

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
Instituto de Geociências e Ciências Exatas  
Campus de Rio Claro

**ANÁLISE INTEGRADA DE DADOS NO ESTUDO DA  
DINÂMICA DA TERRA EM UMA BACIA HIDROGRÁFICA:  
O CASO DO RIO BALSINHAS-MA**

Francisco Roberto Brandão Ferreira

Orientador: Prof. Dr. Sergio dos Anjos Ferreira Pinto

Tese de Doutorado elaborada junto ao  
Curso de Pós-Graduação em Geografia  
– Área de Concentração em Análise da  
Informação Espacial para obtenção do  
Título de Doutor.

Rio Claro - SP  
2006

551.41 Ferreira, Francisco Roberto Brandão  
F383a Análise integrada de dados no estudo da dinâmica da terra  
em uma bacia hidrográfica: o caso do rio Balsinhas - MA /  
Francisco Roberto Brandão Ferreira. – Rio Claro: [s.n.], 2006  
111 f.: il., gráfs., tabs., fots., mapas

Tese (doutorado) – Universidade Estadual Paulista,  
Instituto de Geociências e Ciências Exatas  
Orientador: Sérgio dos Anjos Ferreira Pinto

1. Ciência do solo. 2. Perda do solo. 2. Impacto ambiental.  
3. SIG. 4. Geoprocessamento. 5. Análise espacial. I. Título.

## COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Sergio dos Anjos Ferreira Pinto  
Orientador

Prof. Dr. Ailton Luchiari  
Membro

Prof. Dr. Archimedes Perez Filho  
Membro

Prof. Dr. Antonio Carlos Cavalli  
Membro

Prof. Dr. José Ribamar Trovão  
Membro

Francisco Roberto Brandão Ferreira  
Aluno

Rio Claro (SP), 26 de maio de 2006

Resultado: Aprovado

Aconteceu na Universidade padrão do mundo, Oxford, Inglaterra. Um jovem acadêmico terminava seu curso. Glorioso, empertigado e feliz, diploma na mão, abraçou o professor e disse:

— Obrigado, mestre. Sinto-me definitivamente formado para a vida, pronto com minha educação!

— Pois eu, meu filho, só agora estou iniciando a minha...

(Roque Schneider)

## **DEDICATÓRIA**

À minha esposa Nasaré pela  
dedicação contínua, aos meus  
filhos Mauricio, Adriano e  
Robertinho pelo carinho e,  
aos meus pais Odon  
e Zenaide pelo apoio dado.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho, em especial:

- Ao CEFET-MA (Centro Federal de Educação Tecnológica do Maranhão) que nos liberou das atividades de sala de aula, a qual propiciou condições de realização do referido curso de pós-graduação;
- Aos colegas do DHS (Departamento de Ciências Humanas e Sócias) do CEFET-MA que compreenderam a solicitação e assumiram a carga horária durante nossa ausência;
- Ao Prof. Dr. Sergio dos Anjos Ferreira Pinto, pela orientação, apoio, incentivo e dedicação no decorrer desta empreitada;
- Ao Prof. Dr. Sergio Henrique Franchito o qual em seu nome agradeço e homenageio todos os professores do programa de pós-graduação em geografia;
- À colega Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Almerinda Fadini a qual em seu nome homenageio todos os colegas do programa de pós-graduação em geografia pela convivência ao longo do curso;
- À funcionária Maria Aparecida Barbosa (Maíca) a qual em seu nome agradeço a todos os funcionários da Unesp que contribuíram conosco ao longo do curso;
- Ao amigo Prof. Luiz Jorge Bezerra da Silva Dias pela preocupação e incentivo constante na elaboração deste trabalho;
- Ao compadre e amigo Prof. José Dioclides Góes Gonçalves pela ajuda à visita de campo;
- À Biblioteca da Unesp – Campus de Rio Claro/SP, em especial à Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação pela elaboração da ficha catalográfica;
- Ao Sr. Raimundo Carvalho Filho, chefe do Laboratório de Geoprocessamento da UEMA (Universidade Estadual do Maranhão), pela disponibilidade de uso do referido laboratório para tratamento das imagens;
- Ao colega Alexssandro de Jesus Ericeira Amorim pela grande ajuda no tratamento das imagens junto ao Spring;

- Ao amigo Humberto Arruda Guimarães pelo apoio e incentivo a realização deste trabalho;
- À colega Prof<sup>a</sup>. Ana Tereza Moreira Lima Tenório Britto Luna pela ajuda nas interpretações e traduções de termos técnicos da literatura inglesa;
- Aos colegas da COPLAN (Coordenadoria de Planejamento) do CEFET-MA que souberam compreender os momentos de dificuldades vivenciados por ocasião do término da Tese;
- A meu irmão Rômulo Brandão Ferreira que nos ajudou e acompanhou no trabalho de campo, mais especificamente no que se refere às entrevistas realizadas com moradores da região e, à obtenção de fotos para o trabalho.

## SUMÁRIO

	Página
Índice.....	i
Lista de Figura.....	iii
Lista de Tabela.....	v
Resumo.....	vi
Abstract.....	vii
1- Introdução.....	01
2- Objetivos.....	07
2.1- Geral.....	07
2.2- Específicos.....	08
3- Fundamentação Teórica.....	09
3.1- Uma visão ambiental.....	09
3.2- Uso da terra e uso do solo: conceituação.....	15
3.3- Caracterização de indicadores dos riscos de erosão de solo.....	16
3.4- Aplicação das técnicas de geoprocessamento com ênfase a coleta de dados e análise da dinâmica de bacias hidrográficas.....	20
3.5- Integração de dados com ênfase aos sistemas de informações geográficas e utilização de modelos predictivos.....	22
4- Caracterização da Área de Estudo.....	26
4.1- Localização.....	26
4.2- Aspectos físicos.....	26
4.3- Histórico da ocupação da área.....	53
4.4- Aspectos sócio-econômicos.....	54
5- Abordagem Metodológica.....	61
5.1- Materiais e Equipamentos.....	61
5.2- Abordagem do trabalho.....	63
6- Resultados e Discussões.....	78



<b>6.1- As Alterações do uso da terra.....</b>	<b>78</b>
<b>6.2- Avaliação da perda de solos na área da bacia.....</b>	<b>86</b>
<b>6.3- Mapeamento das classes de uso da terra e cobertura vegetal e suas alterações.....</b>	<b>89</b>
<b>7- Considerações Finais.....</b>	<b>96</b>
<b>8- Referências Bibliográficas.....</b>	<b>101</b>

## ÍNDICE

<b>1- Introdução.....</b>	<b>01</b>
<b>2- Objetivos.....</b>	<b>07</b>
<b>2.1- Objetivo Geral.....</b>	<b>07</b>
<b>2.2- Objetivos Específicos.....</b>	<b>08</b>
<b>3- Fundamentação Teórica.....</b>	<b>09</b>
<b>3.1- Uma visão ambiental.....</b>	<b>09</b>
<b>3.1.1- Etapas do processo de avaliação de impactos ambientais.....</b>	<b>09</b>
<b>3.1.1.1- Fase de pré-impacto.....</b>	<b>10</b>
<b>3.1.1.2- Fase de pós-impacto.....</b>	<b>11</b>
<b>3.1.2- Estudo de impacto ambiental.....</b>	<b>12</b>
<b>3.1.2.1- Atividades componentes do EIA.....</b>	<b>14</b>
<b>3.1.3- Impactos ambientais em fase de planejamento.....</b>	<b>15</b>
<b>3.2- Uso da terra e uso do solo: conceituação.....</b>	<b>15</b>
<b>3.3- Caracterização de indicadores dos riscos de erosão de solo.....</b>	<b>16</b>
<b>3.4- Aplicação das técnicas de geoprocessamento com ênfase a coleta de dados e análise da dinâmica de bacias hidrográficas.....</b>	<b>20</b>
<b>3.5- Integração de dados com ênfase aos sistemas de informações geográficas e utilização de modelos predictivos.....</b>	<b>22</b>
<b>4- Caracterização da Área de Estudo.....</b>	<b>26</b>
<b>4.1- Localização.....</b>	<b>26</b>
<b>4.2- Aspectos físicos.....</b>	<b>26</b>
<b>4.2.1- Hidrografia.....</b>	<b>27</b>
<b>4.2.2- Geologia.....</b>	<b>31</b>
<b>4.2.3- Geomorfologia.....</b>	<b>35</b>
<b>4.2.4- Pedologia.....</b>	<b>37</b>
<b>4.2.5- Clima.....</b>	<b>40</b>
<b>4.2.6- Vegetação.....</b>	<b>43</b>
<b>4.2.7- Caracterização do espaço físico.....</b>	<b>45</b>

4.2.8- Processos morfoclimáticos e cobertura vegetal na formação da paisagem.....	50
4.3- Histórico da ocupação da área.....	53
4.4- Aspectos sócio-econômicos.....	54
5- Abordagem Metodológica.....	61
5.1- Materiais e Equipamentos.....	61
5.1.1- Documentação Cartográfica.....	61
5.1.2- Equipamentos e Softwares.....	62
5.2- Abordagem do trabalho.....	63
5.2.1- Técnicas cartográficas computacionais.....	65
5.2.2- Aplicação da EUPS.....	68
6- Resultados e Discussões.....	78
6.1- As alterações do uso da terra.....	78
6.2- Avaliação da perda de solos na área da bacia.....	86
6.3- Mapeamento das classes de uso da terra e cobertura vegetal e suas alterações.....	89
7- Considerações Finais.....	96
8- Referências Bibliográficas.....	101

**LISTA DE FIGURAS.**

- 1- Localização da área de estudo.
- 2- Aspecto parcial do rio Balsinhas próximo à confluência com o rio Balsas no período de estiagem (set/2002) com destaque para a ponte de cruzamento com a BR 321.
- 3- Mapa da rede de drenagem da bacia do rio Balsinhas-MA
- 4- Trecho do ribeirão Bacaba próximo à foz junto ao rio Balsinhas.
- 5- Trecho do ribeirão Balsinhas Pequeno.
- 6- Mapa geológico da bacia do rio Balsinhas-MA.
- 7- Estrada vicinal de acesso ao vale do rio Balsinhas vendo ao fundo a formação geomorfológica do tipo chapada.
- 8- Mapa pedológico da bacia do rio Balsinhas-MA.
- 9- Solo Latossolo Amarelo em área de drenagem do rio Balsinhas.
- 10- Gráfico de precipitação série histórica (1973-2002).
- 11- Gráfico da distribuição média mensal da série.
- 12- Vista parcial da área de estudo com destaque para a vegetação de cerrado.
- 13- Aspecto do solo preparado para adubação.

- 14- Solo adubado preparado para plantio de soja.
- 15- Solo plantado com soja com vista parcial da sede da fazenda ao fundo.
- 16- Recorte das imagens de satélites georreferenciadas (1975 e 1999).
- 17- Mapa hipsométrico da bacia do rio Balsinhas-MA.
- 18- Mapa de declividade da bacia do rio Balsinhas-MA.
- 19- Mapa de potencial natural de erosão da bacia do rio Balsinhas-MA.
- 20- Mapa de risco à erosão da bacia do rio Balsinhas-MA.
- 21- Imagem de satélite Landsat MSS 3 (1975) da área da bacia do rio Balsinhas-MA
- 22- Imagem de satélite Landsat TM 7 (1999) da área da bacia do rio Balsinhas-MA.
- 23- Mapa de cobertura vegetal e uso da terra da bacia do rio Balsinhas-MA (1975).
- 24- Mapa de cobertura vegetal e uso da terra da bacia do rio Balsinhas-MA (1999).

**LISTA DE TABELAS.**

- 1- Dados de precipitação da bacia hidrográfica do rio Balsinhas. Série histórica (1973-2002).
- 2- Uso do solo ao longo da bacia hidrográfica do rio Balsinhas por município (em %).
- 3- Produção agrícola em kg/hectare.
- 4- Proporção dos estabelecimentos agropecuários (em hectare).
- 5- Proporção de área do estabelecimento agropecuário no total da área da bacia (em hectare).
- 6- Erodibilidade por classe de solo.
- 7- Limites de Tolerância de perdas de solo por erosão.
- 8- Área total da bacia por classe de declividade.
- 9- Área total da bacia por classes de uso da terra.

## RESUMO

O presente trabalho propõe uma aplicação de abordagem metodológica, com uso de geotecnologia, visando à aquisição, análise e integração de dados sob o enfoque do uso sustentável de uma bacia hidrográfica em área de fronteira agrícola voltada para o plantio de grãos para exportação. Para o seu desenvolvimento, foram levantados dados de uso da terra e cobertura vegetal em dois cenários distintos (1975 e 1999) e, direcionados a sua aplicação para a bacia hidrográfica do rio Balsinhas, no estado do Maranhão, localizada entre os paralelos 07° 27' 00" S e 08° 12' 51" S, de latitude sul, e os meridianos 45° 44' 54" W e 46° 07' 59" W, de longitude oeste. O trabalho visa ainda, caracterizar áreas com diferentes graus de predisposição a riscos à degradação dos solos e realizar análises sob o ponto de vista da cobertura vegetal e suas transformações impostas pela intensificação e ampliação da ocupação agrícola, bem como indicações de impactos ocorridos nas vertentes e nos canais fluviais ao longo da bacia.

Palavras-chave: Perda do Solo, Impacto Ambiental, SIG, Geoprocessamento, Análise Ambiental.

**ABSTRACT**

The present work proposes an application of a methodological approach, by means of geotechnology, which aims to data acquisition, analysis and network, concerning the self-support use a drainage basin located in agricultural border dedicated to grain crops for export. For their improvement, usage of soil and plant covering data in two distinct periods (1975 and 1999) were collected and their application addressed to a drainage basin of Balsinhas River, in the state of Maranhão, located between 07° 27' 00" and 08° 12' 51" parallels, south latitude, and 45° 44' 54" and 46° 07' 59" meridians, west longitude. This works also aims, to feature areas presenting different degrees to risks concerning soil degrading and to proceed to analysis on plant covering and its changes, which are imposed by the intensity and extension of agricultural occupation, as well as indications of impacts on slopes and river channels along the basin.

Key-words: Soil loss, Environmental impact, GIS, Geoprocessing, Environmental analysis.



## 1- INTRODUÇÃO

Impacto ambiental é uma espécie de desequilíbrio ecológico causado por uma ação humana ou por fenômenos naturais, as quais causam desarmonia com as características e o equilíbrio do meio ambiente.

Desde o surgimento do homem no planeta terra os impactos ambientais têm-se intensificado e diversificado. Branco (1988) observa que provavelmente o primeiro tipo de impacto causado pelo homem derivou-se do domínio do fogo e, à medida que as civilizações foram desenvolvendo novas tecnologias e ampliando seu domínio sobre os elementos da natureza, os impactos ambientais foram se ampliando, tanto em intensidade como em extensão.

White et al (1992) colocam que as discussões atuais sobre problemas relacionados ao meio ambiente e seus reflexos na qualidade de vida de diversas comunidades e sobre o futuro do planeta têm levado em conta, cada vez mais, o papel dos recursos geológicos, pedológicos, hídricos, atmosféricos e biológicos, nos quais ocorrem as maiores agressões e impactos ao meio ambiente.

Em termos específicos do uso da terra, destacam-se, especialmente, os problemas que afetam a agricultura, que têm sido objeto de interesse de instituições e órgãos governamentais voltados ao planejamento e à adoção de políticas agrícolas.

Desses problemas pode-se indicar a ocupação inadequada das terras e a erosão do solo, acelerada pela ação antrópica, que resulta na rápida depauperação dos solos agricultáveis, face às características geo-ambientais das áreas. Observa-se sempre um forte sinergismo entre a dinâmica da ocupação das terras e processos erosivos dos solos.

A avaliação de impacto ambiental como instrumento de planejamento requer pressupostos de entendimento que possam nos conduzir com clareza sobre o que significa

“impacto ambiental”, cujo conceito reporta-se a antecedente visão do que se define como “meio ambiente”, base onde se processam as intervenções antrópicas qualificadas como benéficas ou maléficas para o meio ambiente, segundo suas, magnitude, sinergismo, distribuição e conseqüências, para então definir-se que ações serão necessárias à sua mitigação ou minimização.

Uma das principais fontes de impactos ambientais tem sido a ocupação agrícola desordenada das terras, não considerando as especificidades dos elementos do meio físico de uma área. É por isso que, com a remoção parcial ou total da cobertura vegetal natural pela ação antrópica, os impactos das gotas da chuva resultam no desprendimento das partículas do solo, acelerando o processo erosivo, que age intensamente nos solos provocando transformações em poucos anos, sendo que, naturalmente, estas mudanças poderiam ocorrer em milhares de anos.

Neste contexto, tem-se como impacto ambiental associado à ocupação agrícola, a eliminação da cobertura vegetal natural, que constitui uma das principais causas do início do processo de erosão acelerada e da perda da diversidade biológica.

O uso e a ocupação da terra são entendidos com as diversas formas de intervenção do homem junto ao meio ambiente com a finalidade de atender às suas necessidades. O uso inadequado da terra intensifica o processo erosivo que inclui a remoção do material de superfície da vertente e deposição no canal fluvial, o qual ocasiona na maioria das vezes a presença do assoreamento.

A erosão de uma forma geral, segundo Oliveira e Berg (1985), é um dos maiores inimigos da terra, pois ao arrastar as camadas superiores do solo agricultável, retira importantes quantidades de nutrientes até então concentrados, empobrecendo o solo e provocando assim depreciação ao mesmo. Portanto, a erosão acelerada como processo de desgaste, transporte e deposição das partículas do solo causado por diferentes tipos de agentes, destacando-se no contexto tropical a ação da água de escoamento superficial e dos

ventos, resulta em impactos ambientais em especial o comprometimento de mananciais e, o já citado, empobrecimento dos solos.

Bertoni e Lombardi Neto (1990) afirmam que a erosão é causada por forças ativas, destacando-se as chuvas, o potencial do escoamento superficial que é determinado pela declividade e extensão das vertentes e da capacidade que tem o solo de absorver água, bem como por forças passivas, como a resistência que exerce o solo à ação erosiva da água e a densidade da cobertura vegetal.

O movimento do solo pela água é um processo complexo influenciado pela quantidade, intensidade e duração da chuva, além da natureza do solo, da cobertura vegetal e da declividade.

Sendo assim, a chuva provoca uma aceleração maior ou menor da erosão, dependendo da forma como cai, da sua distribuição mais ou menos regular no tempo e no espaço, e sua intensidade. A água da chuva exerce sua ação erosiva sobre o solo mediante o impacto da gota de chuva, a qual cai com velocidade e energia variável segundo o seu diâmetro e mediante a ação de escoamento.

Lopes (1980) também afirma que a intensidade da erosão está intimamente associada à erosividade das chuvas, a erodibilidade do solo, ao comprimento da rampa e grau de declividade das vertentes, às características do solo e a seu uso e manejo. Os sedimentos removidos de uma bacia hidrográfica durante chuva intensa podem ficar depositados em um alvéolo fluvial e permanecer até outra chuva, quando então podem ser transportados.

Verifica-se então que a erosão é resultante da ação de diversos fenômenos que modificam as condições normais de uma bacia hidrográfica e que a artificialização não controlada do meio ambiente é o principal fator que acelera esse processo, pois ao retirar a cobertura vegetal para introduzir lavouras ou realizar obras de construção civil, contribui

decisivamente para a maior desagregação de sólidos e, conseqüentemente para o maior transporte.

Entretanto, como afirma Salomão (1999), a ação de remoção de uma partícula do solo é função não apenas das forças hidrodinâmicas sobre ela exercidas, mas também de uma série de outros fatores como a forma, tamanho, saliência sobre o fundo e das relações de contato com outras partículas vizinhas.

No entanto o processo de erosão do solo, qualquer que seja a sua causa, pode tornar o planeta gradualmente sem as condições consideradas aceitáveis para a manutenção dos seres humanos, aumentando tanto os problemas nutricionais do mundo como as discrepâncias sociais, principalmente em regiões menos desenvolvidas, às quais tem que conviver diariamente com a miséria e a fome.

Na avaliação dos processos erosivos, atenção especial deve ser dada à análise dos fatores que acarretam a degradação rápida dos solos com o objetivo de se obter melhor compreensão daqueles processos. Desta forma dados referentes as características da geometria das vertentes (declividade e extensão da vertente, bem como a arquitetura de seu perfil), litologia e cobertura pedológica, precipitação pluviométrica e cobertura vegetal (incluindo vegetação natural e agricultura), devem ser levantados e analisados em conjunto, na tentativa de se detectar aqueles mais relevantes para o desencadeamento da erosão acelerada em uma determinada área. A obtenção destes dados pode ser feita através de medidas realizadas em campo quanto através de registros em documentos, dentre os quais se destacam os produtos obtidos por sistemas de sensoriamento remoto.

Desse modo, práticas do uso da terra quando adequadas às condições naturais, constituem em ações fundamentais para a conservação da fertilidade natural dos solos e resultam em ocupações consideradas ajustadas sob o ponto de vista da sustentabilidade do meio natural.

Em cada estágio do ciclo de erosão o conjunto de condições submete os ambientes a situações maiores ou menores no processo de desgaste de suas estruturas. É esse conjunto de fatores e suas inter-relações que em última análise determinam a dinâmica de um ecossistema em particular.

Do conjunto de fatores que agem sobre os ecossistemas determinando sua velocidade de transformação, ou seja, o tempo gasto para que um ciclo de modelagem se completa, destaca-se: a cobertura vegetal, pela intervenção direta (proteção contra o impacto das gotas de chuva) e indiretamente (modificação do clima). A vegetação desempenha papel importante no controle da estrutura ambiental, primeiro por reduzir a incidência direta da radiação solar e das chuvas; segundo por contribuir para o fornecimento de material que ao ser incorporado ao solo melhora sua estrutura possibilitando que o conjunto adquira melhores condições de captação e armazenamento de água, prolongando o período de estabilidade interna.

O fator topográfico é outro elemento associado à dinâmica ambiental, o qual envolve declividade e extensão das encostas. A declividade sobre a qual os ambientes se encontram, assim como outros fatores, predispõe o ambiente a variações no grau de estabilidade.

O clima é outro elemento ligado à dinâmica dos ecossistemas, uma vez que atua de forma ativa, notadamente através de seus elementos: pluviometria, temperatura e o vento. Considerando-se que a maior parte do material (solo) tem como principal agente de desagregação e transporte às águas das chuvas, torna-se importante maior atenção a este elemento. Da pluviometria devem ser consideradas as seguintes características: distribuição e poder erosivo, este último relacionando o quanto de energia está associado às chuvas.

Outros elementos podem contribuir no processo de modelação das estruturas superficiais terrestre, entretanto a forma como agem pode ser deduzida como, por exemplo, as rochas atuam como fornecedoras de material cuja origem pode formar solos ricos em

nutrientes, formando uma cobertura vegetal densa, ou ainda, fornecer material onde a erodibilidade seja maior se comparada a outras formações.

A caracterização e avaliação da dinâmica do uso da terra e dos indicadores da erosão acelerada do solo podem ser conduzidas utilizando informações obtidas através das técnicas de sensoriamento remoto, que associadas a outras fontes de documentação, podem fornecer subsídios à análise daqueles processos.

Em termos de sensoriamento remoto as fotografias aéreas têm sido utilizadas com mais intensidade a partir dos anos 50. A partir da década de 70, dados a nível orbital fornecidos por satélites, especialmente os das séries Landsat e SPOT, estão disponíveis e trabalhos vêm sendo desenvolvidos visando à caracterização de indicadores da erosão do solo. As imagens TM do Landsat, apesar de suas resoluções espaciais (multispectral 30m e pancromático 15m) serem ainda inferiores às das fotografias aéreas, têm mostrado grande potencialidade a aplicação nesta temática, principalmente no que se relaciona ao acompanhamento temporal das variações de alguns indicadores da erosão acelerada, como por exemplo, as modificações impostas à cobertura vegetal. Neste particular as imagens do sistema Landsat, dado ao seu sistemático imageamento da superfície terrestre, constituem importantes fontes de dados para o acompanhamento temporal da variação da cobertura vegetal, uma vez que, em particular no Brasil, a ocupação das terras tem sido conduzida de forma quase sempre inadequada e que tem conduzido, invariavelmente, às condições de instabilidade dos sistemas de vertentes.

Deve-se salientar que, atualmente, com a operação de nova geração de sistemas de sensoriamento remoto, estão disponíveis, à comunidade científica, imagens orbitais de alta resolução espacial, como, por exemplo, os sistemas Ikonos II e QuickBird, respectivamente, com resoluções nominais de até 1m e 61cm em seus módulos pancromáticos.

Outras ferramentas importantes de suporte à aquisição, integração e análise de dados, são os Sistemas de Informações Geográficas. Estes sistemas de geoprocessamento

têm-se mostrado competentes para combinar diferentes dados temáticos georeferenciados (planos de informação) e gerar novos produtos cartográficos. Naturalmente estas operações de integração temática podem ser conduzidas através de uma lógica de sobreposição de dados definida por uma regra empírica de cruzamento ou através do suporte da formulação de modelos matemáticos-estatísticos.

## **2- OBJETIVOS**

A proposta para o presente trabalho parte da premissa que as alterações do uso da terra, especialmente aquelas associadas às atividades agrícolas, que em geral eliminam a cobertura vegetal natural, acarretam desequilíbrio no sistema ambiental das bacias hidrográficas, resultando em situações mais severas de predisposição aos riscos de erosão do solo.

Tendo em vista as alterações da cobertura vegetal nativa, resultantes da intensificação da ocupação antrópica, é pertinente ainda indagar sobre a perda de estoques de biodiversidade ao longo de um período, quando se realiza análise de uma área considerando o aspecto temporal.

### **2.1- Objetivo Geral**

Propor um estudo voltado para a aplicação de abordagem metodológica que visa à aquisição, análise e integração de dados sob o enfoque do uso sustentável de uma bacia hidrográfica, em área de fronteira agrícola, voltada ao plantio de grãos para exportação. Esta abordagem contempla a utilização de geotecnologias como sensoriamento remoto, sistemas de informações geográficas e, sistema de posicionamento global. Pretende-se também, exercitar análise reflexiva mais ampla do fazer do ponto de vista geográfico,

enfocando a técnica como um meio articulado a um método de análise e integração de dados.

## **2.2- Objetivos Específicos**

Levantar dados de uso da terra e cobertura vegetal em dois cenários distintos (1975 e 1999), considerando uma situação mais preservada, em termos da cobertura vegetal natural, com pouca intervenção antrópica e, a situação estabelecida pela ampliação da fronteira agrícola, com a intensificação do cultivo de grãos para exportação, na região centro-sul do Estado do Maranhão, com especial atenção à bacia hidrográfica do rio Balsinhas.

Com base nas técnicas de sensoriamento remoto, as quais agilizam à coleta de informações na fonte primária de dados e monitoramento de áreas que apresentam mudanças ou alterações, como é o caso da cobertura vegetal, bem como, o armazenamento de informações georeferenciadas, manipulação e integração de dados com uso de SIG's, e conseqüente geração de produtos cartográficos e de banco de dados.

Realizar análises no que diz respeito às informações relativas à cobertura vegetal e suas transformações impostas pela intensificação e ampliação da ocupação agrícola, bem como, indicar os possíveis impactos ocorridos nas vertentes e nos canais fluviais ou corpos d'águas.

Obter dados referentes à pluviometria, características dos solos e atributos do relevo e integrar a situações de ocupação antrópica. Esta análise conduz à caracterização de áreas com diferentes graus de predisposição a riscos à degradação dos solos, uma vez que dois importantes fatores são levados em consideração: as limitações das terras à erosão que são a suscetibilidade e a tolerância.



Selecionar e analisar a sub-bacia que apresentou maior grau de alteração, a qual se destaca a transformação que a área sofreu no contexto dos dois cenários levantados. Esses cenários possuem como requisitos bases físicas, que correspondem à base de dados georeferenciados, à tecnologia de geoprocessamento, e à interação usuário/computador e, bases teóricas, que correspondem à disponibilidade de estimativas de impactos ambientais voltados a análises “custo versus benefício” geograficamente expresso, e ao estabelecimento de pressupostos relevantes para a configuração dos cenários, de acordo com a evolução no tempo dessa situação.

### **3- FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

#### **3.1- Uma visão ambiental**

Com os desastres ecológicos decorrentes da implantação de grandes empreendimentos como a aceleração dos desmatamentos, modificações ecológicas e desorganização das condições sociais, econômicas e culturais das sociedades atingidas, emergiu a necessidade de se planejar a intervenção ambiental de grandes empreendimentos, como uma tentativa de minimizar os desastrosos resultados que vinham ocorrendo com a implantação dos grandes projetos a nível mundial.

##### **3.1.1- Etapas do processo de avaliação de impactos ambientais.**

Segundo Burszty (1994) as etapas do processo de avaliação de impactos ambientais abrangem basicamente as fases do pré-impacto e pós-impacto, desenvolvidas a partir da análise de suas respectivas fases:

### **3.1.1.1- Fase de pré-impacto:**

#### a) Planejamento e elaboração de projetos:

A avaliação de impactos ambientais deve ser integrada desde as primeiras fases do projeto, podendo assim contribuir na análise das diferentes alternativas para sua realização ou não. Para isso podem ser necessárias análises ambientais preliminares, configurando-se um instrumento de auxílio ao processo decisório.

#### b) Diagnóstico ambiental:

Constitui-se no inventário do meio ambiente anterior à ação proposta buscando informações que permitam uma avaliação eficiente dos efeitos do projeto. É uma atividade de natureza complexa e abrangente em que são levantados de forma qualitativa e quantitativa os componentes ambientais (bióticos, abióticos e antrópicos) suscetíveis de serem afetados pela intervenção proposta, definidos pela identificação prévia dos prováveis impactos ambientais. Tendo em vista a natureza dos fatores envolvidos e, particularmente a disponibilidade de dados essa atividade por vezes torna-se extensa e dispendiosa. Portanto essa identificação prévia representa um importante elemento no aumento da eficácia e de redução de custos.

Nessa caracterização devem também ser consideradas as inter-relações existentes entre diversos fatores físico, biológicos e sócio-econômicos, no sentido de fornecer uma visão adequada dos sistemas ecológicos e permitir a realização da previsão da evolução do meio, na hipótese de que nenhuma intervenção seja feita.

#### c) Previsão e medição dos impactos:

Essa etapa constitui-se da caracterização e determinação da magnitude dos impactos identificados. De natureza objetiva a previsão e medição dos impactos, entretanto está sujeita as incertezas como:

- O uso incorreto das informações relativas ao projeto e/ou diagnóstico ambiental;
- As eventuais modificações nos ecossistemas, independentes do projeto e não consideradas no estudo e;
- Utilização inadequada ou equivocada de modelos de previsão.

A redução das incertezas inerentes à previsão pode ser alcançada através da escolha do método adequado a cada caso particular, assim como explicitar no estudo as reais limitações das informações utilizadas, esclarecendo suas implicações ao nível das previsões. Há uma variedade de métodos, podendo ser classificados nas seguintes categorias: modelos matemáticos formais ou físicos; modelos de laboratório ou experimentais; modelos de inventário ou resenha e outras abordagens, como a predição por analogia, a predição indireta com uso de padrões e o uso de pareceres técnicos.

#### d) Interpretação e avaliação dos impactos:

O processo de avaliação de impacto abrange a participação de diversos atores como os empreendedores, o corpo técnico executor do projeto e as autoridades responsáveis pela sua aprovação. Nesse sentido os métodos utilizados devem estar sintonizados com a natureza específica do processo decisório sob o qual o projeto está submetido.

### **3.1.1.2- Fase de pós-impacto:**

#### a) Acompanhamento e monitoramento ambiental:

A avaliação sistemática dos resultados da implementação de um determinado projeto constitui-se o monitoramento ambiental. Esse mecanismo objetiva verificar a validade e a exatidão dos impactos previstos, particularmente aqueles que no estudo de

impacto ambiental apresentavam algum grau de incerteza, e a suficiência e a eficácia das medidas de intervenção realizadas que, conforme as características da atividade, se pode destinar a minimizar ou suprimir os impactos negativos, compensar os impactos residuais ou valorizar o projeto (Bursztyn, 1994).

A autora considera que as medidas de intervenção, de acordo com o contexto institucional de cada país, nem sempre são facilmente implementadas. Ela também inclui medidas para suprimir, reduzir e compensar as conseqüências prejudiciais do projeto, e consta de dispositivos para atenuar ou eliminar dos impactos por ele causados.

### **3.1.2- Estudo de impacto ambiental**

O Estudo de Impacto Ambiental (EIA) consiste em um mecanismo de avaliação de impacto ambiental que descreve as conseqüências potenciais decorrentes da realização de um projeto (programa, plano ou política), ou seja, as alterações que ele pode provocar tanto no meio ambiente como na vida e no bem-estar da população.

De natureza eminentemente preventiva, o EIA propicia o requisito de alternativas a ação proposta no sentido de assegurar a melhor solução para a compatibilização entre os fatores sócio-econômico-ambiental a serem considerados na proposta, através do exame sistemático de suas conseqüências, objetivando subsidiar a decisão quanto às alternativas de sua implementação.

De acordo com autores Clark, (1988) e Wathern (1988), os aspectos intrínsecos ao processo de Estudo de Impactos Ambientais podem ser reunidos conforme disposto a seguir:

O EIA constitui uma abordagem integrativa, multi e interdisciplinar que cobre uma gama variada de áreas das ciências sociais e ambientais, vistas simultaneamente de forma

individual e interativa. Este aspecto deve também refletir-se no grupo de profissionais envolvidos no referido Estudo de Impacto Ambiental.

O EIA é um processo sistemático de coleta, análise e comunicação de informações. Embora não apresentando um conjunto único de métodos para esses fins, listagens de controle, matrizes, superposição de mapas e redes de interação têm sido comumente aplicadas.

A identificação de cursos de ação alternativos deve incluir a alternativa de não realizar a proposta e opções combinadas de processos, tecnologias e localização, de modo a alcançar os objetivos propostos.

A avaliação comparativa de cenários futuros contrapostos à alternativa de não realizar a proposta inclui uma avaliação dos impactos positivos e negativos em termos de sua extensão e significado em cada fase de implantação da ação proposta e durante a operação, em bases que variam de curtos a longos prazos.

Os diferentes grupos sociais a serem afetados pela ação devem participar do processo, para que a tomada de decisão seja baseada na percepção, na aceitação e no suporte da comunidade. Um ponto importante é a habilidade necessária para efetuar a comunicação com o público de forma fácil e imparcial em todos os aspectos.

O EIA deve ter início no momento em que a necessidade para interferência no meio ambiente for percebida e deve continuar ao longo das etapas de planejamento e projeto, de forma que os ciclos de realimentação permitam a otimização progressiva de benefícios e a minimização dos efeitos negativos.

A escolha dos projetos suscetíveis de estudo de impacto ambiental requer, portanto, uma investigação detalhada e sistemática onde devem ser considerados os seguintes critérios:

a) potencial de impacto das ações a serem levadas a efeito nas diversas fases da realização do empreendimento, em geral definido pelo tipo ou gênero da atividade;

b) o porte do empreendimento, que pode ser caracterizado pela área de implantação, a extensão, o custo financeiro, a intensidade de utilização dos recursos ambientais;

c) a situação da qualidade ambiental da provável área de influência, determinada por sua fragilidade ambiental, seu grau de saturação em relação a um ou mais poluentes, seu estágio de degradação;

d) a compatibilidade com as áreas frágeis, levando em consideração as características e especificidades ecológicas de determinados espaços, tais como: bacias contribuintes de mananciais de abastecimento público, manguezal, várzeas, unidades de conservação, regiões de arenito, encostas íngremes, ilhas costeiras e bacias contribuintes às lagunas costeiras, reservas indígenas, sítios arqueológicos, dentre outros.

### **3.1.2.1- Atividades componentes do EIA**

Segundo a resolução do CONAMA nº 001/86, o Estudo de Impacto Ambiental deverá se desenvolver de acordo com os seguintes tópicos principais:

- Diagnóstico ambiental da área proposta a ser afetada;
- Conhecimento da ação proposta, suas características e das alternativas;
- Identificação dos impactos;
- Previsão e medição dos impactos;
- Comparação das alternativas;
- Identificação de medidas mitigadoras e do programa de monitoramento dos impactos;
- Comunicação dos resultados.

Dentre as vantagens da utilização do Estudo de Impacto Ambiental está o desenvolvimento de metodologias que propiciem o conhecimento do meio ambiente onde é introduzido o projeto, e a possibilidade de redução de custos a longos prazos, evitando-se necessidades posteriores de introduzir mecanismos de controle de poluição, por exemplo, ou qualquer perda desnecessária de recursos naturais decorrente do uso de métodos não sustentados de exploração de recursos.

A elaboração dos estudos de impacto ambiental, principalmente os itens referentes à identificação, previsão e valoração dos impactos exige a utilização de métodos e técnicas especiais. Estes instrumentos vêm sendo desenvolvidos e adaptados ao longo do tempo de forma a possibilitar uma maior objetividade e previsibilidade para cada tipo de empreendimento e de local.

### **3.1.3- Impactos ambientais na fase de planejamento.**

A avaliação prévia dos impactos ambientais significativos potenciais decorrentes de um empreendimento de grande porte apresenta fatores condicionantes ao requerer a ampliação de considerações sobre a estrutura espacial, ou seja, a composição sócio-econômica e funcionalidade da sociedade nos diferentes espaços geográficos onde será inserido, tendo em vista que seus efeitos se refletirão em áreas de influência indireta, externas à faixa de domínio dos empreendimentos, onde se limita à jurisdição dos órgãos responsáveis pelo empreendimento.

### **3.2- Uso da terra e uso do solo: Conceituação**

Os termos uso da terra e uso do solo têm-se utilizado de forma generalizada para indicar as diferentes formas de ocupação agrícola e não agrícola das terras. Marques

(1971) e Lepsch et al (1983) esclarecem que o conceito de “solo” é mais restrito, sendo considerado como um conjunto de corpos tridimensionais na superfície terrestre, contendo matéria viva com capacidade de suportar plantas, apresentando atributos internos próprios e características externas que é possível descrevê-los e classificá-los, tais como: declividade, pedregosidade, rochosidade.

Já a palavra “terra”, é mais abrangente, pois inclui em seu significado o solo e os vários atributos de uma área, como a localização, o relevo, o substrato geológico, a hidrologia, tipos e grau de erosão, clima e vegetação, impedimentos à motomecanização, e cuja utilização agrícola depende também de condições de infra-estrutura (meios de transporte, instalações, máquinas, equipamentos) e, também as condições sócio-econômicas (salubridade da região, disponibilidade de mão-de-obra, mercado, preços de insumos e de produtos agropecuários).

Anderson et al (1979) afirma que deve levar em consideração dois conceitos intimamente relacionados, que são o de uso da terra, e o de revestimento do solo, respectivamente. O primeiro é concernente à atividade do homem na terra, que se acha diretamente relacionada com a terra. O segundo se refere à vegetação e construções artificiais, que recobrem a superfície da terra.

### **3.3- Caracterização de indicadores dos riscos de erosão de solo**

Foram selecionados alguns tópicos relativos à análise do uso sustentável das terras e sua dinâmica com conseqüentes impactos em bacias hidrográficas, as quais se destacam as citações de trabalhos que tratam da classificação do uso da terra, da cobertura vegetal, da análise da dinâmica do uso e da influência desta pressão como indicador dos riscos de erosão.



Algumas das causas do esgotamento dos solos que ocorre pela erosão hídrica podem ser minimizadas pela aplicação das práticas conservacionistas. Os modelos utilizados para a previsão de perdas de solo devido aos processos erosivos pela ação das águas de escoamento na superfície das vertentes, são considerados como valiosos instrumentos para traçar um guia para o planejamento do uso do solo e determinar as práticas de conservação do solo mais apropriadas a uma determinada área, sendo que o mais adotado tem sido o modelo da equação universal de perdas de solo, proposto por Wischmeier & Smith (1978). Essa equação exprime a ação dos principais fatores que diretamente influenciam a erosão pela chuva.

Para Bertoni & Lombardi Neto (1990), tanto os fatores uso e manejo do solo como práticas conservacionistas se referem à relação esperada entre as perdas de solo de um terreno cultivado em determinadas condições apropriadas, e as perdas correspondentes de um terreno mantido continuamente descoberto e cultivado. Sendo assim, a expectativa de erosão, que corresponde ao cruzamento de informações ou interações entre os fatores naturais e os antrópicos, é caracterizada no uso e manejo do solo, como também a cobertura vegetal. Da mesma forma, as práticas conservacionistas dão sustentação ao uso adequado do solo, com destaque para o mapeamento do potencial natural de erosão (PNE). Todos estes cruzamentos demonstraram e levaram de forma objetiva ao mapeamento das áreas com riscos de erosão.

Os mesmos autores comprovam ainda que a infiltração relaciona-se diretamente à permeabilidade do terreno, variando tanto pelo efeito da compactação promovida pela ocupação do solo, quanto da intensidade e frequência das chuvas, natureza e organização do solo, bem como inclinação, geometria e comprimento das vertentes.

Cunha & Guerra (2000) abordaram a degradação ambiental, dando destaque à associação entre a própria degradação ambiental e a sociedade. Analisaram os desequilíbrios da paisagem sob o ponto de vista da bacia hidrográfica, unidade integradora das formas de relevo, impacto e gestão. Apresentaram também, várias formas de monitoramento com o objetivo de mostrar a sua importância no conhecimento dos

processos de degradação ambiental. Nesta ótica, foi possível acompanhar as mudanças introduzidas pelo homem e as respostas da natureza como erosão dos solos, movimentos de massa e enchentes, cujos processos devem ser acompanhados por monitoramentos que levem à compreensão de uma natureza integrada.

Estudando o oeste australiano Gager & Conacher (2001) comprovaram a depreciação do solo a partir das características de declividade e potencial de erodibilidade. Foram utilizadas para aferição as variáveis “indicador de erosão” e “influência de erosão”, alcançando resultados satisfatórios de controle de perda de solo.

Com relação a métodos e técnicas para análise de informações pedológicas, Burrough (1993) sugere que os levantamentos de solos devem adotar, preferencialmente, procedimentos quantitativos que facilitem a interpretação das interações entre solos e paisagens, a fim de explicar a complexidade e a variedade dos solos nas várias escalas de espaço e tempo.

Salomão (1999) fez um estudo da erosão dando ênfase aos principais tipos de erosão, isto é, a laminar e a linear. Utilizou a técnica do modelo universal de perdas de solos para a comprovação da erosão laminar, demonstrando que as causas dessa erosão estão ligadas principalmente à forma inadequada do uso e manejo do solo, desconsiderando-se as diferentes suscetibilidades das terras ao desenvolvimento dos processos erosivos. Em contrapartida, para a comprovação da erosão linear utilizou a aplicação da análise estrutural da cobertura pedológica, em topossequência, para se definir áreas de vertentes com diferentes suscetibilidades a ravinas e voçorocas.

Por sua vez, Flores (1995) considera o uso do solo como um dos recursos essenciais como meio para a produção de alimentos e matéria prima, devendo ser conduzido por meio de técnicas que proporcionem a sustentabilidade das atividades produtivas, assegurando o equilíbrio ambiental dos agroecossistemas.

O autor considera ainda, que a inadequação do uso dos solos, é uma das causas que mais atuam contra as atividades agrícolas, do abandono das terras esgotadas e dos impactos negativos no ambiente, variando o tipo de degradação de acordo com a sua natureza e o manejo utilizado, associado às peculiaridades hidroclimáticas e geomorfológicas locais. Afirma também, que os impactos ambientais decorrentes do uso do solo sem aptidão para as atividades agrícolas e com práticas de manejo inadequadas, podem ser observados na atmosfera, litosfera, hidrosfera e no planeta como um todo.

Para Freire (1995), o uso do solo é um dos fatores que influenciam a quantidade de perdas de material do solo. Se as limitações de uso não forem observadas, ocorrerão perdas a níveis considerados inaceitáveis, mesmo se houver a aplicação de práticas intensivas de controle à erosão. Isso se deve, porque existem solos que podem ser utilizados com qualquer atividade humana, enquanto que outros apresentam limitações de uso.

O autor afirma que as práticas de controle da erosão são eficientes em solos que estão, ou vão ser usados de acordo com sua capacidade. No instante que são inadequadamente instaladas, geralmente produzem perda de solos maiores que a ocorrência sem o emprego de nenhuma prática. O planejamento prévio do uso do solo é condição fundamental para o sucesso das práticas de controle da erosão.

De acordo com Pinto et al. (1989), “a ocorrência de áreas de discrepâncias, entre o uso efetivo da terra e sua aptidão agrícola, pode concorrer em alguns casos, para o decréscimo da produtividade agrícola, bem como para a degradação dos solos”. Para evitar tal situação, propõem um levantamento periódico para o acompanhamento do uso da terra, com o intuito de obter-se uma avaliação histórica da ocupação antrópica, favorecendo uma análise de tendências, bem como criar registros referentes a esta temática, como subsídio para planejamentos de ocupação territorial.

Spavorek & Lepsch (1995) comentam que é necessário identificar o melhor e mais adequado sistema de uso da terra que garanta uma produção agrícola sustentada no tempo e compatível com uma boa qualidade ambiental. Ainda segundo estes autores, a adequação

do uso das terras é realizada através da identificação de áreas que estão em processo de degradação potencial devido à super utilização. Também consideram que o “estágio de degradação das diferentes micro-bacias hidrográficas não é o mesmo, bem como a sua ocupação agrícola e atributos físicos. Assim as ações necessárias para a recuperação ou proteção das terras devem considerar cada situação peculiar”.

### **3.4- Aplicação das técnicas de geoprocessamento com ênfase a coleta de dados e análise da dinâmica de bacias hidrográficas.**

Neste tópico foram analisadas publicações cujas abordagens metodológicas utilizaram diferentes produtos de sensoriamento remoto, desde fotografias aéreas até imagens orbitais, incluindo os sistemas de maior resolução espacial.

A utilização de imagens Landsat em trabalhos voltados para a análise de erosão do solo e da cobertura vegetal tem sido possível considerando-se a resolução espacial das imagens TM (30 metros). Esta resolução possibilita ampliações para escala até 1:50.000 o que permite a identificação de marcas erosivas de grande porte. Também técnicas de processamentos digitais podem ser utilizadas, principalmente opções de realçamento de imagem e filtragens espaciais, que podem melhorar os produtos fotográficos das imagens e com isto auxiliar na identificação de variações tonais que podem sugerir a presença de cicatrizes de erosão do solo.

Por sua vez as imagens SPOT se constituem em produtos favoráveis devido à melhor resolução espacial, em especial as pancromáticas com pixel representando elemento de resolução no terreno da ordem de até 2,5m (SPOT 5).

Valério Filho (1995) mostra que a partir da década de 70 avanços tecnológicos relativos à aquisição e armazenamento de informações, propiciaram um progresso expressivo na implementação de estudo integrado. Neste sentido, a disponibilidade de

dados de sensoriamento remoto do sistema Landsat e do sistema SPOT, e de estruturas computacionais auxiliares como os sistemas de tratamento de imagens digitais e de informação geográfica permitiram uma maior agilidade na coleta de dados e análise integrada das informações ambientais.

Ao concentrarem seus estudos nas áreas de ravinas desenvolvidas em território central da Bélgica, Nachtergaele & Poesen (1999) fizeram uso de fotografias aéreas de alta resolução para obtenção de dados com objetivo de determinar perdas de solos, utilizando para isso técnicas para comprovação de tais perdas, como: USLE (*Universal Soil Loss Equation*); EGEM (*Ephemeral Gully Erosion Model*); CREAMS (*Chemical, Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems*); WEPP (*Water Erosion Prediction Project*).

Ao realizar estudo no sudoeste de Yukon no Canadá, Giles (1998) comprovou que a região apresenta, em linhas gerais, a classificação da unidade de declividade agregada, além de mapear assinaturas geomorfológicas a partir de dados de variação do Modelo Digital do Terreno correspondentes às imagens de satélite SPOT.

Novo (1988) apresentou alguns exemplos de utilização de dados de sensoriamento remoto direcionados aos estudos ambientais. Exemplos estes que se baseavam na comprovação de alguns métodos, tais como, o de detecção de mudanças dos sistemas ambientais (*change detection methods*), o de diferenciação espacial de sistemas ambientais (*classificação*) e, o de estimativa de variáveis ambientais.

Ferreira (1996) apresentou uma proposta metodológica implementada em Sistema de Informações Geográficas, para a regionalização de pequenas bacias hidrográficas, que não dispõem de dados hidrométricos. Baseou-se no levantamento e integração espacial entre os parâmetros (Cv) coeficiente de cobertura vegetal, (Ci) coeficiente médio de impermeabilidade e (Ft) fator topográfico. O fator coeficiente de cobertura vegetal foi obtido através do processamento e classificação digital de imagens TM-Landsat no SIG Idrisi 2.0, enquanto o fator coeficiente médio de impermeabilidade obteve seu valor a partir

da análise multicriterial ponderada do solo, com base em fatores granulométricos que interferem na impermeabilidade dos perfis pedológicos. Por sua vez o fator topográfico foi determinado a partir da análise morfométrica das bacias, utilizando-se cartas topográficas 1:50.000. Obteve como resultado a identificação de quatro regiões com características hidrológicas particulares a partir da regionalização das bacias pelo módulo Cluster Analysis.

Fundamentada na apresentação e na discussão das informações referentes às áreas cultivadas e às áreas preparadas e não cultivadas nos municípios de Alto Parnaíba, Balsas e Tasso Fragoso no sul do Maranhão, Sano et al (1998) apresentaram uma proposta de monitoramento de ocupação agrícola regional com vistas à identificação, mapeamento, armazenamento e análise de dados obtidos a partir de produtos de sensoriamento remoto e de recursos disponíveis no SGI/INPE.

Koffler (1993) realizou levantamento do uso das terras da bacia do rio Corumbataí, localizada na depressão periférica paulista. Através da análise de imagens de satélite LANDSAT e de fotografias aéreas, para eliminar as prováveis dúvidas de interpretação, elaborou mapas partindo da utilização de ambiente SIG.

### **3.5- Integração de dados com ênfase aos sistemas de informações geográficas e utilização de modelos predictivos.**

Outro aspecto abordado se refere aos autores cujos trabalhos utilizaram técnicas de integração de dados, com ênfase ao geoprocessamento, sistemas de informações geográficas e, a utilização de modelos para análise de dados multivariados e análise temporal.

Os trabalhos desenvolvidos por Pinto (1987), (1991) e (1996), enfatizaram-se da utilização de Geotecnologias para suporte a análise de dados do uso da terra e cobertura

vegetal, especialmente quando se adota uma abordagem que utiliza modelo de estimativa ou de expectativa de erosão do solo, por exemplo, a Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS).

O mesmo autor (1991) aplicou o modelo EUPS em conjunto com dados de sensoriamento remoto, utilizando o Sistema de Informações Geográficas SGI/INPE, com o intuito de avaliar e analisar a atuação de processos de erosão acelerada e de diferentes níveis de suscetibilidade a esses processos e, obteve como resultado final o índice de criticidade de perdas relativas por erosão.

Romero-Diaz et al (1999) realizaram estudos em bacias hidrográficas que compõem o mediterrâneo europeu e comprovaram o comportamento de desgaste do solo e os efeitos causados pelo escoamento superficial a partir do cruzamento de informações processadas em SIG. O estudo evidenciou ainda a produção de sedimentos, o uso do solo e, a cobertura vegetal.

Donzeli et al (1992) desenvolveram pesquisa na micro-bacia do córrego São Joaquim localizada no município de Pirassununga, estado de São Paulo, com vistas à integração de informações a partir da utilização conjunta de técnicas do Sensoriamento Remoto e SIG (SGI/INPE). Mostraram a classificação de áreas com base em dados multivariados e, para caracterizar a degradação do solo, foram identificadas as áreas de risco de erosão com a adoção do modelo EUPS.

Estudando a micro-bacia do ribeirão Jacutinga na bacia do Corumbataí, no estado de São Paulo, Bertolami et al (1996) analisaram e monitoraram a vegetação e o uso da terra a partir de abordagens com ações integradas de investigação. A integração de técnicas e produtos de sensoriamento remoto, com uso do SIG Idrisi, apresentou-se como ferramenta principal para a efetiva aplicação da pesquisa. A análise, o mapeamento e a quantificação da aptidão agrícola, da intensidade e do uso preferencial da área selecionada foram satisfatoriamente alcançados a partir da integração de produtos de sensoriamento remoto com o SIG.

Oliveira (2000) desenvolveu estudo no qual combinou técnicas de sensoriamento remoto, processamento de imagens digitais, “SIG Idrisi 3.2” e modelo de perda de solos aplicados ao uso da terra na bacia hidrográfica do ribeirão São João no estado de São Paulo. Fez uma avaliação da evolução temporal do uso da terra em três momentos (1962, 1972 e 1996), bem como caracterizou o potencial natural de erosão com a devida indicação para a ocupação permissível das terras.

O autor mostrou ainda, em uma análise temporal, a dinâmica do uso da terra e constatou que de 1962 para 1996 houve uma intensificação da ação antrópica, em decorrência da expansão das atividades agrícolas, principalmente da citricultura, aumentando as áreas de risco à erosão.

Assad et al (1998a) comprovaram o potencial do SIG na integração de dados geocodificados a partir da estruturação de dados geoambientais no contexto da micro-bacia hidrográfica do córrego Taquara no Distrito Federal. Mostraram vantagens decorrentes da possibilidade de automatização de cruzamentos complexos de informações, a elevada precisão do produto final e a economia de tempo em relação aos métodos tradicionais de análise.

Tendo como área de estudo a região de Campinas, Castro et al (1998) desenvolveram metodologia para integração de dados tanto do quadro físico-natural como do quadro sócio-econômico, em ambiente SIG. Em decorrência da integração dos dados foram avaliadas as possibilidades de atualização cartográfica por método digital e, foi possível, através do SIG Idrisi 2.0, identificar e mapear a produtividade da principal produção agrícola da região (cana-de-açúcar) e integrá-la ao mapa de potencial agrícola do solo obtendo-se então, o mapa de relação produtividade/potencial da cana-de-açúcar.

Botelho (1999) aplicou o conceito de planejamento ambiental voltado para micro-bacia hidrográfica. Fez a integração de dados ambientais e a definição das etapas de planejamento através dos procedimentos sintético e analítico. No primeiro caso (sintético), a avaliação da área é realizada a partir das interpretações de imagens orbitais e fotografias



aéreas e se traduz na definição tanto de ambientes quanto de sub-ambientes, de acordo com a escala de detalhamento. No caso do procedimento analítico, são conjugadas informações referentes a cada parâmetro ambiental selecionado, originando um mapa cujas células cartográficas correspondem às áreas mais homogêneas possíveis, o qual se adapta melhor as micro-bacias hidrográficas, uma vez que os parâmetros ambientais são vistos mais detalhadamente, originando assim mapas temáticos específicos.

O mesmo autor enfatiza que o mapeamento de unidades ambientais em micro-bacias hidrográficas segue o modelo cartográfico de superposição de planos de informação distintos, e que é cada vez mais favorecido pelos avanços na área dos SIG's, pelo fato deles permitirem manusear um grande volume de informações principalmente do meio físico, uso do solo e sistema de cultivo, e estabelecerem estratégias para facilitar a tomada de decisões.

Ambrósio et al (2000) realizaram estudo de planejamento de uso sustentável da terra em micro-bacias hidrográfica aplicando o modelo CUST (Capacidade de Uso Sustentável da Terra), no qual se baseia por aperfeiçoar os múltiplos objetivos propostos voltados aos agricultores das áreas estudadas. Para esse aperfeiçoamento se destaca a erosão do solo, determinada através do modelo EUPS, e acrescentada do uso das variáveis de fertilidade, drenagem, mecanização, profundidade e risco de erosão, as quais, quando otimizadas, caracterizam o modelo CUST.

Assad et al (1998b) fizeram levantamento para avaliação da aptidão de terras para agricultura por meio de Sistemas de Informações Geográficas. Apresentaram como resultados a espacialização e o cruzamento de dados, bem como os cálculos das respectivas áreas trabalhadas, obtendo como vantagens a redução da subjetividade em operações de cruzamento manual de informação sobre o meio ambiente e a rapidez nas operações de sobreposição de mapas.

Ruhoff et al (2002) realizaram, através da Programação em LEGAL (Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico) do aplicativo Spring/INPE, a Equação Universal de Perdas de Solos (EUPS), com objetivos de avaliar o risco de processos

erosivos na bacia hidrográfica do Arroio Marcondes – RS. Os autores efetivaram estudos de gerenciamento de recursos hídricos em bacias hidrográficas, de acordo com o previsto pelo Fundo Setorial de Recursos Hídricos, em que os principais problemas referem-se a erosão e compactação do solo, perda de cobertura natural e reflorestamento inadequados.

Tomazoni et al (2005) demonstraram a sistematização da Equação Universal de Perdas de Solo, em Sistemas de Informação Geográfica, com o objetivo de quantificar as perdas de solos por erosão laminar na micro-bacia do rio Anta Gorda, localizado no município de Santa Izabel do Oeste, no Paraná. O trabalho contribui para a implementação e desenvolvimento de metodologias automatizadas visando sua caracterização e a quantificação, tendo como consequência o controle do processo erosivo laminar.

#### **4- CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.**

##### **4.1- Localização**

A área de estudo deste trabalho possui aproximadamente 1670 km<sup>2</sup> e compreende parte dos municípios drenados pela bacia hidrográfica do rio Balsinhas<sup>1</sup> localizada na porção sul do estado do Maranhão, entre as coordenadas geográficas que correspondem aos paralelos 07° 27' 00" S e 08° 12' 51" S de latitude Sul e, meridianos 45° 44' 54" W e 46° 07' 59" W de longitude oeste (Figura 1).

##### **4.2- Aspectos Físicos**

---

<sup>1</sup> Municípios drenados pela bacia hidrográfica do rio Balsinhas: Balsas, Sambaíba, São Raimundo das Mangabeiras e Tasso Fragoso.

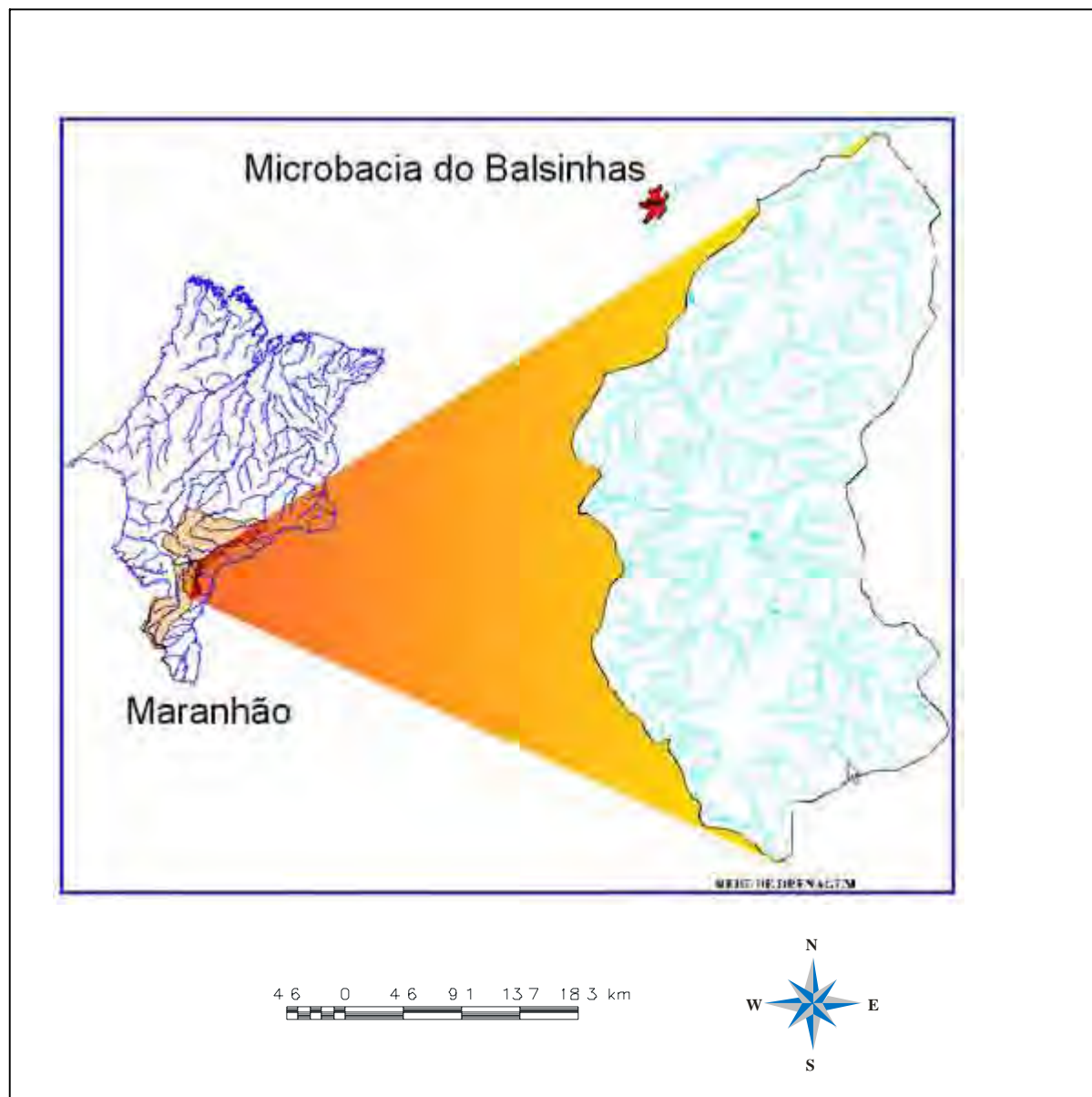


Figura 1: Localização da Área de Estudo

#### 4.2.1- Hidrografia

O rio Balsinhas é um afluente do rio das Balsas, que por sua vez pertence à bacia hidrográfica do rio Parnaíba, sendo então considerado de regime tropical, pois obedece ao comportamento geral do clima, o qual determina a ocorrência de um período de enchente (novembro a abril) e outro de estiagem (maio a outubro), onde em qualquer das situações,

possuem características que os tornam de certa forma regulares no que diz respeito à intensidade de água.

Segundo o relatório final da GAMA – Gerência Adjunta de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado do Maranhão (1999), a bacia hidrográfica do rio Balsinhas compreende 4,72 km de extensão média de escoamento superficial, uma densidade de drenagem de 0,51 km/km<sup>2</sup> e, conta ainda com 16,8% de sinuosidade do canal. Deve-se ressaltar também, os valores da temperatura da água que variam de 26,9° a 30,9°C, bem como sua cor e turbidez que se caracterizam respectivamente como ligeiramente escura e média transparência (Figura 2), com uma tendência de relativo aumento nas características de temperatura, cor e turbidez principalmente na região próxima a foz na confluência com o rio Balsas.



Figura 2. Aspecto parcial do rio Balsinhas próximo a confluência com o rio Balsas no período de estiagem (set/2002) com destaque para a ponte de cruzamento com a BR 321.

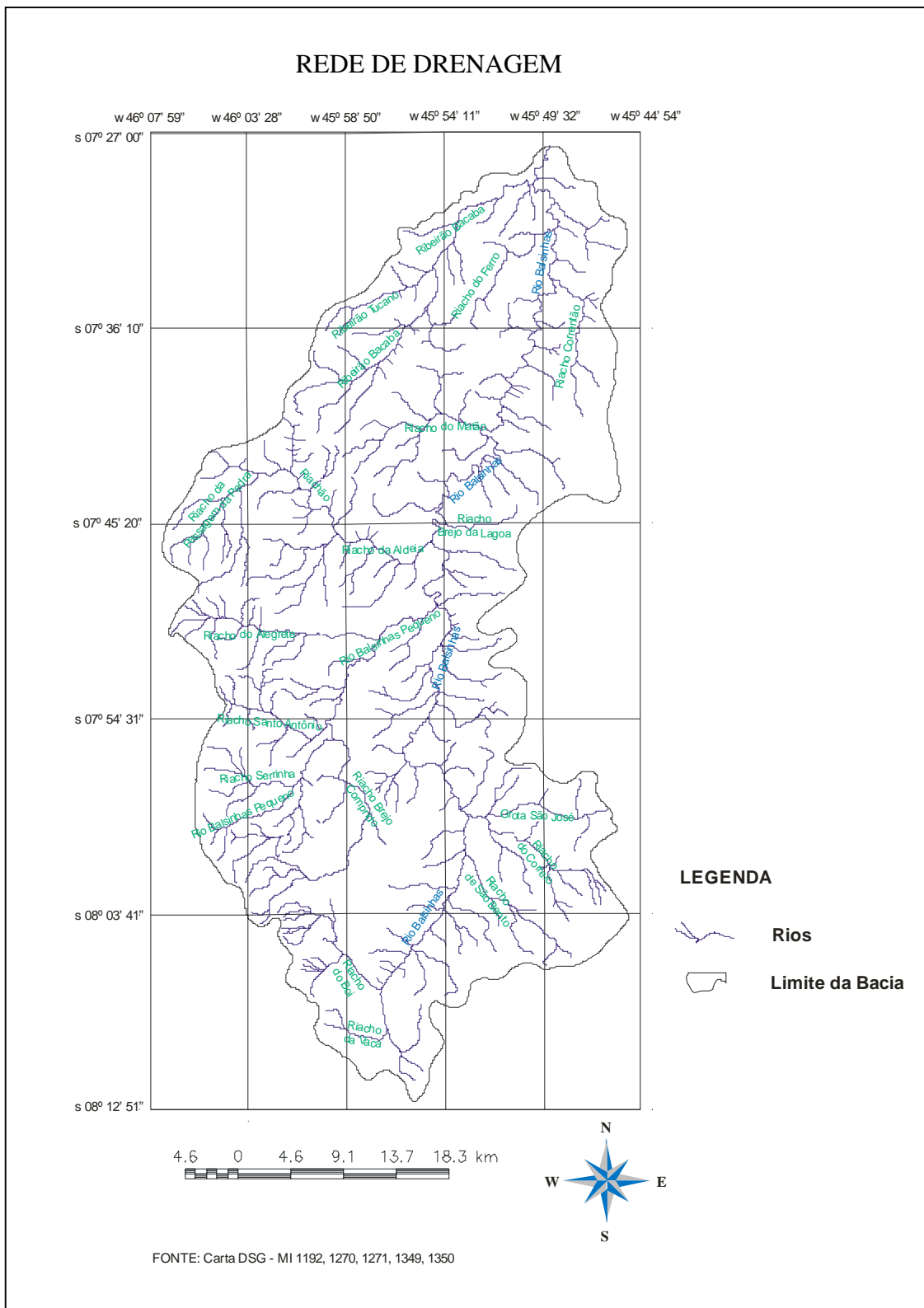


Figura 3. Mapa da Rede de drenagem da bacia do rio Balsinhas-MA.

Ainda com base no relatório final da GAMA (1999), a rede de drenagem do rio Balsinhas (Figura 3) possui características de uma bacia classificada como 5ª ordem dos cursos d'águas, de acordo com a classificação de Strahler (1964).

Feitosa (1983) afirma que todos os rios que compõem a bacia hidrográfica do rio das Balsas são alimentados por pequenos regatos de sítios brejeiros e pequenos afloramentos do lençol freático, onde neste caso, também se aplica à situação de formação para o seu principal afluente, isto é, a bacia hidrográfica do rio Balsinhas, que ainda se destaca dos demais afluentes por possuir dois formadores que o ajudam na alimentação direta de suas águas, que são o ribeirão Bacaba e o ribeirão Balsinhas Pequeno, mostrados respectivamente nas Figuras 4 e 5.



Figura 4. Trecho do ribeirão Bacaba próximo à foz junto ao rio Balsinhas.



Figura 5. Trecho do ribeirão Balsinhas Pequeno.

As águas do rio Balsinhas se caracterizam ainda, pela sua qualidade relativamente boa, uma vez que não existem empreendimentos industriais que possam comprometer ambientalmente a qualidade das águas do rio, porém os projetos agrícolas existentes na região já apresentam um potencial poluidor.

#### **4.2.2- Geologia**

Com relação à formação geológica o Projeto RADAM (1973) identifica junto à bacia do rio Balsinhas duas formações geológicas distintas, ou seja, Formação Pedra de Fogo do Permiano e Formação Sambaíba do Triássico (Figura 6).

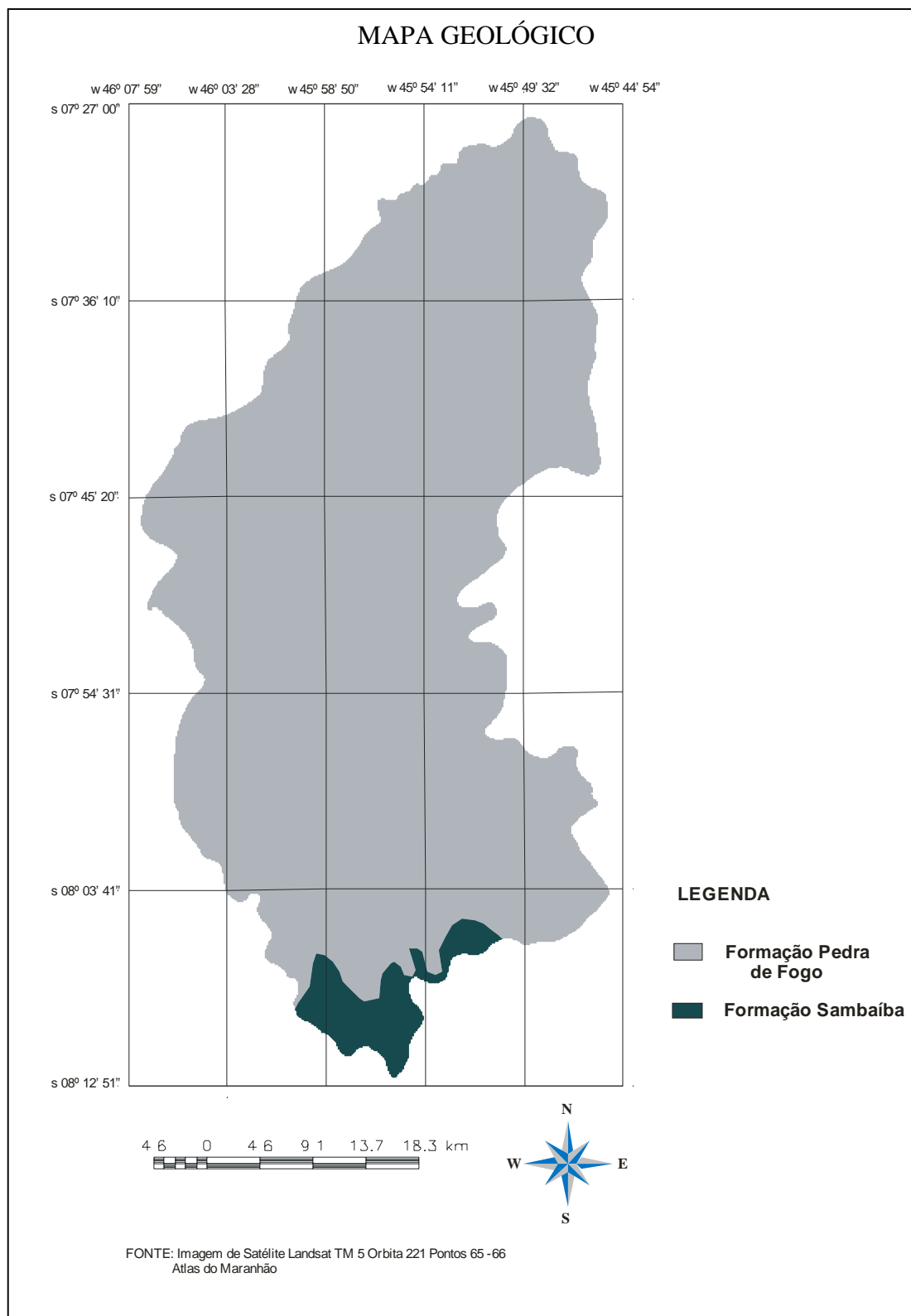


Figura 6. Mapa Geológico da bacia do rio Balsinhas-MA.



A Formação Pedra de Fogo do Permiano se caracteriza por se constituir da presença de arenitos, siltitos e folhelhos intercalados em proporções variáveis. Os arenitos possuem coloração cinza-clara, com granulometria variando de finos a muito finos, enquanto os siltitos são avermelhados e os folhelhos são esverdeados. Observa-se também, a presença de nódulos e leitos de sílex nos diversos níveis desta formação, bem como de calcário branco e gipsita, mais frequentes no topo desta formação.

Plummer (1984) denominou de Formação Pedra de Fogo à seqüência de camadas com sílex que afloram no vale do Riacho Pedra de Fogo, entre as cidades de Pastos Bons e Nova Iorque, no estado do Maranhão. Representa a Unidade de maior distribuição na Zona Sul e destaca-se por constituir os relevos mais expressivos da área, a saber: Serras do Gado Bravo, Penitente, Belo Mato, Medonho, Caititu e Enxada.

Segundo Northfleet & Neves (1966) e Pereira et al (1986), apresenta-se dividida em três seções: para os últimos autores, a inferior é composta de siltitos arroxeados, creme-esbranquiçados, argilosos, raramente calcíferos, fossilíferos e parcialmente silificados. Níveis de arenito fino argilosos, leitos de gipsita e bancos de argilitos com nódulos de silixitos encontram-se intercalados.

A seção média encontra-se constituída por arenitos amarelados caulínicos, granulação muito fina a média, mal selecionada e com grãos semi-arredondados. A Seção Superior constitui-se de siltitos e folhelhos arroxeados, micromicáceos, com laminação de carbono e silixito.

A Formação Pedra de Fogo caracteriza-se por uma sedimentação cíclica, tem seus ciclos da base para o topo constituído, de um modo geral, por arenitos arroxeados, vermelho a avermelhado, creme esbranquiçado, esverdeado, amarelo alaranjado, fino a grosseiro, argilosos, com pontuações de óxido de ferro. Segue siltitos arroxeados por vezes rosados, fraturados, enquanto os folhelhos são vermelho-púrpura, verde a verde acinzentado.

A área se encontra representada por pacotes de arenitos rosados a avermelhados por vezes amarelados, bem estratificado, bastante poroso e permeável. A granulação varia de fina a média, podendo conter eventualmente níveis grosseiros, mal selecionados. Níveis de siltitos e folhelhos, intimamente interestratificados.

O ambiente deposicional segundo Pereira et al (op. cit.) teria sido deltático com contribuição eólica a marinha, segundo Bezerra et al (1990), o ambiente de sedimentação da Formação Pedra de Fogo parece ter sido essencialmente marés epicontinentais, participando, em grau subordinado, ambiente lacustre ou lagunar com fácies evaporíticas, as quais se associam a sedimentação fluvial com esporádicos eventos eólicos. A sua idade é Permiano Inferior variando de 280 a 260 milhões de anos. O contato inferior e superior é concordante e gradativo. Segundo Bezerra et al (op. cit.) a maior espessura registrada para esta Formação foi da ordem de 186m, detectada em sub-superfície.

Conforme anteriormente colocado a Formação Pedra de Fogo constitui as feições geomorfológicas mais expressivas da área, no topo destes relevos eminentemente tabulares, ocorrem solos latossólicos, permeado por solos lateríticos, são solos estáveis, tanto maior quanto for a presença dos processos de laterização. Nas encostas destas Unidades ocorrem solos litólicos ou pode ocorrer expressiva ação erosiva, a depender da presença de níveis de arenitos friáveis desprotegidos da vegetação.

Por sua vez, a Formação Sambaíba (do Triássico) se caracteriza por se constituir num conjunto de arenitos sobrepostos à formação anterior, constituindo na formação de platôs, que servem de divisores de águas dos principais rios, ou seja, Parnaíba, Balsas e Balsinhas. Esses arenitos se destacam principalmente pela coloração avermelhada e amarelada, pela granulometria de fino a médio, pouco argiloso e, bem selecionado, pois apresentam finas intercalações de sílex e muitas estratificações cruzadas.

O termo Sambaíba foi utilizado pela primeira vez por Plummer (1946) para designar os arenitos que afloram na Serra da Vitória, situada a sul da cidade de Sambaíba, no Estado do Maranhão, mais precisamente no extremo sul da área da bacia. Segundo Almeida et al

(1976), constitui-se exclusivamente de arenitos, na base são de cor creme, fino a muito fino, caulínico muito friável, com estratificação cruzada. A metade superior é composta por arenitos vermelhos, grãos fino a médios, muito friáveis, com boa estratificação cruzada. Pode exibir níveis de sílex e silicificação no contato com as efusivas da Formação Mosquito, afirmam Bezerra et al (op. cit). Exibe contato inferior discordante com a Formação Pedra de Fogo ou Motuca e o superior também discordante com a Formação Mosquito. A natureza deposicional desta Unidade é fluvial-eólica em clima desértico e a espessura alcança um máximo de 400m, Bezerra et al (1990).

Pereira et al (1990) afirmam que a idade da formação Sambaíba é mal determinada, sendo atribuída desde o Triássico Inferior ao Jurássico Inferior, isto é, 230 a 176 milhões de anos, mas de um modo geral sua idade é atribuída ao Triássico, 230 a 195 milhões de anos.

Devido à sua natureza composicional, ocorrem predominantemente solos compostos por areias quartzosas e latossolos, com grau de erodibilidade variável, a depender da topografia e da cobertura vegetal existente. A interferência antrópica nesta Unidade do relevo requer cuidados de preservação ecológica mais criteriosa.

#### **4.2.3- Geomorfologia**

A feição primordial da geomorfologia da área é consequência da evolução paleográfica da bacia sedimentar. As camadas sedimentares se apresentam quase horizontais, com pequenos declives para o sentido norte, resultante de processos e mecanismos morfogenéticos, atuante sob climas diversos.

Ao longo da área de estudo, destaca-se a presença da formação planalto com um relevo tabular, denominado Tabuleiros de Balsas, os quais se caracterizam por apresentar planos irregulares modelados em siltitos, argilitos e arenitos e, apresentam áreas em colinas e escarpadas, contendo ravinas e voçorocas.

Outro destaque são as formações geomorfológicas do tipo chapadas (ilustrada na Figura 7), cuestas e superfície com morros testemunhos, na qual se sobrepõe a Chapada do Alto Parnaíba. As chapadas constituem extensas formações situadas em níveis altimétricos variando entre 500 a 800 metros, caracterizados por topo regulares. Nas bordas das chapadas ocorrem escarpas intensamente dissecadas, modeladas por processos erosivos acelerados pelo escoamento concentrado, ocasionando formação de ravinas, desmoronamento e solapamento de base.



Figura 7. Estrada vicinal de acesso ao vale do rio Balsinhas vendo ao fundo a formação geomorfológica do tipo chapada.

A região apresenta ainda, feição de um conjunto de chapadões talhados em terrenos sedimentares constituídos por arenitos xistosos e folhelhos. Os vales encontrados no planalto separam as chapadas por meio de entalhes profundos, e por essa razão as chapadas apresentam escarpas abruptas em contraste com o topo regular.

#### 4.2.4- Pedologia

Com base nas informações da CONSPLAN (1992), a bacia hidrográfica do rio Balsinhas se apresenta com os seguintes tipos de solos, conforme evidencia a Figura 8: Latossolo Amarelo; Latossolo Amarelo + Podzólico Vermelho-Amarelo; Podzólico Vermelho-Amarelo; Solos Litólicos; Solos Litólicos + Podzólico Vermelho-Amarelo Concrecionário.

Dentre as manchas mais representativas dos tipos de solos, se destacam o Latossolo Amarelo, observado na Figura 9, que surge nos topos de chapadas com áreas de relevo plano, com cobertura vegetal de cerrado, apresentando boas propriedades físicas e baixa fertilidade natural, mesmo assim, com potencial para agricultura e, o Latossolo Vermelho-Amarelo que se localiza em áreas planas que correspondem a Superfície tabular e se desenvolve a partir de sedimentos argilosos do Terciário sobre o areno-siltosos da Formação Pedra de Fogo com características de textura arenosa de média granulometria.

Outro tipo de solo que se evidencia é o Podzólico Acinzentado que apresenta atividade de argila baixa com fertilidade natural baixa, e ocorre em áreas de relevo plano, tendo como material originário às deposições predominantemente arenosas e siltosas da Formação Pedra de Fogo do Permiano, bem como, as Areias Quartzosas que são solos pouco desenvolvidos e originários de arenitos tanto da Formação Pedra de Fogo, como da Formação Sambaíba, os quais se caracterizam por serem excessivamente drenados e de baixa fertilidade natural com pequena utilização agrícola do plantio da mandioca. São ainda, solos que apresentam caráter distrófico e estão situados em áreas de relevo plano à suave ondulado e, são bastante suscetíveis à erosão. A vegetação desta classe de solos corresponde ao cerrado e a floresta sub-caducifolios e, no que se referem ao aproveitamento agrícola, as manchas com Areias Quartzosas têm sido utilizadas em culturas de subsistência, pecuária extensiva, pastagem e fruticultura.

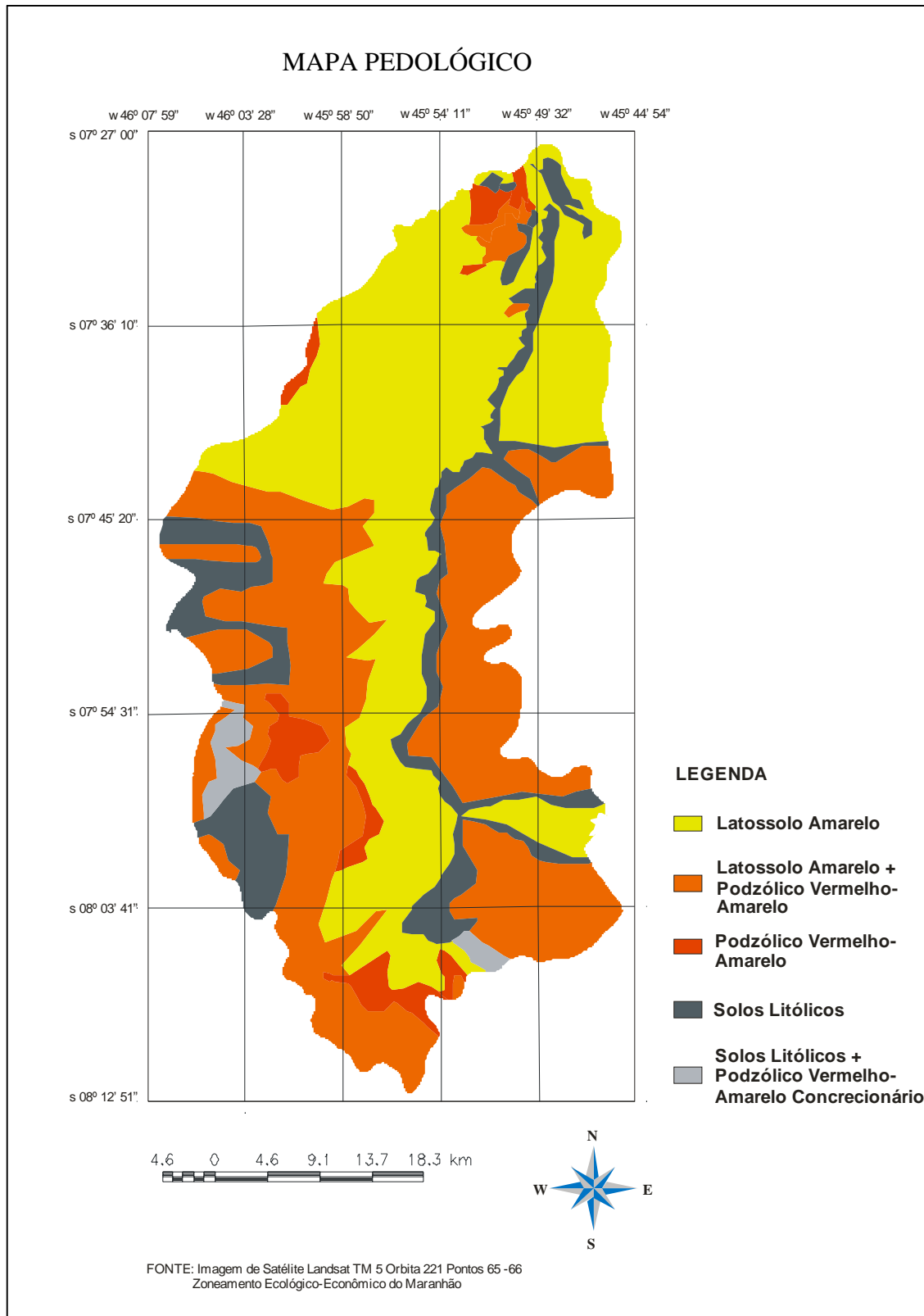


Figura 8. Mapa pedológico da bacia do rio Balsinhas-MA.



Figura 9. Solo Latossolo Amarelo em área de drenagem do rio Balsinhas.

Também merece destaque, o Podzólico Vermelho-Amarelo, uma vez que o mesmo ocorre nas áreas que variam de relevo suave ondulado a área ondulada com partes forte onduladas, correspondente às superfícies irregulares, níveis residuais e desgastadas. O material originário é constituído por alteração de arenitos da Formação Sambaíba do Triássico e de arenitos, siltitos e folhelhos da Formação Pedra de Fogo. Caracteriza-se também, pela suscetibilidade à erosão e possui limitação para a agricultura, uma vez que sua vegetação predominante é a floresta tropical sub-perenifólia com presença de palmáceas.

Por fim, têm-se a presença dos Solos Litólicos os quais compreendem solos pouco desenvolvidos, variando de rasos a muito rasos. Eles são distribuídos em relevo suave ondulado, ondulado e forte ondulado e, correspondem às superfícies irregulares formando elevações ou encostas de chapadas. Estes solos são pouco utilizados com a agricultura em função da sua pouca espessura e pelo relevo onde se situam.

#### 4.2.5- Clima

O clima predominante na região é o tropical quente e semi-úmido, com chuvas abundantes no verão e outono, definido a partir da classificação climática de Köppen como um clima do tipo *Aw*. Ele é um fator de grande importância na constituição dos agentes condicionantes dos processos erosivos, uma vez considerada a função primordial que a água precipitada exerce tanto na desnudação do terreno, quanto no comportamento do lençol freático.

Segundo os dados do posto meteorológico<sup>2</sup> instalado dentro das dependências da Fazenda Charles, no município de Sambaíba, monitorado pelo Núcleo Estadual de Meteorologia e Recursos Hídricos (NEMRH), a região registra temperatura média anual em torno de 26°C, precipitação média anual de 1250 mm/ano, e possui média anual da umidade relativa do ar variando em torno de 74%, apresentando valores mínimos entre os meses de agosto e outubro.

Através da distribuição da precipitação pluviométrica anual e mensal, a qual compreende um período de série histórica de 30 anos (1973 a 2002), conforme mostra a Tabela 1, têm-se a noção do potencial hídrico da região disponível ao longo do ano, sendo imprescindível para todos os setores da economia, em especial para a agricultura como subsídio para as atividades de plantio e colheita.

---

<sup>2</sup> Posto Meteorológico contendo os seguintes equipamentos: termômetro de máximas e mínimas, barômetro, pluviômetro, anemômetro, tanque de evaporação.



Tabela 1: Dados de precipitação da bacia hidrográfica do rio Balsinhas. Série histórica 1973-2002 (em mm).

<b>Período</b>	<b>Jan</b>	<b>Fev</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>Mai</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Set</b>	<b>Out</b>	<b>Nov</b>	<b>Dez</b>	<b>Total Anual</b>
<b>1973</b>	275	119	105	99	51	0	0	0	15	77	195	340	1276
<b>1974</b>	384	173	212	75	48	17	0	0	47	87	95	222	1360
<b>1975</b>	329	277	192	101	95	11	0	0	14	95	157	275	1546
<b>1976</b>	267	195	126	95	27	2	0	0	9	54	227	288	1290
<b>1977</b>	489	263	124	89	55	0	0	0	19	99	136	274	1548
<b>1978</b>	347	116	272	137	75	15	0	0	35	79	189	316	1581
<b>1979</b>	254	239	121	158	38	0	0	11	28	65	240	293	1447
<b>1980</b>	217	302	125	88	53	14	0	0	16	78	145	185	1223
<b>1981</b>	404	332	259	187	15	0	0	0	39	59	194	221	1710
<b>1982</b>	385	405	295	156	86	24	0	0	19	71	138	217	1796
<b>1983</b>	312	389	277	115	75	33	0	0	37	56	118	237	1649
<b>1984</b>	266	243	217	101	60	29	0	0	33	87	205	326	1567
<b>1985</b>	176	155	199	76	15	0	0	0	15	33	146	179	994
<b>1986</b>	235	118	77	14	0	21	0	0	40	78	129	237	949
<b>1987</b>	195	228	170	54	19	0	0	0	25	89	80	146	1006
<b>1988</b>	218	140	112	79	14	0	0	0	5	44	105	240	957
<b>1989</b>	301	115	202	133	70	16	0	0	0	32	77	139	1085
<b>1990</b>	196	101	94	68	8	0	0	0	12	45	115	225	864
<b>1991</b>	246	139	101	124	59	0	0	10	21	75	94	136	1005
<b>1992</b>	303	290	84	103	0	0	0	0	0	36	144	64	1024
<b>1993</b>	63	222	126	96	10	0	0	0	15	60	132	140	864
<b>1994</b>	209	227	286	134	53	47	0	0	0	15	179	358	1508
<b>1995</b>	150	238	324	204	127	0	0	0	65	31	167	302	1608
<b>1996</b>	229	57	267	65	0	18	0	0	0	80	289	120	1125
<b>1997</b>	323	46	227	227	14	0	0	0	0	50	123	117	1127
<b>1998</b>	140	155	150	58	45	0	0	0	15	95	105	113	876
<b>1999</b>	183	159	142	15	122	0	0	0	10	153	209	136	1129
<b>2000</b>	231	399	245	97	72	0	0	0	0	80	252	272	1648
<b>2001</b>	126	249	293	127	51	0	0	0	0	30	241	429	1546
<b>2002</b>	618	149	256	136	54	0	0	0	27	95	102	123	1560
<b>Média mensal</b>	269	208	189	107	47	8.2	0	0.7	18.7	67.6	157	222	-
<b>Total</b>	8071	6240	5680	3211	1411	247	0	21	561	2028	4728	6670	38868

Fonte: Núcleo Estadual de Meteorologia e Recursos Hídricos do Maranhão.

De acordo com a Figura 10, a análise que se faz ao longo do período, em relação à quantidade de chuva na região, pode ser agrupada em três segmentos distintos. O primeiro

segmento compreende o período que marca o início da coleta dos dados pluviométricos, ou seja, ano de 1973 que se estende até o ano de 1984, período esse que atinge índices bem representativos para a região, variando em torno de 1200 a 1800 mm, isto é, um intervalo de 600 mm.

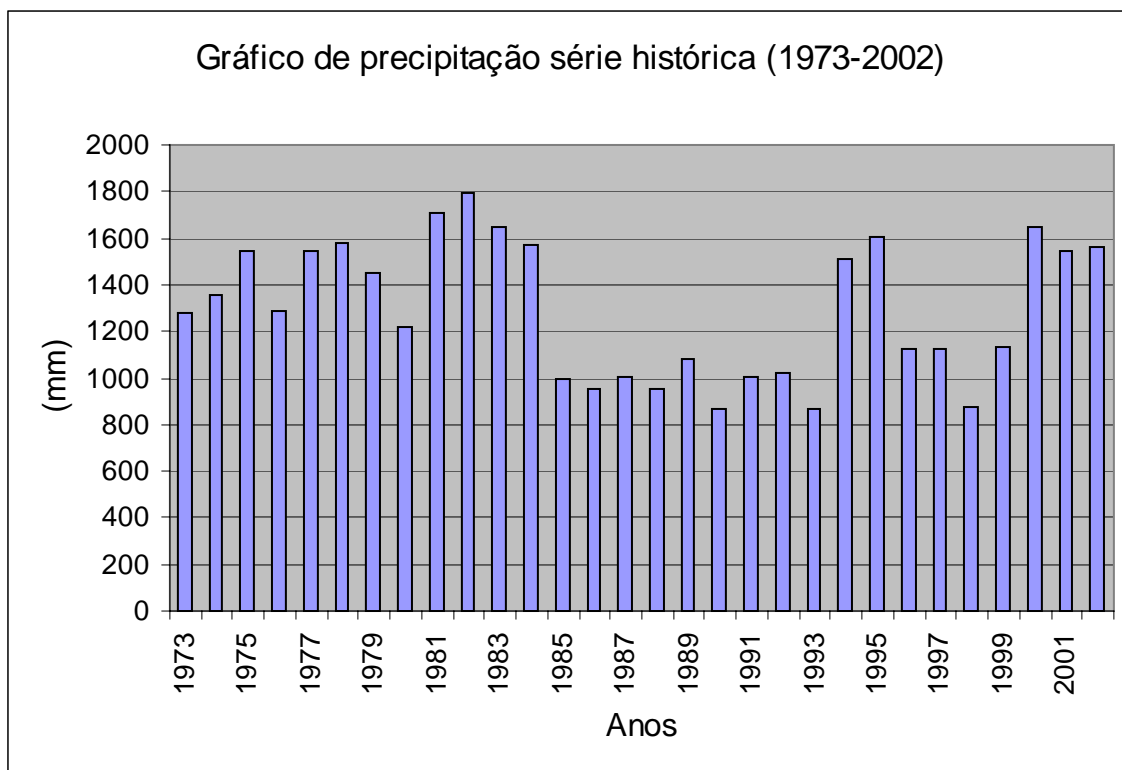


Figura 10. Gráfico de precipitação série histórica (1973-2002)

O segundo segmento compreende o período de 1985 a 1993, o qual se destaca em possuir índices de precipitação menores que o momento anterior, e que giram em torno de 800 a 1000 mm, ou seja, 200 mm de intervalo.

Por sua vez, o terceiro segmento que envolve o período entre os anos de 1994 a 2002, se comporta de forma irregular, pois atinge valores de precipitação que oscilam bastante, os quais chegam a alcançar num determinado ano 800 mm, e no ano seguinte atinge a marca de 1500 mm., com um intervalo de aproximadamente 700 mm.

Observando-se o gráfico de distribuição da média mensal da série disponível (Figura 11), verificam-se dois períodos de distribuição pluviométrica marcantes na região, isto é, um chuvoso e outro de estiagem. Merecem destaques, dentre o período mais chuvoso, os meses de dezembro, janeiro e fevereiro, com registro de índices superiores a 200 mm ocorridos em cada mês, enquanto, no período de estiagem, se sobressaem os meses de julho e agosto que chegam a alcançar índices baixíssimos até mesmo em torno de zero milímetro de precipitação ao longo do período analisado, enquanto os demais meses se caracterizam por possuírem valores intermediários.

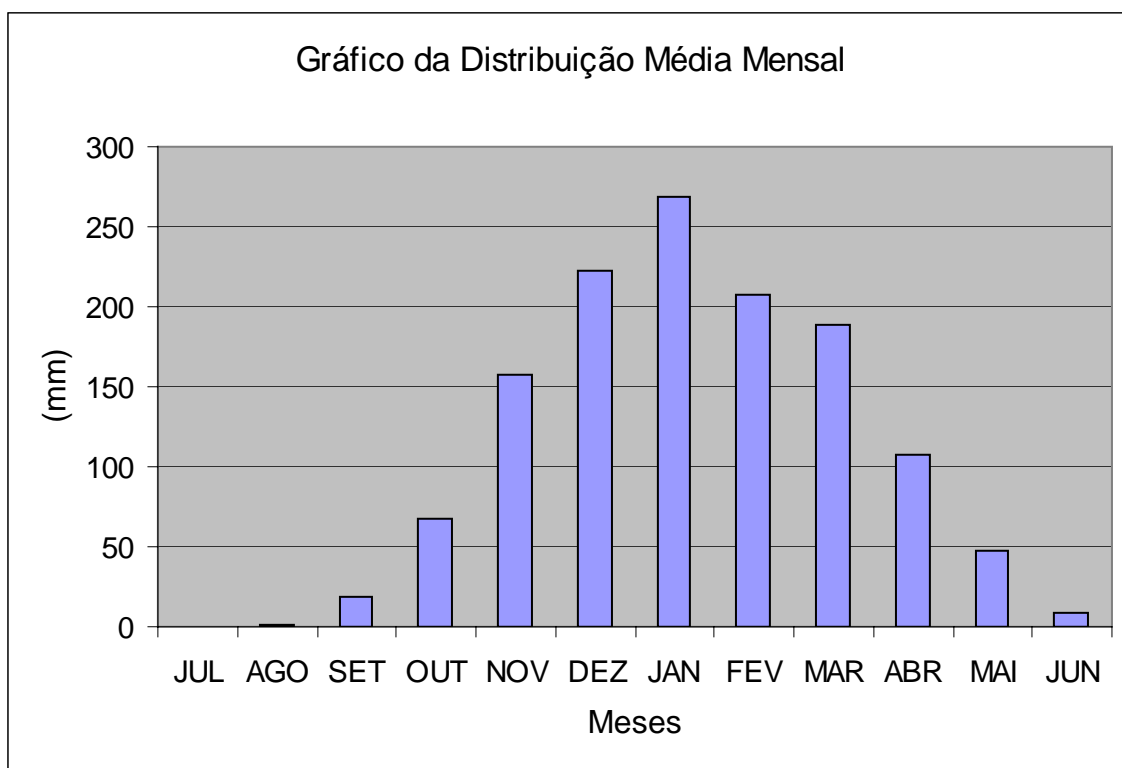


Figura 11. Gráfico da distribuição média mensal da série.

#### 4.2.6- Vegetação

A vegetação da região reflete os aspectos transicionais por quais passa o estado do Maranhão, isto é, o clima superúmido característico da região norte, com aspectos de semi-

árido da região nordeste. No caso específico trata-se de uma região de cerrado (Figura 12), propícia à agricultura devido à manutenção de sua temperatura de forma constante, com ausência de geada, chuvas abundantes e relativamente bem distribuídas.

Segundo Figueiredo (1986) o cerrado é uma vegetação fisionomicamente constituída por árvores de alturas pequenas e arbustos de caules e ramos tortuosos, com casca grossa, folhas duras, de superfície brilhante ou revestida por uma espessa camada de pêlos, sendo que as árvores em geral são baixas, com média de 6 a 8 metros de altura.



Figura 12. Vista parcial da área de estudo com destaque para a vegetação de cerrado.

Por sua vez, Coutinho (1978) propôs uma classificação para o cerrado como um complexo de formações, variando desde o campo limpo (vegetação herbácea) até o cerradão (presença da vegetação arbórea em conjunto com a vegetação arbustiva), com registro das formações intermediárias, como o campo sujo (predomínio de vegetação herbácea com arbustos esparsos), campo cerrado (uma mescla de vegetação herbácea e

arbustiva) e, o cerrado *strictu sensu* (com presença eqüitativa de vegetação arbórea, arbustiva e herbácia).

Outro aspecto de extrema importância para a vegetação da região e para a manutenção do rio Balsinhas, é a recomposição da sua mata ciliar, e do solo que se encontra parcialmente erodido, pois a mesma apresenta papel necessário na estruturação das margens do mesmo, com a retenção de materiais oriundos de processos erosivos do solo.

Bezerra (1999) identificou também, junto à bacia hidrográfica do rio Balsinhas as seguintes espécies vegetais, inclusive com as denominações, popular e científica: Pequizeiro (*Stryphnodendron coriaceum* Witt), Imbaúba (*Cecropia* spp), Pau-pombo (*Sclerolobium paniculatum*), Cachamorra (*Curatella americana* L).

#### **4.2.7- Caracterização do espaço físico**

A análise da paisagem natural foi realizada a partir do conhecimento de sua gênese, constituição física, forma e estágio de evolução, bem como o tipo da cobertura vegetal que sobre ela se desenvolve. Estas informações foram fornecidas pela Geologia, Geomorfologia, Pedologia e Fitogeografia e integradas para obter-se um retrato fiel do comportamento da área a partir de sua ocupação. Com o auxílio da Climatologia, para conhecimento das características climáticas da região onde se localiza a unidade de paisagem, no sentido de se antever o seu comportamento frente às alterações impostas pela ocupação.

Segundo (Morisawa, 1968) as informações morfométricas utilizadas são: a amplitude do relevo, a declividade e o grau de dissecação da unidade de paisagem natural e permitem que se quantifique empiricamente a energia potencial disponível para o “runoff”, isto é, a transformação de energia potencial em energia cinética responsável pelo transporte

de materiais que modelam as formas de relevo. Dessa maneira, podemos entender que em unidades de paisagem natural que apresentam valores altos de amplitude de relevo, declividade e grau de dissecação, prevalecem os processos morfogenéticos, enquanto que em situações de baixos valores para as características morfométricas prevalecem os processos pedogenéticos.

A Pedologia participa da caracterização morfodinâmica das unidades de paisagem natural fornecendo o indicador básico da posição ocupada pela unidade dentro da escala gradativa da Ecodinâmica, isto é, a maturidade dos solos. A maturidade dos solos, produto direto do balanço morfogênese e pedogênese, indica claramente se prevalecem os processos erosivos da morfogênese que geram solos jovens, pouco desenvolvidos, ou se, no outro extremo, as condições de estabilidade permitiram o predomínio dos processos de pedogênese gerando solos maduros, lixiviados e bem desenvolvidos.

As Superfícies Tabulares, cuja geologia associada é a Formação Pedra de Fogo, constitui-se na unidade de maior expressão na porção sul do Estado. Pedologicamente encontra-se associada a esta área a classe de solos Latossolo Amarelo com textura argilosa. Em função de suas características de suave declividade, elas se caracterizam como as de maior intervenção do homem, uma vez que sua cobertura vegetal predominante está classificada como Savana Densa.

Do ponto de vista da dinâmica, esta é uma unidade que embora apresentando suave declividade e vegetação do tipo Savana Densa, as atividades nela desenvolvidas não dispensam totalmente cuidados com as práticas conservacionistas. Quando esta cobertura vegetal é retirada, o comportamento dos processos de esculturação é alterado; sob a condição da cobertura, o processo de transporte difuso tende a crescer, com este tipo de transporte o que ocorre é que há uma distribuição mais ou menos uniforme de todo o volume d'água por sobre toda unidade; este é um fato facilmente notado nesta formação em função da cobertura vegetal e suave declividade; o resultado destas condições é a ausência total de ravinas pela ausência do transporte concentrado; por outro lado, quando a cobertura é removida há inicialmente uma maior agressividade causada pelo impacto erosivo pela

ação mecânica das gotas de chuva, que depende do seu poder erosivo promoverá a desagregação e transporte das partículas de solos. Este Princípio da desagregação dos solos pelas chuvas é aplicado a qualquer uma das regiões, portanto se seu efeito é diversificado, sendo evidente que embora os agentes de esculturação sejam os mesmos sua atuação está intimamente ligada às características de cada área.

Uma situação que exige muita atenção e preocupação são as áreas de transição das unidades tabulares com as áreas de bordas. O que se pode perceber é que estas são áreas constituídas de escarpas íngremes, caracterizando o estágio de juventude dos processos erosivos. As grandes declividades, pois aqui se localizam as maiores percentagens, e a vegetação mais esparsa em relação às unidades tabulares, definiram estas como as áreas de maior potencial natural à erosão (PNE), tecnicamente o seu uso é extremamente complicado, sendo áreas destinadas unicamente a zonas de preservação.

Outra forma de relevo na bacia é a constituída pelas superfícies pediplanadas, superfícies aplainadas sob condição de clima seco, através da regressão paralela das vertentes. Constituí-se em área dissecada em amplos interflúvios, resultando em uma baixa densidade de drenagem e suave declividade; comportando principalmente as seguintes classes de solos - Latossolo Amarelo Textura Média e Areias Quartzosas em associações diversas.

Em virtude de sua posição relativamente plana na região, as superfícies pediplanadas poderiam apresentar-se potencialmente com baixa expectativa de erosão; no entanto a geologia associada a esta região, está contribuindo com maior evidência na elevação deste potencial, devido a sua característica composta apresenta-se como uma das unidades geológicas de maior risco à erosão.

A formação vegetal de menor ocorrência nestas unidades está representada pelo tipo Savana Parque. Na porção sul da bacia, estas Unidades Geomorfológicas estão basicamente representadas por amplos vales, que normalmente se estendem até a base das

encostas das unidades tabulares, caracterizados por relevos planos, solos aluviais originados de rochas sedimentares.

Do ponto de vista da ocorrência de processos de modelação, aqui podemos considerar que estes estão no estágio de maturidade em virtude do próprio alargamento dos vales e também aqui, os rios praticamente já cessaram o entalhe dos seus leitos; as vertentes apresentam-se com ângulos bastante suavizados. Esta característica das vertentes, define certa estabilidade dos processos de modelagem, podendo estes serem acelerados se estas características forem alteradas.

Os fatores que normalmente restringem o uso destas unidades estão representados pela baixa fertilidade natural destas, associada às dificuldades de acesso. Estas unidades estão geralmente encaixadas nas superfícies pedimentadas, o que se torna uma característica de restrição de seu uso. O fato das superfícies pediplanadas estarem "delimitadas" pelas superfícies pedimentadas evidencia a crescente Pediplanação da região, bem como é certa a afirmação de que, dado à forma conjuntural da Região Sul, a velocidade dos processos erosivos é crescente no sentido: Superfície Pediplanada → Superfície Tabulares, o que se pode deduzir com isto é que as Superfícies Tabulares são verdadeiras regiões cercadas potencialmente do melhor conjunto de condições para o desenvolvimento e desencadeamento dos processos de transformação do relevo.

As Superfícies Pedimentadas, sob o ponto de vista da ocorrência de processos, são as unidades onde estes se encontram atuando com maior intensidade. A sua origem é atribuída ao desgaste das vertentes que regridem conservando as declividades. Sua ocorrência acontece comumente nas áreas entre o sopé da vertente e o leito fluvial; constitui-se na unidade de maior dissecação do relevo da região e está caracterizada pela presença de encostas bastante íngremes, grandes declividades, vertentes curtas; representando o estágio de juventude do ciclo de erosão. Quando localizadas nas bordas das Superfícies Tabulares, onde ocorrem as maiores amplitudes altimétricas, os rios ou canais de drenagem se encontram em alta atividade de entalhe dos seus leitos, originando ravinas e gargantas; nestas condições, é fácil entender a exposição ou suscetibilidade aos



riscos à erosão destas unidades, dependendo efetivamente sua ocorrência das características climáticas, do tipo de vegetação e litologia da área.

A cobertura vegetal destas unidades ainda pode conceder-lhe certa estabilidade. As maiores ocorrências de vegetação nestas superfícies constituem-se de Matas de Galeria às margens dos rios e, nas áreas de interflúvio está mais evidenciado os tipos Savana Parque e Savana Arbórea. Quanto aos tipos de solo, normalmente nesta unidade residem as classes dos Litólicos e Podzólicos Vermelho-Amarelo, com não rara presença de afloramentos de rochas causados pelo escoamento concentrado que intensifica o carreamento do material superficial, desnudando estas áreas expondo o material de origem.

Com a evolução dos processos os interflúvios vão tomando várias formas, ou seja, já será notória a diferenciação funcional das vertentes, constituindo dessa forma, vários tipos de dissecamentos. Cada dissecamento está relacionado intimamente com a natureza Litológica das vertentes; traduzindo desta forma a maior resistência do material à ação dos agentes do meio.

Como característica inerente às diversas formas de relevo, a drenagem superficial nos seus diferentes padrões revela-se um orientador da maior importância na dedução da composição dos possíveis substratos sobre os quais, cada modelado se estabelece. A rede de drenagem é muito sensível e pode registrar pequenas e importantes variações litológicas ou estruturais. A bacia do rio Balsinhas, obedecendo à forma genérica da região sul do estado, possui um padrão dendrítico constituindo-se no modelo de drenagem dominante. A principal característica deste modelo resulta que a sua presença ocorre sobre superfícies constituídas de material (rochas) onde a resistência à erosão ocorre de maneira uniforme. Nas áreas de evidente tectonismo, o modelo dendrítico encontra-se associado ao modelo angular, onde os cursos d'água assumem traçados retilíneos sendo estes trechos mais ou menos longos. Ainda com relação à drenagem, a característica das regiões geomorfológicas reside na densidade da rede, ou seja, no número de cursos d'água por unidade de superfície; esta relação constitui o chamado Índice de Dissecção do Relevo e representa um referencial da dinâmica escultural de cada unidade. Esta dinâmica provoca

as diferentes formas e extensões das vertentes, as quais se encontram submetidas a variações contínuas dos processos que promovem as diferentes formas.

Do ponto de vista geológico o maior potencial que predispõe a área da bacia, a que tudo indica, está representado pelas formações Pedra de Fogo e Sambaíba, dada à natureza composicional destas formações nas quais predominam solos dos tipos Areias Quartzosas e Latossolos com grande susceptibilidade a erosão, a depender de sua posição topográfica, intensidade pluviométrica e do tipo de cobertura vegetal.

#### **4.2.8- Processos morfoclimáticos e cobertura vegetal na formação da paisagem**

O clima tem participação decisiva na modificação da intensidade ou propagação da ação dos processos geomofológicos, mudando as características do material envolvido. A ação conjunta destes processos (mecanismos) faz evoluir as vertentes imprimindo-lhes uma forma característica.

O sistema morfoclimático diz respeito ao conjunto de mecanismos complexos, caracterizado pelo seu estreito relacionamento com o clima, onde este atua como elemento ativo do sistema.

A ação dos agentes climáticos sobre as rochas pode ocorrer de duas formas: Direta e Indiretamente. A ação direta se faz através da intensidade de elementos do clima, principalmente da precipitação, temperatura e ventos. A ação indireta ocorre através da cobertura vegetal e do tipo de solo.

É de notória importância o estudo destes elementos como forma de caracterização das diferentes modelações do relevo e objetivando a busca da compreensão dos processos. Em solos descobertos e cobertos o impacto da chuva inicia a primeira fase da morfogênese,

porém o processo de transporte se intensifica através do escoamento pluvial, que começa a surgir quando a quantidade precipitada se torna superior à velocidade de infiltração.

Os fenômenos de superfície, em última instância são comandados pela dinâmica da atmosfera, sendo, portanto, os fatores climáticos de básica importância na sua explicação. Para cada grande zona de vegetação e solo existem processos morfogenéticos específicos num sistema de erosão organizado, que modelam famílias de formas, o que se constitui num grande domínio morfoclimático. Não se pode, pois, dissociar uma paisagem morfológica de uma paisagem biogeográfica, mas buscar entender que todos esses mecanismos não agem separadamente, entretanto sua ação conjunta expressa a maior ou menor capacidade de atuação do sistema. Como forma de entendimento da interação entre estes elementos, citaremos o princípio de funcionamento nas diferentes paisagens; com a retirada da cobertura vegetal haverá uma exposição do solo aos agentes do meio, a luz passa com grande intensidade havendo um aumento da temperatura superficial, resultando na intensificação do processo de oxidação da matéria orgânica ocorrendo a mineralização, tornando-a solúvel em água. As chuvas que se sucedem à preparação do terreno promovem a erosão acelerada. Sem a cobertura vegetal, maior quantidade de água para escoamento superficial encontrar-se-á com imediata disponibilidade, submetendo as vertentes a um processo intensivo de desgaste.

As informações vindas da Fitogeografia se revestem da maior importância, pois a cobertura vegetal representa a defesa da unidade de paisagem contra os efeitos dos processos modificadores das formas de relevo (erosão). A ação da cobertura vegetal na proteção da paisagem se dá de diversas maneiras:

- Evita o impacto direto das gotas da chuva contra o terreno que promove a desagregação das partículas;
- Impede a compactação do solo que diminui a capacidade de absorção de água;
- Aumenta a capacidade de infiltração do solo pela difusão do fluxo de água da chuva;

- Suporta a vida silvestre que, pela presença de estruturas biológicas como: raízes das plantas, perfurações de vermes e buracos de animais, aumento da porosidade e a permeabilidade do solo.

Compete à cobertura vegetal ainda, um papel importante no trabalho de retardar o ingresso das águas provenientes das precipitações pluviais nas correntes de drenagem, pelo aumento da capacidade de infiltração, pois o ingresso imediato provoca incremento do “runoff” (escoamento superficial), com o conseqüente aumento na capacidade de erosão e transporte, pela transformação de energia potencial em energia cinética.

A participação da cobertura vegetal na caracterização morfodinâmica das unidades de paisagem natural está, portanto, diretamente ligada à sua capacidade de proteção. Assim aos processos morfogenéticos relacionam-se as coberturas vegetais de densidade mais baixa, enquanto que os processos pedogenéticos ocorrem em situações onde a cobertura vegetal mais densa permite o desenvolvimento e maturação do solo.

As informações climatológicas necessárias à caracterização das unidades de paisagem natural representam o contraponto do papel de defesa da unidade de paisagem desempenhado pela cobertura vegetal. Estas informações, relativas à pluviosidade anual e à duração do período chuvoso, permitem a quantificação empírica do grau de risco a que está submetida uma unidade de paisagem, pois situações de pluviosidade concentrada, isto é, alta pluviosidade anual e curta duração do período chuvoso, podem ser traduzidas como situações onde a quantidade de água disponível para o “runoff” é muito grande, e, portanto, é maior a capacidade de erosão e transporte. Estas situações reúnem as melhores condições para o desenvolvimento dos processos morfogenéticos, cujo vetor principal para nossas condições climáticas é o “runoff”, de forma inversa, a baixa pluviosidade anual distribuída em um maior período de tempo leva a situações de menor risco para a integridade da unidade de paisagem, pois é maior a possibilidade de haver infiltração. Nestas regiões que apresentam menores quantidades pluviométricas anuais e maior duração para o período chuvoso, devem favorecer os processos pedogenéticos, onde a infiltração constante promove a lixiviação responsável pelo empobrecimento e desenvolvimento dos solos.

### 4.3- Histórico da ocupação da área

No sertão maranhense, onde se insere a região de Balsas, o processo de ocupação e povoamento foi marcado por algumas particularidades se comparado ao de outras áreas do Estado, notadamente as ocupadas a partir da corrente originária do litoral teve início tardio e decorreu da expansão da frente pastoril oriunda do Vale do São Francisco, pelo interior do Maranhão, a partir de 1730, instalando grande número de fazendas nos sertões de Pastos Bons.

A cidade de Balsas teve seu marco inicial provavelmente no ano de 1840, mais precisamente no Porto das Caraíbas, cujo local originário era denominado Fazenda Bacaba.

A região foi formada por vaqueiros Nordestinos que foragidos da seca cruzaram o Rio Parnaíba e descobriram as terras do Maranhão, montando uma estrutura portuária na Passagem dos Caraíbas às margens do Rio Balsas.

As terras dessa região eram pertencentes a grandes fazendeiros que residiam na sede do município de Riachão, tendo como proprietários as famílias do Sr. Tito Coelho e do Tenente-Coronel Daniel Alves Rego. Como a ligação entre as fazendas eram realizadas somente por via fluvial, não tardou que se formasse ao longo do trajeto pequenos povoados.

Sabedor da existência do novo núcleo de população que aqui se formara, para cá se deslocou o baiano Antônio Ferreira Jacobina, mercador de fumo nos sertões. Tornou-se líder do povoamento, a qual denominou Vila Nova. Este construiu às margens do Rio Balsas um pequeno comércio onde vendia: fumo, cachaça, rapadura, sal e querosene. O local servia de referência para todos os viajantes que ali passavam em embarcações construídas de buritis, denominadas “balsas”.

Em 1879 foi edificada uma pequena igreja em homenagem a Santo Antônio, e em 1882 o povoado de Vila Nova recebeu uma nova denominação, “Santo Antônio de Balsas” que posteriormente foi elevado à categoria de vila e de cidade, preservando o mesmo nome.

O Distrito foi criado em 1892, pela Lei nº 15, e desmembrado do município de Riachão em 22 de Março de 1918 pela Lei nº 775. Na ocasião figurava como Distrito de Santo Antônio de Balsas que pelo Decreto-Lei nº 820 de 30 de Dezembro de 1943, passou a denominar-se “Balsas”.

#### **4.4- Aspectos sócio-econômicos**

Até a segunda metade do século XX a pecuária teve seu apogeu, transformando o sul do Maranhão em importante área exportadora de carne bovina. Porém, devido aos grandes problemas enfrentados pelos pecuaristas, principalmente com relação à ausência de infra-estrutura para o transporte de gado até as feiras, para comercialização, como: diminuição do rebanho por extravio e morte de rezes, perda de peso e redução do lucro em face do tempo destinado aos deslocamentos e à falta de alimentação adequada do rebanho, ocorreu uma diminuição gradativa do interesse pela atividade.

A agricultura desenvolvida no sul do Maranhão, também até meados do século XX, era caracterizada como de subsistência. Com a chegada dos sul-rio-grandenses, em 1973, esta atividade começou a ser intensificada através do cultivo do arroz e da soja. Contudo, devido às dificuldades de adaptação das variedades de soja às condições climáticas da região e à falta de infra-estrutura para armazenamento e escoamento da produção, as lavouras só começaram a dar retorno econômico a partir de 1992, quando, através de iniciativas dos agricultores pioneiros e de gestões das lideranças políticas regionais, os governos Federal e Estadual, além da implantação da Estrada de Ferro Carajás e Norte-Sul, melhorando o acesso aos portos que se localizam no norte do Estado do Maranhão, também melhorias nas condições rodovias que ligam a cidade de Balsas a São Luís.

A agricultura praticada na região de Balsas difere-se das demais regiões maranhenses devido à alta tecnologia que empregada nas lavouras, mecanizadas com o que há de mais moderno no mercado. Um exemplo são colheitadeiras monitoradas por GPS, a fim de otimizar o trabalho evitando lacunas pelo caminho ou entrar em áreas já trabalhadas.

A partir do início da década de 80 do século passado, vem se desencadeando na região Sul do Maranhão um processo de expansão agrícola, conduzido pela produção de soja, por colonos oriundos de regiões brasileiras com forte tradição agrícola, que se instalaram no Município de Balsas, hoje o município mais próspero da região. A produção se destaca pela qualidade, tendo em vista que as condições edafoclimáticas são privilegiadas para a exploração não irrigada de grãos (sequeiro) com algumas áreas próprias para culturas irrigadas.

O Programa de Desenvolvimento do Cerrado (PRODECER) consistiu na implementação de um Programa para beneficiar o Estado, mais precisamente a região de Balsas e o vizinho estado do Tocantins, incorporando uma área total de 80 mil hectares, consumindo investimentos da ordem de US\$ 138 milhões. Supervisionado pelo Ministério da Agricultura e Abastecimento e coordenado pela Companhia de Promoção Agrícola (CAMPO), o PRODECER é executado através de cooperativas agrícolas, caracterizando-se por ações integradas, com o objetivo de contribuir para a expansão das fronteiras agrícolas da região.

Com a sua implantação, o PRODECER inicia um processo de mudança no sistema produtivo da região sul do Maranhão, com a substituição das culturas tradicionais (mandioca, fava, dentre outras) pela soja, e em menor escala por arroz e milho, surgindo a figura do agro-negócio, o qual desponta atualmente como o principal setor da economia brasileira pelos significativos resultados expressos às contas nacionais. É um setor que envolve uma interação complexa entre os setores primário (agricultura), secundário (indústrias) e terciário (serviços).

A soja causa maior efeito degradante para o solo do que o arroz, deixando-o pobre e sem nenhum aproveitamento em menor espaço de tempo que no cultivo do arroz. É necessário haver uma série de cuidados para o uso e conservação do solo neste tipo de cultura.

Em relação ao uso e ocupação da terra nas áreas da bacia do rio Balsinhas, o relatório da GAMA (1999) caracterizou a classe de solo dos Latossolos Amarelo e Vermelho-Amarelo como propício à utilização da agricultura, principalmente a cultura da soja, no qual a forma de ocupação está representada principalmente por fazendas de grande porte, conforme demonstram as Figura 13, 14 e 15.



Figura 13. Aspecto do solo preparado para adubação.





Figura 14. Solo adubado preparado para plantio da soja.



Figura 15. Solo plantado com soja com vista parcial da sede fazenda ao fundo.

Nem mesmo com tanta tecnologia implantadas nessas lavouras o solo foi poupado, em todas as fazendas de soja (da mais sofisticada a mais simples) foram encontradas ravinas, voçorocas ou até o início de ravinas. Com uma simples observação de campo se percebe o quanto o solo está gasto e sem proteção.

O uso de pastagens caracteriza as áreas predominantemente de solos Podzólicos Vermelho-Amarelo, localizadas principalmente em grandes fazendas. Por sua vez, as classes do Cambissolo e Areias Quartzosas encontram-se respectivamente com uso de pastagens e culturas de subsistência, principalmente em áreas de pequeno a médio porte, destacando-se a produção agrícola do arroz, feijão e mandioca.

Com relação ao uso da classe dos Solos Litólicos, estes se encontram pouco utilizados com agricultura, pois estão situados em áreas de relevo movimentado e por apresentarem pedregosidade e rochiosidade ao longo do seu perfil. Este tipo de solo deve ser destinado para áreas de reserva dentro da bacia hidrográfica.

A Tabela 2 mostra as principais atividades do uso da terra ao longo da bacia do rio Balsinhas, com predomínio para as áreas de pastagens e de mata nativa, e, logo a seguir, as manchas de solo exposto e água, para daí então ocorrer presença de lavouras.

Tabela 2. Uso da terra ao longo da bacia hidrográfica do rio Balsinhas (em %).

USO DA TERRA	AREA REPRESENTADA
Lavoura	9,25
Pastagem	32,24
Mata	25,57
Solo Exposto	18,41
Água	11,39
Área Urbana	3,14
Total	100

Fonte: Governo do Estado do Maranhão, 2000.

É visível a reduzida participação de áreas urbanas, evidentemente devido à baixa concentração demográfica da região, na qual merece destaque o município de Balsas que polariza a maior parte da população e dos serviços da região sul do Maranhão.

Com relação à produção agrícola em quilograma por hectare, percebe-se claramente, dentre os principais produtos, a supremacia do cultivo da soja, o qual representa 62% da produtividade da área da bacia hidrográfica, vindo em seguida, porém bem abaixo, o cultivo do arroz com 20% da produtividade da região e, logo após os demais produtos que se destacam, conforme mostra a Tabela 3.

Tabela 3. Produção Agrícola em kg/hectare.

PRODUTO AGRICOLA	PRODUTIVIDADE	%
Soja	4.740,19	62
Arroz	1.529,09	20
Cana-de-Açúcar	611,63	8
Milho	305,81	4
Mandioca	229,35	3
Feijão	76,45	1
Outros	152,90	2
Total	7.645,42	100

Fonte: Governo do Estado do Maranhão, 2000.

Ao se observar os dados existentes na Tabela 4, percebe-se a proporção dos estabelecimentos agropecuários em hectares distribuídos ao longo da bacia hidrográfica do rio Balsinhas. Convém mencionar que o pequeno produtor tem a maior parcela de representatividade com 30,52%, no entanto, os estabelecimentos acima de 200 hectares, representados pelo grande produtor, detém praticamente o mesmo valor com 29,52%.

Tabela 4: Proporção dos estabelecimentos agropecuários (em hectare).

AREA DO ESTABELECIMENTO (EM HECTARE)	%
Menos de 10	30,52
De 10 ate 50	24,46
De 50 ate 200	15,50
Mais de 200	29,52
Total	100

Fonte: Governo do Estado do Maranhão, 2000.

Uma comprovação evidente da presença do grande produtor no sul do Maranhão pode ser verificada a partir do confronto dos dados das Tabelas 4 e 5, pois se observa um predomínio das grandes áreas de terra acima de 200 hectares, em torno de 76,44% da área, a qual compreende uma considerável faixa agricultável naquela região, destinadas para um número relativamente pequeno de produtores, com 29,52%. Por sua vez, uma pequena parcela de terra é destinada à maioria dos produtores agrícolas, principalmente aqueles listados nos itens: menos de 10 e, de 10 até 50 hectares, os quais mesmo somados totalizam 5,13% da área para 54,98% dos produtores.

Tabela 5: Proporção de área do estabelecimento agropecuário no total da área da bacia (em hectare).

AREA DO ESTABELECIMENTO (EM HECTARE)	%
Menos de 10	0,28
De 10 ate 50	4,85
De 50 ate 200	18,43
Mais de 200	76,44
Total	100

Fonte: Governo do Estado do Maranhão, 2000.

## **5- ABORDAGEM METODOLÓGICA.**

### **5.1- Material e Equipamento.**

Para o desenvolvimento deste trabalho foram utilizados os seguintes materiais e equipamentos:

#### **5.1.1- Documentação Cartográfica:**

- Cartas topográficas do Ministério do Exército – Diretoria do Serviço Geográfico, na escala 1:100.000, referente às folhas MI-1192; MI-1270; MI-1271; MI-1349 e MI- 1350, correspondendo respectivamente às folhas Vale Verde, Balsas, Serra da Limpeza, Rio das Balsas e Tasso Fragoso, ano 1979;
- Carta geológica do Zoneamento Ecológico Econômico do estado do Maranhão na escala 1:250.000, referente à folha 23-Y, ano 1999;
- Mapa pedológico do Zoneamento Ecológico Econômico do estado do Maranhão na escala 1:500.000, referente à folha SB.23-Y, ano 2000;
- Imagens de satélite LANDSAT - TM 5, 221-65 e 221-66 nas bandas 3, 4 e 5, com passagem em setembro/1999 e, LANDSAT - MSS 3, 221-65 e 221-66 nas bandas 4, 5, 6 e 7, com passagem em agosto/1975, ilustradas na Figura 16.

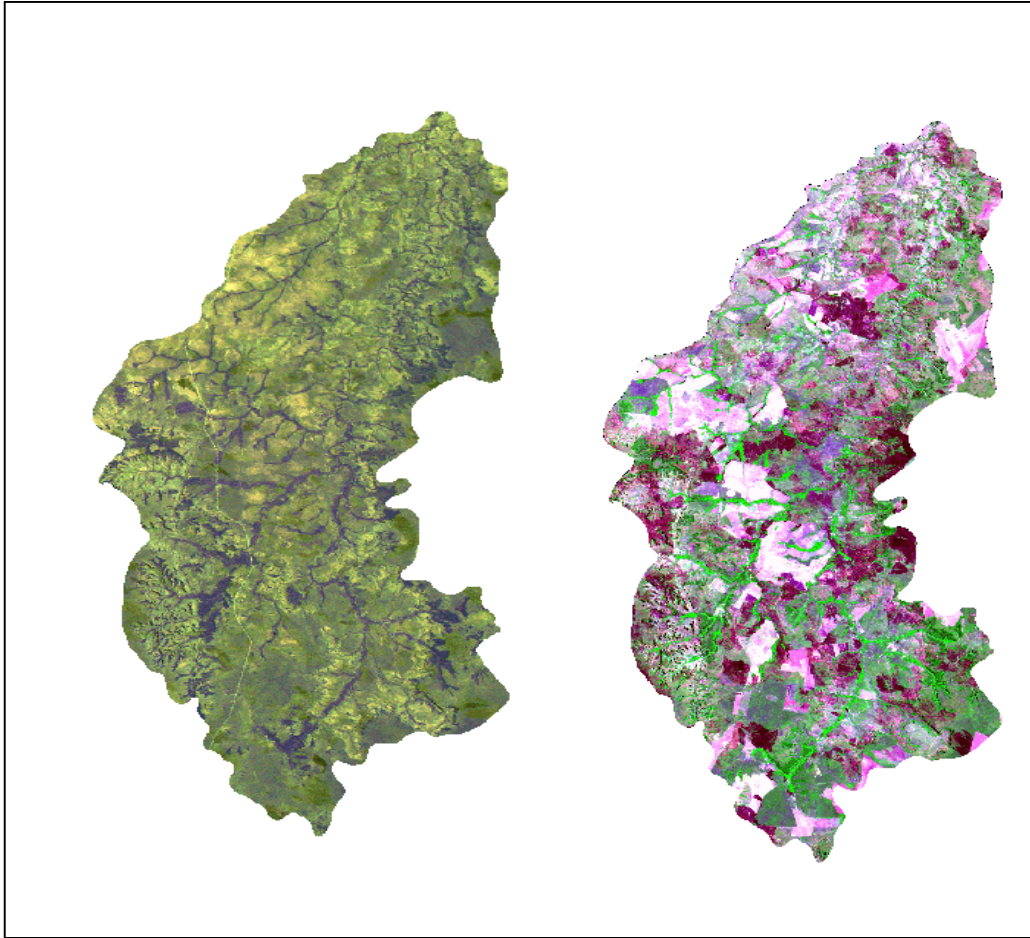


Figura 16. Recorte das Imagens georeferenciadas de satélite (1975 e 1999).

#### 5.1.2- Equipamentos e Softwares:

- Estação de trabalho: computador tipo PC, Pentium IV, 1.500 MH, HD 40 GB, 256 MB Memória RAM;
- Sistema de entrada de dados: Software Auto CAD R-14, desenvolvido pela Autodesk Incorporation, ano 1997;
- Sistema de processamento estatístico e mapeamento de superfície: Surfer 7.0, desenvolvido por Golden Software Incorporation, ano 1999;
- Sistema de processamento estatístico de dados: Microsoft-R Excel 2003, desenvolvido pela Microsoft Corporation, ano 2003;

- Sistema de acabamento final de mapas: Software Corel Draw 12, desenvolvido pela Corel Corporation Limited, ano 2003;
- Programa de processamento de texto: Microsoft-R Word 2003, desenvolvido pela Microsoft Corporation, ano 2003;
- GPS – Sistema de Posicionamento Global;
- Sistema para Processamento de Informações Georreferenciadas SPRING 4.2, desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisa Espacial (INPE), ano 2005, o qual é um banco de dados geográficos para ambientes Windows e Unix, com as seguintes características:
  - Operacionalização como um banco de dados geográficos, suportando grande volume de dados (sem limitação de escala, projeção e fuso), mantendo a identidade dos objetos ao longo de todo o banco;
  - Administração de dados vetoriais e matriciais com a realização da integração de dados de sensoriamento remoto em um sistema de informação geográfica (SIG);
  - Apresentação de um ambiente de menus e janelas com linguagem espacial facilmente programável pelo usuário;
  - Possui escalonabilidade completa, operando em ambientes que variam de microcomputadores a estações de trabalho;
  - Usa o software CorelDraw, compatível com o Spring, utilizado para importação de arquivos com extensão PS para acabamento dos mapas temáticos.

## **5.2- Abordagem do trabalho.**

A partir da análise de sistemas se alcança meios de organizar e planejar o estudo do espaço geográfico, uma vez que a organização espacial está diretamente ligada às questões físicas, econômicas e sociais.

Troppmair (1983) afirma que um geossistema se delimita a partir do momento que se determinam os fatores físicos e humanos, e suas potencialidades são destacadas. Neste trabalho a bacia hidrográfica do rio Balsinhas passou a ser o geossistema mais amplo, no qual se delimitou as sub-bacias que compõem o sistema do conjunto. Após a delimitação das sub-bacias, identificou-se as alterações ocorridas, a partir da análise do comportamento dos dados inerentes de cada sub-bacia.

Os primeiros procedimentos do trabalho foram: obtenção dos dados topográficos, pluviométricos, pedológicos e geológicos da bacia hidrográfica do rio Balsinhas. A seguir iniciou-se a fase da entrada dos dados através dos programas Spring 4.2 e AutoCAD R-14, isto é, realizou-se a digitalização dos dados topográficos em escala de 1:100.000, em cotas altimétricas com equidistâncias de 40 metros e inseridas em planos de informações (*layers*) para cada cota. Logo após foi delimitado o divisor da referida bacia hidrográfica e sua respectiva rede de drenagem.

O momento seguinte envolveu a preparação dos dados relativos à da bacia hidrográfica, em planos de informação distintos, contendo informações da topografia, rede de drenagem e o limite da bacia, inicialmente no formato vetorial e, em seguida no formato matricial, para a sobreposição das informações.

Para atingir os objetivos do presente estudo, foram desenvolvidas as seguintes etapas:

- trabalho em laboratório com a finalidade de obter maior conhecimento dos aspectos físicos da área em estudo, possibilitando melhor interpretação dos mapeamentos temáticos;
- digitalização da rede de drenagem da área, utilizando o Sistema para Processamento de Informações Georreferenciadas (Spring 4.2) e do AutoCAD R-14;
- elaboração e análise das cartas temáticas;
- interpretação, análise e discussão dos resultados;



- tratamento e plotagem na imagem de pontos de GPS coletados no campo.

### **5.2.1- Técnicas cartográficas computacionais.**

Para iniciar a manipulação das imagens digitais, utilizou-se o módulo do Spring 4.2 que contem o conjunto de aplicativos relativos ao processamento de imagens digitais. As imagens foram importadas e convertidas no formato do sistema Spring. Cada uma das imagens selecionadas apresenta características distintas quanto à resolução espacial, de 80 metros para o sistema MSS/LANDSAT 3 e 30 metros para o TM/LANDSAT 5.

As imagens foram inseridas no banco de dados e no projeto, para o seu posterior registro, visando à orientação com o norte verdadeiro e georeferenciamento. A aquisição dos pontos de controle para o registro foi efetuado diretamente no monitor da estação computacional, com o apoio das Cartas DSG, escala 1:100.000. Nessa operação, foram selecionados 15 pontos de controle, distribuídos nas imagens, visando a obtenção do erro de pontos de controle abaixo de um "pixel", isto é, menor que 30 metros e 80 metros. Após o término deste procedimento, cada imagem foi importada para o projeto no Spring 4.2, através do comando importar, arquivo "grib".

A análise e a integração de dados de cada uma das unidades de paisagem natural foram realizadas simultaneamente através das imagens de satélite e informações fornecidas pela Geologia, Geomorfologia, Pedologia e a Vegetação, conforme os seguintes critérios:

#### **Geologia**

Os elementos considerados para atribuição de valores para as classes do tema Geologia, a partir de informações bibliográficas, são basicamente aqueles relacionados à história da evolução do ambiente geológico onde se insere a unidade de paisagem natural, o

que permite entender sua origem e sua tendência futura, e os elementos relativos ao grau de coesão das rochas que suportam a unidade de paisagem natural.

#### Classes de cobertura vegetal e uso da terra

Foi estabelecido o critério de classificação da paisagem de acordo com a predominância da vegetação na área de estudo. Sendo assim, a classificação dos biomas na imagem se seguiu dessa forma, ou seja, de acordo com a predominância.

#### Pedologia

Um dos mais importantes componentes da biosfera, sendo integrado a outros sistemas que funcionam conjuntamente. Na interpretação da imagem estão agrupados algumas manchas encontradas na porção sul da bacia mais especificamente no entorno da área de estudo, simultaneamente identificadas com o auxílio de bibliografia e textura na imagem.

#### Declividade

Sendo a declividade a expressão da inclinação da superfície do terreno em relação ao plano horizontal. Considerando um modelo numérico de terreno (MNT) de dados altimétricos extraídos de uma carta topográfica e traçando um plano tangente a esta superfície num determinado ponto (P), a declividade em P corresponderá à inclinação deste plano em relação ao plano horizontal.

Em algumas aplicações geológicas, geomorfológicas ou pedológicas e de análise de manejo de bacias hidrográficas, se faz necessário encontrar regiões pouco acidentadas ou regiões que estejam expostas ao sol durante um determinado período do dia. Para responder estas questões a declividade conta com duas componentes: o gradiente e a exposição.

O gradiente, isto é, a inclinação do terreno é a taxa máxima de variação no valor da elevação, pode ser medido em grau (0 a 90°) ou em porcentagem (%), no Spring 4.2 é

referenciado como declividade, e a exposição é a direção dessa variação medida em graus (0 a 360°).

As duas componentes de declividade (gradiente e aspecto) são calculadas a partir de derivadas parciais de primeira e segunda ordem obtidas de uma grade (retangular ou triangular) resultante dos valores de altitude da superfície. Para cada ponto desta grade são calculadas as derivadas parciais, computando-se os valores de altitude em uma janela de 3 x 3 pontos que se desloca sucessivamente sobre a grade. O resultado corresponde a duas novas grades, uma de gradiente e outra de exposição.

#### Classificação ordenada

A classificação consiste em gerar uma imagem temática a partir de uma grade retangular. Os temas da imagem temática resultante correspondem a intervalos de valores de cotas, chamados no Spring 4.2 de fatias. Desta forma, um Plano de Informação da categoria numérica originará um Plano de Informação de categoria temática representando um aspecto particular do modelo numérico de terreno, conseqüentemente cada fatia deve ser associada a uma classe temática previamente definida no Esquema conceitual do Banco de Dados ativo.

Para definição dos intervalos de cotas, há facilidade no Spring 4.2 para editá-los de dois modos: fixo e variável. No presente trabalho se optou pelo modo fixo no qual se define manualmente o intervalo entre cotas desejadas.

#### Programação em LEGAL

Definida por Câmara (1995) e, com base nos modelos de dados e nos níveis conceituais de dados geográficos, o SPING possui uma linguagem de consulta e manipulação espacial, a qual se denomina LEGAL (Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico). A linguagem LEGAL provê um ambiente geral para análise geográfica, com operadores espaciais sobre geo-campos e geo-objetos existentes no banco de dados do SPRING, introduzidas pelo modelo conceitual. Nessa operação são

utilizados esquemas conceituais para definir especializações das classes do modelo de dados.

Um programa em LEGAL é estruturado em uma lista de sentenças que descrevem um procedimento, ou um conjunto de ações sobre dados espaciais. Estas sentenças são estruturadas em quatro grandes grupos, assim definidos:

- a) Declaração das Variáveis;
- b) Instanciações das Variáveis;
- c) Operações de Álgebra de Mapas;
- d) Comandos de Controle.

Cada sentença em LEGAL também envolve símbolos, como “{“ , “(“, “)”, “}”; operadores, como “+”, “\*”, “&&”, “||”; palavras reservadas, como *Novo*, *Nome*, *Atribua*, *Pondere*; nomes de variáveis, como os modelos de dados disponíveis no SPRING; e nomes de itens, referentes aos Planos de Informação, além de discussão mais detalhada sobre a recuperação e manipulação de dados geográficos, especialmente linguagens de consultas.

### **5.2.2- Aplicação da Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS)**

A Equação Universal de Perdas de Solos (EUPS) tem sido muito aplicada em estudos de bacias hidrográficas, projetos de planejamento ambiental e, gestão de recursos naturais, e ganhou uma expressiva agilidade quando utilizada em Sistemas de Informações Geográficas, por estes apresentarem possibilidades de operações matemáticas automatizada. Wischmeier & Smith (1978), ajustou às nossas condições o melhor uso da EUPS, facilitando assim a sua aplicabilidade neste trabalho.

Neste trabalho a aplicação da EUPS em ambiente computacional possui seu passo inicial em introduzir todos os dados ambientais disponíveis no aplicativo Spring, ou seja,

criar um banco de dados geográficos. A organização dos dados deu-se conforme o modelo das informações ambientais. No Spring, a modelagem de dados segue a orientação objetos, em que as informações são organizadas em geo-campos e geo-objetos. Os dados foram organizados em mapas temáticos, mapas cadastrais, modelos numéricos do terreno, mapas de redes e imagens.

Para entender o processo de armazenamento dos dados, foi necessário inicialmente caracterizar os dados geográficos a partir de três componentes fundamentais segundo Aronoff (1989):

- I) Características não-espaciais, que descrevem o fenômeno estudado;
- II) Características espaciais, que informam a localização espacial do fenômeno através de propriedades geométricas e topológicas;
- III) características temporais, identificando o tempo para o qual tais dados são considerados.

A intensidade esperada de perdas de solo para cada uma das culturas selecionadas em um determinado manejo para uma área qualquer, foi obtida pela equação de perdas de solo.

Para o cálculo das perdas estimadas de solo, foram selecionadas as principais culturas agrícolas tais como: soja, arroz, mandioca, milho, além de pastagem e vegetação natural do cerrado.

Esta fase se caracterizou pelo estudo morfopedológico para identificação de riscos de erosão utilizando o modelo da Equação Universal de Perdas de Solo (Wischmeier & Smith (1978), os quais definiram como um modelo designado a prever ao longo do tempo, a média de perdas de solo por enxurradas de uma área, dado os sistemas de manejo e cultivo e, o Potencial Natural de Erosão (PNE), definido através dos termos da EUPS (Equação Universal de Perda de Solo) representados pelos parâmetros do meio físico {fatores: erosividade (R), erodibilidade (K) e o fator topográfico (LS)}. O fator topográfico que envolve o comprimento de vertente (L) e sua declividade (S), foi obtido através de

medidas coletadas diretamente nas cartas topográficas da DSG, escala 1:100.000, abrangendo a área de estudo.

Neste sentido, foram levantados dados do meio físico e de atividades antrópicas, para compor os parâmetros da EUPS, segundo a seguinte formulação:

$$A = R * K * L * S * C * P;$$

onde: A = Perda de Solo;

R = Erosividade (Poder Erosivo das Chuvas);

K = Erodibilidade (Suscetibilidade do Solo à Erosão);

L = Comprimento ou Extensão da Vertente;

S = Declividade da Vertente;

C = Cobertura Vegetal e Manejo de Cultivo;

P = Práticas Conservacionistas.

Os fatores RKLS dependem das características naturais, enquanto que os fatores CP estão relacionados com as formas de ocupação e uso da terra. Portanto, as mudanças na forma de atuação dos primeiros dependem de alterações ambientais como mudanças climáticas ou erosões significativas que possam alterar a topografia, porém o CP pode ser alterado por ações de uso dos solos e de conservação.

#### Erosividade das chuvas – Fator R

Erosividade é a capacidade que uma determinada chuva tem de provocar erosão em um determinado solo. Ela é expressa por um índice numérico que indica a capacidade da chuva de causar erosão em uma área sem proteção adequada. Ela é representada pelo fator R - na equação universal de perdas de solo. Este índice é diretamente proporcional ao valor do produto de duas características das chuvas - sua energia cinética total e sua intensidade máxima em trinta minutos. Bertoni & Lombardi Neto (1990), encontraram alto coeficiente de correlação para regressão linear entre o fator R e o coeficiente chuva.

Para a caracterização do PNE, o fator erosividade (R), determinado segundo proposta de Lombardi Neto & Moldenhauer (1980) em Bertoni & Lombardi Neto (1985), é expresso da seguinte forma:

A relação é obtida a partir da seguinte expressão:

$$R = 6,886(r^2/P)^{0,85}$$

R = Erosividade

r = precipitação média mensal em mm;

P = precipitação média anual em mm.

Entretanto, em virtude do tamanho da área de estudo ser relativamente grande, é necessária a adoção de valores diferentes para a erosividade (R). Para tanto, serão utilizados dados climatológicos oriundos de postos meteorológicos da região.

O valor da erosividade na equação de perdas de solo deve quantificar o impacto ocasionado pelas partículas de chuva, bem como fornecer informações sobre a quantidade e taxa provável de enxurrada associada com a chuva. A soma dos valores das chuvas de um dado período é uma medida numérica do potencial erosivo da chuva dentro daquele período, isto é, a média total anual das chuvas numa localidade particular se torna o índice de erosividade desse lugar.

#### Erodibilidade do solo – Fator K

A erodibilidade do solo é a sua suscetibilidade à erosão. Um solo com alta erodibilidade sofrerá mais erosão que um com baixa erodibilidade, se ambos estiverem expostos a um mesmo clima. Na equação universal de perdas de solo a erodibilidade é representada pelo fator K.

O fator de erodibilidade dos solos refere-se principalmente às propriedades físico-químicas dos solos, tais como:

- a) Velocidade de infiltração;
- b) Permeabilidade e capacidade de armazenamento;
- c) Resistência às forças de dispersão, abrasão e transporte pelas águas das chuvas e escoamento superficial.

Para a determinação do fator K, foram utilizados os valores de solos similares ao elaborados por Bertoni & Lombardi Neto (1990) no estado de São Paulo, conforme indicado na Tabela 6.

Tabela 6. Erodibilidade por classe de solo.

Classe de Solos	Fator K
La1-Latossolo Amarelo textura argilosa	0.12
La2-Latossolo Amarelo textura média	0.17
AQ- Areias Quartzosas	0.17
PV1-Podzólico Vermelho-Amarelo	0.42
PV2-Podzólico Vermelho-Amarelo +Podzólico Vermelho-Amarelo Concrecionário	0.48
PV4-Podzólico Vermelho-Amarelo + Podzólico Vermelho-Amarelo Eutrófico + Terra Roxa Estruturada	0.27
PT-Plintossolo	0.33
PA1-Podzólico Acinzentado	0.12
A- Solo Hidromórfico + Aluviais	0.11
R- Solo Litólico + Podzólico Vermelho-Amarelo + Podzólico Vermelho-Amarelo Concrecionário + Afloramento de Rocha	0.54

Fonte: Adaptado de Bertoni e Lombardi Neto, 1990.



O Fator Topográfico (LS) é determinado pela expressão:

Segundo Bertoni e Lombardi Neto (1990), o fator topográfico é a combinação do comprimento do declive (L) e seu gradiente (S), e afetam sobremaneira a intensidade da erosão hídrica, pois o tamanho e a quantidade do material em suspensão arrastado pela água dependem da velocidade com que ela escorre, e essa velocidade é uma resultante do fator topográfico.

Os autores afirmam que o fator topográfico é a relação esperada de perdas de solo por unidade de área em um determinado declive em relação a perdas de solo correspondente de uma parcela unitária de 25m de comprimento com 9% de declive.

O fator topográfico que envolve o comprimento de vertente (L) e sua declividade (S) foi obtido através de medidas coletadas nas cartas planialtimétricas do DSG com escala 1:100.000 (Figura 16).

O comprimento de vertente ou comprimento de rampa (fator L da EUPS) é obtido medindo-se a distância de cada ponto, vertente acima até a possível origem do escoamento superficial das águas pluviais, considerando-se o arranjo ou disposição das curvas de níveis.

Para a obtenção dos valores de declividade, adotou-se o método de contagem de isolinhas de altimetrias, para quadrículas de 2 x 2 cm, delimitadas pelas coordenadas UTM.

A declividade é então determinada utilizando-se a fórmula:

$$S = N \cdot E \cdot 100 / C$$

Onde: S=Declividade em percentagem;

N=Número de isolinhas de altimetria encontradas dentro das quadrículas;

E=Equidistância de isolinhas entre as curvas de nível (neste caso é de 40 m);

C=Comprimento real da quadrícula, como as quadrículas são de 2 x 2 cm, isto representa 2.000 m no terreno.

O fator topográfico expressa as relações do relevo no processo de perdas de solos. Este fator combina a declividade média do terreno com o comprimento de encostas, segundo a equação:

$$LS = 0,00984.L^{0,63}. S^{1,18}.$$

Os dados referentes ao comprimento de vertente (L) e declividade (S) em % , foram extraídos diretamente das cartas DSG na escala 1:100.000.

A extensão de vertente (L) foi obtida também a partir das cartas do DSG.

Este dado foi obtido através da medida da distância entre um divisor e o ponto de captação das águas pluviais que caem sobre uma determinada superfície, isto é, a partir de um mapa de distâncias entre o limite de cada microbacia e os níveis mais baixos de altimetria, resultando em um modelo numérico do terreno. Tanto a declividade quanto as extensões de vertentes são obtidas manualmente e seus valores anotados em matrizes específicas, aplicando o que se define como Fator LS para cada encosta.

#### Cobertura Vegetal e Práticas de Conservação - Fatores CP

O fator cobertura vegetal (C) expressa a relação esperada entre perdas de solos em áreas com culturas agrícolas e vegetação e as perdas que ocorrem na parcela padrão (Parcela padrão, uma parcela de 25 m com 9% de declive, totalmente exposta à erosão), com áreas continuamente descobertas.

Os efeitos do uso (C) e manejo (P), não podem ser avaliados separadamente devido às diversas interações que ocorrem entre si.

Para compor o fator antrópico da EUPS, que associa também dados referentes às práticas conservacionistas (fator P) adotou-se para a área em estudo, especificamente para os solos sem vegetação e sem proteção o valor de (P) igual a 1, considerando que

genericamente na ocupação, não são utilizadas práticas conservacionistas. As práticas de conservação dos solos podem reduzir o processo erosivo. Righetto (1998) estabeleceu uma tabela que contém os valores de C e P a serem aplicados na EUPS. Tais valores são estipulados conforme o tipo de uso e cobertura da terra e as práticas conservacionistas aplicadas.

#### Tolerância de perda de solo

A tolerância de perda de solo é a quantidade de solo que pode ser perdida por erosão, expressa em toneladas por unidade de área, sem que haja queda na sua produtividade por longo período de tempo.

Garcia & Zaine (1996) afirmam que em relação às práticas conservacionistas, constituem-se na razão entre a quantidade de solo perdida por uma determinada prática conservacionista e quantidade de solo perdida sob cultivo vertente abaixo.

As práticas de conservação reduzem a erosão, mas, no entanto não a eliminam completamente. Difícil seria decidir o quanto de erosão é tolerável ou permissível, o ideal seria que essa perda correspondesse à taxa de formação do solo.

Os limites de tolerância de perdas por erosão para as classes de solos, variam de 4.2 a 12.6 t/ha/ano e de 12.6 a 14.2 t/ha/ano, respectivamente para solos com B textural e com B latossólico.

Foram usados os valores de solos similares determinados por Bertoni e Lombardi Neto (1990), para os solos do Estado de São Paulo, de acordo com a Tabela 7.

Tabela 7. Limites de tolerância de perdas de solo por erosão.

Classes de Solos	Tolerância de perdas (ton/ha/ano)
LA1-Latossolo Amarelo textura argilosa	12.6
LA2-Latossolo Amarelo textura média	14.2
AQ –Areias Quartzosas	14.0
Pv1 -Podzólico Vermelho-Amarelo	6.6
PV2- PodzólicoVermelhoAmarelo+Podzólico Vermelho-Amarelo Concrecionário	5.7
PV4-PodzólicoVermelho-Amarelo Podzólico Vermelho-Amarelo Eutrófico + Terra Roxa Estruturada	2.7
R - Solos Litólicos + Podzólico Vermelho- Amarelo Concrecionário +Afloramento de Rocha	4.2
PA1-Podzólico Acinzentado	12.6
PT -Plintossolo	6.6
A -Solos Hidromórficos +Aluviais	15.0

Fonte: adaptado de Bertoni e Lombardi Neto, 1985.

A partir desta etapa o trabalho direcionou para dois níveis de abordagens. No primeiro nível, o trabalho se desenvolveu no contexto da bacia hidrográfica do rio Balsinhas como um todo, com cerca de aproximadamente 1670 km<sup>2</sup>, na escala de 1:100.000, e compreendeu as seguintes fases:

- Levantamento de dados de uso do solo para o cenário 1975, através da análise de interpretação de imagem de satélite LANDSAT MSS 3, com passagem em agosto/1975, considerando as seguintes classes: a) Culturas anuais e perenes; b) Pastagem; c) Cerrado; d) Mata ciliar;
- Através de imagens orbitais LANDSAT TM 5, com passagem em setembro/1999, obtiveram-se os dados de uso do solo para o cenário de 1999, considerando as mesmas classes definidas para o cenário de 1975;
- Identificou-se no interior das sub-bacias, às alterações mais significativas. Os dados referentes ao uso do solo obtidos através da interpretação da imagem LANDSAT ano 1999, foram comparando-a com as classes do uso

do solo obtidas através da imagem LANDSAT ano 1975, os quais foram posteriormente mapeados em quatro classes de uso;

- Utilizaram-se cartas topográficas que serviram de base para a obtenção do modelo digital do terreno (MDT), como também, o mapa de classes de declividade do terreno. Realizaram-se interpolações de curvas de nível no software Surfer 7.0 com apoio de dados de campo, por intermédio de pontos referenciados através de GPS topográfico de precisão. Por sua vez, o mapa de declividade foi gerado diretamente no SIG Spring 4.2, a partir das curvas de nível digitalizadas da carta topográfica da área da bacia, definindo-se assim os seguintes intervalos de classes: < 2%; 2 a 6%; 6 a 12%; 12 a 20%; 20 a 40% e > 40%, conforme indicado em classificações técnicas de uso do solo (Lepsch et al, 1983);
- Após esta etapa, realizou-se a análise dos dados de uso do solo nos dois cenários (1975 e 1999), somados com os dados de apoio de campo para preparação dos mapas finais de uso da terra e transferência dos dados de uso da terra para ambiente SIG.

Após a seleção das sub-bacias do geossistema rio Balsinhas, realizou-se a seleção da sub-bacia que mais se alterou com base na análise do procedimento metodológico anterior, dando destaque ao uso da terra e cobertura vegetal, obedecendo-se as seguintes etapas:

- Mapeamento do uso do solo com imagem orbital ampliada e auxiliada com trabalho de campo, e respectiva ajuda do GPS e imagem de satélite LANDSAT. Na sub-bacia mais alterada (Balsinhas Pequeno) selecionou-se 2 vertentes alteradas (nível geotopo) e analisaram-se no campo as características, como: geometria da vertente, extensão da vertente, declividades (segmentos conforme mudança da geometria), manejo do solo, tipo de cultivo e manejo da cultura, características superficiais dos solos, evidências na drenagem de material erodido da vertente;

- Logo após integrou-se no SIG as informações dos cenários de 1975 e 1999, e se atualizou com os dados coletados no campo, as práticas conservacionistas referentes ao ano 2005;
- Por fim, se passou a avaliar o passivo ambiental provocado pela intervenção, dando ênfase aos indicadores na rede de drenagem, assoreamentos, marcas de erosão nas vertentes analisadas e o grau de eliminação da vegetação natural.

## **6- RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **6.1- As alterações do uso da terra.**

Sendo este trabalho fruto da aplicação e uso da integração de dados nas áreas de drenagem da bacia hidrográfica do rio Balsinhas-MA, o mesmo alcançou resultados, sob o ponto de vista da erosão dos solos, o qual se destaca as sub-bacias do Balsinhas Pequeno e Bacaba, onde as mesmas indicam áreas mais suscetíveis à erosão, além do potencial natural de erosão, ou então, se ocorrem grandes perdas de solo nas áreas dos respectivos municípios por onde o rio desenvolve seu trabalho, para daí então, obter-se a constatação das áreas com risco de erosão.

Segundo Bertoni & Lombardi Neto (1990), quando outros fatores, com exceção da chuva, são mantidos constantes, as perdas de solos ocasionados pelas chuvas em solos cultivados são proporcionais ao valor do produto de sua energia cinética e intensidade máxima em 30 minutos. Esse efeito representa a interação que mede como a erosão por impacto, o salpico e a turbulência se combinam com a enxurrada para transportar as partículas de solo desprendidas.

A classificação ecodinâmica da Bacia Hidrográfica do rio Balsinhas, baseia-se na associação de dados geológicos, pedológicos, de relevo, vegetação natural e clima e, apresentam características semelhantes as da região Sul do Maranhão.

Considera-se no estudo da dinâmica ambiental, a predisposição dos solos à erosão, sua maturidade em termos de desenvolvimento do perfil. Para o relevo foi levado em consideração a declividade, grau de dissecação, comprimento de encosta e amplitude altimétrica. A vegetação natural é estudada em função da capacidade de sua proteção e cobertura dos solos; o clima através do fator R - erosividade, o qual relaciona o total de precipitação com a capacidade erosiva das chuvas; e, a geologia, com a resistência das rochas à erosão, considerando-se a natureza litológica e estrutura.

Os ambientes morfodinamicamente estáveis possuem cobertura vegetal suficientemente fechada para impedir o desenvolvimento de processos da morfogênese. Dissecação moderada, com vertentes de lenta evolução e com uma vegetação exuberante, capaz de fornecer detritos, onde a pedogênese se exerce livremente sem ser afetada pela morfogênese.

Os ambientes intermediários se caracterizam pela passagem gradual entre os meios estáveis e os instáveis, onde os processos da pedogênese se equilibram com os da morfogênese. Não existe uma linha divisória separando estes ambientes, pois na realidade a natureza é um contínuo.

Nos ambientes instáveis, a pedogênese é praticamente interrompida, e seus efeitos anulados pela morfogênese. Os solos são submetidos a uma ablação com carreamento de materiais e posterior deposição em outro lugar, e, no final de cada ciclo, quando a sedimentação se estabiliza, a pedogênese recomeça a partir de zero, sendo então, comum nestes locais, a presença de Litossolos e afloramentos rochosos, os quais impede a formação de uma vegetação exuberante.

Para o cálculo do fator R da bacia, se utilizou os dados de precipitação anual do Núcleo de Meteorologia e Recursos Hídricos do Estado do Maranhão. Os dados relativos à bacia do rio Balsinhas estão assim definidos: precipitação média anual 1295,6 (mm/ano); precipitação média mensal 107,85 (mm/mês); e a erosividade média 6742,5 MJ/ha – mm/ano.

A erodibilidade varia para cada tipo de solo, pois mesmo que os fatores declividade, precipitação, cobertura vegetal e práticas conservacionistas fossem iguais em solos argilosos e arenosos, estes devidos às suas características físicas e químicas, são mais susceptíveis à erosão.

As propriedades do solo que influenciam na erodibilidade são as que afetam a velocidade de infiltração, a permeabilidade, a capacitação de armazenamento de água e oferecem resistência às formas de dispersão, abrasão, transporte e escoamento pelas águas das chuvas.

Os solos da bacia do Balsinhas apresentam em geral baixa erodibilidade. Os menos erodíveis são os Latossolos, que são solos maduros, isto é, mais intemperizados e profundos. À medida que o grau de maturidade e profundidade vai diminuindo o grau de erodibilidade vai aumentando.

O grau de declividade e o comprimento da encosta é que determinam a velocidade de escoamento superficial, caracterizando o potencial de carregamento em termos de tamanho e quantidade de material pela erosão. A Figura 17 mostra o mapa hipsométrico da bacia, o qual evidencia em seus valores que a área tem um relevo suave ondulado e que o fator topográfico exerce determinada influência no processo erosivo, porém não é o principal agente da erosão da bacia.



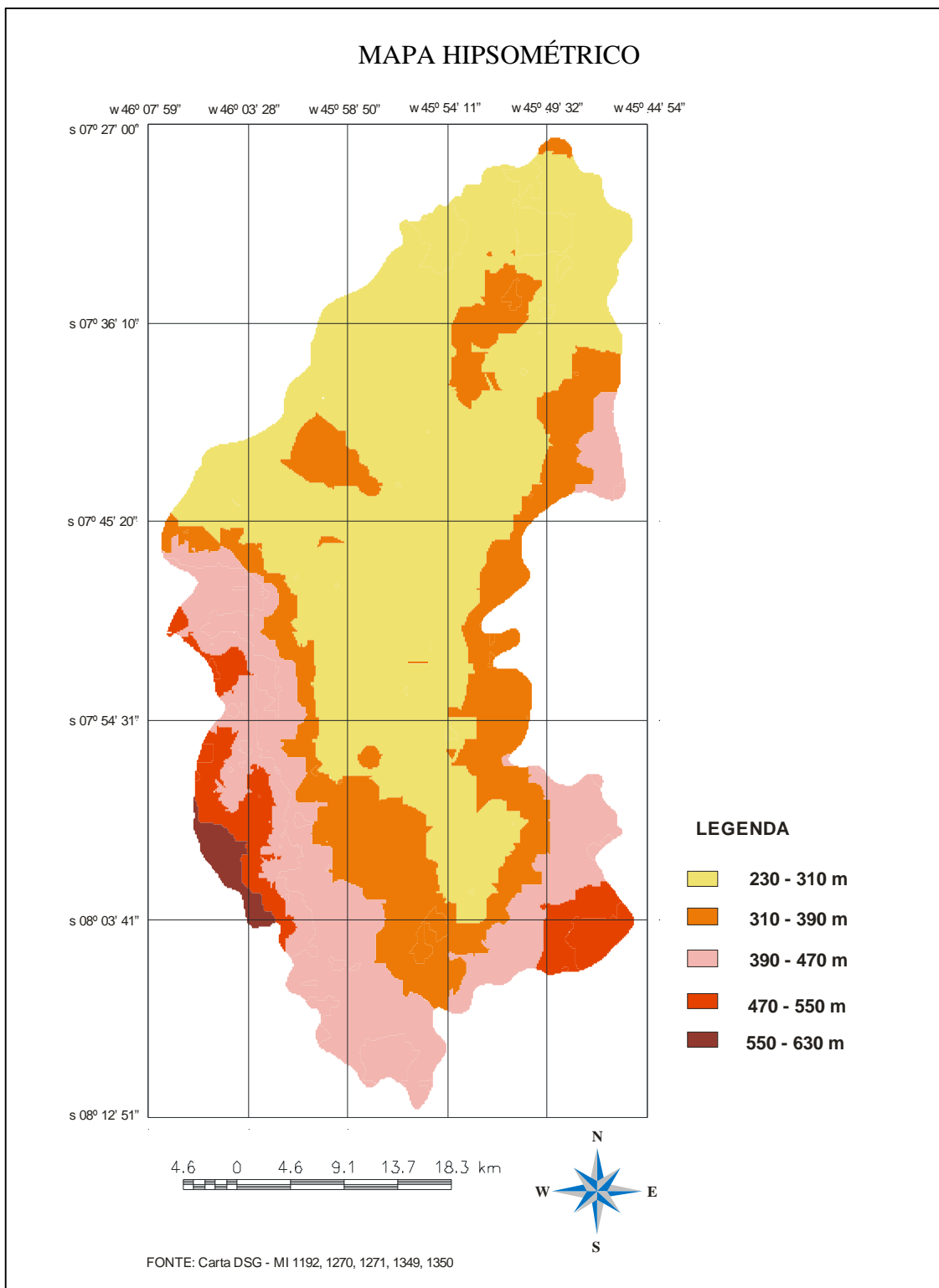


Figura 17. Mapa Hipsométrico da bacia do rio Balsinhas-MA.

A Embrapa, segundo suas normas, adota a classificação da declividade de acordo com os valores determinados, os quais são agrupados em classes de declividades, assim definidas:

- Planície ou Tabuleiro: Superfícies de topografia esbatida ou horizontal, onde os desnivelamentos são muito pequenos, declividade de até 2%;
- Suave Ondulado: Constituído por superfícies pouco movimentadas, representada por conjunto de colinas e/ou outeiros, apresentando declives na faixa de 2 a 6 %;
- Ondulado: Superfícies de topografia movimentada, formadas por outeiros e/ou morros, com declives fortes, declividade entre 6 a 12%;
- Montanhoso: Superfícies de topografia rigorosa, com predomínio de formas acidentadas, usualmente constituída por morros, montanhas, maciço montanhoso e alinhamentos montanhosos, apresentando desnivelamentos relativamente grandes e declives fortes a muito forte, alta densidade de drenagem e, por conseguinte alto índice de dissecação do relevo. 12 a 50%;
- Escarpado: Regiões ou áreas com predomínio de formas, compreendendo escarpamento, tais como aparados, itaimbés, frentes de cuestras, falésias, flancos de serras alcantiladas, vertentes de declives muito fortes (acima de 50%) de vales encaixados.

Para este trabalho foi feita uma adaptação nas classes, montanhoso e escarpado (respectivamente 12% a 50% e, acima de 50%), de acordo com Lepsch et al (1983), isto é, adotou-se 12 a 20%, 20% a 40% e acima de 40%.

Após o levantamento da declividade de toda região sul do estado, foi então feita uma interpretação visual das imagens. Esta interpretação foi feita através da correlação entre classes de declividade e padrões de elementos de imagem para um mesmo ponto. No final foi possível a obtenção do mapa de declividade (Figura 18), o qual deu maior consistência ao trabalho de interpretação do mapa de geomorfologia, dada às características superficiais das diferentes feições geomorfológicas.

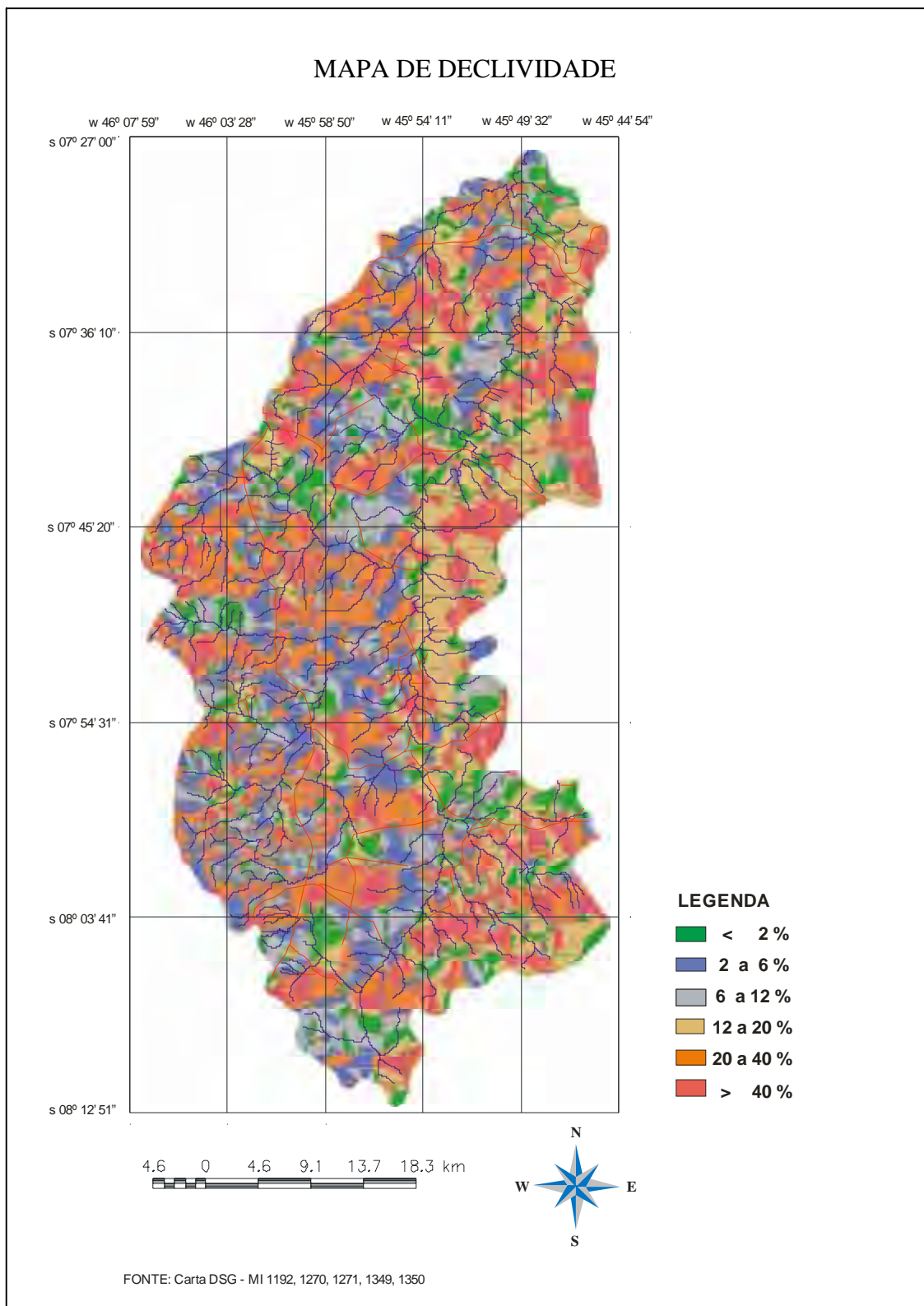


Figura 18. Mapa de declividade da bacia do rio Balsinhas-MA.

O potencial natural de erosão (PNE) é indicado a partir da integração de dados dos fatores da EUPS, que se referem aos elementos do meio físico, isto é, fator erosividade da chuva, fator erodibilidade do solo e fator topográfico (declividade da rampa e extensão das vertentes), descrito pela seguinte fórmula:

$$PNE = R * K * L * S$$

O mapa resultante, conforme mostra a Figura 19, foi classificado em seis classes qualitativas com intervalos equidistantes, representando valores do PNE, assim definidos:

- a) baixíssimo;
- b) muito baixo;
- c) baixo;
- d) médio;
- e) alto;
- f) muito alto.

A cobertura vegetal é uma espécie de proteção natural do solo. As perdas de solo são reguladas de acordo com a capacidade de proteção que cada cultura oferece, as quais foram identificadas suas características de uso que ocorre na área em cada período observado.

As práticas conservacionistas por serem técnicas adotadas que visam ao controle da erosão, possuem índices adaptados para a área de acordo com a seguinte definição e valor: lavouras mecanizadas e lavouras de tração animal (0,5); para as demais formas de uso (cerrado, campos cerrados com pastagens, mata ciliar) foi atribuído o valor 1,0.

A análise que se faz da cobertura vegetal e uso da terra para os dois cenários é que a presença de áreas agrícolas, para o último cenário, compreende 34.909 ha, isto é, 17,3% da área da bacia, sinalizando para a área de menor proteção ao solo, proporcionando assim para área de maior expectativa de erosão.

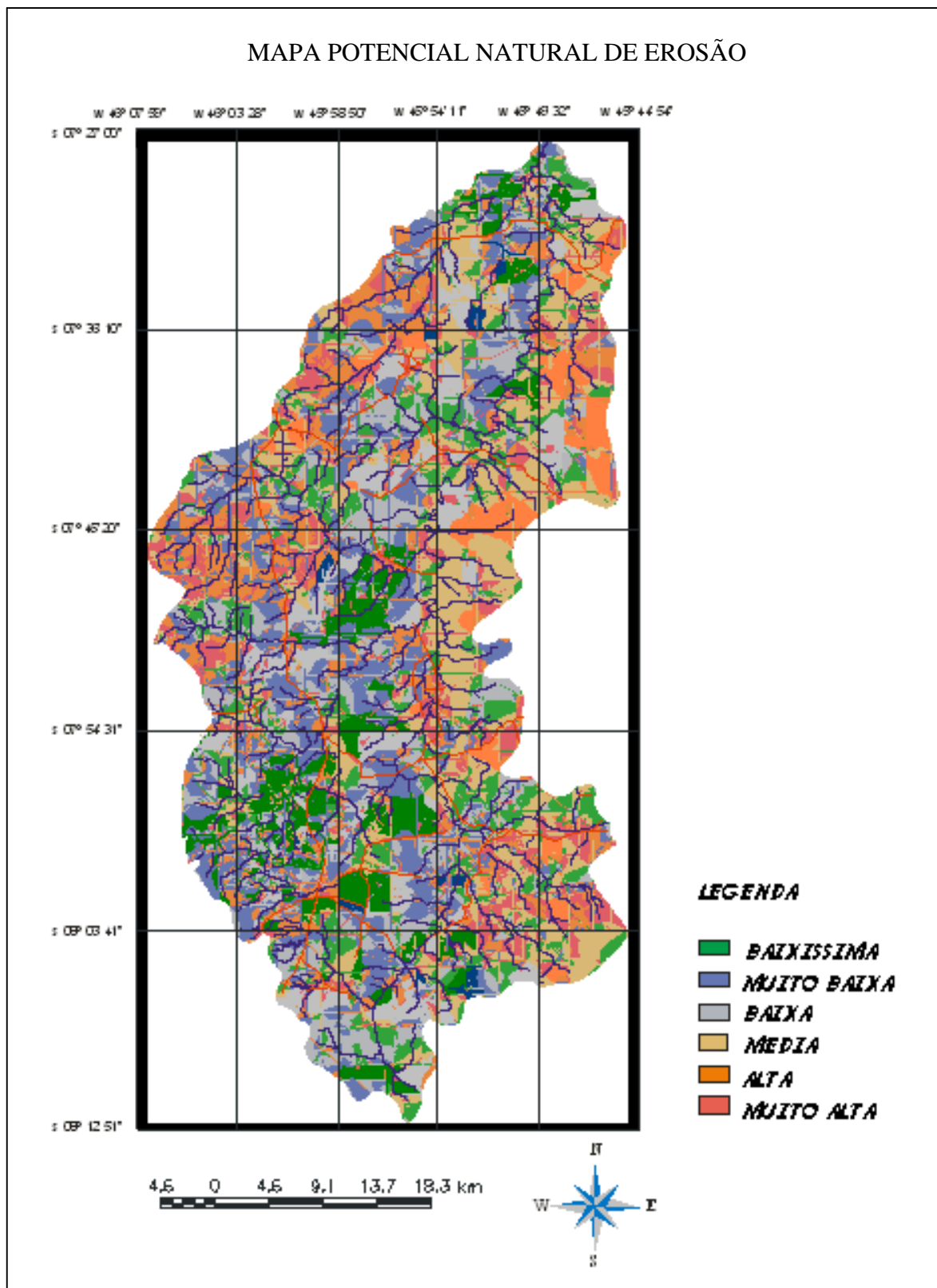


Figura 19. Mapa de potencial natural de erosão da bacia do rio Balsinhas-MA.

## 6.2- Avaliação da perda de solos na área da bacia do rio Balsinhas

O processo erosivo ocorre principalmente por forças naturais, como a água e o vento. Em uma abordagem conservacionista, o processo erosivo é acelerado pelas atividades humanas, principalmente pela agricultura e pecuária. A partir dessa perspectiva, a erosão e a deposição de sedimentos são processos complementares, pois as partículas do solo são removidas de áreas mais suscetíveis e depositadas em áreas mais planas e com menores declividades. As áreas de deposição de sedimentos também são severamente afetadas, pois estas possuem suas estruturas totalmente modificadas.

Morgan (1986) afirma que a erosão dos solos é a taxa de perda deste acima das condições de que ocorre em condições naturais. Este conceito diferencia o processo dos naturais, que fazem parte da geodinâmica de modelação do relevo. No entanto, o processo erosivo atuante sobre o relevo local resulta da combinação de diversos fatores ambientais e antrópicos, como aqueles especificados na EUPS. A Tabela 8 apresenta as áreas por classes de declividade da bacia do Balsinhas.

Tabela 8. Área total da bacia por classe de declividade.

Classes de Declividade	Área (hectares)	Área (%)
Até 2%	27.389	13,55
Entre 2 a 6%	25.570	12,65
Entre 6 a 12%	35.657	17,64
Entre 12 a 20%	50.937	25,20
Entre 20 a 40%	43.236	21,39
Acima de 40%	19.344	9,57
Total	202.133	100

Fonte: Adaptado pelo autor.

Da mesma maneira, as ações antrópicas sobre a vegetação e as classes de cobertura da terra também repercutem frente aos processos erosivos. A vegetação que representa uma proteção natural contra os processos erosivos, pois esta, segundo Bertoni e Lombardi neto (1990), atua como:

- I) Proteção direta contra o impacto das gotas de chuva;
- II) Dispersão da água, com interceptação e diminuição da velocidade de escoamento, com conseqüente infiltração no solo;
- III) Melhoramento da estrutura do solo, com adição de matéria orgânica e de nutrientes.

A Tabela 9, com base nos dados de 1999, apresenta as classes de uso da terra e cobertura vegetal, avaliando-se também a importância do fator declividade, já que a declividade média situa-se acima de 20%. As lavouras agrícolas, principalmente a soja, apresentam poucos fatores de manejo.

Tabela 9. Área total da bacia por classes de uso da terra.

Classes de Uso da Terra (1999)	Área (hectare)	Área (%)
Cerrado	44.745	22,1
Campos Cerrado com Pastagens	105.351	52,1
Mata Ciliar	17.128	8,5
Áreas Agrícolas	34.909	17,3
Total	202.133	100

Fonte. Adaptado pelo autor.

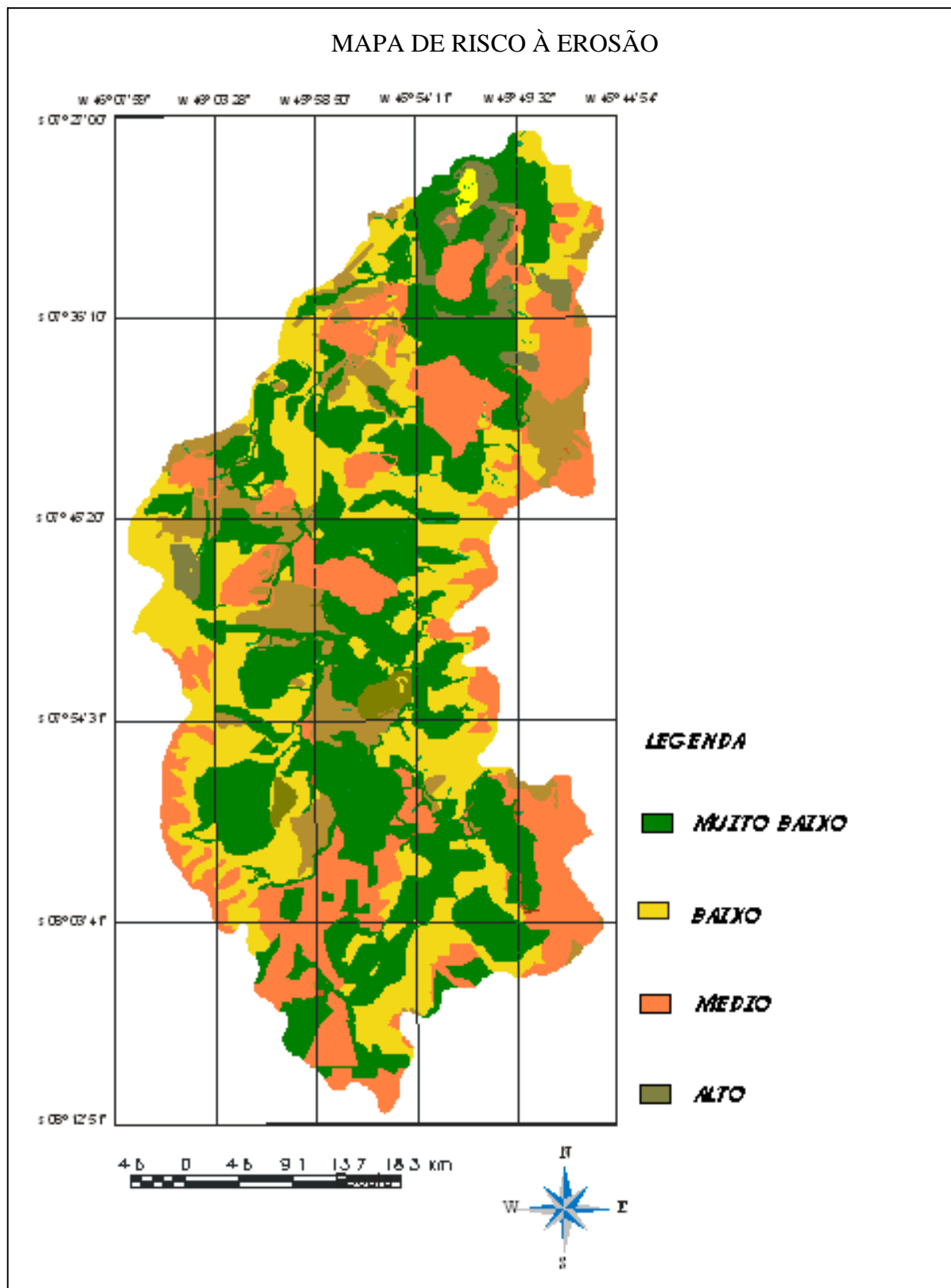


Figura 20. Mapa de risco a erosão da bacia do rio Balsinhas-MA.



A erosividade da chuva apresenta-se como um fator importante, pois possui índice de precipitação média anual no valor 1.295,6. Com as chuvas, a erosão é acelerada, devido a grande energia cinética produzida pelas águas pluviais, aumentando assim, seu poder de erosividade. Aplicando-se a EUPS, pode-se determinar, em níveis médios anuais, o volume de solos perdidos por erosão distribuída e concentrada, não considerando o processo de deposição e os processos associados a sulcos efêmeros e destacamentos e transporte de solos resultantes de eventos erosivos isolados. Conforme mostra a Figura 20, é possível se avaliar o volume de solos perdidos na bacia do rio Balsinhas e as conseqüentes áreas com potencialidades à erosão, classificadas nos níveis demonstrados a seguir:

- a) Muito baixo;
- b) Baixo;
- c) Médio;
- d) Alto.

### **6.3- Mapeamento das classes de uso da terra e cobertura vegetal e suas alterações**

Os principais problemas de nível sócio-econômico relacionados aos impactos ambientais são oriundos do uso da terra muita das vezes de forma inadequada, estimulado pela grande vontade de cada vez produzir mais.

O uso inadequado da terra, a retirada da cobertura vegetal, o uso de máquinas agrícolas, causam uma aceleração crescente da erosão dos solos, as quais têm como conseqüência uma série de problemas de ordem principalmente social.

Estes problemas podem ser elencados da seguinte maneira: a) perda de solo pelo arraste de partículas, diminuindo a produtividade; b) assoreamento do curso das águas, podendo causar sérios danos aos que dependem diretamente para a sobrevivência da vida; c) contaminação da água e da área como um todo por produtos agrotóxicos e químicos os quais são carregados junto às partículas de solo.



A bacia hidrográfica do rio Balsinhas apresenta uma situação tendenciosa de comprometimento para o futuro devido a estes problemas, pois ao analisar a adequação do uso da terra, observa-se um crescimento do uso inadequado da mesma com a diminuição da quantidade de área de cobertura vegetal natural no período analisado nos cenários de 1975 e 1999, a partir da análise das imagens de Satélite MSS/LANDSAT 3 e TM/LANDSAT 5, evidenciados nas Figuras 21 e 22.

A partir das imagens, se produziu mapas de cobertura vegetal e uso da terra com base nos dois cenários analisados (1975 e 1999), respectivamente demonstrados nas Figuras 23 e 24, além de realizar uma comparação entre os dados obtidos e as informações coletadas diretamente em contato com o local junto aos moradores da região, ou então através de reconhecimento técnico da área de estudo, mediante ao acesso aos dados disponíveis na literatura e em órgãos que lidam diretamente com a região.

Também se Identificou o grau de comprometimento ambiental dos empreendimentos agrícolas e industriais para a região, o que no futuro próximo a preservação da mata ciliar e a qualidade das águas do rio Balsinhas, possam ser comprometidas sob o aspecto ambiental.

Quanto ao uso e ocupação da terra da bacia do rio Balsinhas, as classes dos solos Latossolos Amarelo e Vermelho-Amarelo são utilizados na agricultura, para culturas da soja, onde a forma de ocupação está representada por fazendas de grande porte. Nas áreas do Podzólico encontram-se as pastagens plantadas das grandes fazendas da região e, nas áreas do Cambissolo, Aluvial e Areia Quartzosa encontram-se o uso com pastagens e culturas de subsistência como o arroz, feijão e mandioca nas áreas das pequenas e médias propriedades rurais.



Fazendo uma análise comparativa entre os dois cenários (1975 e 1999), observa-se que a ocupação dominante da bacia em 1975 eram os campos cerrados com pastagens, com cerca de, 126.323 ha (62,5%), conforme mostra a Figura 23. Outro predomínio era composto só de cerrado com 57.878 ha (28,6%), ficando 8,9% para mata ciliar ao qual compreendia 17.908 ha. É importante observar que não havia cultura ou áreas agrícolas que se destacassem na área.

O mapeamento das classes de uso da terra, referente ao cenário 1999 (Figura 24), nos mostrou que os campos cerrados com pastagens perdem um pouco do seu espaço, porém continuam com a maior proporção de área com 105.351 ha (52,1%). A classe cerrado também diminuiu sua área de atuação para 44.745 ha (22,1%), dando espaço para uma nova classe denominada áreas agrícolas com 34.909 ha (17,3%). Convém salientar que a classe mata ciliar se manteve praticamente inalterada com 17.908 ha em 1975, para 17.128 ha em 1999.

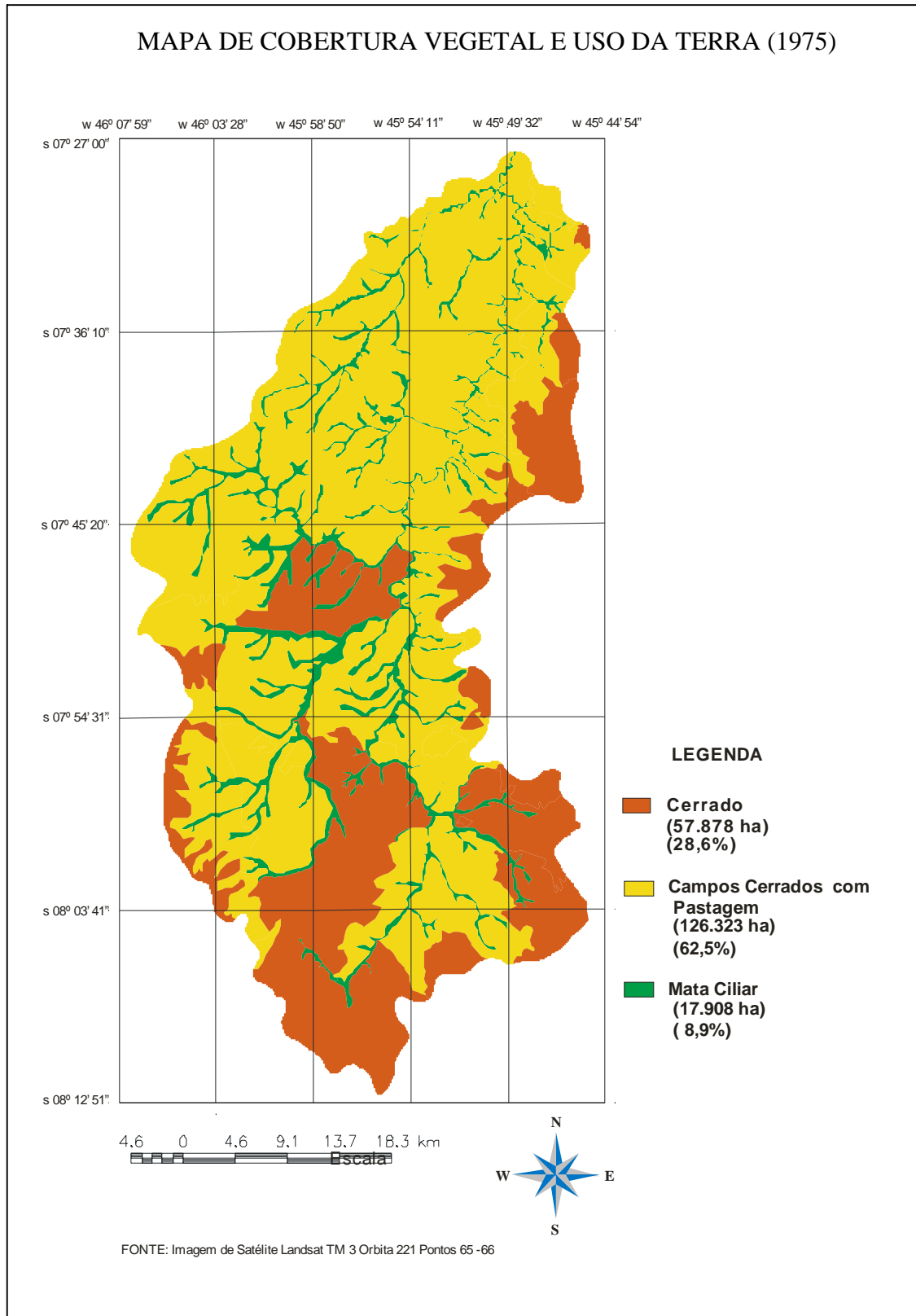


Figura 23. Mapa de Cobertura vegetal e Uso da Terra da bacia do rio Balsinhas (1975).

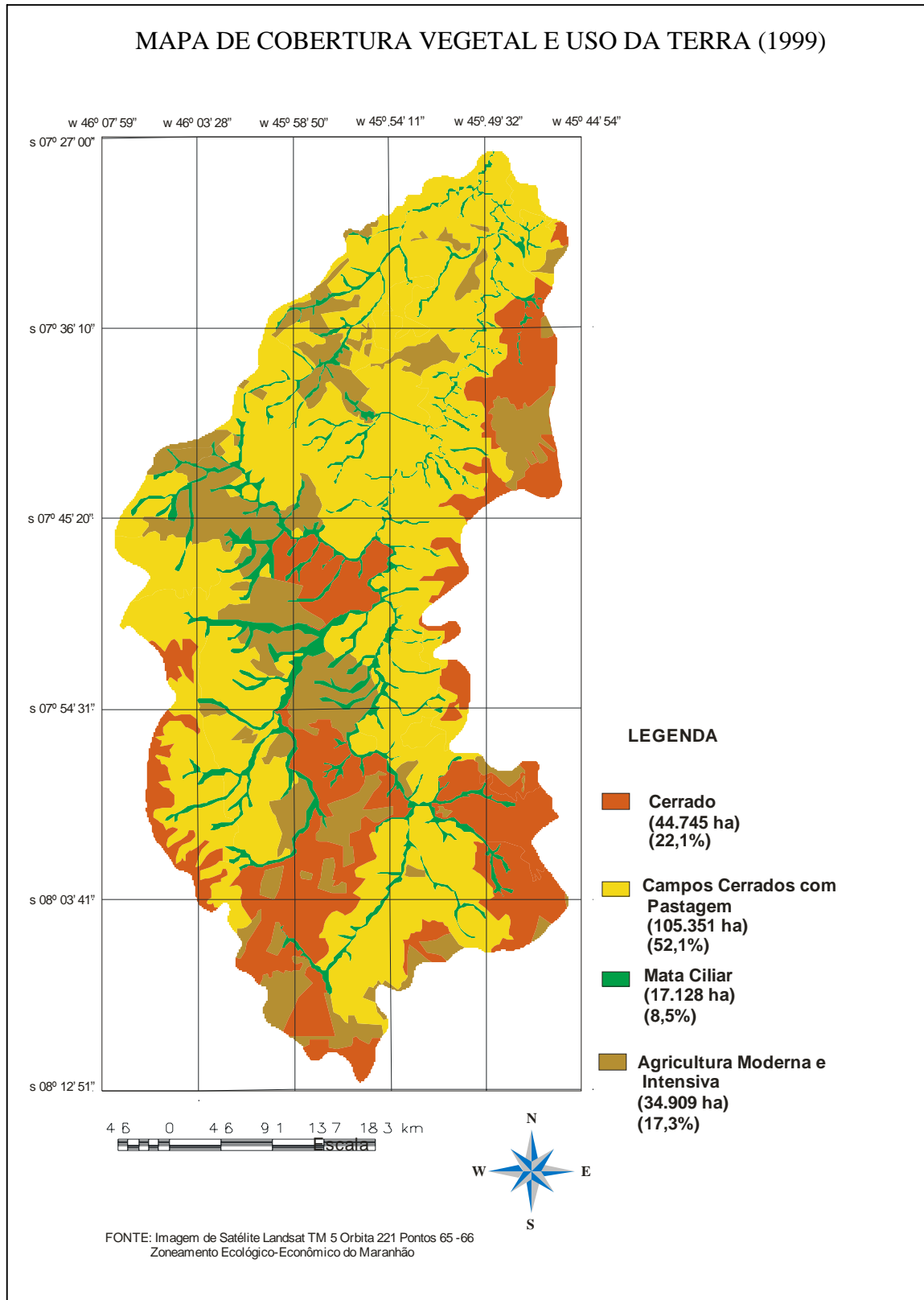


Figura 24. Mapa de Cobertura Vegetal e Uso da Terra na Bacia do rio Balsinhas (1999).

## **7- CONSIDERAÇÕES FINAIS.**

Compreender a condução do processo de desenvolvimento de uma região e analisar as suas conseqüências são condições básicas para pensar em novas formas de modelos que conduzam ao desenvolvimento regional adequado às suas especificidades, no sentido de evitar conseqüências danosas como no caso do cenário da área de estudo. É fundamental que os modelos de desenvolvimento conciliem fatores básicos como: os interesses econômicos, sociais e o meio ambiente que, por conseguinte devem se estender ao planejamento dos setores que dão suporte a esse desenvolvimento.

A inclusão da questão ambiental na fase de elaboração de planos e projetos e da avaliação desses impactos em todos os estágios de elaboração e tomada de decisões pode propiciar benefícios importantes, na medida em que permite minimizar os danos ambientais que tendem a reduzir consideravelmente – e às vezes anular – os benefícios econômico-sociais previstos num determinado projeto; também se amplia para diferentes alternativas, por vezes contraditórias em seus resultados sociais.

A diferença existente junto às propriedades inerentes ao solo, é entendida então como erodibilidade do solo, correspondendo à suscetibilidade do solo à erosão, dependendo das características do solo, isto é, a permeabilidade, estrutura, textura, porosidade e profundidade. No entanto a intensidade de erosão de uma área pode ser influenciada mais pelo declive, características das chuvas, cobertura vegetal e manejo do solo, do que pelas propriedades do solo.

Alguns solos são mais facilmente erodidos que outros, isto é, se levarmos em consideração as similaridades de chuva, topografia, uso, manejo e práticas conservacionistas. A suscetibilidade à erosão é uma característica intrínseca dos solos, que depende de propriedades físicas, principalmente estrutura, textura, permeabilidade e densidade, bem como as características químicas e biológicas de cada tipo de solo.



A estrutura do solo, isto é, o modo como às partículas se arranjam é de grande importância na quantidade de solo arrastado pela erosão. O conteúdo da matéria orgânica, a profundidade do solo e as características do subsolo também exercem efeitos nas perdas por erosão.

A cobertura vegetal é a defesa natural de um terreno contra a erosão. O efeito da vegetação pode ser determinado pela:

- Proteção direta contra o impacto das gotas de chuva;
- Dispersão da água, interrompendo-as antes que ela atinja o solo;
- Decomposição das raízes das plantas que formando canais no solo aumentam a infiltração da água;
- Melhoramento da estrutura do solo pela adição de matéria orgânica, aumentando assim a capacidade de retenção de água;
- Diminuição da velocidade de escoamento superficial pelo aumento do atrito na superfície.

A paisagem é um tipo de cobertura vegetal que ocupa grande parte dos solos, uma vez que a área coberta pela mesma está na dependência direta das condições de clima e solo, porém outros fatores muitas vezes exercem acentuada influência tais como o fogo, os insetos e as atividades humanas, dentre outros.

Por sua vez, práticas agrícolas intensivas levam a desestruturação do solo e ao aumento da erosão. Tanto a prática da queimada, que propiciam uma diminuição da matéria orgânica, como a utilização de máquinas agrícolas, usadas para plantações, pulverização e colheitas, leva o solo ao esgotamento, pois a água infiltrada nesse solo desprotegido, diminui a capacidade de infiltração do próprio solo.

Às práticas de controle da erosão inadequadamente instaladas, geralmente produzem perdas de solos maiores do que as que ocorreriam caso nenhuma prática tivesse sido aplicada. Por isso, as práticas de controle da erosão são eficientes em solos que estão, ou

vão ser usados, de acordo com a sua capacidade, o que se confirma na maioria dos solos da área da bacia estudada. O planejamento prévio do uso de solo como condição fundamental para o sucesso das práticas de controle da erosão com segurança, possibilitando ao planejador estudar e propor alternativas de uso e controle de erosão no sentido de manter as perdas e o assoreamento sob condições aceitáveis.

Os dados evidenciam que para o controle do processo erosivo é necessária a readequação do uso da terra, através de uma sistematização dentro de suas potencialidades naturais. Esse procedimento pode ser realizado de duas formas básicas: a primeira é pela readequação do uso, adotando-se coberturas que sejam capazes de proteger adequadamente o solo; e a outra é a adoção de práticas conservacionistas mecânicas, que fragmentem o comprimento de rampa e diminuam o espaço de circulação superficial da água.

Finalmente sugere-se a instalação de experimentos nas áreas da bacia que estejam em condições mais propícias de risco à erosão, a fim de se determinar a erodibilidade das classes de solos, bem como o manejo e práticas conservacionistas mais adequadas para as culturas selecionadas, respectivamente, valores K, C e P da Equação Universal de Perdas de Solo.

Do ponto de vista da aplicação da tecnologia SIG, se consideram de extrema importância suas definições tanto em situação simplista como as mais complexas, proporcionando condições a uma melhor análise nos resultados obtidos, haja vista que a integração de informações constitui importante ferramenta de trabalho a qual possibilita classificar áreas com base em dados multivariados e, se mostrou bastante flexível com relação às intervenções na base de dados.

Outros pontos fundamentais deste trabalho são: geração de mapas e banco de dados acessíveis, a partir da integração de dados codificados espacialmente com o suporte dos SIG's, agilizando e abrindo novas perspectivas de análises e que possam viabilizar simulações, principalmente à comunidade agrícola da região, sendo necessárias apenas atualizações e ajustes devido ao grande número de informações. Diante dessas

informações, o planejador poderá fazer projetos do uso da propriedade, inclusive utilizando sistemas computacionais com o intuito de gerar novas alternativas ou classificações de acordo com as suas necessidades, uma vez que os dados se encontram armazenados e disponíveis em forma de banco de dados georeferenciados.

A falta de consciência relativa à preservação ambiental e a falta de compromisso de quem utiliza o solo podem ser consideradas como pontos fundamentais na baixa eficiência de ações de preservação ambiental, conduzidas tanto por órgãos governamentais como não governamentais. Por isso a recuperação de áreas degradadas se torna necessária, optando-se para tal pela aplicação de técnicas preventivas para conservação e uso do solo, em detrimento às técnicas corretivas.

Os principais problemas sociais relacionados aos impactos ambientais vêm do uso inadequado da terra, promovido pela ação de se obter o máximo de produção da terra. Seu uso inadequado, com a retirada da cobertura vegetal e a utilização de implementos agrícolas, provoca uma aceleração da erosão dos solos, a qual acarreta numa série de problemas, tanto para as comunidades rurais como urbanas.

Estes problemas podem ser observados nas perdas de solos pelo arraste de partículas, reduzindo a produtividade, assoreamento dos cursos d'água, colocando em questão a qualidade do ambiente, como por exemplo, causar enchentes nas regiões ribeirinhas, ou contaminação das águas por agrotóxicos e produtos químicos que são carregados junto com as partículas de solo.

Observa-se, portanto, uma região economicamente e socialmente desagregada, onde imperam a pobreza e conflitos sociais, que requerem ações de planejamento descentralizado, em que sejam incorporados os aspectos sócio-ambientais. No planejamento dessa região devem ser considerados fatores básicos como: a grande extensão territorial, a heterogeneidade de ecossistemas, que demandam ações identificadas com as peculiaridades da região.

A maioria das lavouras na região de Balsas é feita por meio do plantio direto, um sistema pelo quais os resíduos da cultura anterior ficam na terra facilitando a vida do agricultor que despeja menos produtos químicos no solo. Portanto, gasta menos tempo preparando a terra, menos dinheiro e obtém maior produtividade. Para implantar o plantio direto, o solo é corrigido por meio da calagem e da fosfatagem.

Depois da colheita da soja, o solo passa por uma lavoura alternativa que promove o “descanso” do solo. Dentre os cultivos mais utilizados inicialmente, destacavam-se o milho, a banana e o abacaxi, porém, na Agrobalsas de 2003, foi apresentado o Sorgo como opção melhor para o descanso do solo, o qual, desde então está em fase de adaptação. Segundo as pesquisas dos agrônomos da EMBRAPA, o Sorgo devolve parte dos nutrientes ao solo e também é rentável, pois na região há muitos pecuaristas e o vegetal serve de alimento para os animais como bovinos, eqüinos e caprinos.

O uso do SIG Spring na avaliação e no monitoramento ambiental de bacias hidrográficas se mostrou uma ferramenta de grande eficiência, no que concerne à caracterização das áreas em seus aspectos físicos e na quantificação da erosão. Pela sistemática da EUPS, no ambiente Spring, foi possível quantificar seus fatores e calcular as perdas de solo por erosão.

Com as incursões de campo e analisando os dados de classificação e erodibilidade do solo, do fator topográfico, do fator cobertura vegetal e práticas conservacionistas e das perdas de solo, com a realidade local, verificou-se que os dados obtidos correspondem aos aspectos físicos das diferentes partes da bacia e que para a área de estudo a combinação dos fatores erosividade, topográfico e cobertura vegetal e práticas conservacionistas é que determinam o ritmo do processo erosivo.

## **8- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.**

ADEODATO, S. **O Eldorado de Balsas.** Balsas, Gráfica Balsas, 1998.

AMBRÓSIO, L. A., PERES, F. C. & DONZELLI, P. L. **Planejamento do uso sustentável da terra em micro-bacias hidrográficas com o método de programação por metas.** Agricultura São Paulo, São Paulo, vol. 47, nº 1, pp. 65-78, 2000.

ANDERSON, J. R. et al. **Sistemas de classificação do uso da terra e do revestimento do solo para utilização com dados de sensoriamento remoto.** Rio de Janeiro, SUPREN, 1979.

ARAUJO, M. da A. R. **Estudo de um modelo para planejamento referente ao setor transporte: Estudo de caso – rodovia MA – 006, trechos: Balsas/Tasso Fragoso/Alto Parnaíba, 234 km.** Dissertação de Mestrado – COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2000.

ARGENTO, M. S. F. **A erosão dos solos tropicais e problemas do controle.** Rio de Janeiro, Intercâmbio, 1981.

ARONOFF, S. **Geographic information systems: A Management perspective.** Ottawa: WDL Publications, 1995.

ASPINALL, R. & PEARSON, D. Integrated geographical assessment of environmental condition in water catchments: linking landscape ecology, environmental modeling and GIS. **Journal of Environmental Management**, vol. 59, pp. 299-319, 2000.

ASSAD, E. D., SANO, E. E., MEIRELLES, M. L. & MOREIRA, L. Estruturação de dados geoambientais no contexto de micro-bacia hidrográfica. In: ASSAD, E. D. & SANO, E. E. **Sistemas de Informações Geográficas: Aplicações na Agricultura.** 2ª ed., Brasília, Embrapa, 1998.

ASSAD, M. L. L., HAMADA, E. & CAVALIERI, A. Sistema de informações geográficas na avaliação de terras para agricultura. In: ASSAD, E. D. & SANO, E. E. **Sistemas de Informações Geográficas: Aplicações na Agricultura**. 2ª ed., Brasília, Embrapa, 1998.

BARREDO, J. I, BENACVIDES, A, HERVAS, C. J. Comparing heuristic landslide hazard assessment techniques using GIS in the Tirajana basin, Gran Canaria Island, Spain. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, vol.2, nº 2, pp. 9-23, 2000.

BECKER, B. K. & EGLER, C. A. **Detalhamento da metodologia para execução do zoneamento ecológico-econômico pelos Estados da Amazônia Legal**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 1996, 43p.

BERTOLAMI, M. A., SAMPAIO, S. M. N. & KOFFLER, N. F. Avaliação das modificações do solo e uso da terra na micro-bacia do ribeirão Jacutinga (SP), através de técnicas de geoprocessamento. **Geografia**, Rio Claro, vol. 21, nº 2, pp. 87-109, 1996.

BERTONI, J. O espaçamento dos terraços em culturas anuais, determinado em função das perdas por erosão. **Bragantia**, Campinas, vol. 18, nº 10, pp.113-140, 1959.

BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. São Paulo, Ícone, 1990, 355p.

BEZERRA, V. L. A. R. **Manejo e conservação dos solos em sistema de produção agropecuária na micro-bacia do rio Balsinhas**. Monografia de Pós-Graduação, UEMA (Universidade Estadual do Maranhão), São Luís, 1999.

BOTELHO, R. G. M. Planejamento ambiental em micro-bacia hidrográfica. In: GUERRA, A. J. T., SILVA, A. S., BOTELHO, R. G. M. **Erosão e Conservação dos Solos: Conceitos Temas e Aplicações**. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 1999.

BRANCO, S. M. **O meio ambiente em debate**. São Paulo, Moderna, 1988.

BRITO, L. C. & FEITOSA, A. C. Impactos ambientais da monocultura da soja no município de Balsas-MA. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 10. Rio de Janeiro, 2001. **Anais...** Rio de Janeiro: UERJ, 2001.

BURMAN, E. I, & DANILOV-DANILKHAN, V. I. Impactos Ambientais e Desenvolvimento Social: O estudo de impacto ambiental. In. MULLER-PLANTENBERG & AB`SABER, N. A. **Previsão de Impactos**. São Paulo, Edusp, 1994, 569p.

BURROUGH, P. A. The technological paradox in soil survey: New methods and technique of data capture and handling. **ITC Journal**, pp. 15-23, 1993.

BURSZTYN, M. A. A. **Gestão Ambiental – instrumentos e práticas**. Ministério do Meio Ambiente e da Amazônia Legal. Brasília, IBAMA, 1994.

CÂMARA, G. **Modelos, linguagens e arquiteturas para bancos de dados geográficos**. Tese de Doutorado – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 1995.

CASTRO, A. G. de. **Técnicas de sensoriamento remoto e sistemas geográficos de informações no estudo integrado de bacias hidrográficas**. Dissertação de Mestrado – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 1992. (INPE – 2694 TDL/128)

CASTRO, J. F. M., GERARDI, L. H. de O. & BUFALO, A. C. Utilização de SIG na integração de dados dos quadros físico-natural e sócio-econômico da região administrativa de Campinas: uma proposta metodológica. **Geografia**, Rio Claro, vol.23, nº 3, pp. 65-93, 1998.

CERRI, L. E. S., SILVA, J. A. F. & SANTOS, P. H. P. Erosão do solo: aspectos conceituais. **Geociências**, São Paulo, vol. 6, nº 2, pp.92-98, 1997.

CHIARINI, S. C. & DONZELI, P. L. Levantamento por fotointerpretação das classes de capacidade de uso das terras no Estado de São Paulo. **Boletim Técnico - Instituto Agrônômico**, Campinas, vol. 3, pp. 1-20, 1973.

CHRISTOFOLETTI, A. Indicadores naturais para estudos de sistemas geoambientais. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 1. Uberlândia, 1996. **Anais...** Uberlândia: GEOSUL, pp.13-19, 1996.

\_\_\_\_\_. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo, Editora Edgard Blucher Ltda, 1999, 233p.

CONSPLAN – Consultoria e Planejamento LTDA. **Levantamento dos recursos naturais do rio Balsinhas**. São Luís, Secretaria de Agricultura do Maranhão (SAGRIMA), 1992, 263p.

COUTINHO, L. M. O conceito de cerrado. **Revista Brasileira de Botânica**, vol. 1, nº 1, pp.17-23, 1978.

CUNHA, S. B. da & GUERRA, A. J. T. Degradação ambiental. In: GUERRA, A. J. T. & CUNHA, S. B. da. **Geomorfologia e Meio Ambiente**. 3ª ed., Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 2000.

DONZELI, P. L. et al. Diagnóstico do uso, ocupação e erosão na bacia do Peixe-Parapanema. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 21. Campinas, 1987. **Anais...** Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, pp. 137-138, 1987.



DONZELI, P. L et al. Técnicas de sensoriamento remoto aplicadas ao diagnóstico básico para planejamento e monitoramento de micro-bacias hidrográficas. **Boletim Técnico - Instituto Agrônômico**, Campinas, vol. 29, pp. 91-119, 1992.

FEITOSA, A. C. **O Maranhão primitivo: uma tentativa de reconstituição**. São Luís, Ed. Augusta, 1983, 142p.

FERREIRA, M. C. Regionalização de pequenas bacias hidrográficas a partir de imagens orbitais e sistemas de informação geográfica. **Geociências**, São Paulo, vol. 15, nº 1, pp. 163-184, 1996.

FIGUEIREDO, N. de. Cerrado: Caracterização e perspectivas atuais. **Revista da Universidade São Francisco**, Bragança Paulista, vol. 4, nº 10, pp.37-38, 1986.

FRANÇA, F. M. C. & SANTANA, G. M. **Plano de Ação para Potencializar o Desenvolvimento do Pólo Balsas**. Recife, Banco do Nordeste, 1997.

FREIRE, O. Uso agrícola do solo: Impactos Ambientais, Perspectivas e Soluções. In: TAUK-TORNISIELO, S. M., GOBBI, N., FORESTI, C., LIMA, S. T. **Análise Ambiental: Estratégias e Ações**. Rio Claro, T. A. Queiroz/Fundação Salim Farah Maluf. Rio Claro (SP): Centro de Estudos Ambientais – UNESP, 1995.

GAGER, P. & CONACHER, A. Erosion of access tracks in Kalamunda National Park, Western Australia: causes and management implications. **Australian Geographer**, vol. 32, nº 3, pp.343-357, 2001.

GAMA (GERÊNCIA ADJUNTA DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DO MARANHÃO). **Caracterização das águas do rio Balsinhas – MA: Relatório Final**. São Luís, Governo do Estado do Maranhão, 1999, 42p.

GAMA (GERÊNCIA ADJUNTA DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DO MARANHÃO). **Diagnóstico sobre recursos hídricos do estado do Maranhão. Relatório Final.** São Luís, Programa de Desenvolvimento Sustentável dos Recursos Hídricos, 1996.

GARCIA, G.J. & ZAINE, M. F. Modelagem de cenários agrícolas a partir de estimativas de perdas de solos por erosão. **Geociências**, São Paulo, vol. 15, nº 2, pp. 355-366, 1996.

GILES, P. T. Geomorphological signatures: Classification of aggregated slope unit objects from digital elevation and remote sensing data. **Earth Surface Processes and Landforms**, vol. 23, pp. 581-594, 1998.

GRAZIANO NETO, F. **Questão agrária e ecologia.** São Paulo, Editora Brasiliense, 1982.

GUERRA, A. J. T. Processos erosivos nas encostas. In: GUERRA, A. J. T., CUNHA, S. B. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos.** Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, cap. 4, pp.187-209, 1994

KOFFLER, N. F. Uso das terras da bacia do rio Corumbataí, em 1990. **Geografia**, Rio Claro, vol. 18, nº 1, pp. 135-150, 1993.

LANNA, A. E. L. **Gerenciamento de bacias hidrográficas: aspectos conceituais e metodológicos.** Brasília, Instituto do Meio-Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), pp.95-96, 1995.

LEPSCH, I. F., BELLINAZI JÚNIOR, R., BERTOLINI, D., SPINDOLA, C. R. Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso. **Sociedade Brasileira Ciência do Solo**, Campinas, 1983, 175p.

LOMBARDO, M. A., NOVO, E. M. L. de M., NIERO, M., FORESTI, C. **Uso da terra no Vale do Paraíba através de dados de sensoriamento remoto: Relatório Final.** São José dos Campos, INPE, 1980.

LOPES, V. L. **Um estudo da erosão e produção de sedimentos pelas chuvas.** Mossoró, Escola Superior de Agricultura de Mossoró, 1980.

MARQUES, J. Q. **Manual brasileiro para levantamento de uso da terra: 3ª aproximação.** Rio de Janeiro, Escritório técnico Brasil-Estados Unidos (ETA), 1971.

MERTEN, G. H. Uso agrícola do solo no Paraná. In: TAUK-TORNISIELO, S. M., GOBBI, N., FORESTI, C., LIMA, S. T. **Análise Ambiental: Estratégias e Ações.** Rio Claro, T. A. Queiroz/Fundação Salim Farah Maluf. Rio Claro (SP): Centro de Estudos Ambientais – UNESP, 1995.

MORETTI, E., KOFLER, N. C. & TEIXEIRA, A. L. A. Técnicas digitais para mapeamento de declividade e orientação de vertentes no uso de sistemas de informação geográficas. **Boletim de Geografia Teórica**, Rio Claro, vol. 19, nº 37, pp.29-53, 1985.

MORGAN, R. P. C. Assessment of erosion hazard with the USLE and GIS: A case study of the Upper Ewaso Ng'iro North basin of Kenia. **Journal of Agriculture**, vol. 2, pp. 78-86, 2000.

\_\_\_\_\_. **Soil erosion & conservations.** New York, Longman Inc., 1986.

MORISAWA, E. M. L. **Análise morfométrica de bacias hidrográficas através de imagens de Landsat-1.** São José dos Campos, INPE-CEP, 1975.

NACHTERGAELE, J. & POESEN, J. Assessment of soil losses by ephemeral gully erosion using high-altitude (stereo) aerial photographs. **Earth Surface Processes and Landforms**, vol. 24, pp. 693-706, 1999.

NORTON, E. A. **Classificação de terras como auxílio às operações de conservação do solo**. Rio de Janeiro, Serviço de Informação Agrícola, 1945, 19p.

NOVO, E. M. L. de M. Utilização de dados de sensoriamento remoto em estudos ambientais. **Geografia**, Rio Claro, vol. 13, nº 25, pp.53-68, 1988.

OLIVEIRA, A. M. M. **Análise da dinâmica do uso da terra: o estudo da bacia hidrográfica do ribeirão São João-SP**. Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual Paulista (Unesp) - IGCE (Instituto de Geociências e Ciências Exatas), Rio Claro (SP), 2000.

OLIVEIRA, J. B. de & BERG, M. V. D. Aptidão agrícola das terras do estado de São Paulo: Quadrícula de Araras. Memorial descritivo. **Boletim Técnico – Instituto Agrônômico**, Campinas, vol. 102, pp. 01-60, 1985.

PASCHOAL, A. D. Uso agrícola do solo: impactos ambientais, perspectivas e soluções. In: TAUK-TORNISIELO, S. M., GOBBI, N., FORESTI, C., LIMA, S. T. **Análise Ambiental: Estratégias e Ações**. Rio Claro, T. A. Queiroz/Fundação Salim Farah Maluf. Rio Claro (SP): Centro de Estudos Ambientais – UNESP, 1995.

PINTO, S. A. F. **Utilização de técnicas de sensoriamento remoto para a caracterização de erosão do solo no SW do estado de São Paulo**. Dissertação de Mestrado – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 1987.

\_\_\_\_\_. **Sensoriamento remoto e integração de dados aplicados no estudo da erosão dos solos: Contribuição metodológica**. Tese de Doutorado – Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 1991.

\_\_\_\_\_. **Contribuição metodológica para análise de indicadores da erosão do solo utilizando técnicas de sensoriamento remoto, geoprocessamento e modelo predictivo.** Tese de Livre Docência – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista (Unesp), Rio Claro, 1996.

RADAM. **Departamento Nacional de Produção Mineral. Folha 23-24 Teresina-Jaguaribe: Geologia.** Rio de Janeiro, pp.18-21, 1973.

RESCK, D. V. S. **Manejo e conservação do solo em micro-bacias hidrográficas na região dos cerrados.** Planaltina, EMBRAPA, 1992.

ROMERO-DIAZ, A., CAMMERAAT, L. H., VACCA, A. & KOSMAS, C. Soil erosion at three experimental sites in the mediterranean. **Earth Surface Processes and Landforms.** Vol. 24, nº 2, pp. 1243-1256, 1999.

ROSS, J. L. S. Análise e síntese na abordagem geográfica da pesquisa para o planejamento ambiental. **Geografia,** Rio Claro, vol. 9, pp.65-75, 1995.

SALOMÃO, F. X. T. Controle e prevenção dos processos erosivos. In: GUERRA, A. J. T., SILVA, A. S., BOTELHO, R. G. M. **Erosão e Conservação dos Solos: Conceitos Temas e Aplicações.** Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 1999.

SANO, E. E., ASSAD, E. D. & ORIOLI, A. L. monitoramento da ocupação agrícola. In: ASSAD, e. D. & SANO, E. E. **Sistemas de Informações Geográficas: Aplicações na Agricultura.** 2ª ed., Brasília, Embrapa, 1998.

SCHUMM, S. A. Evolution of drainage systems and slopes in badlands of Perth Amboy. **Geological Society of American Bulletin.** Vol.67, pp.597-646, 1956.

SCOPEL, I. **Avaliação da erosão com auxílio de técnicas de sensoriamento remoto e da equação universal de perdas de solo a nordeste de Cornélio Procópio (PR)**. Tese de Doutorado – Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, 1988, 156p.

SOUSA FILHO, B. A produção de soja no sul do Maranhão e seus impactos para os segmentos camponeses da região. In: **Carajás: Desenvolvimento ou Destruição**. São Luís, Universidade Federal do Maranhão (UFMA), 1995.

SPAVOREK, G. & LEPSCH, I. F. Diagnóstico de uso e aptidão das terras agrícolas de Piracicaba. In: TAU-K-TORNISIELO, S. M., GOBBI, N., FORESTI, C., LIMA, S. T. de. **Análise Ambiental: Estratégias e ações**. Rio Claro, T. A. Queiroz/Fundação Salim Farah Maluf. Rio Claro (SP): Centro de Estudos Ambientais – UNESP, 1995.

STRAHLER, A. N. Quantitative geomorphology drainage basin and channel networks. In: CHOW, V. T. **Handbook of applied hydrology**. New York, McGraw-Hill, 1964.

TAVARES, A. C. **A erosão dos solos no contexto da análise ambiental: o exemplo do alto curso do rio São José dos Dourados**. Tese de Doutorado – Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 1986.

TOMAZONI, J. C., MANTOVANI, L. E., BITTENCOURT, A. V. L., ROSA FILHO, E. F. A sistematização dos fatores da EUPS em SIG para quantificação da erosão laminar na bacia do rio Anta Gorda (PR). **Estudos Geográficos**, Rio Claro, vol 3, nº 1, pp. 1-21, 2005.

TOY, T. J. Introduction to the erosion process. In: Erosion, research techniques, erodibility and sediment delivery. **Geo Abstracts**, vol. 30, pp. 7-18, 1977.

TROPPEMAIR, H. Ecossistemas e geossistemas do estado de São Paulo. **Boletim de Geografia Teorética**, Rio Claro, vol. 13, nº 25, pp.27-36, 1983.

VALÉRIO FILHO, M. Gerenciamento de Bacias Hidrográficas com aplicação de técnicas de geoprocessamento. In: TAU-K-TORNISIELO, S. M., GOBBI, N., FORESTI, C., LIMA, S. T. de. **Análise Ambiental: Estratégias e ações.** Rio Claro, T. A. Queiroz/Fundação Salim Farah Maluf. Rio Claro (SP): Centro de Estudos Ambientais – UNESP, 1995.

WHITE, I. S., MATERSHEAD, D. N., HARRISON, S. J. **Environmental Systems.** Londres, Chapman & Hall, 1992.

WISCHMEIER, W. H. & SMITH, D. D. **Predicting rain fall erosion losses: a guide to conservation planning.** Washington D.C., United States, Department of Agriculture, 1978.

YASSUDA, E. R. O gerenciamento de bacias hidrográficas. **Cadernos Fundap**, São Paulo, nº 16, pp. 46-53, 1989.