

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA

CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

MESTRADO

**APLICAÇÃO DE SIG NO USO DO MUSAG VISANDO A
DIMINUIÇÃO DOS RISCOS NA PRODUÇÃO AGRÍCOLA.
BACIA DO ALTO RIO SUCURU, PARAÍBA. UM ESTUDO
DE CASO**

DISSERTAÇÃO

GUTTEMBERG DA SILVA SILVINO

Campina Grande – Paraíba
Agosto – 2000

Universidade Federal da Paraíba
Centro de Ciências e Tecnologia
Curso de Mestrado em Engenharia Agrícola

**Aplicação de SIG no Uso do MUSAG Visando a
Diminuição dos Riscos na Produção Agrícola. Bacia do
Alto Rio Sucuru, Paraíba – Um Estudo de Caso**

Guttemberg da Silva Silvino

Campina Grande – PB
Agosto – 2000

**Aplicação de SIG no Uso do MUSAG Visando a
Diminuição dos Riscos na Produção Agrícola. Bacia do
Alto Rio Sucuru, Paraíba – Um Estudo de Caso**

Guttemberg da Silva Silvino

**Aplicação de SIG no Uso do MUSAG Visando a
Diminuição dos Riscos na Produção Agrícola. Bacia do
Alto Rio Sucuru, Paraíba – Um Estudo de Caso**

Dissertação apresentada ao curso de Mestrado em
Engenharia Agrícola da universidade Federal da
Paraíba, em cumprimento às exigências para a
obtenção do grau de Mestre.

Área de Concentração: Irrigação e Drenagem

Marx Prestes Barbosa, Dr.
Orientador

Campina Grande – PB
Agosto – 2000



S586a Silvano, Guttemberg da Silva
Aplicação de SIG no uso do MUSAG visando a diminuição dos riscos na produção agrícola. Bacia do alto rio Sucuru, Paraíba : um estudo de caso / Guttemberg da Silva Silvano. - Campina Grande, 2000.
83 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia.

1. Produção Agrícola 2. SIG 3. MUSAG 4. Alto Rio Sucuru 5. Dissertação I. Barbosa, Marx Prestes II. Universidade Federal da Paraíba - Campina Grande (PB) III. Título

CDU 338:631(043)



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

COPEAG - PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA DISSERTAÇÃO DO MESTRANDO

GUTTEMBERG DA SILVA SILVINO

Título: "Aplicação de SIG no Uso do MUSAG visando a diminuição dos riscos na Produção Agrícola. Bacia do Alto Rio Sucuru, Paraíba – Um Estudo de Caso".

BANCA EXAMINADORA

PARECER

Marx Prestes Barbosa

Aprovado

Dr. Marx Prestes Barbosa-Orientador

Formaggio

Aprovado

Dr. Antônio Roberto Formaggio-Examinador Externo

José Dantas Neto

APROVADO

Dr. José Dantas Neto-Examinador Interno

Agosto/2000

Saudações

Deus todo poderoso, criador do céu e da terra:

- Obrigado por ter me dado força e coragem na conquista de todos os obstáculos...
- Obrigado, Senhor, pelos meus braços perfeitos, quando há tantos mutilados...
- Pelos meus olhos perfeitos, quando há tantos sem luz...
- Pela minha voz que canta, quando tantas emudeceram...
- Pelas minhas mãos que trabalham, quando tantas mendigam...
- É maravilhoso, Senhor, ter um lar para voltar, quando há tanta gente que não tem para onde ir...
- É maravilhoso, Senhor, amar, sorrir, sonhar, quando há tantos que choram, que se odeiam, que se revolvem em pesadelos, e que morrem antes de nascer...
- E sobretudo, é maravilhoso, Senhor, ter tão pouco a pedir e tanto para agradecer.

Dedicação

Serício Pereira da Silva – Meu querido e amigo pai, que sempre me apoiou e ensinou os caminhos bons para o sucesso.

Matildes Silvino da Silva – Minha amável mãe, que em toda sua vida dedicada para nós, filhos, sempre distribui afeto, carinho, dedicação, harmonia *“Tu és a mais linda e bela entre as mulheres”*.

Verônica Casimiro Alves Silvino – Minha esposa que suportou e respeitou a privação da minha ausência durante a realização deste trabalho, especialmente pela confiança e amizade.

Millena e Mirelle – Minhas filhas amadas, razão da minha existência.

Eudésia da Silva Silvino – Minha querida irmã, que sempre me deu força para enfrentar e vencer todos os obstáculos da vida.

Damião Humberto da Silva Silvino (in memoriam) – *Em especial, ao meu querido irmão, que sempre apoiou e incentivou à minha vida profissional, a minha eterna gratidão pelo carinho e amizade que sempre me proporcionou. Meu inesquecível amigo, sabemos que hoje você está com JESUS CRISTO, por isso temor não há, pois nos sabemos que ele “VIVO está”*.

Agradecimentos

À toda minha brava família que sempre ajudou em todos os momentos: meus tios e tias, meus primos e sobrinhos, minhas cunhadas e cunhados.

Ao Professor Dr. Marx Prestes Barbosa, pela orientação valiosa recebida no desenvolvimento deste trabalho.

Ao Engenheiro Cícero Aurélio Granjeiro de Lima, pelos aconselhamentos e apoio logístico durante a realização deste trabalho.

Aos Professores Dr. José Dantas Neto e Dr. Antônio Roberto Formaggio pelo aconselhamento, críticas e sugestões apresentadas.

À todos os Professores do Departamento de Engenharia Agrícola pelos ensinamentos recebidos durante todo o curso.

A Rivanilda pela dedicação e honestidade dedicadas na Secretaria da Pós-Graduação de Engenharia Agrícola.

A todos os funcionários do LMRS-PB, pelo incentivo e apoio em todas as horas.

Ao LMRS-PB pelo apoio financeiro e disponibilidade de veículo para a execução dos trabalhos de campo e em especial ao Engenheiro Ricardo da Cunha Correia Lima pelo incentivo e presteza na resolução das exigências burocráticas.

Ao Conselho Nacional de Pesquisa Científica (CNPq), pela bolsa de estudo concedida durante o curso.

Aos Engenheiros e colegas de trabalho Eustáquio Rangel de Queiroz, Isnaldo C. da Costa, Paulo H. B. Ribeiro, Marcos T. de Siqueira, Valter R. de Medeiros, José Luiz S. Júnior, Carlos Lamarque Guimarães, Miguel J. da Silva, Maria de Fátima Fernandes, Maria José dos Santos e Davi pelo apoio logístico e fraterno sempre presente na execução deste trabalho.

Aos Técnicos do Departamento de Obras Contra as Secas (DNOCS), Antonio Marcos e Dedé pela dedicação e responsabilidade demonstrados no apoio aos trabalhos de campo.

A equipe de Informática do LMRS-PB, Fernando, Iana Day, Sileno e Pedro pelo apoio sempre valioso em todos os momentos necessários.

A equipe de Meteorologia do LMRS-PB, Alexandre Magno, Anna Bárbara, Patrice Rolando, Petrônio e Werônica pelo apoio nas informações relacionadas a precipitações pluviométricas.

A todos os funcionários do LMRS-PB e do Laboratório de Irrigação e Salinidade por todas as ajudas dispensadas para a concretização desta pesquisa.

Aos colegas *Jonildo Irenildo* (in memoriam), Paulo Pina, Eugênio Pacelli, Roger, Sally, Japão, Lázaro, João Jácome, pela amizade sincera e convívio fraterno durante o curso.

Aos colegas do ECC – Paróquia de São Cristóvão (Círculo Azul - Harmonia), pelas orações e amizade sinceras em todos os momentos.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – Introdução	1
1.1 Considerações Gerais.....	1
1.2 Objetivo Geral.....	3
1.3 Objetivos Específicos.....	3
CAPÍTULO 2 – Características Gerais da Área.....	4
2.1 Localização da Área de Estudo.....	4
2.2 Clima.....	5
2.3 Geologia.....	5
2.3.1 Pré Cambriano Indiviso.....	5
2.3.1.1 Rochas Granitóides.....	5
2.3.1.2 Complexo Gnáissico-Migmatítico.....	6
2.3.2 Quaternário.....	6
2.4 Geomorfologia.....	6
2.5 Vegetação.....	6
2.6 Aspectos Hidrológicos da Área.....	7

2.7 Solos.....	8
2.8 Aspectos Agro-Sócio-Econômico da Área.....	11
2.8.1 Agricultura.....	11
2.8.2 Pecuária.....	11
2.8.3 Indústria.....	12
2.8.4 Infra Estrutura Física.....	12
2.8.5 Estrutura Fundiária.....	12
2.8.5.1 Ocupação da Terra da Área de Estudo.....	13
CAPÍTULO 3 – Revisão de Literatura.....	14
3.1 Levantamento Integrado dos Modelos Matemáticos.....	14
3.2 Geoprocessamento.....	17
3.2.1 Representação de Dados em Mapas.....	19
3.2.2 Conceitos Geográficos de Banco de Dados.....	21
3.2.3 Componentes de um SIG.....	23
3.3 Sistema de Posicionamento Global – GPS	24
3.3.1 Características do Sistema.....	24
3.3.2 Receptores.....	25
3.3.3 Aplicações de GPS.....	27

CAPÍTULO 4 – Materiais e Métodos.....	30
4.1 Materiais.....	30
4.1.1 Dados Bibliográficos.....	30
4.1.2 Mapas Topográficos.....	30
4.1.3 Suporte Computacional Físico (Hardware) e Lógico (Software).....	31
4.1.3.1 Suporte Físico (Hardware).....	31
4.1.3.2 Suporte Lógico (Software).....	31
4.1.4 Suporte de Campo.....	31
4.2 Métodos.....	32
4.2.1 Digitalização do Mapa de Solos da Área de Estudo.....	32
4.2.2 Processamento de Dados e Trabalho de Campo.....	32
4.3 Descrição do MUSAG.....	33
4.3.1 Equações Utilizadas a Nível Diário.....	33
4.3.2 Ajuste do MUSAG.....	35
4.3.2.1 Instalação de Pluviômetros.....	36
4.3.2.2 Instalação de Tanque “Classe A”.....	38
4.3.2.3 Características Físicas do Solo (Realização de Ensaios de Infiltração e Coleta de Amostras de Sololo).....	39
4.3.2.4 Alimentação do MUSAG.....	42

4.4 Lançamento dos Resultados do Modelo de Umidade de Solos na Base Cartográfica Previamente Digitalizada e Processada, e Geração de Mapas Temáticos.....	43
CAPÍTULO 5 – Resultados e Discursão.....	44
5.1 Determinação de Parâmetros de Entrada do MUSAG.....	44
5.1.1 Ensaio de Infiltração.....	52
5.1.2 Análises em Laboratório e Formação de Banco de Dados.....	56
5.2 Geração e Análises dos Mapas de Umidade.....	58
CAPÍTULO 6 – Conclusões e Recomendações.....	74
Conclusões e Recomendações.....	74
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	79

Lista de Figuras

Figura 1.1 – Localização da área de estudo.....	4
Figura 2.1 – Ocupação da terra da área de estudo.....	13
Figura 3.1 – Representação de mapas (vetorial).....	20
Figura 3.2 – Representação de mapas (raster).....	20
Figura 3.3 – Organização de uma base de dados geográfica.....	21
Figura 3.4 – Componentes de um SIG.....	23
Figura 4.1 – Delimitação da área de estudo pelo método de Thiessen	38
Figura 4.2 – Cilindros infiltrômetros (representação esquemática).....	40
Figura 5.1 – Localização dos ensaios de infiltração.....	45
Figura 5.2 – Subdivisão de mapeamento do solo Bruno Não Cálxico (NC)....	49
Figura 5.3 – Distribuição percentual das unidades de mapeamento.....	51
Figura 5.4 – Distribuição percentual das classes de solos.....	51
Figura 5.5 – Gráficos da velocidade de infiltração (pontos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 e 8).....	53
Figura 5.6 – Gráficos da velocidade de infiltração (pontos 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 e 16).....	54
Figura 5.7 – Gráficos da velocidade de infiltração (pontos 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, e 24).....	55
Figura 5.8 – Banco de dados (mapa de solos e ensaios de infiltração).....	56
Figura 5.9 - Distribuição da umidade no 1º decênio de fevereiro (anos: 1985, 1999 e 2000).....	59

Figura 5.10 - Distribuição da umidade no 2º decênio de fevereiro (anos: 1985, 1999 e 2000).....	60
Figura 5.11 - Distribuição da umidade no 3º decênio de fevereiro (anos: 1985, 1999 e 2000).....	62
Figura 5.12 - Distribuição da umidade no 1º decênio de março (anos: 1985, 1999 e 2000).....	63
Figura 5.13 - Distribuição da umidade no 2º decênio de março (anos: 1985, 1999 e 2000).....	64
Figura 5.14 - Distribuição da umidade no 3º decênio de março (anos: 1985, 1999 e 2000).....	66
Figura 5.15 - Distribuição da umidade no 1º decênio de abril (anos: 1985, 1999 e 2000).....	67
Figura 5.16 - Distribuição da umidade no 2º decênio de abril (anos: 1985, 1999 e 2000).....	68
Figura 5.17 - Distribuição da umidade no 3º decênio de abril (anos: 1985, 1999 e 2000).....	70
Figura 5.18 - Distribuição da umidade nos solos dia 26/04 (1985 e 2000)....	71
Figura 5.19 - Número de dias até o déficit hídrico a partir de 26/04 (1985 e 2000).....	71
Figura 5.20 - Distribuição da umidade nos solos no dia 26/04/1999.....	72
Figura 5.21 - Número de dias até o déficit hídrico a partir de 26/04/1999.....	72
Figura 5.22 – Gráfico da umidade do solo (fevereiro até 26 abril de 1985)...	74
Figura 5.26 – Gráfico da umidade do solo (fevereiro até 26 abril de 1999)....	75
Figura 5.27 – Gráfico da umidade do solo (fevereiro até 26 abril de 2000)....	75

Lista de Tabelas

Tabela 5.1 – Planilha com resultados das anotações dos ensaios de infiltração.....	45
Tabela 5.2 – Extensão e distribuição percentual das unidades de mapeamento da área de estudo.....	46
Tabela 5.3 – Extensão e distribuição percentual das classes de solos da área de estudo	46
Tabela 5.4 – Unidades de mapeamento onde foram realizados os ensaios de infiltração.....	48
Tabela 5.5 – Extensão e distribuição das unidades de mapeamento após delimitação pelo método de Thiessen.....	50
Tabela 5.6 – Resultados das análises laboratoriais.....	57
Tabela 5.7 – Fases fenológicas da cultura do feijão verde.....	73

Lista de Fotos

Foto 1 – Receptor GPS.....	26
Foto 2 – Exemplo de pluviômetro instalado na área de estudo.....	37
Foto 3 – Exemplo de Tanque Evaporimétrico “Classe A”.....	39
Foto 4 – Obtenção de coordenadas geográficas com GPS.....	47
Foto 5 – Realização de ensaios de infiltração (detalhe dos equipamentos: infiltrômetros de anel).....	52

Resumo

O objetivo principal do trabalho é avaliar o uso do Modelo de Umidade de Solos para Atividades Agrícolas (MUSAG) na determinação da umidade dos solos, auxiliado por um Sistema de Informações Geográficas (SIG) na criação de um banco de dados georeferenciados e na geração de mapas temáticos, como forma de indicar a melhor data de plantio do milho e feijão, na região semi-árida. A área de estudo, com aproximadamente 981,20 Km², situada na Microrregião dos Cariris Velhos Paraibano, cobre parcial ou completamente os municípios de Amparo, Sumé, Prata, Monteiro e Ouro Velho.

O resultado alcançado neste trabalho permite utilizar o SIG como uma ferramenta importante para armazenar, recuperar e analisar mapas em um ambiente computacional, onde pode-se incluir diferentes tipos de dados geográficos superpostos sob forma digital, para a análise e mapeamento da umidade do solo da área de estudo auxiliando os tomadores de decisão a planejar a época de semeadura das culturas de subsistência.

Uma consequência direta dos citados resultados está no fato de que as prefeituras das cidades de Amparo e Prata já solicitaram a implantação deste sistema, como ajuda na definição da melhor época de plantio do milho e feijão e com base nestes dados elaborar as políticas de distribuição das sementes para os pequenos agricultores.

Abstract

The main objective of the work is to evaluate the use of the Ground Humidity Model for Agricultural Activities (MUSAG) in the determination of the humidity of ground, assisted by a Geographic Information System (GIS) in the creation of a georeferenced data base and in the generation of thematic maps, as a form to indicate the best date of plantation of the maize and beans, in the semi-arid region.

The study area, with approximately 981.20 Km², situated in the Microregion of the Cariris Velhos Paraibano, covers completely or partially the municipalities Amparo, Sumé, Prata, Monteiro and Ouro Velho. The result reached in this work allows to use the SIG as a tool important to store, to recover and to analyze maps in a computational environment, where it can be included different types of geographic data superimposed under digital form, for the analysis and mapping of the humidity of the ground of the study area assisting the borrowers of decision to plan the time of sowing of the subsistence cultures.

A direct consequence of the results cited is in the fact that the city halls of the cities of Amparo e Prata already had requested the implantation of this system, as aid in the definition of the best time of plantation of the maize and beans and with base in these data to elaborate the politics of distribution of the seeds for the small agriculturists.

CAPÍTULO 1

Introdução

1.1 Considerações Gerais

A região semi-árida do nordeste brasileiro, em particular no Estado da Paraíba, caracteriza-se ao longo dos anos por uma região improdutiva, causadora de grandes prejuízos, principalmente no setor agrícola. A maioria dos planos de desenvolvimento não buscam soluções compatíveis com as características hidroclimáticas da região. Na Paraíba, a queda de rendimento médio (Kg/ha) das culturas milho e feijão, entre 1991 e 1998 foi cerca de 37% e 54%, respectivamente (EMATER-PB, 1999). Sabe-se que a grande variabilidade temporal e espacial da chuva tem sido responsável por maior parte das perdas. Entretanto, ainda não existe no Estado, uma política de distribuição de sementes com embasamento técnico consistente, para propiciar uma maior produtividade e o consequente aumento da produção.

Da área agrícola potencialmente irrigável a Paraíba tem hoje somente 2% de área irrigada. Isto significa que 98% dessa área irrigável é cultivada pela agricultura de sequeiro, com raras exceções para algumas irrigações pontuais particulares (SEMARH-PB, 1999). O investimento maciço na agricultura irrigada é um projeto oneroso e de longo prazo, pois as disponibilidades hídricas atuais não comportariam irrigar toda área potencialmente irrigável do Estado, que hoje é de aproximadamente 955.000 ha (SEMARH-PB, 1999). Estes fatos

justificam um investimento de curto prazo, voltado para o pequeno produtor, com maior confiabilidade e respaldo técnico.

Na região do semi-árido nordestino, os déficits hídricos ocorrem com bastante frequência, colocando em risco a produção das culturas anuais, em grande parte em regime de sequeiro, sendo fundamental a adequação da época de plantio ao nível de umidade favorável à germinação das sementes.

Tendo em vista a necessidade de informações mais detalhadas, principalmente a nível municipal e, levando-se em consideração o número reduzido de informações dos solos, em escalas compatíveis para avaliação de sua potencialidade agrícola, além das drásticas consequências sofridas pelas áreas inseridas na região do semi-árido paraibano, castigado por repetidas secas, é que o planejamento do uso da terra na sub-bacia do Rio Sucuru se justifica, como forma de colocar os recursos naturais à disposição do homem, criando condições para o aumento da produtividade agrícola da região e conseqüentemente criando os meios para fixá-lo no campo.

Neste caso, são necessárias informações mais detalhadas, sobre os recursos do meio ambiente, a nível municipal, o que é possível através de levantamentos de reconhecimento de alta intensidade de solos na escala de 1:100.000 (SILVA, 1994).

A modelagem ocupa, atualmente, uma posição importante no mundo científico. Nos últimos 20 anos, foram desenvolvidos um grande número de modelos, cuja sofisticação depende dos objetivos desejados e, principalmente, da disponibilidade de dados (SILVA & DE JONG, 1986)

O modelo utilizado neste trabalho é operacional e permite que se forneça dados precisos aos agricultores, indicando-lhes a melhor época de plantio, por meio da divulgação de dados da umidade do solo e do déficit hídrico em forma de boletins semanais para as Prefeituras Municipais e para os agricultores da região da área em estudo, possibilitando assim o desenvolvimento agrícola com a diminuição dos riscos e das suas vulnerabilidades agrícolas. No futuro, pretende-se estender o modelo para todo o Estado da Paraíba com o apoio do LMRS-PB/SEMARH.

1.2 Objetivo Geral

Aplicar o Modelo de Umidade de Solos para Atividades Agrícolas (MUSAG) na determinação da umidade nos solos e do déficit hídrico e uso de sistema de informações geográfica (SIG) para geração dos mapas temáticos da parte do alto rio Sucuru, com base na análise de dados hidroclimáticos da região e de trabalho de campo.

1.3 Objetivos Específicos

- 1 – Digitalização do mapa de Alta Intensidade de Solo da área em estudo na escala 1 : 100.000 (SILVA, 1994);
- 2 – Digitalização do mapa de Ocupação da Terra na escala 1 : 100.000 (SILVA, 1994);
- 3 – Uso do Sistema de Posicionamento Global (GPS), para identificação de manchas de solos no campo e locação dos pontos de amostragem;
- 4 – Instalação de Pluviômetros e de Tanque Classe “A”, em campo, com treinamento de pessoal das comunidades para efetuarem as leituras dos dados nos respectivos equipamentos;
- 5 – Realizar ensaios de infiltração da água no solo, em campo, e coleta de amostras de solo para análise em laboratório dos índices físicos;
- 6 – Gerar os mapas de umidade e do déficit hídrico, com uso do SIG MapInfo Professional versão 5.0;

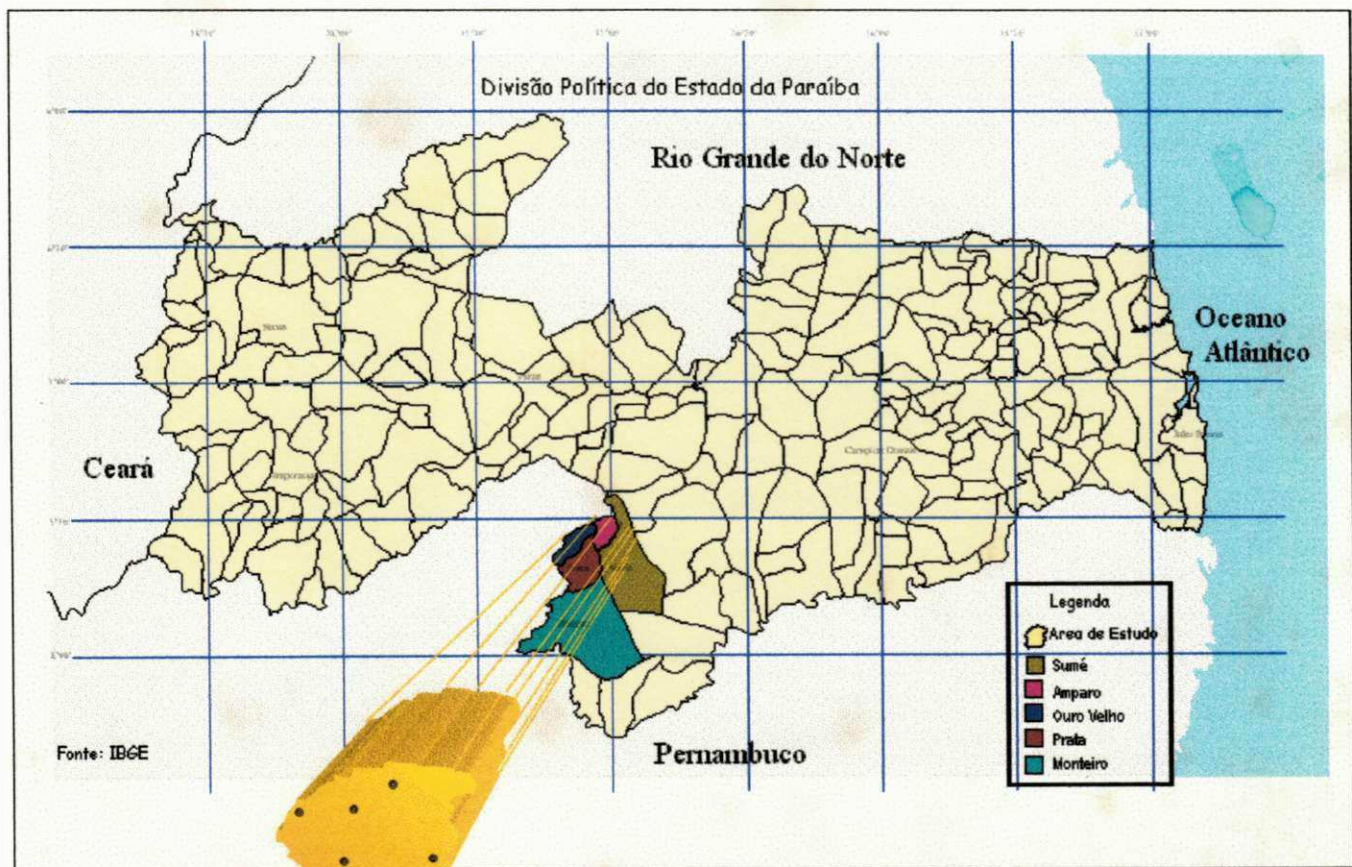
5- Material e parte dos.
Localização

CAPÍTULO 2

Características Gerais da Área

2.1 Localização da Área de Estudo

A área de estudo, com aproximadamente 981,2 Km², localiza-se na Microregião dos Cariris Velhos Paraibano, englobando total ou parcialmente os municípios de Amparo, Monteiro, Ouro Velho, Prata e Sumé. Os limites geográficos são: 07° 28' 00" e 07° 50' 00" de latitude Sul e 37° 13' 00" e 36° 49' 00" de longitude Oeste e a divisa dos estados da Paraíba e Pernambuco no extremo Oeste (Figura 1.1).



1-1
Figura 2.1 – Localização da área de estudo
(Mapa da Divisão Municipal do Estado da Paraíba).

2.2 ^a Clima II

Segundo a Classificação Bioclimática de GAUSSEN, o clima da área de estudo é do tipo climático 4aTh (tropical quente de seca acentuada), termoxeroquimênico de caráter acentuado, apresentando um índice xerotérmico entre 150 e 200 e, segundo a Classificação Koppen (BRASIL, 1972), o clima é do tipo Bsh (semi-árido quente).

- Os dados de precipitação pluviométrica média da região indicam valores entre 550 e 600 mm, distribuídos entre janeiro e junho, com maior concentração nos meses de fevereiro a abril, verificando-se uma nítida estação seca no período de julho a dezembro. Os valores da precipitação diária com períodos de retorno de 1, 10 e 100 anos são **63, 106 e 152 mm**, respectivamente (LMRS-PB/SEMARH, 1999).
- A temperatura média anual é de **24 °C**, com médias máxima e mínima diárias em torno de **33 °C** e **15 °C**, respectivamente nos meses de dezembro e julho. A insolação anual é cerca de **2800** horas luz e a evapotranspiração medida em tanque classe A é de **2900** mm ao ano CARDIER et al. (1983).

2.3 Geologia

O estudo das rochas superficiais é importante para os trabalhos de mapeamento e classificação de solos. A faixa de terra estudada envolve rochas do Pré-Cambriano Indiviso e sedimentos recentes do Período Quaternário.

2.3.1 Pré-Cambriano Indiviso

Na área de estudo, segundo DANTAS et al (1982), o Pré-cambriano está representado por duas formações: As Rochas Granitóides e o Complexo Gnáissico-Migmatítico.

2.3.1.1 Rochas Granitóides

Conforme COSTA (1963), os granitos encontrados nessa região podem ser divididos em três tipos diferentes, correspondentes aos três maciços intrusivos encontrados na região, assim descritos: a norte e a nordeste há predominância e um granito de textura

fanerítica, melanocrático, onde dominam o quartzo e minerais escuros. Na parte central, aparece um granito porfiróide, de composição semelhante ao primeiro e a Sul ocorre um granito sódico, com grandes cristais de feldspato alcalino.

2.3.1.2 Complexo Gnáissico-Migmatítico

Estudos hidrogeológicos realizados por COSTA (1963) e DANTAS et al. (1982), nessa região, mostram que existe uma variação muito grande dos gnaisses, podendo ocorrer tanto o paragnaisse como o ortognaisse. Além disso são também encontrados filitos e xistos. Essas rochas têm maior ocorrência na parte sudeste da área de estudo, podendo ser observadas também a noroeste e em pequenas outras ocorrências.

2.3.2 Quaternário

Está representado por sedimentos aluviais do Holoceno de composição granulométrica variada. Constituem o material de origem dos SOLOS ALUVIAIS.

2.4 Geomorfologia

A área de estudo, segundo BRASIL (1972), situa-se no **Planalto da Borborema**, caracterizado por três unidades distintas: formas aguçadas, formas convexas e formas tabulares. As duas primeiras têm altitude igual ou inferior a 250 metros e aprofundamento de drenagem de fraco a muito fraco. As formas tabulares têm uma altitude mínima de 250 metros e máxima de 750 metros com um aprofundamento de drenagem fraco, (BRASIL, 1972). O relevo regionalmente apresenta-se com formas suave ondulada a ondulada, com declives variando de 2 a 12%, vertentes longas e índice erosivo bastante acentuado devido à atuação antrópica. À sudoeste da área ele é ondulado a forte ondulado e em alguns pontos chega a ser montanhoso.

2.5 Vegetação

Na região de estudo predomina a **caatinga hiperxerófila**. Esta vegetação tem porte arbóreo baixo ou arbóreo arbustivo, apresentando uma densidade alta, exceto em alguns trechos já devastados pelo homem ou de solos muito de gradados. Destacam-se como

características desta área as seguintes espécies: **pereiro** (*Aspidos-perma pyrofolium* Mart – *Apocynaceae*), **quixabeira** – *Bumelia sertorum* Mart – *Sapotaceae*), **xique-xique** (*Pilocereus gounellei* weber – *Cactaceae*), **aroeira** (*Astronium urundeuva* Engl – *Anacardiaceae*), **braúna** (*Schinopsis brasiliensis* Engl – *Anacardiaceae*), **mandacaru** (*Cerus Jamacaru* DC. – *Cactaceae*), **marmeleiro** (*Croton* sp – *euphorbiaceae*), sendo a concentração de cactáceas e bromiláceas relativamente baixa. A vegetação natural é explorada na pecuária extensiva, na produção de lenha, no fabrico de carvão vegetal e na exploração de madeira para construção BRASIL (1972).

2.6 Aspectos Hidrológicos da Área

NOUVELOT (1974) agrupou fatores como o relevo, clima (precipitação), vegetação, geologia, declive e altitude e propôs uma classificação de Zonas Hidrológicamente Homogêneas enquadrando a região em estudo na classe H₂ P₁ R₅ A₁₂.

Esta classe apresenta como característica o aspecto impermeável da bacia, precipitação anual média variando de 400 a 600 mm, declive acentuado com ocorrência de serras ou inselbergues cristalinos e altitude inferior a 800 m.

Com relação aos Recursos Hídricos, a região em estudo compreende a Bacia do Alto Rio Sucuru, que associada às Bacias de Monteiro ou do Meio e Umbuzeiro, formam o sistema do Alto Rio Paraíba (SILVA NETO, 1993).

A área apresenta um escoamento médio anual (L₆₀₀) de 24,1 mm CARDIER (1984). Devido ao regime pluviométrico e às condições físicas da área, os rios apresentam um regime intermitente onde se sucedem períodos de estiagem e períodos de escoamentos significantes. O aproveitamento dos volumes escoados é feito através de açudes de grande, médio e pequeno porte, destacando-se: Sumé, Prata II, São Paulo e Ouro Velho.

No tocante aos Recursos Hídricos subterrâneos, ALBUQUERQUE (1984), comenta que na área de estudo distinguem-se dois sistemas: O Aluvial e o Cristalino.

No Sistema Aluvial, as reservas de água são mais significativas, principalmente, à jusante dos açudes existentes na área (PARAÍBA, 1984).

No Sistema Cristalino, por apresentar rochas com baixa porosidade, a permeabilidade é praticamente nula, resultando em baixo potencial de águas subterrâneas, a não ser em regiões onde estas rochas apresentam-se fraturadas.

2.7 Solos

Os solos de maior ocorrência na área de estudo apresentam-se com boa fertilidade natural, havendo limitações no que diz respeito à profundidade agricultável, predominando as seguintes associações (SILVA, 1994):

- **Pe6** - Associação de: **PODZÓLICO VERMELHO AMARELO EQUIVALENTE EUTRÓFICO** textura média cascalhenta fase caatinga hipoxerófila

relevo ondulado e **SOLOS LITÓLICOS EUTRÓFICOS** com A fraco textura arenosa e/ou média fase pedregosa e rochosa caatinga hipoxerófila relevo ondulado e forte ondulado substrato gnáisse e granito e **AFLORAMETOS DE ROCHA**.

Esta associação ocorre nas proporções de 55%, 30% e 15%, respectivamente.

Ocorrem nesta associação outros tipos de solo que por apresentarem uma proporção inferior a 15% foram designados com inclusões, destacando-se o **PODZÓLICO VERMELHO AMARELO EQUIVALENTE EUTRÓFICO** orto fase caatinga hipoxerófila relevo ondulado e **REGOSOL EUTRÓFICO** com fragipan fase caatinga hipoxerófila relevo suave ondulado.

- **NC1** – Associação de: **BRUNO NÃO CÁLCICO** fase pedregosa caatinga hiperxerófila relevo suave ondulado e **SOLOS LITÓLICOS EUTRÓFICOS** com A fraco textura arenosa e/ou média fase pedregosa e rochosa caatinga hiperxerófila relevo ondulado substrato gnáisse e granito.

Os solos desta associação distribuem-se, nas proporções de 60% e 40%, respectivamente.

Com inclusões ocorrem nesta Unidade de Mapeamento o SOLONETZ SOLODIZADO textura indiscriminada fase caatinga hiperxerófila relevo plano, os SOLOS ALUVIAIS EUTRÓFICOS textura indiscriminada fase caatinga hiperxerófila relevo plano, o BRUNO NÃO CÁLCICO vértico fase pedregosa caatinga hiperxerófila relevo suave ondulado, o PODZÓLICO VERMELHO AMARELO EQUIVALENTE EUTRÓFICO raso textura média cascalhenta fase caatinga hiperxerófila relevo suave ondulado e os SOLOS LITÓLICOS EUTRÓFICOS com A fraco textura média fase pedregosa e rochosa caatinga hiperxerófila relevo ondulado e ondulado substrato filito e xisto.

- **NC7** - Associação de: **BRUNO NÃO CÁLCICO VÉRTICO** (fase pedregosa caatinga hiperxerófila relevo suave ondulado e SOLOS LITÓLICOS com A fraco textura arenosa e/ou média fase pedregosa e rochosa caatinga hiperxerófila relevo suave ondulado e ondulado substrato gnáisse e granito.

Esta associação ocorre na porção central do Estado em parcelas bastante amplas, relacionadas com a Zona da Borborema Central e abrangendo total ou parcialmente os municípios da região de estudo, nas proporções de 60% e 40% respectivamente.

Como inclusões ocorrem nesta Unidade de Mapeamento o SOLONETZ SOLODIZADO textura indiscriminada fase caatinga hiperxerófila relevo plano, o VERTISOL fase pedregosa caatinga hiperxerófila relevo suave ondulado, os SOLOS ALUVIAIS EUTRÓFICOS textura indiscriminada fase caatinga hiperxerófila relevo plano, o BRUNO NÃO CÁLCICO fase pedregosa caatinga hiperxerófila relevo suave ondulado e AFLORAMENTO DE ROCHA.

- **NC10** - Associação de: **BRUNO NÃO CÁLCICO VÉRTICO** fase pedregosa caatinga hiperxerófila relevo suave ondulado e VERTISOL fase pedregosa caatinga hiperxerófila relevo suave ondulado e SOLOS LITÓLICOS EUTRÓFICOS com

A fraco textura arenosa e/ou média fase pedregosa e rochosa caatinga hiperxerófila relevo suave ondulado e ondulado substrato gnáisse e granito.

Os solos desta associação distribuem-se, nas proporções de 50%, 25% e 25%, respectivamente. Esta associação, segundo SILVA NETO (1993) preenche a maior parte da Zona da Borborema Central (Região dos Cariris Velhos), abrangendo total ou parcialmente os municípios de Sumé, São José dos Cordeiros, Serra Branca, Congo e Camalaú.

São frequentes inclusões na área, em pequenas parcelas de: SOLONETZ SOLODIZADO textura indiscriminada fase caatinga hiperxerófila relevo plano e SOLOS ALUIAIS EUTRÓFICOS textura indiscriminada fase caatinga hiperxerófila relevo plano.

- **Re18** - Associação complexa de: **SOLOS LITÓLICOS EUTRÓFICOS** com A fraco textura arenosa e/ou média fase pedregosa e rochosa caatinga hiperxerófila relevo forte ondulado e montanhoso substrato gnáisse e granito e AFLORAMENTOS DE ROCHA.

Por ser uma associação complexa não foi possível distinguir a proporção exata dos componentes e não foram identificadas as inclusões de outros solos.

- **REe5** - Associação de: REGOSOL EUTRÓFICO com fragipan fase caatinga hiperxerófila relevo suave ondulado e ondulado e SOLOS LITÓLICOS EUTRÓFICOS com A fraco textura arenosa e/ou média fase pedregosa e rochosa caatinga hiperxerófila relevo ondulado substrato gnáisse e granito e AFLORAMENTOS DE ROCHA.

Como principais inclusões verificadas nesta Unidade, destacam-se o SOLONETZ SOLODIZADO textura média fase caatinga hiperxerófila relevo plano e suave ondulado e PLANOSOL SOLODIZADO com A fraco fase caatinga hiperxerófila relevo plano e suave ondulado.

2.8 Aspectos Agro-Sócio-Econômicos da Área

Com o objetivo de subsidiar os órgãos de desenvolvimento na elaboração de propostas de intervenção no meio rural, SILVA et al. (1993) elaboraram o Zoneamento Agro-ecológico da Região Nordeste, a partir do agrupamento de informações sobre as características físico-climáticas dessa região.

2.8.1 Agricultura

A economia agrícola baseia-se essencialmente nas culturas de milho e feijão onde cobre 87% da área total plantada (IBGE, 1979/80). Estas culturas são exploradas em regime de sequeiro ou irrigadas, conforme suas necessidades hídricas.

As lavouras de subsistência, tais como milho e feijão, geralmente têm sua produção comprometida devido ao déficit hídrico e são sempre plantadas em consórcio entre elas ou com forrageiras, tais como o capim buffel e/ou a palma, alcançando bons índices de produtividade, principalmente quando a estação chuvosa anual é normal.

2.8.2 Pecuária

A área de estudo apresenta uma pecuária tipicamente extensiva, onde em termos de números de cabeças, destaca-se o rebanho caprino, seguido do bovino e aparecendo em terceiro lugar o ovino e o suíno, enquanto que os rebanhos de equínos, asininos e muares são insignificantes.

O desenvolvimento de atividades para o suporte à pecuária, tais como: implantação de reflorestamento com forrageiras, plantio de capineiras, perfuração de poços tubulares e/ou amazonas e a construção de açudes, é restrito na região de estudo devido às políticas agrícolas adotadas pelos Governos Federal e Estadual.

2.8.3 Indústria

O segmento industrial é pouco desenvolvido na região dos Cariris Velhos, destacando-se apenas as agroindústrias nos municípios de Sumé e Monteiro para o beneficiamento do tomate, da goiaba e da banana produzidos na própria região. Apesar da grande falta de água nestes municípios ainda predominam com precariedade estas agroindústrias.

2.8.4 Infraestrutura Física

A região é servida por uma malha composta por rodovias federais, estaduais e municipais, que a interligam com os principais centros de consumo do país.

Todos os municípios da região de estudo estão servidos por um sistema de telecomunicações via DDD, através da TELEMAR e as sedes dos municípios de Amparo, Ouro Velho, Prata, Sumé e Monteiro dispõem de emissoras de rádio difusão.

A eletrificação urbana existe em todos os municípios, sendo que em alguns setores da zona rural ocorre um déficit deste benefício.

2.8.5 Estrutura Fundiária

A partir de uma análise estatística feita com dados fornecidos pelo INCRA (1976), aplicados à metodologia da Curva de Lorenz e ao Coeficiente de Gini, verifica-se que ocorre uma elevada concentração da posse da terra na Bacia do Alto Rio Paraíba, (PARAÍBA 1984).

Na parte Alta da Bacia do Rio Paraíba, que contém a região de estudo, o fracionamento da zona rural é bastante elevado, sendo que o tamanho médio dos imóveis até 100 ha é de apenas 12,71 ha, representando 94% do número total de imóveis existentes e ocupando apenas 42% da área, indicando a concentração da posse da terra e a presença marcante de minifúndios.

Segundo SILVA (1994), a área de estudo que engloba total ou parcialmente os municípios de Amparo, Monteiro, Prata, Ouro Velho e Sumé está ocupada conforme mostra a *Figura 2.1*. As áreas ocupadas estão divididas em Grandes, Médias e Pequenas propriedades com área cultivada e com vegetação natural. Pode-se notar que a maioria da área é composta por Médias Propriedades.



Figura 2.2 – Ocupação da terra da área de estudo

CAPÍTULO 3

Revisão de Literatura

3.1 Levantamento Integrado dos Modelos Matemáticos

O mundo vem enfrentando nos últimos anos problemas complexos relacionados à disponibilidade e distribuição de água no planeta, à necessidade de conservação da produtividade dos solos, à manutenção dos recursos naturais tanto do ponto de vista qualitativo, quanto quantitativo e ao controle da poluição ambiental. A modelagem ocupa, atualmente, uma posição importante no mundo científico, tendo sido desenvolvido, nos últimos 20 anos, um grande número de modelos, cuja sofisticação depende dos objetivos desejados e, principalmente, da disponibilidade de dados (SILVA & DE JONG, 1986)

Em face dessa exigência crescente e com o avanço da ciência computacional, a *técnica da modelagem* apresentou nas duas últimas décadas um grande desenvolvimento, com a sua utilização cada vez mais presente na busca de soluções para os problemas hidrológicos (AGUIAR, 1997).

Segundo GURALNK (1986), modelo é uma descrição hipotética generalizada, muitas vezes baseada em uma analogia, usada para análise de alguma coisa.

HAAN (1988) define um modelo como um conjunto de leis físicas e observações empíricas escritas em termos matemáticos e combinadas de forma a produzir resultados baseados numa série de condições conhecidas ou assumidas.

A modelagem pode se constituir num importante instrumento para a agricultura atual. Os modelos vêm sendo utilizados para preencher lacunas ainda existentes no conhecimento e interpretação dos fenômenos hidrológicos, principalmente quando se baseia em princípios e leis gerais que regem os fenômenos físicos. A incerteza no grau de confiabilidade de um modelo, está associada à variabilidade inerente ao fenômeno em si, ao modelo propriamente dito e à estimação dos parâmetros, AGUIAR (1997).

A modelagem matemática da umidade do solo tem sido objeto de importantes estudos no Brasil. TUCCI (1979) analisou um algoritmo baseado na equação de Horton e nos trabalhos de Berthelot, de transformação chuva/vazão IPH – II. Este algoritmo relaciona a capacidade de infiltração com a umidade do solo mediante uma transformação de equação de Horton. As quantidades de água infiltradas e escoadas, decorrem de processos de subtração da precipitação.

PORTO et al. (1991) representaram o algoritmo conhecido como SMAP (Soil Moisture Accounting Procedure). Neste modelo o fenômeno de separação entre as quantidades infiltradas e escoadas de água é baseado num algoritmo multiplicativo, ou seja, avalia-se um índice de infiltração com base em dados de umidade antecedente, e o produto deste índice pela precipitação determina as quantidades infiltradas e escoadas de água.

A discussão entre as vantagens e desvantagens de uma ou outra abordagem torna-se hoje, indiscutivelmente improdutiva, ambas foram aplicadas com sucesso e insucesso em diversas condições hidroclimáticas e, na maioria dos casos, as dificuldades decorrentes da falta de dados de precipitação bem distribuídas, espacial e temporariamente, como também, as inconsistências na descrição da variabilidade espacial dos parâmetros dos solos, não permitem análises conclusivas, (AGUIAR, 1997).

Segundo HAAN (1988), a incerteza do modelo em si está associada à necessidade de simplificações decorrentes da impossibilidade de um modelo reproduzir completa e fielmente, o fenômeno físico. Nos modelos de infiltração, por exemplo, o fluxo da água no solo é considerado somente no estado líquido, embora possa ocorrer também no estado gasoso. A incerteza dos parâmetros reflete na obtenção de modelos incompletos, dada a utilização de técnicas de estimação inadequadas. A coleta de dados que vai originar um determinado modelo, muitas vezes é executada por pessoas diferentes e às vezes pela mesma pessoa, mas utilizando conjuntos diferentes. Esses procedimentos levam a um grau de incerteza nos parâmetros.

Visualizando o ciclo hidrológico como a célula base dos estudos do movimento da água no solo e na atmosfera, houve por parte dos pesquisadores de todo o mundo, esforços consideráveis para o desenvolvimento de modelos capazes de estimar as precipitações pluviométricas, o fluxo de água no solo, a magnitude dos processos de escoamento superficial e as perdas por evaporação do solo e por transpiração das plantas. A respeito desses esforços, algumas lacunas ainda existem na modelagem hidrológica. Uma delas é a análise de sensibilidade, considerando que todos os modelos possuem uma margem de incerteza, como componente inevitável dos sistemas da natureza, (AGUIAR, 1997).

É impossível existir um modelo que faça estimativas corretas e repetidamente em todas as circunstâncias. Daí a necessidade da análise de sensibilidade para averiguar o comportamento do modelo face às variações dos parâmetros que o influencia. Deve-se reconhecer que a sofisticação matemática não substitui a compreensão dos processos básicos. Muitas vezes os propósitos do desenvolvimento de um modelo têm sido negligenciados pelo fascínio das técnicas matemáticas, estatísticas e computacionais. Estas são tão somente um meio e não um fim em si mesmo. O reconhecimento honesto deste fato permitirá um melhor conhecimento da física, da química e da biologia do solo e ajudará na elaboração de modelos mais realísticos, mais abrangentes e mais representativos dos fenômenos estudados, (HAAN, 1988).

Para qualquer enfoque que seja dado a um estudo de modelagem, deve-se ter sempre em mente a obrigatoriedade da realização de testes para sua validação, em diferentes circunstâncias, principalmente aqueles que se enquadram na classificação de semi-empíricos, (AGUIAR, 1997)

No presente trabalho foi utilizada uma abordagem substitutiva, semelhante à apresentada por TUCCI (1979); esta escolha baseou-se, principalmente, na facilidade de identificação físicas dos parâmetros associados aos tipos de solos.

MOLINAS E ANDRADE (1992), desenvolveram um modelo para estimar a umidade do solo em 160 locais do Estado do Ceará, utilizando a rede estadual de postos pluviométricos da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos - FUNCEME, denominado *Modelo de Umidade do Solo para Atividades Agrícolas (MUSAG)*, cuja utilização tem sido obrigatória no planejamento e execução do programa de distribuição de sementes selecionadas do Governo do Estado do Ceará, denominado “Programa Hora de Plantar”. Os parâmetros de entrada do modelo são obtidos a partir de levantamentos exploratórios, agrupamento de tipos de solos e dados da relação chuva/vazão das bacias hidrográficas, revelando a adoção de um caráter bem generalizado, compreensível face à pequena disponibilidade de dados necessários e suficientes para o processo de validação.

3.3 Geoprocessamento

Os modelos do mundo real compreendem entidades tais como rios, bacias, redes viárias e de infraestrutura, áreas desmatadas, formações geológicas, jazidas, propriedades, etc. cuja caracterização é parte integrante de qualquer processo de modelagem que se adote. O conjunto de estratégias de aquisição e processamento de informações espaciais e de tecnologias de desenvolvimento e aplicações de sistemas que utilizem tais informações denomina-se Geoprocessamento (RODRIGUES, 1990).

Para atuar sobre o mundo real, o homem precisou aperfeiçoar-se em tecnologias e conhecimentos que pudessem tratar as entidades ambientais não somente do ponto de vista de suas origens e funções, mas também de suas localizações, formas, distribuições, escalas e limites (ASSAD e SANO, 1993). Toma-se como ponto de partida a existência de um modelo do mundo real e assume-se, implicitamente, a possibilidade de observação das entidades que o compõem, assim como das relações entre elas (QUEIROZ, 1996).

A característica fundamental do Geoprocessamento é sua facilidade de armazenar, recuperar e analisar mapas num ambiente computacional. Neste ambiente, a noção de mapa deve ser estendida para incluir diferentes tipos de dados geográficos, tais como imagens de satélite e modelos numéricos do terreno (CÂMARA, 1993).

Um sistema de Informações Geográficas (SIG) é constituído por um conjunto de ferramentas para aquisição, armazenamento, recuperação, transformação e saída de dados espacialmente distribuídos. Estes dados geográficos descrevem objetos do mundo real em termos: (a) do posicionamento com relação a um sistema de coordenadas; (b) de seus atributos e; (c) das relações topológicas existentes (FORMAGGIO et al., 1992).

De acordo com QUEIROZ (1996), o direcionamento de sistemas computacionais para a resolução de problemas específicos às áreas como Cartografia, Topografia, Planejamento Urbano e Rural, Geologia, Gerenciamento de Processos Agrícolas e Monitoramento de Recursos Naturais, dentre diversas outras, vem tornando possível a automação de tarefas antes executadas manualmente e facilitando análise complexas, graças à possibilidade de integração de dados de origens diversas.

Neste contexto, EASTMAN (1995) comenta que no coração de um SIG encontra-se a base de dados - um conjunto de mapas e informações associadas no formato digital. Visto que a base de dados refere-se às características da superfície da Terra, ela será composta de duas partes: uma base de dados espacial descrevendo a geografia (forma e posição) de

feições da superfície da terra e uma base de dados atributiva, descrevendo as características ou qualidades dessas feições. Desse modo, por exemplo, podemos ter um lote rural definido na base de dados espacial e qualidades tais como: uso da terra, avaliação de propriedade e assim por diante, na base de dados atributiva.

Os SIGs possibilitam combinação de informações provenientes de fontes distintas geradas a partir de diferentes procedimentos tecnológicos, para a produção de novas informações aplicáveis em tomadas de decisões de contextos os mais diversificados (PINTO, 1991).

3.3.1 Representação de dados em mapas

Um sistema de informação geográfica armazena dois tipos de dados que são encontrados em um mapa: as definições geográficas das feições da superfície da Terra e os atributos ou qualidades que essas feições possuem. Nem todos os sistemas usam a mesma lógica para fazer isto, mas quase todos usam uma ou a combinação das duas técnicas fundamentais de representação de mapas: *vetorial e raster* (EASTMAN, 1995)

Vetorial

Com a representação vetorial, os limites ou o curso das feições são definidos por uma série de pontos que, quando unidos com linhas retas, formam a representação gráfica de cada feição. Os próprios pontos são codificados com um par de números representando as coordenadas X e Y em sistemas com latitude/longitude ou a grade de coordenadas Universal Transversa de Mercator (UTM). Os atributos das feições são então armazenadas num software de gerenciamento de banco de dados tradicional (SGBD). Por exemplo, um mapa vetorial de parcelas de propriedades rurais pode ser vinculado a um banco de dados de atributos de informações contendo o endereço, nome do proprietário, avaliação da propriedade e uso da terra. A ligação entre estes dois arquivos de dados pode ser um simples número identificador que é dado a cada feição no mapa (Fig. 3.1)

Raster

A segunda maior forma de representação é conhecida como raster. Com sistemas raster, a representação gráfica das feições e os atributos que elas possuem são fundidas em arquivos de dados unificados. Na verdade, não SE define feições de fato. Ao contrário, a área de estudo é subdividida em uma fina malha de células de grade, nas quais registra-se a condição ou o atributo da superfície terrestre naquele ponto (fig. 3.2). A cada célula é dado um valor numérico que pode representar tanto um identificador da feição quanto um código de atributo qualitativo ou um valor de atributo quantitativo. Por exemplo, uma célula pode ter o valor “6” para indicar que ela pertence ao distrito 6 (identificador de feição), que é coberta por tipo de solo 6 (atributo qualitativo) ou que está 6 metros acima do nível do mar (valor de atributo quantitativo).

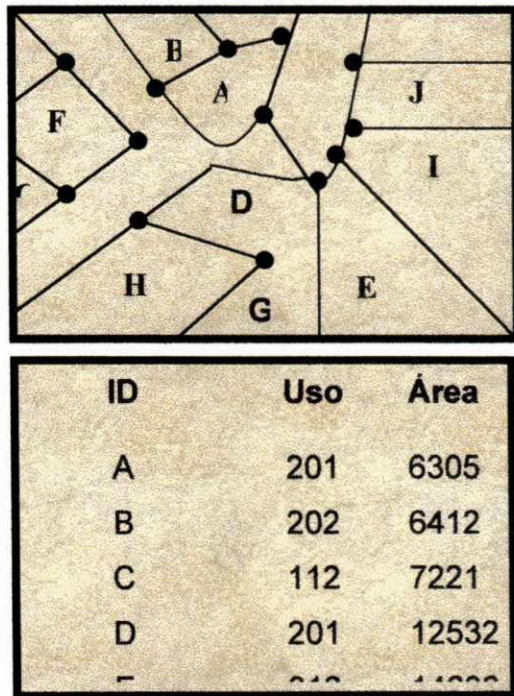


Figura 3.1 – Representação de mapas (Vetorial)

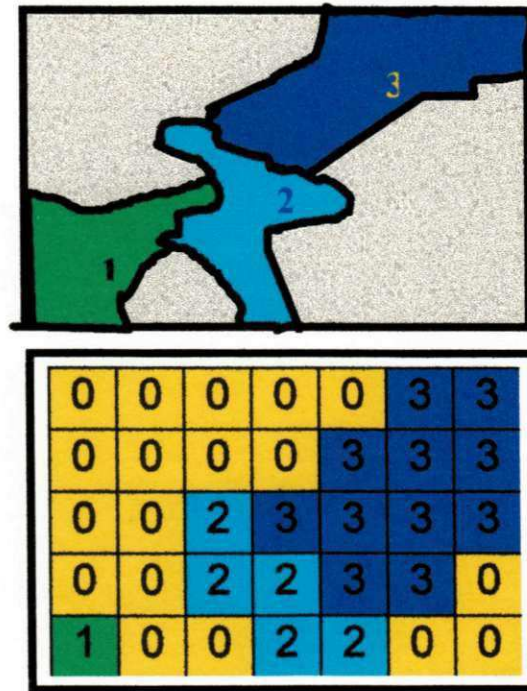


Figura 3.2 – Representação de mapas (Raster)

Embora os dados que armazenamos nestas células de grade não necessariamente correspondam a um fenômeno que possa ser visto no ambiente, as grades de dados podem ser pensadas como imagens – imagens de algum aspecto do ambiente – ou como planos – cada um dos quais armazenando um tipo de informação sobre a região mapeada – que

podem ser feitos visíveis através do uso de um dispositivo de visualização raster. Num dispositivo raster, como a tela do computador, há também uma grade de pequenas células chamadas pixels. A palavra Pixel é uma contração do termo “picture element”. Os pixels podem ser submetidos a uma variação em suas cores, forma ou tons de cinza. Para formar uma imagem visível, os valores das células são usados para regular diretamente a aparência de seus pixels correspondentes no dispositivo de visualização. Assim, em um sistema raster, o dado armazenado controla diretamente a forma visível que vemos (IDRISI, 1992).

3.3.2 Conceitos geográficos de banco de dados

Independente da lógica usada para a representação espacial de dados, raster ou vetorial, pode-se comparar uma base de dados geográfica – a uma base de dados completa sobre uma determinada região – como uma organização similar a uma coleção de mapas, conforme mostra a figura 3.3. Sistemas vetoriais podem ser considerados mais próximos desta lógica, já que as informações de interesse são estruturadas em camadas (coverages) – conjunto de dados organizados com mapas que contêm as definições geográficas de um conjunto de feições e suas tabelas de atributos associados (EASTMAN, 1995).

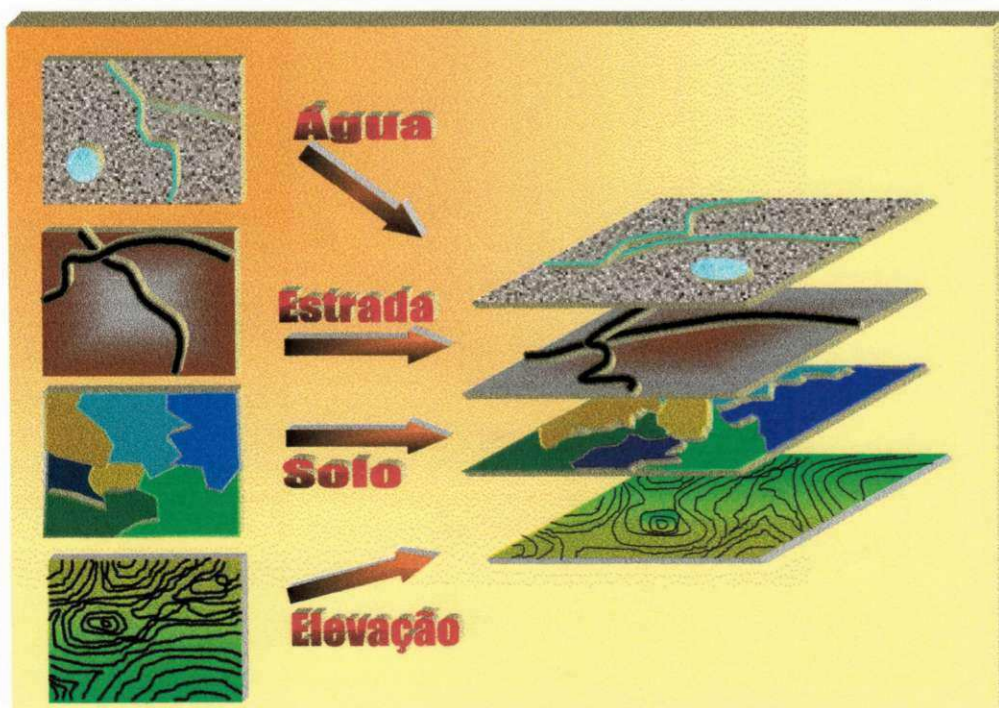


Figura 3.3 – Organização de uma base de dados geográfica

Os sistemas raster também usam uma lógica parecida com a de um mapa, mas geralmente dividem os conjuntos de dados em planos unitários. Um plano contém todos os dados para um único atributo. Dessa maneira, pode haver um plano de solos, um plano de estradas e um plano de uso da terra. Em alguns sistemas raster, também é possível ligar um plano identificador de feições (um plano que contém os identificadores das feições localizadas em cada célula de grade) com tabelas de atributos. Mais comumente, existirão planos separados para cada atributo a partir dos quais, isolados ou em combinação, serão feitas visualizações em tela ou mapas em papel (IDRISI, 1992)

Adicionalmente, muitos SIGs oferecem utilitários para mudar o sistema de projeção cartográfica e de referência de planos digitais, isto permite que múltiplos planos, digitalizados a partir de mapas com várias projeções e sistemas de referência, sejam convertidos a um sistema comum (IDRISI, 1992).

Com a possibilidade de gerenciar diferenças de escala, projeção e sistema de referência, os planos podem ser fundidos com facilidade, eliminando um problema que tem tradicionalmente dificultado o planejamento de atividades com mapas em papel. É importante observar, entretanto, que a questão da resolução da informação nos planos de dados permanece. Embora feições digitalizadas de um mapa mundial em escala pequena possam ser combinadas em um SIG com feições digitalizadas a partir de um mapa local de escala grande, como um mapa de ruas de uma cidade, isto normalmente não deveria ser feito. O nível de exatidão e detalhe do dado digital pode ser apenas tão bom quanto o dos mapas originais (IDRISI, 1992).

3.2.2 Componentes de um SIG

Um SIG consiste de uma série de overlays de uma região geográfica, representando um conjunto de dados (p. ex. elevação topográfica) ou de informações temáticas (tais como uso e ocupação da terra, solo ou geologia) que compartilham atributos geográficos comuns, inclusive o sistema de coordenadas geográficas. Assim, dados de origens diversas

podem ser integrados, visualizados e processados como um conjunto de planos de informação geográfica e pictórica superpostos, embora sejam de fato armazenados isoladamente sob a forma digital, adequada para a análise e extração de atributos em sistemas computacionais (IDRISI, 1992).

Embora imagine-se um SIG como uma peça de software única, ele é composto de uma variedade de elementos distintos. A figura 3.4 dá uma visão geral dos componentes encontrados num SIG. Nem todos os sistemas têm todos esses elementos, mas para ser um verdadeiro SIG, um grupo essencial deve estar presente.

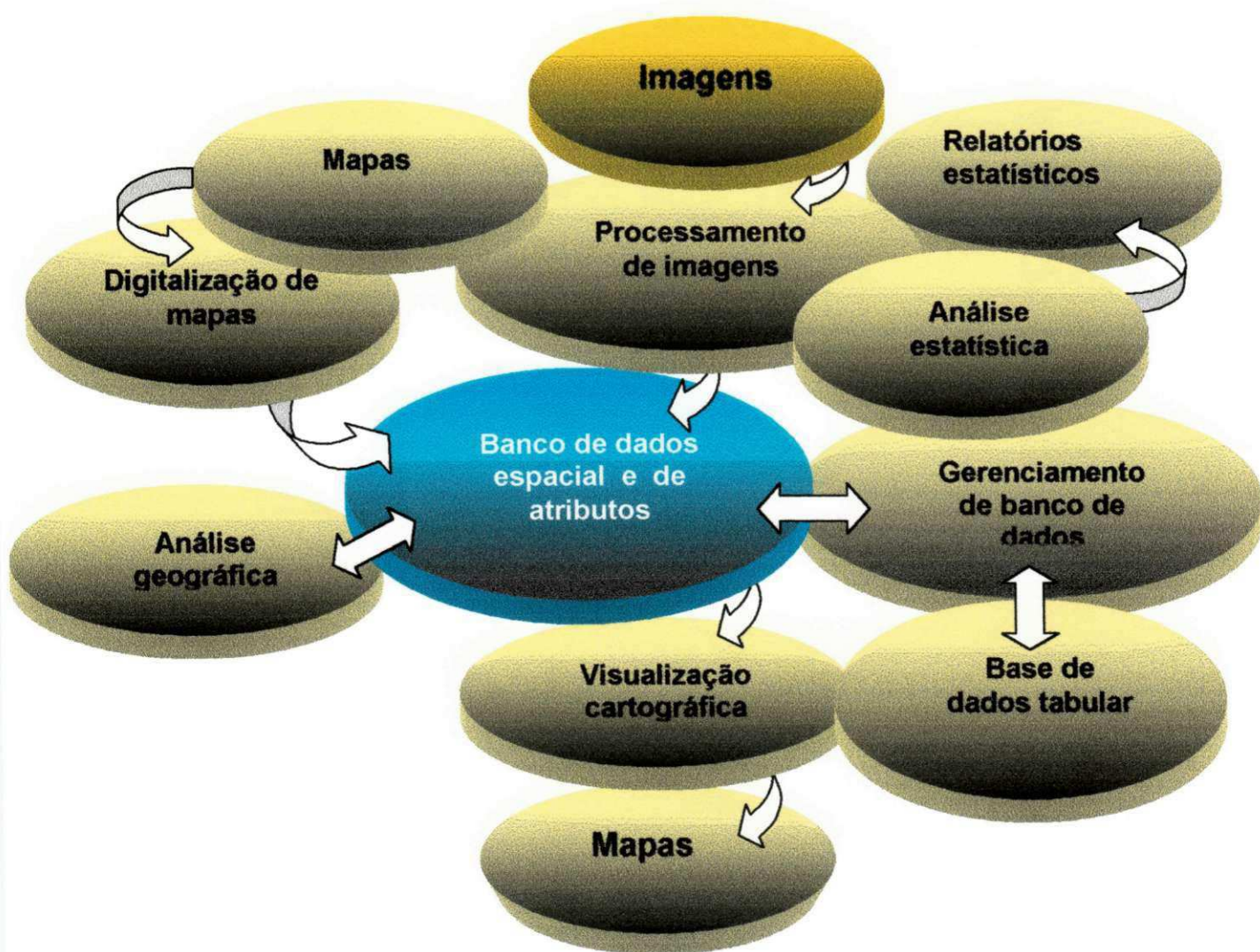


Figura 3.4 - Componentes de um SIG

Os SIGs apresentam concepções que vão desde o nível mais elementar, com as técnicas convencionais simples de confecção manual de overlays, até os sistemas computadorizados altamente sofisticados, que podem analisar dados científicos, tais como produtos aerofotogramétricos e orbitais e gerar mediante o uso de traçadores gráficos de última geração, resultados cartográficos de excelente qualidade (STAR, 1990 e IDRISI, 1992).

O MapInfo é um banco de dados geográficos para ambiente Windows, no entanto os sistemas desta geração são concebidos para uso em conjunto com ambientes cliente-servidor, geralmente acoplados a gerenciadores de bancos de dados relacionais, operando com um banco de dados geográfico.

3.3 Sistema de Posicionamento Global - GPS

O GPS (Global Positioning System) é um sistema de navegação por satélites desenvolvido pela Força Aérea dos EUA durante as décadas de 70 e 80 e colocado em operação na década de 90.

Os primeiros programas desenvolvidos pelos EUA para implementar um sistema de navegação por satélites resultaram nos sistemas TRANSIT (inicialmente denominado "Navy Navigation Satellite System - NNSS, ou NAVSAT) e TIMATION (de TIME navigation) ambos sob a responsabilidade da Marinha norte-americana através do NRL (Naval Research Laboratory), em 1958 e 1964, respectivamente.

3.3.1 Características do sistema

O princípio básico de funcionamento do GPS consiste em determinar as coordenadas de posição $(X, Y, Z)_u$ do usuário a partir do conhecimento das coordenadas de posição de três pontos (chamados de "fixos") $(X, Y, Z)_i$, $i=1,2,3$, e da distância entre o usuário e cada um dos fixos, r_i , $i=1,2,3$. Os fixos são os satélites. Cada satélite envia um sinal digital

informando sobre sua posição. Portanto é preciso decodificar a mensagem dos satélites para obter as coordenadas de posição de cada "fixo" (satélite). O usuário mede a distância a cada fixo através do tempo de propagação do sinal transmitido pelo satélite (o satélite envia na mensagem digital o instante de transmissão da mensagem e o usuário possui um relógio sincronizado com o relógio do satélite). A distância consiste no produto do tempo de propagação pela velocidade de propagação da onda (velocidade da luz). O problema matemático consiste na solução de um sistema de três equações não-lineares a três incógnitas: $(X, Y, Z)_u$ (BOSSLER et al., 1979).

Segundo ASHJAE (1986), para melhor identificar os parâmetros que afetam o funcionamento do sistema, o GPS é dividido em três segmentos principais:

- a) Segmento espacial - constituído pelos satélites;
- b) Segmento de controle - constituído pelas estações terrestres que controlam o desempenho e o funcionamento do sistema;
- c) Segmento usuário - constituído por todos os usuários do sistema.

3.3.2 Receptores

O princípio básico de funcionamento da transmissão dos sinais GPS é o Spread-Spectrum (Espectro Espalhado ou Espalhamento do Espectro), que consiste em espalhar o espectro do sinal transmitido e "re-compactar" o espectro no receptor, aumentando com isso a relação sinal/ruído (S/R) na recepção e a imunidade a interferências espúrias, intencionais ou não, (DENARO, 1981).

A *Foto 01* apresenta a estrutura básica de um receptor GPS. A antena deve ter características omni-direcionais para poder captar qualquer satélite em qualquer região acima do horizonte (na prática a FAA recomenda apenas a utilização de satélites acima de

7,5 graus da linha do horizonte) e ser isotrópica para ter igual ganho em todas as direções. Antenas helicoidais (cônicas ou cilíndricas) e antenas do tipo micro-strip são largamente utilizadas. A primeira etapa de RF consiste num pré-amplificador com alta relação S/R e filtros para eliminar sinais com frequências próximas dos sinais L1 e L2 . Após esta etapa os sinais L1 e L2 são convertidos para frequências intermediárias menores. Os loops de código e da portadora recuperam os sinais digitais codificados e os efeitos Doppler na portadora, respectivamente. O loop de código utiliza a técnica de correlação para sincronizar os sinais codificados (C/A ou P). Os dados digitais (da mensagem GPS) são recuperados após o loop de código (BESER & PARKINSON, 1982).

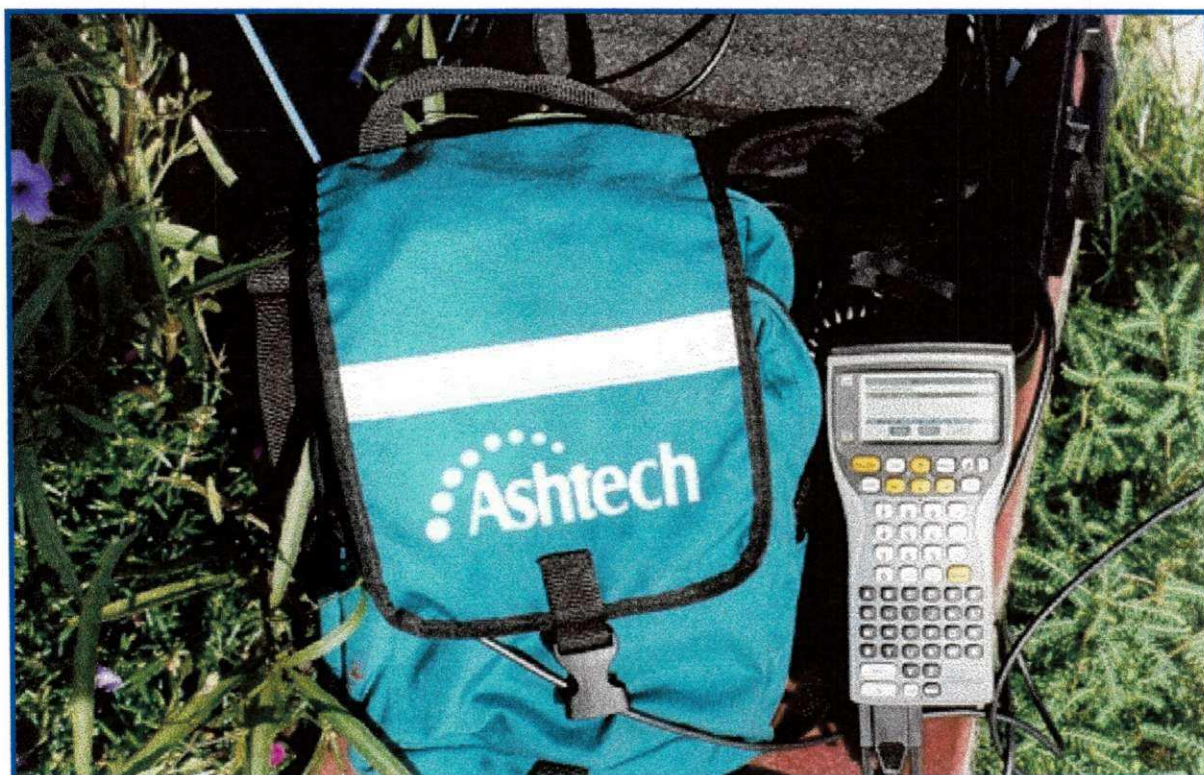


Foto 01- Receptor GPS

3.3.3 Aplicações

Segundo DUARTE & FITZGIBBON (1988), as aplicações do GPS são normalmente subdivididas em aplicações terrestres, marítimas e aeroespaciais. Uma segunda subdivisão é feita em termos de: aplicações estáticas (geodésicas), baixa, média e alta dinâmica (condições dinâmicas da antena do usuário). A aplicação mais imediata consiste em computar a posição e a velocidade no sistema de referência utilizando dados da mensagem GPS (muitas vezes utilizando a informação do desvio Doppler). Outras aplicações utilizam as características da portadora (desvios de frequência Doppler e de fase) para aumentar a precisão dos cálculos (aplicações geodésicas que chegam a obter precisões de 0,1 mm com pós-processamento e as informações de duas estações receptoras).

DUARTE & FITZGIBBON (1988), afirmam que a informação de tempo do GPS também é extremamente precisa (erro < 1 ns) e é utilizada para sincronizar sistemas temporais em diversas partes do globo simultaneamente (sistemas de processamento de dados, relógios etc). Aplicações recentes utilizam o desvio de fase da portadora para determinar a atitude de um veículo em relação a um sistema de coordenadas de referência.

Para determinar a posição de um usuário há, normalmente, quatro incógnitas: as coordenadas X, Y, Z do usuário e o tempo absoluto T (ou o erro do relógio do usuário). Se o usuário puder dispor de informações conhecidas, por exemplo, nas aplicações marítimas onde se conhece a altitude (nível do mar, isto é $Z=0$), o problema se resume a um sistema de três equações a três incógnitas (X, Y e T) e o usuário necessita apenas de três satélites para a determinação completa da sua posição. Além disso, se o usuário também dispuser de um relógio de precisão, pode-se dispensar mais um satélite, passando-se a navegar com a recepção de apenas dois satélites. Este procedimento é muito comum na navegação marítima e o GPS pode ser utilizado mesmo com um número reduzido de satélites na constelação. As aplicações marítimas consistem, no maior contingente comercial de usuários do GPS conforme, (DUARTE & FITZGIBBON, 1988).

Nesse sentido, GOAD (1985) afirma que as aplicações geodésicas utilizam técnicas diferenciais através das informações de duas ou mais estações receptoras de GPS instaladas em locais distantes e com recepção simultânea (método da diferença simples, duplas e triplas). As informações coletadas pelas diferentes estações (informações de: mesmo satélite - estações diferentes - mesmo instante, mesma estação - satélite diferente - instante diferente, mesma estação - mesmo satélite - instantes diferentes etc) são integradas em pré-processamento e permitem reduzir os erros de posição a alguns décimos de milímetros. As distâncias entre as estações são chamadas de linhas-base (baselines) e são classificadas em função da distância como "longas" (milhares de quilômetros), "médias" e "curtas" (algumas centenas de metros). A precisão milimétrica obtida deve-se também ao fato de que as antenas permanecem estáticas durante os experimentos e utilizam a "informação dinâmica" de que a velocidade do usuário é nula.

As aplicações terrestres incluem desde simples posicionamento geodésico até o controle de localização de frotas de veículos (táxis, caminhões etc). Alguns fabricantes de veículos japoneses e norte-americanos já introduziram no mercado modelos de luxo com sistemas de navegação GPS, com displays e informações adicionais sobre as condições de trânsito, das estradas, atmosféricas etc .

Alguns fabricantes já possuem modelos portáteis (do tamanho de uma calculadora eletrônica) com precisão de aproximadamente 25 metros.

O GPS foi inicialmente concebido para satisfazer os requisitos de navegação da Marinha e da Força Aérea norte-americanas. O segmento aeroespacial talvez seja o maior beneficiado com o sistema. As aplicações aeroespaciais atingem as comunidades civil e militar quase que igualmente.

A ICAO, através do seu Comitê Especial FANS - Future Air Navigation Systems, já recomendou a utilização do sistema de navegação por satélites, GNSS - Global Navigation

Systems Using Satellites, como a geração futura de sistemas de navegação para a Aviação Civil. O GPS (código C/A) satisfaz os requisitos técnicos recomendados pela ICAO mas não satisfaz os requisitos de confiabilidade de operação e detecção de "mal-funcionamento" do sistema devido à não cobertura global das estações de monitoração (atualmente em território norte-americano e sob o controle do DoD). O GPS, através do código C/A, não é capaz de satisfazer os requisitos de precisão de posição para pouso automático para aeronaves (apenas as categorias de "não-precisão" da FAA são satisfeitas).

Os sistemas de GPS-D poderão ser aplicados para manobras de precisão, mas ainda não estão internacionalmente padronizados. Os sistemas atuais de rádio-navegação (OMEGA, VOR, ILS, MLS, TACAN, LORAN etc) serão gradativamente substituídos pelos sistemas por satélites (até o ano de 2005 nos EUA e Europa, e até o ano 2015 para os países do terceiro mundo, conforme programa da ICAO) (JOSEPH & DEEM 1983).

Os sistemas de controle de tráfego aéreo utilizarão o GPS para controle de rota (em voo), terminal (aproximação do aeroporto) e em terra (táxi). Os conceitos já foram demonstrados mas ainda não estão padronizados internacionalmente. Os vôos comerciais oferecerão maior segurança (redução da probabilidade de colisão através de um controle automático preciso da posição relativa das aeronaves) e menor custo "rotas otimizadas em tempo e espaço, isto é, evitar atrasos e esperas nos vôos, otimizar trajetórias automáticas, com conseqüente redução no consumo de combustíveis" (JOSEPH & DEEM 1983).

As aplicações espaciais incluem aplicações nos veículos lançadores de satélites (ou foguetes científicos de sondagem), nas naves tripuladas (tipo Shuttle), nas transferências de órbitas de satélites e na monitoração ou determinação da posição (órbita) do satélite (por exemplo, satélites de coleta de dados, sensoriamento remoto, comunicações etc). Várias aplicações já foram demonstradas em foguetes e mísseis balísticos e muitos conceitos estão ainda por ser definidos (JOSEPH & DEEM, 1983).

CAPÍTULO 4

Material e Métodos

4.1 Materiais

Para o desenvolvimento deste trabalho, foram utilizados os seguintes materiais: dados bibliográficos, mapas topográficos, o suporte computacional físico (hardware) e lógico (software), suporte de campo.

4.1.1 Dados Bibliográficos

Dentro do contexto do trabalho onde a pesquisa de material básico referente à área de estudo proporcionou um bom entendimento sobre os tópicos abordados durante a execução das tarefas, bem como respaldou o desenvolvimento das ações que nortearam o desenvolvimento do trabalho até a geração dos resultados previstos.

4.1.2 Mapas Topográficos

Foram utilizadas os mapas como material básico para o estudo dentre eles:

- Mapa de solo de alta intensidade na escala 1:100.000 (SILVA, 1994).
- Mapa de zoneamento agropecuário na escala 1:100.000 (SILVA, 1994).

4.1.3 Suporte Computacional Físico (Hardware) e Lógico (Software)

A infra-estrutura computacional disponível na Área de Sensoriamento Remoto do Departamento de Engenharia Agrícola da UFPB, necessária ao desenvolvimento do presente trabalho, constitui-se basicamente de dois tipos de suporte: (1) físico – caracterizado por todos os equipamentos utilizados no processo de entrada, de processamento e de apresentação final dos dados de interesse, e (2) lógico – que envolve todos os aplicativos que nortearam a execução das atividades relacionadas com os objetivos propostos.

4.1.3.1 Suporte Físico (Hardware)

- Microcomputador ULTRA pentium 200 MHz, HD de 2 GB, drive de 3 ½”, monitor ULTRA RGB de 15”, leitor de CD-ROM 16x;
- Microcomputador PC GATEWAY2000 486 133 MHz, HD de 1,2 GB, drive de 3 ½”, monitor GATEWAY2000 RGB de 15”.
- Mesa digitalizadora Summagraphics, modelo Summagrid IV, formato A0.
- Scanner de página HP, modelo Scanjet II cx;
- Impressora de jato de tinta HP, modelo Deskjet 820c;
- Impressora LASER, OKIDATA OL 810e / PS;
- Traçador Gráfico (Design Jet650C)

4.1.3.2 Suporte Lógico (Software)

- MapInfo 5.0
- MicroStation
- MUSAG – Modelo de Umidade de Solos para Atividades Agrícolas

4.1.4 Suporte de campo

- GPS – Sistema de Posicionamento Global
- Infiltrômetros de Anel e Trado especial para coleta de solo

4.2 Métodos

4.2.1 Digitalização do mapa de solos da área de estudo

A metodologia utilizada para digitalizar o mapa de alta intensidade solos escala 1:100.000 compilado por SILVA (1994) foi a do software MicroStation do Mapping Office (módulo de entrada de dados), onde todas as informações contidas nas cartas topográficas foram passadas para o computador.

Os mapas topográficos serviram de apoio para a construção de uma base georeferenciada, onde o processamento dos dados vetoriais relativos aos mapas foram feitos a partir de um SIG – Sistema de Informações Geográficas, para este trabalho foi utilizado o MapInfo (MapInfo Co.)

4.2.2 Processamento de dados e trabalho de campo

A identificação das unidades de mapeamento de solos da área de estudo, a partir do MapInfo, fundamentou-se na seleção das áreas piloto para a realização dos trabalhos de campo e utilizou-se o seguinte procedimento: Através de uma mesa digitalizadora e com recurso do software CAD MicroStation, efetuou-se a digitalização de todas as informações contidas no mapa de solos de SILVA (1994), transformando as informações contidas em mapas cartográficos no formato digital. A partir dos dados digitados, obtiveram-se as coordenadas geográficas do centro de cada mancha de solo que foram transportadas para a memória do GPS, o que possibilitou no campo a identificação destes centros num alto grau de precisão.

Os trabalhos foram constituídos por roteiros pré-estabelecidos com a finalidade de: instalação de Pluviômetros e de Tanque Evaporimétrico, assim como realização de ensaios de infiltração e coleta de amostras de solo.

4.3 Descrição do MUSAG

4.3.1 Equações utilizadas a nível diário:

$$Usf = Usi + VI - VP - VEVT \quad (1)$$

$$VESC = Pr - VI \quad (2)$$

Onde Usf (mm) e Usi (mm) são as umidades do solo final e inicial, respectivamente; VI (mm) é o volume infiltrado; VP (mm) é o volume percolado; $VEVT$ (mm) é o volume evapotranspirado; $VESC$ (mm) é o volume escoado e Pr (mm) é a precipitação ocorrida.

Estas variáveis são avaliadas com base nas seguintes funções:

a) Função de infiltração (I)

Considera-se que a capacidade de infiltração do solo é uma função das características pedológicas do solo e da quantidade de umidade disponível no mesmo num dado instante, portanto:

$$\begin{aligned} I &= I_o && \text{para } US = 0 \\ I &= PP + (I_o - PP) [(CAD - US) / CC]^\beta && \text{para } 0 < US < CAD \\ I &= PP && \text{para } US \geq CAD \end{aligned} \quad (3)$$

Onde I_o (mm/dia) é a capacidade de infiltração máxima, função das características do solo; CAD (mm) é a capacidade máxima de retenção de água não gravitacional, na parcela de solo contida no primeiro metro de profundidade; PP (mm/dia) é a capacidade máxima de percolação profunda, função das características do solo e do subsolo subjacente; US (mm) é a umidade do solo e β é um parâmetro de ajuste da variabilidade da infiltração com a umidade do solo.

b) Função de percolação (P)

Considera-se que a capacidade de percolação profunda do solo é uma função das características pedológicas do solo, do subsolo subjacente e da quantidade de umidade disponível no mesmo num dado instante, portanto:

$$\begin{aligned}
 P &= 0 && \text{para } US = 0 \\
 P &= PP [US / CAD]^\alpha && \text{para } 0 < US < CAD \\
 P &= PP && \text{para } US \geq CAD
 \end{aligned} \tag{4}$$

Onde α é um parâmetro de ajuste da variabilidade da percolação com a umidade do solo;

c) Função de evapotranspiração (EVT)

Considera-se que a capacidade de evapotranspiração é uma função das condições climáticas, representadas pela evapotranspiração potencial, das características pedológicas do solo e da quantidade de umidade disponível no mesmo num dado instante, portanto:

$$\begin{aligned}
 EVT &= 0 && \text{para } US = 0 \\
 EVT &= EVP [US/(kCAD)]^\gamma && \text{para } 0 < US < CAD \\
 EVT &= EVP && \text{para } US \geq CAD
 \end{aligned} \tag{5}$$

Onde EVP (*mm/dia*) é a evapotranspiração potencial avaliada com base em dados de evaporação de tanque “classe A”; k é um coeficiente com valores: $0 < k < 1$ e γ um parâmetro de ajuste.

O algoritmo do modelo identifica diferentes casos, dependendo do estado da função de infiltração e da relação desta com a *precipitação* ocorrida naquele período (Pr). Foram identificados cinco casos diferentes:

Caso 1 – $I_i > Pr$ e $I_f > Pr$. Onde I_i e I_f são as capacidades de infiltração no início e fim do intervalo de tempo em estudo. Neste caso, toda a precipitação infiltra. Não ocorre escoamento e não é necessário realizar iterações.

Caso 2 – $I_i > Pr$ e $I_f < Pr$. Neste caso, ocorre escoamento, e o cálculo é realizado mediante iterações.

Caso 3 – $I_i > Pr$ e $I_f < Pr$, mas $US > CC$ durante o período. Neste caso ocorre escoamento e o cálculo é realizado mediante iterações, surgindo uma nova dificuldade, decorrente da mudança de função de infiltração devido à saturação do solo durante o período.

Caso 4 – $I_i < Pr$ e $I_f < Pr$. Neste caso há escoamento, mas não é necessário realizar iterações.

Caso 5 – $I_i < Pr$ e $I_f > Pr$, mas $US > CC$ durante o período. Neste caso ocorre escoamento e o cálculo não requer iterações, surgindo a mesma dificuldade do caso 3, decorrente da mudança de função de infiltração devido à saturação do solo durante o período.

4.3.2 Ajuste do MUSAG

O Modelo utilizou dados de precipitação diária, evaporação mensal e características físicas do solo dos municípios de Amparo, Sumé, Prata, Ouro Velho e Monteiro, visando a avaliação e previsão da umidade do solo e indicação mais propícia para o plantio das culturas de milho e feijão.

Os principais formas de ajuste do modelo são:

- a) Associação da área de influência de cada pluviômetro com um determinado tipo de solo ou conjunto de solos do município. Esta atividade foi desenvolvida com a instalação de 3 (três) pluviômetros (tipo Vile-de-Paris) que somados aos 4 (quatro) existentes,

totalizaram 7 (sete) em toda a área de estudo. Esta atividade foi desenvolvida com base nos estudos pedológicos já existentes em SILVA (1994), escala 1:100.000.

- b) Identificação e associação a cada tipo de solo a um valor de capacidade máxima de armazenamento de umidade. Esta atividade foi desenvolvida através de determinação dos parâmetros no Laboratório de Irrigação e Salinidade (LIS) da UFPB CAMPUS II.
- c) Identificação de cada tipo de subsolo e estimativa da percolação profunda associada com cada posto pluviométrico. Esta atividade foi desenvolvida com base no mapa geológico do Estado da Paraíba (BRASIL, 1983).
- d) Capacidade de infiltração máxima dos solos. Esta atividade foi desenvolvida através de realização de ensaios de infiltração de água no solo com os infiltrômetros de anel.

4.3.2.1 Instalação de Pluviômetros

Conforme BERNARDO (1995), para a coleta de dados de precipitação foram instalados 03 (três) pluviômetros (tipo Vile-de-Paris) na área de estudo, nas seguintes localidades Fazenda Jatobá I (Foto 02), Amparo e Fazenda Tigre, que, somadas às outras 04 (quatro) existentes nas localidades de Sumé, Prata, Ouro Velho e Pio X, totalizaram 07 (sete) estações de coleta de dados. Para cada posto foram treinadas pessoas com a finalidade de efetuarem a leitura nos pluviômetros. Com o apoio da SEMARH/LMRS-PB, para cada posto foram entregues os seguintes materiais: caderneta padronizada, carbono, caneta e envelopes franqueados, com isso, a informação chegava com precisão no final do mês.

Os pluviômetros são necessários para associar sua área de influência com um determinado tipo de solo ou conjunto de solos do município. Esta atividade foi desenvolvida com base nos estudos pedológicos de (SILVA 1994), escala 1:100.000.

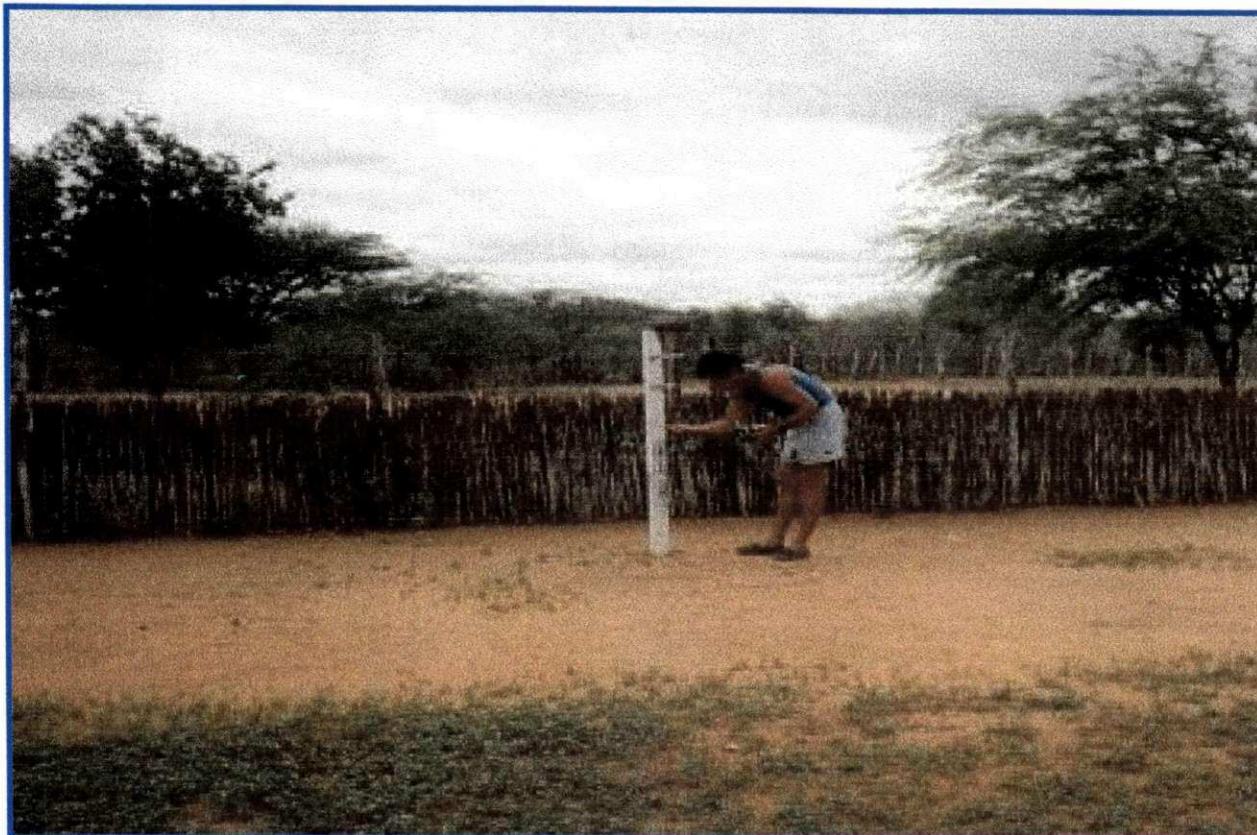


Foto 02: Pluviômetro instalado na fazenda Jatobá I (entroncamento com os municípios de Prata-PB e Monteiro-PB).

Para delimitação das áreas de influência dos pluviômetros utilizou-se a metodologia adotada por Thiessen, TUCCI (1977), onde pode-se utilizar uma distribuição não uniforme dos aparelhos e consiste em atribuir um fator de peso aos totais precipitados em cada aparelho, proporcionais à área de influência de cada um. Depois de instalados os pluviômetros, são obtidas as coordenadas de cada posto com a utilização do GPS, para georeferenciar no mapa de solos, e a metodologia utilizada consiste nas seguintes etapas: 1) une-se os postos pluviométricos por trechos retilíneos; 2) traçam-se linhas perpendiculares aos trechos retilíneos passando pelo centro da linha que liga os dois postos; 3) prolonga-se as linhas perpendiculares até encontrar outra. O polígono é formado pela intercessão das linhas, correspondendo à área de influência de cada posto, conforme mostra a Figura 4.1.



Figura 4.1: Delimitação da área de estudo pelo método de Thiessen.

4.3.2.2 Instalação de Tanque Evaporimétrico “Classe A”

Para obtenção de dados de evapotranspiração, foram utilizados dados do Tanque Evaporimétrico “Classe A” (Foto 03) da estação de Sumé. A estação estava sem operação devido à falta de equipamentos de medição (micrômetro). O LMRS-PB disponibilizou todos os equipamentos necessários para a reativação da estação, bem como recuperou todo o cercado. Os equipamentos existentes na estação são: Tanque Evaporimétrico “Classe A”, pluviômetro, anemômetro e termômetros de bulbo seco e úmido (BERNARDO, 1995).

A evapotranspiração máxima refere-se ao consumo de água pela cultura em condições ótimas de umidade e é obtida através da seguinte relação:

$$E_{tc} = E_{tp} \times K_c$$

Onde:

E_{tc} – Evapotranspiração da cultura (máxima)

Etp – Evapotranspiração potencial, obtida pela evaporação do tanque classe A multiplicado por um coeficiente do tanque usado (0,75)

Kc – Coeficiente de cultura

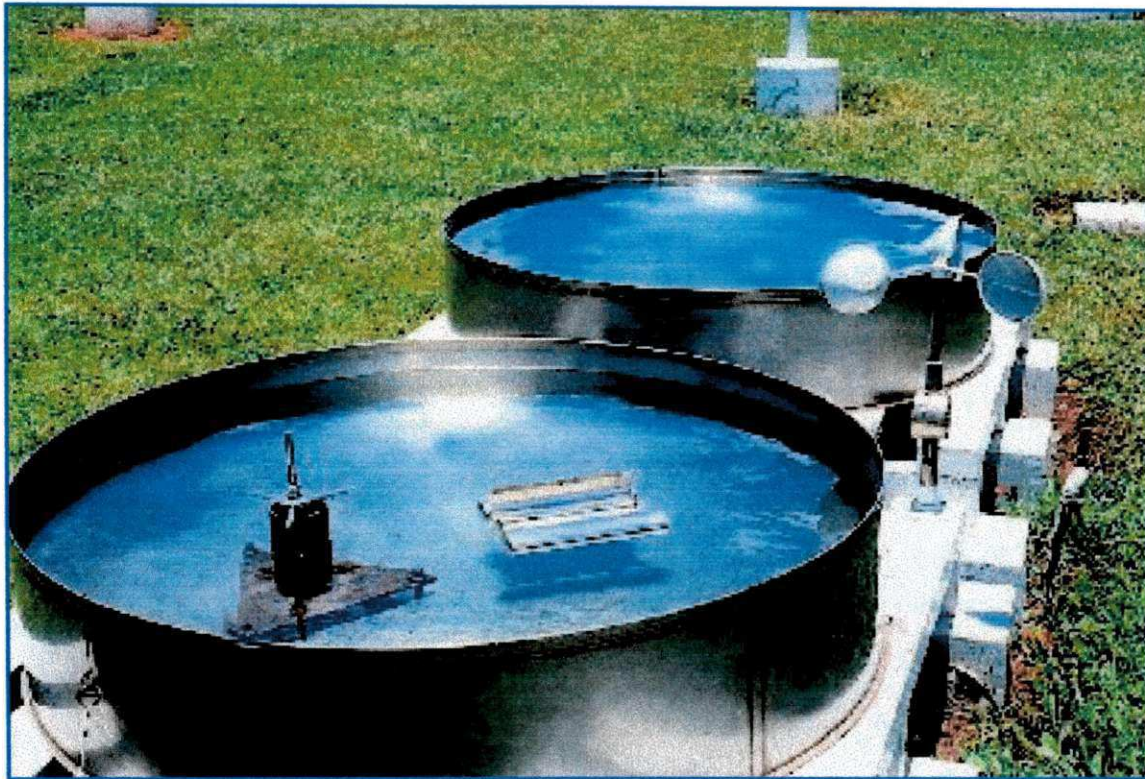


Foto 03 – Tanque Classe “A”.

4.3.2.3 Características físicas do solo (realização de ensaios de infiltração e coleta de amostras de solo).

Os dados das características físicas do solo, são os parâmetros necessários para a entrada no MUSAG. O trabalho de campo foi composto da realização de ensaios de infiltração da água no solo, com o objetivo de determinar a capacidade de infiltração máxima I_0 (mm/dia), em função das características do solo e de coleta de amostras de solo, à profundidade de 30 cm com o objetivo de determinar a capacidade máxima de retenção de água não gravitacional CAD (mm), na parcela de solo contida no primeiro metro de profundidade. Os passos metodológicos dos trabalhos de campo foram:

- **Ensaio de Infiltração (Capacidade de infiltração máxima)**

Foram realizados ensaios de infiltração em 26 manchas de solos na área de estudo. Para realização dos ensaios, utilizou-se o GPS na localização precisa dos centros das unidades pedológicas previamente selecionadas.

Para a determinação da velocidade de infiltração da água no solo, foram utilizados cilindros enterrados de forma concêntrica no solo, à profundidade de 15 cm, cujas características são dadas na Figura 4.2. A altura da lâmina infiltrada foi constantemente medida com régua fixa ao recipiente externo que alimenta o cilindro interior enquanto o cilindro externo alimentado manualmente mantinha o nível constante para evitar o movimento lateral da lâmina infiltrada. Os valores das lâminas infiltradas foram registrados juntamente com os respectivos tempos de coleta dos dados.

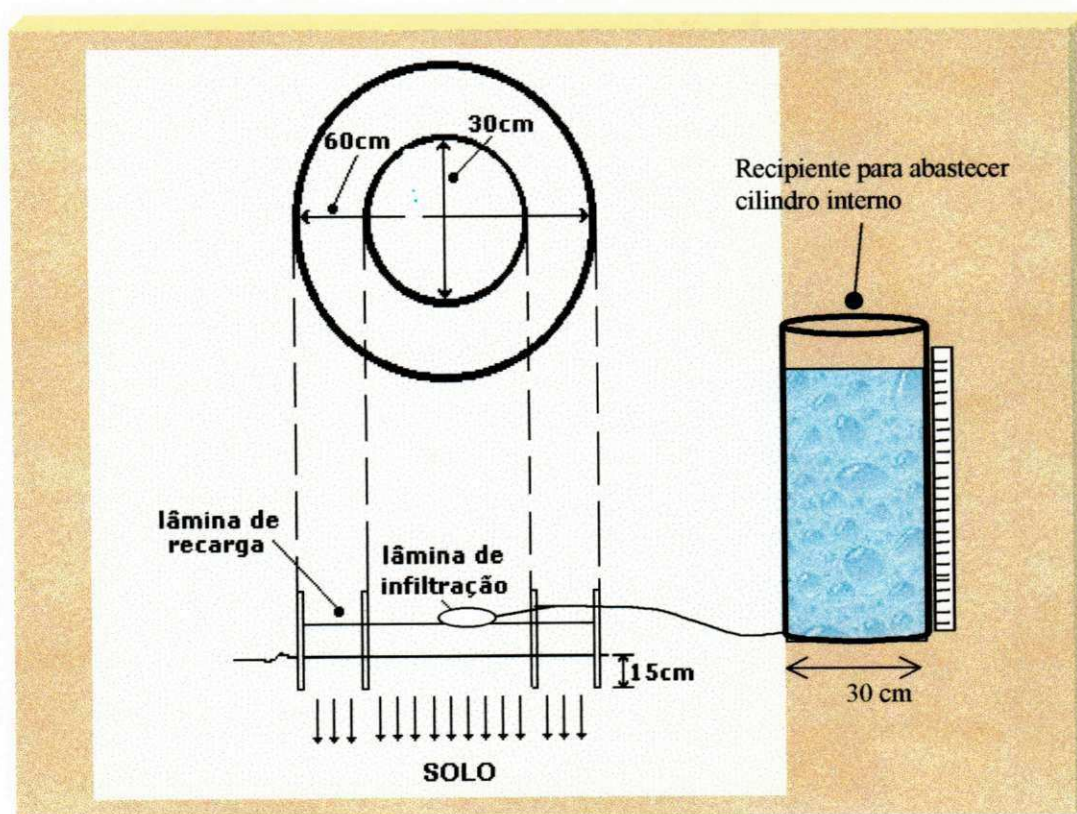


Figura 4.2 – Cilindros infiltrômetros.

- **Coleta de amostras de solo**

Para a determinação dos parâmetros *Capacidade de Campo* (Cc), Ponto de Murchamento (Pm) e *Densidade Aparente* (Da), foram coletadas amostras de solo pelo método usual para caracterização analítica completa para a profundidade de 30 cm, com a utilização de um trado especial, segundo a metodologia de (BERNARDO, 1995).

Adotaram-se as seguintes formas metodológicas para a determinação dos parâmetros de: CC, Pm, Da, DTA, CTA

- Determinação da Capacidade de Campo (Cc)** – Utilizou-se o método da curva de tensão (curva característica) – A tensão, que foi considerada como equivalente à (Cc), é de 1/10 de atmosfera, para solos de textura grossa, e de 1/3 de atmosfera, para solos de textura fina. Segundo BERNARDO (1995), a tensão geralmente usada é de 1/3 de atmosfera, para qualquer tipo de solo. Esta curva de tensão foi determinada em laboratório com panela e membrana de pressão.
- Determinação do Ponto de Murchamento (Pm)** – Utilizou-se a metodologia adotada por BERNARDO (1995). O solo é destorroado e submetido a uma tensão de 15 atmosferas em membrana de pressão (panela de pressão), colocando-a na câmara e aumentando a pressão sobre a membrana ou prato, até atingir 15 atmosferas. A amostra ficará sob esta pressão até que dela não saia mais água, ou seja, a água retida pelo solo está com tensão igual ou superior do que 15 atmosferas.
- Determinação da Densidade Aparente (Da)** - Utilizou-se o método da proveta, segundo BERNARDO (1995). Adotou-se o seguinte procedimento: 1) Pesou-se uma proveta de 100 ml, com aproximação de 0,5 a 1 g; 2) Encheu-se a proveta com solo; 3) colocou-se, de cada vez, aproximadamente 35 ml, contidos em bécker de 50 ml, deixando cair de uma só vez e em seguida compactou-se o solo batendo a proveta 10 vezes sobre lençol de borracha de 5 mm de espessura, com distância de queda de mais ou menos 10 cm, esta operação foi repetida por mais duas vezes, até que o nível da

amostra ficasse nivelado com o traço do aferímetro da proveta; 4) pesou-se a proveta com a amostra e calculou-se a densidade aparente pela fórmula abaixo:

$$D_a = \text{peso da amostra seca a } 105^\circ\text{C} / \text{volume da proveta (g / cm}^3\text{)}$$

Com os parâmetros de campo definidos, determinou-se a Disponibilidade Total de Água do Solo (DTA), que é um dos parâmetros necessários para alimentação do MUSAG.

A disponibilidade total d'água do solo é uma característica do solo, que corresponde à quantidade d'água que o solo pode reter ou armazenar por determinado tempo; ela deve ser expressa em altura de lâmina d'água, por profundidade do solo, geralmente de mm d'água por cm de solo ou em volume d'água por unidade de área de solo, (BERNARDO 1995).

$$DTA = \frac{(C_c - P_m)}{10} \times D_a$$

Após a determinação de DTA, calculou-se a capacidade total d'água do solo (CTA), conhecendo-se a profundidade efetiva do sistema radicular das culturas do milho e do feijão, segundo (BERNARDO, 1995).

$$CTA = DTA * Z$$

Onde Z é a profundidade efetiva do sistema radicular (mm).

4.3.2.4 Alimentação do MUSAG

A partir dos parâmetros de entrada do Modelo previamente determinados, a etapa seguinte foi a alimentação do modelo, que teve os seguintes procedimentos:

- a) Associação dos solos referentes a cada posto pluviométrico, previamente definidos pela metodologia de Thiessen;

-
- b) Passagem de parâmetros determinados em campo para o modelo;
 - c) Alimentação do modelo com dados diários de precipitação dos postos instalados na área de estudo;
 - d) Execução do modelo e obtenção dos valores de umidade e do número de dias até o déficit hídrico.

4.4 Lançamento dos resultados do modelo de umidade de solos na Base Cartográfica previamente digitalizada e processada e Geração de Mapas Temáticos.

A metodologia adotada estudou a distribuição da umidade dos solos nos anos de 1985, 1999 e 2000, pois foram anos com distribuição de precipitação diferentes. Para cada ano foram estudados os meses de fevereiro, março e abril que são meses que fazem parte da quadra chuvosa da região semi-árida do nordeste (fevereiro a maio). Para os meses em estudo, foram gerados mapas de umidade por decênio.

CAPÍTULO 5

Resultados e Discussão

5.1 Determinação de parâmetros para o MUSAG

Os parâmetros determinados em campo necessários para o MUSAG foram: capacidade máxima de infiltração – I_0 (mm/dia), capacidade de armazenamento de água no solo – CAD (mm). Estes parâmetros foram determinados no levantamento de campo, onde realizaram-se ensaios de infiltração de água no solo, com base na distribuição de solos de SILVA (1994), escala 1:100.000 e simultaneamente, foram coletadas amostras de solos na profundidade de 30 cm, as quais foram analisadas em laboratório. A *Figura 5.1* mostra o mapa de solos com a localização dos pontos onde foram realizados os ensaios de infiltração e coleta de amostras de solo. Os ensaios de infiltração foram realizados em 26 manchas de solos e as suas anotações foram feitas em uma planilha, para cada ensaio, conforme mostra a Tabela 5.1.

Na área de estudo verificou-se uma grande predominância dos SOLOS BRUNO NÃO CÁLCICO (NC) e SOLOS LITÓLICOS EUTRÓFICOS (Re).

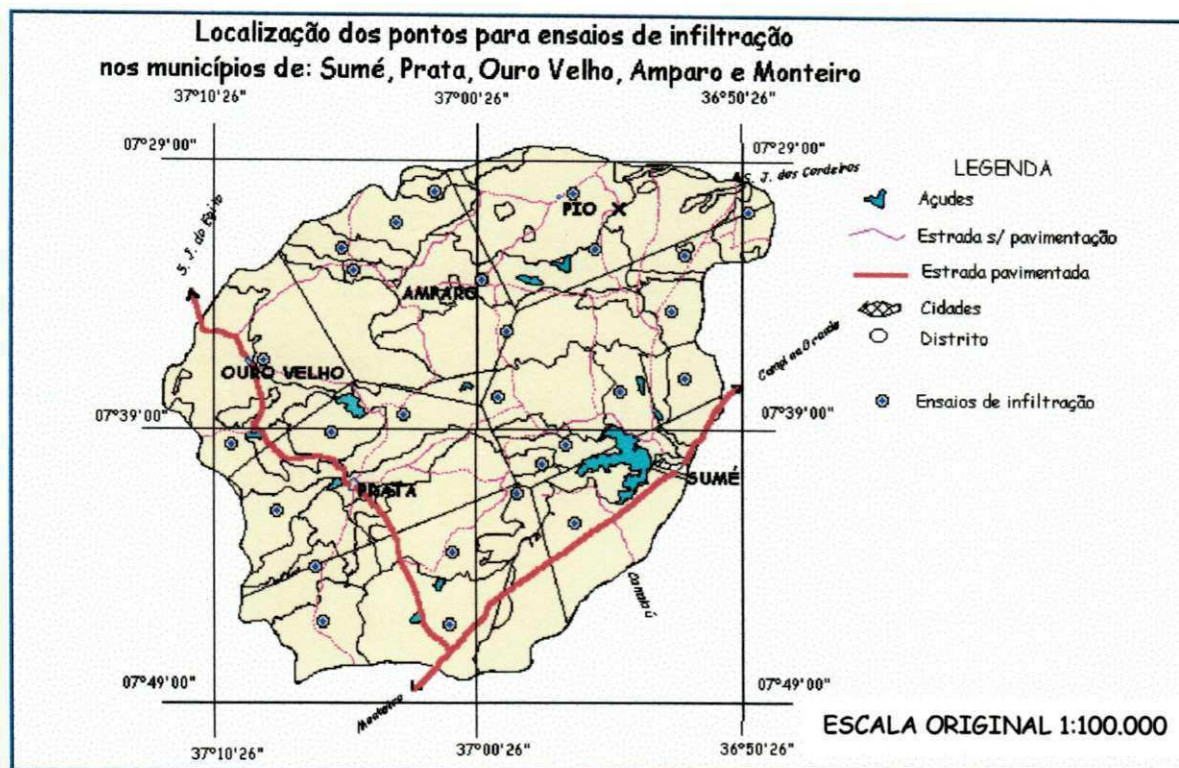


Figura 5.1 – Localização dos ensaios de infiltração.

Tabela 5.1 – Planilha com resultados das anotações dos ensaios de infiltração.

MANCHA DE SOLO: P4 NC1		LAT 07,56390°	LONG 36,99593°	MANCHA DE SOLO: P4 NC1 (Continuação)	LAT 07,56390°	LONG 36,99593°			
Referência: Entroncamento de Amparo / Pio X Próximo ao Grupo Escolar Francisco R. Maciel				Referência: Entroncamento de Amparo / Pio X Próximo ao Grupo Escolar Francisco R. Maciel					
Tempo (min)	Tempo Acumul (min)	Lâmina a Infiltrar (cm)	Lâmina Infiltrada (cm)	Velocid. Infiltr (cm/min)	Tempo (min)	Tempo Acumul (min)	Lâmina a Infiltrar (cm)	Lâmina Infiltrada (cm)	Velocid. Infiltr (cm/min)
0	0	64.10			5	28	57.60	0.762	0.152
1	1	63.60	0.635	0.635	5	33	56.95	0.825	0.165
1	2	63.00	0.762	0.762	10	43	55.95	1.270	0.127
1	3	62.30	0.889	0.889	10	53	54.90	1.334	0.133
1	4	61.90	0.508	0.508	10	63	54.00	1.143	0.114
1	5	61.55	0.445	0.445	10	73	53.10	1.143	0.114
2	7	60.70	1.079	0.540	30	103	50.50	3.302	0.110
2	9	60.10	0.762	0.381	30	133	48.00	3.175	0.106
2	11	59.90	0.254	0.127	30	163	45.65	2.985	0.099
2	13	59.70	0.254	0.127	30	193	43.00	3.366	0.112
5	18	58.90	1.016	0.203	60	253	37.70	6.731	0.112
5	23	58.20	0.889	0.178	60	313	32.40	6.731	0.112

Nas Tabelas 5.2 e 5.3 apresentam-se os dados em extensão e percentuais correspondentes às unidades de mapeamento e às classes de solos da área de estudo respectivamente, SILVA (1994).

Tabela 5.2 – Unidade de mapeamento da área de estudo (Extensão e distribuição percentual).

Unidade de Mapeamento	Área (Km ²)	%
NC1	187.20	19.1
NC2	135.61	13.8
NC3	119.25	12.2
NC4	2.68	0.3
NC5	116.67	11.9
PE	28.04	2.9
Re1	10.20	1.0
Re2	73.02	7.4
Re3	22.14	2.3
Re4	93.47	9.5
Re5	62.31	6.4
Re6	20.19	2.1
Re7	96.99	9.9
REe	13.43	1.4
TOTAL	981.20	100.0

Tabela 5.3 – Classes de solos da área de estudo (Extensão e distribuição percentual).

Classe de Solo	Área (Km ²)	%
NC	561.41	57.2
PE	28.04	2.9
Re	378.32	38.6
REe	13.43	1.4
TOTAL	981.20	100.0

Na *Tabela 5.4* apresentam-se os 26 pontos das unidades de mapeamento selecionadas para a realização dos ensaios de infiltração de água no solo com suas localizações geográficas (latitude e longitude) e as referências das localidades de cada ensaio realizado. Em cada unidade de mapeamento utilizou-se os infiltrômetros de anel para obtenção da velocidade de infiltração e conseqüentemente, da capacidade máxima de infiltração I_0 (mm/dia).

A *Foto 05* mostra como foi feito o georeferenciamento, com a utilização do GPS para localização das coordenadas geográficas com obtenção e armazenamento de informações para compor o banco de dados geográficos da área de estudo.



Foto 04 – Obtenção de coordenadas geográficas com GPS.

Tabela 5.4 – Unidades de mapeamento onde foram realizados os ensaios de infiltração.

Solo (Ensaio)	Coordenadas		Referência
	LAT (N)	LONG (E)	
P1 Re5	7.54357	37.09158	Sítio Pedra da Bicha - Prop. Sr. Cícero Ildo Alves Siqueira
P2 NC1	7.51667	37.05817	Sítio Riacho do Cariri (Amparo-PB) Saída para São Vicente
P3 NC1	7.56390	36.99593	Entroncamento de Amparo/Pio X (Grupo Escolar Francisco Rodrigues Maciel) Poço do Boi
P4 Re4	7.55729	37.08796	Entroncamento da estrada que sai de Amparo para Ouro Velho e Sítio Pocinhos
P5 NC1	7.61387	37.14263	Lado direito de Ouro Velho, depois do parque de vaquejada
P6 NC2	7.65361	37.10119	Fazenda Corea (Grupo Escolar Mun. Maria Jose Nunes)
P7 Re7	7.64736	37.04839	Fazenda JuA (Jesse - Pai de João Pedro) munic. Prata-PB
P8 NC1	7.70608	37.13469	Comunidade dos Pereiros - Município de Prata-PB
P9 Re7	7.71145	37.08943	Próximo a Prata (Fazenda Espanha)
P10 NC3	7.66428	37.16425	Boa Vista dos Zuzas - município de Ouro Velho-PB
P11 Re6	7.74047	37.10592	Fazenda Matarina munic. Prata (Eugenio Nunes de Farias)
P12 PE	7.78000	37.10639	Comunidade Santa Catarina (município de MonteiroPB)
P13 NC5	7.71328	37.02519	Sítio Carnaúba de cima
P14 NC1	7.77472	37.02531	Lado direito da estrada que vai para Prata (Fazenda JatobA II) Ilha das Doidas
P15 NC2	7.72292	36.94567	Fazenda Marmeleiro (lado direito da estrada que liga Sume-Monteiro) Km 9 saída de Sumé
P16 NC4	7.68818	36.98330	Fazenda Batizá (Prop. Dr. Davi)
P17 NC5	7.68475	36.96931	Sítio Pitombeira (em cima da serra)
P18 NC2	7.66336	36.94825	Sítio Chorão (Prop. Sr. Jose Barbosa Lêra)
P19 NC5	7.63303	36.92439	Próximo a Fazenda Tigre
P20 Re7	7.63397	36.98031	Sítio Riacho da Roça (Prop. Sr. Rato Preto)
P21 Re4	7.59275	36.99772	Depois da fazenda de Vavá Paulino (Riacho da Roça)
P22 NC3	7.54553	36.93197	Fazenda Jaguaribe (Sr. Lucas)
P23 Re1	7.53625	36.87408	Sítio Mulungu Prop. Jose Amancio (estrada que vai de sume para S. J. Cordeiros)
P24 REe	7.52622	36.85308	Depois de Olho D'Agua do Padre (Sr. Inácio Luiz de Almeida)
P25 Re2	7.50853	36.95558	PIO X (Fazenda Bananciras)
P26 Re4	7.56628	36.88517	Lado direito da estrada que vai para S. J. Cordeiros - 12 Km de Sume

Para aplicar a metodologia de Thiessen, levando-se em consideração as *áreas de influência dos pluviômetros*, foi necessário fazer uma subdivisão das unidades de mapeamento correspondentes as áreas atingidas pela influência de cada posto pluviométrico. Por exemplo a unidade de mapeamento do solo Bruno Não Cálculo (NC), foi subdividida em duas unidades de mapeamento, correspondendo aos municípios de Amparo e Ouro Velho (Amparo INC1 e Ouro Velho INC1 - *Figura 5.2*).

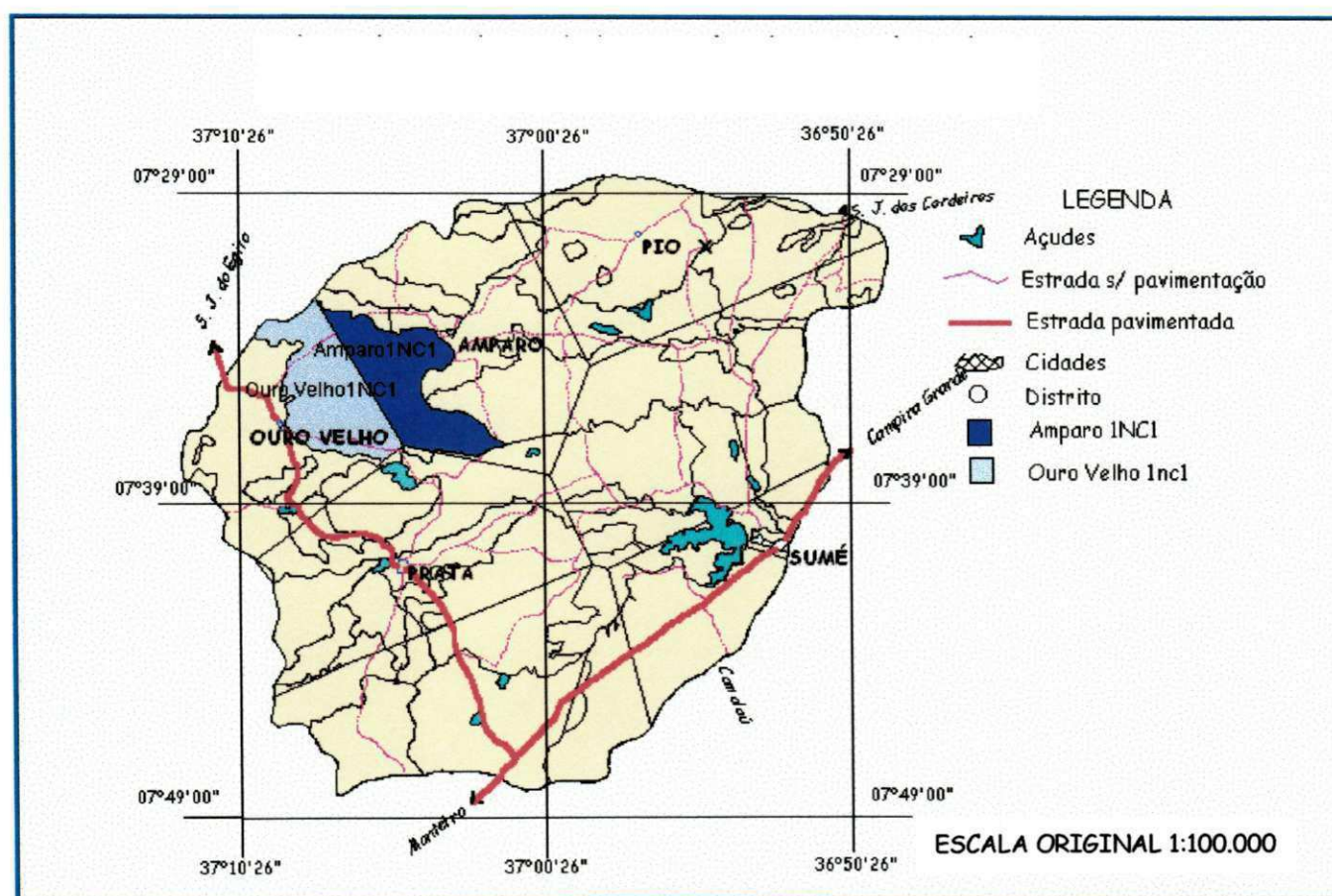


Figura 5.2 – Subdivisão da unidade de mapeamento do solo Bruno Não Cálculo (NC).

A Seguir apresenta-se, na *Tabela 5.5*, as subdivisões das unidades de mapeamento em extensão e percentuais, após a delimitação de áreas de influência, utilizando o método de Thiessen em toda área de estudo.

Tabela 5.4 – Distribuição das Unidades de Mapeamento pelo método de Thiessen.

SOLO	Área Km ²	%	SOLO	Área Km ²	%
Amparo1NC1	36.25	3.69	Jatoba1Re6	15.47	1.58
Amparo1Re5	13.32	1.36	JatobaAR	1.26	0.13
Amparo2NC1	23.26	2.37	JatobaRe7	4.13	0.42
Amparo1Re2	4.58	0.47	JatobaPE	23.04	2.35
Amparo2Re5	2.03	0.21	SumeNC4	2.68	0.27
PioXNC1	1.83	0.19	SumeAR	1.73	0.18
PioX1Re5	4.3	0.44	SumeNC5	3.85	0.39
PioXNC3	22.04	2.25	SumeRe3	6.98	0.71
PioXRe4	2.1	0.21	Prata2NC5	28.54	2.91
PioX2Re5	0.9	0.09	JatobaNC1	3.19	0.33
PioX3Re5	1.7	0.17	JatobaNC5	11.77	1.20
PioXREe	3.39	0.35	Amparo2NC3	4.82	0.49
Tigre1Re5	0.78	0.08	Amparo1Re4	4.7	0.48
TigreREe	10.6	1.08	Amparo2Re4	27.82	2.84
Tigre2Re5	3.71	0.38	JatobaNC2	31.47	3.21
Tigre1NC3	4.77	0.49	JatobaNC1	41.39	4.22
Tigre2NC3	4.23	0.43	JatobaNC5	31.1	3.17
Tigre1Re4	34.99	3.57	TigreNC5	5.9	0.60
Amparo2Re2	5.29	0.54	Tigre2Re4	15.15	1.54
Amparo1NC3	29.49	3.01	TigreRe3	15.16	1.55
AmparoRe7	8.21	0.84	Tigre1NC2	6.94	0.71
Prata4NC1	0.88	0.09	Tigre1NC5	19.18	1.95
Ouro Velho1NC1	30.84	3.14	Tigre2NC2	12.02	1.23
Ouro Velho2NC1	1.44	0.15	Tigre2NC5	2.42	0.25
Ouro VelhoNC3	2.7	0.28	Tigre3NC5	5.31	0.54
Prata1NC1	6.29	0.64	Sume1NC2	16.87	1.72
PrataNC3	11.63	1.19	Sume1NC2	3.22	0.33
Prata2NC1	17.95	1.83	Sume2NC2	48.23	4.92
Prata1Re6	1.08	0.11	Ouro VelhoRe7	4.31	0.44
Prata2NC5	8.88	0.91	Ouro VelhoRe5	0.69	0.07
Prata2Re6	3.64	0.37	Ouro VelhoNC3	49.23	5.02
Prata1Re7	11.01	1.12	PioX1AR	1.08	0.11
Prata2Re7	1.19	0.12	PioX2AR	0.67	0.07
Prata1NC5	1.38	0.14	PioXRe2	53.12	5.41
Prata1AR	3.53	0.36	PioX3AR	0.72	0.07
Prata2NC5	17.05	1.74	PioXRe5	2.41	0.25
Ouro VelhoNC2	3.79	0.39	PioX4Re5	34.46	3.51
PrataNC2	18.45	1.88	TigreAR	0.63	0.06
Prata3NC1	0.7	0.07	TigreRe1	10.2	1.04
Prata2Re7	30.8	3.14	TigreRe7	38.34	3.91
			TOTAL	981.20	100.00

As Figuras 5.3 e 5.4 apresentam a distribuição dos percentuais das Unidades de Mapeamento onde realizaram-se ensaios de infiltração e coletaram-se amostras de solo e das Classes de Solos da região de estudo, respectivamente.

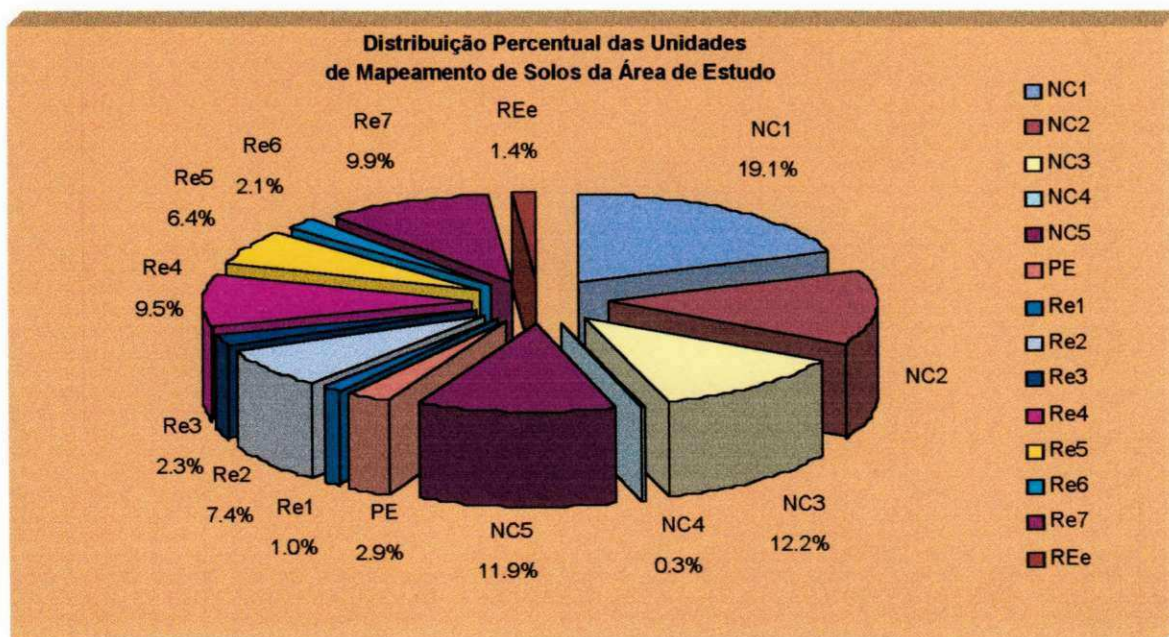


Figura 5.3 – Distribuição Percentual das Unidades de Mapeamento.

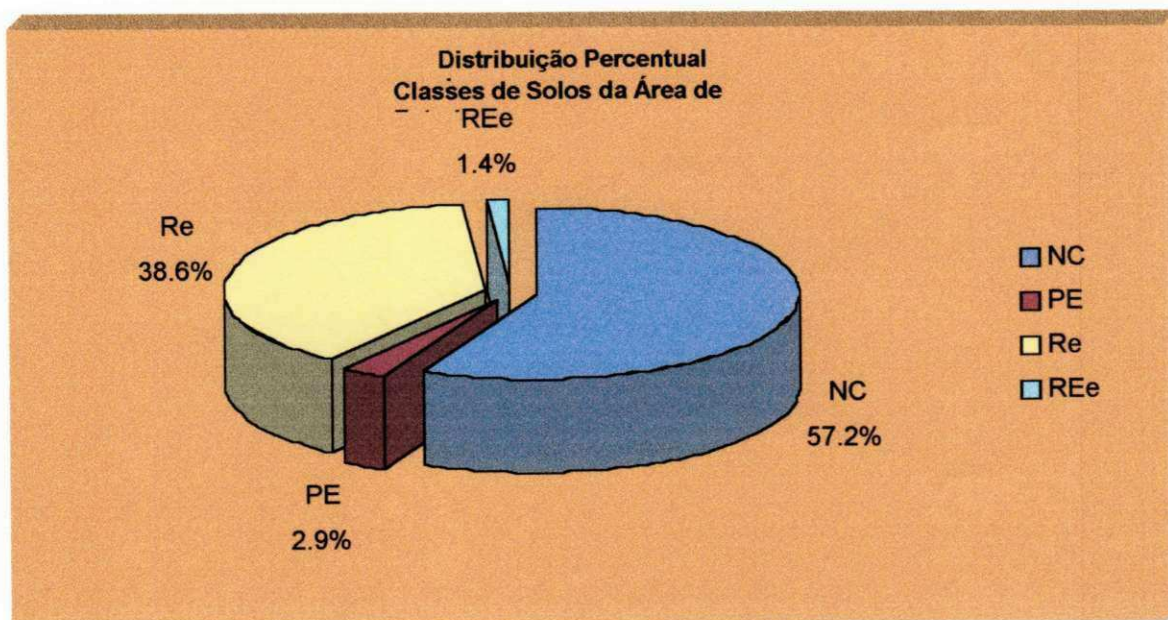


Figura 5.4 – Distribuição Percentual das Classes de Solos.

5.1.1 Ensaios de Infiltração – Determinação da capacidade máxima de infiltração – I_0 (mm/dia)

Em toda área de estudo foram realizados *ensaios de infiltração de água no solo* (Foto 05), onde obtiveram-se os gráficos de velocidade de infiltração e a partir destes foram determinadas as capacidades máximas de infiltração pela equação de infiltração, segundo o modelo de Kostiakov (BERNARDO, 1995), para uma determinada lâmina infiltrada, partido-se de uma condição de umidade mais baixa possível. As capacidades máximas de infiltração tomadas como média I_0 (mm/dia) em função de t (min) dos solos estudados foram determinadas conforme equações ($I_0 = a \cdot t^b$), das Figuras 5.5 a 5.7 contidas nos gráficos de velocidade, que compõem a infiltração acumulada (cm) x tempo (min). Pode-se comparar o valor da capacidade máxima de infiltração I_0 (mm/dia), dos solos BRUNO NÃO CÁLCICO (NC) da área em estudo, que variaram em média ao equivalente a $1,45 \times 10^{-3}$ cm/s, próximo ao valor adotado por AGUIAR (1977), para um BRUNO NÃO CÁLCICO (NC) ($1,34 \times 10^{-3}$ cm/s). Segundo AGUIAR (1997), o parâmetro I_0 (mm/dia) para tempos curtos pode ser associado à capacidade de absorção de água pelo solo quando a camada superficial for arenosa.

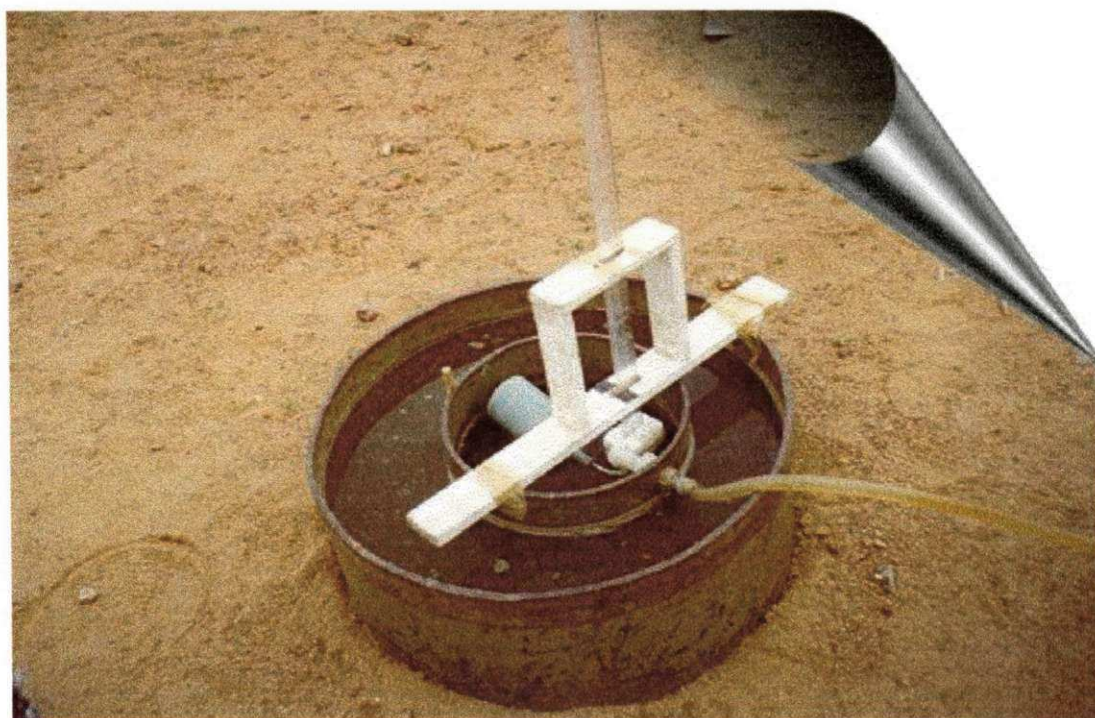


Foto 05 – Realização de ensaios de infiltração (infiltrômetros de anel).

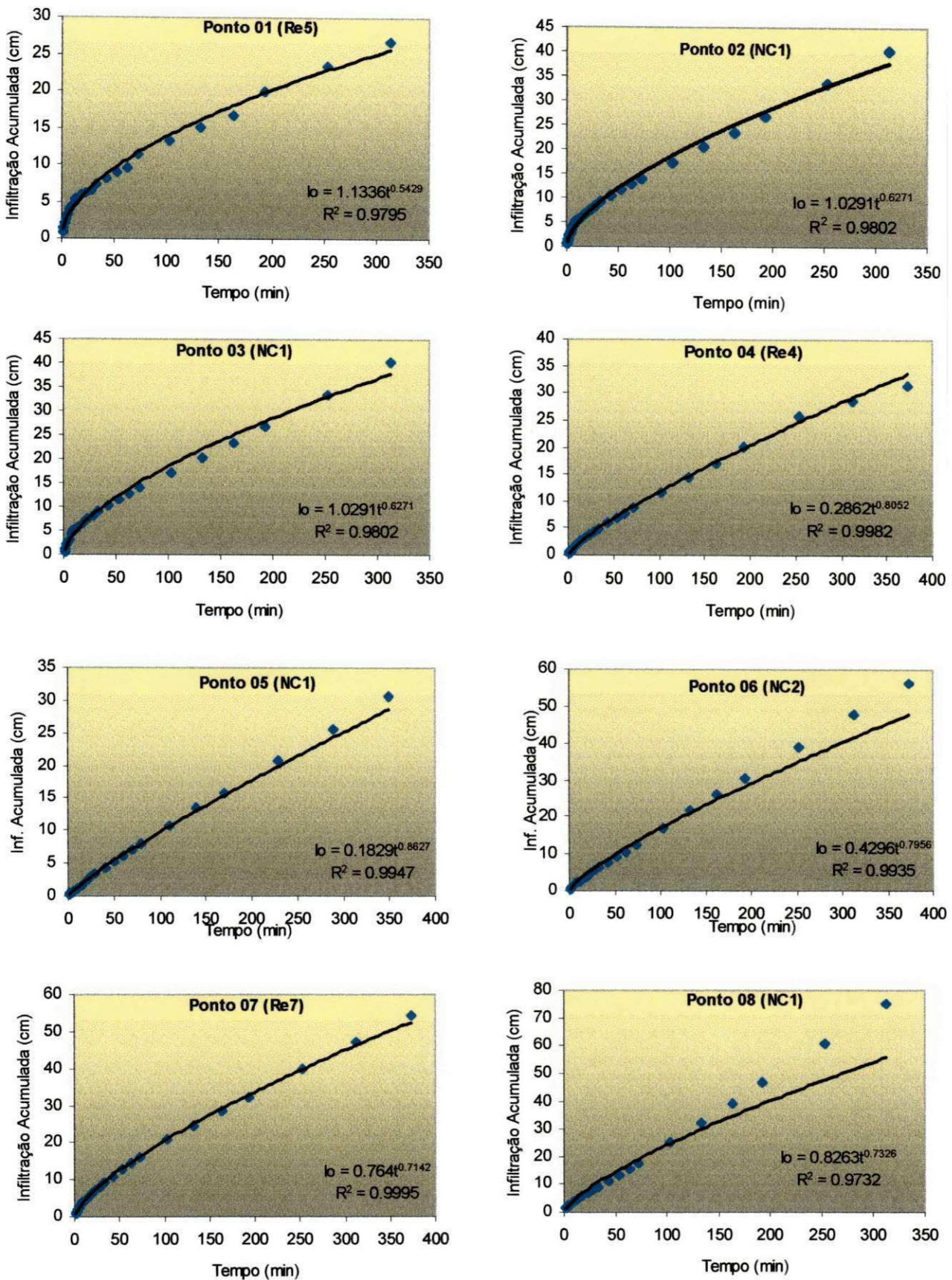


Figura 5.5 – Gráficos de Velocidade de Infiltração (Pontos: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 e 8).

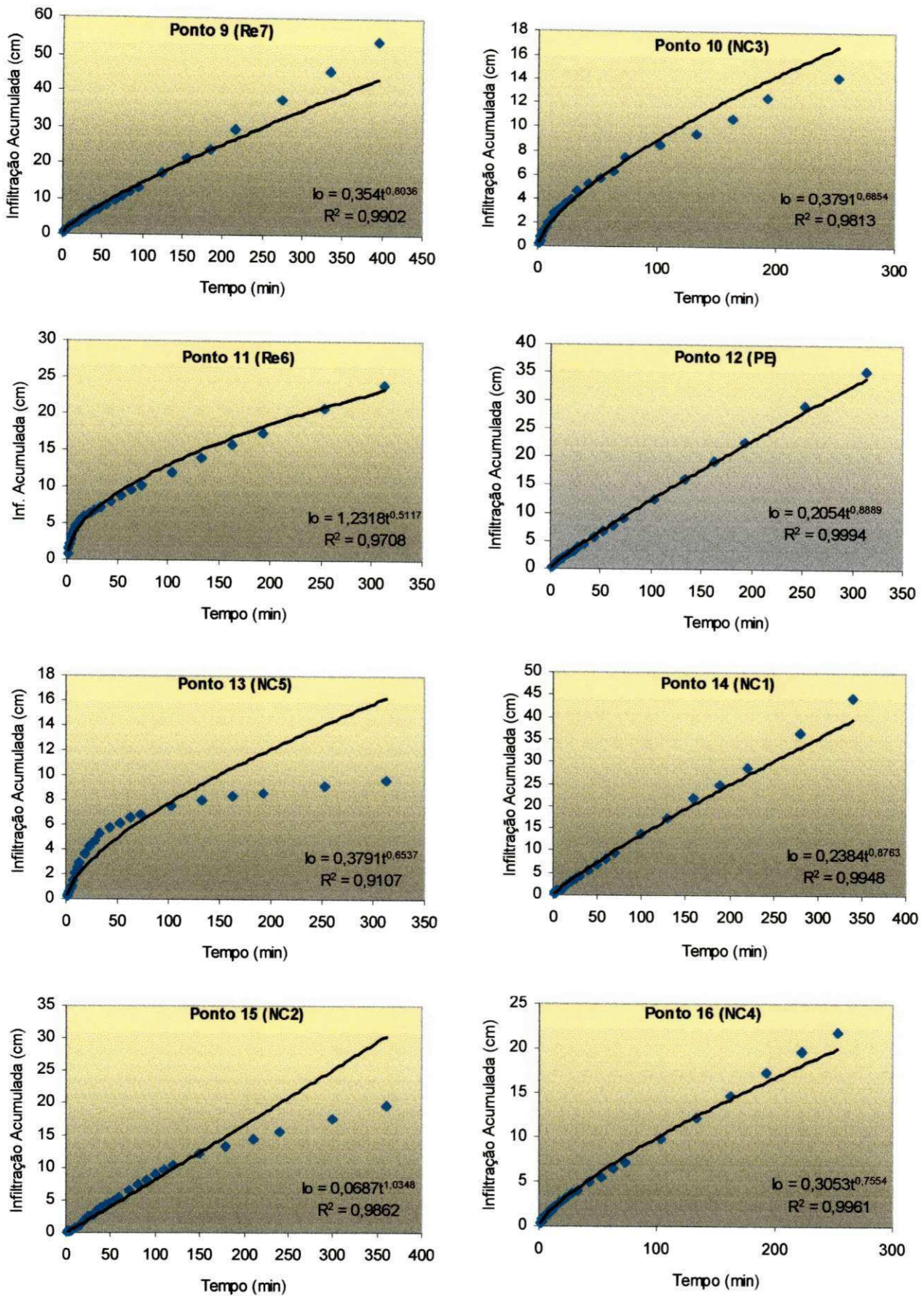


Figura 5.6 – Gráficos de Velocidade de Infiltração (Pontos: 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 e 16).

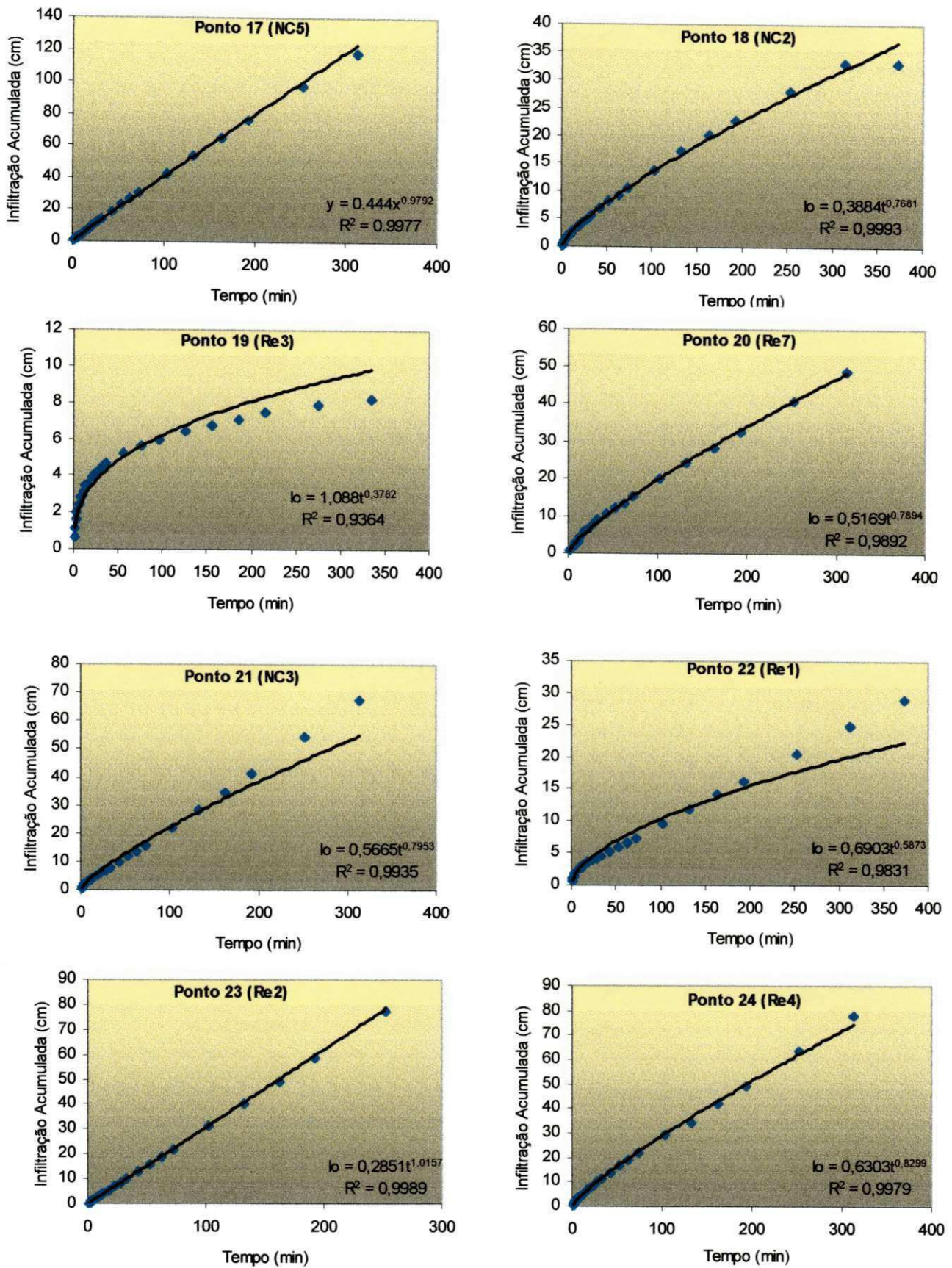


Figura 5.7 – Gráficos de Velocidade de Infiltração (Pontos: 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23 e 24).

5.1.2 Análises em Laboratório e Formação de Banco de Dados

O banco de dados gerado através do Sistema MapInfo 5.0, *Figura 5.8*, permite a associação das características de cada um dos elementos identificados no mapa de alta intensidade de solos.

O banco de dados georeferenciados gerado permitiu a associação dos atributos alfanuméricos aos atributos geográficos da área de interesse. No contexto do trabalho em questão, *o banco de dados possibilitou a associação de um conjunto de informações referentes às características do solo de cada unidade de mapeamento e dos parâmetros: Capacidade de Campo (CC), Ponto de Murchamento (Pm) e Densidade Aparente (Da) os quais, foram determinados em Laboratório, conforme descrito previamente. Também estão georeferenciadas todas a informação de determinação dos parâmetros de campo e dos ensaios de infiltração, onde em cada ponto associado ao solo ou teste de infiltração contém informações básicas necessárias. Os valores obtidos em laboratório e no campo são mostrados na Tabela 5.6.*

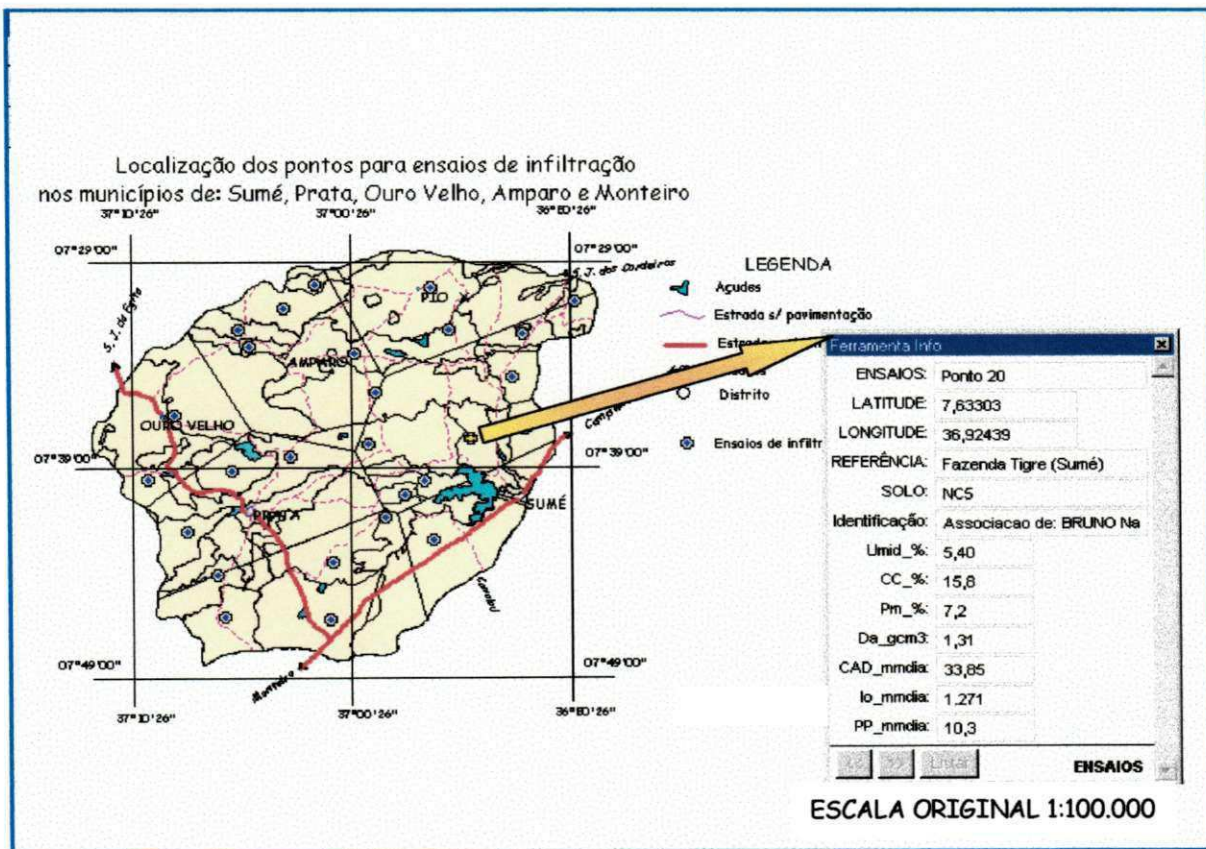


Figura 5.8 – Banco de dados do mapa de solos e dos ensaios de infiltração.

Tabela 5.6 – Resultados das análises laboratoriais.

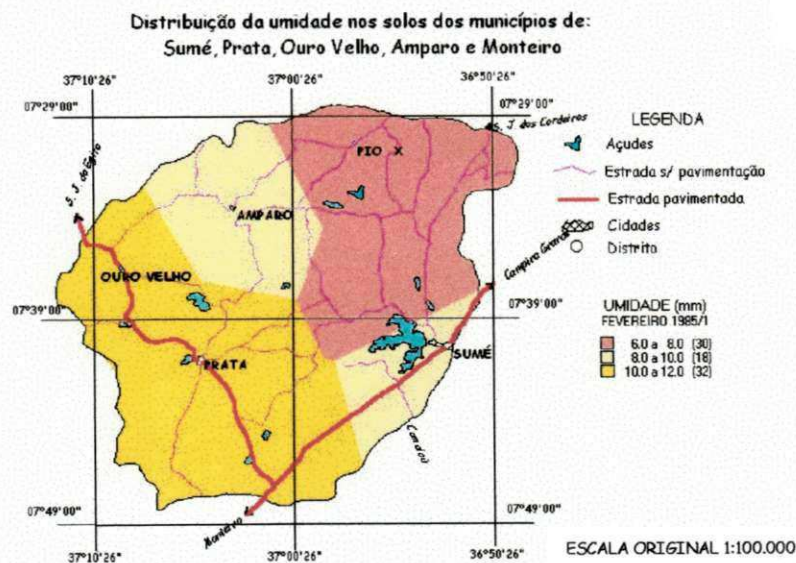
nº da lata	Tipo de	Peso da lata	Peso do solo	Peso do solo seco	Umidade	Cc	Pm	Peso	Da	CAD	Io	PP	Coordenadas	
													tampa	Solo
1124	Re7	33.88	277.91	263.55	6.25	16.4	9.5	139.85	1.398	28.94	4600	10.3	37.04839	7.64736
916	Re7	30.65	288.73	278.14	4.28	19.4	7.9	138.9	1.389	47.91	4600	10.3	37.08943	7.71145
1137	Re5	34.85	304.09	299.35	1.79	8.0	2.3	159.78	1.598	27.32	4600	10.3	37.09158	7.54357
727	NC3	33.34	284.85	276.19	3.57	11.6	5.9	126.34	1.263	21.60	1840	10.3	36.93197	7.54553
522	Re4	32.01	306.27	299.82	2.41	8.6	3.2	143.03	1.43	23.17	4600	10.3	36.99772	7.59275
837	Re6	33.13	275.8	260.73	6.62	17.4	9.2	156.91	1.568	38.58	4600	10.3	37.10592	7.74047
880	NC1	32.07	279.81	266.69	5.59	15.7	8	131.7	1.316	30.41	1376	10.3	36.99593	7.56390
114	NC1	30.15	260.69	241.46	9.10	25.1	12	130.2	1.301	50.35	1376	10.3	37.14263	7.61387
931	Re4	34.13	287.54	282.28	2.12	6.3	2.4	142.12	1.421	16.63	4600	10.3	36.88517	7.56628
613	NC2	33.74	247.72	226.43	11.05	25	16	133.83	1.337	36.10	1398	10.3	37.10119	7.65361
1131	Re2	33.66	319.59	310.66	3.22	8.2	4.3	146.91	1.469	17.18	4600	10.3	36.95558	7.50853
622	NC1	32.83	352.32	346.8	1.76	6.6	2.7	129.85	1.298	15.19	1376	10.3	37.13469	7.70608
464	NC5	33.27	276.32	263.86	5.40	15.8	7.2	131.26	1.312	33.85	1271	10.3	36.92439	7.63303
1005	Re4	32.38	307.96	296.51	4.33	13.4	7.2	142.56	1.425	26.51	4600	10.3	37.08796	7.55729
457	PE	34.87	319.79	312.44	2.65	4.2	2.4	126.63	1.266	6.84	1378	10.3	37.10639	7.78000
928	NC2	32.78	250.42	235.18	7.53	19.2	11	131.95	1.319	32.44	1398	10.3	36.94825	7.66336
1330	NC2	31.78	287.86	276.42	4.68	16.4	9.1	134.12	1.341	29.36	1398	10.3	36.94567	7.72292
158	NC5	31.77	258.57	239.49	9.19	15.8	7.2	130.65	1.306	33.68	1271	10.3	37.02519	7.71328
824	Re7	34.22	317.49	304.51	4.80	19.7	9.1	138.45	1.384	44.01	4600	10.3	36.98031	7.63397
724	NC1	34.97	301.85	291.88	3.88	14.8	6.1	132.84	1.328	34.66	1376	10.3	37.02531	7.77472
570	Re1	34.02	333.9	326.43	2.55	8.3	3.7	157.42	1.574	21.72	4600	10.3	36.87408	7.53625
859	NC4	35.08	291.07	284.1	2.80	14.7	5.7	125.42	1.254	33.86	750	10.3	36.98330	7.68818
858	REe	33.39	278.65	272.61	2.52	8.2	4.4	159.4	1.594	18.17	5736	10.3	36.85308	7.52622
790	NC5	33.94	306.41	294.84	4.43	12.6	6.6	129.32	1.293	23.27	1271	10.3	36.96931	7.68475
1103	NC1	32.25	273.11	269.19	1.65	13.1	1.3	130.56	1.305	46.21	1376	10.3	37.05817	7.51667
428	NC3	30.64	336.91	329.82	2.37	10	3.6	126.34	1.263	24.25	1840	10.3	37.16425	7.66428

5.2 Geração e Análises dos mapas de umidade

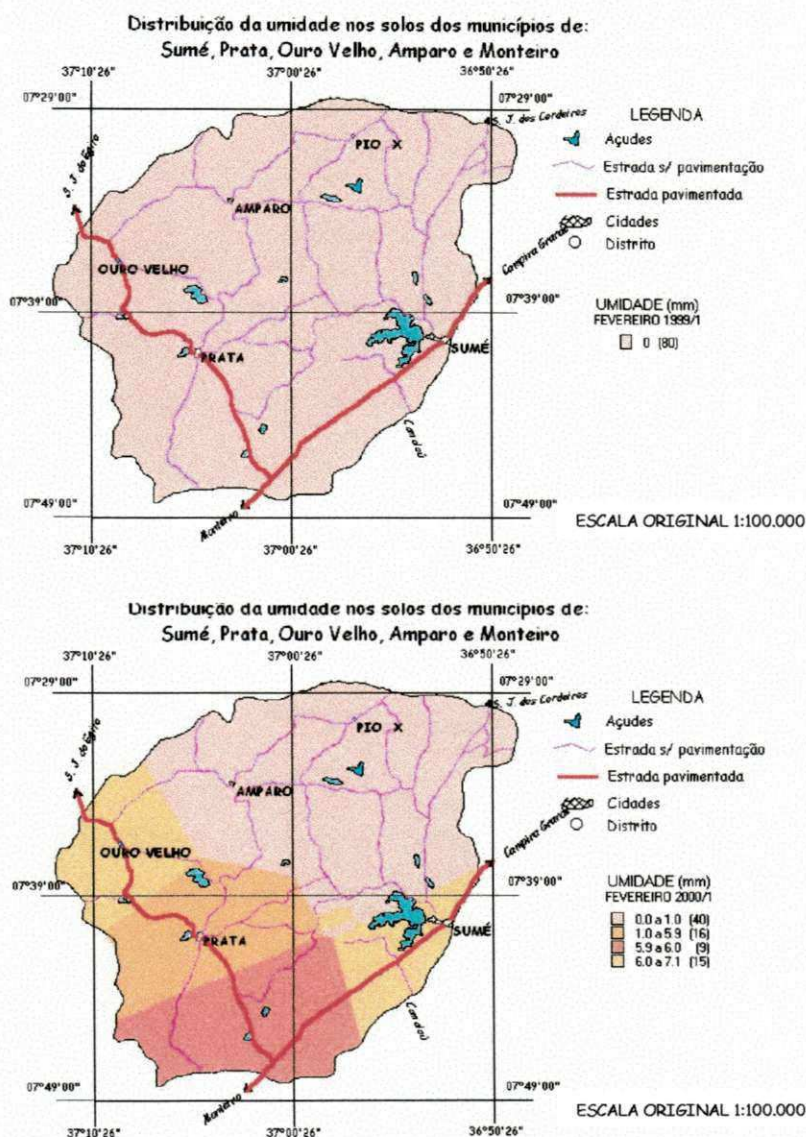
Os mapas temáticos foram gerados com o auxílio do SIG desenvolvido em ambiente Windows, a partir do Software comercial *MapInfo Professional 5.0*, que é uma incorporação da tecnologia de Geoprocessamento para a área agrícola.

Nesse sentido, procurou-se avançar nessa concepção, gerando mapas temáticos para a área de estudo, tomando-se como base: a) Estudo de 03 (três) anos distintos 1985, 1999 e 2000 (com diferentes índices pluviométricos); b) em cada ano estudado foram selecionados três meses pertencentes a estação chuvosa da área de estudo: fevereiro, março e abril; c) Os mapas temáticos foram gerados por *decênio* de cada mês, respectivamente.

A *Figura 5.9* mostra a distribuição da umidade nos solos para o 1º decênio do mês de *fevereiro* dos anos de 1985 (a), 1999 (b) e 2000 (c), respectivamente. Pode-se observar que, no ano de 1985 houve uma boa distribuição de umidade nos solos em toda área; no ano de 1999 não houve umidade nos solos para este decênio; no ano de 2000 houve um decréscimo na distribuição de umidade nos solos que compõem o município de Amparo, parte do município de Sumé e o distrito de PIO X.



(a)



**Figura 5.9 – Distribuição da umidade no 1º decênio de fevereiro
(Anos: 1985, 1999 e 2000).**

A Figura 5.10 mostra a distribuição da umidade nos solos para o 2º decênio do mês de fevereiro dos anos de 1985 (a), 1999 (b) e 2000 (c), respectivamente. Neste período pode-se observar que, no ano de 1985 manteve-se uma boa distribuição de umidade nos solos em toda área; no ano de 1999 não houve umidade nos solos para este decênio; no ano de 2000 houve uma boa distribuição de umidade nos solos, apenas um decréscimo na área que compõe parte do município de Sumé.

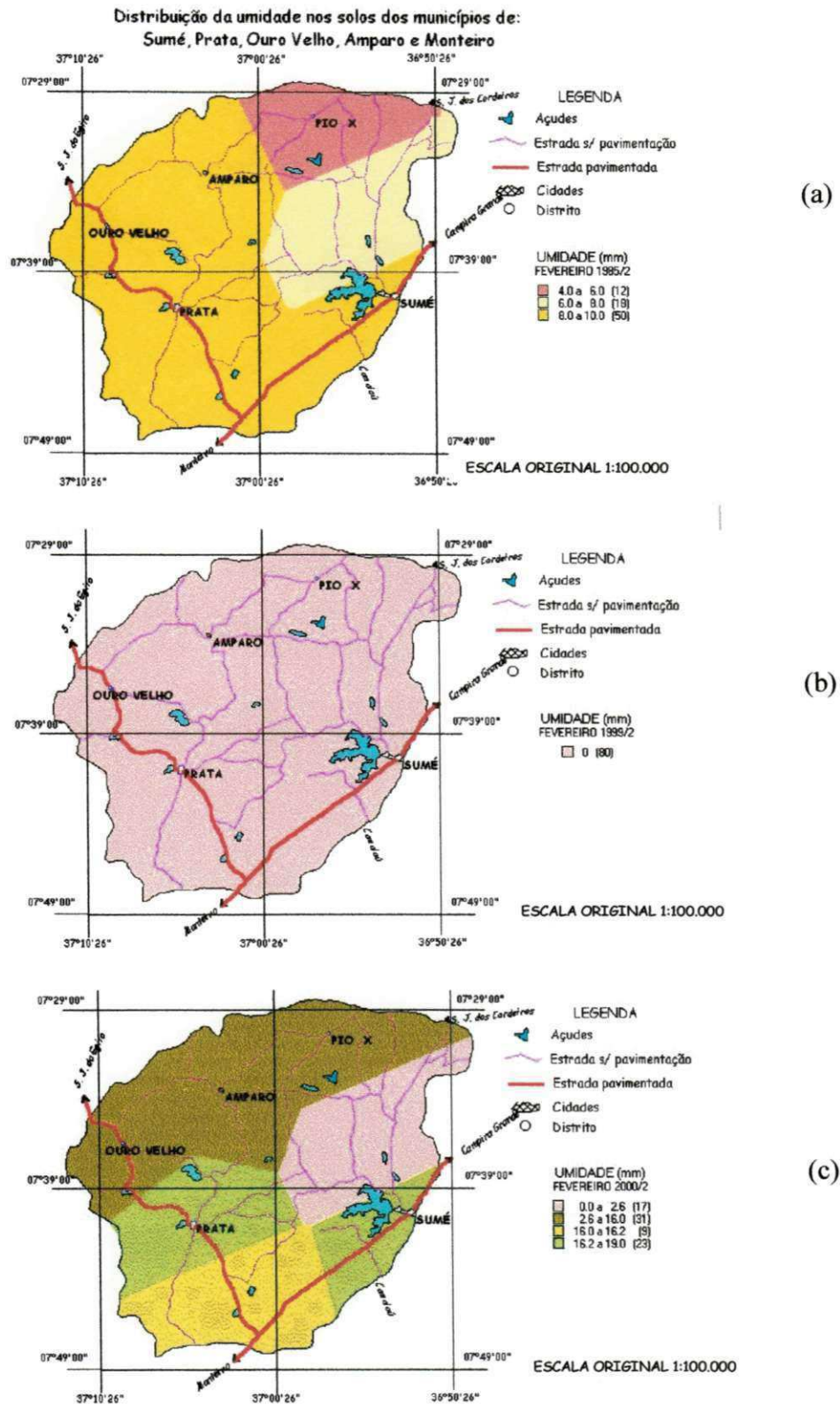
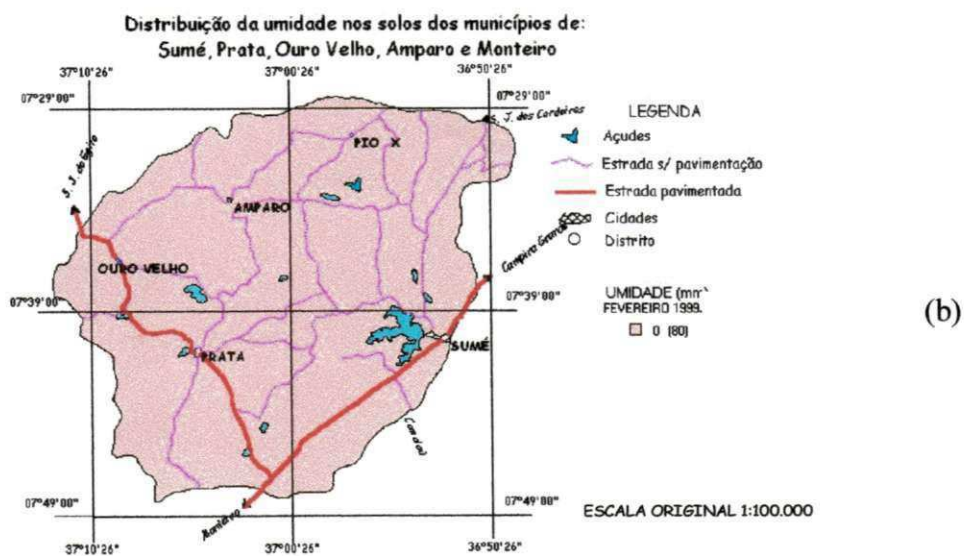
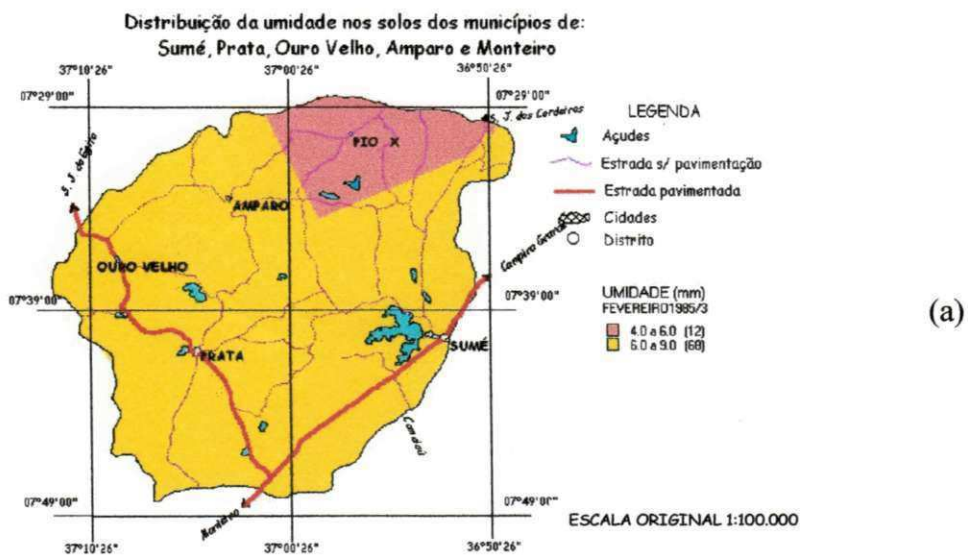


Figura 5.10 – Distribuição da umidade no 2º decênio de fevereiro (Anos: 1985, 1999 e 2000).

A Figura 5.11 mostra a distribuição da umidade nos solos para o 3º decênio do mês de fevereiro dos anos de 1985 (a), 1999 (b) e 2000 (c), respectivamente. Pode-se observar que, no ano de 1985 manteve-se uma boa distribuição de umidade nos solos em toda área; ano de 1999 não houve umidade nos solos para este decênio; no ano de 2000 houve um decréscimo na distribuição da umidade nas áreas que compõem o distrito de PIO X e parte do município de Sumé, as outras áreas manteve-se com boa distribuição na umidade dos solos.



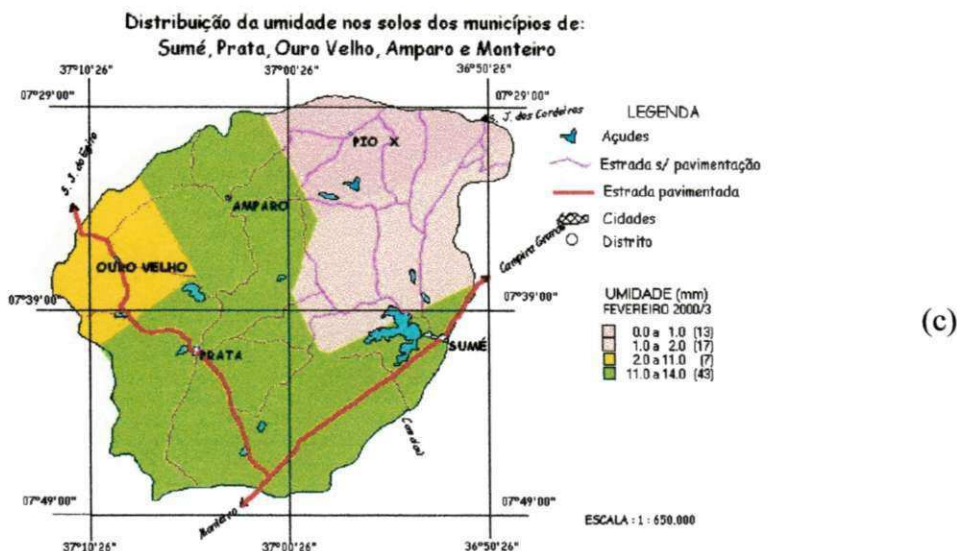
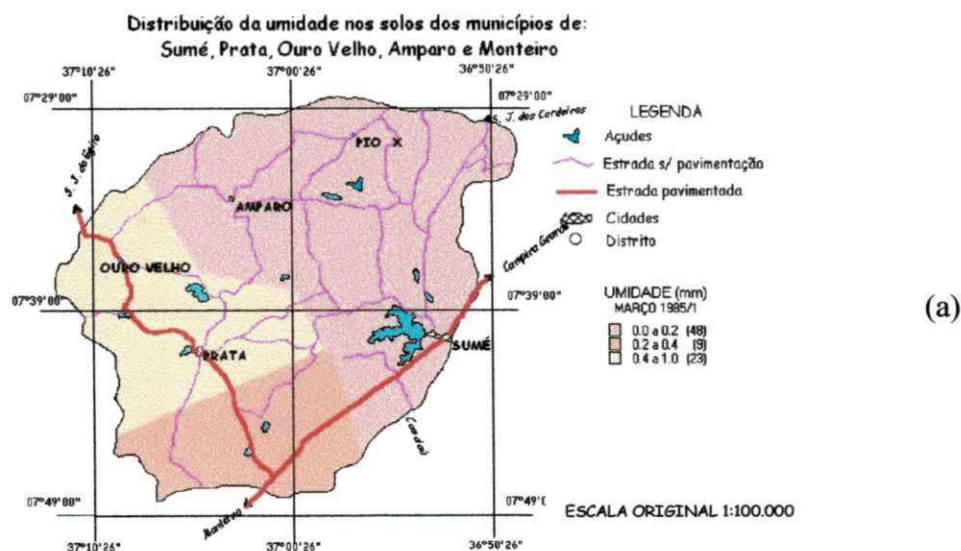
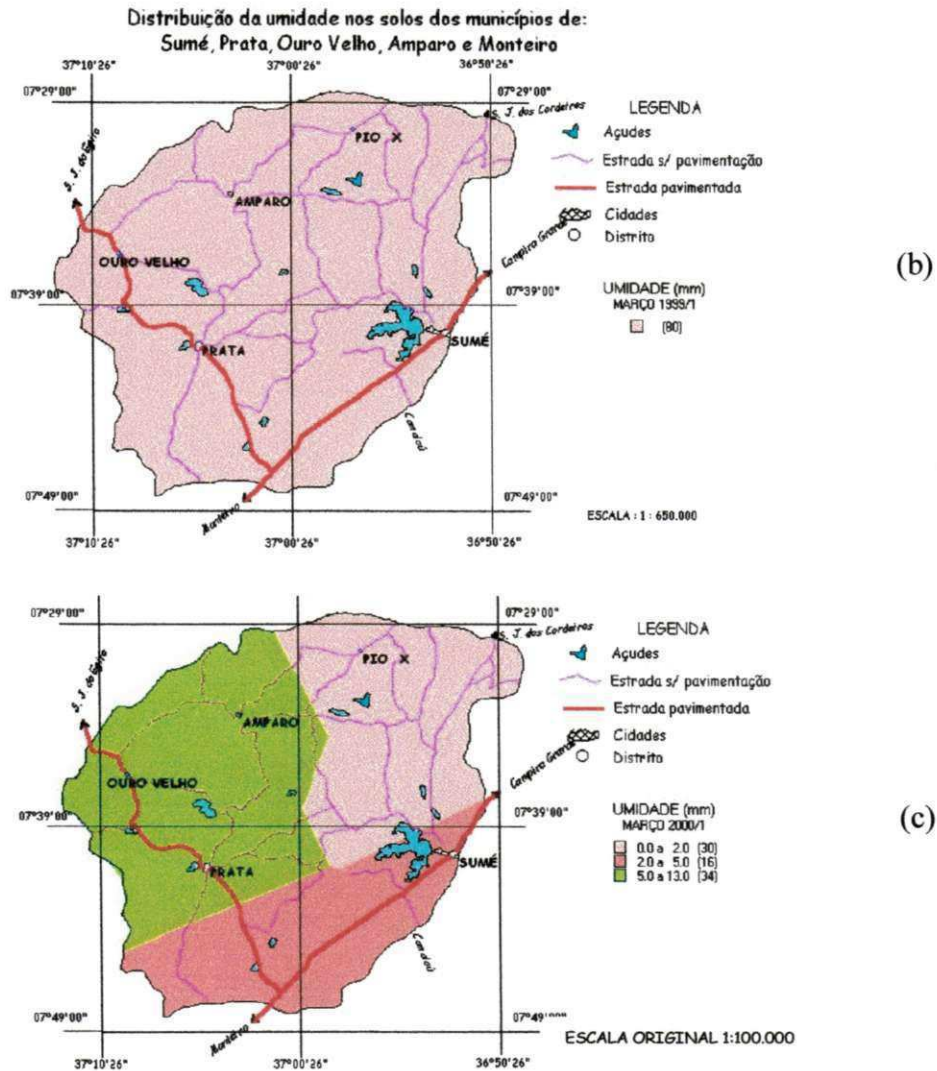


Figura 5.11 – Distribuição da umidade no 3º decênio de fevereiro (Anos: 1985, 1999 e 2000).

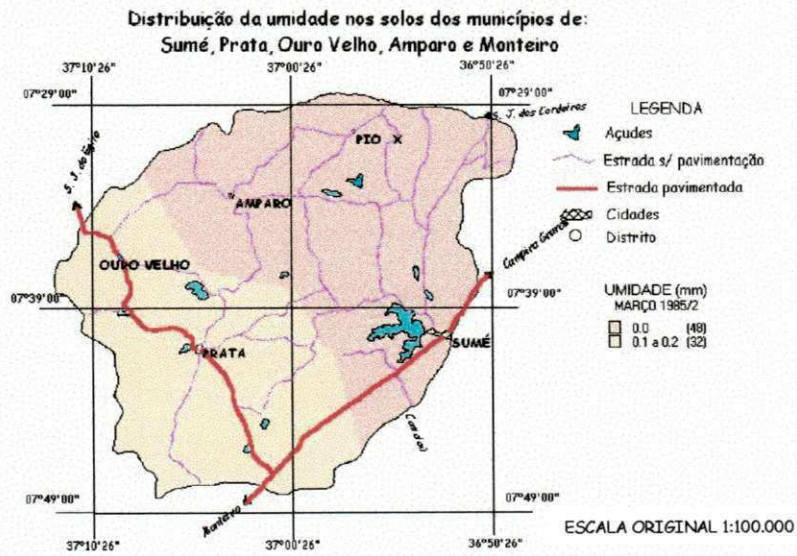
A Figura 5.12 mostra a distribuição da umidade nos solos para o 1º decênio do mês de março dos anos de 1985 (a), 1999 (b) e 2000 (c), respectivamente. Pode-se observar que, no ano de 1985 houve um decréscimo na distribuição da umidade nos solos em toda área; no ano de 1999 não houve umidade nos solos para este decênio; no ano de 2000 houve um decréscimo na distribuição da umidade nas áreas que compõem o distrito de PIO X, município de Sumé e parte do município da Prata.



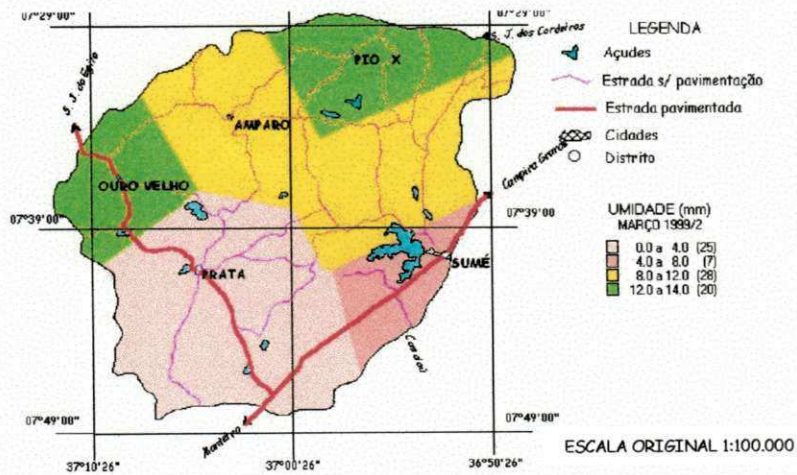


**Figura 5.12 – Distribuição da umidade no 1º decênio de março
(Anos: 1985, 1999 e 2000).**

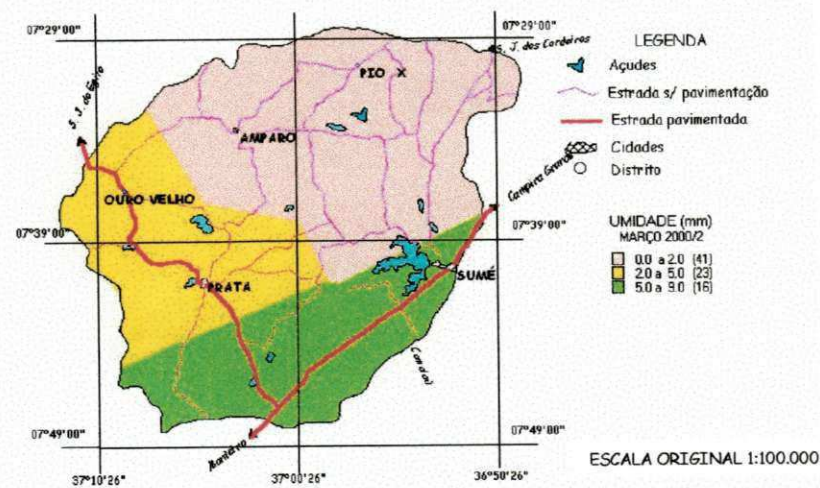
A Figura 5.13 mostra a distribuição da umidade nos solos para o 2º decênio do mês de março dos anos de 1985 (a), 1999 (b) e 2000 (c), respectivamente. Pode-se observar que, no ano de 1985 manteve-se a baixa distribuição da umidade nos solos em toda área; no ano de 1999 houve uma boa distribuição da umidade nos solos em quase toda área, mantendo um decréscimo na área que compõe o município da Prata; no ano de 2000 manteve-se a baixa umidade nos solos que compõem o distrito de PIO X, parte do município de Sumé e avançou-se para os solos que compõem o município de Amparo.



(a)



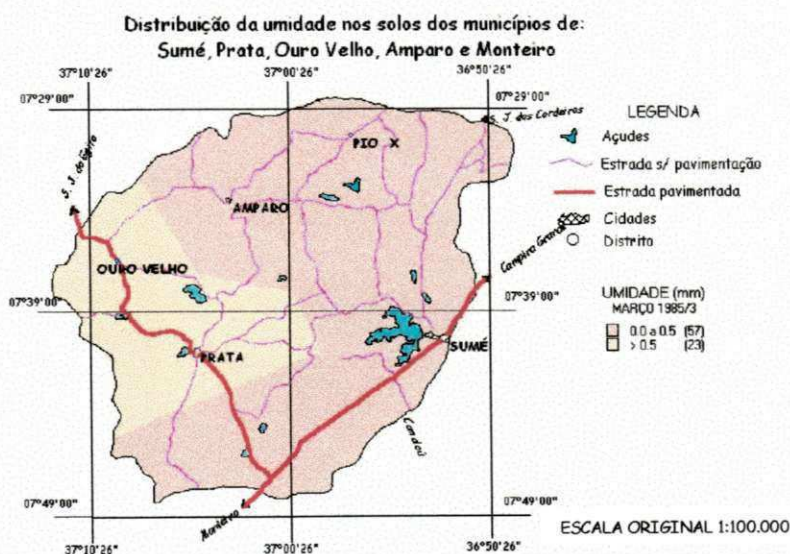
(b)



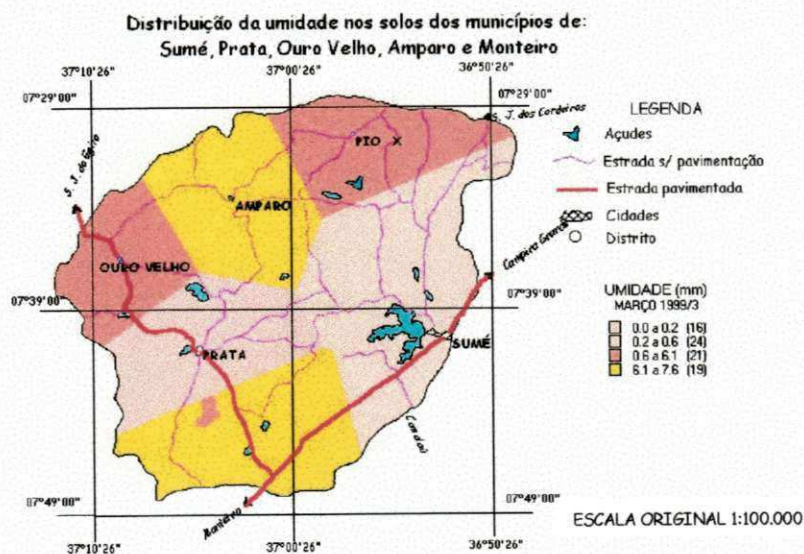
(c)

Figura 5.13 – Distribuição da umidade no 2º decênio de março (Anos: 1985, 1999 e 2000).

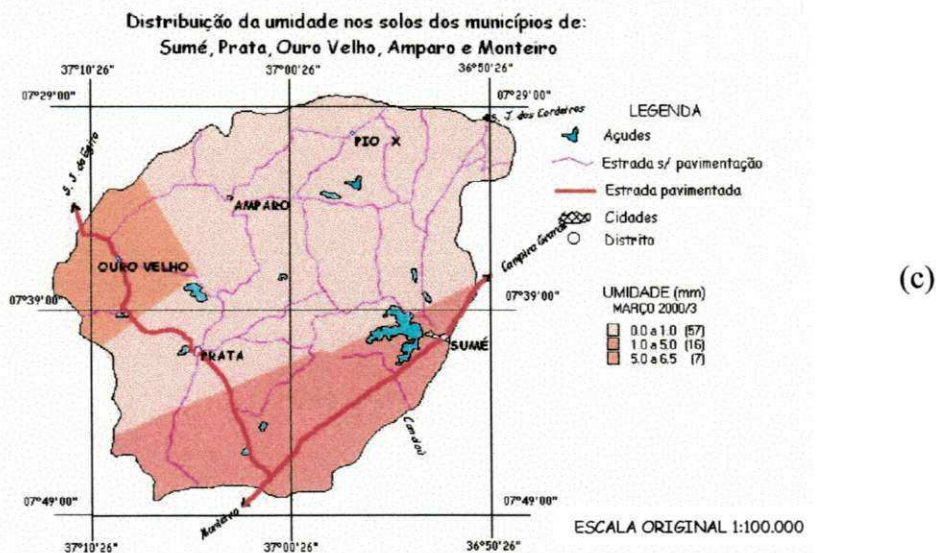
A Figura 5.14 mostra a distribuição da umidade nos solos para o 3º decênio do mês de março dos anos de 1985 (a), 1999 (b) e 2000 (c), respectivamente. Pode-se observar que, no ano de 1985 manteve-se a baixa distribuição da umidade nos solos em toda área; no ano de 1999 manteve-se com um decréscimo da umidade nos solos que compõem o município da Prata avançando-se para o município de Sumé, e mantendo uma boa distribuição da umidade no restante da área; no ano de 2000 manteve-se a baixa umidade nos solos que compõem o distrito de PIO X e Amparo, avançando-se para o município da Prata, no restante da área manteve-se com uma boa distribuição da umidade.



(a)

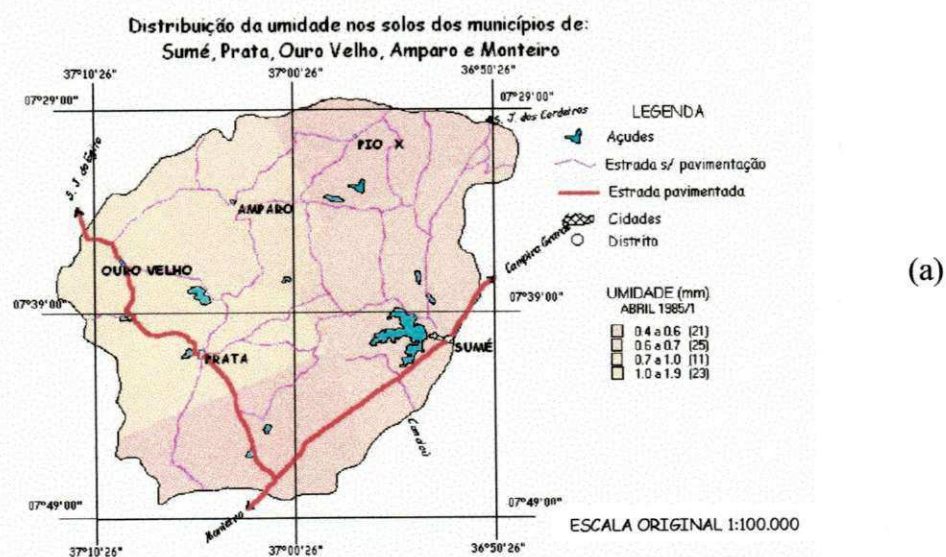


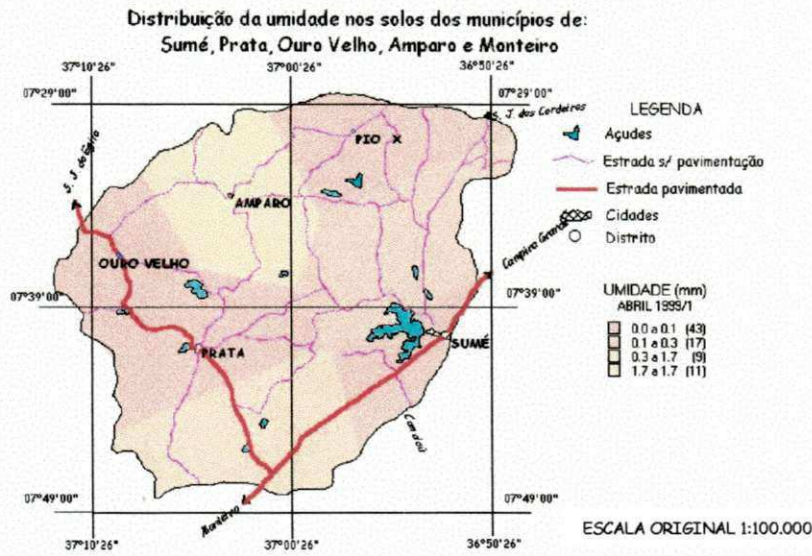
(b)



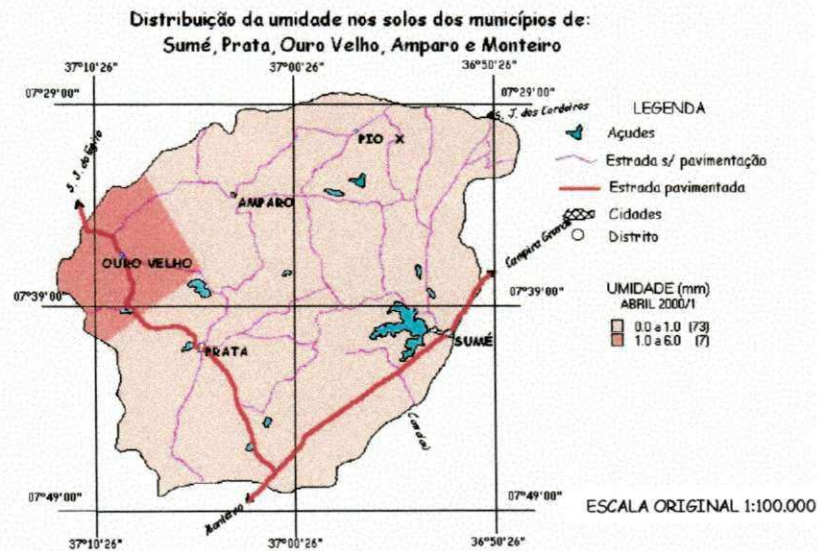
**Figura 5.14– Distribuição da umidade no 3º decênio de março
(Anos: 1985, 1999 e 2000).**

A Figura 5.15 mostra a distribuição da umidade nos solos para o 1º decênio do mês de abril dos anos de 1985 (a), 1999 (b) e 2000 (c), respectivamente. Pode-se observar que, no ano de 1985 manteve-se a baixa distribuição da umidade nos solos em toda área; no ano de 1999 houve um decréscimo da umidade nos solos em toda área; no ano de 2000 manteve-se a baixa umidade nos solos em grande parte da área, apenas mantendo uma boa umidade nos solos que compõem o município de Ouro Velho.





(b)



(c)

**Figura 5.15 – Distribuição da umidade no 1º decênio de abril
(Anos: 1985, 1999 e 2000).**

A Figura 5.16 mostra a distribuição da umidade nos solos para o 2º decênio do mês de abril dos anos de 1985 (a), 1999 (b) e 2000 (c), respectivamente. Pode-se observar que nos anos de 1985 e 1999 permaneceram com baixa distribuição da umidade nos solos em toda área; no ano de 2000 houve um aumento significativo da distribuição da umidade nos solos na maior parte da área, manteve-se baixa a umidade nos solos que compõem parte do município de Sumé

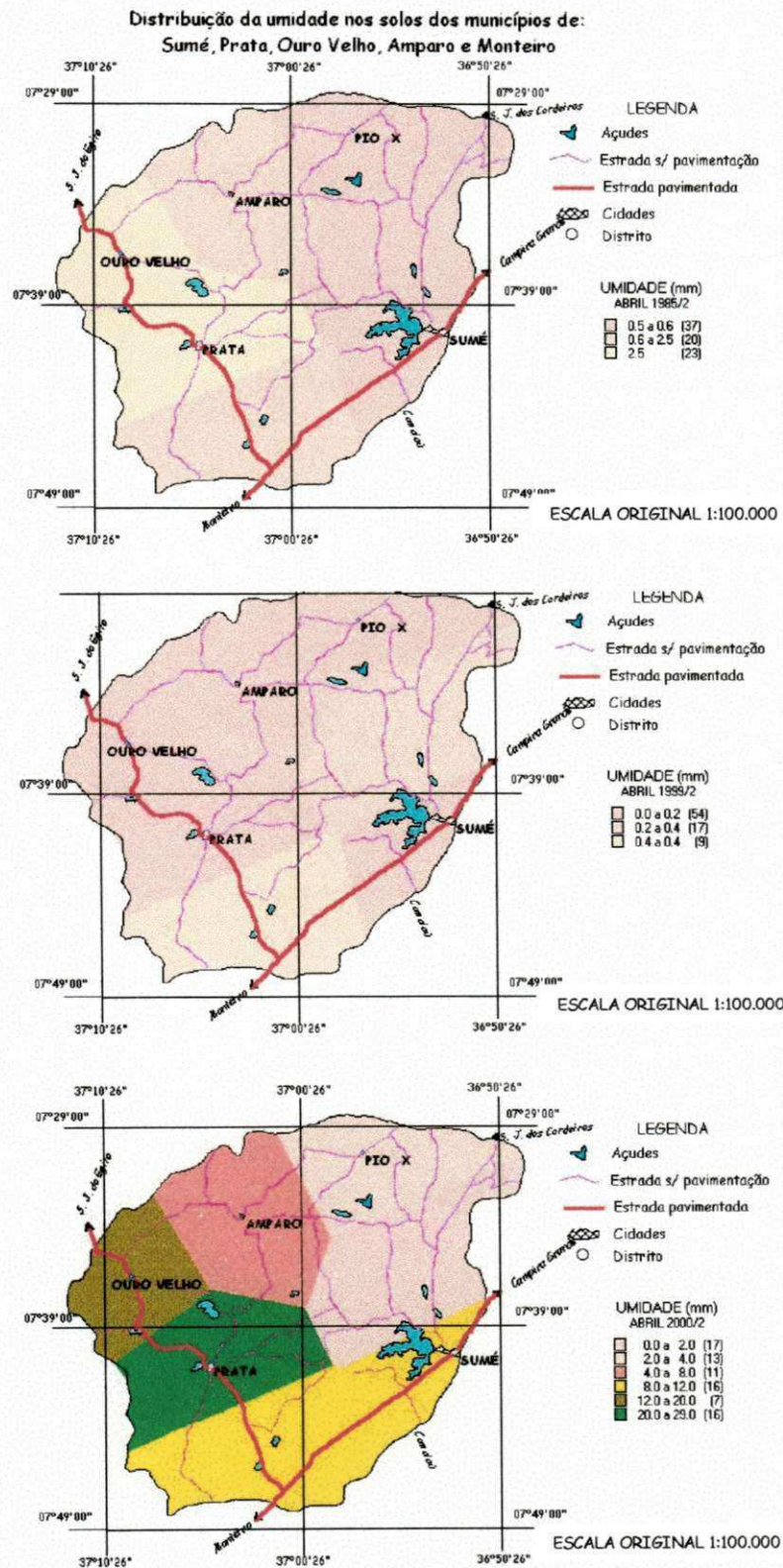
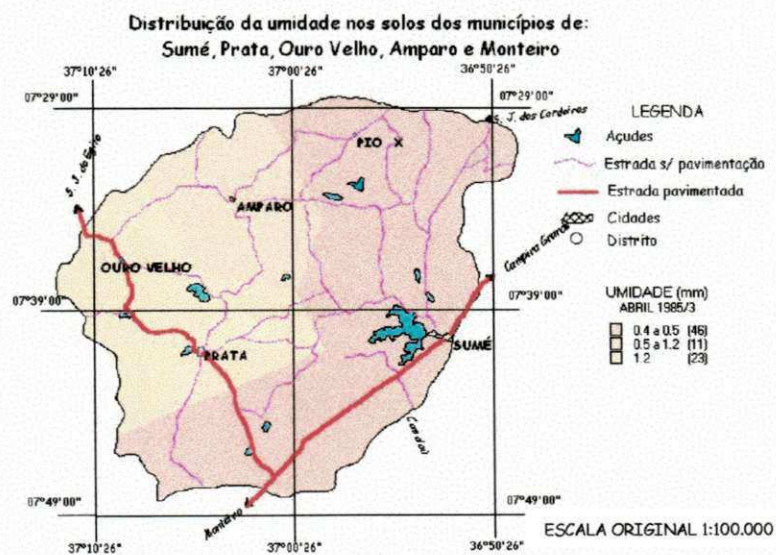
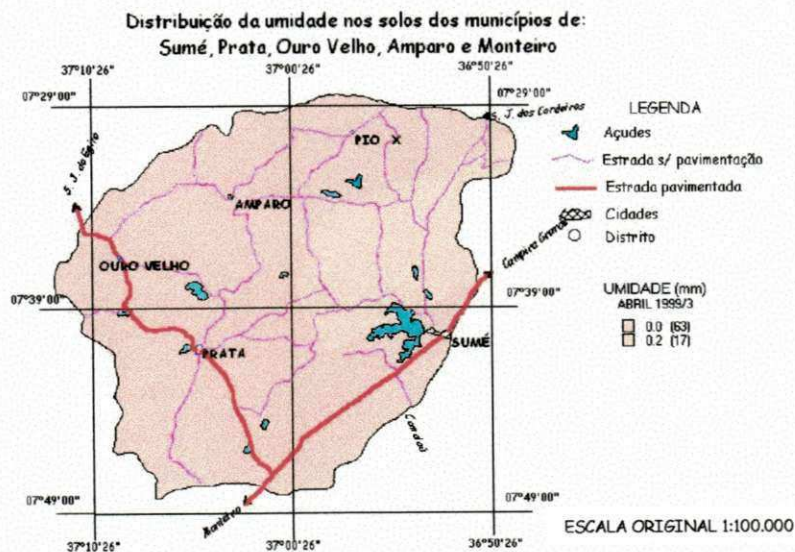


Figura 5.53 – Distribuição da umidade no 2º decênio de abril (Anos: 1985, 1999 e 2000).

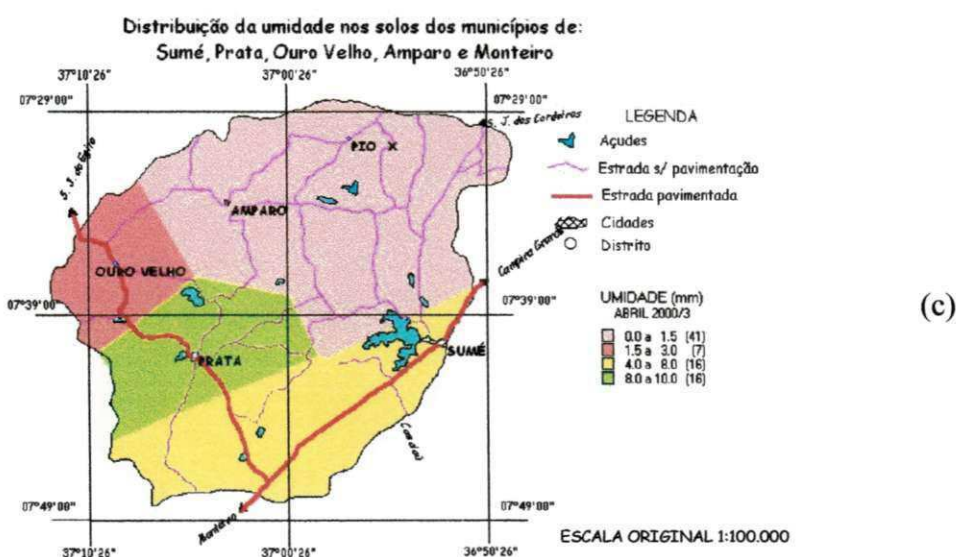
A Figura 5.17 mostra a distribuição da umidade nos solos para o 3º decênio do mês de abril dos anos de 1985 (a), 1999 (b) e 2000 (c), respectivamente. Pode-se observar que, nos anos de 1985 e 1999 permaneceram com baixa distribuição da umidade nos solos em toda área; no ano de 2000 houve um decréscimo da distribuição da umidade nos solos no distrito de PIO X, município de Amparo e parte do município de Sumé, nas outras áreas manteve-se uma boa distribuição da umidade nos respectivos solos.



(a)



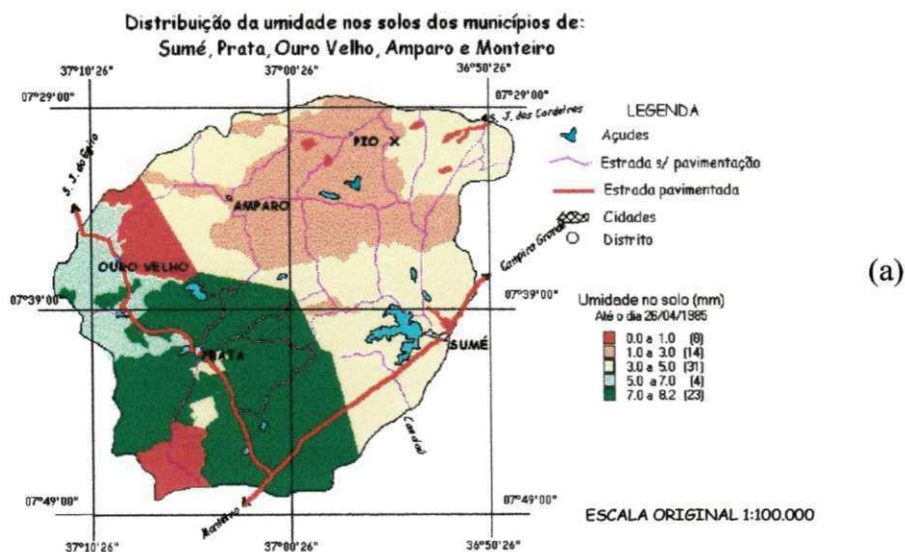
(b)



**Figura 5.17 – Distribuição da umidade no 3º decênio de abril
(Anos: 1985, 1999 e 2000).**

Geração e análise de mapas (Exemplos de Aplicação)

A *Figura 5.18* mostra uma visão geral da distribuição da umidade nos solos para o dia 26 de abril dos anos de 1985 (a) e 2000 (b), respectivamente e, a *Figura 5.19* mostra o número de dias para ocorrer o déficit hídrico nos solos para os anos de 1985 (c) e 2000 (d), respectivamente. Pode-se observar que a distribuição da umidade em toda área de estudo no dia 26 de abril foi bastante uniforme, podendo as culturas, em determinados tipos de solo, suportar até 6 dias sem a ocorrência de chuva ou irrigação.



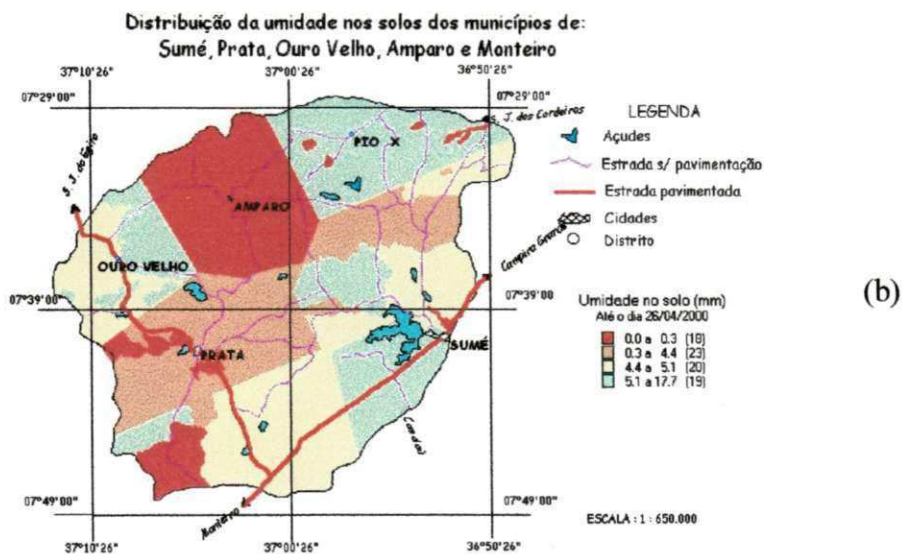


Figura 5.18 – Distribuição da umidade nos solos, dia 26/04 (1985 e 2000).

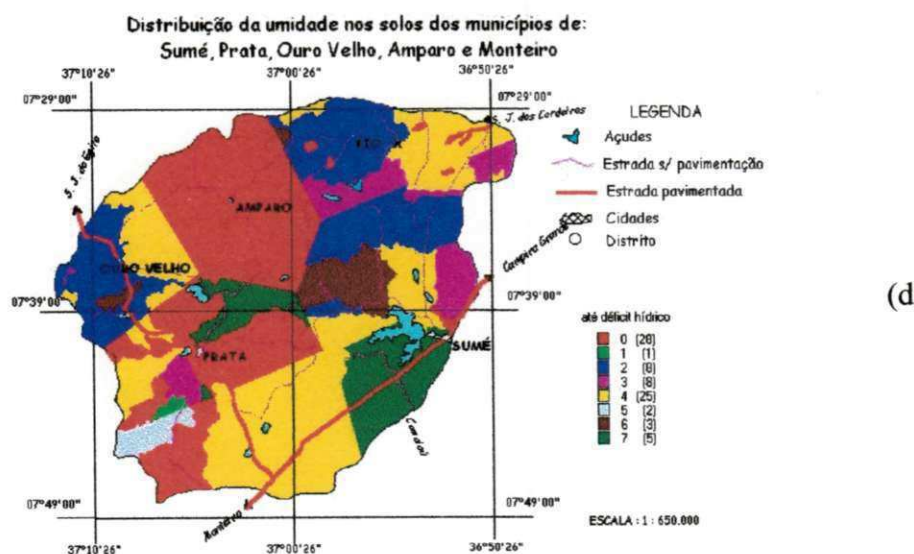
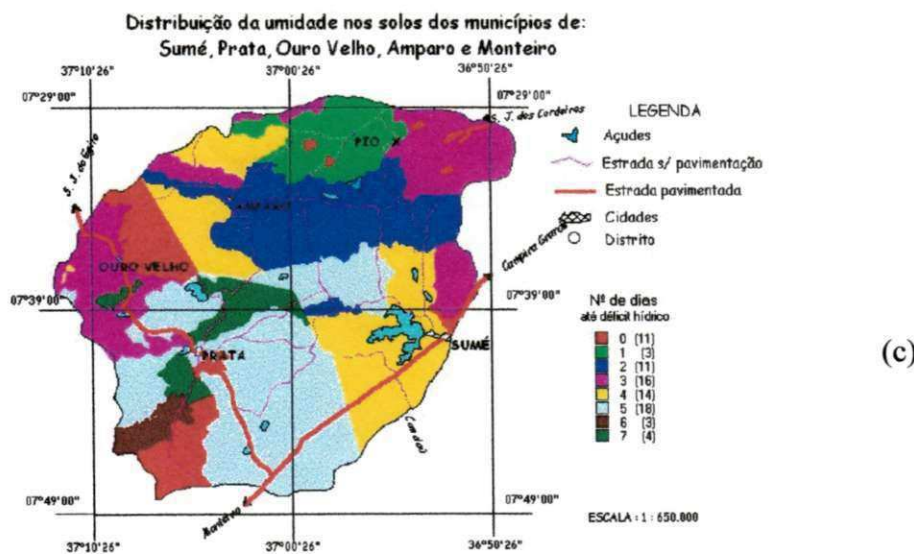


Figura 5.19 – Número de dias até o déficit hídrico a partir de 26/04 (1985 e 2000).

Para o ano de 1999, como mostram as Figuras 5.20 e 5.21, observa-se a baixa distribuição da umidade nos solos e conseqüentemente um déficit hídrico, respectivamente em toda área de estudo, devido a pouca chuva ocorrida na região. Estes dados permitem dar orientação técnica aos agricultores da área de estudo.

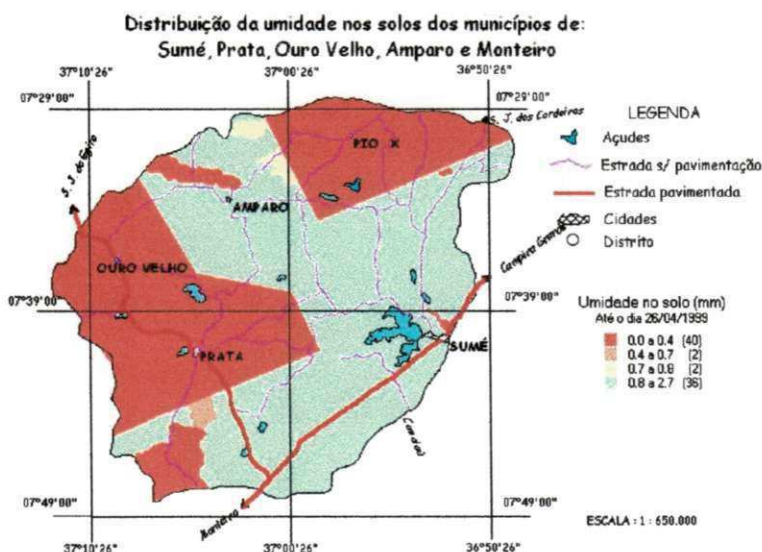


Figura 5.20 – Distribuição da umidade nos solos no dia 26/04/1999.

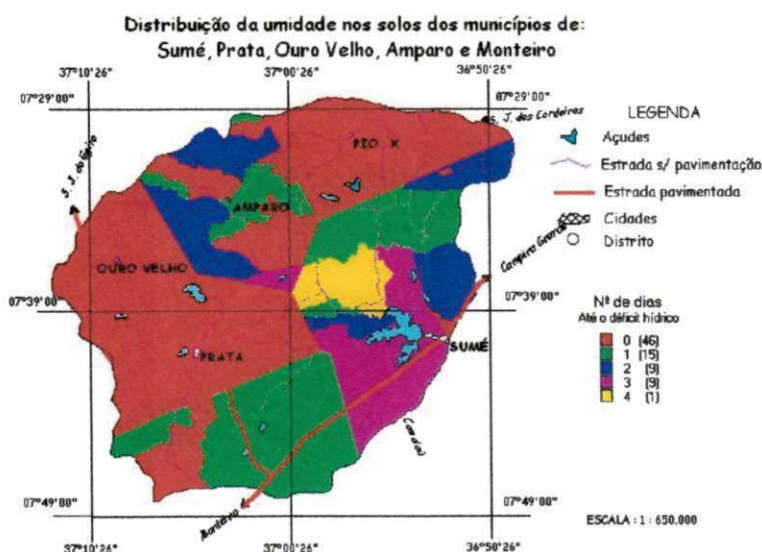


Figura 5.21 – Número de dias até o déficit hídrico a partir de 26/04/1999.

Análise Gráfica (Exemplo de aplicação para a cultura do feijão-verde)

Como exemplo de aplicação do modelo, optou-se pela cultura do feijão, por ser esta a cultura de subsistência mais cultivada na região.

As Figuras 5.22, 5.23 e 5.24 mostram a distribuição da umidade do solo durante 90 dias, a partir de fevereiro até 26 de abril, para o município de Sumé nos anos de 1985, 1999 e 2000, respectivamente. A Tabela 5.7, apresenta o período de crescimento do feijão-verde (DOORENBOS, 1979). Conforme se observa nos referidos gráficos, pode-se fazer as seguintes considerações:

Tabela 5.7 – Fases fenológicas para o feijão verde

Estágio		Dias
1	Estabelecimento	10 – 15
2	Vegetativo (até a primeira flor)	20 – 25
3	Floração (incluindo a formação da vagem)	15 – 25
4	Formação da colheita (desenvolvimento e enchimento da vagem)	15 – 20
5	Maturação	0 – 5

Ano de 1985

A Figura 5.22 mostra um déficit hídrico significativo a partir do 30º dia e perdurou até o 90º dia, isso significa que a produtividade agrícola seria afetada, pois os solos desta região apresentaram apenas umidade nos primeiros 30 dias, a partir desta data seria necessário o uso da irrigação até a colheita.

Ano de 1999

A Figura 5.23 mostra que para este ano, também toda produtividade agrícola seria afetada, pois durante os 90 dias o solo apresentou umidade apenas no dia 17 de fevereiro, sendo o restante do período com umidade praticamente igual a zero.

Ano de 2000

A *Figura 5.24* mostra uma boa distribuição de umidade na maioria dos estágios, apresentando um déficit hídrico a partir do 59º dia. Isto significa que, para este caso, haveria déficit hídrico no período de formação da colheita (Estágio 4 – desenvolvimento e enchimento das vagens), provocando no entanto, efeitos indesejáveis como vagens pequenas, curtas e descoradas e apresentando sementes deformadas, podendo ocorrer também um maior teor de fibras das vagens prejudicando a suavidade das sementes. Para este caso seria necessário a utilização da irrigação nesta fase final de colheita.

Como visto acima, este procedimento é muito importante para diminuir os riscos e as vulnerabilidades agrícolas frente as mudanças climáticas que ocorrem no Nordeste Brasileiro, causando instabilidades da pluviosidade. O emprego desta técnica pode ajudar aos tomadores de decisão a planejar as atividades agrícolas com vistas ao desenvolvimento sustentável da região com a diminuição dos riscos das perdas agrícolas e o aproveitamento máximo das reservas hídricas (superficiais e de superfície). Nesse sentido, é que as Prefeituras dos municípios de Amparo e Prata se interessaram para utilizarem o sistema desenvolvido neste trabalho, como ajuda na definição da melhor época de plantio do milho e feijão, as suas principais culturas de subsistência, e com base nestes dados elaborar as políticas de distribuição de sementes aos pequenos agricultores.

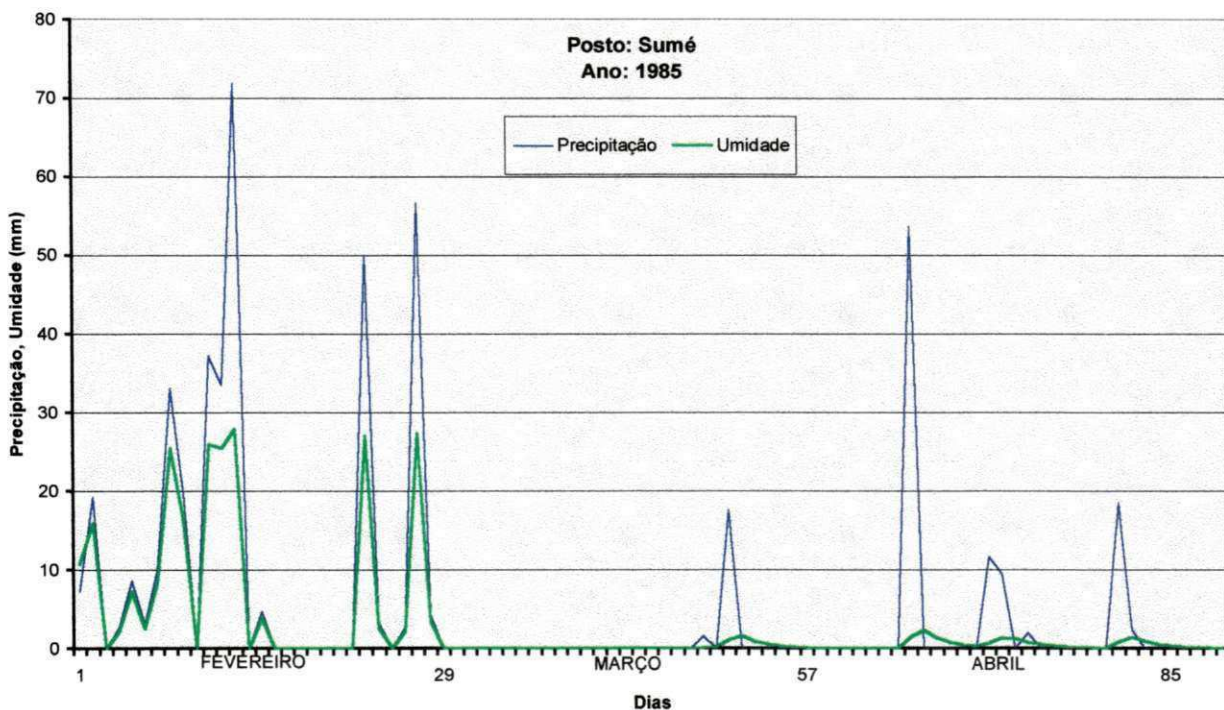


Figura 5.22 – Umidade no solo a partir de fevereiro até 26 de abril.

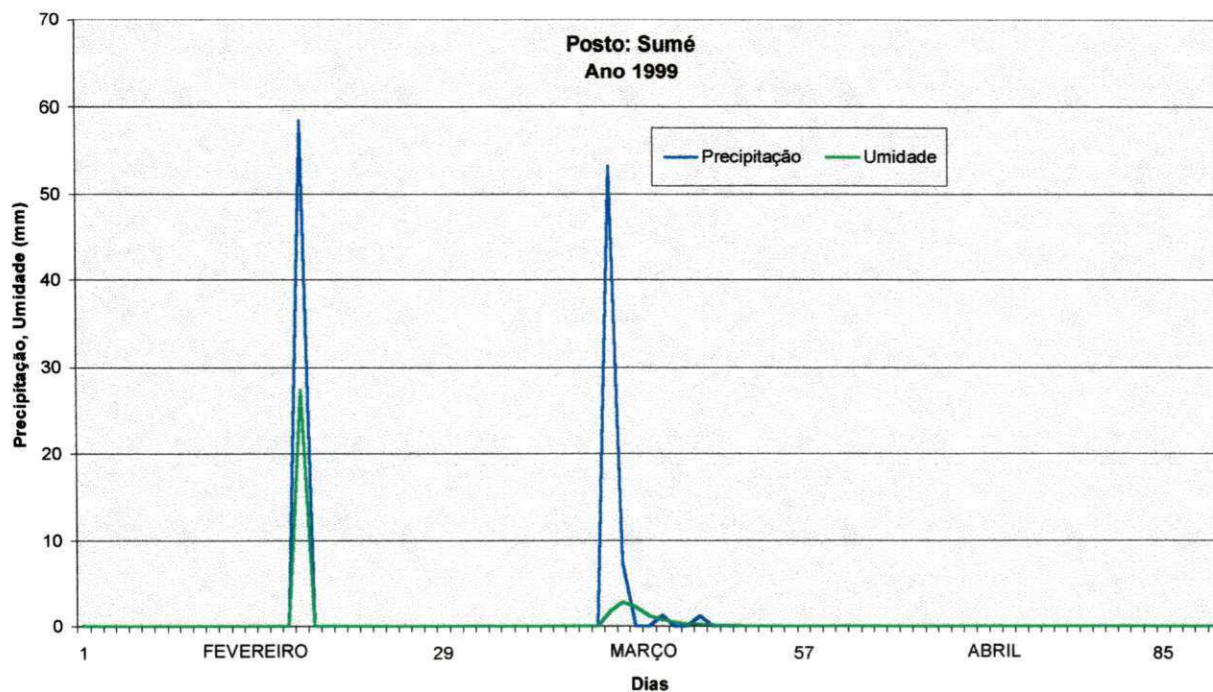


Figura 5.23 – Umidade no solo a partir de fevereiro até 26 de abril.

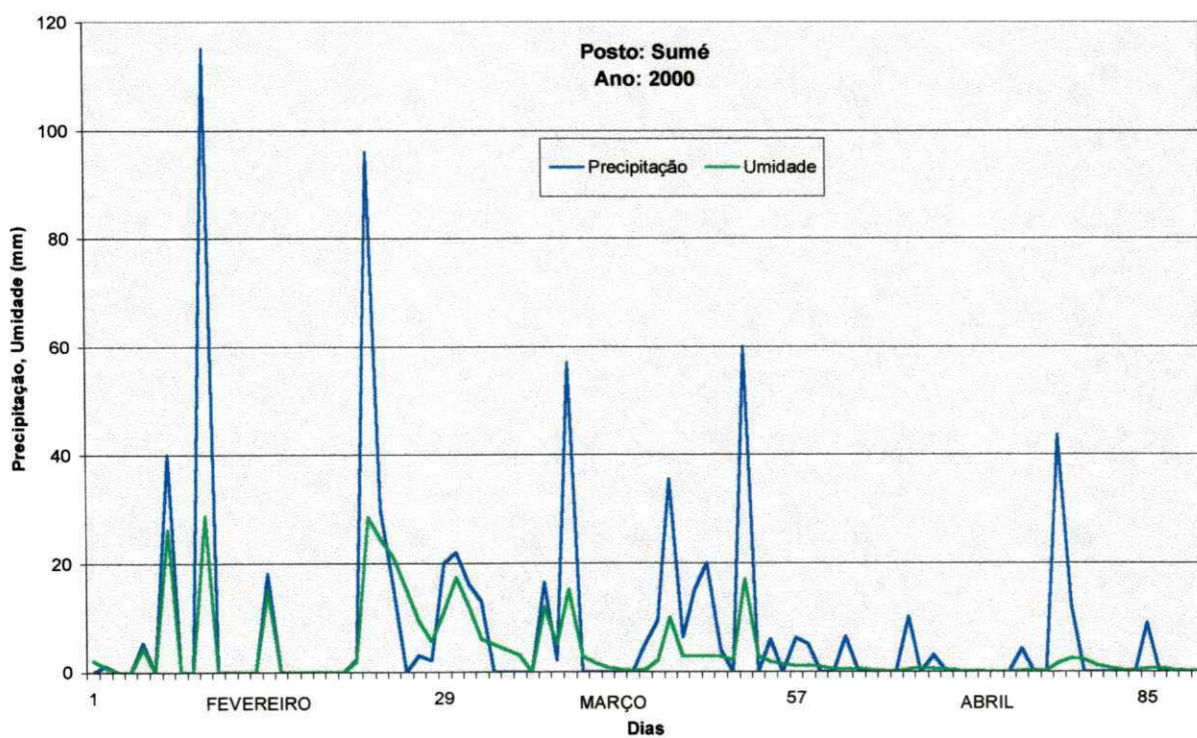


Figura 5.24 – Umidade no solo a partir de fevereiro até 26 de abril.

CAPÍTULO 6

Conclusões e Recomendações

- **Conclusões**

Considerando que os municípios da área de estudo possuem condições ambientais (topográficas, pedológicas, etc) favoráveis à exploração da cultura de feijão, fazendo-se uma análise estritamente sob o ponto de vista da umidade do solo, pode-se concluir que:

1. As tecnologias do Sistema de Informações Geográfica SIG e de Modelagem de Umidade de Solos utilizadas neste trabalho mostraram-se adequadas na geração de banco de dados e de mapas temáticos bem como na distribuição temporal da umidade nos solos.
2. O levantamento bibliográfico e o trabalho de campo realizado para a área de estudo foram imprescindíveis no desenvolvimento deste trabalho, permitindo a compilação do material básico para atender os seus objetivos.
3. O Sistema MapInfo 5.0 possibilitou a geração dos mapas de umidade e de solos, essenciais ao processo de avaliação da distribuição da umidade nos solos da área de estudo.

4. O banco de dados georeferenciado proporciona acesso rápido e de forma prática às informações importantes, constituindo assim, uma ferramenta de grande utilidade, gerado por este trabalho.

5. A metodologia utilizada neste trabalho, apresentou vantagens em relação aos métodos tradicionais, possibilitando maior operacionalidade na realização de sobreposição de mapas (cruzamento de dados) e no cálculo de áreas, na geração de mapas temáticos (umidade, solos, etc) e facilidade e atualização da base cartográfica.

6. Para a área de estudo, a principal limitação da utilização agrícola refere-se à escassez de água.

7. Os resultados alcançados evidenciam a correlação entre informações contidas no mapa de solos e as restrições ambientais impostas à área considerada (clima, relevo, características do solo, etc), proporcionando a aquisição de conhecimentos adicionais sobre a dinâmica ambiental da região.

- **Recomendações**

1. Face os resultados alcançados e o caráter pioneiro do trabalho ora desenvolvido na área de estudo, recomenda-se a calibração deste modelo, o que torna-se de fundamental importância o monitoramento efetivo da umidade dos solos de cada município da área estudada, isto é, a calibração do modelo para as condições fisioclimáticas da área de estudo, visando a obtenção de resultados mais confiáveis.

2. Com a primeira etapa do modelo determinada e com os resultados ora apresentados, pode-se então iniciar a calibração, propriamente dita do modelo, com a realização das medições de umidade em função das precipitações ocorridas, para comparação dos valores observados e valores calculados pelo modelo e ajuste dos seus parâmetros.

3. Sugere-se que para se ter dados precisos e rápidos, é necessário a instalação de Estações Agrometeorológicas Automáticas (EAA's), pois permitirá fazer o monitoramento em tempo real das variáveis agrometeorológicas, inclusive dos dados de umidade. Com o modelo calibrado, durante o período chuvoso da área de estudo, e com as EAA's instaladas, as medições de umidade do solo serão aferidas com os valores gerados pelo modelo.

4. As informações, juntamente com os dados já existentes neste trabalho, formarão um banco de dados consistente, que ficará à disposição dos usuários (Secretarias de Estado, EMATER, Prefeituras Municipais, Banco do Brasil, Banco do Nordeste, etc), que terão acesso aos dados através de um simples sistema formado por um microcomputador ou através de boletins periódicos. Posteriormente, com o modelo devidamente calibrado para a área de estudo, recomenda-se estendê-lo para outras localidades do estado.

5. Os resultados alcançados foram bastante satisfatórios, e permitem que seja recomendada a continuação deste trabalho, dentro da linha de pesquisa definida, porém com a utilização de softwares mais avançados, que ofereçam melhores condições de operacionalidade, possibilitando sua utilização em áreas mais extensas e conseqüentemente com maior volume de informações.

Referências Bibliográficas

- AGUIAR, J. V. DE. Parâmetros Físico-hídricos de um Solo sem Cobertura Vegetal e Avaliação do Modelo de Umidade do Solo para Atividades Agrícolas (MUSAG). Piracicaba-SP, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1997 76 p.: il (Tese de Doutorado)
- ALBUQUERQUE, J. P. T. Os Recursos de Água Subterrânea do Trópico Semi-Árido do Estado da Paraíba. UFPB, Campina Grande-PB, 1984. 195 p. (Dissertação de Mestrado)
- ASHJAE, J. "GPS Receiver Technologies", Proceedings of the 42nd Annual Meeting of The Institute of Navigation, June 1986, Seattle, Washington.
- ASSAD, E. D. e SANO, E. E. Sistemas de Informações Geográficas. Aplicações na Agricultura. EMBRAPA, CPAC. Brasília-DF, 1993. p. 173-199
- BERNARDO, S. Manual de Irrigação. 6. Ed. Viçosa: UFV, Impressão Universitária, 1995. 657p. : il
- BERTHELOT, R., Modelo de Simulação pluvio-hidrométrica CHAINFZ para reconstituição de descargas em bacias de regime pluvial. Instituto de Pesquisas Hidráulicas, UFRGS, 1975, Porto Alegre.

- BESER, J. & PARKINSON, B. W. "The Application of NAVSTAR Differential GPS in The Civilian Community", *Navigation: The Journal of The Institute of Navigation*, vol 29, n 2, pp 107 – 136, 1982.
- BOSSLER, J. D.; GOAD, C. C. & BENDER, P. L. "Using the GPS for Geodetic Positioning", *Bulletin Geodesique*, pp 553 – 563, 1979
- BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA; I – Levantamento Exploratório – Reconhecimento de Solos do Estado da Paraíba. II – Interpretação Para Uso Agrícola dos Solos do Estado da Paraíba. M. ⁴/CONTAP/USAID/BRASIL. (Boletim DPFS. EPE-MA, 15 – Pedologia, 8). Rio de Janeiro. 1972. 683 p.
- BRASIL. MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. (1993), Mapa Geológico do Estado da Paraíba.
- CÂMARA, G. Anatomia de Sistemas de Informações Geográficas: Visão Atual e Perspectivas de Evolução. In: Eduardo Delgado Assad & Edson Eyji Sano (Ed.), *Sistemas de Informações Geográficas – Aplicações na Agricultura*, 1993, pp. 15-37.
- CARDIER, E; FREITAS, B. J. DE & LEPRUN, J. C. Bacia Representativa de Sumé: Instalação e Primeiros Resultados. Recife, SUDENE, 1983. 87 P.
- COSTA, W. D. Roteiro de Excursão: Hidrologia no Cristalino: Região Monteiro-Sumé, PB. In XVII Congresso Nacional de Geologia. Recife-PE, nov. 1963. 22 p. ilustr.
- DANTAS, J. R. A; CAÚLA, J. A L; NEVES, B. B. DE L & PEDROSA, I. L. **Mapa Geológico do Estado da Paraíba**; Texto Explicativo. Campina Grande, CDRM. 1982. 134 p.
- DENARO, R. P. "NAVSTAR: The All-Purpose Satellite", *IEEE Spectrum*, May 1981.

- DUARTE, S. J. & FITZGIBBON, K. T. "NAVSTAR Global Positioning System", Mini-curso do 7º Congresso Brasileiro de Automática, São José dos Campos, 1988.
- DOORENBOS, J. Yield Response to Water, FAO – Rome, Copyright, 1979
- EASTMAN, J. R. *Idrisi for Windows. User's Guide. Version 1.0.* Clark University. Worcester, MA. USA, 1995.
- FORMÁGGIO, A. R.; ALVES, D. S. & EIPHANIO, J. C. N. Sistemas de Informações Geográficas na obtenção de mapas de aptidão Agrícola e de taxa de adequação de uso das terras. In: Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 1992. 16: 249-256.
- GOAD, C. C. "Precise Relative Position Determination Using GPS Carrier Phase Measurements in a Non-Difference Mode", Proceedings of the First International Symposium on Precise Positioning with GPS, Rockville, MD, USA, pp 347 – 356, April 1985.
- GURALNIK, D. *Websters New Dictionary.* Prentice Hall Press, New York.
- HAAN, C. T. Parametric Uncertainty in Hydrologic Modeling. In: International Symposium of Modelling Agricultural Forest and Rangelands Hydrology, Chicago, 1988. Proceedings. St. Joseph, Michigan, American Society of Agricultural Engineers.
- HORTON, R. E. An approach toward physical interpretation of infiltration capacity. Soil Science Society American Proceedings. P. 399-417, 1940
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), 1979 / 80. Censo Agropecuário.
- IDRISI – Student Manual, The IDRISI Project. Clark University. Worcester – MA, 1992

INCRA – Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária), 1976. Estatísticas Cadastrais.

JOSEPH, K. M. & DEEM, P. S. “Precision Orientation: a New GPS Application”, International Telemetering Conference, San Diego, California, USA, October, 1983.

MOLINAS, P. A. & ANDRADE, F. C. M. DE. Um Modelo de Umidade do Solo como Ferramenta para Avaliação e Previsão de Atividades Agrícolas. In: I Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 1992. *Anais*. Recife., 307 p.

NOUVELOT, J. F. Planificação da Implantação de Bacias Representativas; Aplicação a Área da SUDENE. Recife-PE, 1974. Convênio SUDENE-ORSTOM. 91 p.

PARAÍBA. Projeto Canaã. Plano Diretor da Bacia do Rio Paraíba. Fase I – Diagnóstico. Potencialidades em Solo. Secretaria de Recursos Hídricos. Diretoria de Programação. 1984. 80 p.

PINTO, S. A. F. Sensoriamento Remoto e Integração de dados aplicados no estudo da erosão dos solos: contribuição metodológica. São Paulo: USP, 1991. (**Tese de Doutorado**).

QUEIROZ, J. E. R. Princípios Físicos e Comportamento Espectral de Alvos de Sensoriamento Remoto. Programa de Suporte Técnico à Gestão de Recursos Hídricos – ABEAS. Curso de Especialização em Sensoriamento Remoto e SIG. **Módulo 4**. Brasília-DF. 1996. 99p.

RODRIGUES, M. Introdução ao Geoprocessamento. In: Simpósio Brasileiro de Geoprocessamento, *Anais*. São Paulo, 1990. Pp. 1-26.

- SEMARH-PB/LMRS-PB – Secretaria Extraordinária dos Recursos Hídricos e Minerais da Paraíba e Laboratório de Meteorologia, Recursos Hídricos e Sensoriamento Remoto da Paraíba, **Boletim informativo**, 1999. João Pessoa.
- SILVA NETO, A. F. DA. Avaliação dos Recursos Hídricos e Uso da Terra na Bacia do Alto Rio Sucuru, com Base em Imagens TM/LANDSAT-5. Campina Grande, 1993, 155 p, UFPB (**Dissertação de Mestrado**).
- SILVA, C. C. & DE JONG, R. Comparison of two computer models for predicting soil water in a tropical climat. **Agricultural. Forest Meteorology**, v. 36, p. 249-262, 1986
- SILVA, F. B. R. E; RICHÉ, G. R; TONNEAU, J. P.; SOUZA NETO, N. C. DE; BRITO, L. T. DE L; CORREIA, R. C.; CAVALCANTI, A. C.; SILVA, F. H. B. B. DA & SILVA, J. C. DE A . Zoneamento Agroecológico do Nordeste; Diagnóstico do Quadro Natural e Agrossocioeconômico. Petrolina-PE; EMBRAPA – CPATSA/Recife-PE: EMBRAPA/CNPS. Coord. Regional do Nordeste. 2v. II. 1993.
- SILVA, F. H. B. B. DA Caracterização dos Padrões de Drenagem a partir de Técnicas de Sensoriamento Remoto para Uso em Levantamentos de Reconhecimento (Alta Intensidade) de Solos. Campina Grande, UFPB, 1994. 149p. (**Dissertação de Mestrado**).
- STAR, J & ESTES, J. **Geographic Information Systems: An Introduction**. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1990.
- TUCCI, C. E. M. Hidrologia: Ciência e Aplicação 2. Ed. Porto Alegre: Editora da Universidade: ABRH, 1977. Coleção ABRH de Recursos Hídricos; v.4.