSA (Ed)

A Figura 4.2 apresenta a evolução temporal do IVDN e da pluviosidade, referentes a cada mês do período estudado para o posto de Puca, PI, onde prevalece a *Caatinga Arbórea Densa*. Pode-se observar a periodicidade de caráter sazonal bem definida das variáveis analisadas, demonstrando tendência de crescimento do IVDN nos períodos chuvosos, mesmo nos anos secos de 1982-83.

No período 1982-85, a precipitação total teve média anual de 770,9mm, desvio padrão 104,2mm e coeficiente de variação 61,6%. Os dados da Figura 4.2 indicam que ao longo da série estudada, a máxima precipitação acumulada mensal ocorreu em dezembro/85 com 316,8mm, enquanto a mínima foi de 0mm nos meses de maio a abril/83, em maio de 82, 83, 84, e 85, em setembro de 82, 83, 84, e 85, em outubro de 83, 84, e 85, em novembro de

82, 83, e 84, em junho de 82, 83, e 84, em julho 82, 83, e 84, em agosto 82, 84, e 85 e em setembro/82. O período chuvoso de janeiro a maio de 1983 teve menos precipitação, que ocorreu apenas até abril. O total acumulado médio sazonal do período de janeiro a maio dos quatro anos de contraste foi 490,7mm, com cerca de 64% concentrados na estação chuvosa, e os 36% restantes distribuídos na estação seca.

Quanto ao IVDN nos anos secos de 1982-83, foi evidenciado que esta localidade apresenta nível superior a 0,4 somente em 8 meses de tendência úmida, janeiro de 82, março e abril de 82-83, maio/82 e dezembro/83, em consequência da maior duração das estações secas entre 1982 e 83. Para os anos chuvosos de 1984-85 observou-se um conjunto de 16 meses, janeiro a junho de 84, janeiro a agosto de 85, novembro e dezembro de 85, com IVDN superior à 0,4, em resposta ao aumento de chuvas, resultando em maior umidade do solo nas estações chuvosas.

A partir desta série temporal foram obtidos o valor máximo do índice mensal, 0,6, ocorrido em novembro/85, enquanto o mínimo foi 0,15 em outubro/83. É importante ressaltar que no período de abril/83 a outubro/83 a precipitação acumulada foi apenas 15,5mm, devendo tal fato estar associado ao El Niño de 1983. Em relação ao valor médio da série estudada, o IVDN foi de 0,44, o desvio padrão 0,14 e o coeficiente de variação 32%.

Analisando os meses chuvosos para o ano de 1983, nota-se que mesmo com a redução da precipitação, o IVDN manteve-se com crescimento elevado para tal período, embora mais susceptível a variabilidade mensal da precipitação. Isto demonstra claramente que as condições secas tendem a ser mais favoráveis a discriminação de pequenas diferenças entre os diversos tipos de *Caatinga*. A época chuvosa, com pequenas variações, provoca uniformidade das respostas espectrais, dificultando a discriminação das diferentes topologia.

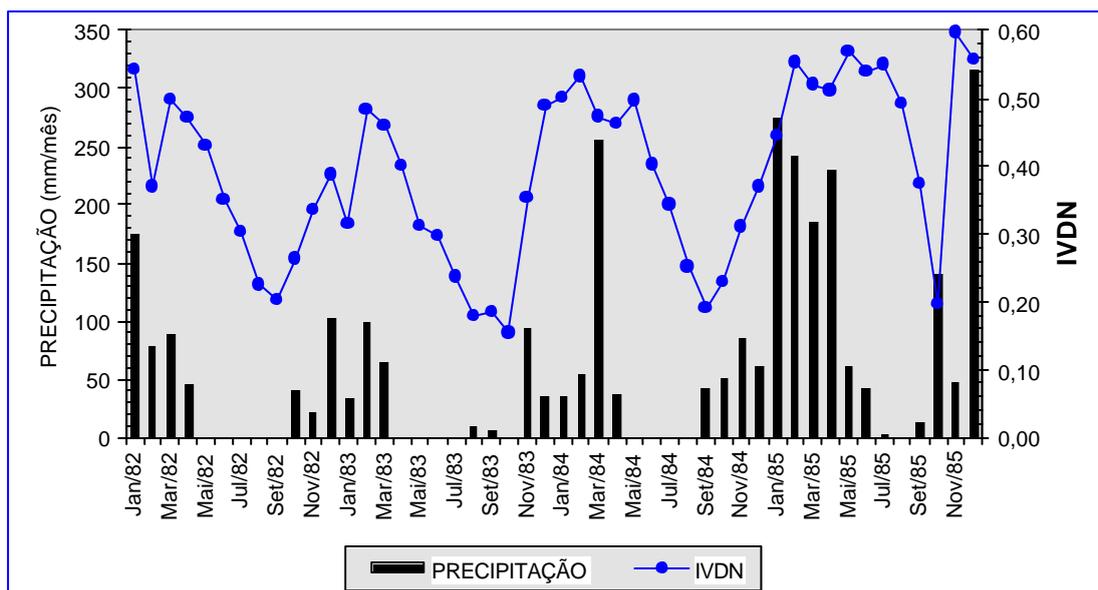


Fig. 4.2 - Evolução temporal do IVDN (linha) e da pluviosidade (barra) do posto pluviométrico Puca (PI) no período 1982-85.

4.1.3 - CAATINGA ARBUSTIVA ABERTA (Eu)

A Figura 4.3 apresenta a evolução temporal do IVDN e da pluviosidade, referentes a cada mês do período estudado para o posto de Pedro II, PI, onde prevalece a *Caatinga Arbustiva Aberta*. Pode-se observar a periodicidade de caráter sazonal bem definida das variáveis analisadas, demonstrando tendência de crescimento do IVDN nos períodos chuvosos, mesmo nos anos secos de 1982-83.

No período 1982-85, a precipitação total teve média anual de 1.694,4mm, desvio padrão 217,9mm e coeficiente de variação 154,3%. Os dados da Figura 4.2 indicam que ao longo da série estudada, a máxima precipitação acumulada mensal ocorreu em fevereiro/85 com 826,3mm, enquanto a mínima foi de 0mm nos meses de maio/82, em junho de 82, e 83, em julho de 82, 83, e 84, em agosto de 82, 83, 84, e 85, em setembro de 82, 83, 84, e 85, em outubro de 83, 84, e 85 em novembro de 83, e 85, e em dezembro/83. O período chuvoso de janeiro a maio de 1983 teve menos precipitação, que ocorreu apenas até abril. O total acumulado médio sazonal do período de janeiro a maio dos quatro anos de contraste foi

1.561,4mm, com cerca de 92% concentrados na estação chuvosa, e os 8% restantes distribuídos na estação seca.

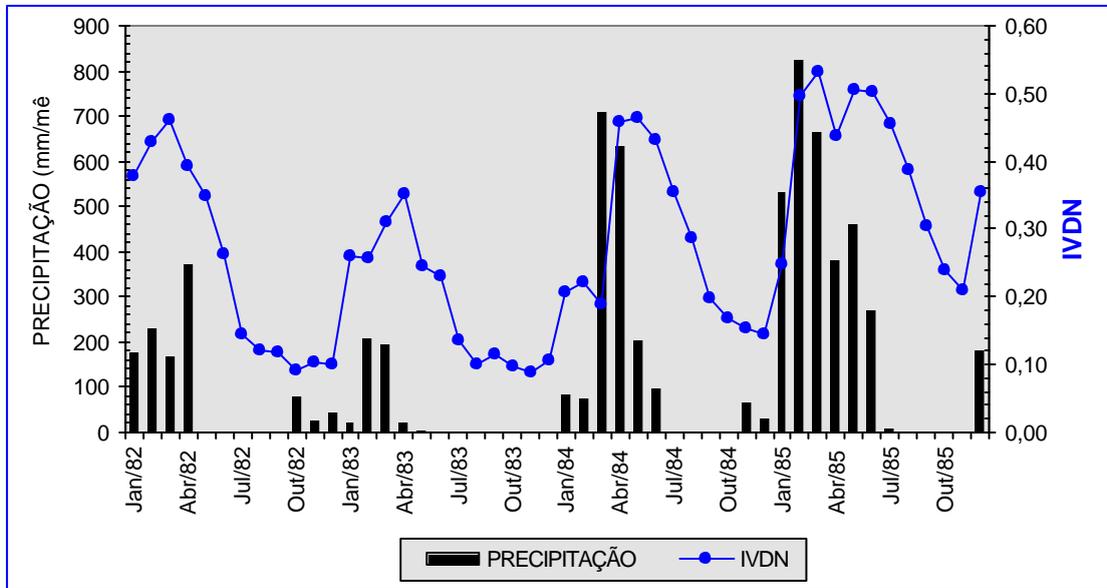


Fig. 4.3 - Evolução temporal do IVDN (linha) e da pluviosidade (barra) do posto pluviométrico PedroII (PI) no período 1982-85.

Quanto ao IVDN nos anos secos de 1982-83, foi evidenciado que esta localidade apresenta nível superior a 0,4 somente em 2 meses de tendência úmida, fevereiro e março de 82, em consequência da maior duração das estações secas entre 1982 e 83. Para os anos chuvosos de 1984-85 observou-se um conjunto de 9 meses, abril a junho de 84 e fevereiro a junho de 85, com IVDN superior à 0,4, em resposta ao aumento de chuvas, resultando em maior umidade do solo nas estações chuvosas.

A partir desta série temporal foram obtidos o valor máximo do índice mensal, 0,53, ocorrido em março/85, enquanto o mínimo foi 0,09 em novembro/83. É importante ressaltar que no período de abril/83 a dezembro/83 a precipitação acumulada foi apenas 25,4mm, devendo tal fato estar associado ao El Niño de 1983. Em relação ao valor médio da série estudada, o IVDN foi de 0,28, o desvio padrão 0,14 e o coeficiente de variação 50,2%.

4.1.4 - CAATINGA ARBUSTIVA DENSA (Es)

A Figura 4.4 apresenta a evolução temporal do IVDN e da pluviosidade, referentes a cada mês do período estudado para o posto de Casa Nova, BA, onde prevalece a *Caatinga Arbustiva Densa*. Pode-se observar a periodicidade de caráter sazonal bem definida das variáveis analisadas, demonstrando tendência de crescimento do IVDN nos períodos chuvosos, mesmo nos anos secos de 1982-83.

No período 1982-85, a precipitação total teve média anual de 582,7mm, desvio padrão 77,7mm e coeficiente de variação 160%. Os dados da Figura 4.4 indicam que ao longo da série estudada, a máxima precipitação acumulada mensal ocorreu em janeiro/85 com 451,1mm, enquanto a mínima foi de 0mm nos meses de abril/83, em maio 82, e 83, em junho 82, 83, e 84, em julho 82, 84, e 85, em agosto 82, 83, e 84, em setembro 82, 83, 84, e 85, em outubro 82, e 83 e em novembro/82. O total acumulado médio sazonal do período de janeiro a maio dos quatro anos de contraste foi 451,1mm, com cerca de 77% concentrados na estação chuvosa, e os 23% restantes distribuídos na estação seca.

Quanto ao IVDN nos anos secos de 1982/83, foi evidenciado que esta localidade apresenta nível superior a 0,4 somente em 1 mês de tendência úmida, janeiro de 82, em consequência da maior duração das estações secas entre 1982 e 83. Para os anos chuvosos de 1984-85 observou-se um conjunto de 6 meses, janeiro a junho de 85, com IVDN superior à 0,4, em resposta ao aumento de chuvas, resultando em maior umidade do solo nas estações chuvosas.

A partir desta série temporal foram obtidos o valor máximo do índice mensal, 0,48, ocorrido em fevereiro/85, enquanto o mínimo foi 0,06 em outubro/84. Em relação ao valor médio da série estudada, o IVDN foi 0,24, o coeficiente de variação 49,4% e o desvio padrão 0,12.

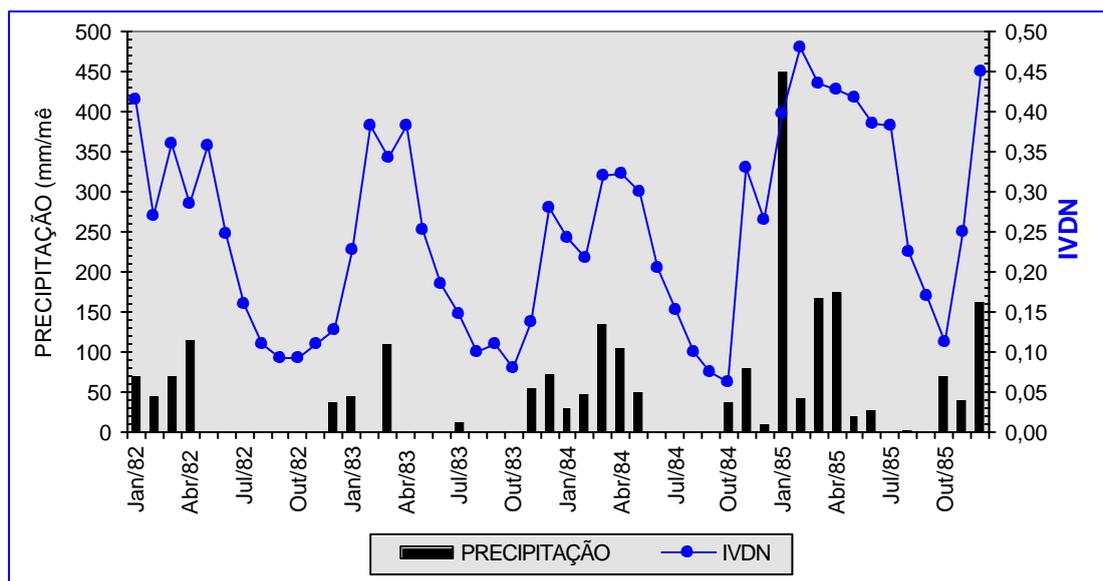


Fig. 4.4 - Evolução temporal do IVDN (linha) e da pluviosidade (barra) do posto pluviométrico Casa Nova (BA) no período 1982-85.

Observa-se também que após período de intensa precipitação, o IVDN aumentou no período seguinte, uma vez que este seria o tempo necessário para a *Caatinga Arbustiva Densa* absorver a água disponível e aumentar sua capacidade fotossintético e evapotranspirativa.

Porém, no ano de 1984, pelo contrário, os IVDNs nos meses mais chuvosos não atingiram valores elevados. Verifica-se que o perfil temporal mensal apresenta moderada variabilidade ao longo do ano, quando comparado com o ano de 1985, identificando-se um ciclo anual semelhante ao ano extremamente seco de 1983.

4.1.5 - CERRADO (S)

A Figura 4.5 apresenta a evolução temporal do IVDN e da pluviosidade, referentes a cada mês do período estudado para o posto de Correntina, BA, onde prevalece o *Cerrado*. Pode-se observar a periodicidade de caráter sazonal bem definida das variáveis analisadas,

demonstrando tendência de crescimento do IVDN nos períodos chuvosos, mesmo nos anos secos de 1982-83.

No período 1982-85, a precipitação total teve média anual de 983,5mm, desvio padrão 107,4mm e coeficiente de variação 131%. Os dados da Figura 4.5 indicam que ao longo da série estudada, a máxima precipitação acumulada mensal ocorreu em janeiro/85 com 507,3mm, enquanto a mínima foi de 0mm nos meses de maio 83, e 85, em junho 82, 83, 84, e 85, em julho 82, 83, e 85, em agosto 83 e em setembro/83. O total acumulado médio sazonal do período de janeiro a maio dos quatro anos de contraste foi 500,6mm, com cerca de 51% concentrados na estação chuvosa, e os 49% restantes distribuídos na estação seca.

A partir desta série temporal foram obtidos o valor máximo do índice mensal, 0,54, ocorrido em fevereiro/85, enquanto o mínimo foi 0,17 em setembro/84. Em relação ao valor médio da série estudada, o IVDN foi de 0,38, o coeficiente de variação 21,1% e o desvio padrão 0,08.

Quanto ao IVDN nos anos secos de 1982-83, foi evidenciado que esta localidade apresenta nível superior a 0,4 em 12 meses com tendência úmida, janeiro a maio de 82, janeiro a maio de 83, novembro e dezembro de 83. Para os anos chuvosos de 1984-85 observou-se um conjunto de 13 meses, janeiro a maio de 84, dezembro a maio de 85, novembro e dezembro de 85, com IVDN superior à 0,4.

Observa-se ainda na Figura 4.5 que o comportamento no mês de janeiro de 1985 apresenta o IVDN com 0,41 e a precipitação 507,3mm. Comparativamente, no mês de fevereiro do mesmo ano, o IVDN foi 0,54 e a precipitação 90,1mm, com aumento significativo no valor de IVDN, em torno de 24%. Isto pode ser explicado pela máxima atividade fotossintética e evapotranspirativa do *Cerrado*.

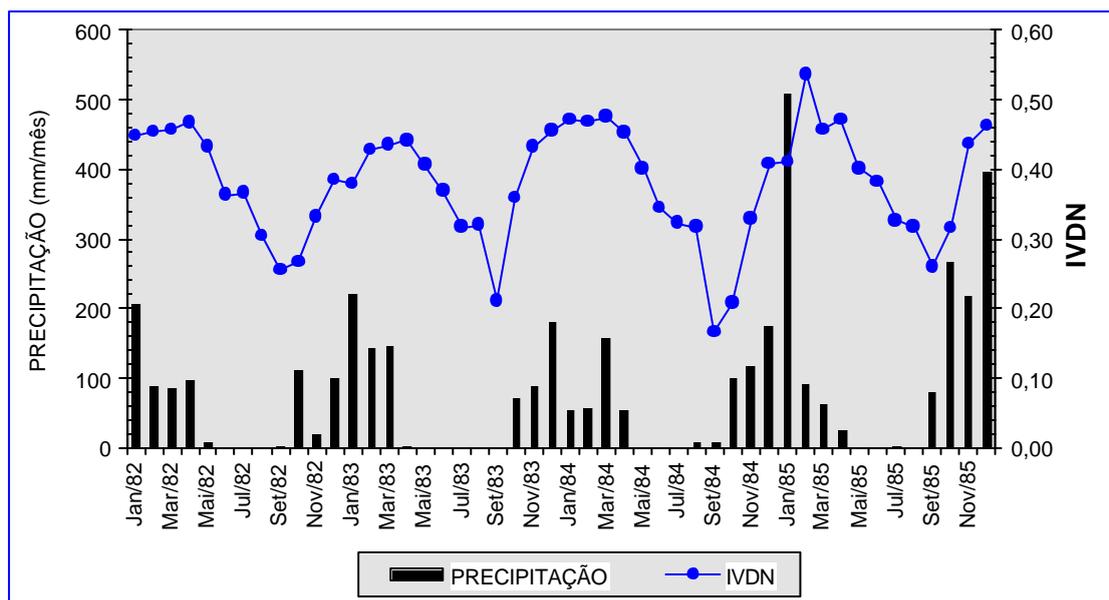


Fig. 4.5 - Evolução temporal do IVDN (linha) e da pluviosidade (barra) do posto pluviométrico Correntina (BA) no período 1982-85.

4.1.6 - FLORESTA ESTACIONAL SEMIDECIDUAL (F)

A Figura 4.6 apresenta a evolução temporal do IVDN e da pluviosidade, referentes a cada mês do período estudado para o posto de Macaparana, BA, onde prevalece a *Floresta Estacional Semidecidual*. Pode-se observar a periodicidade de caráter sazonal bem definida das variáveis analisadas, demonstrando tendência de crescimento do IVDN nos períodos chuvosos, mesmo nos anos secos de 1982-83.

No período 1982-85, a precipitação total teve média anual de 1.103,6mm, desvio padrão 77,2mm e coeficiente de variação 91,4%. Os dados da Figura 4.6 indicam que ao longo da série estudada, a máxima precipitação acumulada mensal ocorreu em março/85 com 307mm, enquanto a mínima foi de 0mm nos meses de maio de 83 e 85, em junho de 82, 83, 84 e 85, em julho de 82, 83 e 85, em agosto/83 e em setembro/83. O total acumulado médio sazonal do período de janeiro a maio dos quatro anos de contraste foi 561mm, com cerca de 55% concentrados na estação chuvosa, e os 45% restantes distribuídos na estação seca.

Quanto ao IVDN nos anos secos de 1982-83, foi evidenciado que esta localidade apresenta nível superior a 0,4 em 13 meses de tendência úmida, março a setembro de 82, março a agosto de 83. Para os anos chuvosos de 1984-85 observou-se um conjunto de 14 meses, maio a outubro de 84 e março a outubro de 85, com IVDN superior à 0,4. Em relação ao valor médio da série estudada, o IVDN foi de 0,39, o desvio padrão 0,08 e o coeficiente de variação 19,8%.

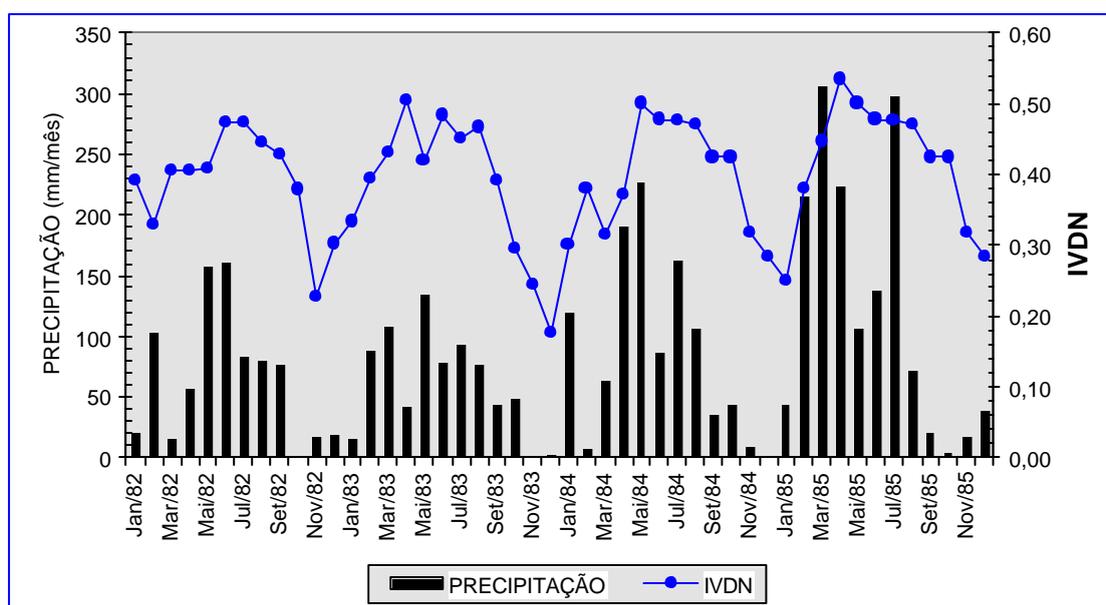


Fig. 4.6 - Evolução temporal do IVDN (linha) e da pluviosidade (barra) do posto pluviométrico Macaparana (BA) no período 1982-85.

Em relação aos dados de IVDN e pluviometria, verificou-se através da evolução do IVDN em 1982-85 um perfil semelhante, mesmo nos anos muito secos de 1982-83. Nestes anos, observou-se que os valores de IVDN, apresentam uma tendência de crescimento nos meses chuvosos, alcançando valores elevados de 0,50 decrescendo nos meses secos para 0,18. Para os anos chuvosos de 1984-85 os valores de IVDN alcançaram nos meses mais chuvosos 0,53, e nos meses mais secos decresceram a 0,25, conforme a Figura 4.6.

4.1.7 - FLORESTA ESTACIONAL DECIDUAL (C)

A Figura 4.7 apresenta a evolução temporal do IVDN e da pluviosidade, referentes a cada mês do período estudado para o posto de Imperatriz, MA, onde prevalece a *Floresta Estacional Decidual*. Pode-se observar a periodicidade de caráter sazonal das variáveis analisadas, demonstrando tendência de crescimento do IVDN nos períodos chuvosos, mesmo nos anos secos de 1982-83.

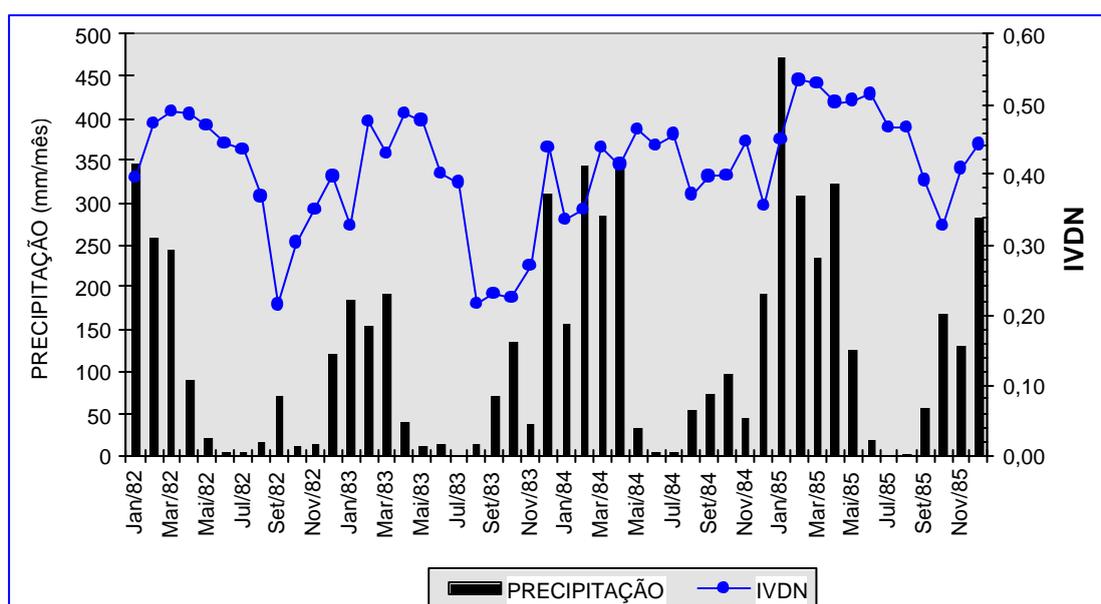


Fig. 4.7 - Evolução temporal do IVDN (linha) e da pluviosidade (barra) do posto pluviométrico Imperatriz (MA) no período 1982-85.

No período 1982-85, a precipitação total teve média anual de 1.529,8mm, desvio padrão 125,4mm e coeficiente de variação 98,4%. Os dados da Figura 4.7 indicam que ao longo da série estudada, a máxima precipitação acumulada mensal ocorreu em janeiro/85 com 471,7mm, enquanto a mínima foi de 0mm nos meses de julho/83 e 85. O total acumulado médio sazonal do período de janeiro a maio dos quatro anos de contraste foi 750,7mm, com cerca de 49% concentrados na estação chuvosa, e os 51% restantes distribuídos na estação seca.

Quanto ao IVDN nos anos secos de 1982-83, foi evidenciado que esta localidade apresenta nível superior a 0,4 em 13 meses de tendência úmida, fevereiro a julho de 82, dezembro 82, fevereiro a junho de 83 e dezembro de 83. Para os anos chuvosos de 1984-85 observou-se um conjunto de 18 meses, março a novembro de 84, janeiro a agosto de 85, novembro e dezembro de 85, com IVDN superior à 0,4, em resposta ao aumento de chuvas, resultando em maior umidade do solo nas estações chuvosas.

A partir desta série temporal foram obtidos o valor máximo do índice mensal, 0,53, ocorrido em fevereiro/85, e o mínimo de 0,21 em setembro/82. Em relação ao valor médio da série estudada, o IVDN foi de 0,41, o coeficiente de variação 19,7% e o desvio padrão 0,08.

4.1.8 - FLORESTA OMBRÓFILA ABERTA (A)

A Figura 4.8 apresenta a evolução temporal do IVDN e da pluviosidade, referentes a cada mês do período estudado para o posto de Amaragí, PE, onde prevalece a *Floresta Ombrófila Aberta*. Pode-se observar a periodicidade de caráter sazonal bem definida das variáveis analisadas, demonstrando tendência de crescimento do IVDN nos períodos chuvosos, mesmo nos anos secos de 1982-83.

No período 1982-85, a precipitação total teve média anual de 1.862,4mm, desvio padrão 124,5mm e coeficiente de variação 80,2%. Os dados da Figura 4.8 indicam que ao longo da série estudada, a máxima precipitação acumulada mensal ocorreu em julho/84 com 519,8mm, enquanto a mínima foi de 0mm nos meses de outubro e dezembro de 1985. O total acumulado médio sazonal do período de janeiro a maio dos quatro anos de contraste foi 877,2mm, com cerca de 47% concentrados na estação chuvosa, e os 53% restantes distribuídos na estação seca.

Quanto ao IVDN nos anos secos de 1982-83, foi evidenciado que esta localidade apresenta nível superior à 0,4 em 17 meses de tendência úmida, janeiro a setembro de 82, março a setembro 83 e novembro/83, compreendendo aos mesmos anos um curto período das estações secas nessa região. Para os anos chuvosos de 1984-85 esse comportamento foi similar, apresentando um conjunto de 19 meses, janeiro a outubro de 84 e março a outubro de 85 com IVDN superior 0,4. Em relação ao valor médio da série estudada o IVDN foi de 0,43, o coeficiente de variação 12,3% e o desvio padrão 0,05.

Para os anos secos de 1982-83 observa-se que os valores de IVDN apresentam tendência de crescimento nos meses chuvosos, atingindo valores elevados 0,51 e nos meses secos decrescendo 0,30. Para os anos chuvosos de 1984-85 os valores de IVDN alcançaram nos meses mais chuvosos 0,54 e nos meses secos 0,32, conforme a Figura 4.8.

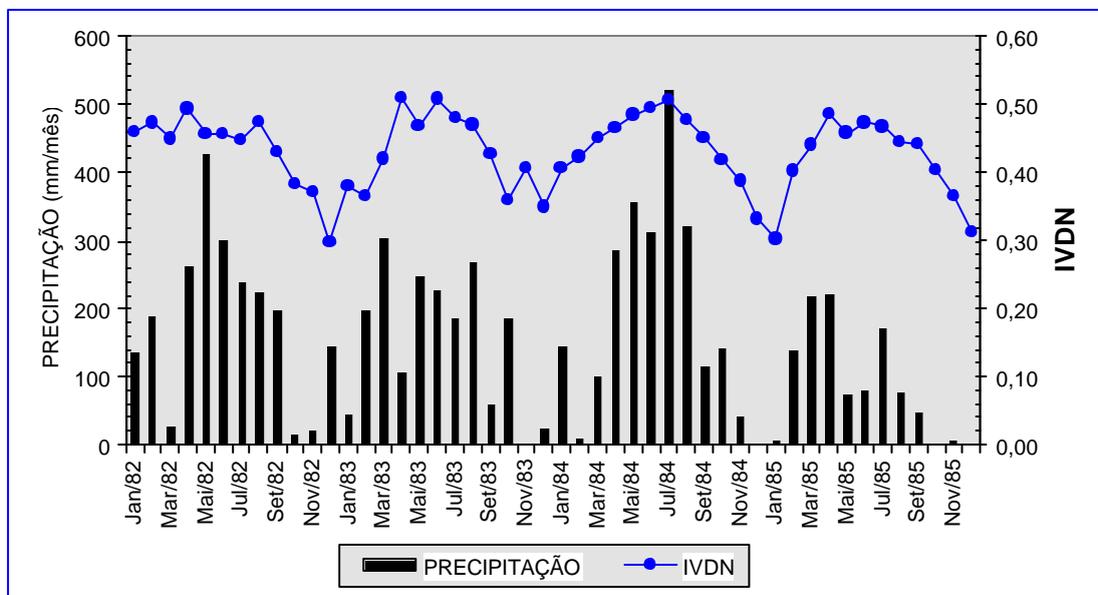


Fig. 4.8 - Evolução temporal do IVDN (linha) e da pluviosidade (barra) do posto pluviométrico Amaraquí (PE) no período 1982-85.

4.1.9 - FLORESTA OMBRÓFILA Densa (D)

A Figura 4.9 apresenta a evolução temporal do IVDN e da pluviosidade, referentes a cada mês do período estudado para o posto de Ponto Chique, BA, onde prevalece a *Floresta Ombrófila Densa*. Pode-se observar a periodicidade de caráter sazonal não definida do IVDN, demonstrando que o acréscimo nos períodos chuvosos e decréscimo nos meses secos, independem da variação sazonal da precipitação observada.

No período 1982-85, a precipitação total teve média anual de 874,7mm, desvio padrão 55,9mm e coeficiente de variação 76,7%. Os dados da Figura 4.9 indicam que ao longo da série estudada, a máxima precipitação acumulada mensal ocorreu em janeiro/82, com 232,5mm, enquanto a mínima foi de 0mm no mês de setembro de 1985. O total acumulado médio sazonal do período de janeiro a maio dos quatro anos de contraste foi 602mm, com cerca de 69% concentrados na estação chuvosa, e os 31% restantes distribuídos na estação seca.

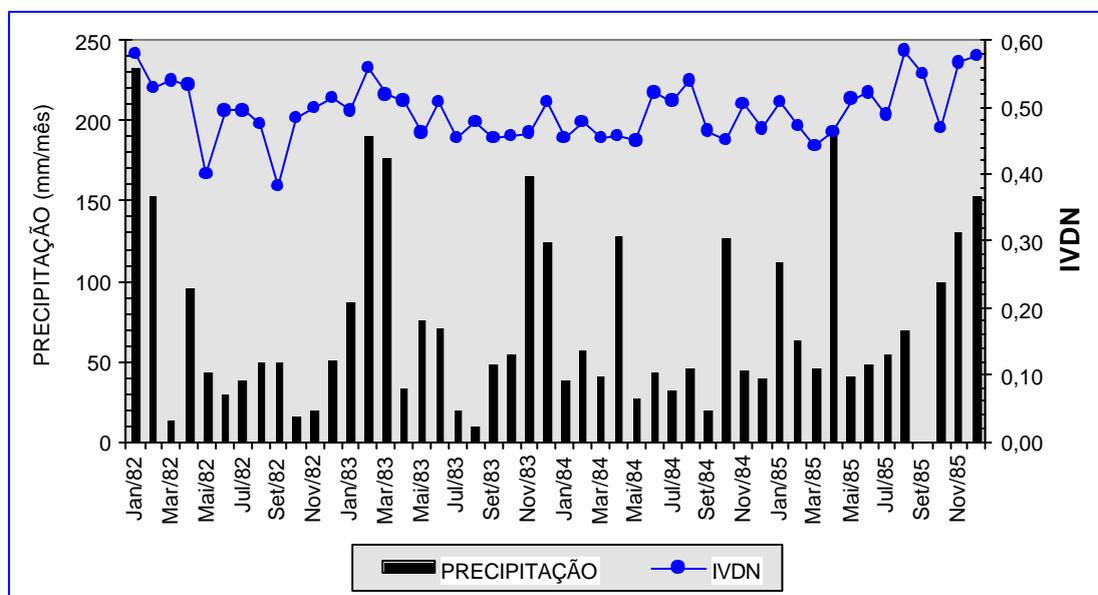


Fig. 4.9 - Evolução temporal do IVDN (linha) e da pluviosidade (barra) do posto pluviométrico Ponto Chique (BA) no período 1982-85.

Ao se analisar a evolução temporal do perfil do IVDN na *Floresta Ombrófila Densa* percebe-se que as pequenas variações aleatórias de IVDN ocorrem lentamente com o acréscimo ou decréscimo de precipitação. Isto sugere que as variações do IVDN podem

ocorrer em função da umidade do solo e não da precipitação. Além disso, quando a capacidade de armazenamento de água no solo atingir o valor máximo, as alterações decorrentes da precipitação são consideradas nulas, independente da intensidade da mesma. Em florestas tropicais onde existe chuvas abundantes durante todo o ano, nestas regiões o IVDN perde a sensibilidade em relação à precipitação, devido ao efeito de saturação. As correlações são quase nulas por falta de um ciclo definido dessas variáveis. Em relação ao valor médio da série estudada, o IVDN foi de 0,49, o desvio padrão 0,04 e o coeficiente de variação 8,81%.

4.1.10 - ÁREA ANTROPIZADA (T)

A Figura 4.10 apresenta a evolução temporal do IVDN e da pluviosidade, referente a cada mês do período estudado para o posto de Fortaleza, CE, onde prevalece a *Área Antropizada*. Para os dados de pluviometria, a inspeção dessa figura revela a existência do movimento sazonal, embora o efeito urbano na pluviometria esteja incluído, uma vez que pode existir uma sobreposição de efeitos locais (orografia, regime de ventos, influência de rios, temperaturas na interface cidade atmosfera, etc.) e global (mudanças climáticas).

As áreas urbanas têm a sua cobertura natural modificada por diversos tipos de construções e solo pavimentado, cuja conseqüência imediata é a alteração climática resultante do processo de urbanização. No caso do IVDN verifica-se grande instabilidade, com coeficiente de variação 85,8%, ofuscando o comportamento sazonal desse índice em função da precipitação; em particular os períodos secos de 1984 e 85 mostram IVDNs surpreendentemente altos. Desta forma, faz-se necessário cautela ao interpretar resultados decorrentes de mudanças antrópicas nos valores de IVDN e precipitação, pela existência de múltiplos fatores envolvidos. Em relação ao valor médio da série estudada o IVDN foi de 0,07 e o desvio padrão 0,06.

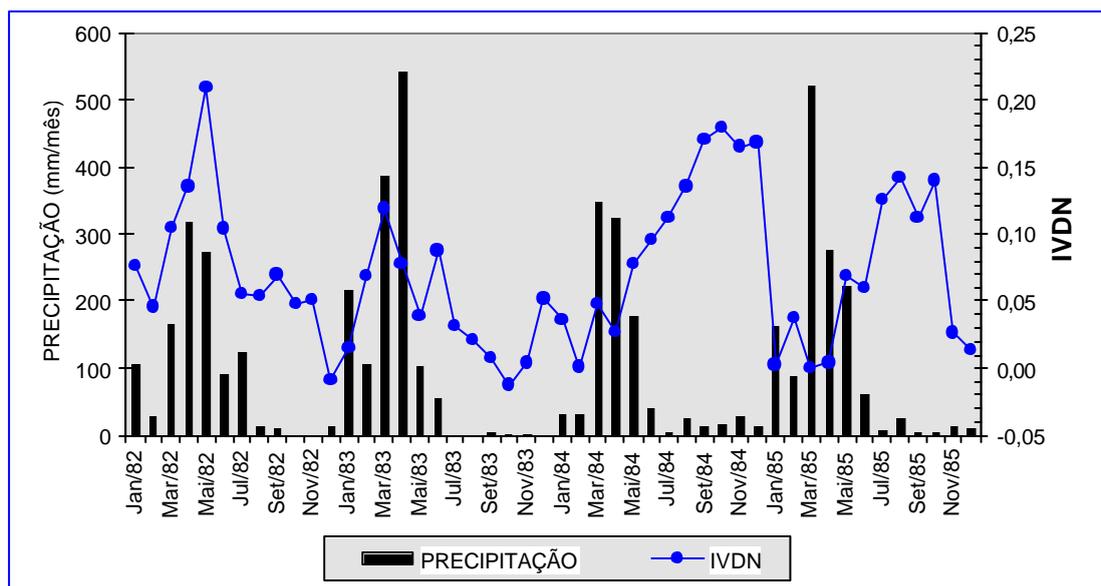


Fig. 4.10 - Evolução temporal do IVDN (linha) e da pluviosidade (barra) do posto pluviométrico Fortaleza (CE) no período 1982-85.

4.2 - ANÁLISE DE CORRELAÇÃO ENTRE IVDN E PLUVIOMETRIA

A precipitação causa efeitos diversos no IVDN, dependendo do tipo de clima e vegetação predominante na área de estudo. Para detectar as respostas da vegetação natural à diminuição de chuvas, ou a outros efeitos ambientais naturais, foram obtidas correlações entre IVDN e precipitação. As correlações se baseiam na média do IVDN das amostras com 520km² e na precipitação do posto pluviométrico situado no centro da respectiva amostra.

As correlações entre IVDN e precipitação em região semi-árida apresentam valores positivos, pois a precipitação nesta região é fator determinante do início da estação de crescimento da cobertura vegetal. Pela análise temporal dos resultados, constatou-se que os valores de IVDN aumentam após uma precipitação significativa, apresentando defasagem temporal entre a ocorrência da precipitação e a absorção de água disponível pela vegetação, a qual passa a aumentar suas atividades fotossintética e evapotranspirativa, que são registradas pelo aumento dos valores do índice.

Foram determinadas correlações lineares simultâneas e com retardos "lags" entre o IVDN e precipitação para as coberturas vegetais mais características da região do NEB, identificadas neste trabalho através dos mapas de vegetação. Para a análise de interrelações entre as variáveis foram empregados "lags" de 0, 1, 2, 3, e 1+2 meses; no último caso, são correlacionados os totais pluviométricos de dois meses consecutivos com o IVDN do último desses dois meses.

A Tabela 4.2 apresenta os valores das correlações lineares simultâneas e com "lags" entre o IVDN e a pluviometria elaboradas para o conjunto dos dez tipos de vegetação relacionados na Tabela 4.1. Os valores em negrito indicam os mais elevados para cada tipo de vegetação. Os resultados das correlações mostram que existe uma relação entre os dados de IVDN e precipitação para os diferentes tipos de vegetação do NEB, ficando evidenciado uma correlação mais acentuada com um tempo de resposta 1+2 meses, ou seja, os totais pluviométricos de dois meses consecutivos com o IVDN último desses dois meses. As correlações obtidas para a classe *área antropizada*, revelam a inexistência de dependência do IVDN com relação à precipitação. O efeito urbano provoca distorção na representatividade do IVDN em termos de cobertura vegetal pelo motivo da existência de múltiplos fatores envolvidos; e em especial, solo pavimentado, influência de rios e edifícios, espelhos d'água, etc., pois impede a captação pelo sensor da real reflectância da vegetação.

A influência da sazonalidade no ciclo fenológico pode conduzir a correlações diferenciadas para as estações do ano, ou para as fases específicas do ciclo. A maior parte das correlações defasadas na Tabela 4.2, deve ser encarada sob esse ponto de vista, e portanto, se consideradas em períodos menores resultariam em coeficientes de correlação mais significativos ainda.

**TABELA 4.2 - COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO LINEAR COM "LAGS"
ENTRE IVDN E PLUVIOMETRIA PARA TIPOS DE VEGETAÇÃO
DOMINANTE NO NEB, PERÍODO DE 1982-85**

<i>Classes de Cobertura Vegetal</i> /Posto Padrão			Correlação Linear				
			"LAG" (mês)				
<i>Tipo de Vegetação</i> /Posto Pluviométrico			0	1	2	3	1+2
<i>Ea</i>	Catunda	CE	0,43	0,62	0,68	0,65	0,68
<i>Ed</i>	Puca	PI	0,43	0,57	0,63	0,57	0,66
<i>Es</i>	Casa Nova	BA	0,52	0,62	0,52	0,52	0,62
<i>Eu</i>	Pedro II	PI	0,63	0,77	0,73	0,58	0,80
<i>F</i>	Macaparana	PE	0,46	0,65	0,49	0,34	0,62
<i>C</i>	Imperatriz	MA	0,17	0,46	0,60	0,61	0,58
<i>S</i>	Correntina	BA	0,28	0,64	0,61	0,51	0,68
<i>A</i>	Amaragi	PE	0,53	0,56	0,36	0,07	0,49
<i>D</i>	Ponto Chique	BA	0,25	0,33	0,23	0,04	0,34
<i>T</i>	Fortaleza	CE	-0,09	0,01	0,14	0,11	0,08

Nota-se que, a classe área antropizada apresentou baixas correlações entre os dados de precipitação e IVDN (Tabela 4.2). De fato, é necessário ter muita cautela ao interpretar resultados referentes a modificações do IVDN, pelo motivo da existência de múltiplos fatores possivelmente envolvidos, não apenas aqueles de causa local, a urbanização como também uma causa climática de escala global. Adicionalmente a intensa urbanização, nesta amostra introduz fatores de variabilidade não considerados neste estudo.

A razão entre o IVDN e precipitação, “Rain Greenness Ratio”, RGR, (Nicholson et al., 1990), fornece uma aproximação quantitativa para avaliar a disponibilidade hídrica do solo em função do tipo de vegetação, e pode ser escrita como:

$$RGR = \left(\frac{\sum_{i=1}^{12} IVDN_i}{\sum_{i=1}^{12} P_i} \right) * 1000$$

Onde,

$\sum IVDN_i$ e $\sum P_i$ são respectivamente o IVDN integrado anual (a soma de 12 valores mensais de IVDN) e a precipitação total anual.

De acordo com a Tabela 4.3 pode-se observar que os maiores valores de RGR foram encontrados na distribuição das vegetações dos tipos *arbóreas* e *arbustivas*, e não nas *florestas*. Ou seja, o índice RGR apresenta-se, de forma geral, maior para regiões semi-áridas ou áridas, em comparação com as úmidas. Uma vez que a resposta das chuvas, influem mais rapidamente nas vegetações *arbóreas* e *arbustivas* e conseqüentemente nos valores de IVDN do que em *florestas* formadas.

TABELA 4.3 - IVDN INTEGRADO ANUAL, PRECIPITAÇÃO (mm) E RGR PARA TIPOS DE VEGETAÇÃO DOMINANTE NO NEB, DE 1982-85

<i>Classes de Cobertura Vegetal/Posto Padrão</i>						Média Anual 82/83/84/85		
<i>Tipo de vegetação/Posto Pluviométrico</i>						IVDN	CHUVA	RGR
Ea	Catunda	CE	-4°32'	-40°13'	280m	3,48	897,2	3,88
Ed	Puca	PI	-8°03'	-43°39'	280m	4,73	770,9	6,13
Es	Casa Nova	BA	-9°24'	-41°08'	380m	2,90	582,7	5,00
Eu	Pedro II	PI	-4°25'	-41°28'	580m	3,37	1.694,4	1,99
F	Macaparana	PE	-7°33'	-37°27'	350m	4,73	1.013,6	4,66
C	Imperatriz	MA	-5°32'	-47°29'	96m	4,95	1.529,8	3,23
S	Correntina	BA	-13°29'	-44°38'	379m	4,55	983,5	4,62
A	Amaragi	PE	-8°23'	-35°27'	295m	5,20	1.862,4	2,79
D	Ponto Chique	BA	-14°33'	-39°56'	280m	5,94	874,7	6,79
T	Fortaleza	CE	-3°45'	-38°32'	26m	0,82	1.255,0	0,65

No entanto, em alguns casos, ocorre comportamento distinto do RGR. A *Caatinga Arbustiva Aberta* (Eu) em Pedro II e a *Floresta Ombrófila Densa* (D) em Ponto Chique apresentaram RGR 1,99 e 6,79, respectivamente. Isto sugere que as perdas evaporativas da precipitação foram maiores sobre a *Caatinga Arbustiva Aberta* (Eu), resultando em menor

umidade do solo. O comportamento do RGR (0,65) para área *Antropizada* (T) de Fortaleza, CE, refletiu o resultado da ocupação urbana, onde ocorre a substituição da vegetação natural por áreas asfaltadas.

4.3 - ANÁLISE ESTATÍSTICA ENTRE PLUVIOSIDADE E IVDN NOS CAMPOS NUMÉRICOS

As variabilidades intra-anuais de precipitação e IVDN foram estudadas através dos respectivos campos numéricos, obtidos a partir de uma "grade" de 5.571 pontos no NEB, espaçados de $0,25^{\circ}$ de latitude e longitude. Foram calculados para os dois campos os seguintes parâmetros, apresentados nas Tabelas 4.4 e 4.5; *Médias*, (*D. P.*) desvios padrão, (*C. V.*) coeficientes de variação, e valores (*Max*) máximos e (*Min*) mínimos.

A fim de verificar a existência ou não de algum padrão temporal para a variabilidade intra-sazonal do IVDN e a precipitação na região do NEB, foram construídas as médias espaciais mensais, para 5.571 pontos, referentes aos quatro anos estudados. As médias espaciais mensais resultaram da média aritmética de todos pontos de "grade" no NEB. Adicionalmente, os resultados obtidos foram separados em função dos anos secos 1982 e 1983, e chuvosos, 1984 e 1985. Esse procedimento foi tomado para verificar as relações entre o ciclo sazonal de tais parâmetros. Na análise estatística dos campos mensais de IVDN e precipitação, obteve-se as séries temporais das respectivas médias espaciais mensais sobre a região do NEB. A Figura 4.27 mostra o gráfico referente à distribuição espacial e mensal de IVDN que retrata o ciclo mensal de precipitação sobre a região do NEB. Neste ciclo observa-se entre novembro a maio a época das chuvas, permanecendo a estiagem nos demais meses do ano.

A série temporal da Figura 4.27 mostra ainda que o campo de IVDN tem grandes aplicações de caráter prático na região semi-árida, uma vez que é capaz de detectar não só as variações mensais, como também as variações interanuais. Comparando-se as séries de IVDN e

precipitação, verifica-se que, com exceção de dezembro de 1982, o padrão de variação das duas séries é o mesmo.

TABELA 4.4 - ESTATÍSTICAS MENSAS DA PRECIPITAÇÃO (mm) NA REGIÃO DO NEB COM 5.571 PONTOS NO PERÍODO 1982-85

<i>Ano</i>	<i>Mês</i>	<i>Média</i>	<i>D. P.</i>	<i>C. V.</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>
1982	01	186,6	127,3	68,2%	0,0	560,0
1982	02	143,1	117,7	82,2%	4,0	570,6
1982	03	157,2	108,5	69,0%	0,0	490,1
1982	04	154,8	93,6	60,5%	6,4	529,2
1982	05	101,0	112,2	111,1%	0,0	454,2
1982	06	69,0	91,2	132,2%	0,0	413,6
1982	07	55,2	69,1	125,2%	0,0	264,8
1982	08	42,1	50,8	120,7%	0,0	260,5
1982	09	43,5	49,1	112,9%	0,0	257,4
1982	10	35,9	30,9	86,1%	0,0	167,6
1982	11	22,4	22,3	99,6%	0,0	108,2
1982	12	59,5	48,2	81,0%	0,0	226,8
1983	01	132,3	118,0	89,2%	0,0	568,1
1983	02	155,6	62,7	40,3%	12,5	359,5
1983	03	159,8	74,8	46,8%	13,5	420,3
1983	04	84,8	53,4	63,0%	0,0	259,8
1983	05	58,0	64,0	110,3%	0,0	307,3
1983	06	48,2	63,4	131,5%	0,0	307,7
1983	07	38,0	58,5	153,9%	0,0	257,2
1983	08	29,6	43,6	147,3%	0,0	214,5
1983	09	40,9	73,6	180,0%	0,0	310,8
1983	10	57,4	53,3	92,9%	0,0	264,3
1983	11	91,4	94,6	103,5%	0,0	402,7
1983	12	103,8	94,2	90,8%	0,0	449,8
1984	01	79,9	60,8	76,1%	0,0	315,5
1984	02	106,4	88,2	82,9%	0,0	396,6
1984	03	210,8	113,1	53,6%	16,4	589,5
1984	04	253,8	142,8	56,3%	10,7	637,4
1984	05	151,4	155,6	102,8%	0,0	529,3
1984	06	72,2	82,8	114,7%	0,0	319,2
1984	07	82,2	110,7	134,7%	0,0	640,6
1984	08	60,6	77,5	127,9%	0,0	438,7
1984	09	49,8	46,1	92,6%	0,0	239,6
1984	10	66,7	46,6	69,9%	0,0	193,4
1984	11	53,7	45,3	84,3%	0,0	245,7
1984	12	74,2	75,5	101,8%	0,0	328,8
1985	01	315,8	158,3	50,1%	4,0	639,2
1985	02	216,2	149,7	69,2%	9,7	668,2
1985	03	248,3	165,4	66,6%	12,0	663,0
1985	04	290,1	198,4	68,4%	0,0	761,8
1985	05	151,4	139,2	91,9%	0,0	508,0
1985	06	94,9	93,8	98,8%	0,0	414,1
1985	07	111,5	136,6	122,5%	0,0	593,4
1985	08	45,3	58,3	128,7%	0,0	251,7
1985	09	47,4	44,2	93,2%	0,0	199,0

1985	10	73,4	73,3	99,9%	0,0
1985	11	94,3	78,2	82,9%	0,0
1985	12	195,1	113,9	58,4%	0,0

TABELA 4.5 - ESTATÍSTICAS MENSAIS DE IVDN NA REGIÃO DO NEB COM 5.571 PONTOS NO PERÍODO 1982-85

<i>Ano</i>	<i>Mês</i>	<i>Média</i>	<i>D. P</i>	<i>C. V</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>
1982	01	0,40	0,13	33,5%	0,02	0,61
1982	02	0,40	0,12	30,0%	0,03	0,63
1982	03	0,37	0,13	35,1%	0,02	0,60
1982	04	0,33	0,12	36,4%	0,03	0,55
1982	05	0,27	0,11	40,7%	0,02	0,52
1982	06	0,27	0,10	37,0%	0,03	0,52
1982	07	0,28	0,11	39,3%	0,02	0,52
1982	08	0,30	0,13	43,3%	0,02	0,52
1982	09	0,33	0,14	42,4%	0,02	0,59
1982	10	0,35	0,14	40,0%	0,02	0,54
1982	11	0,36	0,15	41,7%	0,02	0,63
1982	12	0,27	0,10	37,0%	0,05	0,51
1983	01	0,39	0,13	33,3%	0,01	0,64
1983	02	0,37	0,14	37,8%	0,01	0,61
1983	03	0,35	0,13	37,1%	0,01	0,54
1983	04	0,27	0,11	40,7%	0,01	0,48
1983	05	0,27	0,11	40,7%	0,01	0,49
1983	06	0,24	0,11	45,8%	0,01	0,46
1983	07	0,23	0,10	43,5%	0,01	0,46
1983	08	0,27	0,11	40,7%	0,01	0,49
1983	09	0,34	0,15	44,1%	0,02	0,61
1983	10	0,38	0,14	36,8%	0,02	0,60
1983	11	0,35	0,13	37,1%	0,01	0,58
1983	12	0,40	0,13	32,5%	0,01	0,62
1984	01	0,40	0,14	35,0%	0,01	0,64
1984	02	0,39	0,13	33,3%	0,02	0,63
1984	03	0,34	0,11	32,4%	0,03	0,51
1984	04	0,31	0,10	32,2%	0,04	0,51
1984	05	0,23	0,09	39,1%	0,03	0,40
1984	06	0,24	0,09	37,5%	0,01	0,43
1984	07	0,26	0,10	38,5%	0,03	0,46
1984	08	0,25	0,10	40,0%	0,02	0,48
1984	09	0,32	0,13	40,6%	0,02	0,53
1984	10	0,36	0,13	36,1%	0,02	0,54
1984	11	0,37	0,14	37,8%	0,02	0,61
1984	12	0,40	0,14	35,0%	0,02	0,64
1985	01	0,42	0,14	33,3%	0,03	0,68
1985	02	0,42	0,14	33,3%	0,03	0,69
1985	03	0,38	0,12	31,6%	0,04	0,61
1985	04	0,37	0,14	37,8%	0,04	0,61
1985	05	0,33	0,14	42,4%	0,03	0,59
1985	06	0,31	0,12	38,7%	0,04	0,55
1985	07	0,30	0,12	40,0%	0,03	0,52
1985	08	0,34	0,14	41,2%	0,03	0,60
1985	09	0,38	0,15	39,5%	0,03	0,64

1985	10	0,40	0,15	37,5%	0,03	0,62
1985	11	0,38	0,13	34,2%	0,02	0,60
1985	12	0,41	0,14	34,1%	0,04	0,63

4.3.1 - ANÁLISE DA PLUVIOSIDADE

A análise mensal da distribuição espacial da precipitação nos anos secos de 1982 e 1983 na área de estudo indicou uma variação mensal pontual de 0mm a cerca de 570,6mm - ver Tabela 4.4. Em 1982, os quadrimestres seco e chuvoso contribuíram respectivamente com cerca de 13% e 60% do total espacial anual; em 83, estes valores foram 16% e 53%, também respectivamente. O total médio anual acumulado no primeiro ano foi 1.070,3mm, que resulta na média mensal de 89,2mm. Em 1983, considerado como extremamente seco devido ao El Niño, teve 999,8mm, com média mensal de 83,3mm, quando o período de seca estendeu-se de maio a novembro; a seca neste ano abrangeu quase todo o NEB, inclusive as partes norte e sul do litoral leste, com os menores valores para o interior da região.

Para os anos chuvosos a precipitação média mensal pontual variou de 0mm a 761,8mm - ver Tabela 4.4. As contribuições dos quadrimestres seco e chuvoso no total da precipitação foram 18% e 64% em 1984, e 14% e 65% em 1985. O total acumulado em 1984 foi 1.261,7mm, com média mensal 105,1mm, e em 1985 1.883,7mm e média mensal 157,0mm.

Observa-se também na Tabela 4.4 que em 1982 os meses mais chuvosos foram fevereiro, com contribuição em torno de 14% para a média anual, e março, com contribuição em torno de 15% (ou 21% da estação chuvosa), sendo os valores de agosto a novembro, os menores. Desta forma, os curtos períodos de fevereiro-março e outubro-novembro concentram as épocas chuvosa e seca, respectivamente.

Os totais pluviométricos mensais para o ano de 1982 mostraram que os meses secos foram os mais homogêneos quanto à distribuição da precipitação no NEB. Agosto a novembro apresentaram desvio padrão da precipitação menor que 43,5mm, com o mínimo de 22,4mm - ver Tabela 4.4 e Figura 4.12. Para os meses chuvosos os desvios padrão foram superiores

a 100mm, tendo chegado a 127,3mm em janeiro. Em 1983 observou-se também grande variação da precipitação total no período chuvoso, de janeiro (118mm) a abril (53,4mm); neste ano, o valor máximo do desvio padrão ocorreu em janeiro (118,0mm) e o mínimo em agosto (43,6mm).

Nos meses chuvosos de 1984 e 1985 observou-se grande variação da precipitação total. No primeiro ano, os desvios mínimo foi 60,8mm em janeiro, e o máximo 155,6mm em maio; em 1985, nos meses chuvosos, os desvios mínimo foi 139,2mm em maio, e o máximo 198,4mm em abril. O máximo acumulado mensal de 1984 foi 253,8mm em abril, e o mínimo 49,8mm em setembro. Em 1985 o máximo de 315,8mm ocorreu em janeiro, e o mínimo de 45,3mm em agosto.

Quanto aos coeficientes de variação, em 1982 o máximo foi de 132,2% em junho, e o mínimo de 60,5% em abril; tais variações refletem a grande irregularidade na distribuição da precipitação, que por sua vez resulta da atuação de distintos sistemas meteorológicos na região. Em 1983 o máximo coeficiente de variação foi em setembro, 180% e o mínimo em fevereiro, 40,3%. Nos anos chuvosos os coeficientes de variação não diferiram muito em relação aos secos. Em 1984 o valor máximo foi 134,7% em julho, e o mínimo 53,6% em março; em 1985, o maior valor foi 128,7% em agosto, e o menor 50,1% em janeiro.

Em 1982 os campos numéricos de precipitação mensal apresentaram diferenças significativas. Observa-se nas Figuras 4.11 e 4.12 que de março a outubro toda a costa leste do NEB possui valores mensais relativamente altos, acima de 80mm/mês, atingindo 520mm/mês na estreita faixa costeira do Rio Grande do Norte, Paraíba, Alagoas, Sergipe, e em uma pequena região no litoral da Bahia. As isoiêtas se distribuem paralelas à costa, apresentando decréscimo acentuado no sentido do interior. No entanto, os campos mensais das isoiêtas para o período chuvoso de janeiro a maio mostraram grande variação da pluviometria no NEB. No período seco de julho a novembro houve homogeneidade na distribuição da pluviometria; nesta época a isoiêta de 20mm/mês separou a região mais árida do NEB, onde

a precipitação é muito reduzida. Ressalta-se que aproximadamente 80% da área do NEB foi afetada significativamente pela redução das chuvas nesta ocasião. No caso do setor sul do NEB, seu posicionamento geográfico favorece chuvas ocasionadas pela instabilidade gerada pelas frentes frias que atingem latitudes equatoriais (Kousky e Cavalcanti, 1988). O mês de maio, que costuma ser chuvoso, em 1983, teve índices pluviométricos, na maior parte do NEB, inferiores a 50mm, representando apenas 9,8% da estação chuvosa; essa falta de precipitação se deu principalmente devido à evolução do El Niño, que apresentou anomalias de TSM muito altas, superiores a 7^oC no Oceano Pacífico, próximo às costas do Peru e Equador.

As anomalias de TSM no Atlântico Tropical Sul e Norte para todos os meses do ano de 1983 e de janeiro a junho de 1985 podem ser observadas nas Figuras 4.30, 4.31 e 4.32. No Pacífico leste observaram-se valores elevados de anomalias positivas, de 7^oC, nos meses de abril a junho de 1983 (Figura 4.30), as quais diminuíram de intensidade a partir de julho/83 - Figura 4.31. Porém, no mês de abril/83 não foi observada a configuração dos padrões de anomalias de TSM no "dipolo" (configuração "dipolo" define-se como de anomalias positivas/negativas entre o Atlântico Sul e Norte, ou vice versa). Nota-se que as anomalias positivas de TSM no Atlântico Norte nos meses maio a julho, maiores que 2^oC, situam-se ao longo de um cinturão zonal próximo ao equador, que coincide com a localização da ZCIT. O gradiente leste-oeste dos campos de anomalias de TSM durante todo o ano reflete as correntes de Benguela (fria) e do Brasil (quente).

As análises de precipitação evidenciaram que na estação chuvosa dos anos secos há abundância sobre o setor sul do NEB e deficiência sobre o setor norte do NEB. É importante mencionar que uma razão para o reduzido total pluviométrico nos anos de ENOS, é o bloqueio muito comum das frentes frias no sudeste do País; estas frentes são justamente os principais sistemas causadores de chuvas no período de novembro a janeiro sobre o setor sul do NEB. Esta região foi a menos afetada pelo evento ENOS de 1982-83, permanecendo sob influência da convecção associada às ZCAS (Zona de Convergência do Atlântico Sul), e

como conseqüência teve seu período chuvoso iniciado um mês antes do que no setor norte. Os setores noroeste e oeste do NEB foram os menos afetados pelo ENOS e tiveram seus períodos chuvosos intensificados em janeiro/83, possivelmente por sofrerem influências diretas das chuvas de verão provocadas pela atividade convectiva associada à ZCAS (Kousky e Cavalcanti, 1988).

A Tabela 4.7 apresenta médias mensais e anomalias de TSM calculadas para as áreas de Niños 1+2, 3, 4, 3+4. Na área de Niño 1+2 as TSM mais elevadas ocorrem nos meses de dezembro a maio, também decrescendo nos demais. Na região de Niño 3 os maiores valores ocorrem nos meses de fevereiro a junho, decrescendo nos demais. As regiões Niño 4, Niño 3+4 apresentam valores bem mais homogêneos ao longo do ano, embora na região de Niño 4 verifica-se os valores máximos em relação às demais áreas. Analisando a mencionada tabela, nota-se anomalias positivas de TSM na região de Niño 1+2 referentes a cada mês do ano de 1983. Por sua vez, anomalias negativas de TSM podem ser observadas nas demais regiões de Niños, e possivelmente, indicam períodos relacionados à deficiência ou excesso de chuvas sobre o setor norte do NEB durante a estação chuvosa.

As seqüências mensais nas Figuras 4.11 e 4.12 mostraram que o deslocamento da precipitação ocorre em sentido oposto nos setores norte e sul do NEB tanto no período seco como no chuvoso. No setor norte, a seca progride no sentido leste para oeste, enquanto que no setor sul, o sentido é de sul para norte. É provável que a orientação dos sistemas frontais que atuam no setor sul do NEB e dos ventos alísios de sudeste, brisas e distúrbios de leste que afetam o leste do NEB, sejam responsáveis por tais deslocamentos.

Em particular, nos anos chuvosos, as análises dos campos de precipitação para os meses de janeiro a abril, mostraram que os índices pluviométricos do setor noroeste do NEB aumentam à medida que se avança sobre o continente em direção ao centro-oeste; a partir daí diminui em direção aos setores sul e sudeste desta região. Isto, possivelmente ocorreu devido à posição da ZCIT, que iniciou sua migração para o Hemisfério Norte nos fins de abril, ou no início de maio, provocando chuvas abundantes, conforme as Figuras 4.15 a 4.18.

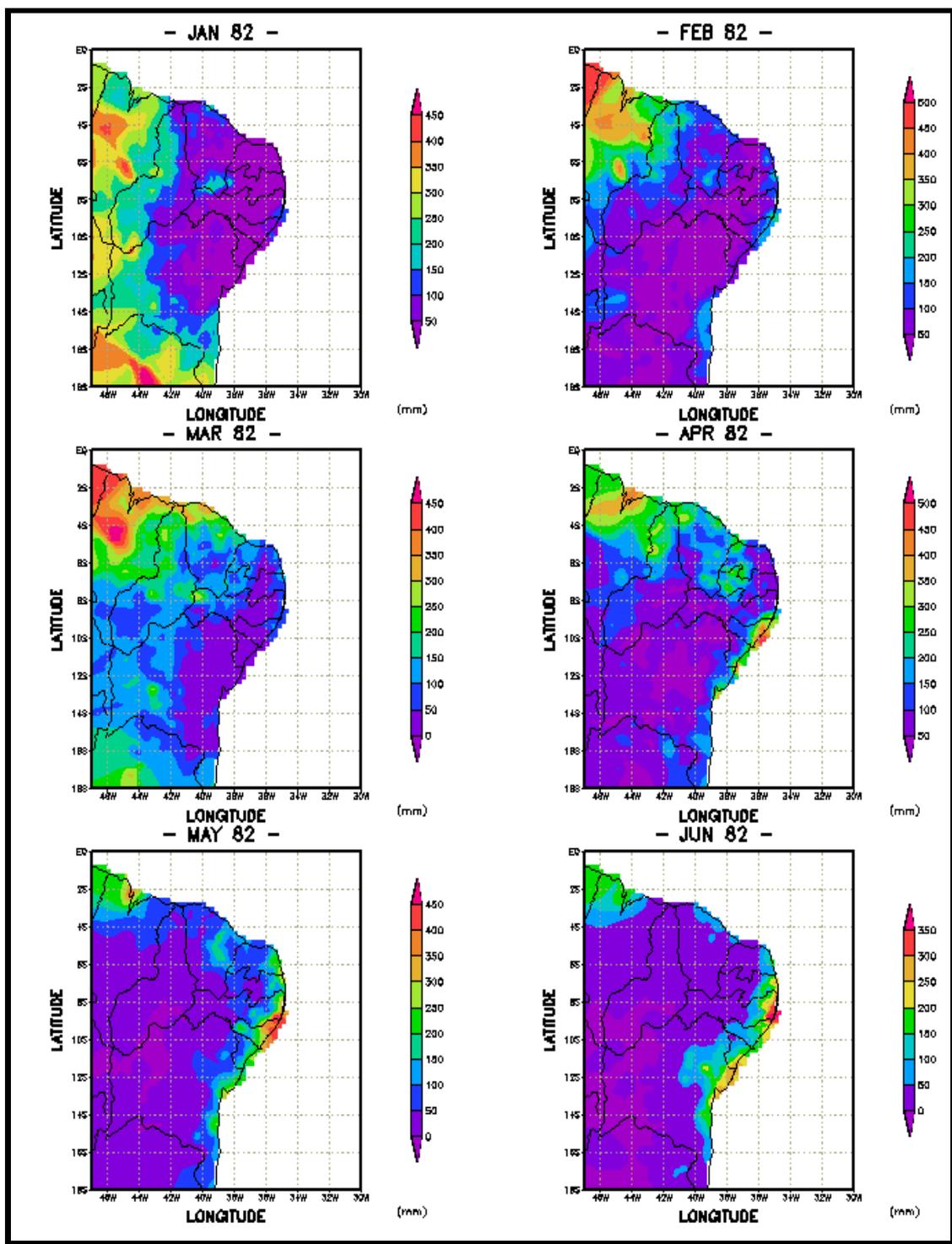


Fig. 4.11 - Configuração dos campos numéricos espaciais mensais de precipitação (mm/mês) sobre a região do NEB, período janeiro a junho de 1982.

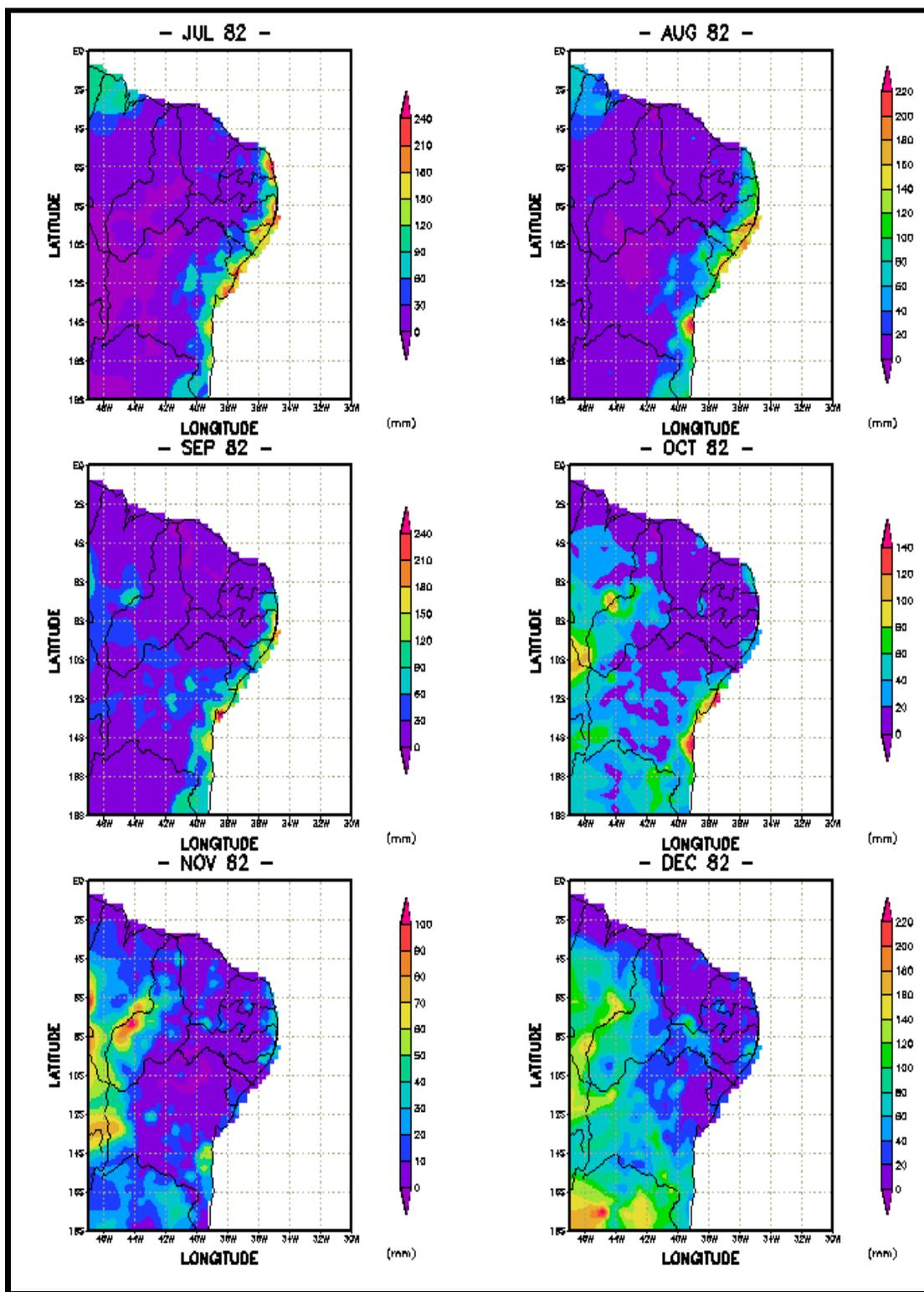


Fig. 4.12 - Configuração dos campos numéricos espaciais mensais de precipitação (mm/mês) sobre a região do NEB, período julho a dezembro de 1982.

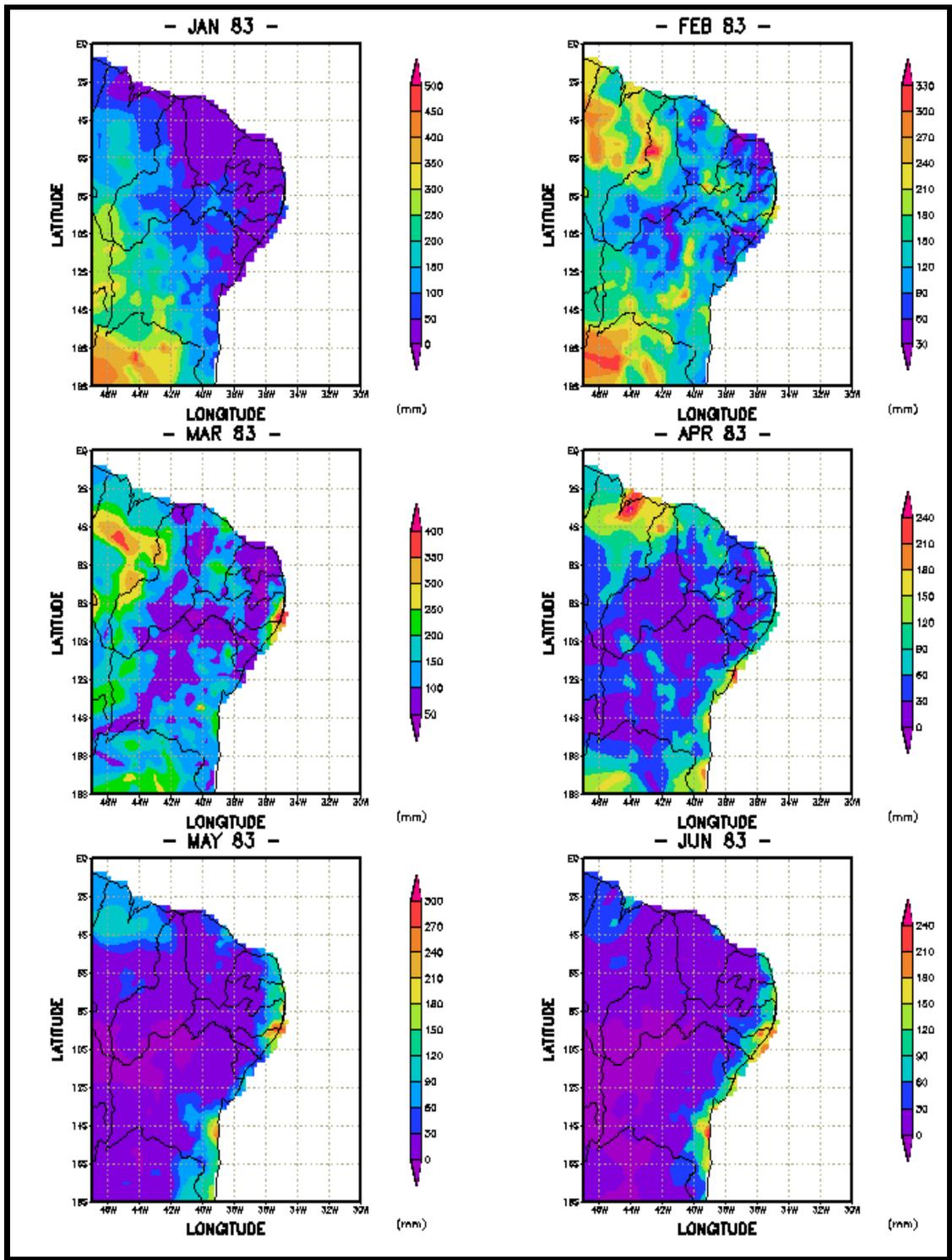


Fig. 4.13 - Configuração dos campos numéricos espaciais mensais de precipitação (mm/mês) sobre a região do NEB, período janeiro a junho de 1983.

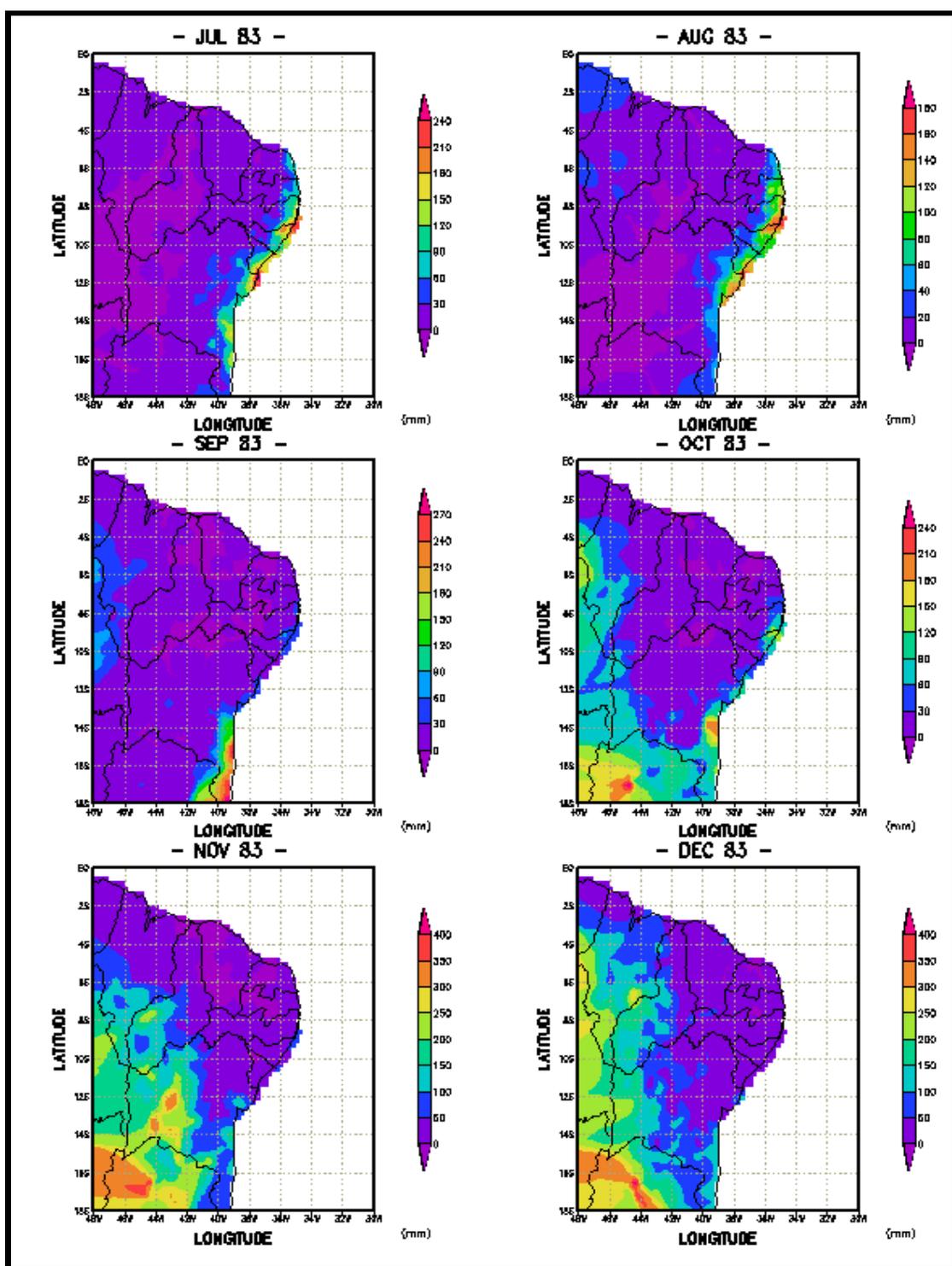


Fig. 4.14 - Configuração dos campos numéricos espaciais mensais de precipitação (mm/mês) sobre a região do NEB, período julho a dezembro de 1983.

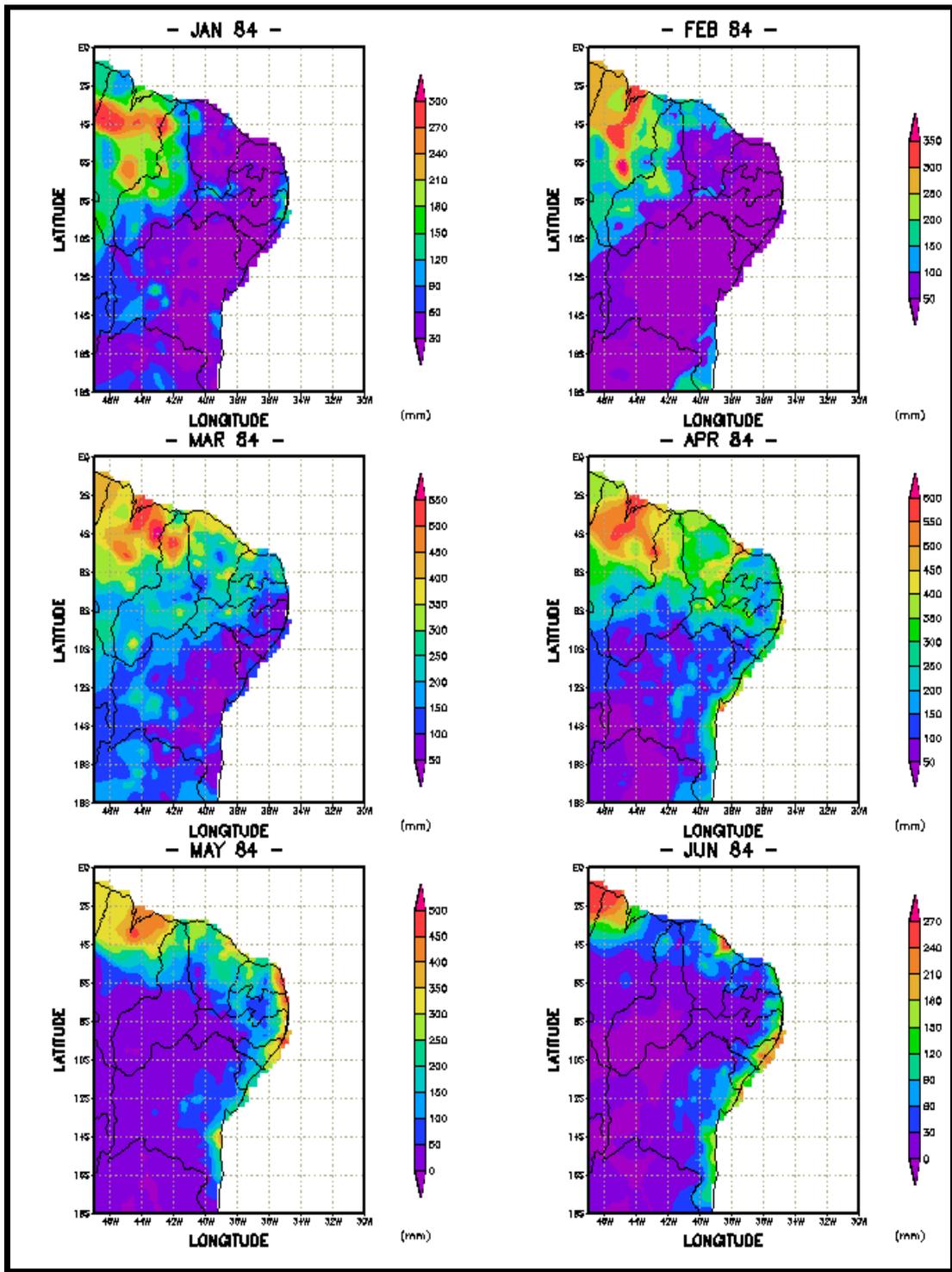


Fig. 4.15 - Configuração dos campos numéricos espaciais mensais de precipitação (mm/mês) sobre a região do NEB, período de janeiro a junho de 1984.

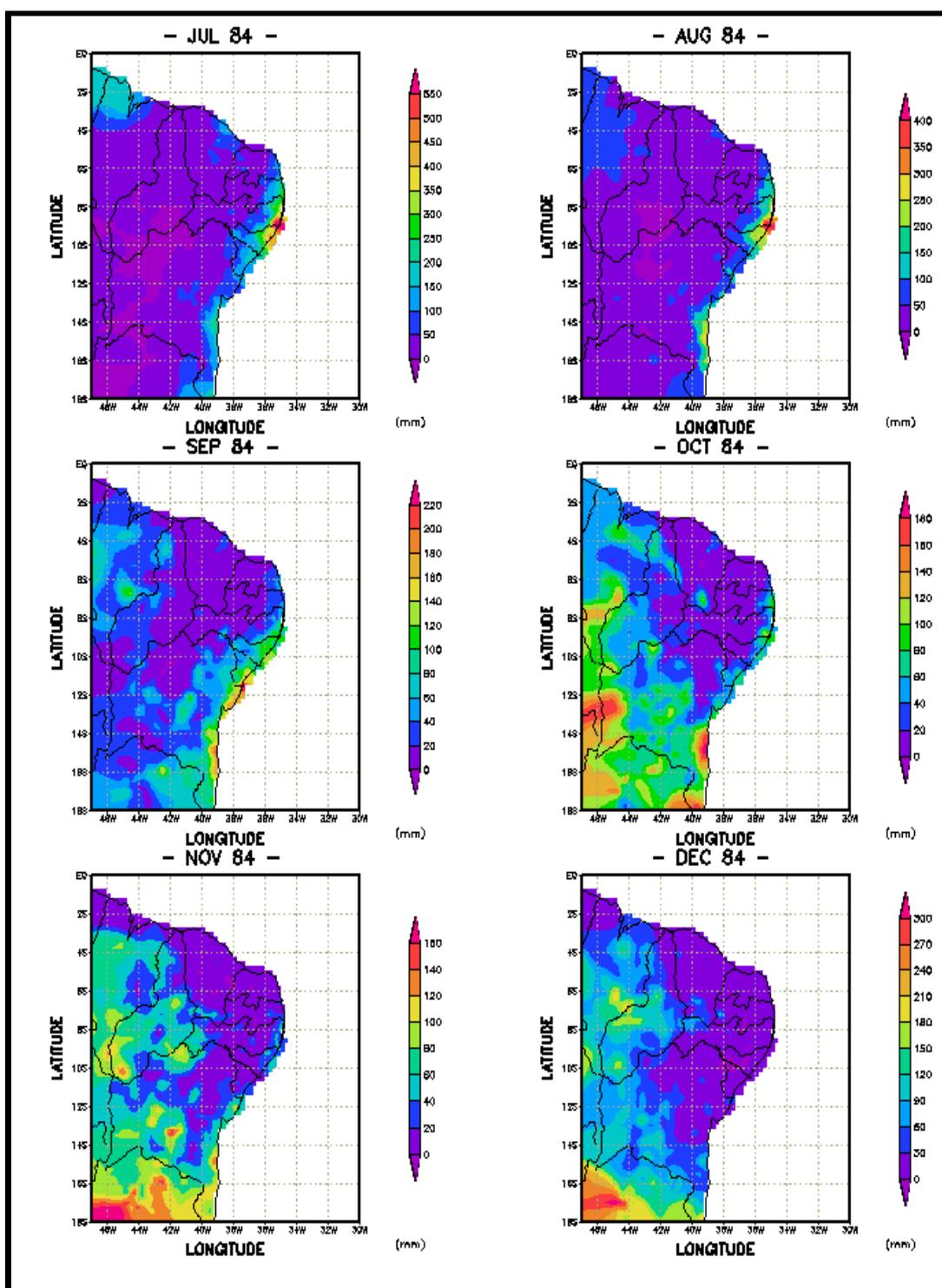


Fig. 4.16 - Configuração dos campos numéricos espaciais mensais de precipitação (mm/mês) sobre a região do NEB, período de julho a dezembro de 1984.

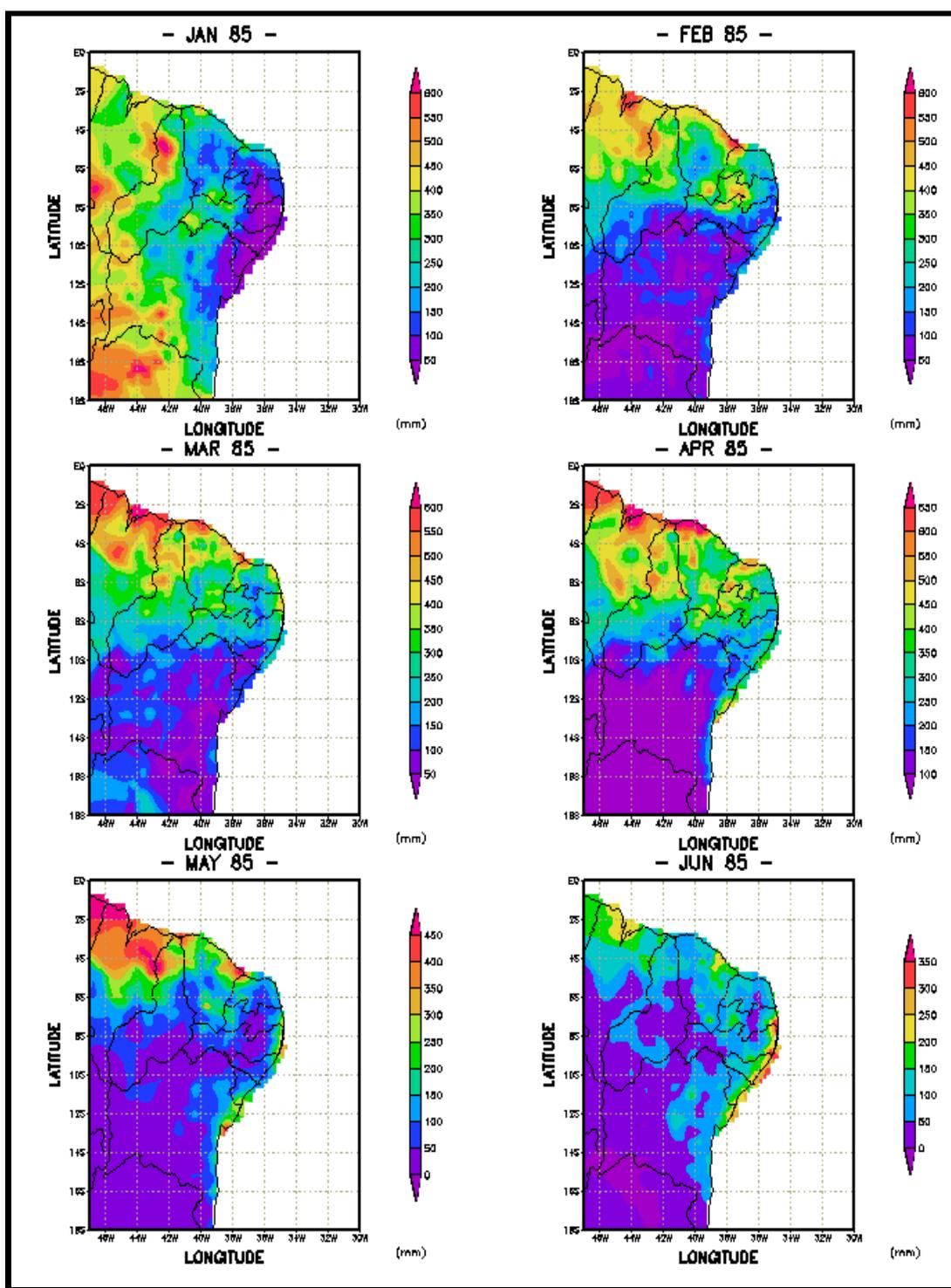


Fig. 4.17 - Configuração dos campos numéricos espaciais mensais de precipitação (mm/mês) sobre a região do NEB, período de janeiro a junho de 1985.

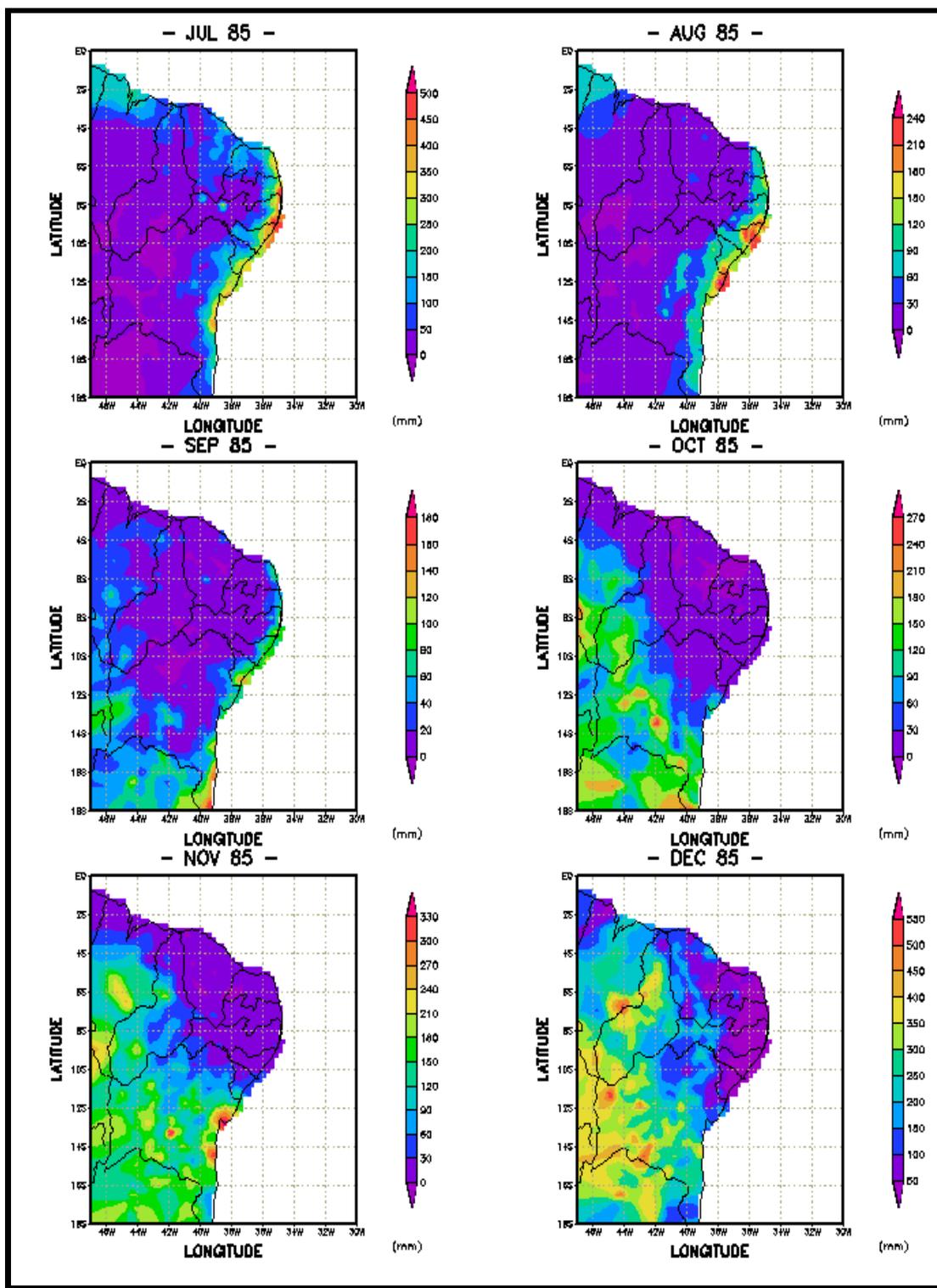


Fig. 4.18 - Configuração dos campos numéricos espaciais mensais de precipitação (mm/mês) sobre a região do NEB, período de julho a dezembro de 1985.

4.3.2 - ANÁLISE DO IVDN

A distribuição espacial do IVDN mensal durante o ano de 1982 está apresentada nas Figuras 4.19 e 4.20, e os valores numéricos médios na Tabela 4.5. Constatou-se que na parte central do NEB, para os meses de outubro a março, relativos à estação chuvosa, quando ocorrem os mais altos valores, houve deslocamento das isolinhas de IVDN no sentido de sul para norte; no período de abril a setembro, pertinente à estação seca, e com valores baixos de IVDN, o deslocamento foi oposto.

Os campos numéricos de IVDN em 1982 apresentam os maiores valores médios nos meses chuvosos de janeiro (0,40), fevereiro (0,40), março (0,37), com coeficientes de variação relativamente baixos, de 33,5%, 30,0% e 35,1%, respectivamente. Em 1983, os maiores valores médios e os coeficientes de variação foram, respectivamente, 0,39, 0,37, 0,35 e 33,3%, 37,8%, e 37,1%.

Por outro lado, os menores valores de IVDN em 1982 ocorreram no período de seca do NEB, nos meses de junho (0,27), julho (0,28), agosto (0,30) e setembro (0,33), com coeficientes de variação mais elevados, de 37,0%, 39,3%, 43,3% e 42,4%, respectivamente. Em 1983, os valores mais baixos foram encontrados nas épocas chuvosa e seca, nos meses de abril (0,27), maio (0,27), junho (0,24), julho (0,23) e agosto (0,27), com coeficientes de variação de 40,7%, 40,7%, 45,8%, 43,5% e 40,7%, respectivamente.

Valores intermediários de IVDN foram encontrados na estação "pré-chuvosa" de 1982, nos meses de outubro (0,35) e novembro (0,36), com coeficientes de variação de 40,0% e 41,7%, respectivamente; este período coincidiu com a fase inicial do evento ENOS. Em 1983, valores intermediários de IVDN foram encontrados nos meses de setembro (0,34), outubro (0,38) e novembro (0,35), com coeficientes de variação 44,1%, 36,8% e 37,1%, respectivamente. Observou-se nos meses de maio/82, junho/82 e dezembro/82 os menores valores médios mensais de IVDN do NEB neste ano, 0,27, com coeficientes de variação

respectivamente 40,7%, 37,0% e 37,0%; os menores valores dos pontos de "grade" foram no interior do NEB, atingindo 0,02. O maior desvio padrão foi 0,15 em novembro, e o menor, 0,10 em junho e dezembro, conforme apresentados na Tabela 4.5. Em 1983 a estação pré-chuvosa coincidiu com a fase final do evento ENOS.

Comparando-se os dados do mês de dezembro para os dois anos, verificou-se que em 1982 o IVDN médio foi 0,27, enquanto que em 1983 atingiu 0,4, ou seja 48% a mais. Estas diferenças para o NEB, sobretudo no setor norte, são explicadas como resultantes do El-Niño, que no final de 1982 estava próximo ao seu auge, causando redução máxima na precipitação. A anomalia de temperatura do Oceano Pacífico próximo às costas do Peru e Equador foi 3,8⁰C em dezembro/82, e de 0,5⁰C um ano após, indicando que no final de 1983 este fenômeno já havia recendido.

A Figura 4.32 representa a configuração das anomalias de TSM no Pacífico leste e Atlântico Tropical para os meses de janeiro a junho do ano de 1985. Em abril observa-se no Pacífico Leste extensa área com anomalias negativas de TSM, entre 20⁰N e 20⁰S, com pequenos núcleos de anomalias negativas de 1⁰C. Na costa do Equador e Peru, as anomalias negativas de TSM foram próximas de zero. A configuração do tipo "dipolo" para as anomalias de TSM no Atlântico Tropical, foi favorável à precipitação no setor norte do NEB. Esta anomalia foi bem definida nesse mês, apresentando valores negativos de TSM no Atlântico Sul, embora suas magnitudes tenham sido pequenas, inferiores a 1⁰C, e próximas de zero.

No Atlântico Tropical, as anomalias de TSM em 1985 foram, em geral, semelhante às do mês anterior, com valores positivos na maior parte do Oceano, entre as latitudes de 40⁰N e 30⁰S; as anomalias de TSM no Pacífico Leste mostraram características bem estabelecidas da fase oposta à observada durante o evento ENOS/1983. No Atlântico tropical foi observado um padrão de configurações de TSM, característico de ano chuvoso do NEB.

Os dados mostram que em um ano seco como 1982, os valores de IVDN, embora cresçam nos meses mais chuvosos, atingem valores elevados, e nos meses secos chegam a níveis relativamente baixos. A análise dos campos mensais de IVDN para 1982, permitiu determinar o comportamento médio para a região do NEB, resultando no valor de 0,33, com coeficiente de variação médio de 38%. Em 1983, o valor médio foi 0,32, com coeficiente de variação médio 39,2%. Os valores altos dos coeficientes refletem a intensa variabilidade espacial e temporal da pluviometria sobre o NEB, com suas diferentes tipologias e densidades da vegetação.

Os campos numéricos espaciais mensais apresentados nas Figuras 4.19 a 4.26 indicam para o setor noroeste de Maranhão, durante todo período 1982-1985, pouca ou nenhuma variação nos valores de IVDN, que se mantiveram em níveis muito baixos, próximos a 0,08. Tal condição certamente indica problema nos dados IVDN para esta região, uma vez que os dados correspondentes de pluviometria confirmam chuvas praticamente todos meses na área conforme as Figura 4.11 a 4.18. Uma possibilidade para tal discrepância é a alta incidência de nuvens decorrentes da presença da ZCIT na maior parte do ano nesta região, sempre associadas a valores mínimos de IVDN.

No ano chuvoso de 1984 observa-se na distribuição mensal espacial do IVDN os maiores valores nos meses de janeiro (0,40), fevereiro (0,39), março (0,34), abril (0,31), com os coeficientes de variação de 35,0%, 33,3%, 32,4% e 32,2%, respectivamente, acompanhando as chuvas fortes até abril. Por outro lado, os menores valores de IVDN nos meses de maio (0,23), junho (0,24), julho (0,26) e agosto (0,25), com coeficientes de variação 39,1%, 37,5%, 38,5% e 40,0%, respectivamente, correspondem ao período de seca do NEB. Os valores intermediários de IVDN foram encontrados com predominância nos meses de setembro (0,32), outubro (0,36), novembro (0,37) e dezembro (0,40), com coeficientes de variação de 40,6%, 36,1%, 37,8% e 35,0%, respectivamente, correspondendo ao período da pré-estação chuvosa. Em 1985, a situação foi semelhante, e nos meses chuvosos (janeiro a maio) o valor médio mensal de IVDN chega alcançar 0,39 e nos meses mais secos

(agosto a novembro) constata-se que o índice permanece em nível relativamente alto, de 0,38. Em 1984 o valor médio do IVDN foi 0,32, com coeficiente de variação 36,4%. Enquanto em 1985, o valor médio do IVDN foi 0,37, com coeficiente de variação 37%.

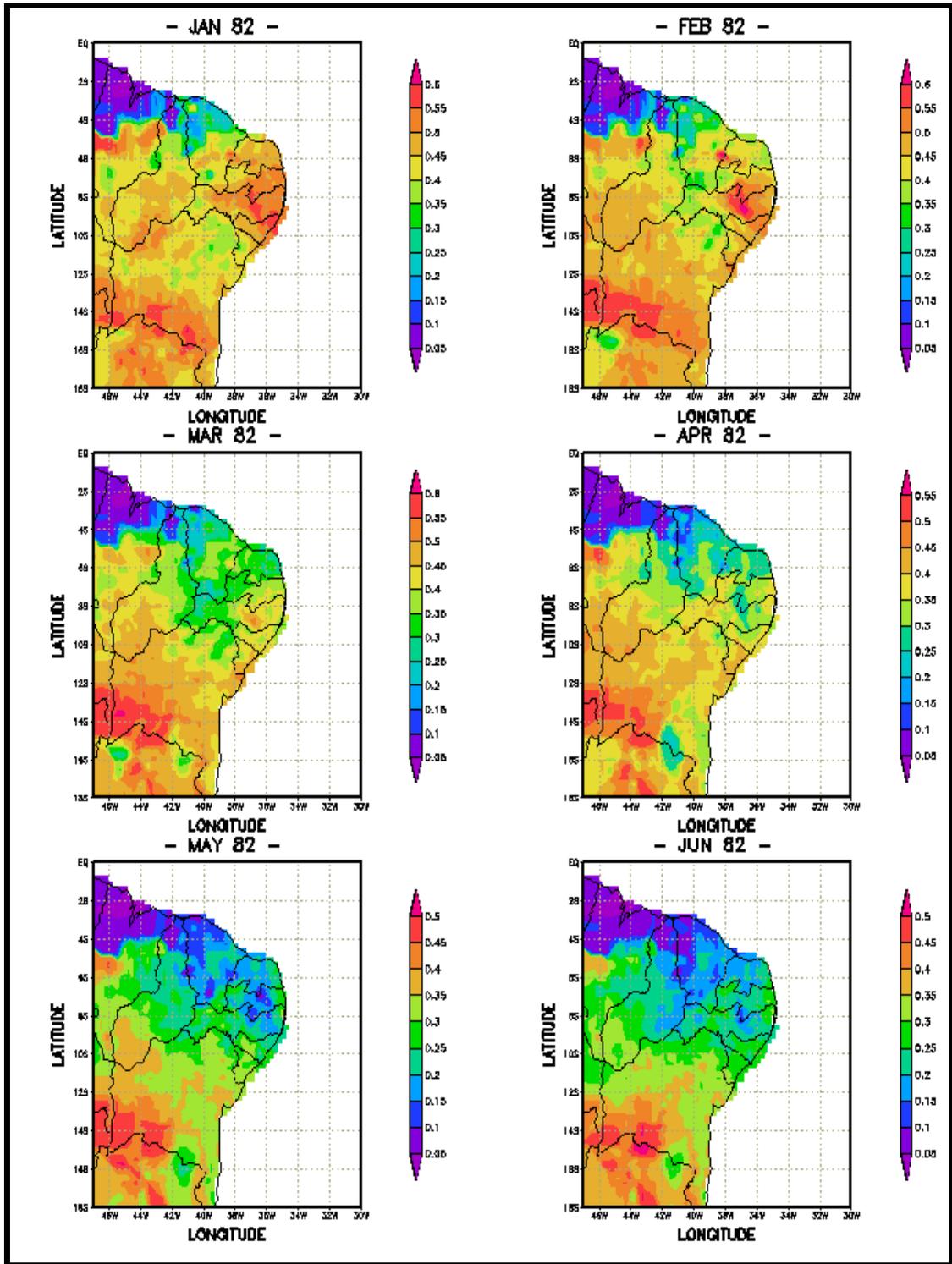


Fig. 4.19 - Configuração dos campos numéricos espaciais mensais de IVDN sobre a região do NEB, período janeiro a junho de 1982.

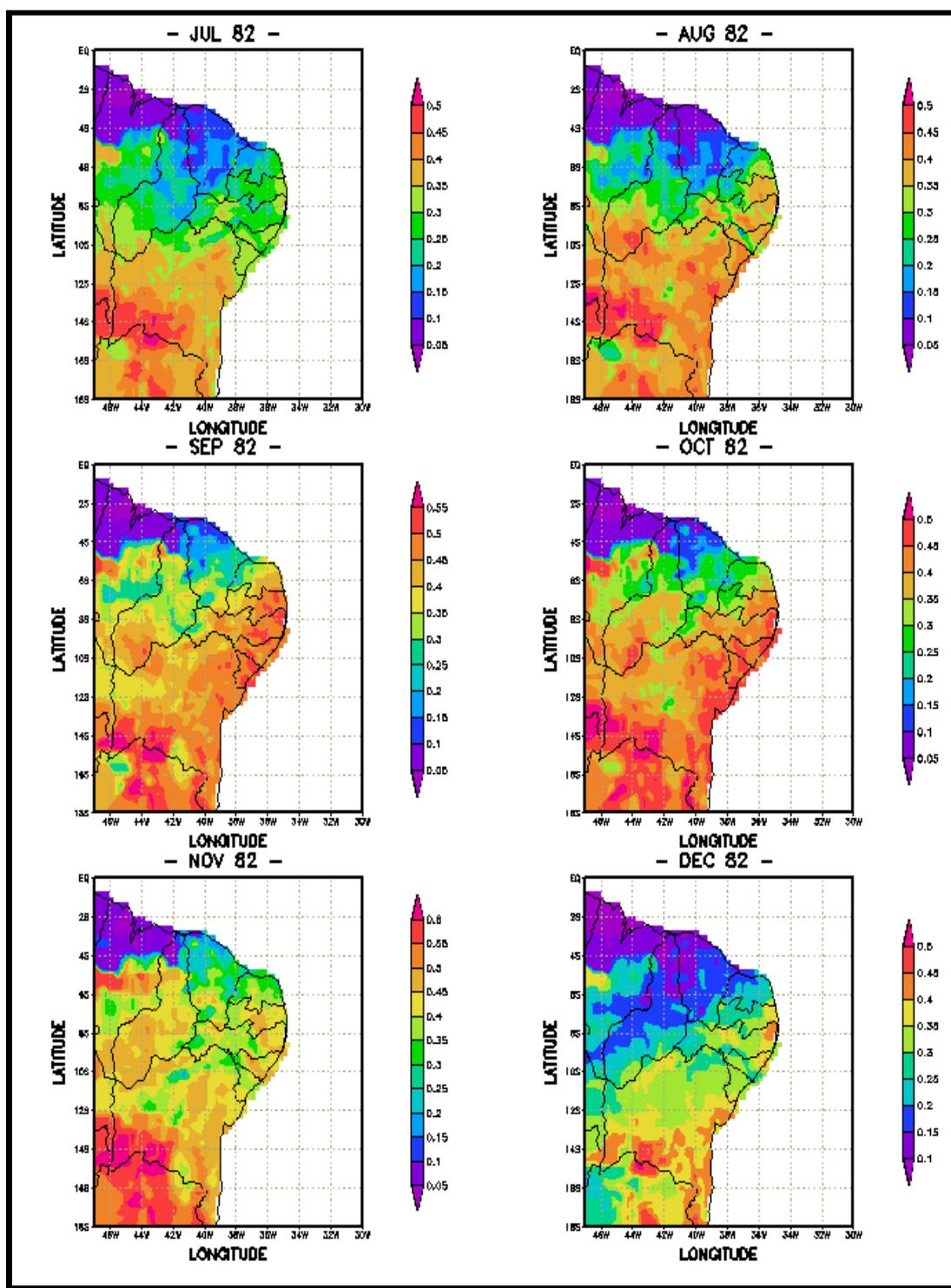


Fig. 4.20 - Configuração dos campos numéricos espaciais mensais de IVDN sobre a região do NEB, período de julho a dezembro de 1982.

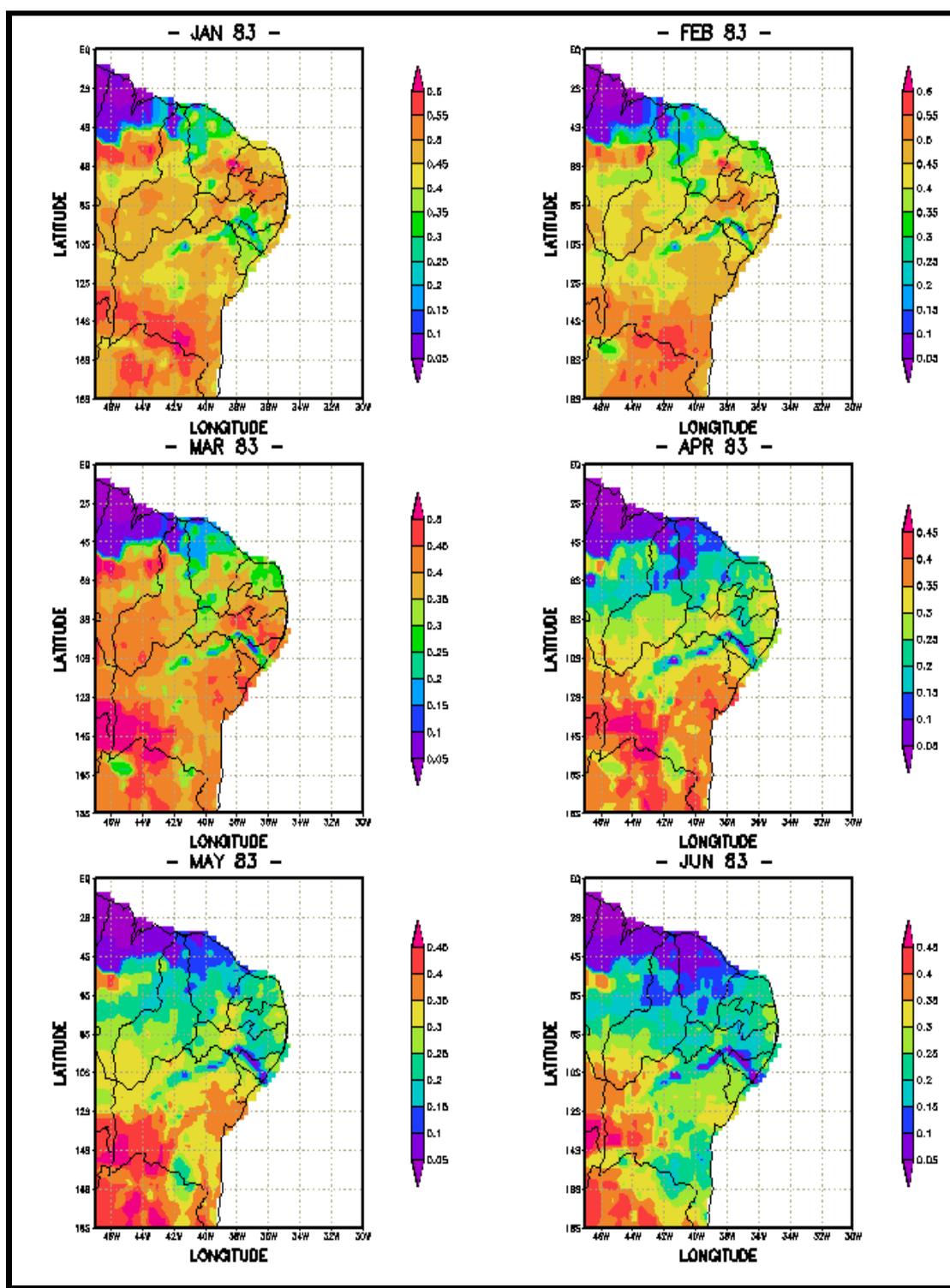


Fig. 4.21 - Configuração dos campos numéricos espaciais mensais de IVDN sobre a região do NEB, período de janeiro a junho de 1983.

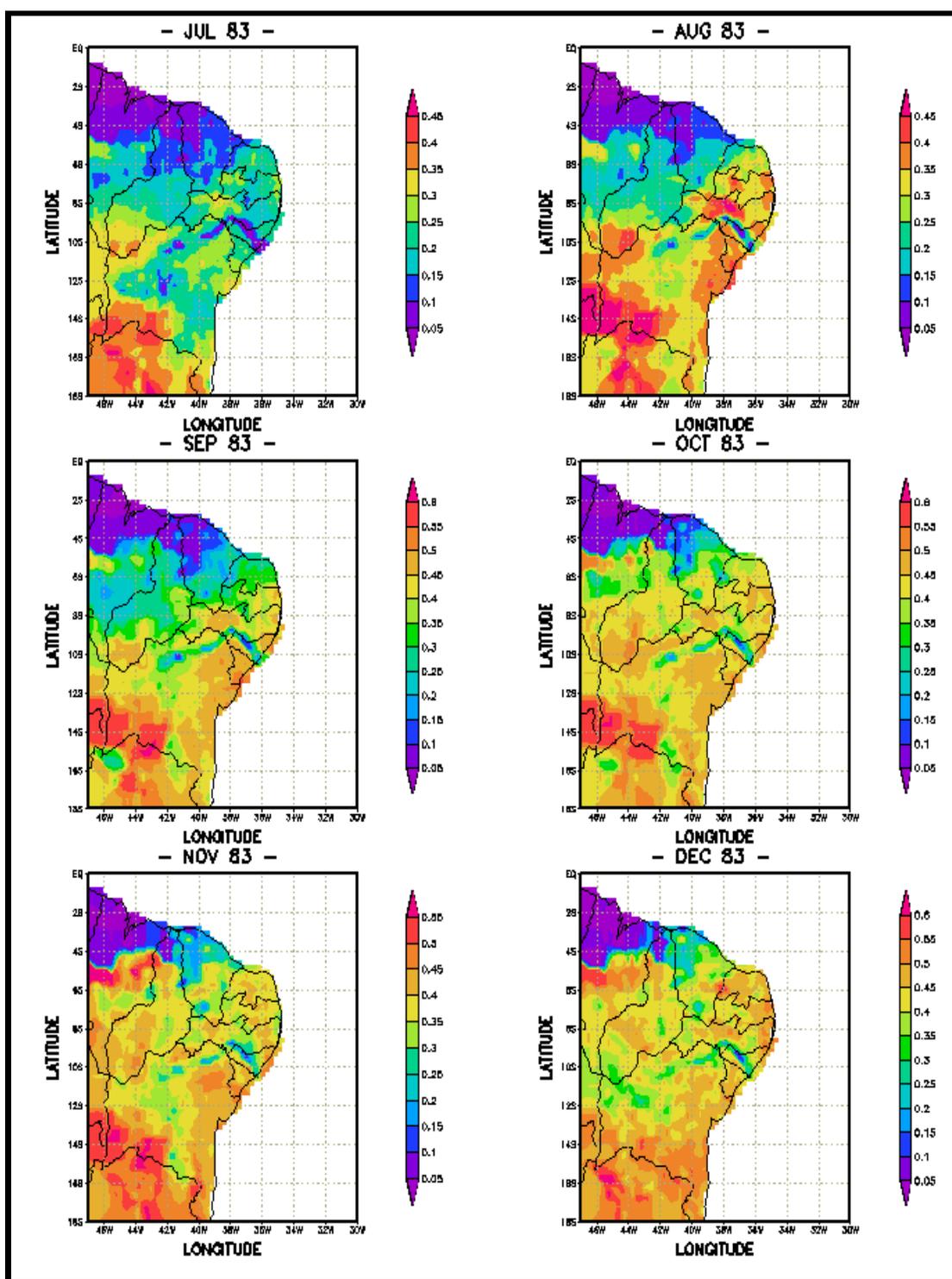


Fig. 4.22 - Configuração dos campos numéricos espaciais mensais de IVDN sobre a região do NEB, período de julho a dezembro de 1983.

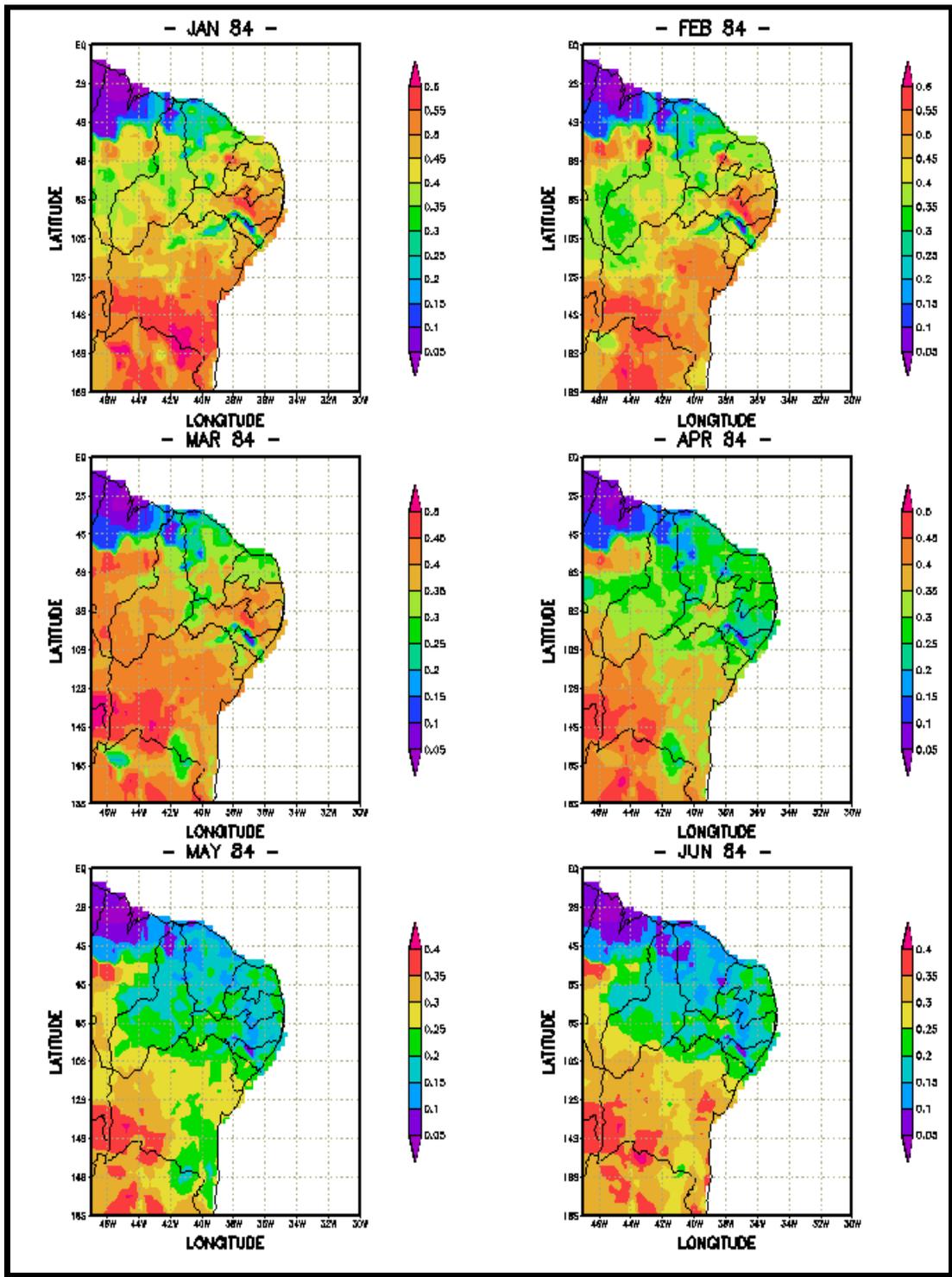


Fig. 4.23 - Configuração dos campos numéricos espaciais mensais de IVDN sobre a região do NEB, período janeiro a junho de 1984.

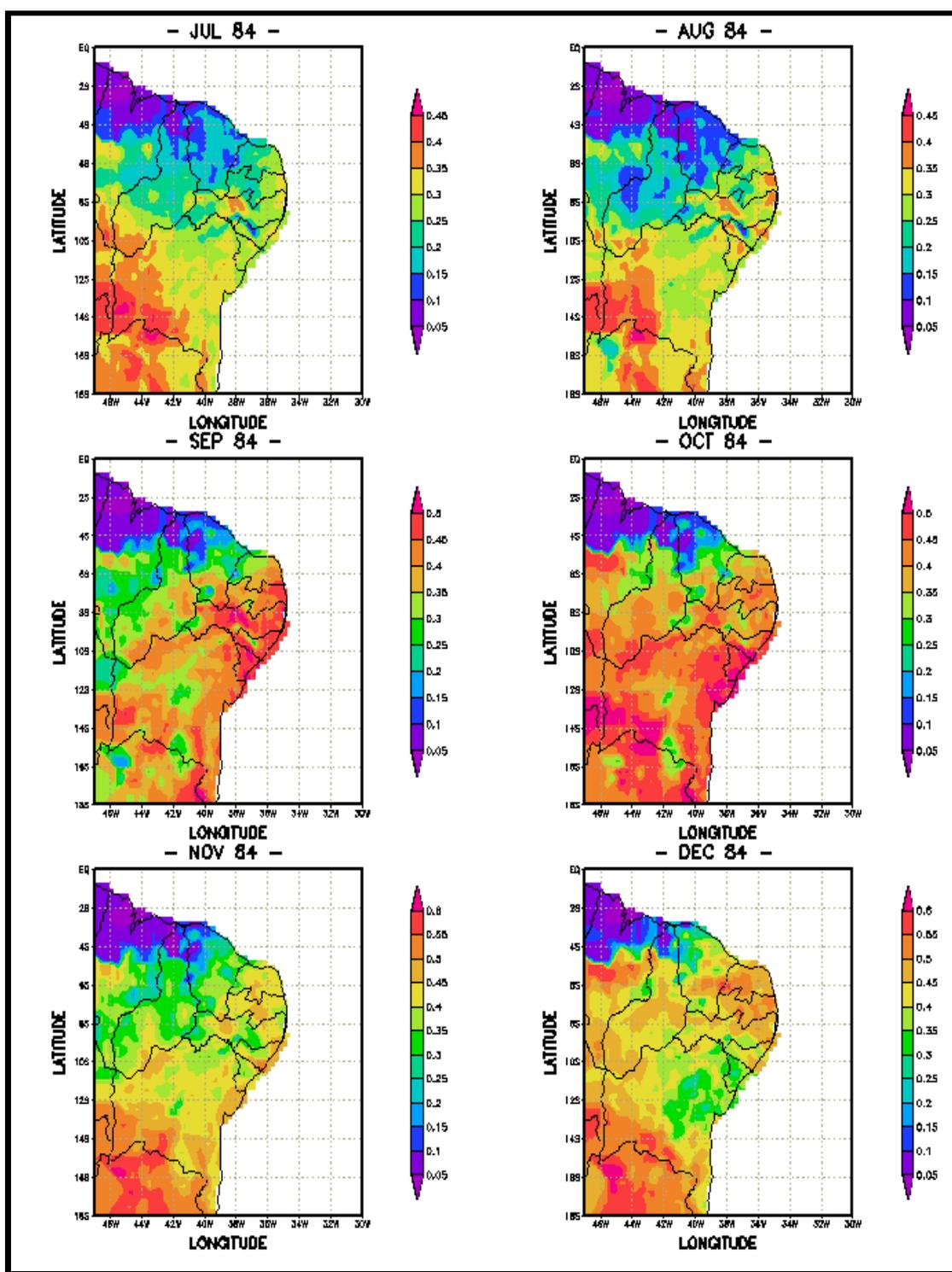


Fig. 4.24 - Configuração dos campos numéricos espaciais mensais de IVDN sobre a região do NEB, período julho a dezembro de 1984.

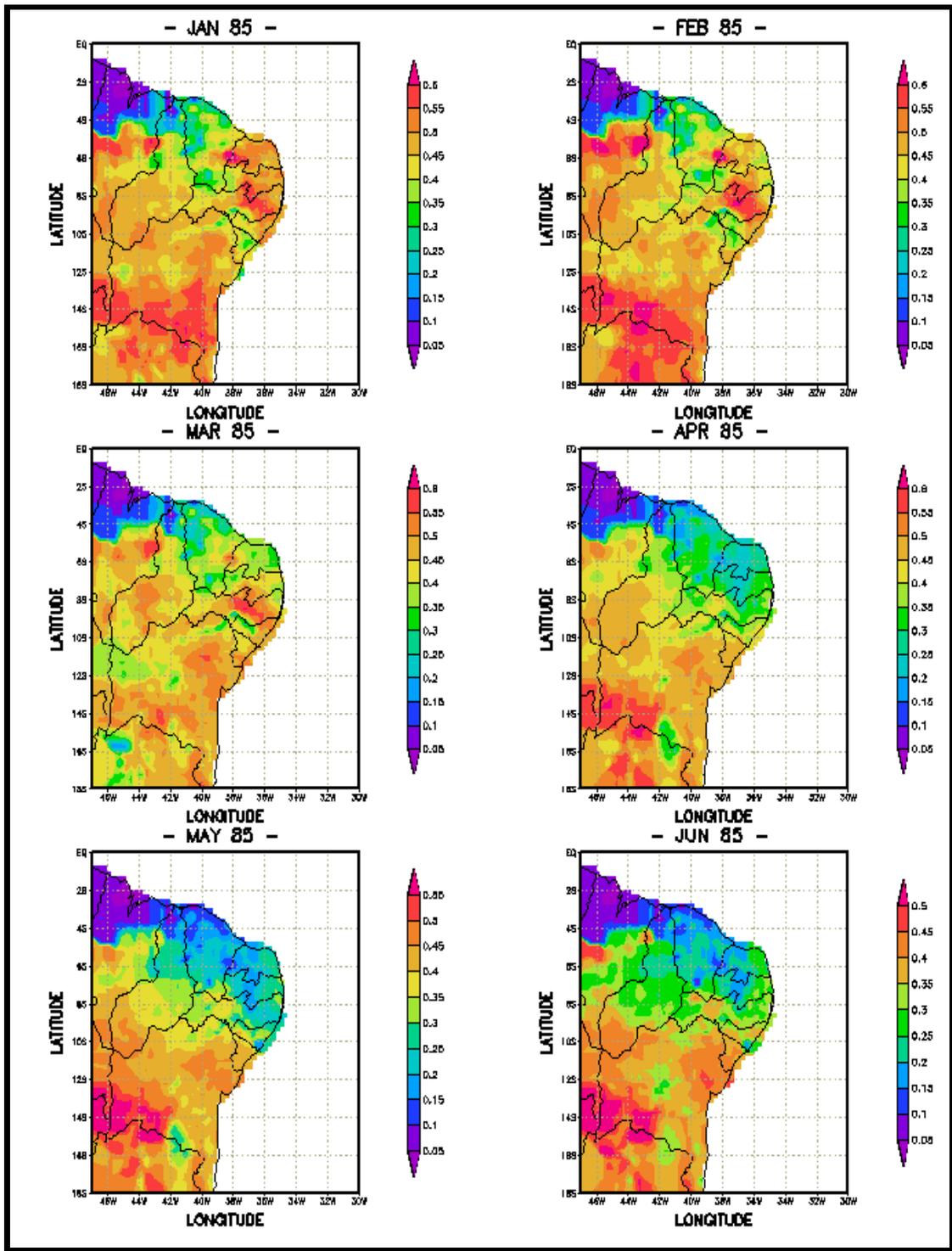


Fig. 4.25 - Configuração dos campos numéricos espaciais mensais de IVDN sobre a região do NEB, período janeiro a junho de 1985.

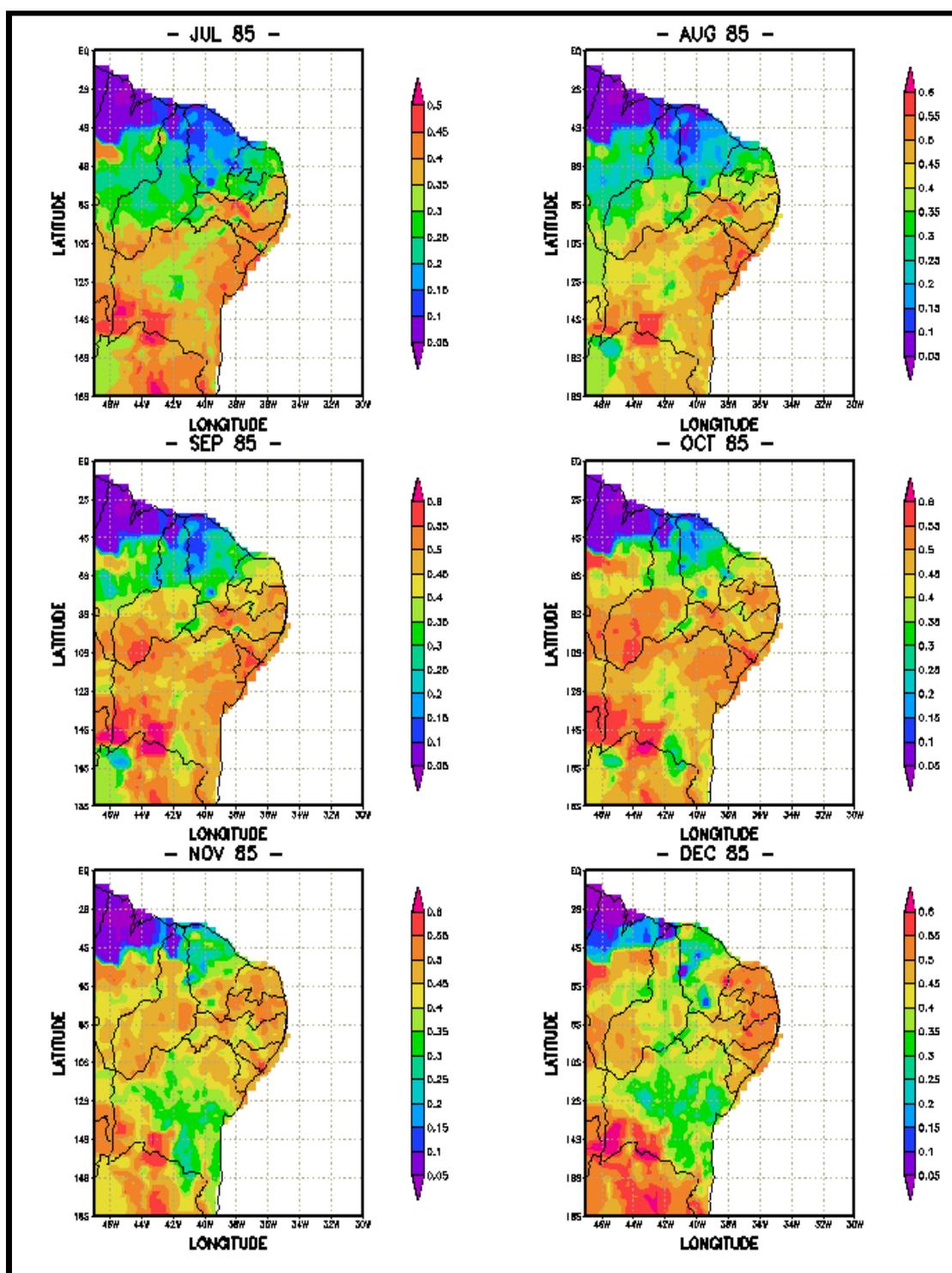


Fig. 4.26 - Configuração dos campos numéricos espaciais mensais de IVDN sobre a região do NEB, período julho a dezembro de 1985.

Nas análises dos campos mensais dos quatro anos estudados para os meses de outubro a março no NEB, o avanço das isolinhas dos maiores valores de IVDN ocorre no sentido de sul para norte, com retrocesso de abril a setembro. É provável que esse deslocamento geográfico seja relacionado com a trajetória preferencial de atividade convectiva associada à ZCAS e de linhas de instabilidade responsáveis pela incidência de chuvas no período. Nota-se também nos campos a distribuição espacial irregular dos núcleos com altos IVDNs, persistentes durante o ano. Verifica-se que o valor mensal dos meses mais chuvosos apresenta muita variabilidade ao longo do ano (Tabela 4.5) identificando-se um ciclo anual pronunciado e grande redução da variabilidade dos meses mais chuvosos para os meses mais secos. A orografia, principalmente no Planalto da Borborema, paralelo à costa leste pode ter relativa influência na configuração dos valores de IVDN, observando-se que pequenos núcleos com IVDN alto alinham-se em sentido norte e sul, paralelo à costa leste do NEB.

4.3.3 - ANÁLISE TEMPORAL CONJUNTA DOS CAMPOS DE 1982-85

Além da análise qualitativa dos campos da distribuição espacial de IVDN e precipitação, obteve-se também a evolução temporal das respectivas médias espaciais mensais para o NEB. A evolução temporal da Figura 4.27 indica a dependência do campo de IVDN às variações mensais de precipitação nos quatro anos de contraste estudados.

Observando-se a evolução temporal do IVDN na Figura 4.27, nota-se um período sazonal de oscilação no ciclo fenológico do NEB. Este ciclo tem seu máximo entre novembro e março, com o aumento dos valores de IVDN na época das chuvas, correspondendo ao início do ciclo fenológico. Por sua vez, prevalecendo a estiagem nos demais meses do ano, o retrocesso nos valores de IVDN ocorre em função das respostas da cobertura vegetal ao estresse hídrico.

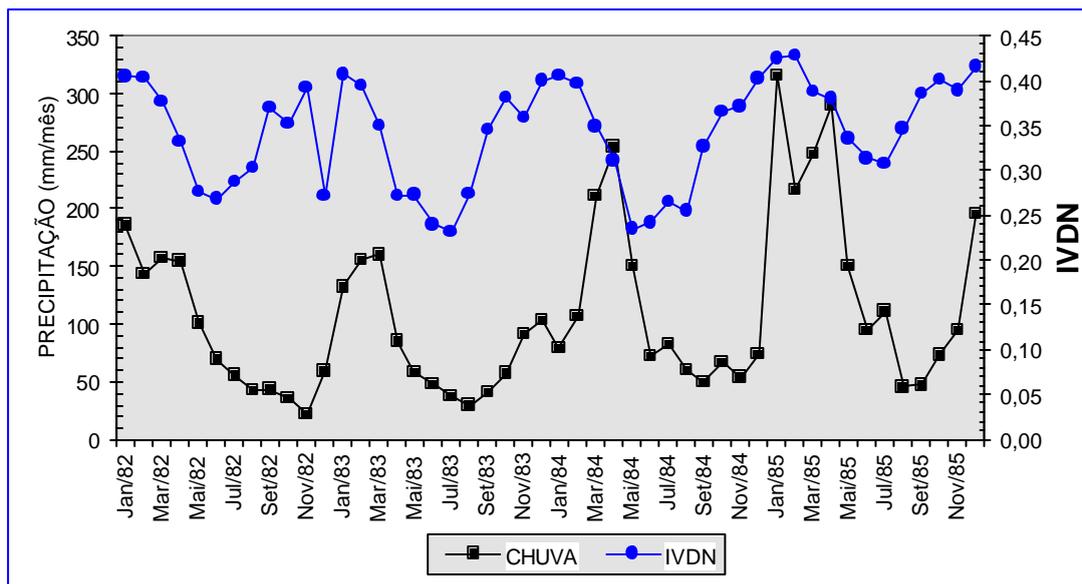


Fig. 4.27 - Evolução temporal média espacial de IVDN e pluviosidade de janeiro/1982 a dezembro/1985 sobre o NEB.

O valor médio temporal de IVDN espacial mensal, no período de janeiro/82 a dezembro/85, foi de 0,34, com coeficiente de variação em torno de 17%. Todos resultados anteriores mostram que o campo de IVDN é um indicador conveniente do campo de precipitação, principalmente numa região de grande extensão como o NEB.

A Tabela 4.6 apresenta as correlações simultâneas e defasadas entre valores médios mensais de IVDN e totais de precipitação para os diferentes tipos de vegetação do Nordeste do Brasil, Leste da África e Sahel. Nota-se que no NEB, de modo geral, as correlações mais acentuadas foram evidenciadas entre o tempo de resposta dos totais pluviométricos de dois meses consecutivos com o IVDN do último desses dois meses ("lag=1+2"). Resultados semelhantes foram encontrados por Nicholson et al. (1990) para as regiões do Sahel e Leste da África. Entretanto, nestas regiões, as correlações entre o IVDN mensal e a precipitação acumulada não foram superiores em virtude da influência da sazonalidade no ciclo fenológico. Além disso, os IVDNs de diferentes tipos de vegetação do Sahel correlacionaram-se diretamente com a precipitação; mesmo as correlações defasadas para o Sahel foram elevadas - ver Tabela 4.6. Por outro lado nas regiões do Leste da África e Nordeste do

Brasil, os IVDNs de diferentes tipos de vegetação correlacionaram-se significativamente com a precipitação combinada do referido com a do mês anterior. Tanto as correlações simultâneas para o Leste da África e NEB foram inferiores quando comparadas a região do Sahel. Isto sugere que as respostas da vegetação natural à precipitação dependem do tipo de vegetação, além do ciclo hidrológico. Nicholson et al. (1990) sugeriram que no Leste da África a variação do IVDN correlaciona-se melhor com a capacidade de armazenamento de água no solo.

O IVDN integrado anual é consideravelmente maior para os diferentes tipos de vegetação do Nordeste do Brasil quando comparado com as das regiões do Leste da África e do Sahel, sendo esta última a região onde foram evidenciados os menores valores. Tais diferenças, de modo geral, podem ser atribuídas ao fato das formações do NEB serem mais arbóreas que herbáceas. No leste da África, os setores onde predominam os mesmos sistemas atmosféricos sinóticos do NEB, apresentam formações herbáceas.

Especificamente na região semi-árida do NEB, Kazmierczak (1994) determinou os valores médios mensais de IVDN/AVHRR/NOAA/GAC para 10 amostras em 3 classes de vegetação: *Caatinga Arbustiva Aberta*, *Caatinga Arbustiva Densa* e *Caatinga Arbórea*. Os valores obtidos foram 0,23, 0,31 e 0,39, respectivamente, utilizando uma série mensal de 119 meses, entre agosto/81 a junho/91. A correlação geral entre os valores de precipitação e IVDN com retardos de um mês foi de 0,88. Por outro lado, particularmente na região Amazônica, empregando as mesmas séries e no mesmo período, Almeida (1997) encontrou os valores médios mensais de IVDN com 0,49 para *Floresta Ombrófila Densa*. Este autor verificou a inexistência de correlações estatisticamente significativas entre IVDN e precipitação em áreas de floresta. Correlações mais acentuadas foram encontradas com tempo de resposta de dois meses, e ainda assim inferiores a 0,4. Tais resultados estão em concordância com algumas das análises obtidas no presente trabalho para as amostras das classes *Caatinga* e *Floresta Ombrófila Densa*.

TABELA 4.6 - IVDN INTEGRADO ANUAL MÉDIO E COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO LINEAR SIMULTÂNEOS E DEFASADOS ENTRE VALORES MÉDIOS MENSAIS DE IVDN E TOTAIS DE PRECIPITAÇÃO PARA DIFERENTES TIPOS DE VEGETAÇÃO DO NORDESTE DO BRASIL, LESTE DA ÁFRICA E SAHEL, NO PERÍODO DE 1982-85

Tipos de Vegetação	CORRELAÇÕES			IVDN INTEGRADO
	"LAG" (mês)			
Posto Pluviométrico	0	1	1+2	
Nordeste do Brasil				
<i>D</i> /Ponto Chique	0,25	0,33	0,34	5,94
<i>A</i> /Amaragi	0,53	0,56	0,49	5,20
<i>C</i> /Imperatriz	0,17	0,46	0,58	4,95
<i>F</i> /Macaparana	0,46	0,65	0,62	4,73
<i>S</i> /Correntina	0,28	0,64	0,68	4,55
<i>Ed</i> /Puca	0,43	0,57	0,66	4,73
<i>Ea</i> /Catunda	0,43	0,62	0,68	3,48
<i>Eu</i> /Pedro II	0,63	0,77	0,80	3,37
<i>Es</i> /Casa Nova	0,52	0,62	0,62	2,90
<i>T</i> /Fortaleza	-0,09	0,01	0,08	0,86
Leste da África				
* <i>Floresta</i> /Amani	0,31	0,47	0,67	5,20
* <i>Floresta</i> /Kericho	0,16	0,58	0,69	4,3
* <i>Floresta</i> /Kitale	0,31	0,65	0,65	4,3
* <i>Floresta</i> /Utete	0,61	0,74	0,76	4,0
* <i>Floresta</i> /Kondoa	0,50	0,82	0,89	3,8
* <i>Floresta</i> /Biharamulo	0,54	0,55	0,47	3,7
* <i>Estepe</i> /Manyoni	0,53	0,71	0,81	3,9
* <i>Estepe</i> /Mandera	0,42	0,93	0,76	3,3
* <i>Estepe</i> /Wajir	0,61	0,76	0,66	2,5
* <i>Gramínea</i> Habbaswein	0,52	0,82	0,80	1,1
Sahel				
* <i>Estepe</i> /Menaka	0,31	0,65	0,72	5,8
* <i>Floresta</i> /Nara	0,71	0,85	0,71	3,9
* <i>Floresta</i> /Bamako	0,67	0,90	0,86	3,5
* <i>Floresta</i> /Koutiala	0,53	0,90	0,93	2,8

(*) Os valores da Tabela 4.6 referentes às estações do Leste da África e Sahel foram baseados em Nicholson et al. (1990, p.232).

4.4 - CAMPOS NÚMERICOS DE CORRELAÇÕES ENTRE IVDN E PRECIPITAÇÃO

As Figuras 4.28 e 4.29 apresentam os campos numéricos de correlação defasada por um "lag" de 1 mês entre os campos médios mensais de IVDN e precipitação no NEB, obtidos a partir dos dados de 5.571 pontos de "grade" para os quatro anos de estudo. Foram analisados apenas os meses de setembro a dezembro que compreendem a pré-estação chuvosa, por ser este o período em que o IVDN apresenta maior amplitude de variação em menor intervalo de tempo. Correlações positivas indicam variação direta do IVDN de um mês com respeito ao valor de precipitação no mês anterior.

Observa-se nas figuras que a disposição e o valor numérico espacial dos campos de correlação dos 4 meses é bastante similar quando comparada mês a mês, inclusive no caso das correlações negativas. Correlações positivas indicam que a rebrota e crescimento da vegetação ocorrem posteriormente à precipitação, o que é esperado. Por outro lado, as correlações negativas, algumas próximas a -1, e portanto muito elevadas, exigem considerações particulares. Observou-se que estes últimos casos referem-se a situações com praticamente zero de precipitação, quando a correlação negativa estaria indicando que a vegetação possui um ciclo sazonal até certo ponto independente da ocorrência de precipitação. Ou seja, a rebrota e crescimento seriam iniciadas em um certo período do ano, mesmo com atraso nas chuvas, a partir de umidade em camadas mais profundas do solo. As áreas com os maiores coeficientes positivos de correlação, com r superior a 0,8, encontram-se nos setores norte, sul, centro-oeste e sudeste do NEB. Além disso, pequenos núcleos com r entre 0,8 e 1,0 foram observados por todo NEB.

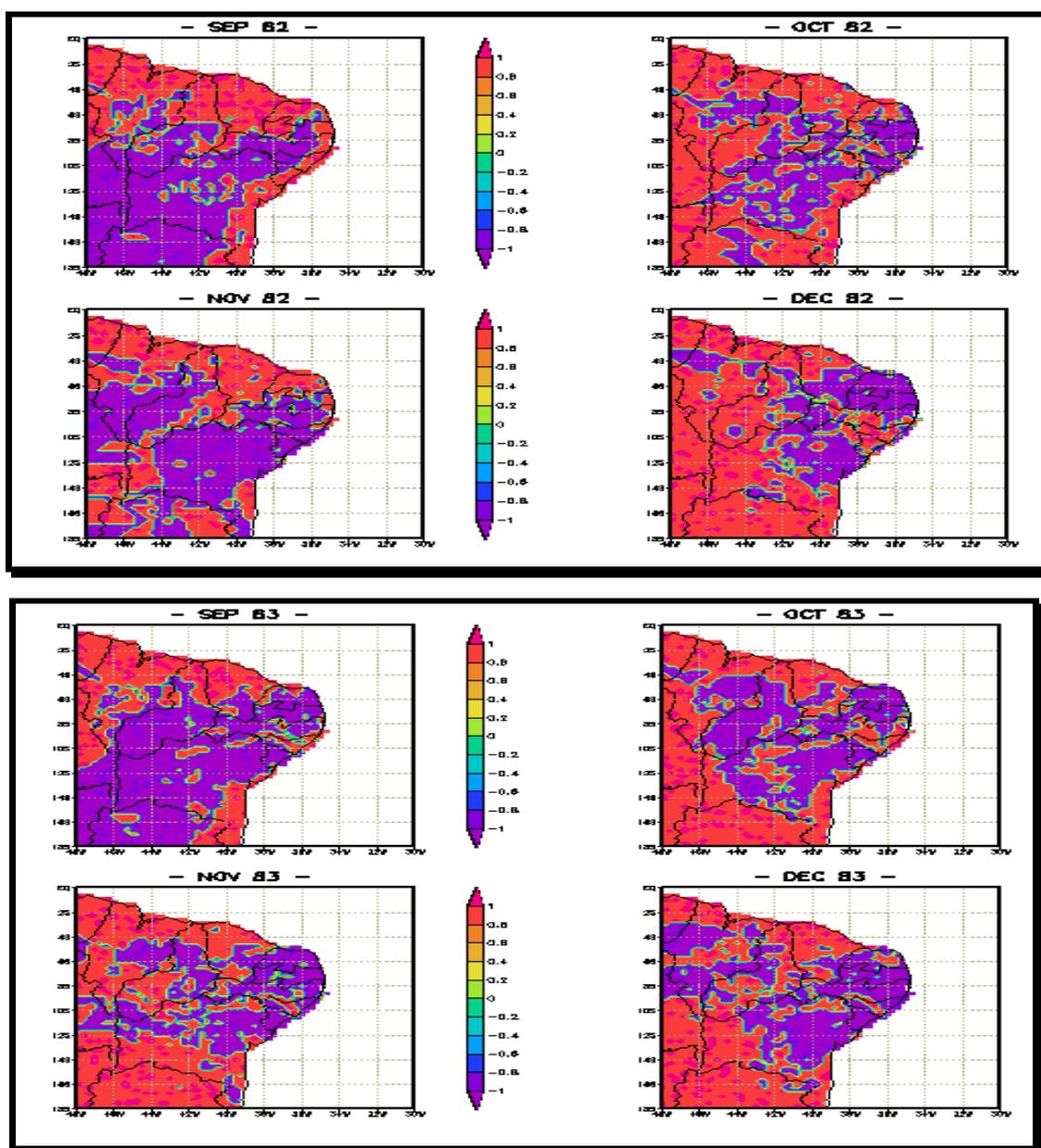


Fig. 4.28 - Configuração dos campos numéricos espaciais de correlação com "lag=1mês" entre precipitação e IVDN, período de setembro a dezembro 82-83.

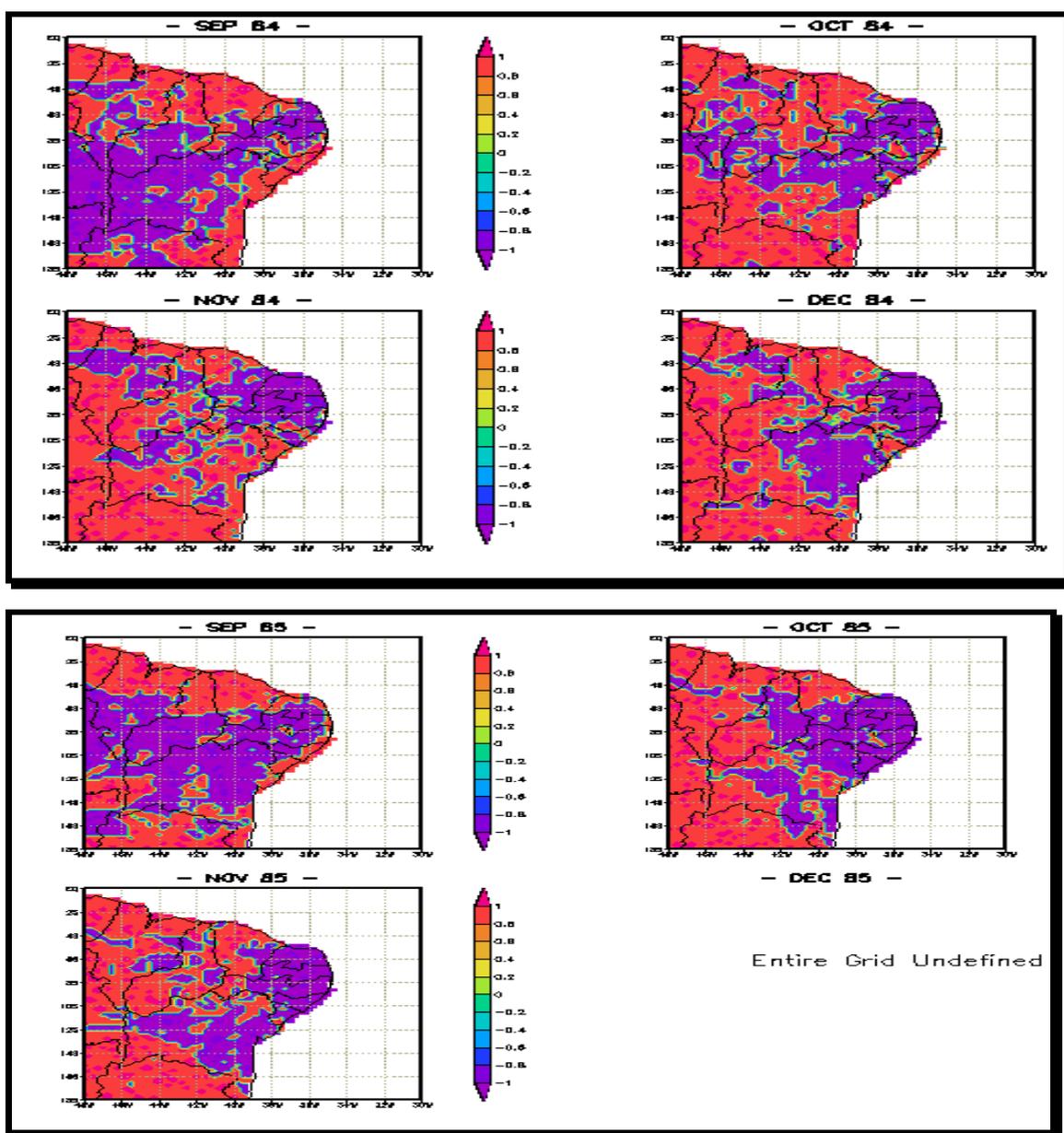


Fig. 4.29 - Configuração dos campos numéricos espaciais de correlação com "lag=1 mês" entre precipitação e IVDN, período de setembro a dezembro 84-85.

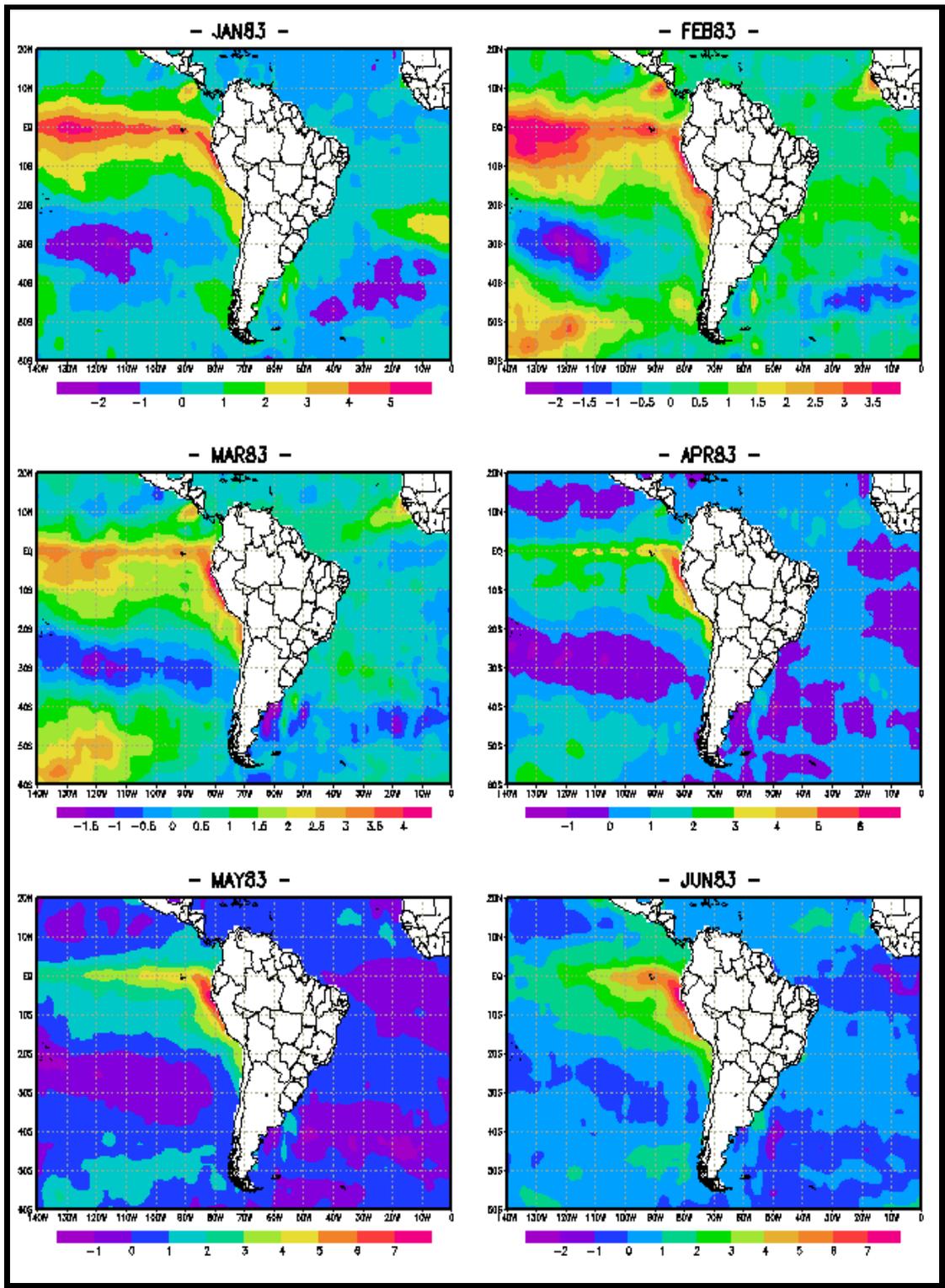


Fig. 4.30 - Configuração dos campos numéricos espaciais mensais de anomalias de TSM ($^{\circ}\text{C}$), Atlântico e Pacífico Leste Tropical, período janeiro a junho de 1983.

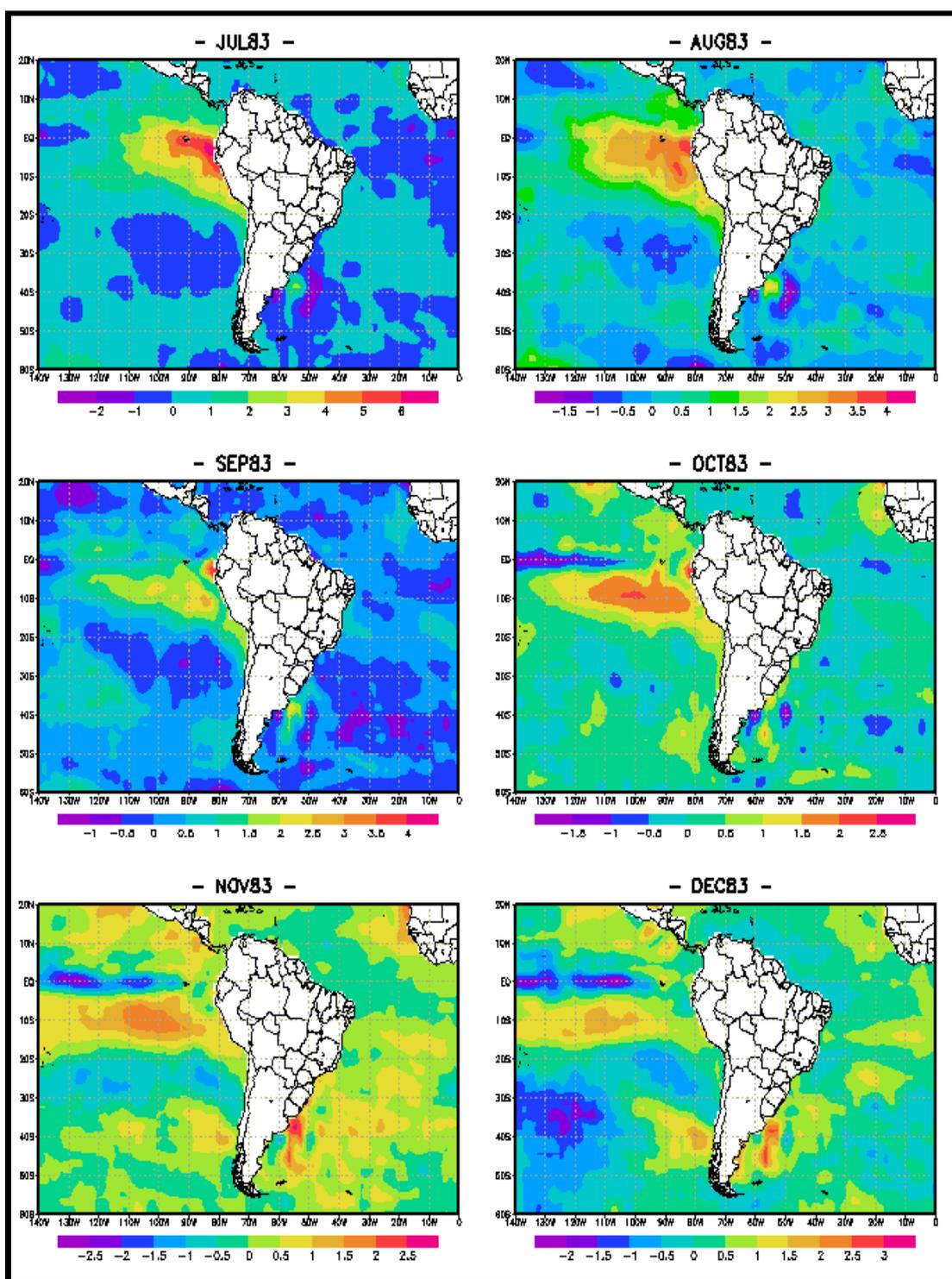


Fig. 4.31 - Configuração dos campos numéricos espaciais mensais de anomalias de TSM ($^{\circ}\text{C}$) Atlântico e Pacífico Leste Tropical, período julho a dezembro de 1983.

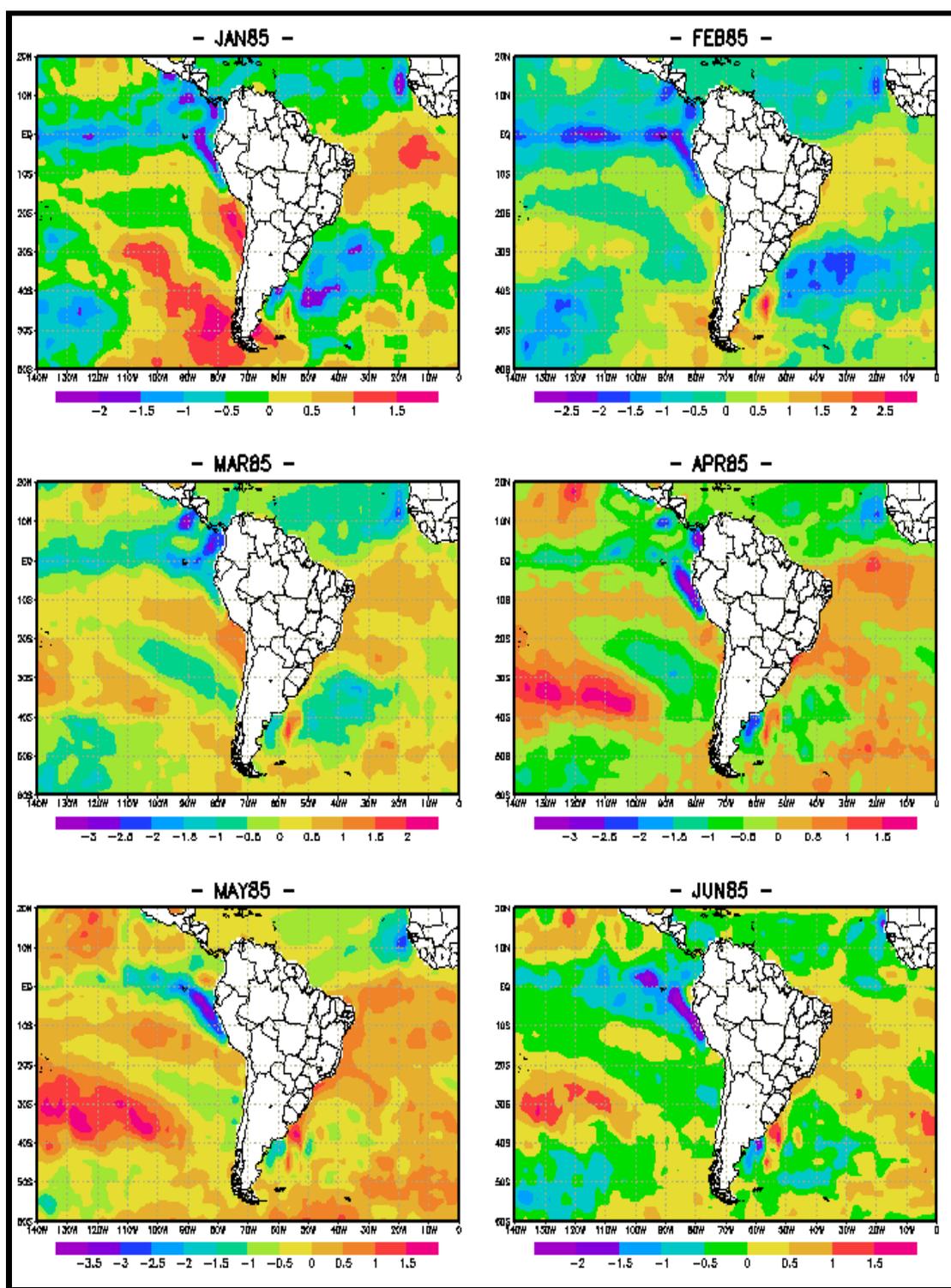


Fig. 4.32 - Configuração dos campos numéricos espaciais mensais de anomalias de TSM ($^{\circ}\text{C}$), Atlântico e Pacífico Leste Tropical, período janeiro a junho de 1985.

TABELA 4.7 - MÉDIAS MENSAIS (N) E ANOMALIAS(A) DE TSM (°C) PARA REGIÕES DE NIÑOS 1+2, 3, 4 E 3+4

ANO	MÊS	N_{1+2}	A	N_3	A	N_4	A	N_{3+4}	A
1982	01	24,3	0,08	25,9	0,53	28,3	0,22	26,7	0,36
1982	02	25,5	-0,24	26,4	0,19	28,2	0,17	26,7	0,06
1982	03	25,2	-0,93	27,0	0,09	28,4	0,29	27,2	0,09
1982	04	24,5	-0,93	27,7	0,42	28,8	0,51	28,0	0,39
1982	05	24,0	-0,79	27,8	1,03	29,4	0,89	28,5	0,99
1982	06	22,9	0,27	27,5	1,30	29,7	1,19	28,7	1,33
1982	07	22,5	1,00	26,5	1,09	29,4	0,94	28,1	1,14
1982	08	21,7	1,13	26,1	1,36	29,0	0,69	28,0	1,33
1982	09	21,8	1,59	26,6	1,98	29,2	0,91	28,2	1,78
1982	10	22,9	2,37	27,2	2,56	29,4	1,12	28,7	2,27
1982	11	24,7	3,34	27,6	2,90	29,2	1,01	28,8	2,46
1982	12	26,3	3,81	28,4	3,49	29,2	0,97	29,2	2,78
1983	01	27,6	3,34	28,9	3,60	29,0	0,89	29,3	3,01
1983	02	28,2	2,42	29,0	2,83	28,8	0,77	29,2	2,62
1983	03	28,8	2,60	29,1	2,25	28,8	0,68	29,1	1,98
1983	04	28,8	3,45	29,2	1,92	28,8	0,52	28,9	1,35
1983	05	28,5	4,54	29,0	2,30	29,1	0,54	28,9	1,40
1983	06	27,7	5,10	28,2	2,08	28,9	0,35	28,3	0,90
1983	07	26,3	4,83	26,7	1,31	28,7	0,21	27,1	0,12
1983	08	24,0	3,37	25,9	1,13	28,4	0,03	26,6	-0,09
1983	09	22,3	2,06	25,2	0,65	28,2	-0,02	26,4	0,05
1983	10	21,8	1,29	24,6	-0,04	27,8	-0,54	25,8	-0,61
1983	11	21,8	0,44	24,2	-0,49	27,8	-0,48	25,6	-0,72
1983	12	23,0	0,50	24,4	-0,44	27,8	-0,44	25,6	-0,83
1984	01	24,2	-0,09	24,8	-0,53	27,6	-0,43	25,6	-0,73
1984	02	25,2	-0,58	26,2	-0,01	27,2	-0,80	26,3	-0,28
1984	03	26,0	-0,20	27,1	0,24	27,2	-0,88	26,8	-0,25
1984	04	25,2	-0,10	27,4	0,11	27,7	-0,62	27,4	-0,18
1984	05	23,2	-0,72	26,5	-0,25	27,9	-0,61	27,4	-0,14
1984	06	21,9	-0,67	25,4	-0,77	28,1	-0,44	26,9	-0,53
1984	07	21,3	-0,20	25,0	-0,40	28,3	-0,13	26,7	-0,25
1984	08	20,2	-0,41	24,4	-0,33	28,2	-0,18	26,3	-0,35
1984	09	20,4	0,19	24,3	-0,28	28,6	0,64	26,4	0,01
1984	10	20,5	-0,05	24,0	-0,69	28,3	-0,04	25,9	-0,55
1984	11	21,5	0,09	24,0	-0,68	27,9	-0,29	25,4	-0,95
1984	12	22,6	0,11	23,6	-1,23	27,4	-0,78	24,9	-1,46
1985	01	23,7	-0,58	24,5	-0,08	27,8	-0,31	25,5	-0,81
1985	02	24,9	-0,86	25,0	-1,13	27,5	-0,50	25,6	-1,06
1985	03	25,6	-0,55	26,1	-0,76	27,4	-0,68	26,2	-0,86
1985	04	24,2	-1,11	26,6	-0,66	27,7	-0,60	26,9	-0,69
1985	05	22,2	-1,73	26,1	-0,61	28,1	-0,49	27,1	-0,41
1985	06	21,6	-1,03	25,5	-0,62	28,1	-0,42	26,9	-0,47
1985	07	20,4	-1,10	24,8	-0,59	28,2	-0,21	26,7	-0,25
1985	08	19,3	-1,30	24,3	-0,50	28,3	-0,03	26,5	-0,18
1985	09	19,2	-0,98	24,0	-0,54	28,3	0,02	26,2	-0,19
1985	10	19,8	-0,70	24,1	-0,51	28,2	-0,14	26,1	-0,32
1985	11	20,6	-0,79	24,2	-0,52	28,5	0,26	26,2	-0,20
1985	12	22,0	-0,51	24,3	-0,60	28,5	0,31	26,2	-0,22

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este estudo procurou analisar qualitativa e quantitativamente variações temporais nos dados mensais de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN) e de pluviosidade para dez áreas-teste de diferentes tipos fitofisionômicos no Nordeste do Brasil (NEB) no período 1982-85. Foram também analisados campos numéricos destas variáveis objetivando o monitoramento de eventos climáticos extremos na região.

Os resultados indicaram que a evolução temporal e espacial dos dados mensais de IVDN e precipitação foram congruentes e estatisticamente correlacionados para as áreas-teste de vegetação. Analisando-se a distribuição temporal apenas as classes *Área Antropizada* e *Floresta Ombrófila Densa*, observou-se a inexistência de correlação estatisticamente significativa entre IVDN e pluviosidade. Distinguiram-se duas épocas particulares: uma mais chuvosa - verão/outono, e outra seca - inverno/ primavera. Os dados dos 5.571 pontos de "grade", nos quais estão baseados os campos numéricos, também indicaram através de seus valores médios combinados a nível mensal, consonância nas distribuições espacial e temporal de IVDN e precipitação. Conclui-se que o IVDN pode ser usado como indicador do regime pluviométrico em períodos extremos de seca e chuva no NEB. Abaixo encontram-se as conclusões específicas resultantes do trabalho.

- 1) A evolução temporal para os diferentes tipos fitofisionômicos do NEB indicou nos anos muito secos de 1982-83 valores mensais de IVDN com tendência de crescimento na época de verão e outono, ou seja, de outubro a maio, sem contudo atingirem valores elevados (0,4 a 0,5); na época de inverno e primavera, de junho a setembro, com tendência a decréscimo, os valores chegaram a níveis muito baixos (0,08 a 0,12). Nos anos muito chuvosos de 1984-85 os valores de IVDN mensais durante o verão e outono alcançaram valores elevados, entre 0,5 a 0,6, enquanto que no inverno e primavera permaneceram em níveis relativamente médios, em torno de 0,1 a 0,3.

- 2) O IVDN nos quatro anos também variou conforme os diferentes padrões morfológicos da cobertura vegetal do NEB. Em um extremo, a *Floresta Ombrófila Densa* apresentou o valor médio de 0,49 com coeficiente de variação 8,8%, e no outro, a *Caatinga Arbustiva Densa*, com 0,25 e 48,86%, respectivamente. Para esta primeira classe, o IVDN apresentou respostas acentuadamente lentas ou inexistentes às variações na precipitação, não sendo portanto adequado no monitoramento de vegetação neste caso. A classe *Área Antropizada*, com valor médio 0,08, apresentou a maior instabilidade de IVDN, com 86% de coeficiente de variação, devida a muito solo exposto, presença de construções diversas e cobertura vegetal escassa; no caso da primavera dos anos chuvosos de 1984 e 85 o IVDN foi inesperadamente elevado.
- 3) Considerando-se o conjunto dos quatro anos estudados, verificou-se que nos períodos janeiro-maio e setembro-dezembro as contribuições para a média espacial anual de 5.571 pontos foram de 60% e 18%, respectivamente, sobre a região do NEB. A análise dos campos numéricos mensais de IVDN mostrou uma progressão espacial, no sentido sul-norte de outubro a março, e com retrocesso de abril a setembro. É provável que esse deslocamento geográfico decorra da trajetória similar da convecção causada pela Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e das linhas de instabilidade a ela associadas. Da mesma forma, núcleos isolados com altos valores de IVDN observados no NEB, de duração de poucos meses, devem estar relacionados à ZCAS e em particular a convecções atmosféricas locais. A única interrupção no deslocamento do IVDN ocorreu em dezembro/82, no início do grande evento ENOS (El Niño/Oscilação Sul) de 1982-83.
- 4) As correlações obtidas nas análises temporais para as dez áreas-teste revelaram uma relação de dependência entre IVDN e precipitação, com nível de correlação "r" variando de 0,2 a 0,6, e acentuando-se com um "lag" de 1+2 meses a níveis mais significativos, entre 0,3 a 0,8; ou seja, a precipitação de um mês relaciona-se melhor com o IVDN do próprio mês e do mês anterior combinados. Para os campos numéricos, este tempo de resposta no NEB foi de 1 mês.

- 5) As regiões onde os campos numéricos mensais de IVDN e precipitação apresentaram maior correlação no período de setembro a dezembro nos quatro anos estudados corresponderam, de maneira geral, às áreas de atuação dos principais padrões de sistemas meteorológicos no NEB. Nos meses secos, de agosto a novembro, os campos de precipitação apresentaram-se uniformes, ao contrário dos meses chuvosos, de janeiro a maio.

Este trabalho mostrou que o IVDN pode ser usado como indicador do regime pluviométrico em períodos extremos de seca e chuva no NEB, tanto a nível local como regional. Recomenda-se dar continuidade a essa linha de pesquisa, refinando-se a resolução espacial e temporal dos dados de satélite empregados, assim como a da densidade de observações pluviométricas, em particular no bioma *Caatinga*.

Sugere-se ainda analisar quantitativa e qualitativamente as variações espaço/temporal conjuntas dos Índices de Vegetação IVDN e IVAS "Índice de Vegetação Ajustado ao Solo" em áreas especiais do NEB, uma vez que a variabilidade espacial dos solos dessa região deve introduzir "ruído" no sinal AVHRR do dado IVDN.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, S. A. O. **Determinação de redução de umidade superficial na região dos cerrados com imagens AVHRR/NOAA e precipitação pluviométrica.** Brasília. 1997. 316p. Tese (Doutorado em Ecologia) - Universidade de Brasília.
- Almeida, E. S. **Relação entre índice de vegetação derivado do NOAA/AVHRR e precipitação na região Amazônica.** São José dos Campos. 80p. (INPE-6390-TDI/606). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1997.
- Assad, E. D.; Castro, L. H. R.; Almeida, S. A. O. Análise exploratória da variação espaço temporal do índice de vegetação NOAA/AVHRR e pluviometria: caso dos cerrados brasileiros. [CD - ROM]. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 9., Salvador, out. 11-15, 1996. **Anais.** São José dos Campos: INPE. 1996.
- Assad, E. D.; Setzer, A. W.; Moreira, L. Estimativa de precipitação através dos índices de vegetação do satélite NOAA. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 5., Natal, Out. 11-15, 1988. **Anais.** São José dos Campos: INPE: 1988. v.2, p.425-429.
- Barnes, S. L. A technique for maximizing details in numerical weather map analysis. **Journal Applied Meteorology**, v.3, n.4, p.396-409, Apr.1964.
- Batista, G. T.; Shimabukuro, Y. E.; Lawrence, W. T. Monitoramento da cobertura florestal através de índices de vegetação do NOAA-AVHRR. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 7., Curitiba, maio 10-14, 1993. **Anais.** São José dos Campos: INPE, 1993. v.2, p.30-37.
- Bridgman, H. A. Direct visible epectral and aerossol optical dephts at urban and rural locations during the summer of 1975 at milwankee. **Solar Energy**, v.21, n.2, p.139-148, Feb.1978.
- Cane, M. A.; Trivedi, N. B. Spectral characteristics of the annual series for Northeast. **Climatic Change**, v.17, n.3, p.324-325, Mar.1990.

- Cavalcanti, J. F. A. **Um estudo sobre interações entre sistemas de circulação de escala sinóptica e circulações locais**. São José dos Campos. 132p. (INPE-2494-TDL/097). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1932,
- Climanálise: boletim de monitoramento e análise climática. São José dos Campos, v.2, dez.1986. Edição especial
- Cross, A. M.; Settle, J. J.; Drake, N. A.; Paivinem, R. T. M. Subpixel measurements of tropical forest cover using AVHRR data. **International Journal of Remote Sensing**, v.12, n.5, p.1119-1129, May, 1991.
- Diallo, Q.; Diouf, A.; Hanan, N. P.; Ndiaye, A.; Prevost, Y. AVHRR monitoring of savanah primary production in Senegal, West Africa. **International Journal Remote Sensing**, v.12, n.6, p.1259-1279, June, 1991.
- Diaz, A.; Studzinski, C. Rainfall anomalies in the Uruguay Southern in Brazil region related to SST in Pacific an Atlantic Oceans using canonical correlations analysis. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 7., Belo Horizonte, 1994. **Anais**. Belo Horizonte, 1994. v. 2, p.42-45.
- Dirjk, A. V.; Callis, S. L.; Sakamoto, C. M. Smoothing vegetation index profiles: an alternative method for reducing radiometric disturbance in NOAA/AVHRR data. **Photogrametric Engineering of Remote Sensing**, v.36, n.11, p.1059-1967, Nov. 1987.
- Doswell III, C. A. Obtaining meteorologically filtering property of objective analysis. **Monthly Weather Review**, v.105, n.7, p.885-892, July, 1977.
- Doty, Brian. **The grid analysis and display system** [online] <ftp://sprite.llnl.gov/pub/fiorino/grads.www/grads.html>. May, 1997.
- Eiten, G. **Classificação da vegetação do Brasil**. Brasília: CNPq, 1983. cap.5, p.18-19.
- Ferri, M. G. **Ecologia: temas e problemas brasileiros**. São Paulo: EDUSP, 1974.

- Foury, P. A. As matas do Nordeste brasileiro e sua importância econômica. **Boletim Geográfico**, v.31, n.4, p.14-121, abr.1973.
- Gallaudet, T. C.; Simpson, J. J. Automated cloud screening of AVHRR imagery using split and merge clustering. **Remote Sensing of Environment**, v.28, n.2, p.77-121, Feb.1991.
- Gallo, K. P.; Brown, J. F. **Evaluation of data reduction and compositing of the NOAA Global Vegetation Index product: a case study**, EUA. U. S. Department of Commerce National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Washington, D.C., NESDIS, 1990. (NOAA technical report NESDIS 54).
- Gan, M. A. **Um estudo observacional sobre as baixas frias da alta troposfera nas latitudes subtropicais do Atlântico Sul e Leste do Brasil**. São José dos Campos. 117p. (INPE-2685-TDL/126). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1983.
- Glynn, P. W. **Global ecological consequences of the 1982-1983 El/Niño Southern Oscillation**. New York: Elsevier, 1990. 563 p. (Elsevier Oceanography Series, 52).
- Goward, S. N.; Dye, D. G.; Turner, S.; Yang, J. Objective assessment of the NOAA global vegetation index data product. **International Journal of Remote Sensing**, v.14, n.8, p.3365-3394, Aug.1993.
- Gutman, G. G.; Liu, W. T. H. Bio-climates of South America as derived from multispectral AVHRR data. In: International Symposium on Remote Sensing of Environment, 24., Rio de Janeiro, 27-31 May, 1991. **Summaries**. Ann Arbor, ERIM, 1991, p.19-20.
- Hastenrath, S.; Heller, L. Dynamics of climatic hazards in Northeast Brazil. **Journal Royal Meteorological Society**, v.102, n.1, p. 77-92, Jan.1977.
- Holben, B. N. Characteristics of maximum value composites images from temporal AVHRR data. **International Journal of Remote Sensing**, v.7, n.11, p.1417-1434, Nov.1986.

- Huete, H. R. Soil dependent response in a developing plant canopy. **Agronomy Journal**, v.79, n.1, p. 61-68, 1987.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Desenvolvimento (IBGE)/Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (IBDF). **Mapa de vegetação do Brasil. 1:5.000.000.** 2. ed. Rio de Janeiro, 1993.
- Joly, A. B. **Conheça a vegetação brasileira.** São Paulo: EDUSP, 1970. 181p.
- Justice, C. O.; Dugdale, G.; Townshend, J. R. G.; Narracot, A. S.; Kumar, M. Synergism between NOAA-AVHRR and Meteosat data for studying vegetation development in semi-arid West Africa. **International Journal of Remote Sensing**, v.12, n.6, p.1349-1368, 1991a.
- Justice, C. O.; Eck, T. F.; Tanré, D.; Holben, B. N. The effect of water vapour on the normalized difference vegetation index derived from the Sahelian region from NOAA/AVHRR data. **International Journal of Remote Sensing**, v.12, n.6, p.1165-1187, June, 1991b.
- Justice, C. O.; Holben, B. N.; Gwynne, M. D. Monitoring east African vegetation using AVHRR data. **International Journal of Remote Sensing**; v.7, n.11, p.1459-1474, Nov. 1986.
- Kazmierczak, M. L. **Índice de vegetação derivado do NOAA/AVHRR: análise da sazonalidade da cobertura vegetal em região de clima semi-árido (Caatinga): relatório técnico.** Fortaleza:FUNCEME, 1994. 106p.
- Kidwell, K. B. **NOAA polar orbiter data (TIROS-N, NOAA-6, NOAA-7, NOAA-8 and NOAA-9): users guide.** Washington, D. C.: U.S. Department of Commerce, 1991. (NOAA Technical Report NESDIS, 67).
- Kidwell, K. B. **NOAA polar orbiter data users guide (TIROS-N, NOAA-6, NOAA-7, NOAA-8, NOAA-9, NOAA-10, NOAA-11, NOAA-12, NOAA-13 and NOAA-14).** Washington, D. C.: NOAA, June. 1995. (NOAA/NESDIS).

- King, M. D.; Kaufman, Y. J.; Menzel, W. P.; Tanré, D. Remote sensing of cloud, aerosol and water vapor properties from the Moderate Resolution Imaging Spectrometer (MODIS). **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v.30, n.1, p.2-27, Jan.1992.
- Kousky, V. E Diurnal rainfall variation in Northeast Brazil. **Monthly Weather Review**, v.108, n.4, p.488-98, Apr.1980.
- Kousky, V. E. Frontal influences on Northeast Brazil. **Monthly Weather Review**, v.107, n.9, p.1140-1153, Sept, 1979.
- Kousky, V. E.; Cavalcanti, I. F. El Niño/Southern Oscillation events: characteristics, evolution na precipitation anomalies. **Ciência e Cultura**, v.36, n.10, p.1888-1899, out. 1988.
- Laporte, N. **Etude de l'évolution spatio-temporale de la végétation tropicale: utilisation de données satellitaires NOAA/VHRR sut l'Afrique de l'ouest**. Toulouse, 1991. 231p. Thèse (Doctorat). - l'Université Paul Sabatier.
- Liu, W. T. H.; Ferreira, A. V. Monitoring crop production in the São Paulo State of Brasil using normalized difference vegetation index. In: International Symposium on Remote Sensing of Environment, 24., Rio de Janeiro, 27-31, May,1991. **Summaries**. Ann Arbor, ERIM, 1991. v.2, p.447-454.
- Los, S. O.; Justice, C. O; Tucker, C. J. A global 1⁰ x 1⁰ degree NDVI data set for climate studies regions. **International Journal of Remote Sensing**, v.15, n.17, p.3493-3518, Apr. 1994.
- National Space Development Agency of Japan (NASDA). **(TRMM): Tropical Rainfall Measuring Mission**. Tokyo, 1994. 4p. Folder
- Nicholson, S. E.; Farar, T. J. The influence of soil type on the relationships between NDVI, rainfall, and soil moisture in semi-arid Botswana I: NDVI response to rainfall. **Remote Sensing of Environment**, v.50, n.1, p.7-120, Jan.1994.

- Nicholson, S. E.; Davenport, M. L.; Malo, A. R. A. Comparison of the vegetation response to rainfall in the Sahel and East Africa, using Normalized Difference Vegetation Index from AVHRR/NOAA. **Climate Change**, v.17, n.2, p.209-241, Feb.1990.
- Nobre, C. A.; Yanasse, H. H.; Yanasse, C. C. F. **Previsão de secas no Nordeste pelo método das periodicidades; uso e abuso**. São José dos Campos: INPE, 1982, (INPE-2344-RPE/407).
- Projeto RADAMBRASIL. **Folhas SD.23, SD.24, SD.30, SC.23/24, SB.24/25, Brasília, Salvador, Aracaju/Sergipe, Rio São Francisco/Aracaju, Teresina/Jaguaribe e Jaguaribe/Natal**. Rio de Janeiro: 1982.
- Rao, C. R. N. **Degradation of the visible and near infrared channels of the AVHRR on the NOAA-9 spacecraft: assessment and recommendations for corrections**. Washington, D.C.: NESDIS, 1993. (NOAA Technical Report NESDIS-70).
- Rao, P. K.; Holnes, S. J.; Anderson, R. K.; Winston, J. S.; Lehr, P. E. **Weather satellites: systems, data and environmental applications**. Boston: American Meteorological Society, 1990.
- Rashke, E.; Barner, P.; Lutz, H. J. Remote sensing of clouds and surface radiation budget over Polar Regions. **International Journal of Remote Sensing**, v.13, n.10, p.13-22, Oct.1992.
- Robison, I. S.; Ward, N. Comparison between satellite and ship measurements of sea surface temperature in northeast Atlantic Ocean. **International Journal of Remote Sensing**, v.10, n.5, p.787-799, May 1989.
- Rouse, J. W.; Haas, R. H.; Beering, D. W.; Schell, J. A. **Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation**. Austin: Texas A. M. University. Remote Sensing Center. College Station. 1974.

- Santos, J. R.; Shimabukuro, Y. D. O sensoriamento remoto como indicador das fenofases dos cerrados brasileiros: estudo de caso com dados AVHRR/NOAA. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 7., Curitiba, maio 10-14, 1993. **Anais**. São José dos Campos: INPE, 1993. v.2, p.249-257.
- Sellers, P. J.; Schimel, D. Remote sensing of the land biosphere and biochemistry in the EOS: science priorities, methods and implementation-EOS land biosphere and biochemical panels. **Global and Planetary Change**, v.7, n.2, p.279-277, Feb.1993.
- Smith, M. O.; Ustin, S. L.; Adams, J. B.; Gillespie, A. R. Vegetation in desert: I. A regional measure of abundance from multispectral Images. **Remote Sensing Environmental**, v. 27, n.31, p1-26, Jan.1990.
- Setzer, A. W.; Pereira, M. C.; Pereira, A. C. O uso dos satélites NOAA na detecção de queimadas no Brasil. **Climanálise**, v.7, n.8, p.41-53, ago.1992.
- Shumann, T.; Waldvogel, A. Meteorological effects on ambiente aerosol size distribution. **Journal of the Aerosol Science**, v.18, n.6, p.821-824, June 1987.
- Strang, D. M. G. D. **Configurações do ar superior e variabilidade das secas no Nordeste brasileiro**. São José dos Campos: CTA, 1983. (Técnico ECA-04/83).
- Tanré, D.; Holben, B. N.; Kaufman, Y. J. Atmospheric correction algorithm for NOAA-AVHRR products: theory and application. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v.30, n.2, p.231-248, Feb. 1992.
- Tucker, C. J.; Newcomb, W. W.; Los, S. O.; Prince, S. D. Mean and inter-year variation of growing season Normalized Difference Vegetation Index for the Sahel 1981-1989. **International Journal of Remote Sensing**, v.12, n.6, p.1133-1137, June 1991.
- Uvo, C. R. B.; Nobre, C. A.; Citeau, J. Análise da posição da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) no Atlântico Equatorial e sua relação com a precipitação no Nordeste do Brasil. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 5., Rio de Janeiro, 7-11, nov.1988. **Anais**. Rio de Janeiro: SBMET, 1988. v.1, p.3.23-3.27.

- Virji, H.; Kousky, E. V. **Regional and global aspects of a latitude frontal penetration in Amazonas.** Apresentado no First International Conference on Southern Hemisphere Meteorology, Boston: 1983.
- Walker, G. T. Correlation in seasonal variations of weatherVIII. A preliminary study of world weather. **Memoirs of the Indian Meteorological Department**, v.24, p.75-131, 1924.
- White, W. B.; Peterson, R. G. An Antarctic circumpolar in surface pressure wind, temperature, and sea ice extend. **Nature**, v.380, n.5, p.699-702, May, 1996.
- Yamazaki, Y.; Rao, V. B. Tropical cloudiness over the South Atlantic Ocean. **Journal of the Meteorological Society of Japan**, v.55, n.2, p.208-207, Feb.1977.

APÊNDICE A

PROGRAMA PARA NAVEGAÇÃO DAS IMAGENS IVDN/AVHRR/NOAA/LAC GERADO PELA NASA/GSFC

Autor: Virginia Kalb - NASA/GSFC

Linguagem: C

```
iter = 0;
if (x > 0 && y > 0) { a2 = a2-delta; b2 = b2+delta; }
if (x < 0 && y > 0) { a2 = a2+delta; b2 = b2+delta; }
if (x < 0 && y < 0) { a2 = a2+delta; b2 = b2-delta; }
if (x > 0 && y < 0) { a2 = a2-delta; b2 = b2-delta; }
bmin = b0-pi; bmax = b0+pi;

denom = sqrt(1.+cos(a1)*cos((b1-b0)/2.));
fx1 = -sin(a1)/denom - x0;
denom = sqrt(1.+cos(a2)*cos((b2-b0)/2.));
fx2 = -sin(a2)/denom - x0;
itarget = (x*ii)*blow+mi+ni/2+1.;
jtarget = (y*jj)*blow+mj+nj/2+1.;
while ((itarget != inew) || (jtarget != jnew) || iter == 0)
{
  if (iter >= 1)
    { b1 = b2; b2 = b3; fx1 = fx2; fx2 = fx3; }
  iter++;
  if (iter > MAXITER || (fx1 == fx2)) {
    *alat = rad2deg(a3); *along = rad2deg(b3);
    return(-1);
  }
  b3 = b2-(fx2-x)*(b2-b1)/(fx2-fx1);
  while (b3 > bmax) b3 = b3-2*pi;
  while (b3 < bmin) b3 = b3+2*pi;
  btemp = (b3-b0)/2.;
  a3 = atan(-(x+x0)*sin(btemp)/y);
  denom = sqrt(1.+cos(a3)*cos(btemp));
  fx3 = -sin(a3)/denom - x0;
  fy = cos(a3)*sin(btemp)/denom;
  inew = (fx3*ii)*blow+mi+ni/2+1.;
  jnew = (fy*jj)*blow+mj+nj/2+1.;
}
a1 = a2; b1 = b2; a2 = a3; b2 = b3; fx1 = fx2; fx2 = fx3;
while (a3 > pi/2) a3 = a3-pi; #include <stdio.h>
#include <math.h>

double pi, blow, ar, a, b, c, d, x, y;
int di, dj, i, j, ii, jj, ni, nj, mi, mj, iscan;
#define abs(x) (x>0?x:-x)
void usage()
{
  printf("Usage: invmap -x <x coordinate> -y <y coordinate>\n ");
  printf ("where x and y are screen coordinates with (0,0) in the upper left corner\n");
  exit(-1);
}
```

```

}
main()
{
int jsave, iflg, jold, iold, lin, col;
double alat, along;

pi = acos(-1.0);
di = 48; dj = 56;

/* define mapping parameters from NOTE file */
iscan = 5;
nj = 1024; ni = 1280; mi = 0; mj = 0;
a = -15.5; b = -64.0; ar = .5; blow = 5.5;

ii = (ni-di)/2; jj = (nj-dj)/2;
if (ar >= (double)ii/(double)jj) jj = (ii/ar+.5);
else ii = (jj*ar+.5);

printf("Formato: Linha Pixel Latitude Longitude \n", lin, col, alat, along);

for (lin=200; lin<700; lin++)
{
i=lin+180;
i++;for (col=100; col<200; col++)
{
j=col+208;
j++;
x = (i-ni/2-mi-.5)/(blow*(double)ii);
y = (j-nj/2-mj-.5)/(blow*(double)jj);
printf ("x=%f y=%f \n",x,y);
iflg = rj37(x, y, &alat, &along);

if(iflg == 1)
{
printf("%d %d %f %f \n", lin, col, alat, along);
}
else
printf("Error in inverting these coordinates \n");
}
}
}

#define MAXITER 50

double deg2rad(deg)
double deg;
{
return (deg*pi/180.);
}
double rad2deg(rad)
double rad;
{
return (rad*180./pi);
}

int rj37(x, y, alat, along)
double x, y, *alat, *along;

```

```

{
double a0, a1, a2, a3, b0, b1, b2, b3, drad, bmin, bmax, btemp, denom, ddeg,
    fx1, fx2, fx3, fy, x0;
int iter, itarget, jtarget, inew, jnew;
static int ifirst = 0;
static double epsilon = 1.0E-38;
static double delta, twopi;

ifirst=0;

if (ifirst == 0) {
    delta = pi/6;
    twopi = 2*pi;
    a0 = deg2rad(a); b0 = deg2rad(b);
    denom = sqrt(1.+cos(a0));
    x0 = -sin(a0)/sqrt(1.+cos(a0));
    inew = -999; jnew = -999;
    ifirst = 1; if (((x-x0)*(x-x0) + (y*y)) > 1.) return(-1);
if (abs(y) < epsilon) {
    *along = b;
    *alat = rad2deg(asin(-(x+x0)));
    return(1);
}
a1 = a0; b1 = b0; a2 = a0; b2 = b0; a3 = a0; b3 = b0
while (a3 < -pi/2) a3 = a3+pi;
while (b3 > pi) b3 = b3-twopi;
while (b3 < -pi) b3 = b3+twopi;
*alat = rad2deg(a3); *along = rad2deg(b3);
return(1);
}

```


APÊNDICE B

PROGRAMA PARA EXTRAÇÃO DA MÉDIA DE 3 x 3 PIXEIS IVDN/AVHRR/GAC NO PERÍODO DE JANEIRO/82 A DEZEMBRO/85

Autor: Humberto Alves Barbosa - INPE

Linguagem: IDL

```
PRO prog, namein, nbandas, npares, namepos, nameout, linhas, colunas, janela, inic, final
; Este programa extrai a media de uma janela quadrada (janela x janela) centrada nos
; pixeis de coordenadas dadas pelo arquivo namepos.
; namein = arquivo de entrada (ndvi.i)
; nbandas = numero de bandas do arquivo de entrada
; npares = numero de pares (coordendas)
; namepos = arquivo que contem as coordenadas
; nameout = arquivo de saida
; linhas = numero de linhas da imagem de entrada
; colunas = numero de colunas da imagem de entrada
; janela = tamanho da janela para o calculo da media
; inic = banda inicial a ser considerada para os calculos inclusive
; final = banda final a ser considerada para os calculos exclusive
; O arquivo de saida esta no formato [coordenadas(lat, long), media/banda].
tempo = SYSTIME(1)
;Abertura do arquivo de posicao
pares = fltarr(4,npares)
openr, 1, namepos
readf, 1, pares
close, 1
col = LONG(pares(0,*))
lin = LONG(pares(1,*))
a = bytarr(colunas,linhas,/nozero)
posicao = FLOAT(colunas)*FLOAT(linhas)*FLOAT(inic)
range = final-inic+1
media = fltarr(range,npares)
num_jan = janela * janela
openr,1,namein
point_lun, 1, posicao
for j = 0, range-1 do begin
    readu,1,a
    print, 'Banda:', inic+j
    for i = 0, npares-1 do media(j,i) = FLOAT(TOTAL(EXTRAC(a,col(i)-2,lin(i)-2, janela,
janela))) / FLOAT(num_jan)
endfor
close, 1
media = media / 127.5 - 1.
openw,2,nameout
printf, 2, [pares(2,*), pares(3,*), media], FORMAT='(+ STRCOMPRESS(FIX(range+2),/rem)+F12.4)'
close, 2
PRINT, 'O tempo de processamento (em segundos) foi de', SYSTIME(1) - tempo, FORMAT = '(A46,
F10.2)'
end
```


APÊNDICE C

PROGRAMA PARA INTERPOLAÇÃO DOS DADOS PONTUAIS EM PONTO DE "GRADE" PARA O NEB

```
c**Center for Weather Forecast and Climate Studies (CPTEC)
c**Read South America Station Precipitation and Interpolate to Model Grid.
c**For Each Year (12 months)- You Need Say the Year 1 -> nyr
c**Coord.(lon=80w-35w)/(lat=10.476-(-59.999))
c**South America Parameter(im=44,jm=59,km=im*jm,mxcnt=353)
c**South Parameter(im=13,jm=15,km=im*jm,mxcnt=51)
c**Im= Number of Points in Lat
c**Jm= Number of Points in Lon
c**Mxcnt= Number of Stations
c**Nstn = Number of Stations
c**Nyr = Initial Year
c**Nyear= Total of Years in the Original File
c**Dgx = Grid Resolution
*****
parameter(im=176,jm=160,km=im*jm,mxcnt=17199)
  dimension slat(mxcnt),slon(mxcnt),grwi(im,jm),days(12)
  dimension gpm(mxcnt,2),grid(km,2),grdpt(km,2)
  dimension w(mxcnt,12),sm(im,jm),data(12)
  dimension w(mxcnt,1),sm(im,jm),data(1)
  dimension glat(im,jm),glon(im,jm)
  dimension ygrd(jm),xgrd(im)
  real*4  dat(im,jm)
  integer nyr,uni
  dimension nmstn(16)
  character dir*42,inyr*4
  data nmstn /1368,1351,1345,1261,1215,1320,1254,1151,
1127,1369,1426,1343,1278,1182,1270,1389/
data days/31.,28.,31.,30.,31.,30.,31.,31.,30.,31.,30.,31./
c23456
uni=25
undef=-99.9
nyr=1982
number of stations (nstn)
nstn=862      ! 1982 ; hr=1809 (prec), lr=132, ivdn-lr=174
nstn=841      ! 1983
nstn=858      ! 1984
nstn=864      ! 1985
  nstn=mxcnt ! teto84.1x1
number of years
  nyear=1
300.(initial point of the grid (longitude)
dgx= grid resolution
  dgx=.25
  do 10 i=1,im    xgrd(i)=289.+ dgx*float(i-1)    ! Brasil
    xgrd(i)=310.+ dgx*float(i-1)    ! ne
  continue
  35 (initial point of the grid (latitude)
  do i=1,jm
```

```

ygrd(i)=-35.+dgx*float(i)    ! brasil
ygrd(i)=-20.+dgx*float(i)    ! neb
enddo
do 5001 ll=1,nyear
file name (input data)
open(20,file='teto82.1x1',
    form='formatted',
    status='old')
file name (output data)
open(32,file='teto82.1x1.bin',
    form='unformatted',status='unknown')
latitude, longitude and data of stations
undef=-99.9
do 100 ns=1,nstn
do 15 ny=1,nyear
read(20,*)plat,plon,jno,(data(m),m=1,12)
read(20,*)iwo,plat,plon,jno,(data(m),m=1,1)
read(21) plat,plon,iwo,jno,data
if(jno .eq. nyr) then
    slat(ns)=plat
    slon(ns)=360.+plon
do 11 mn=1,12
w(ns,mn)=undef
if(data(mn) .ne. undef) then
w(ns,mn)=data(mn)
endif
11 continue
write(6,22) slat(ns),slon(ns),iwo,jno,(w(ns,m),m=1,1)
write(6,*) slat(1),slon(1),iwo,ns
endif
15 continue
100 continue
22 format(f6.2,2x,f6.2,2x,i5,2x,i2,2x,12f8.2)
22 format(f7.2,f7.2,4x,i5,6x,i4,4x,12f8.2)
close(20)
type *,'run interpolation ...'
do 200 mon=1,12
do 110 ns=1,nstn
gpm(ns,1)=w(ns,mon)
gpm(ns,2)=undef
if(w(ns,mon) .eq. undef) gpm(ns,1)=-99.9
110 continue
interpolate station data to gcm grids.
rmax=0.25
mxpass=2
mode=1
call gridit(jm,im,km,gpm,slon,slat,nstn,mxcnt,mode,
    rmax,mxpass,grid,grdpt,xgrd,ygrd)
ij=0
do 60 j=1,jm
do 40 i=1,im
ij=ij+1
sm(i,j)=grid(ij,1)
40 continue
if(j .gt. 20 .and. j .lt. 31) then
write(6,31) mon,j,(sm(i,j),i=10,15)
endif

```

```

60  continue
    do 66 j=1,jm
    do 66 i=1,im
        dat(i,j)=sm(i,j)
66  continue
    type*, 'ano ',nyr,' mon ',mon,' # stations : ',nsth
    write(inyr,'(i4)')nyr
    open(uni,file='grdata/intp'//inyr//'.dat',
        form='unformatted',status='unknown')
write(32)dat
200 continue
    close(20)
    uni=uni+1
    nyr=nyr+1
5001 enddo
    31 format(5x,'intp sm ',2i5,10f10.3)
        close(32)
    stop
end
subroutine gridit(jdim,idim,kdim,param,xis,yjs,icount,mxcnt,mode,
    &rmax,mxpass,grid,grdpts,xgrd,ygrd)
*****
Program to Perform Analysis of Data Contained in Array Param
Using a Simple one Pass Inverse Distance Weighting Scheme
Modified by C. MCCALLA and G. DIMEGO.FINAL Changes Have Been Made
By A.PURSCH to Accommodate the SEASAT DATA.
Allows for Param to Contain -99.9 for a Fill Value.This is Good
If You Have a Report With Multiple Levels of Data That Must Be
Analyzed But One or More Levels Are Fills.
Jdim (rows) and Idim(columns) Are the Dimensions of the Grid
Param is the Input Array
Xis(lon) and Yjs(lat) Are the Latitudes and Longitudes of the
Icount is The Number of Reports
Mode Specifies How the Data is To Analysed.Mode=1 Means
Data in Position (x,1) of Param, Where x=1, Icount,is to be
Analysed Mode=2 Means that the Data in Position (x,2) of Param
Is to Be Analysed.Mode=3 Means that the Data in Position (x,1)
And (x,2) is to Be Analysed.
Mnlon is the Minimum Longitude of the Desired Area
Mxlon is the Maximum Longitude of the Desired Area
Mnlat is the Minimum Latitude of the Desired Area
Mxlat is the Maximum Latitude of the Desired Area
Grdpts is the Returned Lats and Lons Locations of the Grid Points
Rmax is the Scan Radius.all Reports within this Radius are Checked
For Use in the Actual Interpolation of the Data.
Rmax is in the Unit of 1000 km.
Express is the Max Number of Passes to Make When Searching for Data
At a Grid Point.Scan Radius is Increased 25% this Number of Times
Mxcnt is the Maximum Dimension of the Arrays that Are Being Passed
Into the Program.it Must Be Set in the Driver Routine.
*****
parameter (dmiss=-99.9)
dimension grid(kdim,2),param(mxcnt,2),xis(mxcnt),xgrd(idim)
dimension dist(10),list(10),grdpts(kdim, 2),yjs(mxcnt),ygrd(jdim)
common/bndry/blat,elat,blon,elon
xfac = (elon - blon) / float(idim)
yfac = (elat - blat) / float(jdim - 1)

```

```

write(6,1) blat,elat,blon,elon,xfac,yfac,rmax
format(/2x,'domain boundary',7f8.1)
nmax = 10
nmx1 = 9
ip2 = 0
ip3 = 0
ij = 0
kount = iabs(icount)
amis = -99.9
bmis = -99.9
if( icount.lt.0 ) go to 50
if( mode.ne.3 ) go to 100
*****
Insure that Missing Value for Winds is
Some Realistic Value Wstrem
Cognize 1 e 30 as a Missing Value
*****
amis = 0.0
bmis = 0.0
knt=0
do 25 k=1,kount
if(param(k,1) .ne. dmiss) amis = amis + param(k,1)
if(param(k,2) .ne. dmiss) bmis = bmis + param(k,2)
if(param(k,1) .ne. dmiss) knt=knt+1
25 continue
amis = amis / float(knt)
bmis = bmis / float(knt)
print *, amis,bmis
iamis=amis
ibmis=bmis
go to 100
50 amis = 0.0
bmis = 0.0
100 continue
kmsng = 0
iwsp=0
lands=0
srad = rmax
xdmax=4.0
*****
This Ts to Calculate the Distance( in degrees ) that is Used for
The Quick Check Instead of the Very Slow Cirdst Routine.
*****
degrad = 0.01745329252
do 900 j=1,jdim
gyfj = ygrd(j)
gyrad = gyfj * degrad
do 800 i=1,idim
srad = rmax
ij = ij + 1
grid(ij,1)=dmiss
grid(ij,2)=dmiss
gxfi = xgrd(i)
grdpts(ij,1)=gyfj
grdpts(ij,2)=gxfi
ipass = 0
xdst = (((sqrt(srad))*1000.)/110.0)/cos(gyrad)

```

```

    if(xdst .gt. xdmax) xdst=xdmax
195 do 200 n=1,nmax
    list(n) = 0
    dist(n) = srad
    200 continue
*****
    Find the Nmax Closest Reports Within Rmax Distance
*****
    do 400 k=1,kount
    if( abs(yjs(k)-gyfj) .ge. xdst .or.
& abs(xis(k)-gxfi) .ge. xdst ) go to 400
    distsq = dissq(yjs(k),xis(k),gyfj,gxfi)
    write(6,290) i,j,k,distsq
    290 format(/2x,'dist within range ',3i5,2x,e15.6)
if(distsq .gt. dist(nmax)) go to 400
    do 300 l=1,nmx1
    kl = nmax - l
    dist(kl+1) = dist(kl)
list(kl+1) = list(kl)
    if(distsq .lt. dist(kl)) go to 300
    list(kl+1) = k
    dist(kl+1) = distsq
    go to 400
    300 continue
    dist(1) = distsq
    list(1) = k
400 continue
ipass = ipass + 1
*****
    Count How Many We Found
    If Change Resolution When Change Factor of Srad and Xdmap
*****
    num = 0
    do 450 l=1,nmx1
    if( list(l).eq.0 ) go to 500
    num = num + 1
    450 continue
    500 continue
    if( num .ne. 0 ) go to 505
    if( num .eq. 0 .and. ipass .eq. mxpass) go to 700
    srad = srad * 1.
    xdmap=xdmax*1.
    if(ipass .eq. 1 ) ip2 = ip2 + 1
    if(ipass .eq. 2 ) ip3 = ip3 + 1
    xdst = (((sqrt(srad))*1000.)/110.0)/cos(gyrad)
    if(xdst .gt. xdmap) xdst=xdmap
    write(6,501) srad,xdst
    501 format(2x,'the radius of search increased ',2f6.3)
    go to 195
*****
    Get the Sum of Num Weighted Values
*****
    505 xmean = 0.5 * (dist(num) + dist(num+1))
    sum = 0.
    sum1 = 0.
    sum2 = 0.
    do 600 n=1,num

```

```

k = list(n)
wgt = (xmean - dist(n)) / (xmean + dist(n))
sum = sum + wgt
go to ( 510 , 520 , 530 ),mode
510 if(param(k,1) .eq. dmiss) sum = sum - wgt
   if(param(k,1) .eq. dmiss) go to 600
   sum1 = sum1 + param(k,1) * wgt
   go to 600
520 if(param(k,2) .eq. dmiss) sum = sum - wgt
   if(param(k,2) .eq. dmiss) go to 600
   sum1 = sum1 + param(k,2) * wgt
   go to 600
530 if(param(k,1) .eq. dmiss .or. param(k,2) .eq. dmiss) sum=sum-wgt
if(param(k,1) .eq. dmiss .or. param(k,2) .eq. dmiss) go to 600
   sum1 = sum1 + param(k,1) * wgt
   sum2 = sum2 + param(k,2) * wgt
   600 continue
   if( sum.le.0.0 ) go to 700
   grid(ij,1) = sum1 / sum
   if(grid(ij,1) .lt. 0.) grid(ij,1)=0.
   if( mode.ne.3 ) go to 800
   grid(ij,2) = sum2 / sum
   if(grid(ij,2) .lt. 0.) grid(ij,2)=0.
   go to 800
700 grid(ij,1) = dmiss
   if( mode.eq.3 ) grid(ij,2) = dmiss
   kmsng = kmsng + 1
   write(6,701) kmsng,i,j,gxfi,gyfj
701 format(2x,'missing point =',3i4,2f8.1,/)
   rmax = srad
   go to 800
790 continue
   grid(ij,1) = dmiss
   iwsp=iwsp+1
   if( mode.eq.3 ) grid(ij,2) = dmiss
   rmax = srad
800 continue
900 continue
   print 901,kmsng,icount,ip2,ip3,mxpass
901 format(' kmsng=',5i7)
   return
end
function dissq(alat,alon,blat,blon)
*****
Calculates the Distance Between two Points on the Earths Surface
Using a Small Angle Approximation Instead of the Standard Great
Circle Calculation (it is much faster). the Distance Returned is
The Actual Distance Squared and in Units of 10e-3 km.
*****
degrad = 0.01745329252
ylat = alat * degrad
zlat = blat * degrad
dlon = (blon - alon) * degrad
dlat = ylat - zlat
arg2 = dlat*dlat + dlon*dlon*cos(ylat)*cos(zlat)
dissq = 40.589641*arg2
return
END

```


APÊNDICE D

TABELA DE CLASSIFICAÇÃO DOS 130 POSTOS PLUVIOMÉTRICOS POR CLASSES DE VEGETAÇÃO NA REGIÃO DO NEB

A-Floresta Ômbrofila Aberta (Vegetação secundária)					
Estação Pluviométrica			Coordenada Geográfica		
Código	Localidade	Estado	Latitude	Longitude	Altitude
3869713	Amaragi	(PE)	-8° 23'	-35° 27'	295m
3888615	Murici	(AL)	-9° 19'	-35° 56'	82m
Ap-Pastagem					
Estação Pluviométrica			Coordenada Geográfica		
Código	Localidade	Estado	Latitude	Longitude	Altitude
3886323	Pau Branco	(PE)	-9° 11'	-36° 54'	300m
3896245	Arapiraca	(AL)	-9° 37'	-36° 47'	230m
3885908	Riacho Grande	(AL)	-9° 28'	-37° 28'	210m
4814443	Simão Dias	(SE)	-10° 44'	-37° 48'	283m
4813462	Poço Verde	(SE)	-10° 43'	-38° 12'	300m
4719433	Pindobaçu	(BA)	-10° 42'	-40° 20'	600m
4812378	Mirandela	(BA)	-10° 40'	-38° 37'	253m
4830332	Capela do alto Alegre	(BA)	-11° 40'	-39° 51'	370m
C-Floresta Estacional Decidual					
Estação Pluviométrica			Coordenada Geográfica		
Código	Localidade	Estado	Latitude	Longitude	Altitude
4793421	Várzea da Manga	(BA)	-14° 42'	-43° 24'	450m
3607529	Patos	(MA)	-5° 17'	-46° 22'	250m
3615006	Imperatriz	(MA)	-5° 32'	-47° 29'	96m
En-Área de Tensão Ecológica (Caatinga - Floresta Estacional)					
Estação Pluviométrica			Coordenada Geográfica		
Código	Localidade	Estado	Latitude	Longitude	Altitude
387591	Itaíba	(PE)	-8° 57'	-37° 26'	470m
Sn-Área de Tensão Ecológica (Cerrado - Floresta Estacional)					
Estação Pluviométrica			Coordenada Geográfica		
Código	Localidade	Estado	Latitude	Longitude	Altitude
4825203	Camboata	(SE)	-11° 08'	-37° 30'	150m
Sa-Área de Tensão Ecológica (Estepe - Cerrado)					
Estação Pluviométrica			Coordenada Geográfica		
Código	Localidade	Estado	Latitude	Longitude	Altitude
4767883	Novo Acre	(BA)	-13° 26'	-41° 06'	590m
3744645	Tamboril	(PI)	-7° 19'	-42° 47'	90m
2763421	Urbano Santos	(MA)	-3° 12'	-43° 24'	150m

<i>Pa-Área de Formações Pioneiras (Veg. com influência pluvial ou lacustre)</i>					
Estação Pluviométrica			Coordenada Geográfica		
Código	Localidade	Estado	Latitude	Longitude	Altitude
3806557	Pendências	(RN)	-5° 15'	-36° 43'	20m
<i>On-Área de Tensão Ecológica (Floresta Ômbrofila - Floresta Estacional)</i>					
Estação Pluviométrica			Coordenada Geográfica		
Código	localidade	Estado	Latitude	Longitude	Altitude
2761831	Itapicuru Mirim	(MA)	-3° 24'	-44° 21'	14m
<i>Ed-Caatinga Arbustiva Densa</i>					
Código	Localidade	Estado	Latitude	Longitude	Altitude
4821532	Santa Luz	(BA)	-11° 16'	-39° 21'	349m
6400018	Tauá	(CE)	-6° 01'	-40° 25'	356m
3787874	Casa Nova	(BA)	-9° 24'	-41° 08'	380m
<i>Ac-Área de Tensão Ecológica (Caatinga - Agricultura)</i>					
Estação Pluviométrica			Coordenada Geográfica		
Código	Localidade	Estado	Latitude	Longitude	Altitude
3823448	Santana P. dos Ferros	(RN)	-6° 13'	3-8° 16'	175m
<i>T-Área Antropizada</i>					
Estação Pluviométrica			Coordenada Geográfica		
Código	Localidade	Estado	Latitude	Longitude	Altitude
2872594	Fortaleza	CE	-3° 45'	-38° 32'	26m
<i>Ed-Caatinga Arborea Densa</i>					
Estação Pluviométrica			Coordenada Geográfica		
Código	Localidade	Estado	Latitude	Longitude	Altitude
3845703	Imaculada	(PB)	-7° 23'	-37° 30'	750m
3842698	Bonito de Santa Fé	(PB)	-7° 19'	-38° 31'	575m
3862025	Carnaubeira	(PE)	-8° 01'	-38° 53'	620m
3894032	Olho d'Água do Casado	(AL)	-9° 31'	-37° 51'	209m
4765704	Botupora	(BA)	-13° 21'	-42° 49'	800m
4805418	Nossa S. da Glória	(SE)	-10° 13'	-37° 25'	290m
3882664	Salgado do Melão	(BA)	-9° 18'	-39° 41'	430m
3787095	Poço da Pedra	(BA)	-9° 01'	-41° 02'	450m
4711434	Tanque	(BA)	-10° 42'	-44° 20'	580m
3777555	Luiz Viana	(BA)	-8° 46'	-41° 14'	532m
4716454	Picada	(BA)	-10° 42'	-41° 44'	412m
4708064	Abreus	(BA)	-10° 00'	-40° 41'	520m

4852206	São Félix	(BA)	-12° 38'	-38° 59'	230m
4778646	Apertado do Morro	(BA)	-13° 50'	-40° 47'	250m
3747109	Picos	(PI)	-7° 05'	-41° 28'	80m
3762171	Puca	(PI)	-8° 03'	-43° 39'	280m
4700475	Parnagua	(PI)	-10° 13'	-44° 38'	480m
3792723	Viração	(PI)	-9° 53'	-43° 54'	420m
3775275	Moreira	(PI)	-8° 37'	-42° 08'	250m
Eu-Caatinga Arbustiva Aberta					
Estação Pluviométrica			Coordenada Geográfica		
Código	Localidade	Estado	Latitude	Longitude	Altitude
4711434	Tanque	(BA)	-10° 42'	-44° 20'	580m
3794443	Campestre	(BA)	-9° 44'	-42° 48'	480m
3797393	São Pedro	(BA)	-9° 41'	-41° 03'	590m
3789802	Juazeiro	(BA)	-9° 25'	-40° 30'	371m
2787808	Pedro II	(PI)	-4° 25'	-41° 28'	580m
Ea-Caatinga Arborea Aberta					
Estação Pluviométrica			Coordenada Geográfica		
Código	Localidade	Estado	Latitude	Longitude	Altitude
3856314	Sumé	(PB)	-7° 39'	-36° 56'	510m
3856828	Camalau	(PB)	-7° 55'	-36° 52'	565m
3837796	Algodão	(PB)	-6° 53'	-36° 02'	470m
3853467	Manaíra	(PB)	-7° 42'	-38° 10'	605m
3826845	Cruzeta	(RN)	-6° 25'	-36° 47'	140m
3815583	Parau	(RN)	-5° 47'	-37° 06'	38m
3814606	Itau	(RN)	-5° 50'	-37° 59'	130m
3817745	Recanto	(RN)	-5° 52'	-36° 17'	400m
3806794	Mosenhor Honório	(RN)	-5° 21'	-36° 32'	65m
3827466	Campo Redondo	(RN)	-6° 14'	-36° 11'	400m
3816382	Angicos	(RN)	-5° 40'	-36° 36'	109m
3818039	João Câmara	(RN)	-5° 32'	-35° 49'	140m
2799059	Catunda	(CE)	-4° 32'	-40° 13'	280m
3708369	Crateus	(CE)	-5° 11'	-40° 40'	275m
3719731	Santo Antônio	(CE)	-5° 51'	-40° 21'	420m
3800406	Salgado	(CE)	-5° 14'	-39° 59'	400m
3811168	Itabatinga	(CE)	-5° 34'	-39° 10'	170m
2890378	Lagoa do Mato	(CE)	-4° 40'	-39° 37'	270m
3000256	Boa Viagem	(CE)	-5° 08'	-39° 44'	235m
3729802	Cococi	(CE)	-6° 25'	-40° 30'	360m

3739935	Poço de Pedra	(CE)	-6° 58'	-40° 20'	530m
3812917	Nova Floresta	(CE)	-5° 57'	-38° 55'	170m
3802583	Carnaúbas	(CE)	-5° 17'	-38° 26'	90m
2892531	Olho d'Água	(CE)	-4° 45'	-38° 51'	150m
2893165	Boqueirão do Cezario	(CE)	-4° 34'	-38° 11'	150m
3830349	Tarrafas	(CE)	-6° 41'	-39° 46'	275m
3876708	Japecanga	(PE)	-8° 52'	-36° 58'	475m
3864684	Carualina	(PE)	-8° 18'	-37° 35'	470m
3874976	Manari	(PE)	-8° 59'	-37° 38'	559m
3872348	Angicos	(PE)	-8° 40'	-38° 46'	365m
3861425	Terra Nova	(PE)	-8° 13'	-39° 23'	355m
3870124	Algodoeiro	(PE)	-8° 33'	-39° 52'	400m
3788858	Bom Sucesso	(PE)	-9° 25'	-40° 43'	380m
3779631	Cristália	(PE)	-8° 48'	-40° 21'	450m
3769163	Jacaré	(PE)	-8° 05'	-40° 12'	480m
3852976	Bom Nome	(PE)	-7° 58'	-38° 38'	450m
3857905	Jataúba	(PE)	-7° 58'	-36° 29'	600m
3894666	Poço Redondo	(PE)	-9° 50'	-37° 41'	171m
3893159	Riacho	(BA)	-9° 35'	-38° 13'	300m
3881673	Bom Sossego	(BA)	-9° 20'	-39° 09'	380m
3846475	Gurjão	(PB)	-7° 13'	-36° 38'	470m
3890574	Serra da Canabrava	(BA)	-9° 45'	-39° 38'	580m
C-Cerrado					
Estação Pluviométrica			Coordenada Geográfica		
Código	Localidade	Estado	Latitude	Longitude	Altitude
4707719	Campo Largo	(BA)	-10° 23'	-41° 25'	950m
4832244	Biritinga	(BA)	-11° 36'	-38° 47'	270m
4757929	Mucuge	(BA)	-12° 59'	-41° 22'	40m
4761471	Mocambo	(BA)	-13° 14'	-44° 30'	600m
2794584	José de Freitas	(PI)	-4° 45'	-42° 35'	130m
3707981	Alívio	(PI)	-5° 27'	-41° 06'	730m
3726851	Valência do Piauí	(PI)	-6° 24'	-41° 45'	295m
3734968	Nazaré do Piauí	(PI)	-6° 58'	-42° 40'	180m
3732836	Gado Bravo	(PI)	-6° 56'	-43° 50'	180m
3730672	São Domingos	(MA)	-6° 49'	-44° 39'	310m

4760676	Correntina	(BA)	-13° 51'	-44° 38'	579m
3638078	José Miguel	(MA)	-6° 31'	-45° 37'	400m
3627693	Formosa	(MA)	-6° 20'	-46° 03'	250m
3742515	Landri Sales	(PI)	-7° 16'	-43° 56'	240m
3750158	Sangue	(PI)	-7° 34'	-44° 43'	170m
3645609	Carolina	(MA)	-7° 20'	-47° 28'	169m
3686661	Cabeceira	(MA)	-9° 18'	-46° 42'	600m
3668948	Tasso Fragoso	(PI)	-8° 28'	-45° 46'	191m
3761107	Barra do Prata	(PI)	-8° 03'	-44° 28'	270m
3763009	Chupeiro	(PI)	-8° 02'	-43° 28'	320m
3688215	Alto Parnaíba	(MA)	-9° 07'	-45° 56'	220m
4609187	Barra	(PI)	-10° 03'	-45° 04'	490m
<i>F-Floresta Estacional Semidecidual</i>					
Estação Pluviométrica			Coordenada Geográfica		
Código	Localidade	Estado	Latitude	Longitude	Altitude
3877878	Paquevira	(PE)	-8° 55'	-36° 05'	623m
3859111	Macaparana	(PE)	-7° 33'	-35° 27'	350m
3878916	Ibateguara	(AL)	-8° 59'	-35° 56'	505m
3887753	Viçosa	(AL)	-9° 23'	-36° 15'	300m
4807222	Colônia Pindorama	(AL)	-10° 00'	-36° 24'	110m
3878916	Ibateguara	(AL)	-8° 59'	-35° 56'	505m
4806435	Própria	(SE)	-10° 13'	-36° 50'	17m
4737948	Bonito	(BA)	-11° 58'	-41° 16'	967m
5718016	Encruzilhada	(BA)	-15° 32'	-40° 56'	605m
4738045	Morro do Chapéu	(BA)	-11° 31'	-40° 47'	607m
<i>D-Floresta Ómbrofila Densa (Vegetação secundária)</i>					
Estação Pluviométrica			Coordenada geográfica		
Código	Localidade	Estado	Latitude	Longitude	Altitude
3867429	Serra do Vento	(PE)	8° 14'	-36° 25'	684m
5707455	Quaracu	(BA)	15° 13'	-41° 14'	857m
4890114	Ponto Chique	(BA)	14° 33'	-39° 56'	280m
2774857	Porto	(PI)	3° 54'	-42° 43'	32m
2627498	Carutapera	(MA)	1° 13'	-46° 01'	10m