

# **INPE - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

**PIBIC - Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica**

## **SICINPE-2001**

**7-8 de agosto de 2001**

**Local: Prédio do IAI**

**Auditório Sérgio Sobral**

## ***Programa***

**Comite PIBIC/INPE:**

**Dr. Ijar M. Fonseca, coordenador**

**Dr. Germano de Souza Kienbaum**

**Dr. Thyrso Villela Neto**

**Dr. Elbert Einstein Nehrer Macau**

**Comite Externo do CNPq:**

**Dr. João Andrade de Carvalho Jr.**

**Dr. Edson Luiz Franca Senne**

**Dr. Waldemar de Castro Leite Filho**

DIA 07 de AGOSTO - TERÇA FEIRA, MANHÃ		
SESSÕES	HORA	EVENTO
ABERTURA	8:00	Mensagem do Coordenador PIBIC/INPE , Dr. Ijar M. Fonseca
	8:10	Mensagem do Diretor do INPE , Dr. Volker W.J.H. Kirchhoff
	8:20	Mensagem do Dr. Sérgio Missiaggia, coordenador do do PIBIC/CNPq
SESSÃO 1 Presidente: Dr. Ijar M. Fonseca	8:40	<b>ARTIGOS/AUTORES</b>
		<i>Correlação dos Dados Obtidos de Sondagens com Dados de Modelos Matemáticos:</i> Adriane Griebeler, Luciana Horst, Volker W. J. H. Kirchhoff, Nelson J. Schuch
	9:00	<i>Estabilidade do Movimento Rotacional Em Satélites Dual-Spin com Um Amortecedor de Nutação Axial Na Plataforma:</i> Alex Thaumaturgo Dias e Mário César Ricci
	9:20	<i>Sistema Compacto para Monitoramento "In Vivo" e "In Situ" da Fotossíntese. (Consumo de Co2 e Evolução de O2 ):</i> Claudia Souza Pires, Manuel Francisco Ribeiro e Marcos Dias da Silva
	9:40	<i>Desenvolvimento/Adaptação de Software com Aplicação Na Análise de Dados do Brazilian Solar Spectroscopie (Bss):</i> André Ricardo Fazanaro Martinon, José Roberto Cecatto
	10:00	<b>CAFÉ</b>
	10:20	<i>Espectroscopia e Desenvolvimento de Software de Análise de Dados para Explosões Solares Na Faixa de Ondas de Rádio:</i> Angélica Leal dos Reis, Dr. José Roberto Cecatto
	10:40	<i>Balanco Hidrico Na Região Nordeste Durante Episódios Enso e Anti-Enso: Ana Paula Gouveia e Patrícia Mara de Siqueira:</i> Regina Célia dos Santos Alvalá e Javier Tomasella, Pesquisadores, INPE
	11:00	<i>Estudo do Regime de Ventos da Cidade de Alcantara, Maranhão, e Avaliação das Previsões do Modelo Eta</i> Carlos Renato de Souza, Chou Sin Chan e Roberto Guedes
	11:20	<i>Empacotamento de Círculos:</i> Ceila Galvão de Oliveira Torres e Horacio Hideki Yanasse
11:40	<i>Análise Homoclínica e Heteroclínica de Melnikov para Sistemas Conservativos:</i> Anna Oertel Spinelli e Mário César Ricci	
12:00	<b>ALMOÇO</b>	

## BALANÇO HÍDRICO NA REGIÃO NORDESTE DURANTE EPISÓDIOS ENSO E ANTI-ENSO

*Ana Paula Gouveia / Patrícia Mara de Siqueira*

Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá - Bolsa PIBIC/CNPq

E-mails: [gouveia@cptec.inpe.br](mailto:gouveia@cptec.inpe.br) / [patriciamara@cptec.inpe.br](mailto:patriciamara@cptec.inpe.br)

*Regina Célia dos Santos Alvalá e Javier Tomasella, Pesquisadores, INPE*

E-mails: [regina@cptec.inpe.br](mailto:regina@cptec.inpe.br) / [javier@cptec.inpe.br](mailto:javier@cptec.inpe.br)

### RESUMO

Este trabalho teve por objetivo elaborar um balanço hídrico detalhado para a Região Nordeste, avaliando padrões de distribuição temporal e espacial durante episódios El Niño/La Niña, cuja região destaca-se por apresentar fortes anomalias de precipitação.

Utilizando o banco de dados de solo a partir de informações de perfis de solo do Projeto RadamBrasil e dos levantamentos da EMBRAPA, combinado com funções de pedo-transferência, foram estimados os parâmetros necessários para o cálculo do balanço hídrico.

O balanço de água no solo pode ser definido conforme a seguinte equação:

$$A\_Solo(t+1) = A\_Solo(t) + PRE - ETR$$

sendo  $A\_Solo(t+1)$  e  $A\_Solo(t)$  o armazenamento de água no solo (mm) até uma profundidade máxima de 120 cm, nos tempos  $t+1$  e  $t$  respectivamente; PRE a precipitação e ETR a evapotranspiração real entre os tempos  $t$  e  $t+1$ . O armazenamento de água no solo varia entre um valor mínimo, dado pelo ponto de murcha, e um valor máximo, que corresponde à capacidade de campo. A diferença entre o valor da capacidade de campo e o ponto de murcha define a capacidade máxima de água no solo disponível para as plantas, ou CAD. O uso de funções de pedo-transferência permitem obter estimativas do ponto de murcha e da capacidade de campo, necessários para a obtenção da capacidade de armazenamento.

Utilizando variáveis meteorológicas coletadas das Normais Climatológicas do INMET, no período de 1961-1990, a evapotranspiração potencial foi calculada usando a equação de Penman-Monteith, conforme a metodologia sugerida pela FAO em 1990. O valor de evapotranspiração potencial é transformada em evapotranspiração real conforme metodologia sugerida pelo boletim FAO 24 de 1977.

As informações de precipitação de séries históricas foram extraídas do banco hidrometeorológico da SUDENE, que conta com dados de mais de 1300 postos pluviométricos distribuídos na região, bem como de mais de 100 estações meteorológicas. Os dados deste banco de dados passaram por um rigoroso controle de qualidade a fim de eliminar inconsistência nas séries observadas.

Outrossim, os dados de precipitação e de evapotranspiração foram interpolados utilizando técnicas de Kriggagem, adotando-se uma resolução de  $0.25^\circ$ .

Os resultados indicaram que os impactos de ENSO e anti-ENSO afetam de maneira pronunciada o conteúdo de umidade do solo na região Nordeste.

# RELATÓRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

## **Balanço Hídrico na região Nordeste durante episódios ENSO e anti-ENSO**

**BOLSISTA (substituição): ANA PAULA GOUVEIA**

**ORIENTADORES: REGINA CÉLIA DOS SANTOS ALVALÁ  
JAVIER TOMASELLA**

## ÍNDICE

	<b>Página</b>
1	INTRODUÇÃO..... 01
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... 02
2.1	Evapotranspiração..... 02
2.2	Determinação da Evapotranspiração..... 04
2.2.1	Medição Direta da Evapotranspiração..... 04
2.2.2	Medição Indireta de Evapotranspiração..... 05
2.2.3	Estimativa da Evapotranspiração..... 06
2.3	Balanço Hídrico..... 07
2.4	Funções de pedo-transferência..... 08
2.5	ENSO e anti-ENSO..... 09
3	OBJETIVOS..... 10
4	METODOLOGIA..... 10
4.1	Cálculo do Balanço Hídrico..... 10
4.1.1	Funções de Pedo-Transferência..... 11
4.1.2	Evapotranspiração..... 12
4.1.3	Solução do Balanço Hídrico..... 13
5	MATERIAL E DADOS..... 15
5.1	Dados disponíveis..... 15
5.1.1	Informações Pedológicas..... 15
5.2	Utilização dos dados..... 16
5.2.1	Estruturação e Organização dos dados pluviométricos das estações da SUDENE..... 16
5.2.2	Melhoria na base de dados dos solos - incorporação de novos dados... 19
6	RESULTADOS PRELIMINARES..... 20
7	CONCLUSÕES..... 36
8	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA..... 38

## 1 – INTRODUÇÃO

A Região Nordeste é caracterizada por uma forte variabilidade temporal e espacial de precipitação, sujeita a frequentes episódios de secas. A ocorrência de secas tem um forte impacto social devido à carência sócio econômica da região, que apresenta uns dos mais baixos índices de desenvolvimento humano (IDH) do Brasil. Há, assim, um grande interesse social em melhorar a previsão climática com o maior período de antecedência possível (6 meses ou mais), com o objetivo de orientar as ações do governo para mitigar os efeitos prejudiciais das secas.

O conteúdo de água no solo tem impactos sobre processos atmosféricos, hidrológicos e biológicos e, portanto, afeta a previsão do tempo, os volumes escoados nos cursos de água e a quantificação do estresse hídrico dos cultivos durante a ocorrência de secas.

Uma das maneiras de estimar a umidade do solo é através do método do balanço hídrico. Para a aplicação do balanço hídrico em uma escala regional, é necessário estimar os parâmetros do solo, que são os dados de entrada desse método.

Usando informações dos levantamentos pedológicos do projeto RadamBrasil e da Embrapa, Rossato et al. (1998) desenvolveram uma base de dados para todo o território brasileiro. Através de funções de pedo-transferência, Tomasella et al. (2000) e Rossato et al. (1998) derivaram mapas de capacidade de água disponível no solo para todo o Brasil, o qual é um parâmetro de entrada no balanço hídrico.

Uma informação necessária para o cálculo do Balanço Hídrico é a evapotranspiração. Evaporação e evapotranspiração, do ponto de vista da física, dizem respeito ao mesmo fenômeno, que é a mudança de fase da água, da fase líquida para a de vapor. Entretanto, no estudo da evaporação, considera-se apenas a água perdida pelo solo e por superfícies de água livre (por exemplo, açudes), enquanto que na evapotranspiração leva-se em conta a perda conjunta de água pelo solo e pela planta.

Ressalta-se ainda que a região Nordeste do Brasil, durante episódios de El Niño, caracteriza-se por ser afetada de maneira pronunciada pelas mudanças na circulação atmosférica, com subsequente diminuição da precipitação na região. O fenômeno El Niño,

caracterizado pelo aquecimento anômalo das águas superficiais do Pacífico Equatorial Oriental, apresenta episódios típicos que podem durar de 12 a 18 meses.

Assim sendo, neste trabalho, procurou-se detectar a ocorrência de sinais dos eventos El Niño (ENSO) e La Niña (anti-ENSO) na umidade do solo na região Nordeste do Brasil. Esse tipo de informação serve de subsídios para estudos posteriores dos impactos desse tipo de eventos sobre atividades agrícolas e, indiretamente, serve como dado de entrada em estudos do efeito de uma melhor estimativa da umidade do solo sobre o resultado dos modelos de previsão climática.

## **2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1- Evapotranspiração**

Numa superfície vegetada ocorrem simultaneamente os processos de evaporação e de transpiração (evaporação pelas plantas). Evapotranspiração é o termo que foi utilizado por Thornthwaite para expressar essa ocorrência simultânea. A evapotranspiração é controlada pela disponibilidade de energia, pela demanda atmosférica e pelo suprimento de água do solo às plantas.

Quando se considera a evapotranspiração que ocorre de uma superfície horizontal, completamente coberta por uma vegetação rasteira em crescimento ativo (por exemplo, grama batatais), completamente exposta às condições atmosféricas reinantes, sem que ocorra restrição de água no solo, diz-se que ocorre Evapotranspiração Potencial (ETP).

Quando a cultura em questão não for grama, mas respeitadas as demais condições, tem-se então a Evapotranspiração da Cultura (ETC).

A razão entre ambas grandezas é denominada Coeficiente de Cultura (Kc):

$$Kc = ETC / ETP \quad (1)$$

É importante lembrar que, quando a umidade do solo for limitante, a evapotranspiração é chamada Evapotranspiração Real (ETR).

A Organização das Nações Unidas, por intermédio da FAO, estabeleceu o conceito de evapotranspiração da cultura de referência (ET<sub>o</sub>) na publicação mundialmente conhecida como "Guidelines for Crop Water Requirements" (Boletim FAO-24) de autoria de Doorenbos e Pruitt (1975, 1977). No Brasil, esse conceito tem sido amplamente adotado e utilizado em atividades agrícolas pelos engenheiros, pesquisadores e extensionistas. Esse conceito tem sido adotado para evitar conflitos entre definições existentes para evapotranspiração potencial (ET<sub>p</sub>). A ET<sub>o</sub>, no boletim FAO-24, refere-se a evapotranspiração de uma área com vegetação rasteira, na qual são feitas as medições meteorológicas, para obtenção de um conjunto consistente de dados de coeficientes de cultura, para serem utilizados na determinação da evapotranspiração de outras culturas agrícolas. Conforme considerado no boletim da FAO-24, o conceito de ET<sub>o</sub> tem a ver com a grama, em crescimento ativo e mantido a uma altura uniforme de 0,08 a 0,12 m de altura. Representa, portanto, uma extensão da definição original de Penman (1948, 1953 e 1956) de evapotranspiração potencial, que pode ser traduzido como: *"a quantidade de água evapotranspirada, na unidade de tempo, por uma vegetação rasteira, de altura uniforme, em crescimento ativo, que cobre completamente a superfície e sem limitação de água no solo."*

Dados confiáveis de evaporação e de evapotranspiração são exigidos para o planejamento agrícola, construção e operação de reservatórios, secagens de grãos e aplicação de água em sistemas de irrigação e drenagem, etc.

A irrigação deve ser bem quantificada, para que se tenham bons resultados que refletiram no rendimento das culturas agrícolas. No caso de irrigações insuficientes e pouco freqüentes, tem-se apenas água nas camadas superficiais do solo, não umedecendo toda a zona das raízes. Deste modo, o sistema radicular das culturas tornam-se superficiais e incapazes de explorar o volume de solo disponível. Em conseqüência, a reserva hídrica útil do solo é consideravelmente diminuída, o que prejudica as plantas. Essas por sua vez, desperdiçam fontes nutritivas importantes (carboidratos e sais) para se defender dos efeitos do estresse hídrico. Com isso, o principal impacto é na produtividade agrícola, ou seja, na produção de grão, frutos, caule, tubérculos, folha, ou seja, biomassa em geral.



Em zonas áridas e semi-áridas do planeta, a irrigação em quantidades diferentes da ideal agrava os problemas de salinização dos solos, intensificados pela utilização de água com alto teor de sais associada ao poder evaporante do sol e do vento. Por outro lado, irrigações excessivas também são contra-indicadas, pois acarretam perdas de água e de nutrientes, pela percolação abaixo da zona das raízes, além de favorecer a proliferação de microorganismos (patógenos) devido a formação de microclima na altura do dossel das culturas. Em caso de terrenos mal drenados, com impedimentos à percolação, o solo ficará saturado prejudicando as raízes que poderão morrer por falta de oxigênio.

## **2.2- Determinação da Evapotranspiração**

A evapotranspiração pode ser medida ou estimada.

### **2.2.1 Medição Direta da Evapotranspiração**

Diretamente, a evapotranspiração pode ser medida em instrumentos denominados lisímetros e evapotranspirômetros, os quais podem ser de diversos tipos. O fato de se medir a  $E_{Tr}$ ,  $E_{Tc}$  ou  $E_{Tp}$  dependerá do respeito ou não às condições estabelecidas na definição da  $E_{Tp}$ . Se a cultura plantada no lisímetro for a grama batatais e o teor de umidade no solo do lisímetro for mantido próximo à capacidade de campo, o instrumento medirá a  $E_{Tp}$ . Caso outra cultura seja plantada ou o solo do lisímetro não for irrigado periodicamente, estar-se-á medindo a  $E_{Tc}$  ou a  $E_{Tr}$ , respectivamente.

Os principais tipos de lisímetros são os seguintes:

- a) Lisímetro de Percolação – Consiste de um certo número (geralmente 3) de tanques impermeáveis enterrados no solo e enchidos com o solo local. Um dreno permite o escoamento do excesso de água, impedindo que o solo se torne saturado dentro dos tanques. A determinação da ET baseia-se na equação da continuidade:

$$E - S = \Delta A \quad (2)$$

ou seja, a diferença entre a quantidade de água que entra em um sistema (E) e a quantidade de água que sai do mesmo (S) é igual à variação da quantidade armazenada de água no sistema ( $\Delta A$ ).

- b) Lisímetro de Pesagem Mecânica – É considerado o instrumento padrão para a medição da evapotranspiração. Podem ser muito precisos, apesar de serem bastante caros. Outra vantagem deste tipo de instrumento é que permite leituras a intervalos de tempo muito reduzidos (poucos minutos). O instrumento consiste basicamente num tanque semelhante ao anterior, instalado sobre uma balança. Da diferença entre duas pesagens consecutivas (dividida pela área do lisímetro) será determinada a ET.
- c) Lisímetro de Flutuação – Não é tão preciso quanto o descrito acima, mas tem a vantagem de permitir leituras a intervalos de tempo menores que o primeiro. Consiste em dois tanques, de diâmetros diferentes, sendo que o maior é parcialmente enchido com água, recebendo o menor, que contém o solo. A ET é calculada pela variação no nível da água em um tubo de medida.

## 2.2.2 Medição Indireta de Evapotranspiração

Indiretamente, a medição da evapotranspiração não requer que se defina um sistema como fazem os lisímetros. Na verdade, mede-se o teor de umidade do solo e determina-se a ET pela equação de continuidade. Alguns dos métodos para se determinar o teor de umidade do solo são:

- a) Método Gravimétrico, Método das Pesagens ou Método da Estufa – Consiste em retirar uma amostra do solo, pesá-la e levá-la a uma estufa para ser totalmente seca, ou seja, até que o peso da mesma não se altere mais entre duas pesagens consecutivas intercaladas por um período de secagem. É necessário conhecer os valores de precipitação.
- b) Sonda de Nêutrons – Consiste numa fonte de nêutrons, que após moderados pelos átomos de hidrogênio presentes na água do solo, são captados por um contador. Diferentes contagens decorrem de diferentes teores de umidade do solo. A sonda deve ser calibrada inicialmente, utilizando-se o método das pesagens como padrão, e o confronto do número

de contagens com a curva padrão do aparelho fornece diretamente o teor de umidade do solo.

### **2.2.3 Estimativa da Evapotranspiração**

Atualmente, existem mais de 50 maneiras (ou métodos) de se medir, ou estimar a evapotranspiração. Os métodos baseados em fundamentos físicos, derivados principalmente das leis que regem a termodinâmica atmosférica são os que apresentam melhores resultados. Os métodos utilizados podem ser divididos em cinco categorias, ou seja:

- a) empíricos – Estes resultam de correlações entre a evapotranspiração medida em condições padronizadas e os elementos meteorológicos medidos em postos também padrões. Alguns desses métodos têm aplicação quase universal.
- b) aerodinâmico – Este é um método micrometeorológico, com base físico-teórico da dinâmica dos fluidos e transporte turbulento, ou seja, considera que o escoamento atmosférico acima de uma superfície natural rugosa é predominantemente turbulento, com mistura contínua na camada de ar que interage com a superfície (Locwood, 1985).
- c) Balanço de energia – O balanço de energia representa a contabilidade das interações dos diversos tipos de energia com a superfície. Em condições atmosféricas normais, o suprimento principal de energia para a superfície é dado pela radiação solar (Pereira et al., 1997). Dessa forma, o método do balanço de energia, para a determinação indireta do transporte vertical turbulento de vapor d'água para a atmosfera, por evaporação ou evapotranspiração, fundamenta-se no princípio da conservação da energia aplicado aos diferentes fluxos energéticos que acontecem na superfície-fonte (Silva e Reis, 1990). A principal dificuldade na utilização da aproximação do balanço de energia surge da distribuição de energia entre a transferência de calor sensível e latente para atmosfera (Locwood, 1985).
- d) Combinados – O termo combinado deriva do fato de que as equações propostas associam os efeitos do balanço de energia à superfície e os termos de energia advectiva para estimar as perdas de água de superfícies cultivadas. Dentre os métodos combinados destaca-se o

método de Penman, de Penman Modificado e o de Penman-Monteith (Penman, 1948; Monteith, 1973; 1981).

- e) Correlação dos turbilhões – Método proposto para determinar a transferência vertical turbulenta de vapor d'água, calor e quantidade de movimento para a atmosfera, baseado em flutuações turbulentas de parâmetros microclimatológicos em torno de suas respectivas médias. No entanto, a utilização do método de correlação de turbilhões é complicado por exigir sensores eficientes e de resposta muito rápida, caso contrário, não serão capazes de detectar a passagem de vórtices de diferentes tamanhos (Arya, 1988; Silva e Reis, 1990).

### **2.3 Balanço Hídrico**

O método mais utilizado para estimar a disponibilidade de água no solo é o balanço hídrico.

Os vários processos que envolvem fluxos de água, isto é, infiltração, redistribuição, evaporação e absorção de água pelas plantas, são processos interdependentes e, na maioria das vezes, ocorrem simultaneamente. Para estudar o ciclo da água (ou ciclo hidrológico), faz-se necessário considerar o balanço hídrico. Este nada mais é do que a somatória das quantidades de água que entram e saem de um elemento de volume de solo e, num dado intervalo de tempo, o resultado é a quantidade líquida de água que nele permanece disponível às plantas (Reichardt, 1985).

O volume de solo considerado no cálculo do balanço hídrico depende da cultura em estudo, pois ele deve englobar seu sistema radicular. Assim, considera-se como limite superior deste volume a superfície do solo e como limite inferior a profundidade do sistema radicular da cultura.

Para que o balanço hídrico seja bem conduzido, é importante individualizar os critérios envolvidos no sistema solo-água-planta-atmosfera, ou seja:

1. Avaliar as características atmosféricas do local;
2. Definir as características edáficas do local;
3. Conhecer os aspectos fisiológicos das culturas agrícolas.

Apesar da grande variedade de modelos existentes para a determinação do balanço hídrico, o modelo mais utilizado para fins agroclimáticos é o desenvolvido por Thornthwaite e Mather (1955), que consiste na associação entre a precipitação pluvial e a evapotranspiração, considerando-se uma determinada capacidade de armazenamento de água no solo.

O balanço hídrico climatológico, segundo Pereira et al. (1997), é uma das várias maneiras de se monitorar a variação do armazenamento de água no solo. Através da contabilização do suprimento natural de água no solo, simbolizado pelas chuvas (PRE), e da demanda atmosférica, simbolizada pela evapotranspiração potencial (ETP), e com uma capacidade de água disponível apropriada ao tipo de planta cultivada. O balanço hídrico climatológico fornece estimativas da evapotranspiração real (ETR), da deficiência (DEF), do excedente (EXC), e do armazenamento de água no solo (ARM).

#### **2.4 - Funções de pedo-transferência**

A relação entre a retenção de água no solo com dados pedológicos, tais como a distribuição do tamanho das partículas, o conteúdo de carbono orgânico e a densidade global, podem ser descritos usando funções de Pedo-Transferência (PTF's). As funções de pedo-transferência podem ser classificadas em dois tipos:

**Método da regressão por pontos:** esta técnica nos permite relacionar pontos característicos das curvas relativas às propriedades hidráulicas com as propriedades básicas do solo, por meio de técnicas de regressão relativamente simples. A principal desvantagem é a de que não se tem nenhuma idéia do comportamento físico da propriedade hidráulica em estudo, pois não se pode obter curvas completas e, para a obtenção de uma curva completa, é necessário estimar vários pontos de uma mesma curva, o que implica em erros.

**Método da regressão por parâmetros:** neste método assume-se uma equação que descreve a relação entre  $\psi$  (potencial) e  $\theta$  (umidade), e os parâmetros dessa equação são estimados por regressões. Tal técnica calcula os parâmetros dos modelos para a determinação das características hidrodinâmicas do solo; porém, é necessário identificar um modelo capaz de descrever as propriedades hidráulicas (estas medidas experimentalmente) do solo para uma grande variedade de solos. Esta técnica oferece grandes possibilidades, pois existem diversos

programas que permitem estimar os parâmetros não lineares dos modelos de modo relativamente fácil.

## 2.5 -ENSO e Anti-ENSO

O fenômeno ENSO é caracterizado pelo aquecimento anômalo das águas superficiais do Pacífico Equatorial Oriental. O aquecimento e o subsequente resfriamento num episódio típico de ENSO duram de 12 a 18 meses. A evolução típica do fenômeno mostra que inicia no começo do ano, atinge sua máxima intensidade durante dezembro daquele ano e janeiro do próximo e se enfraquece na metade do segundo ano.

O aumento dos fluxos de calor sensível e de vapor d'água da superfície do Oceano Pacífico Equatorial para a atmosfera, sobre as águas quentes, provoca mudanças na circulação atmosférica e na precipitação em escala regional e global, que, por sua vez, provocam mudanças nas condições meteorológicas e climáticas em várias partes do mundo.

A região semi-árida do Nordeste é afetada de maneira pronunciada pelas mudanças na circulação atmosférica durante episódios de ENSO, causando a diminuição da precipitação. Principalmente entre fevereiro e maio, quando se tem a estação chuvosa do semi-árido.

O fenômeno anti-ENSO, ou episódio frio do Oceano Pacífico, é o resfriamento anômalo das águas superficiais no Oceano Pacífico Equatorial Central e Oriental. De modo geral, pode-se dizer que o anti-ENSO é o oposto do ENSO, pois as temperaturas habituais da água do mar à superfície nesta região, situam-se em torno de 25° C, ao passo que, durante o episódio de anti-ENSO, tais temperaturas diminuem para cerca de 23° a 22° C.

Comumente o episódio começa a se desenvolver em meados de um ano, atinge sua intensidade máxima no final daquele ano e dissipa-se em meados do ano seguinte. Um dos principais efeitos observados do período de anti-ENSO, na região Nordeste é a chegada das frentes frias, principalmente no litoral da Bahia, Sergipe e Alagoas; Possibilitando assim chuvas acima da média sobre a região.

### 3 – OBJETIVOS

É objetivo desse trabalho estimar o Balanço Hídrico para a Região Nordeste, assim como mapear, através de geoprocessamento, as propriedades físicas dos solos e a capacidade de retenção de água pelo solo e evapotranspiração.

Os resultados da aplicação de um modelo de balanço hídrico permitirão estudar os padrões de umidade do solo durante episódios secos e úmidos na Região Nordeste.

### 4 – METODOLOGIA

#### 4.1 Cálculo do Balanço Hídrico

O balanço hídrico estabelece que, em um dado volume de solo, a diferença entre a quantidade de água adicionada e a quantidade de água extraída durante um certo período de tempo é igual a variação do conteúdo de água naquele volume nesse período (Costa, 1994).

Matematicamente, o balanço hídrico não exige que a equação de continuidade da massa seja aplicada a um certo volume de solo. O volume ou a profundidade do solo para o qual calcula-se o balanço hídrico é determinado arbitrariamente. Do ponto de vista da agricultura, é mais apropriado considerar o balanço hídrico da zona radicular.

Para o cálculo do balanço hídrico será utilizada uma expressão simplificada, escrita como:

$$S_{t+1} = S_t + PRE - ETR \quad (3)$$

onde PRE é a precipitação (mm/dia); ETR a evapotranspiração real (mm/dia);  $S_{t,t+1}$  (mm) a variação na quantidade de água no perfil do solo nos tempos t e t+1 (dia).

O armazenamento S varia entre um valor mínimo, definido como ponto de murcha, e um valor máximo, definido pela porosidade do solo. No cálculo do balanço hídrico, assume-se que a água contida no perfil de solo drena por efeito da gravidade, desde o valor máximo

de armazenamento até a capacidade de campo, no qual as forças de retenção dos agregados do solo equilibram à força da gravidade.

A capacidade efetiva de armazenamento de água no solo é definida como sendo a diferença entre o conteúdo de água retido no solo entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente. Cassel e Nielsen (1986) utilizaram esse conceito baseando-se no fato de que a capacidade de campo não é uma constante, mas geralmente assume-se que ela corresponde a um potencial de  $-33$  kPa. Assumiram, também, que o ponto de murcha permanente, o ponto no qual uma planta murcha e não se recupera mais, geralmente corresponde a um potencial de  $-1500$  kPa.

Para a obtenção da capacidade efetiva de armazenamento de água no solo, considerada a partir da estimativa da capacidade de campo e do ponto de murcha permanente, são utilizadas funções de pedo-transferência.

Na prática, serão monitorados dados diários de precipitação, temperatura, umidade relativa do ar, velocidade do vento, insolação, etc, obtidos por estações meteorológicas sinóticas e por Plataforma de Coleta de Dados (PCD's). Estes dados serão utilizados como parâmetros de entrada nos modelos de evapotranspiração e das funções de Pedo-Tranferência. A partir da analogia matemática anteriormente citada, obter-se-á o Balanço Hídrico pela diferença entre a soma da precipitação pluviométrica e a variação do conteúdo de quantidade de água no perfil do solo, menos a evapotranspiração, em função do período desejado.

#### **4.1.1 Funções de Pedo-Tranferência**

As funções pedo-transferência permitem estimar a capacidade de campo, o ponto de murcha permanente e a capacidade de armazenamento de água nos solos brasileiros a partir das propriedades físicas dos solos, tais como a composição granulométrica (percentagem de areia, de silte e de argila), o conteúdo de carbono e a densidade global.

Uma das formas de se estabelecer uma relação entre  $\psi$  e  $\theta$  é através da equação da curva de retenção proposta por Van Genuchten (1980), que usa os parâmetros  $\theta_r$  (conteúdo



de água residual),  $\theta_s$  (conteúdo de água saturada),  $\alpha$  (inverso da pressão total),  $n$  (equivalente da soma 1,  $n = 1 + \lambda$ ), e  $m$ , o qual é assumido como  $m = 1 - \frac{1}{n}$ .

$$\theta = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{[1 + (\alpha \psi)^n]^m} \quad (4)$$

Para relacionar cada parâmetro da Equação 4 com dados das propriedades básicas do solo, como textura, conteúdo de carbono orgânico, umidade equivalente e densidade global foram usadas técnicas de regressão linear múltipla, utilizando um polinômio de segunda ordem com coeficientes lineares, dado pela seguinte forma:

$$X_i = a_{i,1} + a_{i,2}CS + a_{i,3}FS + a_{i,4}S + a_{i,5}C + a_{i,6}OC + a_{i,7}Me + a_{i,8}bd + a_{i,9}CS.FS + \dots + a_{i,j}S.C + a_{i,j+1}CS^2 + \dots + a_{i,n}C^2 \quad (5)$$

em que  $X_i$  é o valor do parâmetro da equação 4 ( $i = 1,4$  corresponde a  $\alpha$ ,  $n$ ,  $\theta_s$  e  $\theta_r$ , respectivamente); ou ele é o logaritmo natural; CS, FS, S e C são, respectivamente, a percentagem de areia grossa, de areia fina, de silte e de argila; OC é o percentual de carbono orgânico; Me é a umidade equivalente;  $\rho_g$  a densidade global e  $a_{ij}$  ( $j = 1..n$ ) são os coeficientes derivados da regressão linear múltipla.

#### 4.1.2 Evapotranspiração

Em 1965 Monteith desenvolveu um modelo para estimativa da evapotranspiração, que serve para qualquer tipo de vegetação e sob qualquer condição de estresse hídrico, o qual deu origem a um novo método denominado de Penman-Monteith (FAO). O modelo apresenta a seguinte notação e unidades no Sistema Internacional (SI) de medidas:

$$ET_o = \frac{\delta}{\delta + \gamma^*} (R_n - G) \frac{1}{\lambda} + \frac{\gamma}{\delta + \gamma^*} \frac{900}{T + 273} U_2 (e_a - e_d) \quad (6)$$

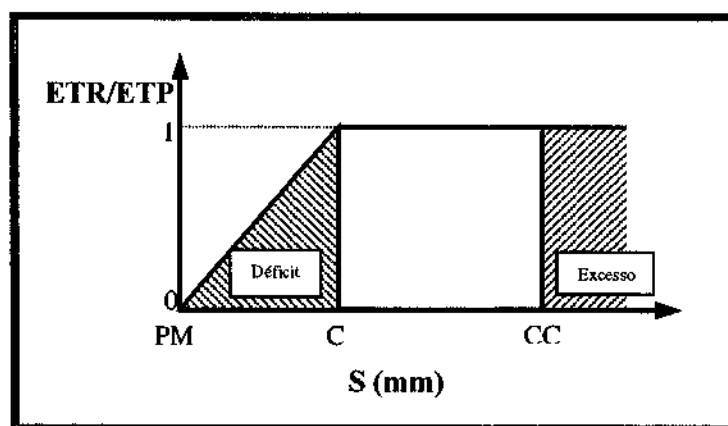
em que  $ET_0$  é a evapotranspiração de referência ( $\text{mm d}^{-1}$ );  $R_n$  é o saldo de radiação à superfície ( $\text{MJ m}^{-2}\text{d}^{-1}$ );  $G$  o fluxo de calor no solo ( $\text{MJ m}^{-2}\text{d}^{-1}$ );  $T$  a temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ );  $U_2$  é a velocidade do vento à 2m de altura;  $(e_a - e_d)$  é o déficit de pressão de saturação;  $\delta$  é a declividade da curva de pressão de saturação ( $\text{kPa}^{\circ}\text{C}^{-1}$ );  $\lambda$  o calor latente de vaporização ( $\text{MJ kg}^{-1}$ );  $\gamma^*$  a constante psicrométrica modificada ( $\text{kPa}^{\circ}\text{C}^{-1}$ ) e a constante 900 tem unidades de ( $\text{kJ}^{-1}\text{kg K}$ ).

O modelo de Penman-Monteith é estruturado em consistentes conceitos físicos e é de fácil entendimento, podendo-se utilizar informações climatológicas obtidas em estações sinóticas tradicionais ou em plataformas de coleta de dados (PCD's). Este modelo essencialmente necessita de dados de radiação ou insolação, temperaturas, umidade relativa do ar e velocidade do vento num determinado perfil.

Os parâmetros de superfície (altura da vegetação, comprimento de rugosidade e albedo) da equação acima foram corrigidos em função de diferentes coberturas vegetais, conforme os biomas definidos pelo modelo SiB.

#### **4.1.3 Solução do Balanço Hídrico**

Como mencionado anteriormente, a evapotranspiração de referência ou a potencial são calculadas pela equação de Penman-Monteith (FAO). Os resultados obtidos são transformados em evapotranspiração real conforme metodologia sugerida pela FAO (Doorenbos e Pruitt, 1977), ou seja, considerando-se que a quantidade de água transpirada pela planta depende do armazenamento de água no solo, conforme ilustra a Figura 1.



**Figura 1** : Razão da evapotranspiração real e potencial em função do armazenamento de água no solo, sendo PM o ponto de murcha e CC a capacidade de campo.

Através da Figura 1 verifica-se que à medida que a umidade do solo decresce haverá um ponto em que a ETR torna-se menor do que a ETP, o que estabelece uma relação linear entre o decréscimo de umidade do solo e o decréscimo de ETR/ETP.

a) Para a  $ETR=ETP$  ( $S>C$ )

Para o primeiro caso, a equação do balanço hídrico é dada por:

$$\frac{dS}{dt} = PRE - ETP \quad (7)$$

$$\int_{S_i}^{S_{i+1}} dS = \int_i^{i+\Delta t} (PRE - ETP) dt \quad (8)$$

Resolvendo a equação diferencial acima temos como resultado:

$$S_{i+1} = S_i + (PRE - ETP) \Delta t \quad (9)$$

b) Para  $S \leq C$ ,  $ETR = ETP \frac{S}{C}$ :

Nesse caso, a equação do balanço hídrico fica da forma:

$$\int_{S_t}^{S_{t+\Delta t}} \frac{dS}{\text{PRE} - \text{ETP} \frac{S}{C}} = \int_t^{t+\Delta t} dt \quad (10)$$

E a solução da equação 10 é dada por:

$$S_{t+\Delta t} = \frac{\text{PRE} \cdot C}{\text{ETP}} - \left[ \frac{\text{PRE} \cdot C}{\text{ETP}} - S_t \right] \cdot e^{-\frac{\text{ETP} \cdot \Delta t}{C}} \quad (11)$$

## 5 – MATERIAL E DADOS

### 5.1 Dados disponíveis:

Utilizar-se-ão dados pluviométricos, de solos e de vegetação. Os dados de precipitação serão extraídos da rede meteorológica da SUDENE (Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste). Além dos dados de solos obtidos em trabalhos prévios (Rossato, et al., 1998), também serão utilizados dados com base nos volumes dos levantamentos pedológicos da EMBRAPA e RADAMBRASIL.

#### 5.1.1 Informações Pedológicas

Basicamente, as informações pedológicas foram desenvolvidas a partir de dados de Levantamento Exploratório e de Reconhecimento dos Solos do Brasil realizados pelo Projeto RADAMBRASIL, complementadas com a introdução dos dados da EMBRAPA. Parte desta base de dados foi elaborada por Rossato et al. (1998), entretanto, durante o período deste projeto a base foi aprimorada e melhorada a partir da incorporação de novas informações e checagem da qualidade da informação.

A organização e referenciamento dos dados de solos dão-se por perfis, que inclui informações básicas tais como: tipo de solo, classes de textura, profundidade dos horizontes, conteúdo de carbono orgânico, conforme ilustrado na Tabela 1.

**Tabela 1. Descrição dos atributos dos solos considerados na base de dados.**

Nº Perf.	Lat.	Long.	Alt.	Tipo Solo	Horiz.	Prof. Inf.	Prof. Sup.	Calh.	Casc.	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	Argila nat.	E.U	C
1	-16°24'	40°49'	70	Laa	A1	0	13	0	2	49	7	8	36	18	18	1.74
1	-16°24'	40°49'	70	Laa	A3	13	30	0	2	47	8	8	37	16	18	1.23
1	-16°24'	40°49'	70	Laa	B1	30	45	0	2	37	8	6	49	33	23	0.6
1	-16°24'	40°49'	70	Laa	B21	45	75	0	2	24	7	4	65	0	29	0.46
1	-16°24'	40°49'	70	Laa	B22	75	105	0	2	24	7	2	67	0	29	0.41
1	-16°24'	40°49'	70	Laa	B23	105	140	0	2	24	7	2	67	0	29	0.28
1	-16°24'	40°49'	70	Laa	B24	140	200	0	2	26	6	4	64	0	29	0.29
1	-16°24'	40°49'	70	Laa	B3	200	220	0	2	26	7	6	61	0	29	0.15

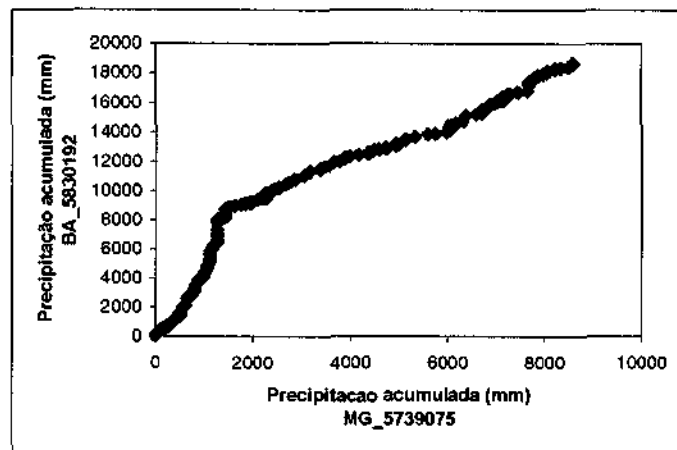
## 5.2 Utilização dos dados

### 5.2.1 Estruturação e Organização dos dados pluviométricos das estações da SUDENE.

Com o objetivo de aplicar o modelo de balanço hídrico, faz-se necessário contar com séries de dados pluviométricos e meteorológicos confiáveis. Análise preliminares dos dados brutos revelaram inconsistências nas séries de dados observados, principalmente de precipitação. Precipitação é uma variável de extrema importância, pois sua variabilidade espacial é determinante da forma do hidrograma de escoamento, o qual é usado na validação do modelo. Em razão disso, os dados de precipitação receberam um tratamento cuidadoso, a fim de garantir: (i) uma cobertura espacial tão densa quanto possível; (ii) a qualidade da informação.

Devido ao grande número de postos pluviométricos com informações disponíveis, utilizou-se mecanismos automáticos de detecção de inconsistências. Tal mecanismo consiste em comparar a curva de massa acumulada de valores de precipitação mensal (obtido a partir dos valores diários) de cada posto da base de dados, com os 10 postos pluviométricos mais próximos. Para isso analisa-se o período em comum do posto em questão com a série do posto vizinho. Através de análise de regressão linear, calcula-se o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) entre o posto vizinho e o posto em questão. Toda vez que o coeficiente de determinação for inferior a 0.9, assume-se que alguma das séries pode apresentar erro. Nesse caso, criam-se

gráficos de curvas de massa acumulada e, através de julgamento visual, identifica-se o posto com problemas nas observações. No caso da detecção de algum erro elimina-se o(s) dado(s) mensal(is) (e todos os valores diários daquele mês) com qualidade duvidosa. A Figura 2 mostra um exemplo de um típico erro detectado em dois postos da SUDENE em que na abcissa, em torno de 1700 mm, ocorre uma quebra na curva, provavelmente relacionado a um erro não identificável.



**Figura 2:** Curva de massas acumuladas de precipitação mensal, ilustrando um típico problema de inconsistência na série

Desta maneira, analisou-se mais de 1900 postos da base de dados da Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste - SUDENE conforme distribuídos na Figura 3. Isto permitirá gerar mapas de precipitação para uma grade compatível com a resolução do modelo hidrológico. Além dos dados de precipitação, a SUDENE dispõe de dados de mais de 100 estações meteorológicas convencionais operando a partir de 1960, os quais serão utilizados na estimativa de evaporação.

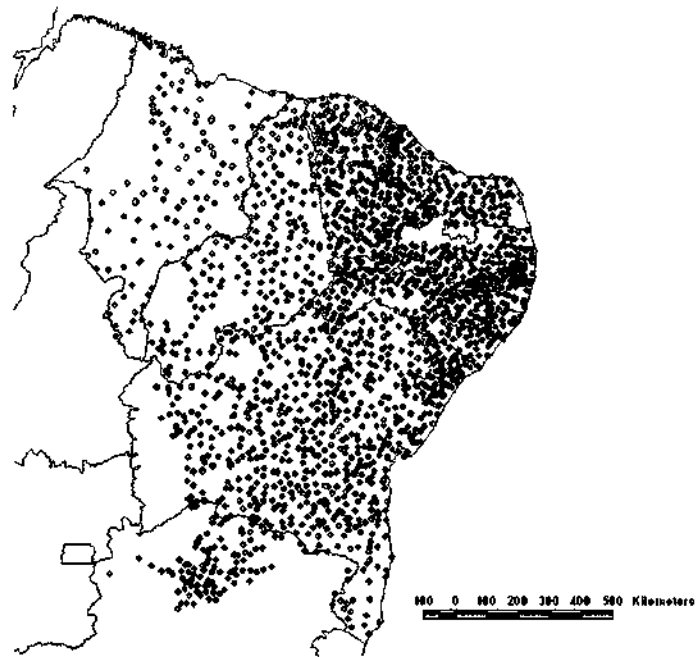


Figura 3 : Rede pluviométrica da SUDENE.

A Figura 4 apresenta a disponibilidade de postos pluviométricos ao longo dos anos. Pode-se observar que a maior concentração de informações encontra-se no período 1965-1990.

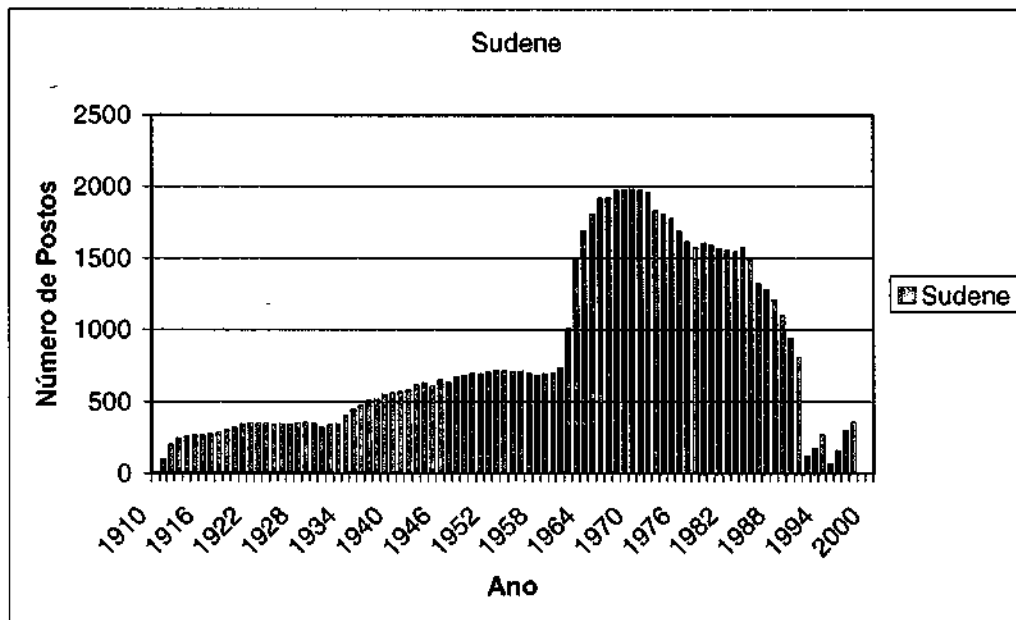


Figura 4: Número de postos com dados de precipitação no período 1910-2000.

### **5.2.2 Melhoria na base de dados dos solos - incorporação de novos dados.**

Grande parte dos levantamentos de solos do Brasil constituem publicações do Projeto RADAM/BRASIL, do extinto Serviço Nacional de Levantamento de Solos, da Sudec e da EMBRAPA/MA. Na base de dados utilizados foram incorporados dados de levantamentos das regiões de Sobradinho (BA, PE), norte de Minas Gerais, Chapadas do Alto Jequitinhonha (MG), Bacia de Irrigação do Rio Gorutuba (MG), Forquilha e Aires de Souza (CE), Inhamuns e Salgado (CE), sertões cearenses, Serra de Santana (RN). Além destas, existem outras fontes de dados originadas em instituições governamentais, tais como empresas de extensão e Universidades; entretanto, o maior problema relacionado a estes dados deve-se ao fato deles não se encontrarem reunidos numa única estrutura. Desta forma, uma de nossas preocupações foi elaborar uma base de dados de solos coesa e de fácil manipulação. Portanto, houve a necessidade de se elaborar o georeferenciamento de cada perfil encontrado nos mais diferentes tipos de solos citados nas publicações.



## 6 - RESULTADOS

A Figura 6 apresenta a distribuição espacial dos dados pelas regiões do Nordeste e seus respectivos atributos das propriedades básicas dos solos, transferidos para um Sistema de Informação Geográfica (SIG).

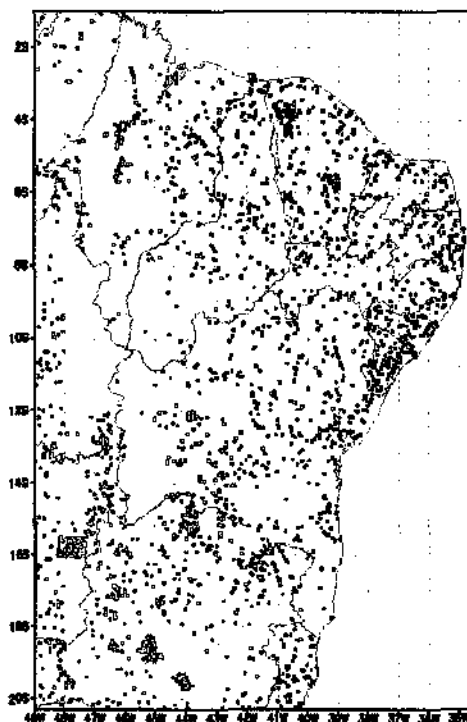


Figura 6. Localização dos perfis de solos do banco de dados.

A figura 7 apresenta o mapa de solos da região Nordeste, onde os tipos de solos são agrupados em grupos principais, isto é, solos aluviais, latossolos, terras roxas estruturadas, solos podzólicos, podzol, brunizens, planossolos, solos salínicos, cambissolos, plínticos, lateritas, solos gley, solos arenoquartzosos profundos, vertissolos, solos litólicos, regossolos. Este mapa foi digitalizado a partir do mapa de solos do Brasil produzido pela Embrapa.

Para a obtenção do CAD, ou seja a diferença entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente integrados até a profundidade radicular, foram utilizadas funções de pedo-transferência, estas permitem estimar parâmetros de interesse para o balanço hídrico a partir de levantamentos de solos já existentes.

Para a estimativa do CAD, foram executadas as seguintes atividades:

a) Os perfis dos solos dos levantamentos de reconhecimento realizados pelo Projeto Radambrasil e pela Embrapa na área de estudo foram georeferenciados conforme mostrado na figura 6. Para cada perfil da figura 6, foram digitadas as informações básicas como mostrado na tabela 1.

**Tabela 1. Descrição dos atributos dos solos de cada perfil.**

Nº Perf.	Lat.	Long.	Alt.	Tipo Solo	Horiz.	Prof. Inf.	Prof. Sup.	Calh.	Casc.	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	Argila nat.	E.U	C
1	-1°24'	47°49'	70	Laa	A1	0	13	0	2	49	7	8	36	18	18	1.74
1	-1°24'	47°49'	70	Laa	A3	13	30	0	2	47	8	8	37	16	18	1.23
1	-1°24'	47°49'	70	Laa	B1	30	45	0	2	37	8	6	49	33	23	0.6
1	-1°24'	47°49'	70	Laa	B21	45	75	0	2	24	7	4	65	0	29	0.46
1	-1°24'	47°49'	70	Laa	B22	75	105	0	2	24	7	2	67	0	29	0.41
1	-1°24'	47°49'	70	Laa	B23	105	140	0	2	24	7	2	67	0	29	0.28
1	-1°24'	47°49'	70	Laa	B24	140	200	0	2	26	6	4	64	0	29	0.29
1	-1°24'	47°49'	70	Laa	B3	200	220	0	2	26	7	6	61	0	29	0.15

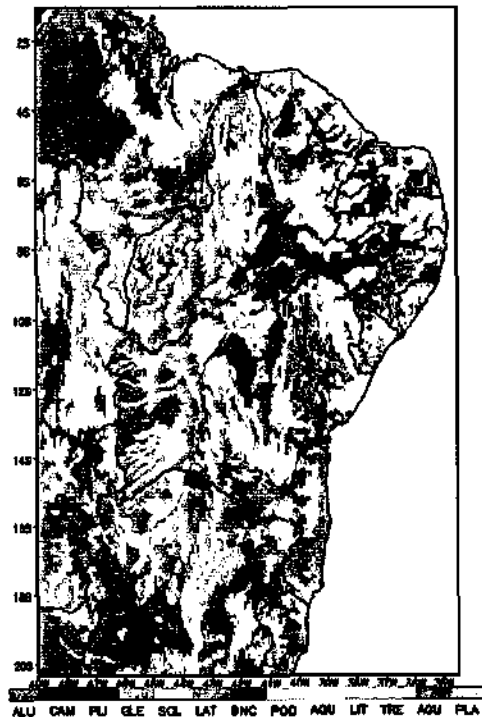
b) Usando a função de pedo-transferência proposta por Tomasella et al. (2000), calculou-se a capacidade de armazenamento máxima de cada perfil de solo da figura 6. No cálculo de capacidade de água disponível usando perfis de solo, a profundidade máxima foi limitada em função do tipo de solo conforme mostrado na tabela 2:

**Tabela 2: Profundidade de cálculo da capacidade de armazenamento máxima de água no solo – CAD.**

Solos	Profundidade (cm)
Profundos não hidromórficos: Latossolos, Podzólicos, Terras Roxas, Concrecionários lateríticos, Aluviais, Cambissolos, Areias quartzosas, Regossolos menos arenosos e mais profundos,	120
Solos Hidromórficos: Gleissolos, Plintossolos, Podzol Hidromórfico, Hidromórficos Indiscriminados.	70
Vertissolos	90
Solos Rasos: Planossolos, Solonetz e Solonchak, Rendzinas, Litossolos.	60

A adoção destas profundidades se baseia na descrição pedológica dos perfis do solo, no qual é de uma maneira qualitativa é indicada a existência e o percentual de raízes em cada horizonte

do perfil. As profundidades adotadas aproximam-se a aquelas geralmente encontradas na descrição de cada perfil.



**Figura 7. Mapa de Solos do Nordeste**

Legenda:

ALU - Aluviais

CAM - Cambissolos

PLI - Plínticos

GLE - Gley

SCL - Concrecionário Laterítico

LAT - Latossolos

BNC - Brunos Não Cálcidos

POD - Podzólicos

AQU - Arenoquartzosos

LIT - Litólicos

TRE - Terras Roxas Estruturadas

AGU - Água

## PLA - Planossolos

A estimativa da umidade do solo, média mensal, para o território nordestino, mais a área de atuação da SUDENE no sudeste (parte do norte dos estados de MG e ES), ou seja, a região afetada pelo fenômeno das secas, foi obtida a partir da interpolação dos dados de precipitação e de evapotranspiração, de acordo com a metodologia descrita no ítem 4.1.3. O software utilizado para a visualização foi o GrADS ("Grid Analysis and Display System"), adotando-se uma de resolução de 0.25°.

As figuras a seguir apresentam a média mensal no período de 1971 a 1990 do armazenamento de água no solo em função da capacidade de água disponível no solo (em porcentagem) para a região Nordeste.

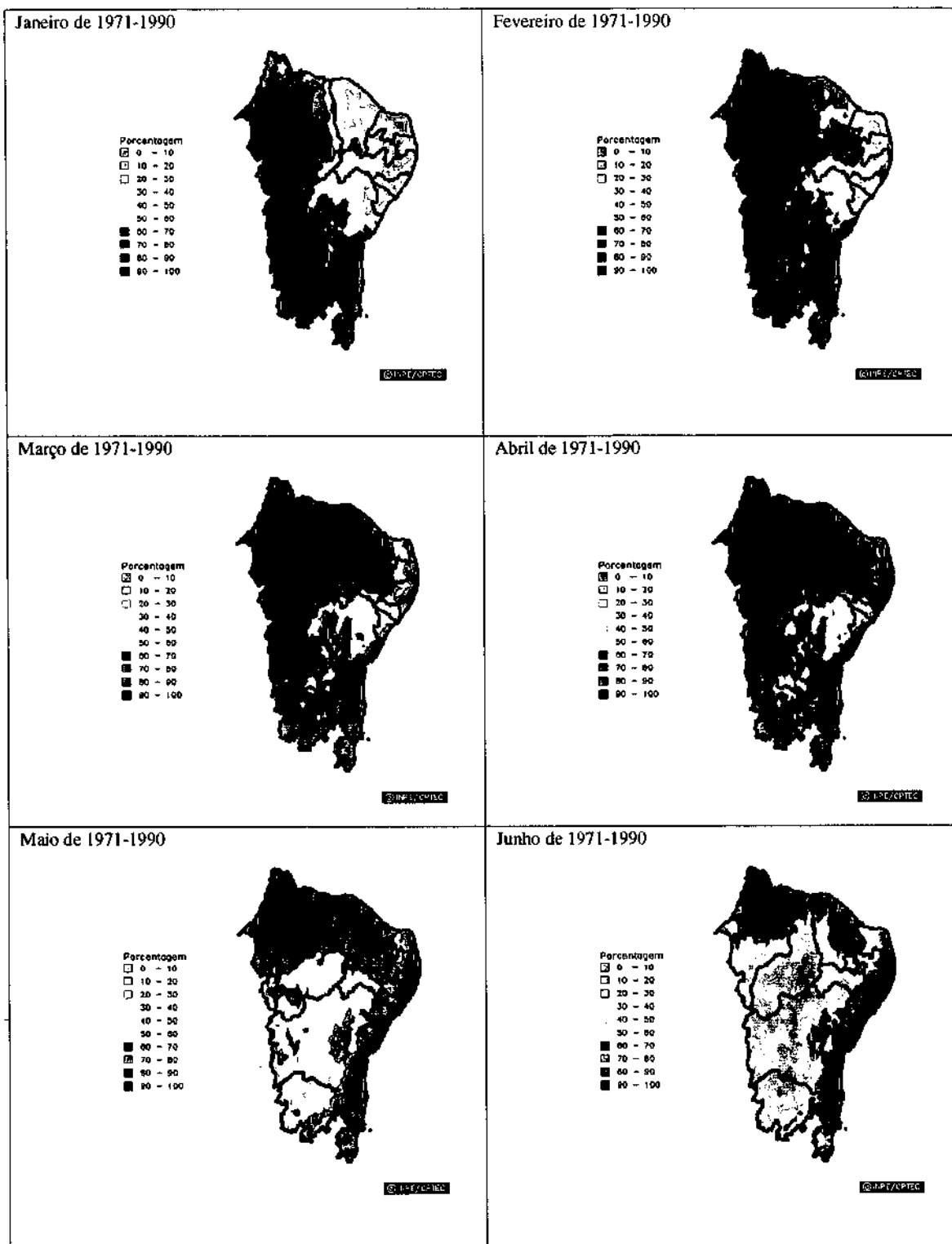


Fig. 8 : Percentual do armazenamento de água no solo durante os meses de Janeiro a Junho no período de 1971 a 1990.

Pelas figuras 8 e 9, vê-se que dos meses de Janeiro a Abril no período de 1971-1990, na região que se estende do Maranhão, Ceará, Piauí, norte de Minas Gerais, norte do Espírito Santo e parte da Bahia verifica-se um aumento no percentual de armazenamento de água no solo, e a partir do mês de Maio até o mês de Setembro esse percentual diminui chegando atingir apenas 10% e só volta a aumentar a partir do mês de Outubro. Para o litoral nordestino, o aumento de água no solo se dá por um período de tempo mais longo, sendo que o percentual de água armazenada só chegará aos 100% no mês de Maio e começará a diminuir a partir do mês de Agosto.

A fim de que se possa analisar a umidade do solo nos períodos de ENSO e anti-ENSO, foram geradas anomalias de percentual de água armazenadas no solo em relação à média climatológica de 1971 a 1990.

As figuras abaixo representam o percentual de armazenamento de água no solo para o período de ENSO ocorrido em 1982 a 1983.

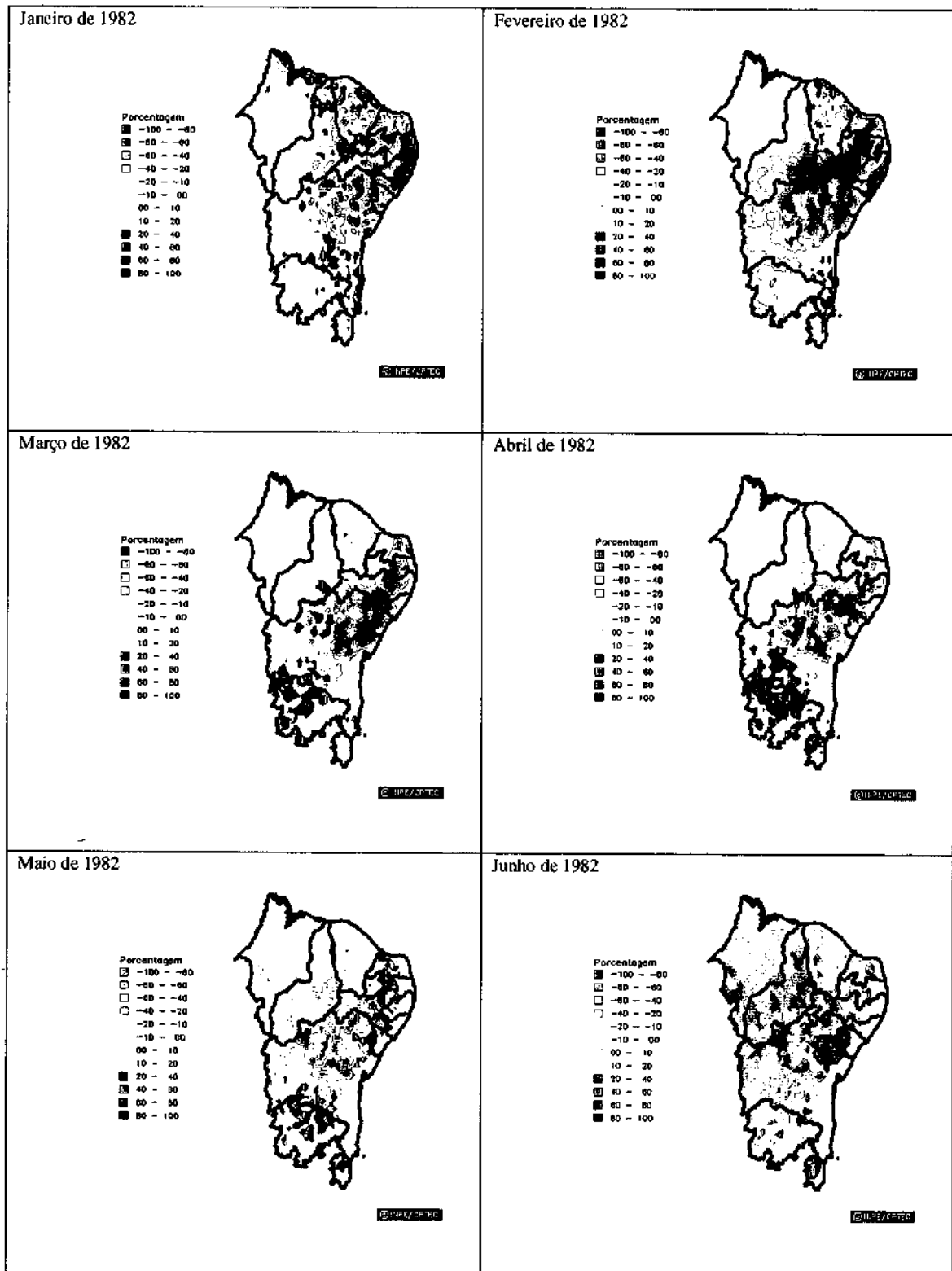


Fig. 8 : Anomalias do percentual de armazenamento de água no solo no período de Janeiro a Junho de 1982.

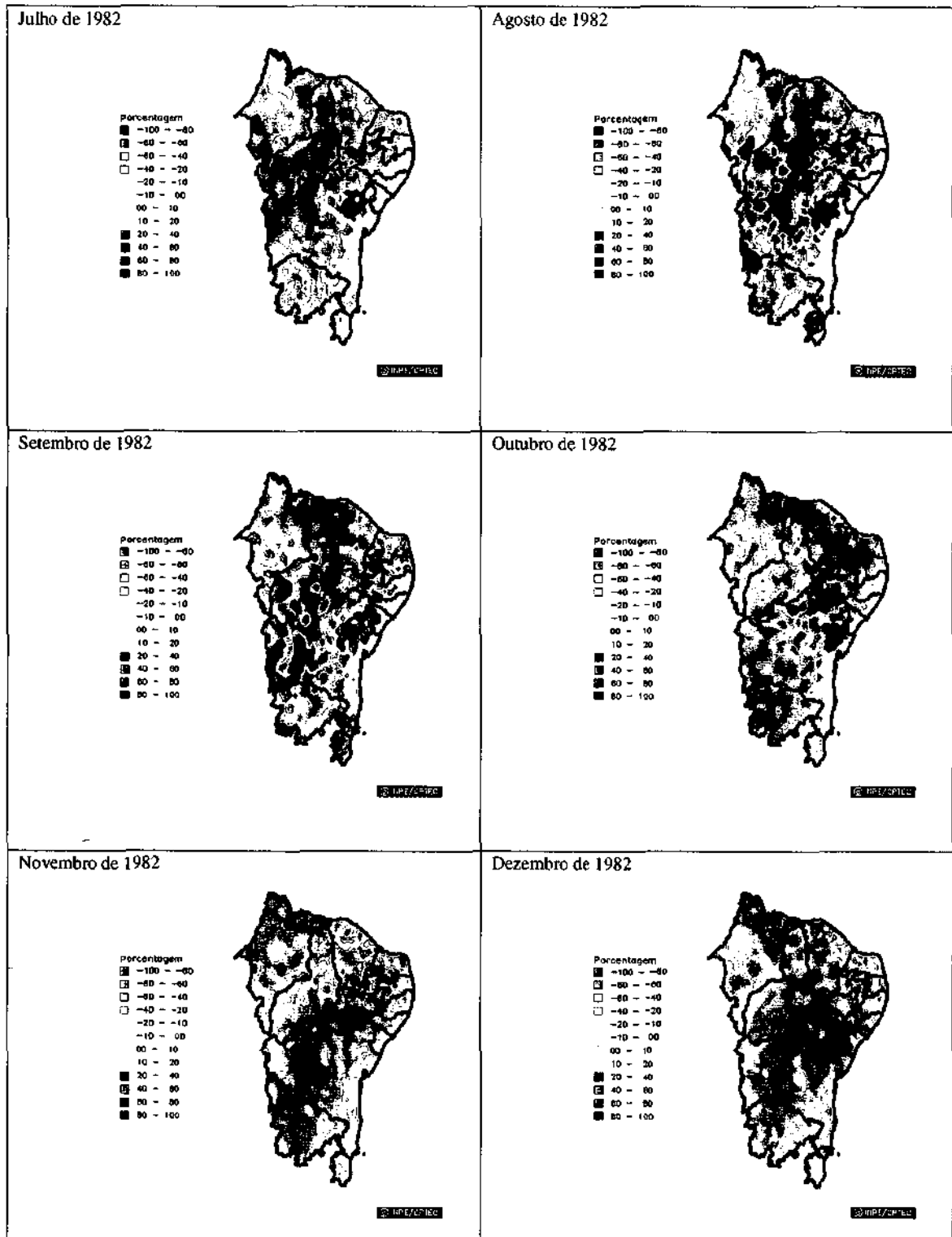


Fig. 9: Anomalias do percentual de armazenamento de água no solo no período de Junho a Dezembro de 1982.



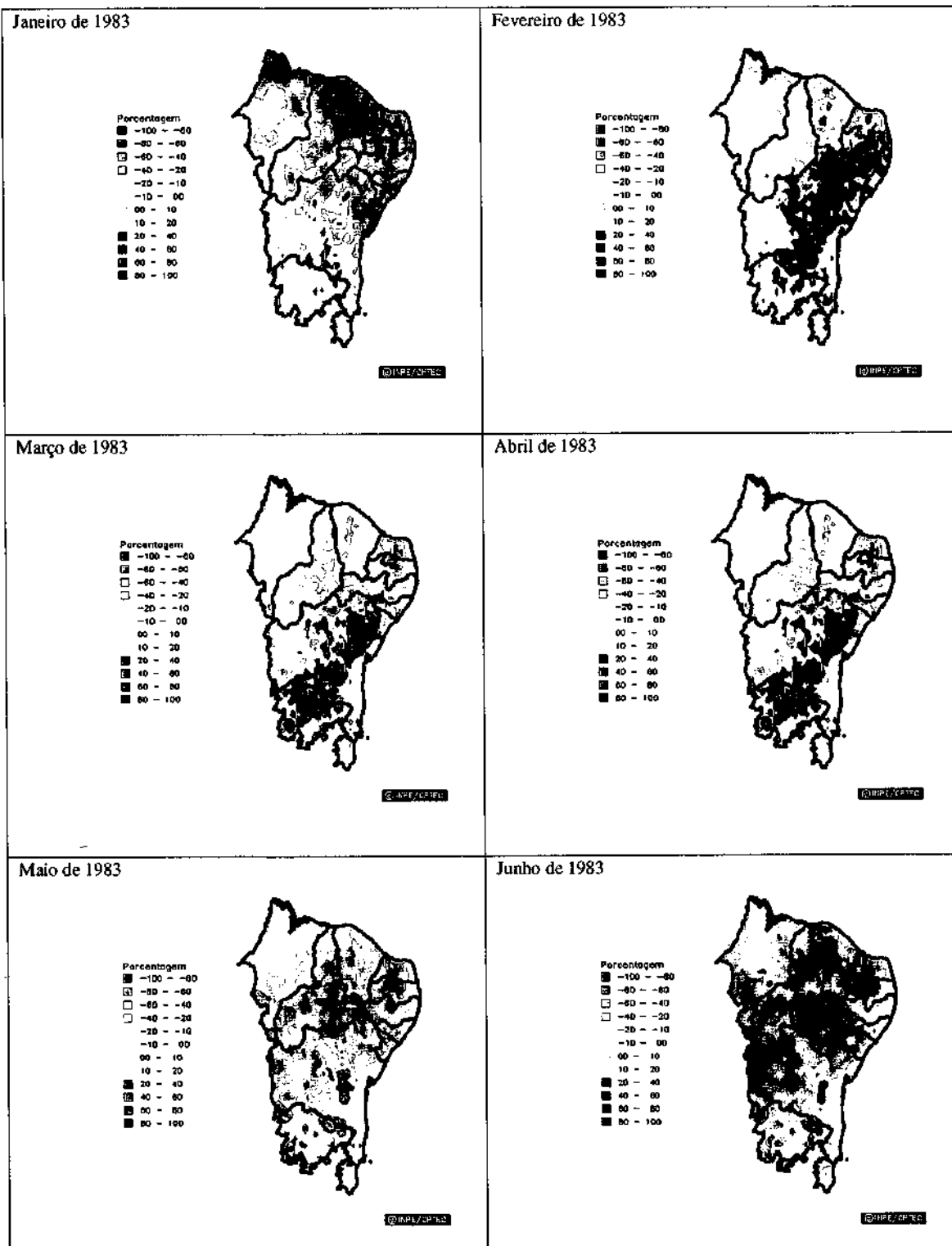


Fig. 10: Anomalias do percentual de armazenamento de água no solo no período de Janeiro a Fevereiro de 1983.

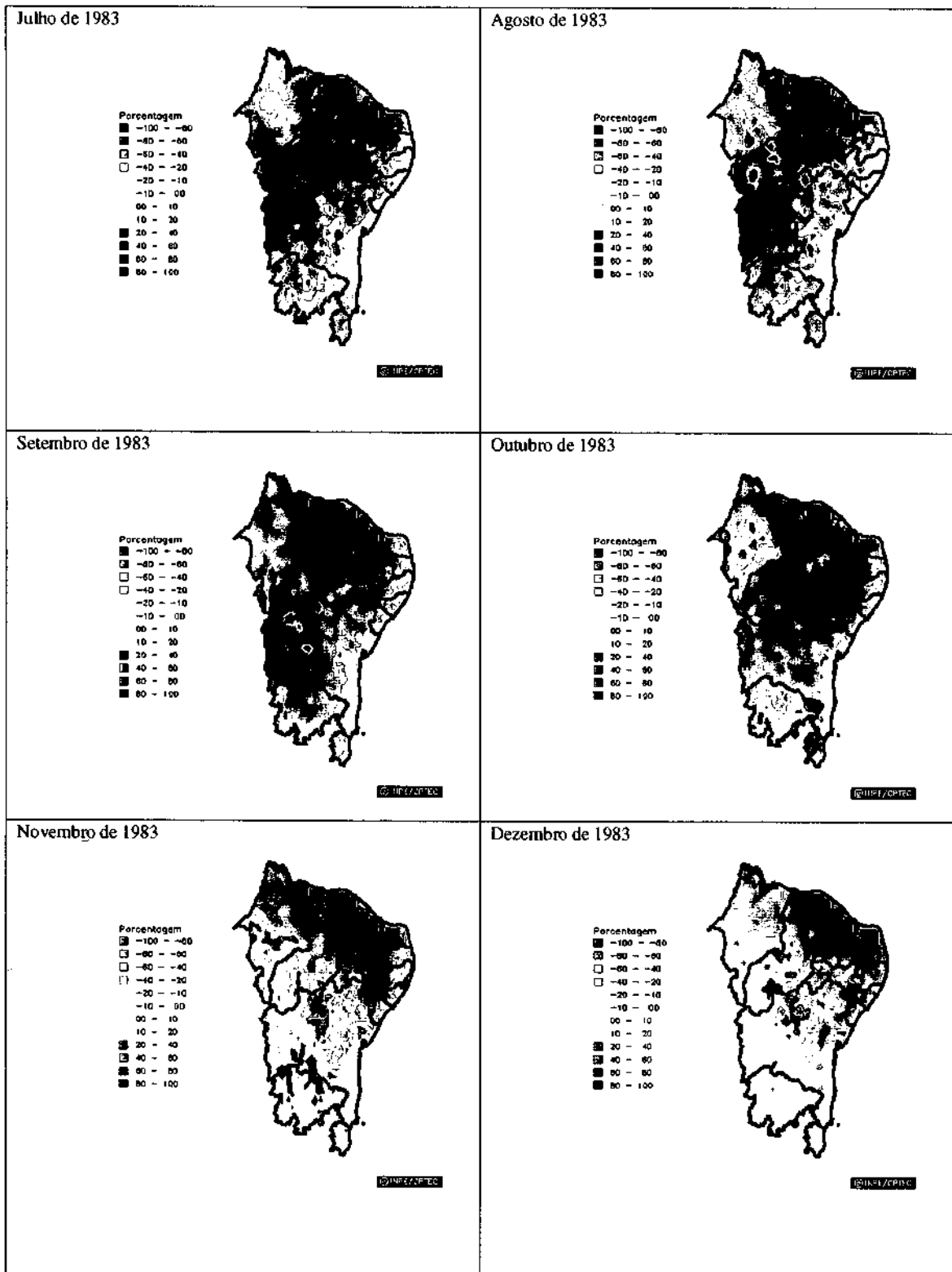


Fig. 11: Anomalias do percentual de armazenamento de água no solo no período de Julho a Dezembro de 1983.

O período de ENSO teve o início no mês de Abril de 1982 e se estendeu até o mês de Julho de 1983. Conforme comentários anteriores, o período de ENSO, é refletido na região Nordeste com a diminuição da precipitação na região. Desse modo nota-se que no período que vai de Abril de 1982 até Dezembro de 1982 há diminuição do percentual de água no solo. Sendo importante salientar que para o primeiro ano do episódio ENSO, o mês de Dezembro foi o que apresentou anomalias mais baixas variando de -80% a -100% em quase toda a região nordestina. De Janeiro a Abril de 1983 a situação é amenizada e torna-se a agravar a partir do mês de Maio e estendendo-se até Dezembro.

Em comparação à média climatológica de 1971 a 1990, observa para os meses de Fevereiro a Maio, quando se tem a estação chuvosa do semi-árido, que devido o episódio ENSO a precipitação no período sofreu uma brusca diminuição, tornando o percentual bem abaixo da média. Nos meses de Fevereiro a Abril de 1983 o percentual de água no solo variou de 20% a 60% para o sul e leste da Bahia e norte de Minas Gerais. E variou para as demais regiões de -80% a 0%. O mês de maio a situação foi mais significativa, sendo que o percentual variou de -100% a -20% para o sul do Maranhão, Piauí, Sul do Ceará, para os estados do Rio Grande do Norte, Paraíba, Alagoas, Sergipe e norte e oeste do estado da Bahia. E, para as demais localidades a variação foi de -10% a 60%. Observa-se também, que no período que vai do mês de Julho a Outubro de 1983, para grande parte da Região Nordeste o percentual de água no solo varia de -80% a -100%.

A variação de umidade no solo no episódio de anti-ENSO ocorrido nos anos de 1988 a 1989 é ilustrada nas figuras abaixo:

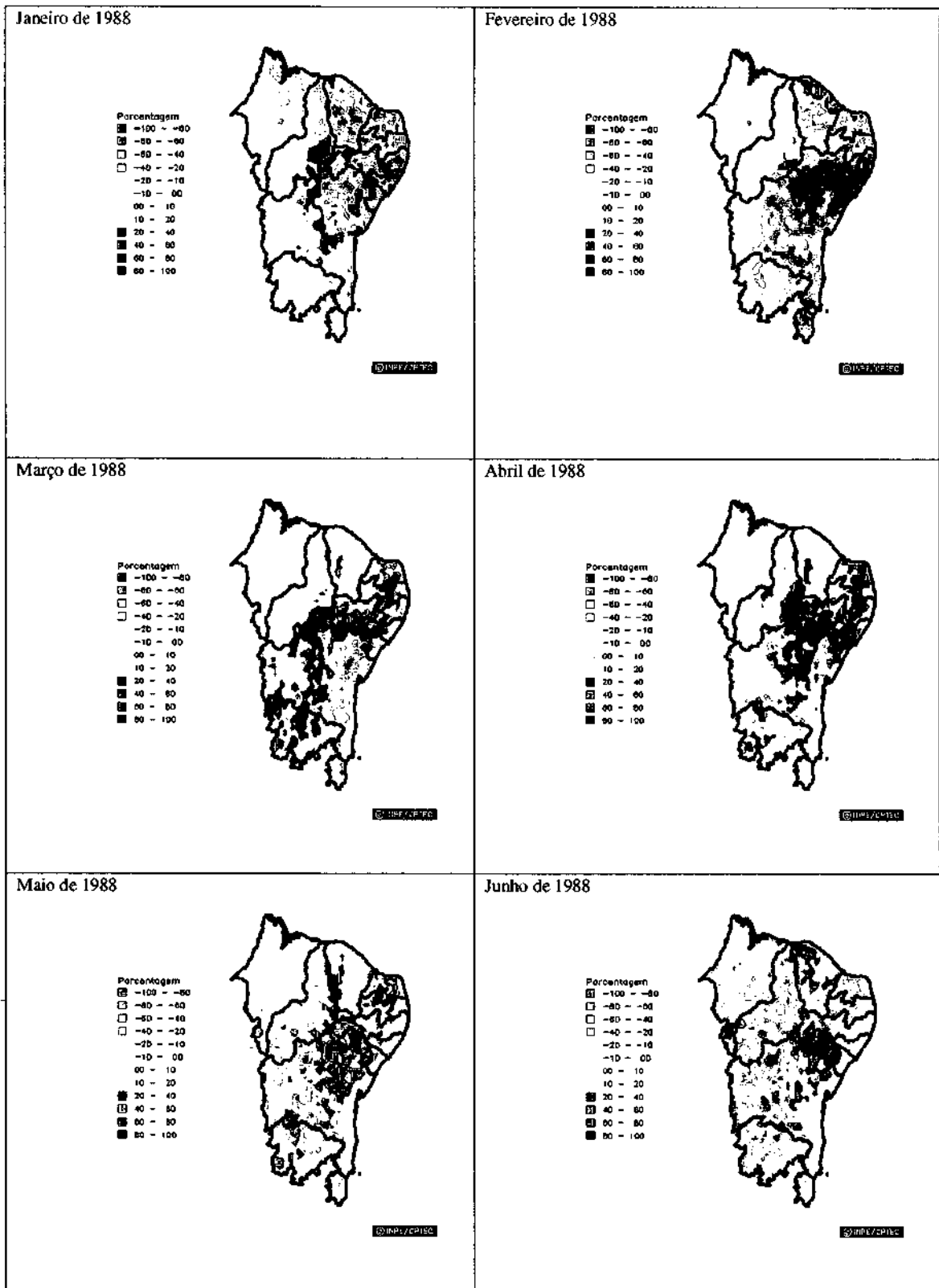


Fig 12: Anomalias do percentual de armazenamento de água no solo no período de Janeiro a Junho de 1988

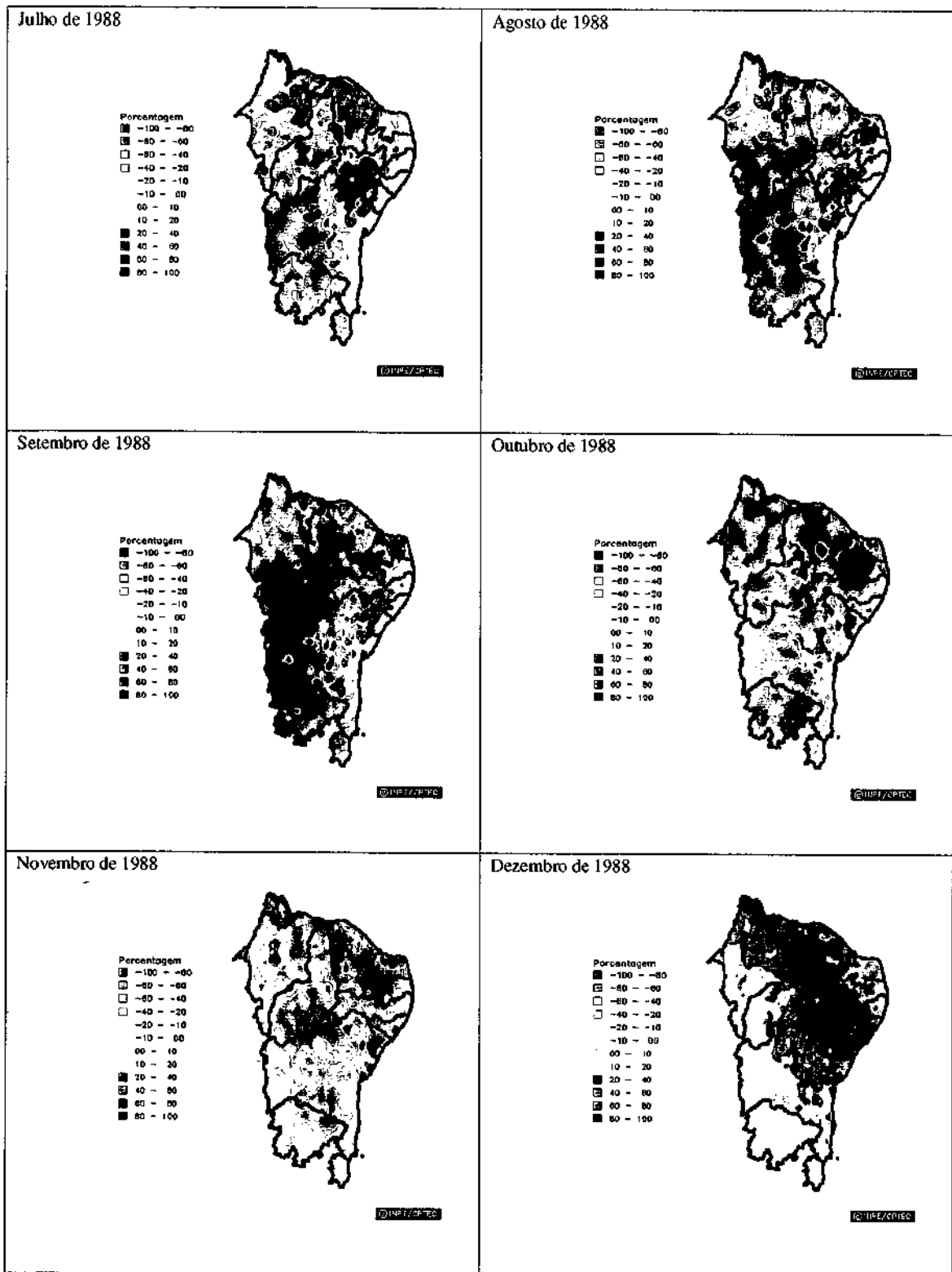


Fig 13: Anomalias do percentual de armazenamento de água no solo no período de Julho a Dezembro de 1988.

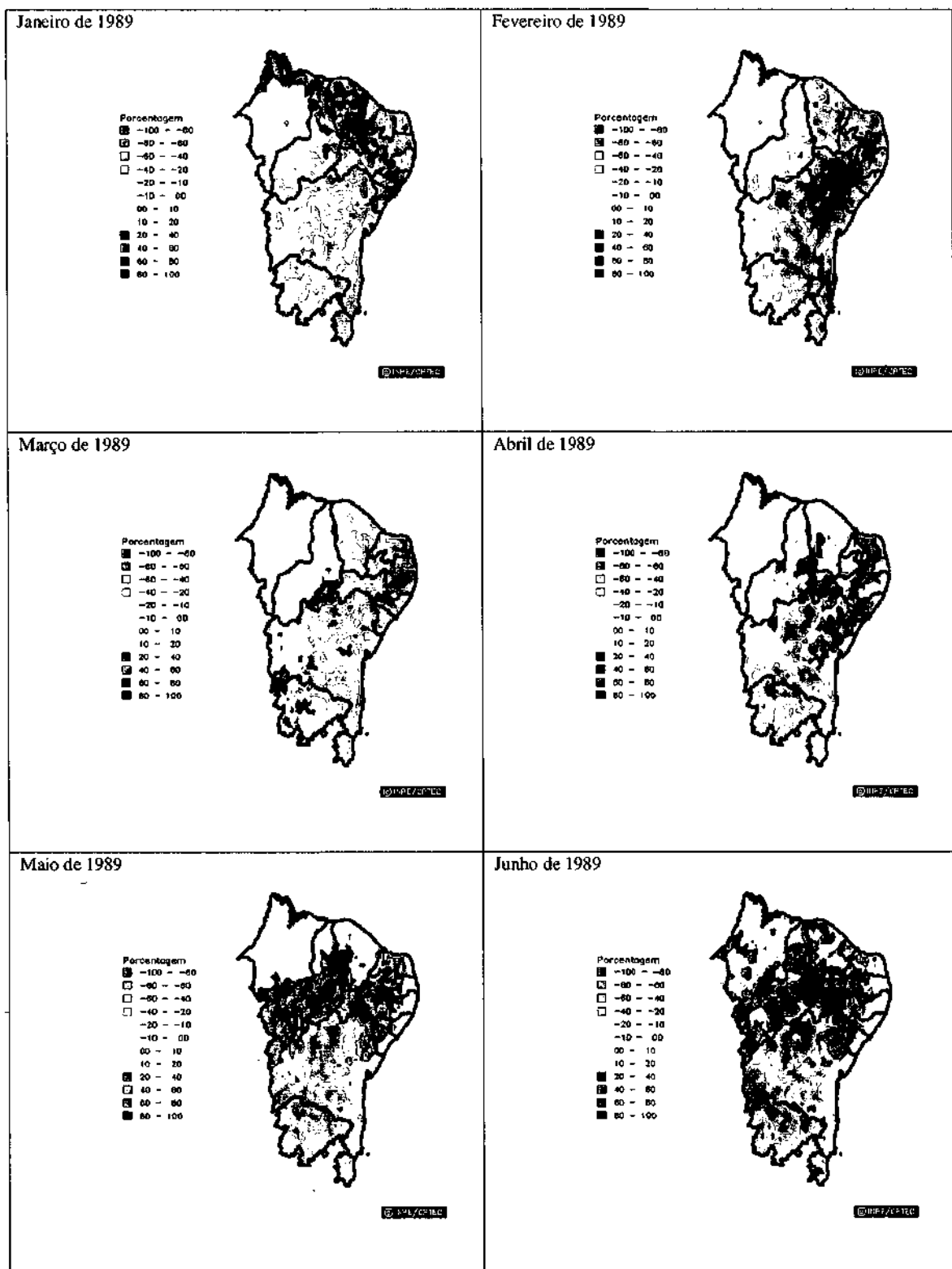


Fig 14: Anomalias do percentual de armazenamento de água no solo no período de Janeiro a Junho de 1989.

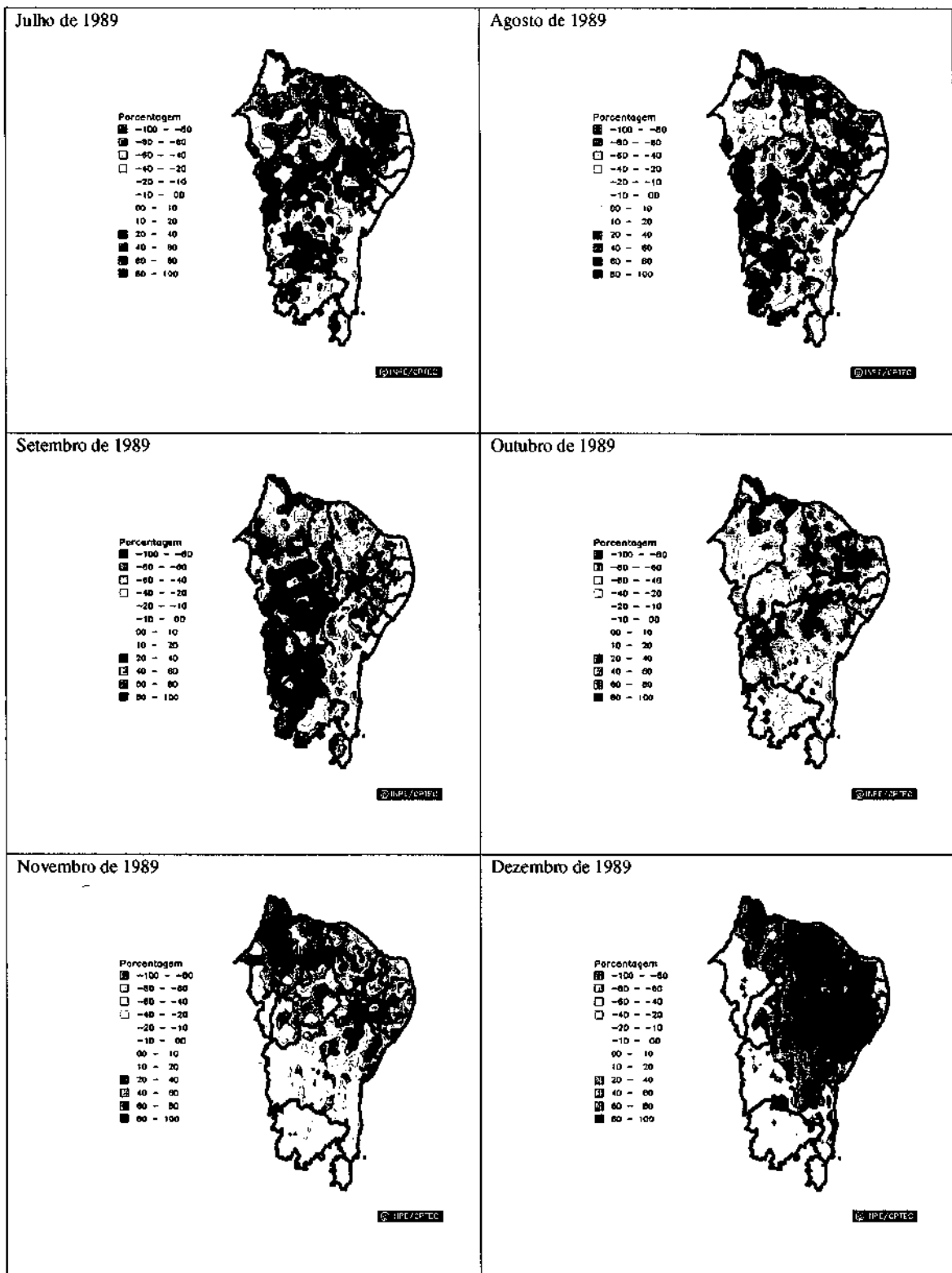


Fig 15: Anomalias do percentual de armazenamento de água no solo no período de Julho a Dezembro de 1989.

Afirm de que se avaliasse a influência dos fenômenos de ENSO (1982-1983) e anti-ENSO (1988-1989) na umidade do solo, foram geradas anomalias do percentual do armazenamento de água no solo.

Durante o ENSO verificou-se que no período de Abril de 1982 a Dezembro de 1982 ocorreu uma diminuição do percentual de água. De Janeiro a Abril de 1983 a situação ameniza e torna-se a agravar a partir do mês de Maio e estendendo-se até Dezembro. E em comparação à média climatológica de 1971 a 1990 , observa para os meses de estação chuvosa do semi-árido, que devido o episódio ENSO a precipitação no período sobreu uma brusca diminuição, tornando o percentual negativo.

No episódio anti-ENSO, durante o primeiro ano de atuação do fenômeno, observou-se anomalias positivas do percentual de armazenamento de água no solo no mês de Dezembro. E, para o segundo ano de atuação, as anomalias positivas tornam-se relevantes nos meses de Maio a Dezembro, com exceção de Outubro. E quando comparado com a média climatológica estes percentuais são maiores.

Contudo, conclui-se que os impactos de ENSO (diminuição da precipitação) e anti-ENSO (aumento da precipitação) afetam de maneira pronunciada a umidade do solo na região Nordeste.



## 9 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cassel, D.K., and D.R. Nielsen. 1986. Field capacity and available water capacity. In: A. L. Page (ed), Methods of soil analysis. Part 2. Agron. Monog. 9. ASA and SSSA. Madison, WI. p. 901-926.
- Costa, M.H., 1994. Engenharia na Agricultura – Série Caderno Didático. Viçosa. 20p.
- Doorenbos, J.; Pruitt, W. O. Guidelines for predicting crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 24, 2nd ed., Rome, 1977. 179p.
- Libardi, P.L., 1984. Dinâmica da água no Sistema Solo-Planta-Atmosfera. ESALQ-USP.
- Lockwood, J. G. World Climatic Systems. Baltimore, Edward Arnold, 1985. 292p.
- Moreira, H.J.C., 1993. S.A.A.C.I. Sistema Agroclimatológico para o acompanhamento das Culturas Irrigadas. 85p.
- Penman, H. L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proc. R. Soc. London, v. 193, n.A, p.120-146, 1948.
- Pereira, A. R; Nova, N. A. V.; Sedyama, G. C. Evapo(transpi)ração. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183p.
- Prevedello, C.L., 1996. Física do Solo com problemas resolvidos. Curitiba. Editora Salesward-Discovery. 446p.
- RADAMBRASIL. Levantamento de Recursos Naturais. Rio de Janeiro, IBGE, v. 1-34, 1976-1984.
- Reichardt, K. Processos de Transferência no Sistema Solo-Planta-Atmosfera. Campinas: Fundação Cargill, 1985. 445p.

Rossato, L.; Alvalá, R. C. S.; Tomasella, J. Distribuição geográfica da capacidade de armazenamento de água e das propriedades físicas do solo no Brasil. In: X Congresso Brasileiro de Meteorologia/VIII Congresso da FLISMET, Brasília (DF), Artigo HL98009 (Hidrometeorologia), CD-ROM, 1998.

SEDIYAMA, G. C. 1995. A Versão Proposta para o Conceito de Evapotranspiração de Referência. In: IX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, Campina Grande, PB. 24 a 28 de julho de 1995. 14p.

Silva, M. A. V.; Reis, A. C. S. Meteorologia. Recife: in press, 1990. 454p.

Tietje, O. e Tapkenhinrichs, M., 1998. Estimating Soil Water Retention Characteristics from Limited Data in Brazilian Amazonia. Soil Science.

Tomasella, J., Hodnett, M. e Rossato, L., 1999. Pedotransfer Functions for the Estimation of Soil Water Retention in Brazilians Soils. Soil Sci., In Press.

van Genuchten, M. T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Science Society American Journal, v.44, p.892-898, 1980.

Site [http://www.cptec.inpe.br/products/el\\_ninho/el\\_ninho1p.html](http://www.cptec.inpe.br/products/el_ninho/el_ninho1p.html).

Site <http://www.cptec.inpe.br/products/laninha/laninha1p.html>.