



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA**

**“DETERMINAÇÃO DA VULNERABILIDADE À EROSÃO DAS  
TERRAS DO MUNICÍPIO DE ABEL FIGUEIREDO,  
ESTADO DO PARÁ”**

**FRANCINEY CARVALHO DA PONTE**

**Geógrafo**

**BELÉM, PARÁ**

**2005**



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**  
**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA**

DETERMINAÇÃO DA VULNERABILIDADE À EROSÃO DAS TERRAS DO  
MUNICÍPIO DE ABEL FIGUEIREDO,  
ESTADO DO PARÁ

FRANCINEY CARVALHO DA PONTE

Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do curso de Mestrado em Agronomia, área de concentração, Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de Mestre.

**Orientador:**

Engenheiro Agrônomo  
Prof. Dr. Tarcísio Ewerton Rodrigues

**Co-orientador:**

Engenheiro Agrônomo  
MSc. João Marcos Lima da Silva

BELÉM, PARÁ  
2005

Ponte, Franciney Carvalho da  
Determinação da vulnerabilidade à erosão das terras do município de  
Abel Figueiredo Estado do Pará / Franciney Carvalho da Ponte . -  
Belém, 2005.

94 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Agronomia - Universidade Federal  
Rural da Amazônia, 2005

1. Solos - Erosão - Abel Figueiredo (PA) 2. Uso da terra  
3. Sensoriamento remoto 4. Desenvolvimento sustentável I.  
Título.

CDD 631.45098115



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA**

**DETERMINAÇÃO DA VULNERABILIDADE À EROSÃO DAS TERRAS DO  
MUNICÍPIO DE ABEL FIGUEIREDO,  
ESTADO DO PARÁ**

**FRANCINEY CARVALHO DA PONTE**

Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do curso de Mestrado em Agronomia, área de concentração, Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de Mestre.

Aprovado em 05 de Agosto de 2005.

**BANCA EXAMINADORA**

*Tarcísio Ewerton Rodrigues*  
Engenheiro Agrônomo Prof. Dr. Tarcísio Ewerton Rodrigues  
Orientador  
Universidade Federal Rural da Amazônia / UFRA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária / EMBRAPA

*José Raimundo da Natividade F. Gama*  
Engenheiro Agrônomo Dr. José Raimundo da Natividade F. Gama  
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA

*Adriano Venturieri*  
Engenheiro Agrônomo Dr. Adriano Venturieri  
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA

*Maria de Nazaré Martins Maciel*  
Engenheira Florestal Prof. Dra. Maria de Nazaré Martins Maciel  
Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA

À Minha Família,

**DEDICO**

## **AGRADECIMENTO**

À Deus, por me conceder esta oportunidade e força de vontade para concluir este trabalho;

Aos meus pais, que são as pessoas mais importantes de minha vida e que sem o apoio deles não teria conseguido transpor mais essa etapa de minha vida;

À Universidade Federal Rural da Amazônia, ao setor de Solos do Instituto de Ciências Agrárias / UFRA, e à Coordenação do Curso de Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas, por me proporcionarem condições para realização do curso;

Ao Dr. Tarcísio Ewerton Rodrigues que me orientou e não mediu esforços para me ajudar na execução do presente trabalho;

Ao Pesquisador da Embrapa Amazônia Oriental e meu co-orientador João Marcos Lima da Silva, pela orientação, apoio e incentivo na realização do trabalho de campo e análise dos dados;

Ao Engenheiro Florestal Eduardo Santos pela amizade e apoio na fase de levantamento de dados e metodologia de análise da cobertura vegetal e uso da terra;

À Embrapa Amazônia Oriental pelo apoio logístico no reconhecimento da área, através da disponibilização de transporte para realização do trabalho de campo, viabilizando o levantamento, comprovação e validação dos dados preliminares;

Ao Sistema de Proteção da Amazônia SIPAM, pelo fornecimento dos dados de geomorfologia e geologia;

Ao Engenheiro Agrônomo Gil Mendes Sales, pelo apoio na construção dos programas (LEGAL), para geração do mapa de vulnerabilidade;

# SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS.....	07
LISTA DE FIGURAS.....	08
RESUMO.....	10
ABSTRACT.....	11
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>12</b>
1.1. OBJETIVO.....	13
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>14</b>
2.1. DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL .....	14
2.2. SENSORIAMENTO REMOTO E GEOPROCESSAMENTO.....	16
2.3. USO DO SOLO NA AMAZÔNIA ORIENTAL.....	19
2.4. EROSÃO DO SOLO.....	20
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>23</b>
3.1. CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA.....	23
3.1.1. <b>Localização</b> .....	23
3.1.2. <b>Fisiografia</b> .....	23
3.2. MATERIAIS UTILIZADOS.....	27
3.3. LEVANTAMENTO DE SOLOS.....	29
3.3.1. <b>Prospecção e mapeamento dos solos</b> .....	29
3.3.2. <b>Métodos de análise de solos</b> .....	30
3.3.3. <b>Análises físicas</b> .....	30
3.3.4. <b>Análises químicas</b> .....	30
3.3.5. <b>Classificação taxonômica de solos</b> .....	31
3.4. COBERTURA VEGETAL E USO DA TERRA.....	31
3.4.1. <b>Registro das imagens</b> .....	32
3.4.2. <b>Realce de imagem</b> .....	32
3.4.3. <b>Classificação da imagem</b> .....	32
3.4.4. <b>Confiabilidade da classificação</b> .....	33
3.5. MODELAGEM DO RELEVO.....	34
3.6. VULNERABILIDADE À EROSÃO.....	35

<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	39
4.1. COBERTURA VEGETAL E USO DA TERRA.....	39
4.1.1. <b>Avaliação da classificação</b> .....	44
4.2. CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS.....	46
4.2.1. <b>Morfologia</b> .....	47
4.2.2. <b>Características granulométricas</b> .....	50
4.2.3. <b>Características químicas</b> .....	55
4.3. CARACTERIZAÇÃO DO RELEVO.....	68
4.4. DETERMINAÇÃO DO GRAU DE VULNERABILIDADE.....	72
<b>5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</b> .....	82
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	84
<b>ANEXOS</b> .....	91



## LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 01 - Aspectos geológicos do município de Abel Figueiredo.....	25
Tabela 02 - Avaliação da Vulnerabilidade / Estabilidade das Categorias Morfodinâmicas.....	36
Tabela 03 - Legenda e quantificação das classes de cobertura vegetal e uso da terra.....	42
Tabela 04 - Matriz de confusão obtida após a comparação entre a verdade terrestre e a classificação preliminar.....	45
Tabela 05 - Qualidade da classificação associada aos valores da estatística Kappa.....	46
Tabela 06 - Características físicas e químicas gerais dos Latossolos Amarelos do Município de Abel Figueiredo, Estado do Pará.....	57
Tabela 07 - Características físicas e químicas gerais dos Latossolos Amarelos da área de estudo.....	58
Tabela 08 - Características físicas e químicas gerais de Argissolos Amarelos da área de estudo.....	61
Tabela 09 - Características físicas e químicas gerais de Argissolos Vermelho Amarelos da área de estudo.....	62
Tabela 10 - Características físicas e químicas gerais de Gleissolos Háplicos da área de estudo.....	64
Tabela 11 - Legenda e quantificação das classes de solo do município de Abel Figueiredo PA.....	67
Tabela 12 - Classes de relevo com os respectivos valores de declividade e hipsometria (altimetria).....	72
Tabela 13 - Classes de geologia e respectivos valores da escala de vulnerabilidade.....	73
Tabela 14 - Classes de solo e respectivos valores da escala de vulnerabilidade....	74
Tabela 15 - Classes de geomorfologia e respectivos valores da escala de vulnerabilidade.....	76
Tabela 16 - Classes de Cobertura vegetal e uso da terra e respectivos valores da escala de vulnerabilidade.....	77
Tabela 17 - Grau de Vulnerabilidade e/ou Estabilidade das classes à Erosão.....	79

## LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 01 - Localização da área de estudo. Município de Abel Figueiredo PA....	24
Figura 02 - Fluxograma das atividades desenvolvidas.....	28
Figura 03 - Escala de Vulnerabilidade das Unidades Territoriais Básicas.....	38
Figura 04 - Imagem do satélite Cbers 2, órbita-ponto 160_106 de 13/06/2004, do município de Abel Figueiredo.....	40
Figura 05 - Classes da cobertura vegetal e uso da terra do município de Abel Figueiredo.....	42
Figura 06 - Unidade de classe da Floresta equatorial subperenifólia sob exploração, localizada em relevo plano (coordenada geográfica: 04°52' 14.7 S / 48°25' 34.3 W).....	43
Figura 07 - Unidade de classe da Pastagem (coordenada geográfica: 05°00' 23.0 S / 48°29' 02.6 W).....	43
Figura 08 - Unidade de classe da vegetação secundária capoeira alta (coordenada geográfica: 04°55' 23.7 S / 48°25' 06.2 W).....	44
Figura 09 - Mapa da distribuição espacial dos pontos amostrais no Município de Abel Figueiredo.....	45
Figura 10 - Imagem de Radar (RADAMBRASIL) e limites das unidades de mapeamento das classes de solo.....	47
Figura 11 - Distribuição de argila, na classe Latossolo, em função da profundidade do solo.....	50
Figura 12 - Distribuição de silte, na classe Latossolo, em função da profundidade do solo.....	51
Figura 13 - Distribuição de areia, na classe Latossolo, em função da profundidade do solo.....	51
Figura 14 - Distribuição de argila, na classe Argissolo, em função da profundidade do solo.....	52
Figura 15 - Distribuição de areia, na classe Argissolo, em função da profundidade do solo.....	53
Figura 16 - Distribuição de areia, na classe Argissolo, em função da profundidade do solo.....	53
Figura 17 - Distribuição de argila, classe Gleissolo, em função da profundidade do solo.....	54
Figura 18 - Distribuição de areia, classe Gleissolo, em função da profundidade do solo.....	54
Figura 19 - Distribuição de silte, classe Gleissolo, em função da profundidade do solo.....	54
Figura 20 - Ambiente de ocorrência do Latossolo Amarelo, localizado ao norte do município de Abel Figueiredo, em relevo plano de platô (coordenada geográfica: 04°51' 56.2 S / 48°26' 04.4 W).....	65
Figura 21 - Ambiente de ocorrência do Argissolo Amarelo, localizado ao norte do município de Abel Figueiredo, em relevo ondulado a forte ondulado (coordenada geográfica: 04°52' 48.0 S / 48°25' 04.6 W)....	65
Figura 22 - Ambiente de ocorrência do Argissolo Vermelho-Amarelo, localizado a oeste do município de Abel Figueiredo, em relevo ondulado (coordenada geográfica: 04°59' 35.5 S / 48°29' 31.4 W), observando-se algumas áreas de solo descoberto.....	66

Figura 23 - Ambiente de ocorrência do Gleissolo, localizado ao sul do município de Abel Figueiredo, em relevo plano a suave ondulado (coordenada geográfica: 05°06'41.0 S / 48°27'08.9 W).....	66
Figura 24 - Classes de solo do município de Abel Figueiredo, Pará.....	68
Figura 25 - Curvas de nível e respectivas cotas altimétricas, em formato vetorial, da área de estudo, com espaçamento de 10m.....	70
Figura 26 - Classes da topografia (hipsometria) do município de Abel Figueiredo, Pará.....	70
Figura 27 - Modelo Digital de Terreno do município de Abel Figueiredo, interpolado pelo método mínima curvatura.....	71
Figura 28 - Classes de geomorfologia do município de Abel Figueiredo, Estado do Pará.....	71
Figura 29 - Conversão do mapa temático de geologia em mapa numérico, com a atribuição dos respectivos valores (pesos) às unidades de mapeamento, a partir do programa LEGAL (Spring).....	73
Figura 30 - Conversão do mapa temático de solo em mapa numérico, com a atribuição dos respectivos valores (pesos) às unidades de mapeamento, a partir do programa LEGAL (Spring).....	75
Figura 31 - Conversão do mapa temático de geomorfologia em mapa numérico, com a atribuição dos respectivos valores (pesos) às unidades de mapeamento, a partir do programa LEGAL (Spring).....	76
Figura 32 - Conversão do mapa temático de cobertura vegetal e uso da terra em mapa numérico, com a atribuição dos respectivos valores (pesos) às unidades de mapeamento, a partir do programa LEGAL (Spring).....	78
Figura 33 - Classes de vulnerabilidade à erosão das terras do município de Abel Figueiredo, Estado do Pará.....	81

## RESUMO

PONTE, Franceney Carvalho da. **Determinação da vulnerabilidade à erosão das terras do município de Abel Figueiredo Estado do Pará.**

O trabalho tem por objetivo determinar a vulnerabilidade à erosão das terras do município de Abel Figueiredo, PA, utilizando ferramentas e técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento. A metodologia consistiu na integração de informações e dados temáticos sobre solo, geologia, relevo (geomorfologia), clima, cobertura vegetal e uso da terra. Utilizando-se o conceito de ecodinâmica e atribuindo valores (pesos) a cada unidade de mapeamento dentro de cada tema, foi elaborado um mapa de vulnerabilidade à erosão que reflete o estado atual da paisagem do município. A análise dos atributos para a elaboração do mapa de vulnerabilidade à erosão, permitiu indicar 05 (cinco) classes de vulnerabilidade/estabilidade à erosão: Estável, representando 4,47% do total da área do município; Moderadamente estável, com percentual de 15,00% da área do município; Medianamente estável/vulnerável, com percentual de 45,48%; Moderadamente vulnerável, com 28,21% e Vulnerável, com percentual de 6,84%.

Palavras-chave: solo; vulnerabilidade; uso da terra; sensoriamento remoto; desenvolvimento sustentável.

## **ABSTRACT**

**PONTE, Franciney Carvalho da. Determination of vulnerability to erosion of lands of city Abel Figueiredo State of Pará.**

The work has for objective to determine the vulnerability to the erosion of the lands of the municipal district of Abel Figueiredo, PA, using tools and techniques of remote sensing and geoprocessing. The methodology consisted of the integration of information and thematic data on soil, geology, relief (geomorphology), climate, vegetation covering and use of the earth. Being used the dynamic ecology concept and attributing values (weights) to each unit of mapping inside of each theme, it was elaborated the vulnerability to the erosion map that reflects the current state of the municipal landscape. The analysis of the attributes for the elaboration of the vulnerability map to the erosion, allowed to indicate 05 (five) vulnerability/stability classes to the erosion: Stable, representing 4,47% of the total of the area of the municipal district; Moderately stable, with percentile of 15,00% of the area of the municipal district; Middling stable/vulnerable, with percentile of 45,48%; Moderately vulnerable, with 28,21% and Vulnerable, with percentile of 6,84%.

Keywords: soil; vulnerability, land use; sensor remote; sustainable development

## 1 - INTRODUÇÃO

A colonização do sudeste paraense, na Amazônia Oriental, especificamente do município de Abel Figueiredo - Pará, teve início nos anos 70, com a facilidade de acesso e o acelerado programa de assentamento humano estimulado pelo governo federal, dando início a um grande avanço sobre as terras da região.

Com a disponibilização de matéria-prima de boa qualidade e em abundância, a região acabou atraindo a indústria madeireira de outros estados. Hoje esse tipo de atividade na região mostra um cenário devastador, tornando-o bastante vulnerável.

A diminuição da biodiversidade e o acelerado desenvolvimento de processos de degradação dos recursos naturais representam as repercussões ambientais que assumem maior gravidade.

As características da litologia, relevo, solo e cobertura vegetal, aliado ao tipo de clima, provoca um processo natural de perda do solo, sendo esse processo acelerado devido à ocupação humana em áreas impróprias, consideradas vulneráveis para atividades agropecuárias. Essa perda de solo, acentuada pela antropização, é uma das principais causas na perda dos recursos naturais, bem como, no potencial produtivo dos mesmos.

Essa intensa e rápida degradação dos ecossistemas sob exploração antrópica, vêm despertando preocupação com a preservação e a sustentabilidade da exploração dos recursos naturais, como por exemplo à vegetação e o solo. Na região de estudo, existem numerosos exemplos de degradação ambiental, associado ao intenso desmatamento em áreas totalmente impróprias, onde predominam relevos bastante acidentados, muitos inadequados para qualquer tipo de atividade agropecuária, refletindo na perda e empobrecimento dos solos.

Desta forma, a análise do meio físico e biótico através da metodologia desenvolvida por Crepani et al. (2001), baseado no conceito de Ecodinâmica de Tricart (1977), possibilitou a geração da carta de vulnerabilidade/estabilidade aos processos erosivos de perda de solo, através da integração dos dados de geologia, relevo (altimetria e declividade), solo, cobertura vegetal e uso da terra, caracterizando e delimitando unidades geoambientais com potencialidades e/ou riscos a degradação ambiental, subsidiando a estruturação de planos de gestão sustentável.

Para a realização dessa análise, as técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento são ferramentas de suma importância para a aquisição e manipulação de dados e identificação do grau de vulnerabilidade dos solos a erosão.

A partir da aquisição e manipulação dos dados é possível criar condições necessárias à geração da carta de vulnerabilidade à erosão, ferramenta essa fundamental na caracterização final das unidades de paisagem.

O objetivo das cartas de vulnerabilidade natural à erosão é representar o conhecimento do comportamento atual do terreno, em relação às respostas dos processos erosivos. Com esse mapa é possível conhecer áreas que apresentam alto risco de erosão, assim como áreas potencialmente estáveis para fins de melhor tratamento dessa área para um uso e ocupação atual e futura, bem como, constitui-se em uma ferramenta capaz de subsidiar a ocupação adequada do território e uso sustentável dos recursos naturais, uma vez que a mesma é originada a partir da integração de dados do meio físico influentes nos processos erosivos.

## 1.1 - OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivo gerar o mapa de vulnerabilidade utilizando produtos e técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento na identificação do grau de vulnerabilidade a erosão para cada uma das unidades geoambientais das terras do município de Abel Figueiredo, no Estado do Pará, levando em consideração a relação morfogênese/pedogênese, a partir da atribuição de pesos relativos a maior ou menor capacidade de cada classe em face à erosão, integrando os dados de geologia, relevo, solo, clima, cobertura vegetal e uso da terra.

## 2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 - DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

A expressão desenvolvimento sustentável foi popularizada a partir do relatório Brundtland ou Nosso Futuro Comum, título dado ao relatório resultante do trabalho de uma equipe de especialistas de diversas áreas de conhecimento criada pela ONU (Organização das Nações Unidas) com a finalidade de fazer um balanço do desenvolvimento econômico em nível mundial e das principais conseqüências sócio-ambientais desse estilo de desenvolvimento, e propor estratégias ambientais de longo prazo, visando um desenvolvimento sustentável.

Dois conceitos importantes estão contidos na noção de desenvolvimento sustentável: O de desenvolvimento e o de sustentabilidade, ambos caracterizados pela multiplicidade e controvérsia conceitual.

Segundo Ribeiro<sup>1</sup> (1992) citado por Souza (2002), a noção de desenvolvimento é bastante abrangente, permitindo uma gama muito grande de interpretações e formulações teóricas, envolvendo desde direitos individuais, de cidadania, até atribuições de valor à mudança, a tradição, a justiça social, o bem estar, a acumulação de poder econômico e muitas outras conotações vinculadas às relações entre os homens e entre estes e a natureza.

O desenvolvimento tem sido, tradicionalmente, entendido como o conjunto de transformações técnicas que objetivam aumentar a produção, gerar riquezas e melhorar as condições sociais (GALAN, 1994). Além dos problemas ambientais gerados pelo desenvolvimento, graves problemas sociais também são gerados, como se observa pela crescente pobreza de populações que estão abaixo dos níveis mínimos de subsistência (NAGAI, 1993).

---

<sup>1</sup> RIBEIRO, G. L. Ambientalismo e desenvolvimento sustentável: ideologia e utopia no final do século XXI. *Ciência e informação*, v. 21, n. 1, p. 57-58, jan./abr. 1992.



Cavalcanti (1994) define sustentabilidade como o fato de se obter continuamente condições iguais ou superiores de vida para um grupo de pessoas e seus sucessores em um dado ecossistema. Já para Costanza (1991), a condição mínima necessária de sustentabilidade requer a manutenção do estoque total de capital natural igual ou acima do nível corrente.

A proposta do desenvolvimento sustentável consiste na busca de um desenvolvimento alternativo, em que as preocupações com a qualidade da vida e do ambiente estejam presentes como fatores determinantes nas definições do modelo de desenvolvimento, trata-se então de modificar a qualidade desse desenvolvimento (COELHO, 1994).

Segundo a FAO (1991) o desenvolvimento sustentável é o manejo e conservação da base dos recursos naturais e a orientação da mudança tecnológica e institucional, de tal maneira que, assegure a contínua satisfação das necessidades humanas para as gerações presentes e futuras. Nesse contexto, o desenvolvimento sustentável (em agricultura, floresta, etc) conserva o solo, a água, os recursos genéticos de plantas e animais, não degradando o ambiente, sendo tecnicamente apropriado, economicamente viável e socialmente aceitável.

O desenvolvimento sustentável para ser promissor deve conciliar aspectos sócio-econômicos com as dimensões biofísicas relacionadas aos recursos naturais e à própria capacidade dos distintos ecossistemas em responder a demanda que lhes submetem as sociedades humanas (CAMARGO, 1998).

Na proposta de desenvolvimento sustentável a implementação de modelos de desenvolvimento agrícola de cunho agropecuário e agroflorestal, compatíveis com as condições ecológicas da região, torna-se de fundamental importância, pois, gradativamente, devem substituir práticas predatórias ao meio ambiente.

As políticas de desenvolvimento sustentável procuram estimular programas e procedimentos visando atingir as metas propostas (desenvolvimento econômico, uso adequado dos recursos, melhoria social e bem-estar das comunidades), mas usufruindo dos conhecimentos gerados nas diferentes disciplinas.

A proposta de desenvolvimento sustentável, enfim, busca a reafirmação do atual modelo de desenvolvimento a partir de pequenas modificações, na medida em que propõe o aumento da produtividade e do crescimento econômico com menores riscos sócio-ambientais, o que não significa necessariamente somente uma transformação na busca de uma nova ordem, mais justa e participativa.

## 2.2 - SENSORIAMENTO REMOTO E GEOPROCESSAMENTO

A aplicabilidade de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento na análise ambiental constituem-se num conjunto de ferramentas de grande valia, uma vez que os mapas obtidos permitem uma visualização e posterior análise completa dos dados coletados.

O primeiro grande impulso do sensoriamento remoto no Brasil foi nas décadas de 60 e 70, com o projeto RADAMBRASIL, que tinha como objetivo realizar um levantamento integrado dos recursos naturais do país, incumbido inicialmente de mapear a região amazônica e posteriormente todo o território brasileiro através de imagens produzidas por Radar de Visada Lateral (RVL) aerotransportadas, do sistema GEMS, banda X (LIMA, 1995).

O segundo evento importante foi o início da recepção e processamento de sinais do satélite Landsat, pelo Instituto de Pesquisas Espaciais INPE, em São José dos Campos - SP, associado ao fato de que a grande extensão do território brasileiro e o pouco conhecimento dos recursos naturais, aliado ao custo de se obter informações por métodos convencionais, como fotografias aéreas, foram os fatores decisivos para que o país entrasse no programa de sensoriamento remoto por satélite (SANTOS, 2004).

O sensoriamento remoto pode ser definido como a aplicação de dispositivos que colocados em aeronaves ou satélites, nos permitem obter informações de um objeto ou alvo, sem que haja contato físico com o mesmo (ROSA, 2003).

Segundo Novo (1993), sensoriamento remoto é definido como a aquisição de informações sobre um objeto a partir de medidas feitas por um sensor que não se encontra em contato físico direto com ele.

A evolução do sensoriamento remoto através do surgimento de sensores mais potentes, ou seja, com maior capacidade na aquisição de informações mais detalhadas, em um intervalo de tempo cada vez menor, proporcionando imagens com resoluções cada vez melhores, associadas com as técnicas de extração de informação oriundas do processamento de imagens e dispositivos de geoprocessamento, através do armazenamento e manipulação dos dados, ampliou sua aplicabilidade a diversas áreas do conhecimento.

O produto de sensoriamento remoto tem-se mostrado extremamente úteis para estudos e levantamentos de recursos naturais, principalmente, pelos seguintes fatores: a) sua visão sinótica; b) a aplicabilidade temporal que permite a coleta de informações em diferentes épocas do ano e em anos distintos, o que facilita os estudos da dinâmica de uma região; c) sua resolução espectral que permite a obtenção de informações sobre um

alvo na natureza em distintas regiões do espectro, acrescentando assim uma infinidade de informações sobre o estado dele; d) sua resolução espacial, que possibilita a obtenção de informações em diferentes escalas, desde as regionais até locais, sendo este um grande recurso para estudos abrangendo desde escalas continentais, regiões até como um quarteirão.

O sensoriamento remoto tem seu potencial aplicável em distintos produtos. No caso das imagens orbitais, que vem sendo os produtos mais utilizados nos estudos da dinâmica da paisagem, é possível que o intérprete extraia informações da área de interesse com base em critérios fotointerpretativos, levando em consideração os seguintes elementos: forma geométrica, textura fotográfica, relevo e distintas tonalidades relacionadas às respostas espectrais da vegetação, uso, água, etc.

Watrin (1994) caracterizando a cobertura vegetal e uso da terra no município de Igarapé-Açu, no Estado do Pará, a partir da seleção das bandas do sensor TM/Landsat (1, 5 e 7), submeteu os dados da imagem a diferentes técnicas de processamento digital de imagens multiespectrais. Para melhor identificar as feições espectrais presentes na imagem foram aplicadas técnicas de realce como ampliação linear de contraste e para a classificação automática das imagens foi utilizado o algoritmo maxver, onde foi possível identificar quatro classes de floresta e cinco classes de uso da terra.

Para o mapeamento, caracterização e quantificação das classes presentes na paisagem de dez municípios no nordeste paraense, foram utilizadas as bandas 3, 4 e 5, do sensor TM, onde se realizou o realce pela técnica de ampliação linear de contraste e em seguida gerada composição colorida (bandas TM 5-R, TM 4-G e TM 3-B). Não foi realizada nenhuma classificação temática em virtude da acentuada heterogeneidade das feições presentes na imagem, optando-se assim pela interpretação visual, o que resultou na obtenção de uma legenda bastante completa, incluindo variantes da floresta ombrófila, bem como estágios de sucessão secundária (SANO et al., 1989).

O mapeamento da cobertura vegetal e uso da terra é uma das principais aplicações dos produtos de sensores remoto, sendo representados principalmente pelas imagens orbitais. Para tanto, faz-se necessário buscar novas tecnologias alternativas para que possamos desenvolver estudos mais detalhados e atualizados da dinâmica da paisagem, através da utilização de dados mais acessíveis a comunidade científica.

A comunidade científica brasileira envolvida com o estudo e aplicação do sensoriamento remoto conta com uma nova ferramenta de pesquisa, as imagens orbitais do satélite sino-brasileiro CBERS 2. O Satélite Sino-Brasileiro de recursos terrestres

(CBERS 2) é a segunda versão, do primeiro satélite de sensoriamento remoto, desenvolvido pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), em cooperação com a academia chinesa de tecnologia espacial e seu protótipo foi construído no laboratório de integração e testes do INPE, em São José dos Campos - SP.

Soares et al (2005) realizou uma análise comparativa entre as imagens do satélite CBERS 2, sensor CCD, com as imagens do satélite Landsat, sensor ETM+, na classificação da cobertura vegetal em uma área do semi-árido, localizada na bacia hidrográfica do Rio Brígida. Para a realização desta análise foram realizadas classificações supervisionadas e análise visual das imagens. Após a classificação realizada sobre as imagens, observou-se uma grande semelhança nos resultados de exatidão total e do índice kappa. Todavia, a análise visual das classificações da imagem CBERS, permitiu delimitar as áreas de transição arbustiva entre as culturas e a caatinga arbórea, tendo a imagem Landsat apresentado menos versatilidade na delimitação, provavelmente em virtude da sua resolução espacial mais grosseira, mostrando assim a potencialidade das imagens do sensor CCD/CBERS no mapeamento da cobertura vegetal.

Montesi et al (2003) avaliando a qualidade do satélite CBERS, sensor CCD, na caracterização do uso e da cobertura vegetal do município de Taubaté no vale do Paraíba, submeteu os dados extraídos da imagem a diferentes técnicas de geoprocessamento e posterior validação das mesmas em campo. A partir da seleção das bandas (2, 3 e 4) do sensor CCD e do realce de contraste da imagem através da manipulação do histograma, foi realizada a classificação da imagem utilizando o método de classificação não supervisionada por regiões denominado ISOSEG, o que permitiu discriminar com eficiência as classes de uso e cobertura vegetal, comprovadas através do trabalho de campo.

Para Watrin (1994) alguns estudos da cobertura vegetal na Amazônia, no que tange as abordagens utilizando-se classificação digital, apresentam algumas dificuldades em estabelecer o contato entre as unidades da floresta ombrófila densa. Tais dificuldades devem-se em parte, a transição suave entre ambientes de floresta, que muitas vezes se interpenetram na natureza.

Apesar da verificação de alguns problemas no que tange a classificação digital de imagem, estão sendo realizados estudos no sentido de melhorar a acurácia dos algoritmos de classificação.

Müller (1997) realizando uma série de ensaios com dados (cores) controlados e dados reais, comparou a performance dos métodos de Máxima Verossimilhança e Distância Mínima. Tal classificação foi feita utilizando amostras determinísticas para treinamento e criando imagem para classificação, onde foi utilizada uma imagem retirada de uma foto digitalizada com intuito de que a comparação pudesse ser feita sem controle da imagem e das amostras, sendo a análise de desempenho dos métodos realizada pela estatística Kappa, onde ficou constatado que o método de Distância Mínima foi o melhor para classificação de cores reais sob todos os aspectos estudados.

O termo geoprocessamento pode ser aplicado a atividades que englobem trabalhos com cartografia digital, processamento digital de imagens (PDI) e sistemas de informação geográfica (SIG). Embora estas atividades sejam diferentes elas estão intimamente inter-relacionadas, usando na maioria das vezes as mesmas características de hardware, porém, os softwares são distintos (como ArcView, Idrisi, MAP INFO, ARC INFO, SPRING, além de outros).

Entre o final da década de 90 e o início da atual houve um crescimento acentuado das aplicações de SIGs, o que se deve, em parte, ao advento e à disseminação do microcomputador pessoal (Personal Computers), além da introdução de tecnologia de relativo baixo custo e alta capacidade de performance.

Um SIG pode ser definido como um sistema destinado à aquisição, armazenamento, manipulação, análise e apresentação de dados referidos espacialmente na superfície terrestre, integrando diversas tecnologias. Portanto, o sistema de informação geográfica é uma particularidade do sistema de informação no sentido amplo. Essa tecnologia automatiza tarefas até então realizadas manualmente e facilita a realização de análises complexas, através da integração de dados de diversas fontes (ROSA; BRITO, 1996).

### 2.3 - USO DO SOLO NA AMAZÔNIA ORIENTAL

Nas últimas décadas a Amazônia vem recebendo atenção especial, em proporção à intensificação das frentes pioneiras de colonização. As preocupações ambientais decorrentes desse processo, devem-se a velocidade e à intensidade com que vem sendo implementadas, acarretando alterações ambientais significativas nas áreas mais críticas, como o sudeste paraense por exemplo.

Além da problemática ambiental, o processo de expansão da pecuária na Amazônia Oriental é uma das principais atividades que sustenta o desenvolvimento da economia regional, porém, promove uma importante conversão de florestas em pastagens. Esse desmatamento intensivo vem provocando impactos sociais que tem suscitado uma reorientação da ocupação espacial e da exploração econômica.

Laurance et al. (2001) estudando o desmatamento ao longo das estradas (asfaltadas e não asfaltadas) encontraram curvas exponenciais que explicam o processo de fragmentação e Nepstad et al (2001), demonstraram que 75% dos desmatamentos entre 1978 e 1994 ocorreram dentro de uma faixa de 100 km de largura ao longo das rodovias BR-010 (Belém-Brasília), BR-364 (Cuiabá - Porto Velho) e PA-150.

O uso indiscriminado do solo sem a mínima preocupação com a conservação e manejo do mesmo, faz com que áreas produtivas se degradem a ponto de atingir estágios irreversíveis, como a perda do solo por processos erosivos, causando sérios danos ao meio ambiente. Em algumas regiões da Amazônia Oriental, especificamente no sudeste paraense, principalmente naquelas onde o índice de desmatamento encontra-se bastante elevado, como o município de Abel Figueiredo, constata-se grandes perdas de solo, ocasionada pela erosão, tornando-se este um dos principais problemas relacionado ao uso sustentável dos recursos naturais.

#### 2.4 - EROSÃO DO SOLO

O processo erosivo quando presente em ambientes com cobertura vegetal e sem pressão de fatores antrópicos, é denominado erosão natural e se manifesta de forma muito lenta, sendo perceptível somente com o decorrer de longos períodos de atividade.

Aquino (2003), objetivando avaliar parâmetros biofísicos para a caracterização de indicadores de erosão, através da análise integrada do meio físico (declividade, relevo e erodibilidade das rochas) e antrópico (uso do solo), observou que a intensificação da pressão antrópica, identificada pela diminuição das áreas de cobertura vegetal aliado as características do relevo, estavam contribuindo significativamente para o aumento da ocorrência das categorias com maiores riscos de erosão.

As propriedades físicas do solo são de grande importância nos estudos de erosão, porque juntamente com outros fatores, determinam a maior ou menor vulnerabilidade à erosão. Hedley et al. (1982) destacam a importância das propriedades do solo na sua

erodibilidade, como o principal fator na predição da erosão e no planejamento do uso da terra.

As propriedades físicas do solo, como a textura por exemplo, afetam a erosão, porque algumas frações granulométricas são removidas mais facilmente do que outras. Farmer<sup>2</sup> (1973) e Bryan<sup>3</sup> (1974) citados por Guerra e Cunha (2001) reportam que a remoção de sedimentos é maior na fração areia média e diminui nas partículas maiores ou menores, pois indicam a importância do teor de areia na remoção de sedimentos, ao se correlacionar significativamente com a perda de solo. O teor de silte também afeta a erodibilidade dos solos, e isso tem sido demonstrado em vários trabalhos.

Guerra (1991) demonstra que, quanto maior o teor de silte, maior a vulnerabilidade dos solos em serem erodidos. As argilas, se por um lado podem, por vezes, dificultar a infiltração das águas, por outro lado são mais difíceis de serem removidas, especialmente quando se apresentam em agregados.

Um dos instrumentos capaz de amenizar os efeitos impactantes, pela perda de solo, e subsidiar o uso sustentável dos solos, é o mapa de vulnerabilidade natural à erosão, que apresenta as unidades territoriais com seus respectivos graus de riscos à perda de solo, definidas pela interseção dos mapas temáticos (cobertura vegetal, uso da terra, solo, relevo, declividade).

Sousa (1999), afirma que a carta de vulnerabilidade a erosão constitui um dos produtos capazes de subsidiar a ocupação adequada do território e o uso sustentável dos recursos naturais, como o solo, uma vez que é originada a partir de uma integração de dados do meio físico influentes nos processos erosivos.

Além do relevo, o conhecimento da forma de ocupação do solo, quanto a sua natureza e localização, são de grande valia para planejar o desenvolvimento sustentável de uma região.

Carvalho et al (2003), buscando identificar os graus de vulnerabilidade à erosão para cada uma das unidades geoambientais de duas bacias hidrográficas no Ceará, adotou a metodologia desenvolvida por Crepani (1996), de classes de vulnerabilidade à erosão, distribuídas entre as situações de predomínio dos processos de pedogênese e morfogênese. Essa metodologia consiste na atribuição de valores ou peso de

---

<sup>2</sup> FARMER, E. E. Relative detachability of soil particles by simulated rainfall. Soil Science Society American Proceedings, v. 37, p. 629-633. 1973.

<sup>3</sup> BRYAN, R. B. Water erosion by splash and the erodibility of albertan soils. Geog. Annlr., 56A, p. 159-181. 1974.

estabilidade/vulnerabilidade a cada unidade homogênea dos seguintes fatores temáticos: geologia (rocha), solo, relevo, vegetação e clima.. Após a análise integrada desses temas, foram identificadas 04 classes de vulnerabilidade/estabilidade nas áreas de estudo: moderadamente estável, medianamente estável/vulnerável, moderadamente vulnerável e vulnerável.

No estudo de Carvalho et al (2003), a classe moderadamente estável foi caracterizada como sendo pouco susceptível à erosão, predominando o processo de pedogênese, em virtude da ocorrência de relevo plano a suave ondulado, bem como, apresentando solos mais maduros como o Latossolo e cobertura vegetal mais densa. Já no que diz respeito à classe medianamente estável/vulnerável, ocorre ambientes onde há interferência da morfogênese e pedogênese, apresentando um ambiente sensível à erosão, onde há solos arenosos, Litólicos, Bruno não Cálcico, Planossolo e com irregularidade acentuada das condições climáticas, bem como, uma rarefação da cobertura vegetal, predominando a pecuária extensiva e culturas de subsistência. Enquanto que a classe moderadamente vulnerável, caracteriza-se por apresentar solos pouco profundos, onde ocorrem desmatamentos indiscriminados, planícies flúvio-marinhas com cobertura vegetal de mangue e extrativismo vegetal, bem como, declives íngrimes, com relevo variando de parcialmente dissecado a dissecado e presença de cobertura vegetal secundária, propiciando processos erosivos. A classe vulnerável é composta por terrenos de neoformação, onde predomina a instabilidade geomorfológica, ocorrendo a vegetação em algumas superfícies, predominando a morfogênese no ambiente, prevalecendo os processos erosivos modificadores das formas de relevo, apresentando solos do tipo Areias Quartzosas distróficas e Areias Quartzosas Marinhas com intenso uso agrícola e práticas de atividades agroextrativas.

Santos e Candeias (2002), fazem uma relação entre o relevo e as propriedades físicas do solo e o uso da terra, através da análise das declividades, na microbacia de Vaca Brava, PB, e , concluíram com base na relação entre a declividade e as classes texturais, que a degradação causada pelos processos erosivos aumentou com a declividade, e quanto maiores essas declividades menores foram os teores de areia (textura grosseira) do solo. As texturas mais grosseiras foram encontradas em áreas menos declivosas (< 8%). Já nas áreas com declividade mais acentuada, as texturas predominantes foram mais finas. Observaram que quanto maiores as declividades menores foram os teores de areia na camada de 0-20cm do solo. O solo predominante é



o Argissolo Vermelho-Amarelo (EMBRAPA, 1999). Portanto, a diminuição de areia com o aumento da declividade foi interpretada como um aumento da erosão.

### **3 - MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 - CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA**

##### **3.1.1 - Localização**

O município de Abel Figueiredo localiza-se na mesorregião do sudeste Paraense e pertence à microrregião de Paragominas. Apresenta uma área de aproximadamente 623,99 km<sup>2</sup>, situado entre as coordenadas geográficas de latitude (Sul) 05° 07' 08" / 04° 48' 43" e de longitude (Oeste) 48° 36' 44" / 48° 11' 48" , limitando-se ao norte com o município de Rondon do Pará,; ao sul e a leste com o Estado do Maranhão e a oeste com o município de Bom Jesus do Tocantins, Pará (Figura 01).

A principal via de acesso deste município é a rodovia BR-222, que corta sua extensão no sentido leste / oeste, estando sua sede a uma distância, em linha reta, de 395 km da cidade de Belém, capital do Estado.

##### **3.1.2 - Fisiografia**

A caracterização geológica da área de estudo foi baseada em trabalhos executados pelo projeto RADAMBRASIL, na década de 70, bem como em observações realizadas durante os trabalhos de campo. De posse dos dados obtidos, constatou-se a presença de três períodos geológicos, representados pelo Quaternário, Terciário e Cretáceo (Tabela 01).

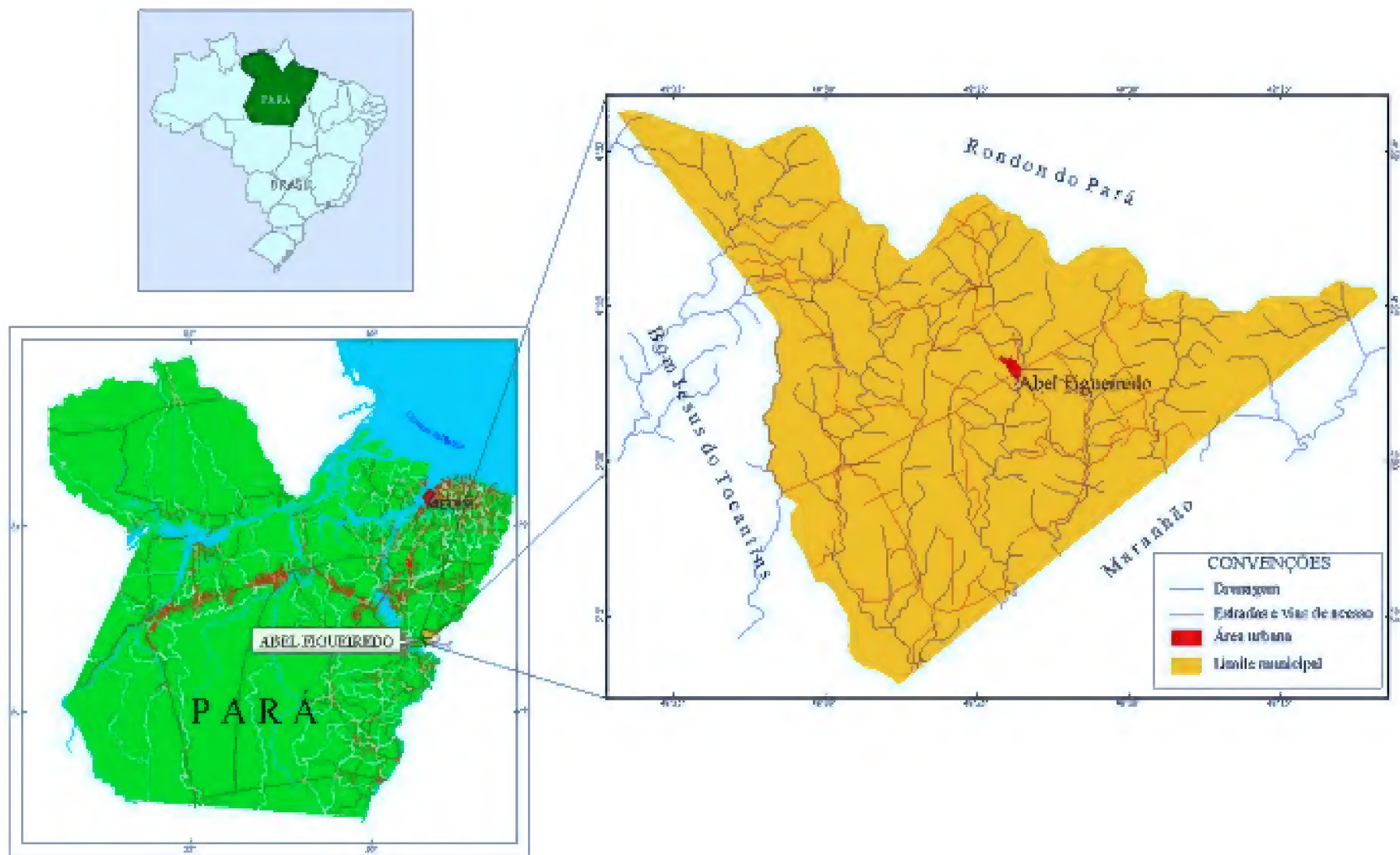


Figura 01 - Localização da área de estudo. Município de Abel Figueiredo - PA.  
 Fonte: IBGE.

Tabela 01 - Aspectos geológicos do município de Abel Figueiredo

<b>Período Geológico</b>	<b>Unidade Geológica</b>	<b>Características Básicas</b>
Quaternário		<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Caracterizado pelos depósitos aluvionares recentes, constituídos por areias siltes e argilas inconsolidadas;</li> <li>b) Aparecem como faixas estreitas e, às vezes, descontínuas ao longo dos rios mais importantes;</li> <li>c) Os solos encontrados e desenvolvidos desses sedimentos foram os Gleissolos e os Neossolos flúvicos;</li> </ul>
Terciário	Formação Barreiras	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) É constituída por sedimentos clásticos, mal selecionado, variando de siltitos a conglomerados;</li> <li>b) Os arenitos, em geral, são caulíníticos, com lentes de folhelho;</li> <li>c) Os sedimentos barreiras constituem o topo dos altos platôs nas folhas de Paragominas e Rio Capim, terminando em dissecação, onde aparecem os relevos suave ondulados, ondulado e forte ondulado;</li> <li>d) Compõe os materiais formadores dos Latossolos Amarelo e Argissolo Amarelo;</li> </ul>
Cretáceo	Formação Itapecuru	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Constitui-se quase que exclusivamente por arenitos de cores diversas, predominando a cinza, a rósea e a vermelha, finos, argilosos, com estratificação cruzadas e silicificações, principalmente no topo;</li> <li>b) Intercalam-se lentes de siltitos e folhelhos cinza-esverdeados;</li> <li>c) Em algumas áreas aparece um conglomerado basal contendo seixos de basalto alterado;</li> <li>d) São formadores dos Argissolos Vermelho-Amarelo, Argissolo Vermelho-Amarelo com presença de cascalho localizados em relevo ondulado a forte ondulado; e os Latossolos e Argissolos Amarelos em relevo suave ondulado</li> </ul>

A geomorfologia e o relevo foram caracterizados com base nos trabalhos do RADAMBRASIL. O município de Abel Figueiredo apresenta, ao norte, relevo fortemente dissecado composto pelos sedimentos da Formação Barreiras e por sedimentos do Período Cretáceo da Formação Itapecuru. Apresenta superfícies com bordos erosivos que se inclinam para o norte em direção ao litoral, e ao nordeste, em

direção ao golfo amazônico. Encontram-se entalhadas pelos vales e os rios que seguem a direção nordeste (Gurupi) e norte (Capim e Guamá). As diversas alterações dos cursos dos grandes rios, o reencaixamento da rede de drenagem, a retomada de erosão nos vales e nos rebordos erosivos, bem como, os afloramentos do Pré-Cambriano, indicam movimentação sucessiva do nordeste do Pará. A dissecação da área segue duas direções distintas: de leste para oeste, a partir do golfo maranhense, e de norte para sul, sob controle de drenagem que deságua no litoral paraense.

O Planalto Setentrional Pará-Maranhão, esculpido sobre a formação Itapecuru, foi intensamente dissecado, dando rebordos erosivos, onde estão presentes os relevos ondulados e forte ondulados fortemente dissecados. Ele decai para o norte em direção ao Planalto Rebaixado da Amazônia, com formações sedimentares representados pela Formação Barreiras, onde predominam na área os platôs com os solos Latossolos Amarelos de textura argilosa e muito argilosa.

Tomando-se como referência a região compreendida entre a BR-222 e o rio Araguaia, fica visível a ocorrência dos relevos plano e suavemente ondulado com pouca dissecação, onde estão presentes os solos Argissolos Amarelos e os Latossolos Amarelos com textura variando de média a argilosa.

A cobertura vegetal do Município de Abel Figueiredo, PA, segundo a classificação adotada pela Embrapa (1988), está composta por duas formações florestais bem distintas: floresta equatorial subperenifólia e floresta equatorial higrófila de várzea. As características desses ecótipos representam subsídios importantes no tocante a suprir a falta de dados referentes às condições térmicas e hídricas dos solos ocorrentes. Estas condições, além do significado pedogenético, tem grande aplicação ecológica, o que permite o estabelecimento de relações entre as unidades de solos e sua aptidão agrícola, aumentando, pois, a utilização dos levantamentos de solo.

O clima do município caracterizou-se com base nas séries de dados do posto pluviométrico de Rondon do Pará, assim como, da estação climática de Marabá.

Quanto à precipitação pluviométrica, ocorrem no município, valores totais anuais que variam de 1.062,6 mm (em 1991) a 3.183,1 mm (em 1984). Essas precipitações são predominantemente do tipo convectivas em forma de pancadas de

curta duração, ou seja, movimentos ascendentes de massas de ar úmida, freqüentes na região amazônica.

Segundo a classificação de Köppen, comparando-se a outros estudos realizados na região, foi identificado somente um subtipo climático para o município de Abel Figueiredo, a exemplo de Rondon do Pará, que apresentou o subtipo Aw. Este pertence ao clima de savanas, caracterizando-se por apresentar temperatura do ar média de todos os meses maior que 18 °C (megatérmico) e se diferencia pela quantidade de precipitação pluviométrica média anual ser menor que 10 vezes a precipitação pluviométrica média do mês mais seco e a precipitação do mês mais seco menor que 60,0 mm (SUDAM, 1984).

### 3.2 - MATERIAIS UTILIZADOS

Para a execução do presente trabalho utilizou-se como material: a) Base cartográfica extraída das cartas planialométricas da Diretoria de Serviço Geográfico do Ministério do Exército (DSG-ME) na escala de 1:100.000; b) Fusão da composição colorida (bandas 5R, 4G e 3B) com a pancromática (banda 8) da imagem do satélite Landsat 7, sensor ETM+, órbita-ponto 223\_063, resolução espacial de 15 metros, datada de 08.2002; c) Mosaico semicontrolado de Radar (RADAMBRASIL: ampliação 1:100.000) com as seguintes nomenclaturas internacionais: SB.22-X-B-V e I, SB.22-X-D-II e III; d) Imagem do satélite CBERS 2, sensor CCD, composição colorida (bandas 2R,4G e 3B), órbita-ponto 160\_106, resolução espacial de 20 metros, de 13.06.2004; e) Mapa geomorfológico e geológico (IBGE/SIPAM, 1998), na escala de 1:250.000; f) Sistema de Posicionamento Global (GPS); g) Scanner tamanho A0; h) Curvas de nível extraídas das cartas planialtimétricas da DSG com equidistância de 50 metros e do Modelo Digital de Elevação da Terra (NASA, 2004) com espaçamento de 10 metros; i) Software de processamento digital de imagem (PDI) Erdas Imagine, versão 8.5 (LEICA, 1998); j) Software de sistema de informações geográficas ArcView, versão 3.2 (ESRI); l) Software Global Mapper, versão 6.0; m) Software de modelo digital de elevação Surfer, versão 8.0;

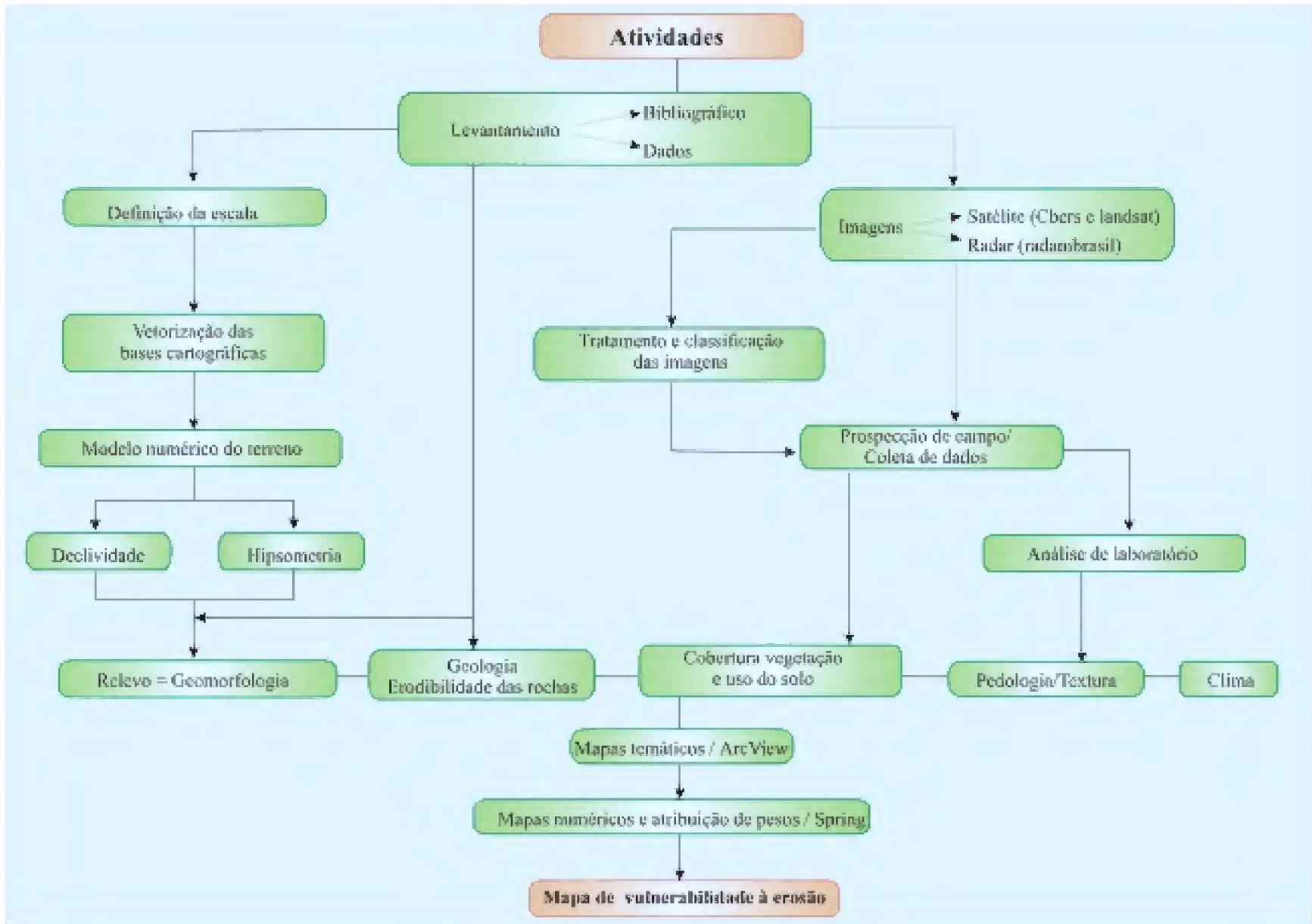


Figura 02 Fluxograma das atividades desenvolvidas

### 3.3 - LEVANTAMENTO DE SOLOS

Para a caracterização e delimitação das classes de solo do município de Abel Figueiredo, realizou-se inicialmente o levantamento bibliográfico a cerca de trabalhos desenvolvidos na região enfocada, principalmente o trabalho desenvolvido por Silva et al (2002). Posteriormente selecionou-se o material de interesse para o desenvolvimento do trabalho.

Em seguida, realizou-se a conversão dos mosaicos semicontrolados de radar, em formato analógico, para o formato digital. As imagens de radar foram inicialmente scaneadas e posteriormente georreferenciadas, com um erro de 0.805, utilizando o método imagem x vetor, tendo como referência a base cartográfica (cruzamento de rios, igarapés e estradas) extraída das cartas planialtimétricas da DSG. O software utilizado foi o ArcView.

As unidades de mapeamento foram delimitadas com base nas características dos elementos fotointerpretativos extraídos de produtos sensores remotos (imagem de satélite e de radar), levando-se em consideração o padrão de relevo, padrão de drenagem e textura fotográficas das imagens, que serviram de base para a seleção e detalhamento dos polígonos das áreas de amostragem na execução dos trabalhos de campo e, para formação do plano de informação pedológico, que plotado na carta base gerou um mapa preliminar que serviu para definir o planejamento do trabalho de campo, bem como, para a extrapolação dos resultados durante a confecção do mapa, incluindo o roteiro para prospecção, amostragens e preparação da legenda preliminar das unidades de mapeamento (EMBRAPA, 1995).

#### **3.3.1 - Prospecção e mapeamento dos solos**

A prospecção e cartografia dos solos constituíram a etapa do trabalho de campo, onde constou inicialmente de um reconhecimento geral da área e também foram feitas prospecções (verificações), através do caminhamento em estradas, ramais e caminhos, para classificação taxonômica preliminar do solo com base nas suas características morfológicas, dando-se ênfase a cor, textura, drenagem interna, pedregosidade, feições de relevo e por meio também de sondagens com trado holandês, abertura de trincheiras e observações em cortes e estradas, registrando-se as observações com Sistema de

Posicionamento Global (GPS). Durante o trabalho de campo foram coletadas amostras de solo para análise em laboratório, julgadas necessárias à classificação dos solos que compõem as unidades identificadas pela fotoleitura das imagens.

### **3.3.2 - Métodos de análise de solos**

A análise das amostras de solos consistiu nas determinações analíticas das amostras coletadas nos perfis e com trado holandês, realizadas no laboratório da Embrapa Amazônia Oriental, de acordo com as normas contidas no manual de métodos de análise dos solos (EMBRAPA, 1997).

### **3.3.3 - Análises físicas**

As análises físicas consistiram somente na determinação da composição granulométrica da terra fina seca ao ar (TFSA) em dispersão com NaOH, nas frações areia grossa, areia fina, silte, argila total e argila dispersa em água pelo método da pipeta.

### **3.3.4 - Análises químicas**

As análises químicas foram realizadas com as seguintes determinações: pH em água e em KCl N, por eletrodo de vidro em suspensão na proporção solo-líquido 1:2,5; cátions trocáveis, representados pelo cálcio e magnésio extraídos com KCl e determinados por absorção atômica; o potássio e sódio extraídos com HCl 0,05N na proporção 1:10 e determinados por fotométrica de chama; acidez extraível incluindo alumínio extraído com KCl N e titulado com NaOH 0,025N e indicador azul de bromotil e alumínio extraído com Ca(OAc)2N a pH 7,0 e titulado com NaOH 0,06N e indicador fenolftalina; o fósforo assimilável extraído com HCl 0,05N + H2SO4 0,025N e determinado por colorimetria; o carbono orgânico por oxidação via úmida com K2Cr2O7 0,4N e titulação pelo Fe(NH4)2, 6H2O 0,1N e indicador difenilamina.

Após as análises físico-químicas foi realizado a tabulação e interpretação dos dados para classificação dos solos. Realizou-se a reinterpretação das imagens para aferição dos limites das unidades de mapeamento e incorporação dos resultados das análises para elaboração do mapa final de solos.



### **3.3.5 - Classificação taxonômica dos solos**

A classificação dos solos foi feita conforme os critérios e características adotada pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999). Na identificação e classificação dos solos, foram empregados conceitos, critérios e procedimentos metodológicos adotados pela EMBRAPA e pela SBCS (EMBRAPA 1999, 1995 e 1988, LEMOS; SANTOS, 1996). Essas características permitem a separação de vários níveis de classes, além de evidenciar as qualidades e propriedades para avaliação da potencialidade do solo.

### **3.4 - COBERTURA VEGETAL E USO DA TERRA**

A classificação da cobertura vegetal e das diferentes formas de uso das terras do município de Abel Figueiredo, teve como base o sistema de classificação existentes nos manuais técnicos da vegetação brasileira (IBGE, 1992), de uso da terra (IBGE, 1999) e do relatório da operação de campo na folha SB.22-Araguaia (LOUREIRO, 2001).

O mapeamento foi realizado obedecendo critérios especializados de processamento digital e técnicas de fotointerpretação analógica de alvos extraídos de produtos de sensores remotos, precedida de uma chave de fotointerpretação ajustados às informações de campo, adquiridas através de pontos de observações coletados com GPS (Sistema de Posicionamento Global).

Para a validação dos elementos e/ou parâmetros extraídos da imagem para o estabelecimento dos diferentes padrões fisionômicos em função das respostas espectrais dos diferentes alvos, através da tonalidade, textura fotográfica, forma geométrica e outras características oferecidas pelas imagens utilizadas para a identificação e delineamento das distintas classes de cobertura vegetal e uso da terra.

Inicialmente realizou-se a conversão das cartas planialométricas, em formato analógico, para o formato digital, através da ecannerização e em seguida o georreferenciamento das mesmas utilizando a extensão image analysis do software ArcView. Após o georreferenciamento efetuou-se a extração, através da vetorização dos elementos cartográficos necessários como drenagem, estradas, localidades e limite do município, para a elaboração da base cartográfica da área de estudo, onde serão acomodadas as demais informações temáticas elaboradas no presente trabalho.

Os procedimentos adotados para a confecção do mapa de cobertura vegetal e uso da terra, foram:

#### **3.4.1 - Registro de imagens**

A correção geométrica da imagem CBERS2, foi realizada no software Erdas Imagine, usando o processo imagem com vetor, onde foram identificados pontos de controle nas imagens, correspondentes aos mesmos pontos na base cartográfica, como cruzamento de estradas, confluência de rios e igarapés. Os dados de entrada (imagem e vetor) estavam em projeção UTM, unidade metro. Utilizou-se 30 pontos de controle, onde o erro desses pontos foi de 0.805, indicando aproximadamente 16 metros de erro no terreno, equivalente a um deslocamento de menos de 1 pixel, para a escala de 1:100.000. Para o registro das demais imagens (satélite e radar), foram utilizados os mesmos pontos de controle onde o erro permaneceu abaixo dos 30 metros, valor esse aceitável para a escala de trabalho.

#### **3.4.2 - Realce de imagem**

Para a interpretação visual das imagens fez-se necessário à aplicação da técnica de realce das mesmas, através do aumento linear de contraste, que permitiu manipular o histograma, com o objetivo de realçar as diferentes feições de interesse, facilitando assim a separação de áreas homogêneas e representativas de cada classe identificada nas imagens.

#### **3.4.3 - Classificação da imagem**

Foi realizada a classificação supervisionada da imagem multiespectral do satélite CBERS2, composição colorida (bandas 2R, 4G e 3B), onde se utilizou o algoritmo de classificação da distância mínima, mediante a definição de amostras de treinamentos representativas das diversas classes presentes na imagem.

Optou-se pela classificação da imagem Cbers2, em virtude da mesma ser mais atual, sendo sua passagem datada de 13/06/2004, enquanto que a imagem do satélite Landsat é de 05/07/2002. Todavia, a imagem Landsat foi utilizada como apoio na interpretação visual de algumas feições extraídas da imagem CBERS, através da

comparação entre ambas, pois se trata de satélites e sensores diferenciados, onde as respostas dos alvos podem possuir algumas características distintas, podendo assim facilitar a identificação de determinadas feições e resultar numa melhor definição das classes.

O método de classificação da distancia mínima, leva em consideração a menor distância entre os dados, calculando-se a media de cada classe, em cada banda espectral. Este método atribui cada pixel desconhecido à classe cuja média seja mais próxima a ele. O software utilizado foi o Erdas Imagine.

A classificação automática gerou um arquivo raster que em seguida foi convertido para vetor, utilizando o software ArcView, onde foi possível executar uma edição para corrigir algumas distorções e/ou limitações da classificação automática, pois no arquivo vetor foi possível realizar a edição das classes encontradas.

Vale ressaltar que os dados adquiridos da classificação automática da imagem, aliado a pesquisas bibliográficas, foram complementados com a execução do trabalho de campo, com a finalidade de comparar e validar os resultados de natureza sintética.

#### **3.4.4 - Confiabilidade da classificação**

A utilização de técnicas e produtos de sensoriamento remoto na caracterização da paisagem, mais especificamente, do uso da terra e cobertura vegetal, é bastante relevante, uma vez que busca representar o estado atual da paisagem. Para tanto, faz-se necessário o estabelecimento de critérios bem definidos para determinar a exatidão da classificação face à verdade terrestre, pois a dinâmica do uso da terra é bastante acentuada, resultando assim no aumento da confusão de classes e, podendo propiciar a ocorrência de eventuais erros.

Para Sales (2005) é necessário que a quantificação dos erros de mapeamento seja realizada através de técnicas e unidades de amostragem adequadas aos fins do estudo, à comparação dos dados amostrados com os dados de um mapa temático ou com os dados do levantamento de campo e, por último a utilização de métodos estatísticos para a determinação da exatidão do mapeamento.

O mapa temático resultante da classificação deverá ser comparado com a verdade de campo, sendo o resultado desta comparação demonstrado através de uma matriz de confusão e do índice Kappa (FONSECA et al, 2001).

A avaliação da acurácia do mapeamento das classes de cobertura vegetal e uso da terra, será realizada a partir da construção de uma matriz de confusão, que serve para observar as variações entre a verdade de campo e a imagem classificada (CONGALTON; GREEN, 1999), e do índice Kappa, que se constitui em um coeficiente de concordância, que calcula o relacionamento entre a concordância, além da casualidade e a discordância esperada (ROSENFELD; FITZPATRICK-LINS, 1986).

### 3.5 - MODELAGEM DO RELEVO

Para caracterização do relevo da área de estudo, foi utilizado o mapa de geomorfologia (SIPAM/IBGE) na escala de 1:250.000 e gerados modelos numéricos do terreno (MNT), utilizando a extensão 3D analyst do software ArcView, como o mapa topográfico (hipsometria), mapa de declividade e modelos tridimensionais. Ambos apresentam-se como ferramentas importantes numa caracterização mais precisa e objetiva do relevo, porque utiliza o fator quantitativo à interpretação da forma do relevo.

A aquisição dos dados de altimetria foram extraídos das cartas planialtimétricas da Diretoria de Serviço Geográfico do Ministério do Exército (DSG ME), na escala 1:100.000, e do Modelo Digital de Elevação da Terra (SRTM Shuttle Radar Topographic Mission) desenvolvido pela NASA.

Inicialmente realizou-se a extração das curvas de nível das cartas planialtimétricas do DSG, georreferenciadas, com uma equidistância de 50 metros, utilizando o software ArcView, e, em seguida identificou-se às cotas altimétricas das curvas de nível.

Com o objetivo de aumentar o detalhamento dos dados altimétricos, utilizou-se informações geradas pela NASA, através do Modelo Digital de Elevação da Terra (SRTM - Shuttle Radar Topographic Mission) com uma resolução espacial de 30 metros.

Através do software Global Mapper, versão 6.0, foram geradas curvas de nível e/ou contornos com espaçamento de 10 metros, extraídos do modelo digital de elevação (arquivo raster) e recortado os dados de acordo com o limite da área de estudo. Após a geração das curvas no Global Mapper, as mesmas foram exportadas para o ambiente ArcView, no formato vetor (linha) e na extensão shapefile.

No ambiente ArcView, foi realizada uma comparação entre as curvas de nível extraídas do SRTM com as curvas das cartas planialtimétricas e os produtos sensores (imagem de satélite e radar), com o objetivo de corrigir algumas limitações técnicas do modelo digital de elevação do SRTM e analisar a precisão e exatidão do mesmo.

Após a correção das curvas de nível do SRTM, realizou-se a conversão dos dados para coordenadas UTM (planas). Em seguida foi gerado um modelo digital do terreno (digital terrain model - DTM), através da extensão 3D analyst do ArcView, que permitiu transformar o tema de linhas (altimetria - curvas de nível) para dados em estrutura TIN (grade irregular de triângulos), originando o mapa topográfico.

A declividade é a inclinação da superfície do terreno em relação ao plano horizontal. O mapa de declividade foi gerado a partir da grade triangular (TIN), que resultou em uma imagem (modelo digital do terreno) que corresponde a intervalos de valores cotados. Efetuou-se a interpolação do arquivo imagem das curvas de nível em 3D, permitindo gerar o mapa de declividade, o qual sofreu uma reclassificação para atender as faixas de declividade de interesse do trabalho. Foram estabelecidas cotas, valores de declividade em porcentagem segundo a legislação ambiental.

Para a elaboração do modelo digital do terreno (3D), foi utilizado o software SURFER, versão 8.0 (Golden Software), desenvolvido para ambiente Windows. Para a confecção do modelo tridimensional, foi necessário inicialmente, a conversão do arquivo (curvas de nível) no formato shapefile para um arquivo de dados no formato \*.BLN, contendo informações dos valores de x,y e z (longitude, latitude e altitude), através do software Global Mapper. A seguir realizou-se a interpolação dos dados altimétricos, irregularmente espaçados, para uma malha de dados regularmente espaçada (Grid), no software Surfer através do método da mínima curvatura, dando origem ao modelo digital do terreno (MDT) em 3D, sendo esse produto de fundamental importância na caracterização do relevo.

### 3.6 - VULNERABILIDADE À EROSÃO

A determinação do Grau de Vulnerabilidade à Erosão, baseou-se na identificação de áreas com riscos de erodibilidade, procurando-se delimitar zonas e/ou unidades geoambientais, partindo da inter-relação do meio físico, bem como, considerando a relação entre os processos de morfogênese e pedogênese e na intervenção antrópica, através do uso e ocupação do solo.

Para a identificação do grau de vulnerabilidade à erosão das unidades geoambientais, adotou-se a metodologia desenvolvida por Crepani et al.(1996). Tal metodologia foi desenvolvida a partir do conceito de Ecodinâmica (TRICART, 1977) que estabelece diferentes categorias morfodinâmicas, baseada nos processos de morfogênese e pedogênese, e, adaptado as condições locais e ao objetivo deste trabalho.

Nesta análise, quando ocorre o predomínio da pedogênese, o desenvolvimento do solo é dominante e os terrenos poderão ser considerados estáveis. Todavia, caso haja o predomínio da morfogênese, ocorrerá um domínio dos processos erosivos que irão modificar as formas do relevo e, como consequência, os processos erosivos nessas áreas serão maiores.

A análise da vulnerabilidade e/ou estabilidade das unidades geoambientais, foi definida através da integração das temáticas de geologia, geomorfologia, solo, clima, cobertura vegetal e uso da terra, levando em consideração o comportamento físico dos elementos da paisagem em face da erosão, bem como a utilização do sensoriamento remoto como base metodológica, através da técnica de interpretação visual de imagens de satélite e radar, que propicia a identificação dos padrões da paisagem.

A vulnerabilidade à erosão, segundo Crepani et al. (1996) e Crepani et al. (1994), é expressa pela atribuição de pesos ou valores de estabilidade/vulnerabilidade a cada tema (geologia, geomorfologia, solo, clima, cobertura vegetal e uso da terra) individualmente dentro de cada unidade, que estabelece classes de vulnerabilidade distribuídas entre as situações onde há o predomínio dos processos de pedogênese (as quais se atribuem valores próximos de 1,0), passando por situações intermediárias (as quais se atribuem valores ao redor de 2.0) e situações de predomínio dos processos de morfogênese (as quais se atribuem valores próximos de 3.0). (Tabela 02).

Tabela 02 - Avaliação da Vulnerabilidade/Estabilidade das Categorias Morfodinâmicas.

<b>Categoria Morfodinâmica</b>	<b>Relação Pedogênese/Morfogênese</b>	<b>Valor</b>
Estável	Prevalece a Pedogênese	1,0
Intermediária	Equilíbrio Pedogênese/Morfogênese	2,0
Instável	Prevalece a Morfogênese	3,0

Fonte: Crepani et al., (2001), modificada de Tricart (1977).

Posteriormente foi atribuído a cada unidade homogênea um valor final, resultante da média ponderada dos valores individuais segundo uma equação, que busca representar a posição desta unidade dentro da escala de vulnerabilidade à erosão (Figura 03).

$$V = \frac{(G + R + S + VU)}{4}$$

4

Onde: V = Vulnerabilidade  
G = vulnerabilidade para o tema Geologia  
R = vulnerabilidade para o tema Relevô  
S = vulnerabilidade para o tema Solo  
VU = vulnerabilidade para o tema Vegetação e Uso

Vale ressaltar que o clima não está incluído na equação, acima citada, em virtude de não influenciar matematicamente no resultado, ou seja, no cálculo final dos valores atribuídos às unidades de mapeamento das classes de vulnerabilidade a erosão, haja vista da ocorrência de um único tipo climático na área de estudo.

Os mapas temáticos de geologia, geomorfologia, solos, cobertura vegetal e uso da terra, foram confeccionados no ambiente ArcView, e posteriormente exportados para o Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas SPRING, versão 4.0, em formato (vetor) e extensão compatível (shapefile), onde realizou-se a integração dos dados.

Tal integração foi realizada através da Álgebra de Mapas, representada pela ferramenta Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico (LEGAL), disponível no software Spring.

O LEGAL é classificado como interface por linguagem de programação, onde o usuário utiliza um editor de texto para escrever programas, seguindo a gramática dessa linguagem, e submete-os ao interpretador da linguagem do SIG, o que possibilitou a conversão dos mapas temáticos em mapas numéricos, processo indispensável na geração do mapa de vulnerabilidade, através do método (operador) de ponderação.

UNIDADE DE PAISAGEM	MÉDIA			GRAU DE VULNERAB.	GRAU DE SATURAÇÃO			
					VERM.	VERDE	AZUL	CORES
U1	↑	3.0		VULNERÁVEL	255	0	0	
U2		2.9			255	51	0	
U3		2.8			255	102	0	
U4		2.7			255	153	0	
U5	V U L N E R A B I L I D A D E	2.6	E S T Á B I L I D A D E	MODERADAM. VULNERÁVEL	255	204	0	
U6		2.5			255	255	0	
U7		2.4			204	255	0	
U8		2.3			153	255	0	
U9		2.2		102	255	0		
U10		2.1		51	255	0		
U11		2.0		0	255	0		
U12		1.9		0	255	51		
U13		1.8		0	255	102		
U14		1.7		0	255	153		
U15		1.6		0	255	204		
U16		1.5		0	255	255		
U17	1.4	0	201	255				
U18	1.3	0	153	255				
U19	↓	1.2		ESTÁVEL	0	102	255	
U20		1.1			0	51	255	
U21		1.0			0	0	255	

Figura 03 - Escala de Vulnerabilidade das Unidades Territoriais Básicas.

Fonte: Crepani et al., (2001).

A partir do cruzamento entre os mapas temáticos, convertidos para mapas numéricos, realizou-se o cálculo da média ponderada dos 04 (quatro) temas que posteriormente foram associados à escala de grau de vulnerabilidade das classes temáticas, variando entre 1,0 e 3,0 (Anexos).

A construção do mapa de vulnerabilidade à erosão se dará a partir da elaboração do mapa de unidades de paisagem, pela avaliação integrada do ambiente. Para cada componente das unidades de paisagem (unidade geoambiental) serão estabelecidos valores de estabilidade/vulnerabilidade à erosão, a partir de suas características genéticas e sua integração com o meio ambiente, afim de que se possa classificar a capacidade de sustentação ao uso dos recursos naturais.



## 4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 - COBERTURA VEGETAL E USO DA TERRA

A floresta representa um dos mais valiosos recursos da natureza, em virtude do potencial madeireiro e principalmente pela função fundamental que ocupa no equilíbrio do meio ambiente. Por apresentar um grande potencial madeireiro, e a criação de extensas áreas de pastagem, ao longo das últimas décadas, a vegetação primária nas últimas décadas sofreu intensa redução chegando praticamente a sua extinção, na área de estudo. A retirada desse recurso pode resultar em danos irreversíveis ao meio ambiente, como por exemplo à perda do solo pelo aumento dos processos erosivos, principalmente em áreas com elevado grau de exploração como é o caso da área de estudo.

A metodologia utilizada, através da classificação supervisionada da imagem de satélite (Figura 04) e posterior validação da mesma em campo, permitiu delimitar duas formações florestais, duas classes de padrões diferenciados de sistema secundário e a determinação de duas associações (Tabela 03).

Foram mapeadas as seguintes classes: Floresta equatorial subperenifólia e Floresta de formação aluvial (formação florestal); Pastagem e Vegetação Secundária (áreas antrópicas), sendo esta dividida em três estágios: capoeira alta, capoeira média e capoeira baixa; Pastagem + Vegetação Secundária e Vegetação Secundária + Pastagem (associações) (Figura 05). Ressalta-se que a ordem das classes das associações indica o domínio da primeira em relação à segunda classe.

A Floresta equatorial subperenifólia caracteriza-se pela formação em áreas dissecadas com relevo testemunho desse aplainamento. O relevo testemunho, em geral de baixa altura, assume as formas de cadeias de montanhas, ou de outeiros e colinas, aspecto mais dissecado. Nas florestas das áreas submontanas suas árvores raramente ultrapassam os 30 metros de altura (Figura 06), formando uma cobertura vegetal mais ou menos uniforme, vez por outra interrompida pelas emergentes de maior altura. As espécies predominantes são: castanha-do-pará, cedro, breu-vermelho, marupá, louro-preto, juquirá (invasora). É muito comum, também, encontrar vegetação secundária com palmeiras (babaçu e injá).

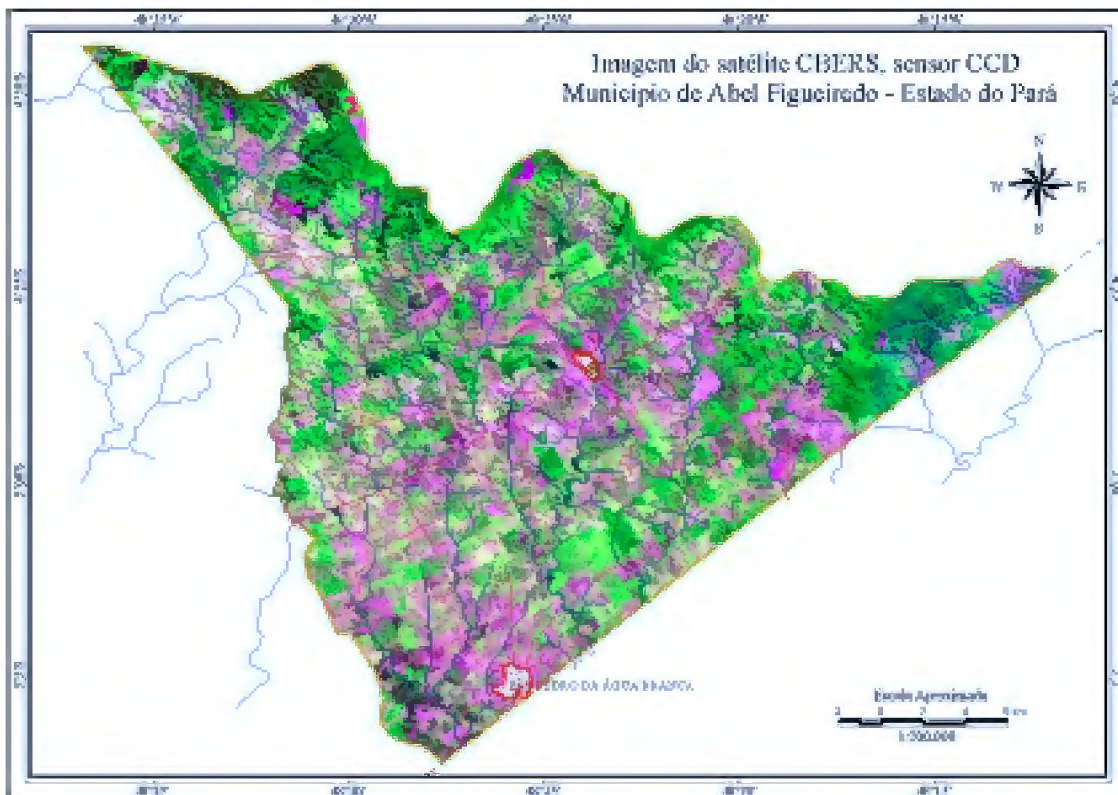


Figura 04 Imagem do satélite CBERS 2, órbita-ponto 160\_106 de 13/06/2004, do município de Abel Figueiredo.

Fonte: INPE.

A região da floresta equatorial subperenifólia encontra-se totalmente devastada, sob forte exploração florestal, inclusive nas áreas com testemunhos remanescentes (Figura 04). Ocorre na área de estudo a predominância total da pecuária com encraves de remanescentes da floresta, sendo observado grandes extensões de floresta somente ao longo da BR-222 na área indígena Mãe-Maria. A área total aproximada desta classe é de 11.105,00 ha, o que corresponde a 17,80% da área de estudo (Tabela 03).

A Floresta aluvial caracteriza-se pela formação ribeirinha ou mata ciliar que ocorre ao longo dos cursos de água. Esta formação apresenta com freqüência um dossel emergente, porém, devido à exploração madeireira, a sua fisionomia torna-se bastante aberta. Segundo Loureiro (2001), a formação aluvial ocorre em áreas periodicamente inundáveis, podendo ser encontrada praticamente em todas as planícies e terraços do Rio Amazonas e afluentes, sendo que na área de estudo tal formação muitas vezes se confundem florística e estruturalmente com as das áreas próximas por se tratar de várzea de rios bem encaixados.

A expansão acentuada da exploração madeireira na área de estudo, vem resultando na retirada da mata ciliar ao longo dos rios e igarapés, contribuindo

diretamente para o desequilíbrio do ecossistema através da substituição da floresta aluvial por pastagem, proporcionando condições favoráveis ao desenvolvimento de processos erosivos. A área total aproximada desta classe é de 6.537,80 ha, o que corresponde a 10,80% da área de estudo (Tabela 03).

As áreas de pastagem e vegetação secundária, referem-se às formações vegetais resultante de ações antrópicas que se estabeleceram ao longo das últimas décadas, como resultado do intenso desmatamento acompanhado da formação de extensas áreas de pastagem, que atualmente faz-se predominante no município de Abel Figueiredo. O delineamento das classes foram obtidos em função das características de distintas feições presentes na imagem, como tonalidade, textura fotográfica, forma geométrica, etc. e comprovação de campo.

A Pastagem (Figura 07), dominante na região, que se refere à criação do gado, representa um percentual bastante elevado em relação à área total do município, ocupando quase a metade da superfície territorial (Figura 05), sendo a sua identificação relacionada principalmente com a forma regular e tonalidade apresentada na imagem de satélite. A área total desta classe é de aproximadamente 24.449,00 ha, equivalente a 39,18% da área total do município, sem contabilizar as demais áreas de pastagem que foram agrupadas em duas associações por motivos que serão especificados a seguir (Tabela 03).

A vegetação secundária constitui-se na regeneração da vegetação, de áreas exploradas e abandonadas (Figura 08). Salienta-se que dentro deste sistema secundário, foi possível a identificação dos seus diferentes estágios de desenvolvimento em capoeira alta, média e baixa, em função dos diferentes níveis de tonalidade identificados na imagem de satélite, e principalmente, a comprovação desses elementos em campo. A área total das classes (estágios) da vegetação secundária é de aproximadamente 9.104,60 ha, o que corresponde a 14,58% da área total de estudo (Tabela 03).

As associações criadas, Pastagem + Vegetação Secundária e Vegetação Secundária + Pastagem, se deram em virtude de algumas limitações técnicas dos produtos sensores utilizados como escala, complexidade de individualização, resolução da imagem de satélite ou ainda pela pouca expressão na área, fazendo-se necessário o agrupamento de algumas classes, geralmente de pequenas dimensões, em uma única classe (associação). A área total dessas associações é de aproximadamente 11.203,00 ha, equivalente a 17,95% da área total do município (Tabela 03).

Tabela 03 - Legenda e quantificação das classes de cobertura vegetal e uso da terra.

Símbolo	Classes de Cobertura Vegetal e uso / Unidades de Mapeamento	Quantificação	
		Área (ha)	%
Ds	Floresta equatorial subperenifólia / sob exploração florestal	11.105,00	17,80
Va	Vegetação com influência fluvial (aluvial)	6.537,80	10,48
Ca	Capoeira alta	2.022,99	3,24
Cm	Capoeira média	5.176,00	8,29
Cb	Capoeira baixa	1.905,61	3,05
Ap	Pastagem	24.449,00	39,18
Ap+Vs	Associações Pastagem + Vegetação secundária	5.710,45	9,15
Vs+Ap	Vegetação secundária + Pastagem	5.492,55	8,80
<b>Total</b>		<b>62.399,40</b>	<b>100,00</b>

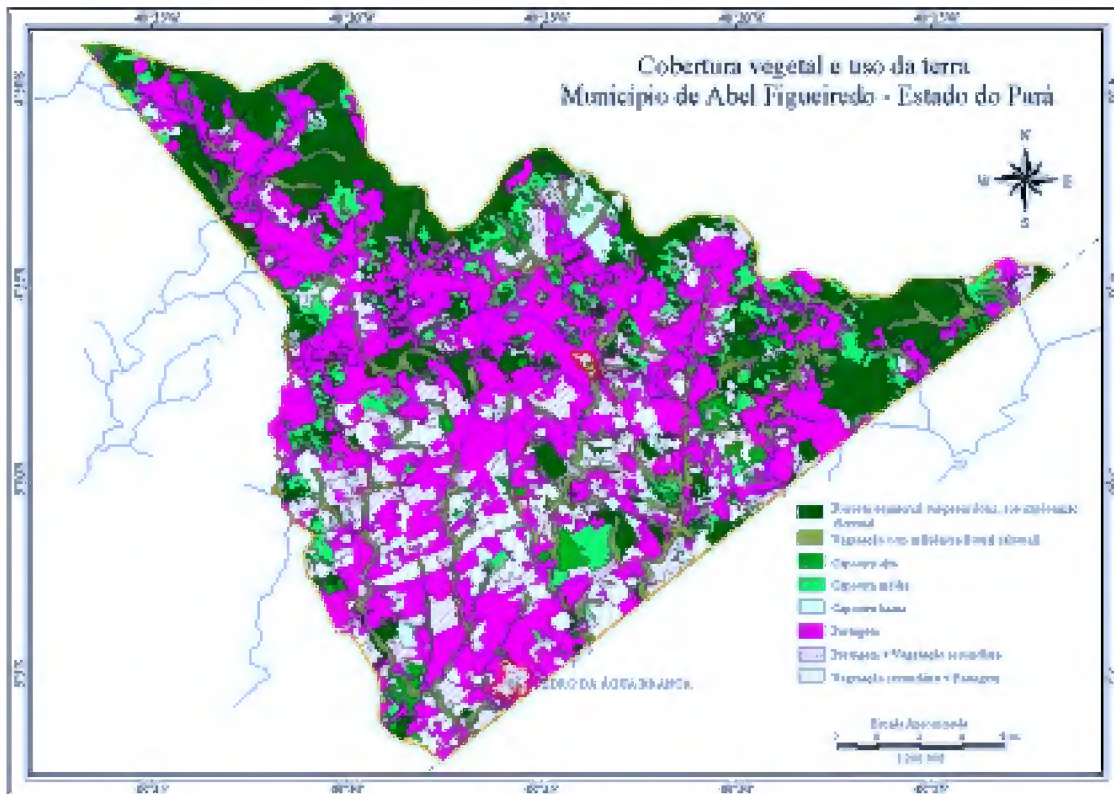


Figura 05 - Classes da cobertura vegetal e uso da terra do município de Abel Figueiredo.



Figura 06 - Unidade de classe da Floresta equatorial subperenifólia sob exploração, localizada em relevo plano (coordenada geográfica: 04°52' 14.7 S / 48°25' 34.3 W)



Figura 07 - Unidade de classe da Pastagem (coordenada geográfica: 05°00' 23.0 S / 48°29' 02.6 W)



Figura 08 - Unidade de classe da vegetação secundária capoeira alta (coordenada geográfica: 04°55'23.7 S / 48°25'06.2 W)

#### **4.1.1 - Avaliação da classificação**

Nesta fase, realizou-se a validação dos dados resultantes da classificação dedutiva com a verdade de campo, ou seja, comparou-se as classes do mapa temático preliminar com as classes verificadas em campo. Inicialmente obteve-se 125 pontos amostrais, dentro do limite da área de estudo, utilizando-se como método a amostragem aleatória. A distribuição espacial destes pontos podem ser observados na Figura 09.

O processo de validação contou com o apoio de GPS (Sistema de Posicionamento Global) na coleta de pontos em campo que, posteriormente foram plotados sobre a imagem e comparados com as classes do mapa temático preliminar.

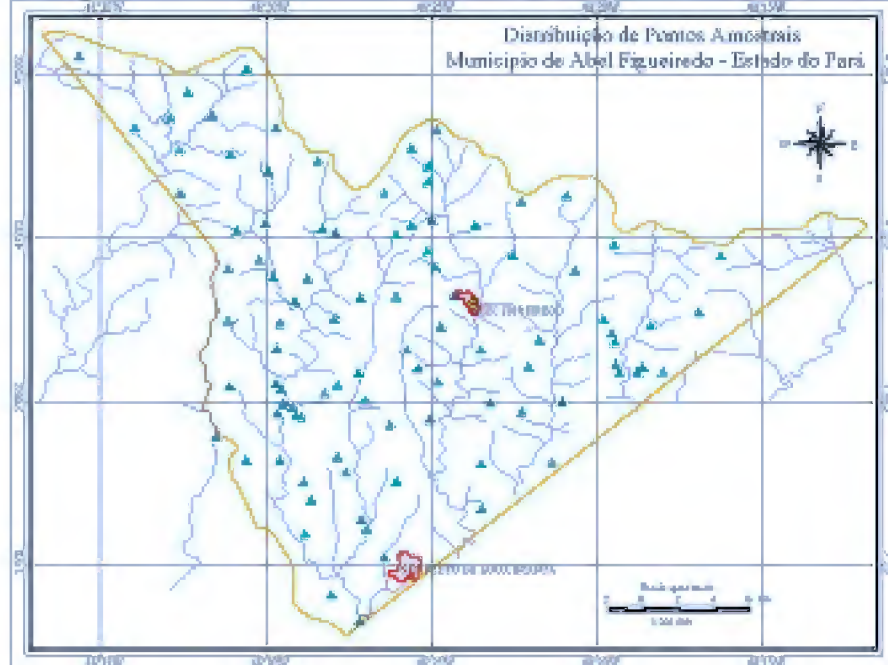


Figura 09 Mapa da distribuição espacial dos pontos amostrais no Município de Abel Figueiredo.

A partir do resultado da aquisição em campo dos pontos amostrais, realizou-se a comparação das classes constatadas em campo com as classes do mapa temático preliminar, através de uma matriz de confusão (CONGALTON e GREEN, 1999). Para a avaliação dos dados desta matriz de confusão, utilizou-se a técnica da análise multivariada denominada de estatística Kappa, objetivando avaliar a concordância e a discordância entre a verdade terrestre e as classes preliminares. A Tabela 04 apresenta os resultados da verdade terrestre com a classificação preliminar.

Tabela 04 Matriz de confusão obtida após a comparação entre a verdade terrestre e a classificação preliminar.

CLASSES		VERDADE TERRESTRE								TOTAL	% INCLUSÃO	
		Va	Ag	Ap	Ca	Cb	Cm	Ds	Ap+Vs			Vs+Ap
M A P A T E M Á T I C O	Va	2									2	0
	Ag		0			2	3				5	1
	Ap			40							40	0
	Ca				7		1	2			10	0,3
	Cb			3		19					22	0
	Cm					2	12				14	0
	Ds							16			16	0
	Ap+Vs								9		9	0
	Vs+Ap									7	7	1
	TOTAL		2	0	43	7	23	16	18	9	7	125
% OMISSÃO		1	0	0,07	0	0,08	0	0	0	1		

Va Vegetação aluvial; Ag Agricultura; Ap Pastagem; Ca Capoeira alta; Cb Capoeira baixa; Cm Capoeira média; Ds Floresta; Ap+Vs Pastagem + Vegetação secundária; Vs+Ap Vegetação secundária + Pastagem

**Estimador Kappa**

**68,75%**

O índice Kappa, que é um estimador de concordância da classificação com os dados de referência, foi calculado através da seguinte fórmula:

$$\hat{K} = \frac{N \sum_{i=1}^m n_{ii} - \sum_{i=1}^m (N_{i+} * n_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^m (N_{i+} * n_{+i})}$$

- Onde:
- m representa a dimensão da matriz quadrada.
  - $n_{ii}$  representa o número de observações na linha i, coluna i (diagonal da matriz).
  - $n_{i+}$  e  $n_{+i}$  São os totais marginais da linha i e da coluna i, respectivamente.
  - N refere-se ao número total de observações.

O valor obtido para a estatística Kappa (K) foi de 68,75%. Segundo Landis e Koch (1977) a qualidade da classificação associada a esse valor é Muito Boa (0,68), podendo ser observada na Tabela 05. O índice Kappa apresenta intervalos associados a critérios de concordância, porém sua utilização para dados de sensoriamento remoto está restrita à divisão arbitrária dos valores do coeficiente Kappa e pelo fato dela ter sido desenvolvida para a análise de diagnósticos clínicos (SALES, 2005). Todavia, esta técnica vem sendo constantemente adotada na avaliação do estado atual da paisagem, especificamente na caracterização da cobertura vegetal e uso da terra.

Tabela 05 Qualidade da classificação associada aos valores da estatística Kappa.

Valor de K	Qualidade da classificação
< 0,00	Péssima
0,00 0,20	Ruim
0,20 0,40	Razoável
0,40 0,60	Boa
0,60 0,80	Muito boa
0,80 1,00	Excelente

Adaptada de Landis e Koch (1977).

#### 4.2 - CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS

É indiscutível que o solo exerce um papel importantíssimo na formação da paisagem e equilíbrio do ecossistema, sem falar na importância para a sobrevivência do homem.



Foram mapeadas 04 (quatro) classes de solos principais do município de Abel Figueiredo, a partir da interpretação visual da imagem de Radar (Figura 10), que são: Latossolo Amarelo Distrófico; Argissolo Amarelo; Argissolo Vermelho-Amarelo e Gleissolo Háplico, Silva et al. (2002), os quais serão descritas as suas características a seguir:

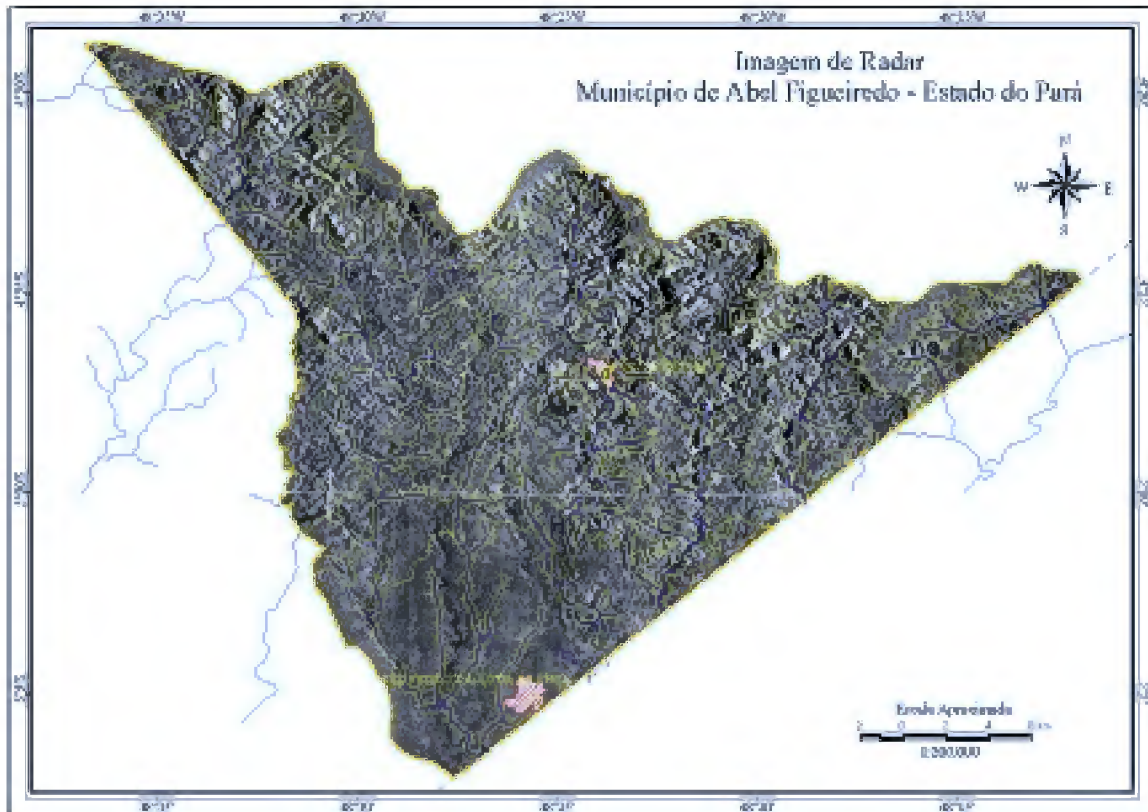


Figura 10 - Imagem de Radar (RADAMBRASIL) e limites das unidades de mapeamento das classes de solo.

Fonte: SECTAM.

#### 4.2.1 - Morfologia

##### a) *Latossolo Amarelo*

Os Latossolos Amarelos mapeados na área de estudo, compreendem solos minerais, profundos, dissaturados, bem drenados, com horizonte B latossólico (EMBRAPA, 1999) de coloração amarelada nos matizes 7,5 YR e 10 YR, sob um

horizonte freqüentemente A moderado de textura variando de franco-arenosa a muito argilosa. A fração argila destes solos na região é de natureza essencialmente caulínica.

São solos que apresentam coloração Bruno escuro a Bruno amarelado no horizonte A e Bruno amarelado no horizonte B, com estrutura variando de fraca pequena e média granular no horizonte A e bloco subangular no horizonte B, nos solos de textura média é moderada a forte, pequena e média granular no horizonte A e forte muito pequena, bloco subangular e angular no horizonte B, dos solos muito argilosos. A consistência varia de duro a muito duro quando seco, friável a muito friável quando úmido e ligeiramente plástico a plástico e ligeiramente pegajoso a pegajoso quando molhado.

#### *b) Argissolos*

Os Argissolos Amarelos compreendem solos formados por material com argila de atividade baixa, apresentando horizonte B textural subjacentes a um horizonte A ou E. A profundidade é variável, podendo ser fortemente a bem drenados, de cores bruno forte vermelho amareladas. A classe de textura varia de arenosas a argilosa no horizonte Bt, ocorrendo sempre um aumento de argila do horizonte A para o B. São fortemente a moderadamente ácidos, de saturação de bases alta e baixa, predominantemente caulínicos (EMBRAPA, 1999).

O Argissolo Amarelo do município de Abel Figueiredo, são caracterizadas pela textura arenosa/argilosa, média/argilosa e arenosa/média e cores bruno amarelado escuro; amarelo brunado e vermelho amarelo. A estrutura varia de fraca a moderada em bloco subangular e consistência muito friável a firme. São bem drenados e muito profundos, podendo ter presença de concreções lateríticas formando camadas ou encontram-se dispersas.

#### *c) Argissolo Vermelho-Amarelo*

No município de Abel Figueiredo estes solos apresentam-se medianamente profundos a profundos, bem a moderadamente drenados, formados por material com argila com atividade baixa, apresentando horizonte B textural subjacentes a um horizonte A ou E. Apresentam cores bruno amareladas nos matizes 7,5YR no A e cores vermelho amareladas no matiz 5 YR no horizonte B, características estas

pertinentes desta classe. A classe de textura varia de arenosa a argilosa no Bt, ocorrendo sempre um aumento de argila do horizonte A para o B. São fortemente ácidos a moderadamente alcalino.

Esses solos apresentam textura binária como, arenosa/média, média/argilosa e abrupta (arenosa/argilosa). A estrutura varia de fraca a moderada em blocos angulares e subangulares e consistência friável a firme. Nestes solos ocorrem presença de concreções lateríticas formando camadas assim como dispersas ao longo do perfil.

#### *d) Gleissolos*

Os Gleissolos compreendem solos hidromórficos, constituídos por material mineral, com horizonte glei dentro dos primeiros 50 cm da superfície do solo ou dentro de 50 e 125 cm de profundidade, desde que imediatamente abaixo de horizontes A ou E, ou precedidos de horizonte B incipiente, B textural ou C com presença de mosqueados abundantes com cores de redução. Estes solos são permanentes ou periodicamente saturados com água, salvo se artificialmente drenados. Caracterizam-se pela forte gleização, resultante da ação do regime de umidade redutor, que se processa em meio anaeróbico, devido ao encharcamento do solo por longo tempo ou durante todo o ano. Em condições naturais são mal a muito mal drenados. A seqüência de horizontes é do tipo A, C, G; A, Bg, Cg, tendo horizonte A cores acinzentadas até pretas e o horizonte glei (B ou C) possuindo cores acinzentadas e azuladas de cromas baixos (Embrapa, 1999).

Desenvolvem-se de sedimentos recentes nas proximidades dos cursos d'água e em materiais colúvio-aluviais sujeitos a condições de hidromorfismo. Vale ressaltar, no entanto que as características dos Gleissolos estão intimamente relacionados com a composição química e mineralógica dos sedimentos que lhes dão origem. Por isso, podem apresentar-se eutróficos ou distróficos, com argila de atividade alta ou baixa, como também, com diferentes condições de hidromorfismo de acordo com a dinâmica do regime de inundação a que estão sujeitas as áreas de ocorrência desses solos.

Estes solos na área revelaram coloração predominando a coloração preta e a acinzentada no horizonte A e acinzentadas com mosqueados amarelados e vermelho amarelado e bruno amarelados nos horizontes Bg ou Cg. A textura varia de média a argilosa. A estrutura é fraca pequena e média bloco granular no horizonte A, é massiva

quando úmido e fraca a moderada pequena e média bloco subangular quando o solo está seco no horizonte Bg. A consistência é usualmente plástica e pegajosa quando molhado.

#### 4.2.2 - Características granulométricas

##### a) Latossolo Amarelo

A classe de textura do Latossolo Amarelo, no horizonte B, varia de argilosa a muito argilosa, com teores da fração argila nestes últimos, podendo alcançar até  $900 \text{ kg}^{-1}$  de solo (RODRIGUES et al, 1974; EMBRAPA, 1983), conforme ilustração (Figura 11). Os teores de silte nesses solos são normalmente inferiores a  $270 \text{ g.kg}^{-1}$  de solo, proporcionando uma relação silte/argila no horizonte B inferior a 0,6 dentro portanto do recomendado para a classe dos Latossolos (EMBRAPA, 1999), como mostra o gráfico (Figura 12). A ausência de cerosidade revestindo os elementos estruturais, deve-se a pequena mobilidade da fração argila em profundidade no perfil. A porosidade é alta com poros bem distribuídos no perfil, permitindo uma boa aeração e boa permeabilidade (EMBRAPA, 1983).

Os Latossolos Amarelos típicos muito argilosos, apresentam-se, normalmente coesos, duro quando seco, principalmente nos horizontes AB e BA ou mesmo no topo do Bw1 (Embrapa, 1999), características essas já observadas nesses solos em outras áreas (RODRIGUES et al, 1974; CAMARGO; RODRIGUES, 1979).

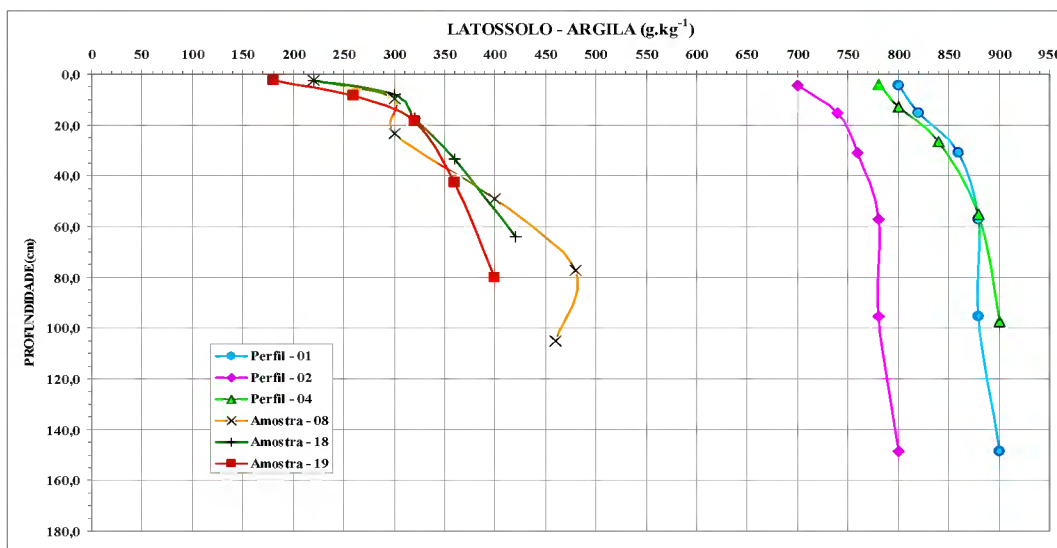


Figura 11 - Distribuição de argila, na classe Latossolo, em função da profundidade do solo.

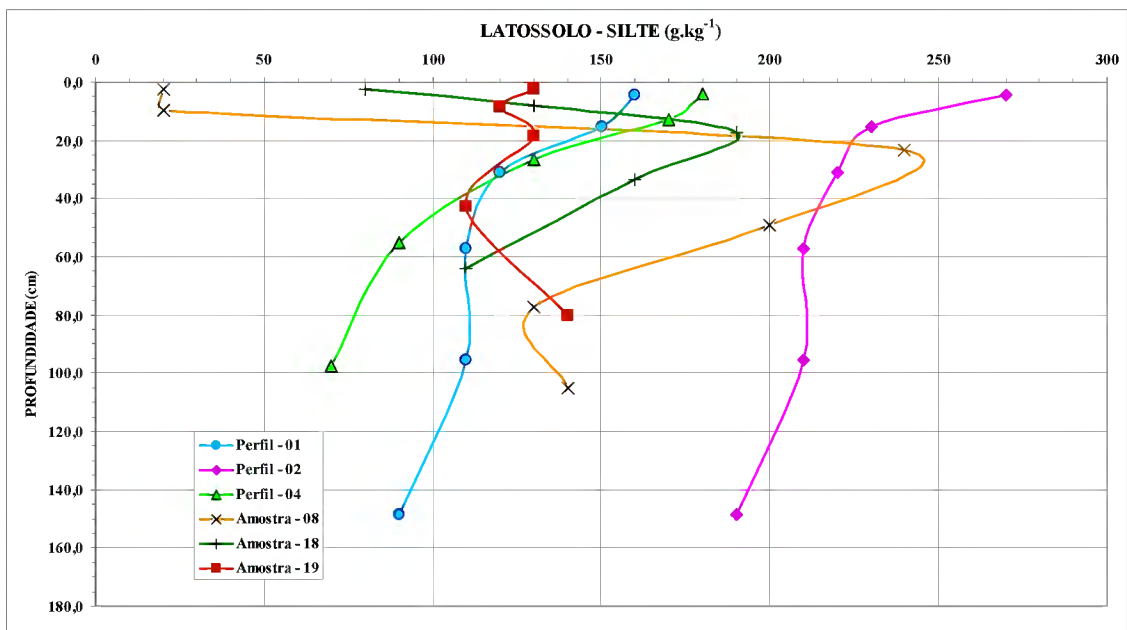


Figura 12 - Distribuição de silte, na classe Latossolo, em função da profundidade do solo.

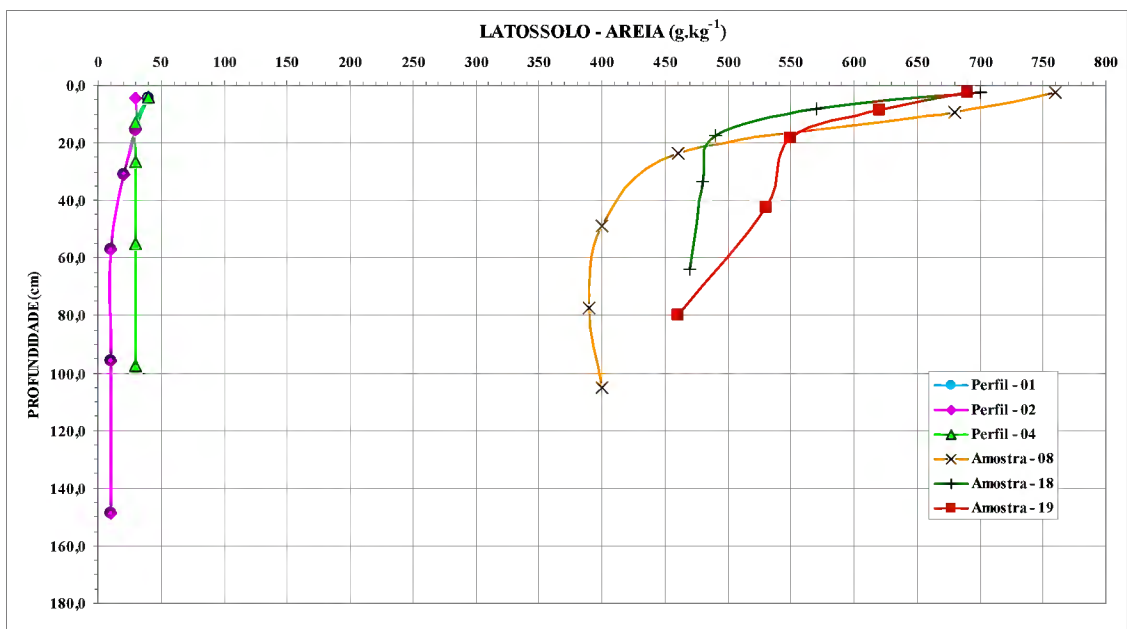


Figura 13 - Distribuição de areia, na classe Latossolo, em função da profundidade do solo.

### b) Argissolos

Nos Argissolos Amarelo a distribuição de partículas exibida pelos perfis segue a tendência do conteúdo da fração argila aumentar, enquanto que, a fração areia mostra a tendência de diminuir com a profundidade e o silte uma distribuição irregular. Pode

ser esperado, ocorrer uma diminuição de permeabilidade em profundidade, pelo aumento do conteúdo de argila em profundidade, principalmente nos perfis que apresentam textura média/argilosa e arenosa/ argilosa, ou seja, os solos de textura abrupta. O gradiente textural alto nestes solos (acima de 1,7), caracteriza a necessidade de cuidados especiais quanto ao uso, para evitar intensificação dos processos erosivos. Este fato sugere uma significativa dispersão da fração argila, e conseqüentemente pode indicar um processo de erosão quando estes solos forem submetidos ao uso agrícola.

A distribuição textural nos perfis do Argissolo Vermelho Amarelo, segue a tendência do conteúdo da fração argila aumentar em profundidade, enquanto que, a fração areia diminui no mesmo sentido, e o silte com uma distribuição irregular ao longo do perfil (Figuras 14,15 e 16). O gradiente textural nestes solos (acima de 1,7) caracteriza cuidados especiais quanto ao uso. Este fato sugere uma significativa dispersão da fração argila e conseqüentemente pode indicar um processo de erosão quando estes solos forem submetidos ao uso agrícola.

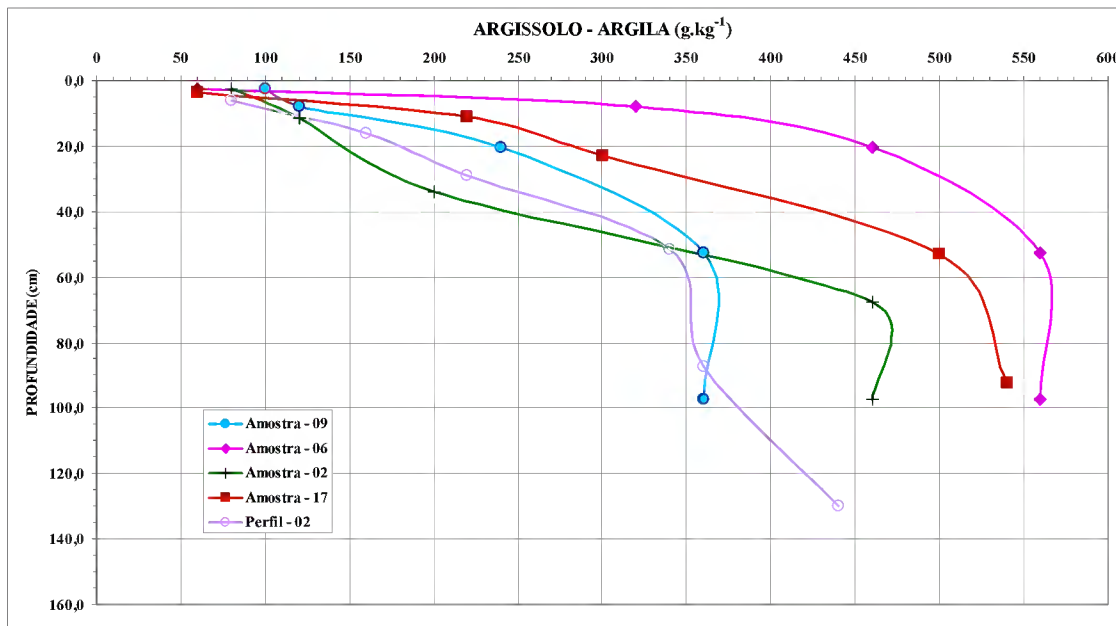


Figura 14 - Distribuição de argila, na classe Argissolo, em função da profundidade do solo.

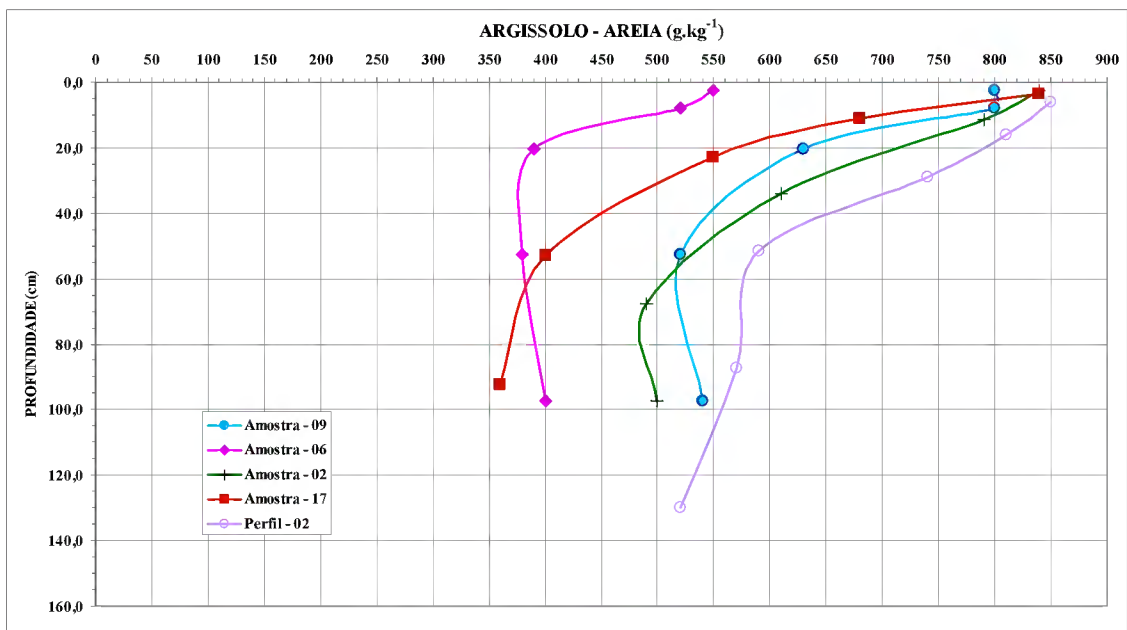


Figura 15 - Distribuição de areia, na classe Argissolo, em função da profundidade do solo.

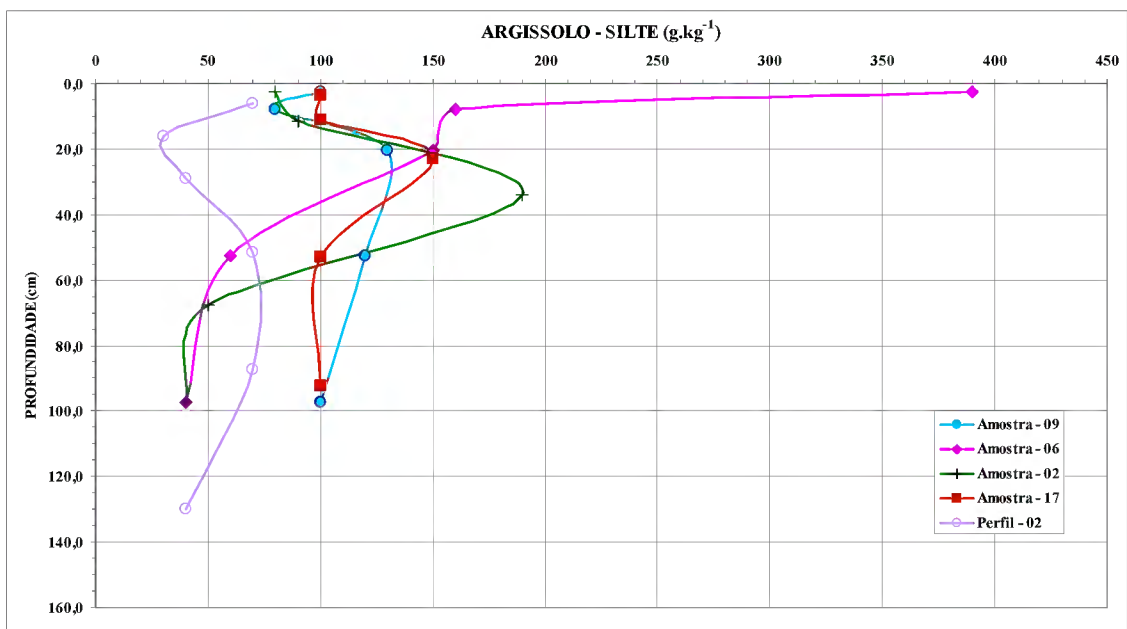


Figura 16 - Distribuição de areia, na classe Argissolo, em função da profundidade do solo.

Os Gleissolos, de acordo com os resultados analíticos exprime uma tendência da fração argila e silte diminuir e a fração areia aumentar em profundidade (Figuras 17,18,19).

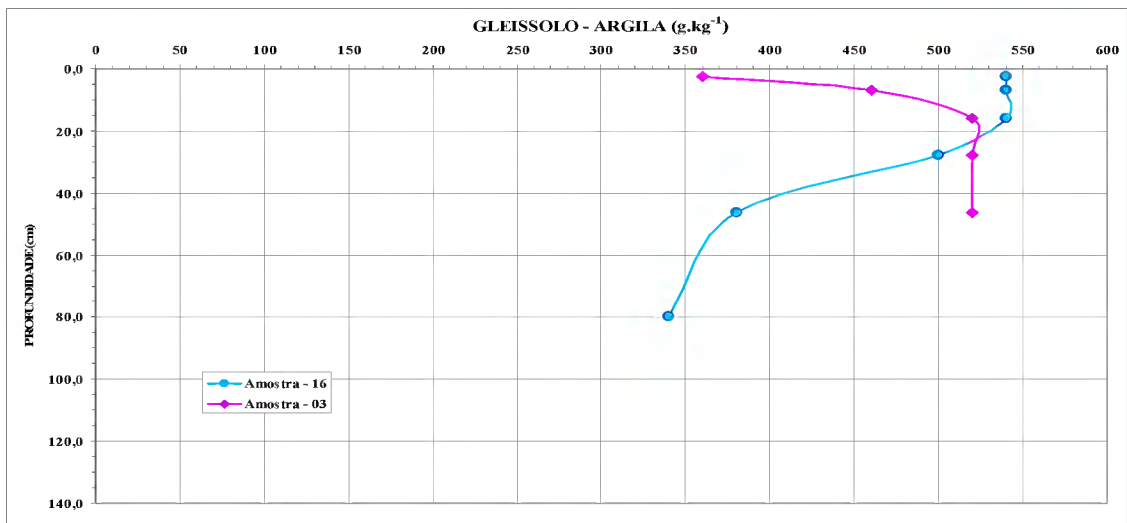


Figura 17 - Distribuição de argila, classe Gleissolo, em função da profundidade do solo.

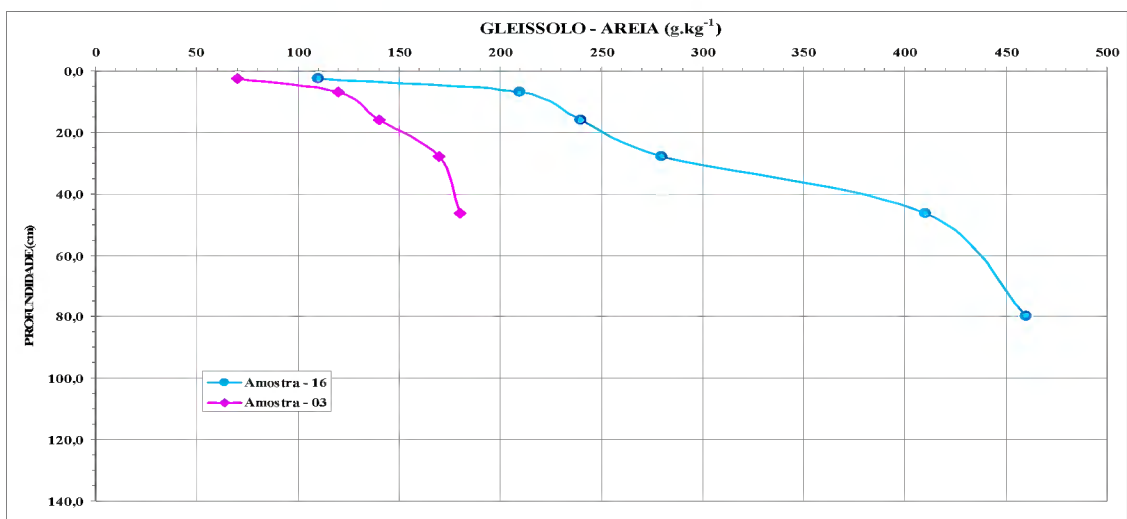


Figura 18 - Distribuição de areia, classe Gleissolo, em função da profundidade do solo.

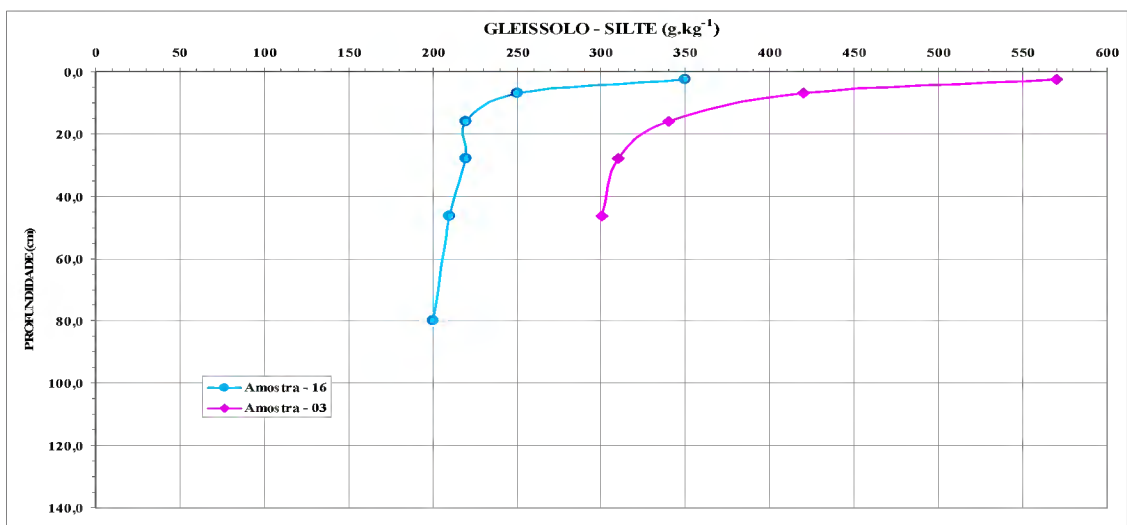


Figura 19 - Distribuição de silte, classe Gleissolo, em função da profundidade do solo.



### 4.2.3 - Características químicas

#### a) Latossolos

Os resultados analíticos do Latossolo Amarelo revelaram que esses solos apresentam uma reação excessivamente ácida a ligeiramente ácida, os quais necessitam da aplicação de calcário, para elevar os valores de pH dos horizontes superficiais, indispensáveis para a maioria das culturas. Os valores de  $\Delta\text{pH}$  são negativos, variando de -0,1 a -1,3 indicando a dominância de cargas superficiais líquidas negativas.

Os teores de soma das bases trocáveis (V%) nesses solos são muito baixos com valores variando de 0,4 a 6,6  $\text{cmol}_c\text{kg}$  de solo, sendo estes mais elevados nos horizontes superficiais em torno de 5,3 a 6,6  $\text{cmol}_c\text{kg}^{-1}$  de solo, principalmente nos solos de textura muito argilosa (Tabelas 06 e 07), com predominância de valores inferiores a 1,5  $\text{cmol}_c\text{kg}^{-1}$  de solo. Os teores de cálcio e magnésio contribuem com mais de 80% para a soma de bases nesses solos. A capacidade de troca de cátions (CTC) varia nesses solos de 3,0 a 18,2  $\text{cmol/kg}$  de solo, com teores decrescentes com profundidade, demonstrando a existência de uma relação estreita entre CTC e os teores da matéria orgânica (carbono orgânico), os quais, também, decrescem com a profundidade (Tabelas 06 e 07), fato este já observado nesses solos estudados em outras áreas (RODRIGUES et al 1974, EMBRAPA, 1983). Os teores de cálcio, magnésio e potássio, trocáveis são mais elevados nos horizontes superficiais desses solos, evidenciando que a ciclagem de nutrientes entre o solo e a planta se processa com maior intensidade na camada superficial dos solos na área, comparáveis nos dados obtidos em outros locais da Amazônia (RODRIGUES et al 1974; CAMARGO; RODRIGUES, 1979; EMBRAPA, 1983).

A utilização de máquinas pesadas na derrubada e arraste da vegetação, danifica a camada superficial desses solos, tornando-se esse processo de limpeza de área bastante prejudicial pela eliminação dessa camada com maior concentração de nutrientes existentes nesses solos de baixa fertilidade natural.

Os teores de alumínio extraível variam nos solos de 0 (zero) a 1,9  $\text{cmol}_c\text{kg}^{-1}$  de solo, predominando na maioria desses solos valores superiores a 1,0  $\text{cmol}_c\text{kg}$  de solo, (Tabelas 06 e 07), os quais, condicionados pela baixa soma de bases trocáveis, proporcionam uma alta saturação com alumínio, enquadrando a maior parte deles como

distróficos álicos, os quais, vão necessitar da aplicação de corretivos para eliminação da toxicidade desses elementos às plantas cultivadas assim como, elevar a concentração dos nutrientes cálcio e magnésio nos solos. Segundo SANCHES; LOGAN (1992), solos com saturação por alumínio maior que 60%, exibem toxicidade por alumínio, isto ocorre na maior parte dos perfis desses solos.

Os teores de CTC<sub>1</sub> (CTC cmol<sub>c</sub>kg<sup>-1</sup> de solo), CTC<sub>e</sub> (CTC efetiva) e CTC<sub>2</sub> (CTC cmol<sub>c</sub>kg<sup>-1</sup> de argila) (Tabelas 06 e 07), segundo Silva et al (2002), decrescem com a profundidade apesar do aumento gradativo dos teores da fração argila, parecendo existir uma relação estreita com os teores de carbono (matéria orgânica), os quais, também, decrescem com a profundidade, evidenciando, ainda que, os minerais de argila contidos nesses solos sejam do tipo 1:1, portanto de baixa atividade comparáveis aos dados encontrados por Embrapa, (1983); Rodrigues et al, (1974); Santos, (1993).

Os teores de CTC efetiva (CTC<sub>e</sub>) variam nesses solos de 1,0 a 6,8 cmol<sub>c</sub>kg<sup>-1</sup> de solo. Nos perfis predomina os valores de CTC<sub>e</sub> inferior a 3 cmol<sub>c</sub>/kg<sup>-1</sup> de solo, que apresentam baixa capacidade de reter cátions nas condições naturais ácidas dos solos (LOPES; GUINDOLIN, 1989), a exceção dos horizontes superficiais dos perfis 01 e 02 que apresentam CTC<sub>e</sub> superior a 3 cmol<sub>c</sub>kg<sup>-1</sup> de solo. Para estes solos quando submetidos ao uso agrícola, exigem a aplicação de corretivos de acidez para elevar a saturação de bases para mais de 60%, a fim de aumentar os pontos de troca de cátions, indispensáveis a retenção de nutrientes essenciais às plantas cultivadas.

Os teores de carbono orgânico (matéria orgânica), são usualmente muito baixos e decrescentes com a profundidade do solo, variando de 0,6 a 3,17 g.kg<sup>-1</sup> de solo. Os teores de fósforo assimilável são também muito baixos (<9 mg.kg<sup>-1</sup> de solo) nesses solos, demonstrando uma grande carência desse nutriente às plantas cultivadas, exigindo, portanto, um melhoramento do nível de fertilidade desses solos com adubação química e orgânica, incluindo o fósforo (Tabelas 06 e 07). São solos que apresentam uma cobertura vegetal densa e relevo plano a suave ondulado (Figura 20).

Tabela 06 - Características físicas e químicas gerais dos Latossolos Amarelos do Município de Abel Figueiredo, Estado do Pará.

Horiz.	Prof. (cm)	Ph H <sub>2</sub> O	$\Delta pH$	g.Kg <sup>-1</sup> de solo			Cmol <sub>c</sub> .Kg <sup>-1</sup> de solo								%		g.Kg <sup>-1</sup> de solo	mgKg <sup>-1</sup> solo
				Areia	Silte	Argila	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	S	Al	CTCe	CTC <sub>1</sub>	V	m	C	P Assim
<b>LATOSSOLO AMARELO Distrófico coeso A moderado textura muito argilosa fase floresta equatorial subperenifolia relevo plano ( Perfil 01 )</b>																		
A	0 - 9	4,6	-0,4	40	160	800	4,9	1,3	0,28	0,13	6,6	0,3	6,9	10,4	63	4,3	31,4	4
AB	9 - 22	4,2	-0,5	30	150	820	1,5	0,9	0,15	0,08	2,6	0,5	3,1	6,6	39	16,1	13,7	2
BA	22 - 40	4,3	-0,5	20	120	860	0,9	0,6	0,09	0,05	1,6	0,6	2,2	5,1	31	27,2	10,0	1
Bw <sub>1</sub>	40 - 74	4,7	-0,6	10	110	880	0,7	0,6	0,07	0,05	1,4	0,5	1,9	4,3	32	26,3	7,6	0
Bw <sub>2</sub>	74 - 117	4,8	-0,7	10	110	880	0,4	0,6	0,06	0,04	1,1	0,4	1,5	3,4	32	26,6	5,1	0
Bw <sub>3</sub>	117 - 180	4,8	-0,8	10	90	900	0,2	0,4	0,02	0,02	0,6	0,6	1,2	3,1	19	50,0	3,5	0
<b>LATOSSOLO AMARELO Distrófico coeso A moderado textura muito argilosa fase floresta equatorial subperenifolia relevo plano ( Perfil 03 )</b>																		
A	0 - 6	4,5	-0,5	30	270	700	3,3	1,4	0,45	0,23	5,3	0,4	5,7	14,1	37	7,0	31,7	5
AB	6 - 14	3,8	-0,2	30	230	740	0,4	0,4	0,21	0,10	1,1	1,5	2,6	8,0	13	57,6	15,5	2
BA	14 - 28	3,8	-0,1	20	220	760	0,2	0,3	0,16	0,09	0,7	1,5	2,2	7,2	9	68,1	12,7	1
Bw <sub>1</sub>	28 - 53	4,2	-0,4	10	210	780	0,2	0,1	0,05	0,05	0,4	1,2	1,6	4,7	8	75,0	9,0	1
Bw <sub>2</sub>	53 - 84	4,6	-0,6	10	210	780	0,2	0,2	0,02	0,06	0,6	0,7	1,3	4,1	14	53,8	6,4	0
Bw <sub>3</sub>	84 - 120	4,8	-0,7	10	190	800	0,2	0,4	0,01	0,01	0,6	0,5	1,1	3,4	17	45,4	4,6	0
Bw <sub>4</sub>	120 - 170	4,8	-0,6	10	190	800	0,2	0,3	0,01	0,01	0,5	0,5	1,0	3,3	15	50,0	2,9	0
<b>LATOSSOLO AMARELO Distrófico coeso A moderado textura muito argilosa fase floresta equatorial subperenifolia relevo plano ( Amostra Extra 04 )</b>																		
A1	0 - 8	4,0	-0,5	40	180	780	2,0	0,3	0,20	0,12	2,6	0,9	3,5	18,2	14	25,7	19,4	4
AB	8 - 18	4,3	-0,8	30	170	800	0,8	0,7	0,07	0,06	1,6	1,1	2,7	11,2	14	40,7	22,1	2
BA	18 - 35	4,2	-0,5	30	130	840	0,4	0,4	0,05	0,05	0,9	1,9	2,8	7,4	12	67,8	13,9	1
Bw1	35 - 75	4,5	-0,6	30	90	880	0,6	0,9	0,03	0,05	1,5	1,1	2,6	6,6	22	42,3	10,2	0
Bw2	75 - 120	4,4	-0,5	30	70	900	0,5	0,2	0,02	0,03	0,7	1,4	2,1	5,4	13	66,6	7,6	0

Fonte: Silva et al. (2002).

Tabela 07 - Características físicas e químicas gerais dos Latossolos Amarelos da área de estudo

Horiz.	Prof. (cm)	pH H <sub>2</sub> O	ΔpH	g.Kg <sup>-1</sup> de solo			Cmol.Kg <sup>-1</sup> de solo								%		g.Kg <sup>-1</sup> de solo	mgKg de solo
				Areia	Silte	Argila	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	S	Al	CTCe	CTC <sub>1</sub>	V	m	C	P Assi.
<b>LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico A moderado textura argilosa fase floresta equatorial subperenifolia relevo plano ( Amostra Extra 08)</b>																		
A	0 - 5	4,3	-0,8	760	20	220	0,8	0,7	0,11	0,06	1,7	0,8	2,5	6,8	25	32,0	17,8	9
AB	5 - 14	4,1	-0,6	680	20	300	0,4	0,4	0,05	0,04	0,9	1,3	2,3	5,1	17	56,5	10,7	5
BA	14 - 33	4,2	-0,5	460	240	300	0,3	0,2	0,03	0,03	0,6	1,3	1,9	3,8	15	68,4	7,3	2
Bw <sub>1</sub>	33 - 65	4,4	-0,6	400	200	400	0,3	0,2	0,02	0,04	0,6	1,4	2,0	3,4	17	70,0	5,5	1
Bw <sub>2</sub>	65 - 90	4,6	-0,7	390	130	480	0,3	0,3	0,03	0,05	0,7	1,4	2,1	3,0	23	66,6	5,0	1
Bw <sub>3</sub>	90 - 120	4,8	-0,8	400	140	460	0,3	0,2	0,03	0,05	0,6	1,0	1,6	3,1	19	62,5	4,2	1
<b>LATOSSOLO AMARELO Distrófico concrecionário A moderado textura argilosa fase floresta equatorial subperenifolia relevo forte ondulado( Amostra Extra 18)</b>																		
A	0 - 5	6,1	-1,3	700	80	220	1,5	0,8	0,2	0,08	2,6	0,0	2,6	7,5	34	0	14,1	7
AB	5 - 11	4,6	-0,7	570	130	300	0,4	0,3	0,07	0,04	0,8	1,3	2,1	6,0	13	61,9	7,3	3
BA	11 - 24	4,5	-0,7	490	190	320	0,3	0,2	0,05	0,03	0,6	1,3	1,9	5,2	11	68,4	9,6	2
Bw <sub>1</sub>	24 - 43	4,5	-0,6	480	160	360	0,3	0,2	0,03	0,02	0,6	1,6	2,2	4,4	13	72,7	7,5	2
Bw <sub>2</sub>	43 - 85	4,7	-0,8	470	110	420	0,2	0,2	0,03	0,02	0,5	1,5	2,0	3,6	13	75,0	6,0	1
<b>LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico A moderado textura argilosa fase floresta equatorial subperenifolia relevo forte ondulado ( Amostra Extra 19 )</b>																		
A	0 - 5	4,2	-0,7	690	130	180	0,4	0,3	0,08	0,07	0,9	1,3	2,2	6,0	15	59,0	5,8	6
AB	5 - 12	4,0	-0,4	620	120	260	0,2	0,2	0,06	0,04	0,5	1,7	2,2	5,6	9	77,2	6,4	5
BA	12 - 25	4,1	-0,4	550	130	320	0,2	0,2	0,04	0,03	0,5	1,2	1,7	4,8	10	70,5	3,7	3
Bw <sub>1</sub>	25 - 60	4,2	-0,5	530	110	360	0,2	0,1	0,03	0,02	0,4	1,1	1,5	4,4	9	73,3	2,2	2
Bw <sub>2</sub>	60 - 100	4,8	-0,8	460	140	400	0,3	0,3	0,02	0,03	0,7	0,7	1,4	4,2	16	50,0	0,6	1

Fonte: Silva et al. (2002).

## *b) Argissolos Amarelos*

Os Argissolo Amarelo, em virtude do intemperismo extremo e a intensa lixiviação que são submetidos esses solos, apresentam-se esgotados de muitas de suas bases trocáveis, tendo os pontos de troca e solução do solo ocupados predominantemente por  $H^+$  e  $Al^{+++}$  extraível (COLEMAN; THOMAS, 1967). Os valores de pH- $H_2O$  variam nos solos de 4,4 a 8,5, sendo estes considerados de reação fortemente ácida a alcalina (Tabela 08). Os valores de  $\Delta pH$  (pH-KCl-pH- $H_2O$ ) são negativos com valores de -0,4 a -1,2, implicando na presença de cargas superficiais líquidas negativas.

O conteúdo de bases em todos os perfis variando de 1,3 a 19,4  $cmol_c kg^{-1}$  de solo, sendo estes mais elevados nos solos eutróficos, decresce em profundidade, parecendo originar-se da mineralização da matéria orgânica.

Os teores de capacidade de troca de cátions (CTC) variam nesses solos de 1,6 a 19,4  $cmol_c kg^{-1}$  de solo, com valores mais elevados nos horizontes superficiais, onde são observados conteúdos mais altos de carbono orgânico.

A saturação com alumínio nestes solos em sua maior parte é inferior a 50%, não possuindo portanto toxicidade com Al. De acordo com Sanches e Logan (1992) solos tendo mais de 60% de saturação com Al exibem toxicidade por alumínio. A capacidade de troca de cátions efetiva ( $CTC_e$ ) dos solos estudados varia de 1,5 a 19,4  $cmol_c kg$  de solo, sendo por isso considerados pobres em certos nutrientes, quando a  $CTC_e$  for  $< 4$   $cmol_c kg$  de solo (SANCHEZ; LOGAN, 1992).

De acordo com as classes de fertilidade dos solos brasileiros, as somas de bases trocáveis em todos os perfis são médias, comparáveis com a maioria dos Argissolos e Latossolos encontrados na Amazônia (RODRIGUES et al, 1971; SANTOS, 1993).

Os resultados das análises mostram que os conteúdos de fósforo assimilável são muito baixos em todos os perfis com teores inferiores a 2  $mg.kg^{-1}$  de solo (Tabela 08), todavia nos horizontes superficiais chegam a valores de 10 a 41  $mg.kg^{-1}$ .

Em todos os solos foram observados conteúdos mais altos de carbono orgânico (C) ( $>5,2$   $g.kg^{-1}$  de solo), nos horizontes superficiais e decrescendo acentuadamente em profundidade. O conteúdo de matéria orgânica compreende uma contribuição significativa para a fertilidade dos solos.

Para efeito de manejo desses solos o relevo, a textura e conteúdo de matéria orgânica são importantes para definição das técnicas a serem empregadas a fim de evitar problemas de perda de solo pela erosão hídrica, principalmente naqueles que

apresentam grande diferença textural entre os horizontes A e B, em função da alta precipitação pluviométrica ocorrente na região. Os Argissolos Amarelo apresentam relevo suave ondulado a ondulado (Figura 21).

*c) Argissolos Vermelho-Amarelo*

No Argissolo Vermelho Amarelo, os valores de pH-H<sub>2</sub>O variam de 4,0 a 6,2 sendo considerados de reação excessivamente ácida a ligeiramente ácida. Os valores de ΔpH (pH-KCl-pH-H<sub>2</sub>O) são negativos com valores da ordem de -0,3 a 1,1, indicando a presença dominante de cargas superficiais líquidas negativas. A saturação com alumínio nestes solos em sua maior parte é superior a 50%, e seria por isso, esperar um grau razoavelmente significativo de toxicidade com Al. De acordo com Sanches e Logan (1992), os solos tendo mais de 60% de saturação por Al exibem toxicidade por alumínio. Apresentam teores baixos de CTC (Tabela 09), em todos os perfis indicando presença de minerais de argila do tipo 1:1 (caulinita) na fração argila destes solos.

Os valores de soma de bases trocáveis em todos os perfis variam de 0,4 a 6,4 cmol<sub>c</sub>kg<sup>-1</sup> de solo, decrescendo em profundidade, parecendo originar-se da mineralização da matéria orgânica. Os resultados analíticos mostram que os conteúdos de fósforo assimilável são muito baixos em todos os perfis com teores inferiores a 5 mg.kg<sup>-1</sup> de solo. Em todos os perfis os teores de carbono orgânico são baixos (<2,63), os quais são ligeiramente mais elevados nos horizontes superficiais, decrescendo acentuadamente em profundidade. Quanto ao manejo desses solos o relevo e o conteúdo de matéria orgânica são elementos importantes para a definição das técnicas a serem empregados a fim de evitar problemas de perda de solo pela erosão hídrica, em função da precipitação pluviométrica ocorrente na região e ao tipo de relevo muito movimentado a que estes solos estão presentes. Esses solos apresentam relevo ondulado a forte ondulado (Figura 22).

Tabela 08 - Características físicas e químicas gerais de Argissolos Amarelos da área de estudo.

Horiz.	Prof. (cm)	pH H <sub>2</sub> O	ΔpH	g.Kg <sup>-1</sup> de solo			Cmol.Kg <sup>-1</sup> de solo							%		g.Kg <sup>-1</sup> de solo		mgKg <sup>-1</sup> de solo
				Areia	Silte	Argila	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	S	Al <sup>+++</sup>	CTC e	CTC <sub>1</sub>	V	m	C	P Assim.
<b>ARGISSOLO AMARELO Eutrófico abruptico A moderado textura arenosa/argilosa floresta equatorial subperenifolia relevo plano e suave ondulado. (Amostra extra 09)</b>																		
A	0- 5	7,6	-0,6	800	100	100	8,7	1,2	0,71	0,26	10,9	0,0	10,9	12,4	88	0	27,5	68
AB	5- 11	7,6	-1,0	800	80	120	1,7	0,2	0,03	0,02	2,0	0,0	2,0	2,5	80	0	5,2	3
BA	11- 30	6,8	-0,6	630	130	240	1,9	0,3	0,02	0,02	2,2	0,0	2,2	2,7	81	0	6,2	2
Bt1	30- 75	6,9	-0,9	520	120	360	1,9	0,5	0,01	0,03	2,5	0,0	2,5	3,0	83	0	4,6	1
Bt2	75- 120	6,9	-0,9	540	100	360	1,7	0,5	0,02	0,01	2,2	0,0	2,2	2,5	88	0	4,4	1
<b>ARGISSOLO AMARELO Eutrófico típico A moderado textura média/argilosa floresta equatorial subperenifolia relevo ondulado (Amostra extra 06).</b>																		
A	0- 5	7,6	-0,4	550	390	60	13,1	3,6	2,00	0,72	19,4	0,0	19,4	19,9	97	0	43,8	41
AB	5- 25	7,0	-0,9	520	160	320	3,6	1,1	0,22	0,04	5,0	0,0	5,0	6,1	81	0	11,9	3
BA	25- 50	6,9	-1,1	390	150	460	2,8	0,8	0,04	0,02	3,7	0,0	3,7	4,6	80	0	7,2	1
Bt1	50- 80	6,4	-0,9	380	60	560	1,8	0,8	0,03	0,01	2,7	0,0	2,7	4,1	65	0	5,5	1
Bt2	80- 110	6,3	-0,8	400	40	560	1,0	1,0	0,06	0,03	2,1	0,0	2,1	3,2	65	0	3,3	1
<b>ARGISSOLO AMARELO Eutrófico abruptico A moderado textura arenosa/média floresta equatorial subperenifolia relevo ondulado. (Amostra extra 07)</b>																		
A	0- 7	6,3	-0,8	860	60	80	3,0	1,0	0,20	0,07	4,3	0,0	4,3	6,0	71	0	16,8	10
AB	7- 17	5,9	-1,2	790	110	100	0,9	0,3	0,04	0,01	1,3	0,0	1,3	2,2	59	0	5,1	2
BA	17- 40	5,2	-1,1	720	140	140	1,0	0,6	0,02	0,03	1,7	0,2	1,9	3,1	55	10,5	4,9	2
Bt1	40- 70	5,3	-1,1	610	90	300	1,0	0,5	0,03	0,02	1,6	0,2	1,8	2,8	57	11,1	3,9	2
<b>ARGISSOLO AMARELO Distrófico típico A moderado textura média/argilosa floresta equatorial subperenifolia relevo suave ondulado. (Amostra extra 01)</b>																		
A	0- 9	5,7	-0,8	750	70	180	2,3	0,8	0,33	0,12	3,6	0,0	3,6	6,1	59	0	14,7	6
AB	9- 19	4,5	-0,7	670	70	260	0,7	0,5	0,09	0,04	1,3	0,5	1,8	4,7	27	27	9,8	3
BA	19- 30	4,4	-0,7	600	80	320	0,4	0,4	0,06	0,03	0,9	0,6	1,5	4,3	21	40	7,6	3
Bt1	30- 45	4,5	-0,8	520	80	400	0,4	0,4	0,07	0,03	0,9	1,0	1,9	4,4	20	52	7,1	2
Bt2	45- 110	4,4	-0,6	480	40	480	0,2	0,2	0,03	0,02	0,5	1,1	1,6	3,3	15	68	4,0	1
<b>ARGISSOLO AMARELO Eutrófico abruptico A moderado textura arenosa/argilosa floresta equatorial subperenifolia relevo suave ondulado a ondulado. (Amtra extra 02)</b>																		
A	0- 5	8,5	-0,5	840	80	80	1,9	0,6	1,50	0,43	4,4	0,0	4,4	5,9	74	0	6,1	56
AB	5- 18	7,4	-1,1	790	90	120	1,2	0,3	0,51	0,16	2,2	0,0	2,2	2,7	81	0	5,4	4
BA	18- 50	5,8	-0,6	610	190	200	0,7	0,5	0,20	0,07	1,5	0,0	1,5	2,4	62	0	4,0	1
Bt1	50- 85	4,4	-0,6	490	50	460	0,3	0,2	0,05	0,03	0,6	0,9	1,5	3,4	17	60	8,2	1
Bt2	85- 110	5,3	-0,8	500	40	460	0,6	0,6	0,18	0,06	1,5	0,1	1,6	2,9	51	6	2,8	1

Fonte: Silva et al. (2002).

Tabela 09 - Características físicas e químicas gerais de Argissolos Vermelho Amarelos da área de estudo.

Horiz.	Prof. (cm)	pH H <sub>2</sub> O	ΔpH	g.Kg <sup>-1</sup> de solo			Cmol <sub>c</sub> .Kg <sup>-1</sup> de solo								%		gKg <sup>-1</sup> de solo	mgKg <sup>-1</sup> de solo
				Areia	Silte	Argila	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	S	Al	CTCe	CTC <sub>1</sub>	V	m	C	P Assim.
<b>ARGISSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico típico A moderado textura média/argilosa floresta equatorial subperenifolia relevo plano e suave ondulado.(A. extra 17)</b>																		
A	0- 7	4,5	-0,9	840	100	60	0,7	0,6	0,06	0,04	1,4	0,7	2,1	4,5	31	33,3	10,2	5
AB	7- 15	4,0	-0,5	680	100	220	0,5	0,3	0,04	0,02	0,9	1,2	2,1	4,7	19	57,1	8,7	3
BA	15- 31	4,2	-0,5	550	150	300	0,2	0,2	0,03	0,01	0,4	0,9	1,3	3,5	11	69,2	5,9	1
Bt1	31- 75	4,5	-0,6	400	100	500	0,3	0,2	0,02	0,03	0,6	0,9	1,5	3,4	17	60,0	5,4	1
Bt2	75- 110	4,8	-0,8	360	100	540	0,2	0,1	0,02	0,03	0,4	1,1	1,5	2,9	13	73,3	4,4	1
<b>ARGISSOLO VERMELHO AMARELO Epieutrófico A moderado textura média/argilosa floresta equatorial subperenifolia relevo suave ondulado (Amostra extra 05).</b>																		
A	0- 10	6,0	-1,1	760	100	140	1,6	0,6	0,20	0,09	2,5	0,0	2,5	4,0	62	0	9,6	3
BA	10- 30	5,4	-1,1	730	70	200	1,0	0,3	0,06	0,02	1,4	0,1	1,5	2,8	50	6,6	4,7	1
Bt1	30- 70	4,8	-0,8	670	30	300	0,4	0,3	0,03	0,02	0,8	0,7	1,5	2,0	40	46,6	4,7	1
Bt2	70- 100	4,8	-0,7	610	30	360	0,5	0,4	0,02	0,01	0,9	0,8	1,7	2,6	34	47,0	3,5	1
<b>ARGISSOLO VERMELHO AMARELO Epieutrófico concrecionário A moderado textura média/argilosa floresta equatorial subperen relevo forte ondulado.(A extra 15)</b>																		
A	0- 5	6,2	-1,1	640	140	220	3,7	2,4	0,22	0,10	6,4	0,0	6,4	9,1	70	0	26,3	4
AB	5- 13	5,3	-1,0	290	270	440	2,1	1,2	0,10	0,07	3,5	0,2	3,7	8,3	42	5,4	16,6	4
BA	13- 28	4,7	-0,8	260	300	440	1,4	0,5	0,05	0,05	2,0	0,9	2,9	7,7	25	31,0	13,1	3
<b>ARGISSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico típico A moderado textura média/argilosa floresta equatorial subperenifolia relevo suave ondulado.(Perfil 02)</b>																		
A	0- 12	4,9	-0,4	850	7	80	1,5	0,7	0,12	0,06	2,4	0,2	2,6	4,6	52	7,6	10,7	3
AB	12- 20	4,2	-0,4	810	3	160	0,5	0,4	0,04	0,03	1,0	0,4	1,4	2,7	37	28,5	6,0	2
BA	20- 38	4,0	-0,3	740	4	220	0,6	0,3	0,03	0,03	1,0	0,2	1,2	3,0	33	16,6	6,9	1
Bt1	38- 65	5,0	-0,8	590	7	340	1,1	0,3	0,02	0,02	1,5	0,0	1,5	2,7	55	0	4,3	1
Bt2	65- 110	4,7	-0,7	570	7	360	0,6	0,2	0,02	0,02	0,8	0,5	1,3	2,5	32	38,4	3,9	1
Bt3	110- 150	4,6	-0,6	520	4	440	0,3	0,2	0,01	0,02	0,5	0,7	1,2	2,2	22	58,3	3,3	0

Fonte: Silva et al. (2002).



#### *d) Gleissolos*

Os Gleissolos, apresentam capacidade de troca de cátions ( $CTC_1$ ), com valores altos em todos os perfis nos horizontes superficiais. Os valores de  $CTC_1$  decrescem em profundidade conforme a dinâmica nos perfis dos solos (Tabela 10). São solos com capacidade de troca cátions efetiva menor do que  $4 \text{ cmol}_c\text{kg}^{-1}$  de solo nos horizontes superficiais, apresentando portanto baixa capacidade de reter cátions nas condições naturais de pH do solo (LOPES; GUIDOLIN, 1989).

A fertilidade natural desses solos é baixa, considerando-se os teores baixos de soma de bases inferior a  $0,8 \text{ cmol}_c\text{kg}^{-1}$  de solo. A saturação de bases é normalmente inferior a 50%, enquadrando-se como distrófico.

Esses solos ocorrem nas planícies aluviais de curso d'água dos rios que drenam esta região. Pelo fato de sofrerem inundações periódicas, apresentam fortes limitações ao uso agrícola, a não ser para culturas de ciclo curto adaptadas as condições de elevada umidade. Em áreas de várzeas de extensão significativa, podem ser utilizadas com a cultura do arroz irrigado. Os Gleissolos caracterizam-se por apresentar uma vegetação de várzea ( floresta higrófila), quase inexistente na área de estudo, e relevo plano (Figura 23).

Tabela 10 - Características físicas e químicas gerais de Gleissolos Háplicos da área de estudo.

Horiz.	Prof. (cm)	pH H <sub>2</sub> O	$\Delta$ pH	g.Kg <sup>-1</sup> de solo			Cmol.Kg <sup>-1</sup> de solo							%		g.Kg <sup>-1</sup> de solo	Mg.Kg <sup>-1</sup> de solo	
				Areia	Silte	Argila	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	S	Al <sup>+++</sup>	CTCe	CTC <sub>1</sub>	V	m	C	P Assim.
<b>GLEISSOLO HÁPLICO Distrófico típico A moderado textura argilosa floresta equatorial higrófila de várzea relevo plano.(Amostra Extra 16)</b>																		
A1	0- 5	4,8	-0,9	110	350	540	1,2	1,7	0,93	0,46	4,3	2,0	6,3	21,7	20	31,7	69,8	14
AB	5- 9	4,2	-0,8	210	250	540	0,7	1,3	0,08	0,09	2,2	1,9	4,1	7,6	29	46,3	15,1	5
BA	9- 23	4,4	-0,8	240	220	540	0,6	1,2	0,04	0,05	1,9	2,1	4,0	6,1	31	52,5	7,2	3
Bg1	23- 33	4,7	-1,1	280	220	500	0,4	1,1	0,05	0,05	1,6	2,1	3,7	5,9	27	56,7	6,6	3
Bg2	33- 60	4,5	-0,7	410	210	380	0,2	0,1	0,07	0,04	0,4	1,6	2,0	3,5	11	80,0	4,0	2
Bg3	60- 100	4,8	-1,1	460	200	340	0,2	0,2	0,06	0,05	0,5	1,5	2,0	2,8	17	75,0	3,0	2
<b>GLEISSOLO HÁPLICO Distrófico típico A moderado textura argilosa floresta equatorial higrófila de várzea relevo plano.(Amostra extra 03)</b>																		
A1	0- 6	4,2	-0,7	70	570	360	1,3	0,5	0,42	0,32	2,5	2,0	4,5	22,2	11	44,4	57,5	14
AB	6- 15	4,3	-0,7	120	420	460	0,6	0,6	0,09	0,12	1,4	1,6	3,0	8,6	16	53,3	13,4	4
BA	15- 45	4,4	-0,9	140	340	520	0,5	0,4	0,22	0,14	1,3	1,0	2,3	6,2	21	43,4	6,6	2
Bg1	45- 95	4,5	-0,9	170	310	520	0,5	0,5	0,22	0,14	1,4	1,0	2,4	5,2	27	41,6	3,2	3
Bg2	95- 120	4,6	-0,9	180	300	520	0,5	0,4	0,05	0,05	1,0	1,6	2,6	5,3	19	61,5	2,1	4

Fonte: Silva et al. (2002).



Figura 20 - Ambiente de ocorrência do Latossolo Amarelo, localizado ao norte do município de Abel Figueiredo, em relevo plano de platô (coordenada geográfica: 04°51'56.2 S / 48°26'04.4 W)



Figura 21 - Ambiente de ocorrência do Argissolo Amarelo, localizado ao norte do município de Abel Figueiredo, em relevo ondulado a forte ondulado (coordenada geográfica: 04°52'48.0 S / 48°25'04.6 W)



Figura 22 - Ambiente de ocorrência do Argissolo Vermelho-Amarelo, localizado a oeste do município de Abel Figueiredo, em relevo ondulado (coordenada geográfica: 04°59'35.5 S / 48°29'31.4 W), observando-se algumas áreas de solo descoberto.



Figura 23 - Ambiente de ocorrência do Gleissolo, localizado ao sul do município de Abel Figueiredo, em relevo plano a suave ondulado (coordenada geográfica: 05°06'41.0 S / 48°27'08.9 W)

Após a delimitação das unidades de mapeamento através da interpretação visual da imagem de radar, do trabalho de campo e da caracterização físico-química das amostras de solo, a distribuição dos solos ficou conforme apresentado pela Tabela 11 e Figura 24.

Tabela 11 - Legenda e quantificação das classes de solo do município de Abel Figueiredo-PA.

<b>SÍMBOLO NO MAPA</b>	<b>CLASSE DE SOLOS / UNIDADES DE MAPEAMENTO</b>	<b>ÁREA ha</b>	<b>%</b>
	<b>LATOSSOLO AMARELO</b>		
LAd1	LATOSSOLO AMARELO Distrófico coeso A moderado, textura muito argilosa, floresta equatorial subperenifólia, relevo plano	3.949,41	6,33
LAd2	LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico A moderado, textura argilosa, floresta equatorial subperenifólia com babaçu relevo plano + ARGISSOLO AMARELO Distrófico típico A moderado, textura média/argilosa floresta equatorial subperenifólia com babaçu relevo plano e suave ondulado.	6.686,57	10,73
LAd3	LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico A moderado, textura média, floresta equatorial subperenifólia relevo plano e suave ondulado+ ARGISSOLO AMARELO Distrófico típico A moderado, textura média/argilosa floresta equatorial subperenifólia relevo suave ondulado.	9.666,59	15,52
	<b>ARGISSOLO AMARELO EUTRÓFICO</b>		
PAe 1	ARGISSOLO AMARELO Eutrófico típico A moderado textura média/argilosa, floresta equatorial subperenifólia relevo ondulado	854,22	1,37
PAe 2	ARGISSOLO AMARELO Eutrófico típico A moderado textura média/argilosa, floresta equatorial subperenifólia relevo ondulado + ARGISSOLO AMARELO Eutrófico abrupto A moderado textura arenosa/média floresta equatorial subperenifólia relevo ondulado.	916,87	1,47
	<b>ARGISSOLO AMARELO DISTRÓFICO</b>		
PAd <sub>1</sub>	ARGISSOLO AMARELO Distrófico típico A moderado, textura média/argilosa, floresta equatorial subperenifólia relevo suave ondulado + LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico A moderado, textura média floresta equatorial subperenifólia relevo plano e suave ondulado.	4.007,80	6,42
PAd <sub>2</sub>	ARGISSOLO AMARELO Distrófico típico A moderado, textura média/argilosa, floresta equatorial subperenifólia relevo suave ondulado e ondulado + LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico A moderado, textura argilosa, floresta equatorial subperenifólia relevo suave ondulado.	9.594,78	15,38
	<b>ARGISSOLO VERMELHO AMARELO</b>		
PVAd <sub>1</sub>	ARGISSOLO VERMELHO AMARELO Epieutrófico A moderado textura média/argilosa floresta equatorial subperenifólia relevo suave ondulado e ondulado + ARGISSOLO AMARELO Eutrófico típico A moderado textura argilosa floresta equatorial subperenifólia relevo ondulado	5.694,29	9,13
PVAd <sub>2</sub>	ARGISSOLO VERMELHO AMARELO Epieutrófico abrupto concrecionário A moderado textura média/argilosa floresta equatorial subperenifólia relevo forte ondulado + LATOSSOLO AMARELO Distrófico concrecionário A moderado textura argilosa floresta equatorial subperenifólia relevo forte ondulado.	4.366,25	7,00
PVAd <sub>3</sub>	ARGISSOLO VERMELHO AMARELO Epieutrófico abrupto concrecionário A moderado textura média/argilosa floresta equatorial subperenifólia relevo forte ondulado + LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico A moderado textura argilosa floresta equatorial subperenifólia relevo forte ondulado.	6.192,22	9,92
	<b>GLEISSOLO HÁPLICO</b>		
GXbd	GLEISSOLO HÁPLICO Distrófico típico A moderado textura argilosa floresta equatorial perenifólia higrofila de várzea relevo plano.	10.410,40	16,73
	<b>Total</b>	<b>62.399,40</b>	<b>100</b>

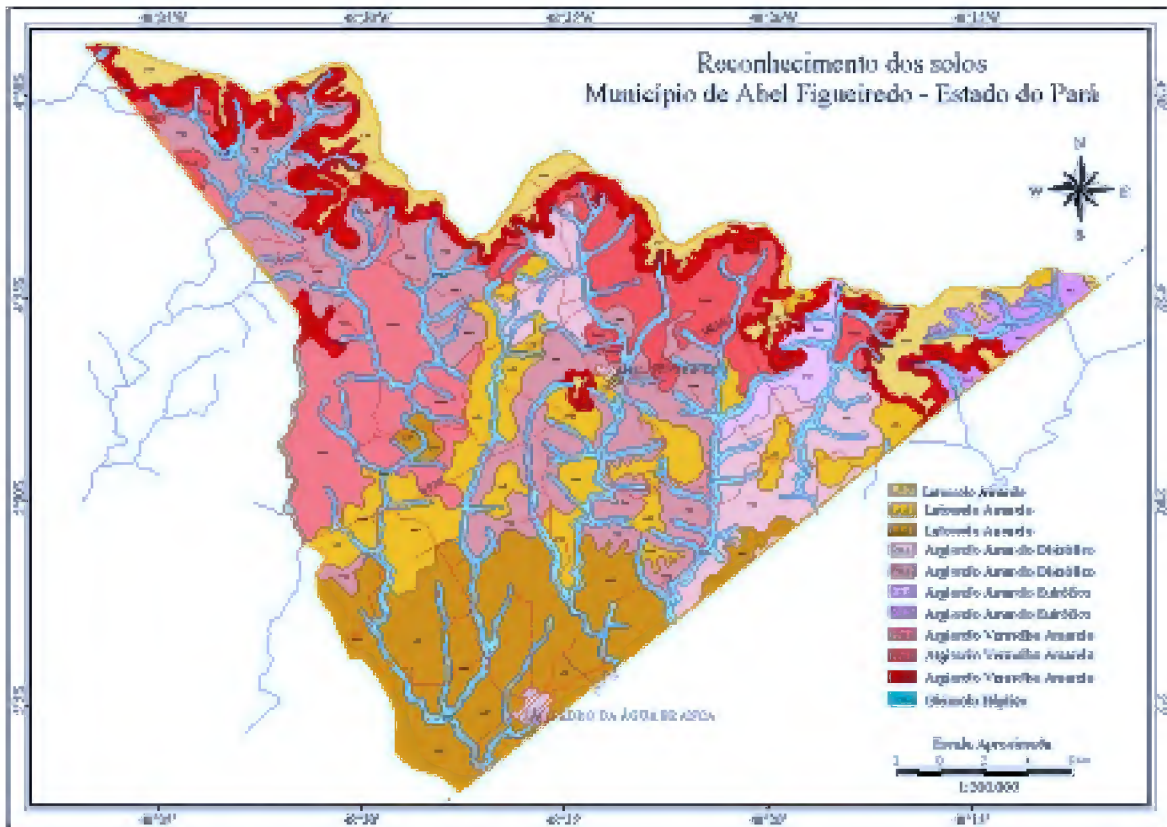


Figura 24 - Classes de solo do município de Abel Figueiredo, Pará.

#### 4.3 - CARACTERIZAÇÃO DO RELEVO

A caracterização do relevo é de fundamental importância para o delineamento do uso sustentável do solo. Neste contexto, as características do relevo representam algumas propriedades do terreno, através das curvas de nível (Figura 25), como amplitude altimétrica (Figura 26), declividade e o padrão de drenagem que influencia na dissecação do relevo, que determinam diferenças essenciais entre distintas paisagens, conforme visualizada no modelo digital do terreno apresentado na figura 27.

Com base na análise das características de altimetria, declividade, padrão de drenagem e do mapa geomorfológico (Figura 28), foram definidas cinco (05) classes de relevo na área de estudo (Tabela 12).

*a) Plano*

Esta classe refere-se às áreas de terra firme com relevo plano, com pendentes longas, apresentando uma declividade que varia de 0-3% e valor altimétrico de 340-370m, localizado ao norte do município em relevo de platô, correspondentes a topos de planaltos, onde ocorre uma cobertura detrítica, referente à unidade geomorfológica Planalto Dissecado do Gurupi Grajaú.

*b) Suave ondulado*

Incluem-se nesta classe áreas de terra firme que apresentam relevo suave ondulado, com pendentes suaves, apresentando declividade variando de 3-8% e intervalo altimétrico de 120-180m, localizado ao sul do município em relevo de feição de rampas suavemente inclinadas escupidas em cobertura sedimentar inconsolidada, referente à unidade geomorfológica Depressão de Imperatriz.

*c) Moderadamente Ondulado*

Esta classe refere-se às áreas de terra firme que apresentam relevo moderadamente ondulado, com pendentes suavemente curtas, apresentando uma variação de declividade de 8-15% e intervalo altimétrico de 180-230m, localizado na parte central do município em relevo de topos convexos esculpidas em rochas cristalinas e também em sedimentos, referente à unidade geomorfológica Depressão de Imperatriz.

*d) Ondulado*

Esta classe refere-se às áreas de terra firme que apresentam relevo ondulado, com pendentes curtas, apresentando declividade de 15-25% e altimetria de 230 à 260m, localizado a oeste do município em relevo convexos esculpidas em rochas cristalinas e também em sedimentos, referente à unidade geomorfológica Patamar Dissecado Capim-Moju.

*e) Forte Ondulado*

Incluem-se nesta classe áreas de terra firme que apresentam relevo forte ondulado, com pendentes muito curtas, apresentando declividade com variação de 25-45% e intervalo altimétrico de 260-340m, localizado ao norte do município em relevo de topos convexos esculpidas em rochas cristalinas e também em sedimentos, referente à unidade geomorfológica Planalto Dissecado do Gurupi Grajaú.

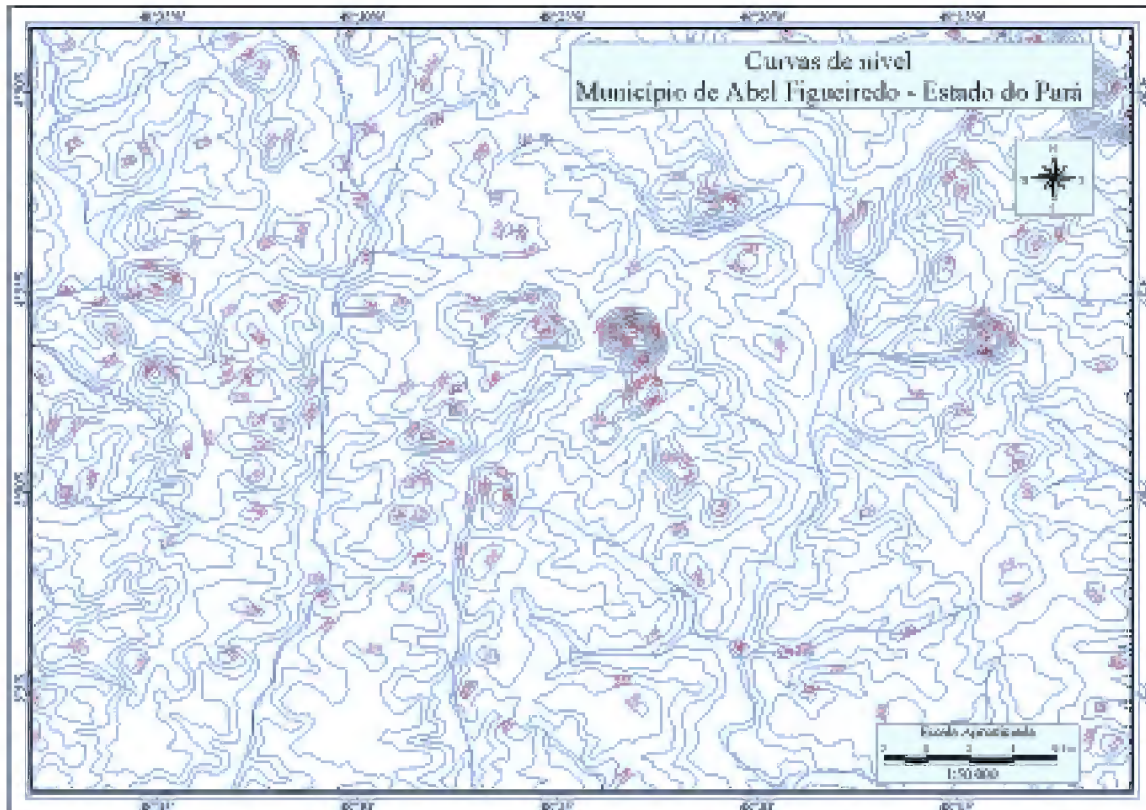


Figura 25 - Curvas de nível e respectivas cotas altimétricas, em formato vetorial, da área de estudo, com espaçamento de 10m.

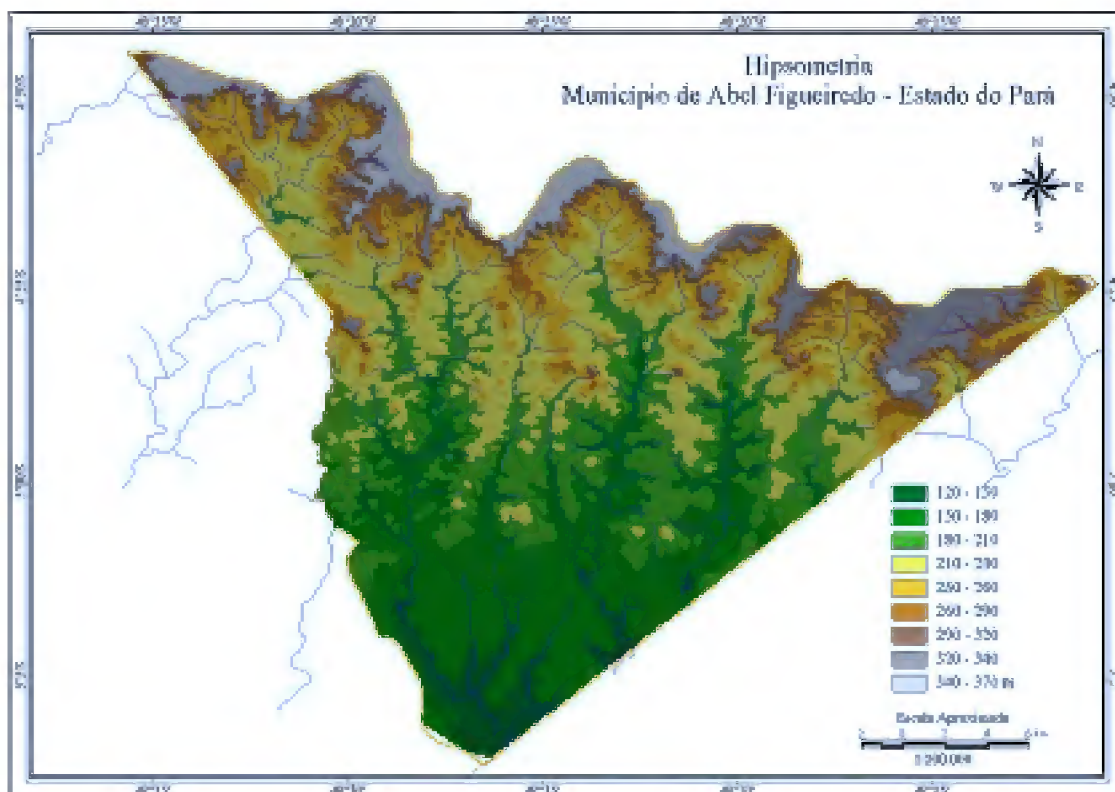




Figura 26 - Classes da topografia (altimetria) do município de Abel Figueiredo, Pará.

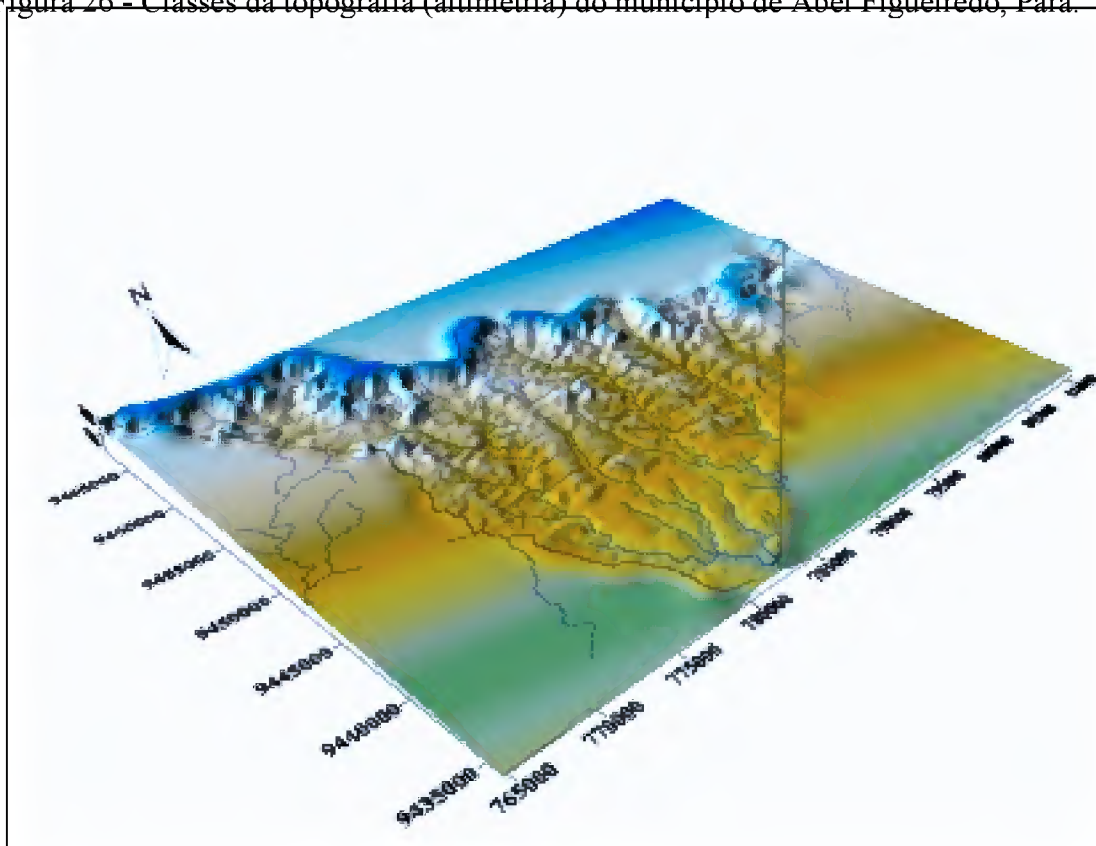


Figura 27 - Modelo Digital de Terreno (3D) do município de Abel Figueiredo, interpolado pelo método mínima curvatura.

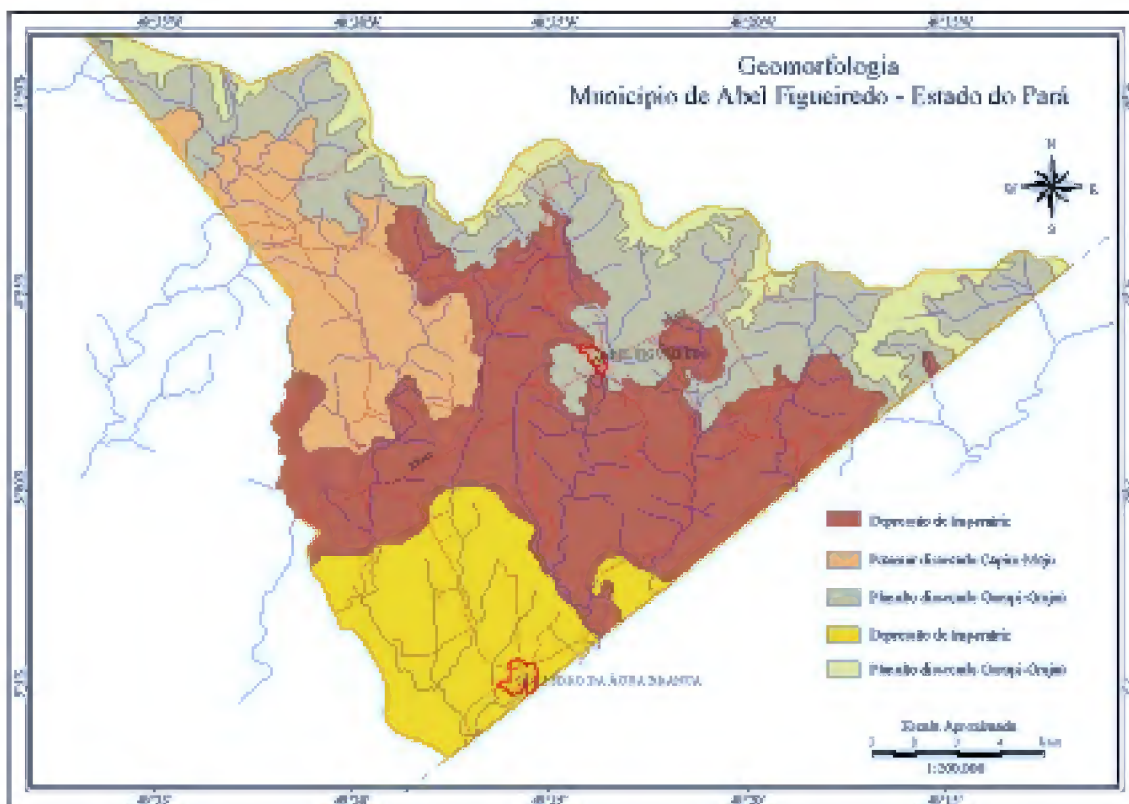


Figura 28 Classes de geomorfologia do município de Abel Figueiredo, Pará.

Fonte: SIPAM/IBGE (1998)

Tabela 12 - Classes de relevo com os respectivos valores de declividade e hipsometria (altimetria).

<b>Classes de Relevo</b>	<b>Declividade (%)</b>	<b>Altimetria (m)</b>
Plano	0-3	340-370
Plano / Suave ondulado	3-8	120-180
Suave ondulado	8-15	180-230
Ondulado	15-25	230-260
Forte ondulado	25-45	260-340

#### 4.4 - DETERMINAÇÃO DO GRAU DE VULNERABILIDADE

A análise e interpretação das imagens utilizadas (satélite e radar), foi feita considerando-se os padrões fotográficos identificados pelas variações de tonalidade, textura fotográfica, forma geométrica, padrões de drenagem e relevo, que determinaram as unidades de paisagem como unidades territoriais básicas. Segundo Becker e Egler (1997) uma unidade territorial básica é uma entidade geográfica que contém atributos ambientais que permitem diferenciá-la de suas vizinhas, ao mesmo tempo em que possui vínculos dinâmicos que a articulam a uma complexidade integrada por outras unidades territoriais.

O cálculo da média ponderada entre os valores individuais dos componentes para cada unidade de paisagem indica a posição da unidade dentro da escala de vulnerabilidade à erosão.

As classes de vulnerabilidade à erosão previstas são distribuídas entre situações de predomínio dos processos pedogenéticos, morfogêneses e intermediários em cada tema e dentro de cada unidade geoambiental, foram atribuídos valores para as classes de estabilidade ou vulnerabilidade à erosão.

Para a geologia a análise e definição da morfodinâmica compreendem as informações relativas ao grau de coesão das rochas que servem de suporte para a unidade geoambiental. Na área do município de Abel Figueiredo ocorrem rochas bem distintas, mostrando classes de processos erosivos, sendo atribuídos valores diferenciados de

vulnerabilidade, conforme o adotado por Crepani et al. (2001) e Carvalho et al. (2003). No caso das coberturas sedimentares Cobertura Dentrítico-Laterítico, de constituição muito argilosa Período Terciário e da Formação itapecuru período cretáceo receberam o valor 2,0 devido ser constituído por argilitos, arenitos, siltitos e folhelhos e para os sedimentos fluviais recentes holoceno, foi atribuído o valor 3,0 por serem constituídos por argilas, silte e areias não consolidadas (Tabela 13), Para a indicação dos valores (pesos) à estrutura geológica foi necessário converter o mapa temático em mapa numérico, correspondente ao tema de geologia (Figura 29).

Tabela 13 - Classes de geologia e respectivos valores da escala de vulnerabilidade.

<b>Classes</b>	<b>Descrição das unidades de mapeamento</b>	<b>Valor de Vulnerabilidade</b>
Nd	Formação Barreiras, cobertura dentrítico-laterítico	2.0
Kit	Formação Itapecuru	2.0
QHa	Aluvionares, sedimentos fluviais recentes	3.0

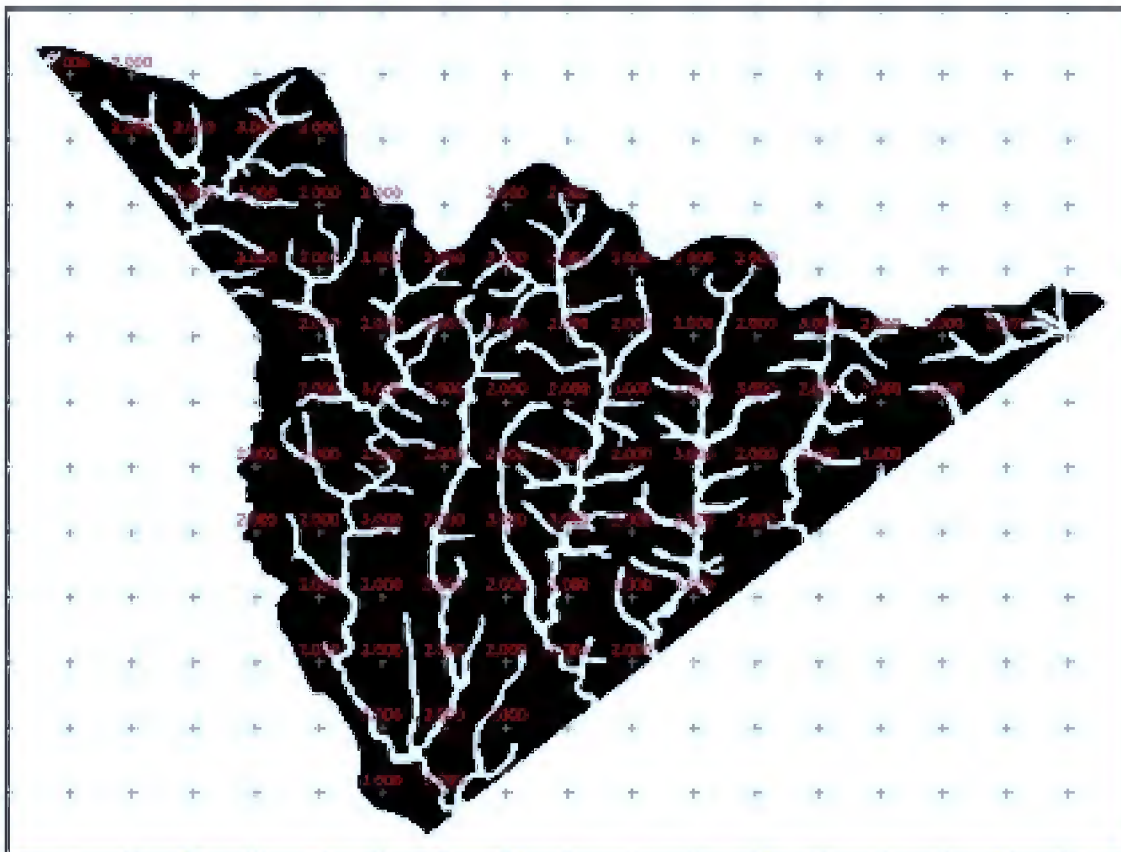


Figura 29 - Conversão do mapa temático de geologia em mapa numérico, com a atribuição dos respectivos valores (pesos) às unidades de mapeamento, a partir do programa LEGAL (Spring).

A pedologia contribuiu para a caracterização morfodinâmica através da maturidade e profundidade dos solos, produtos diretos do balanço morfogênese/pedogênese.

Os Latossolos mapeados na área, que foram considerados solos estáveis aos processos de perda de solo, receberam o valor 1,0, por serem bem desenvolvidos, bem profundos e de alta maturidade. Já para os Argissolos foram atribuídos o valor 2,0, por serem solos medianamente profundos e presença acentuada da fração areia; Para os gleissolos foram empregados o valor 3,0, por serem solos pouco desenvolvidos e se localizarem em um ambiente bastante instável, conforme adotado por Crepani et al. (2001) e Carvalho et al. (2003),

Além das características morfodinâmicas, foram atribuídos também valores para as classes texturais dos solos na seguinte ordem: classes de textura argilosa e muito argilosa valor 1,0; textura média valor 1,5; textura argilosa/muita argilosa valor 2,0; textura média/argilosa valor 2,5; textura arenosa/média valor 2,8; textura arenosa/argilosa valor 3,0; textura siltosa, arenosa e sedimentos fluviais valor 3,0.

Em função do nível de levantamento de solos da área de estudo, onde as unidades de mapeamento foram formadas por unidades simples e por associações de classes de solos diversos, nas últimas realizando-se a ponderação, ou seja, associando as proporções de ocorrência para os componentes de cada associação (Tabela 14). Com os valores atribuídos às classes de solo, foi elaborado o mapa numérico de solos (Figura 30).

Tabela 14 - Classes de solo e respectivos valores da escala de vulnerabilidade. Continua...

<b>Classes</b>	<b>Descrição das unidades de mapeamento</b>	<b>Valor de Vulnerabilidade</b>
LAd1	LATOSSOLO AMARELO, textura muito argilosa, relevo plano.	1.0
LAd2	LATOSSOLO AMARELO, textura argilosa relevo plano + ARGISSOLO AMARELO, textura média/argilosa relevo plano e suave ondulado.	1.6
LAd3	LATOSSOLO AMARELO, textura média relevo plano e suave ondulado+ ARGISSOLO AMARELO, textura média/argilosa relevo suave ondulado.	1.9
PAe1	ARGISSOLO AMARELO, textura média/argilosa relevo ondulado	2.5
PAe2	ARGISSOLO AMARELO, textura média/argilosa relevo ondulado + ARGISSOLO AMARELO textura arenosa/média relevo ondulado.	2.6
PAd1	ARGISSOLO AMARELO, textura média/argilosa relevo suave ondulado + LATOSSOLO AMARELO, textura média relevo plano e suave ondulado.	2.1

PAd2	ARGISSOLO AMARELO, textura média/argilosa relevo suave ondulado e ondulado + LATOSSOLO AMARELO, textura média relevo suave ondulado.	1.9
------	--	-----

Tabela 14 - Classes de solo e respectivos valores da escala de vulnerabilidade. Continuando.

PVAd1	ARGISSOLO VERMELHO, textura média/argilosa relevo suave ondulado e ondulado + ARGISSOLO AMARELO, textura argilosa relevo ondulado.	2.5
PVAd2	ARGISSOLO VERMELHO AMARELO, textura média/argilosa relevo forte ondulado + LATOSSOLO AMARELO, textura argilosa relevo forte ondulado.	2.1
PVAd3	ARGISSOLO VERMELHO AMARELO, textura média/argilosa relevo forte ondulado + LATOSSOLO AMARELO, textura argilosa relevo forte ondulado.	2.1
GXbd	GLEISSOLO HÁPLICO, textura argilosa relevo plano.	3.0

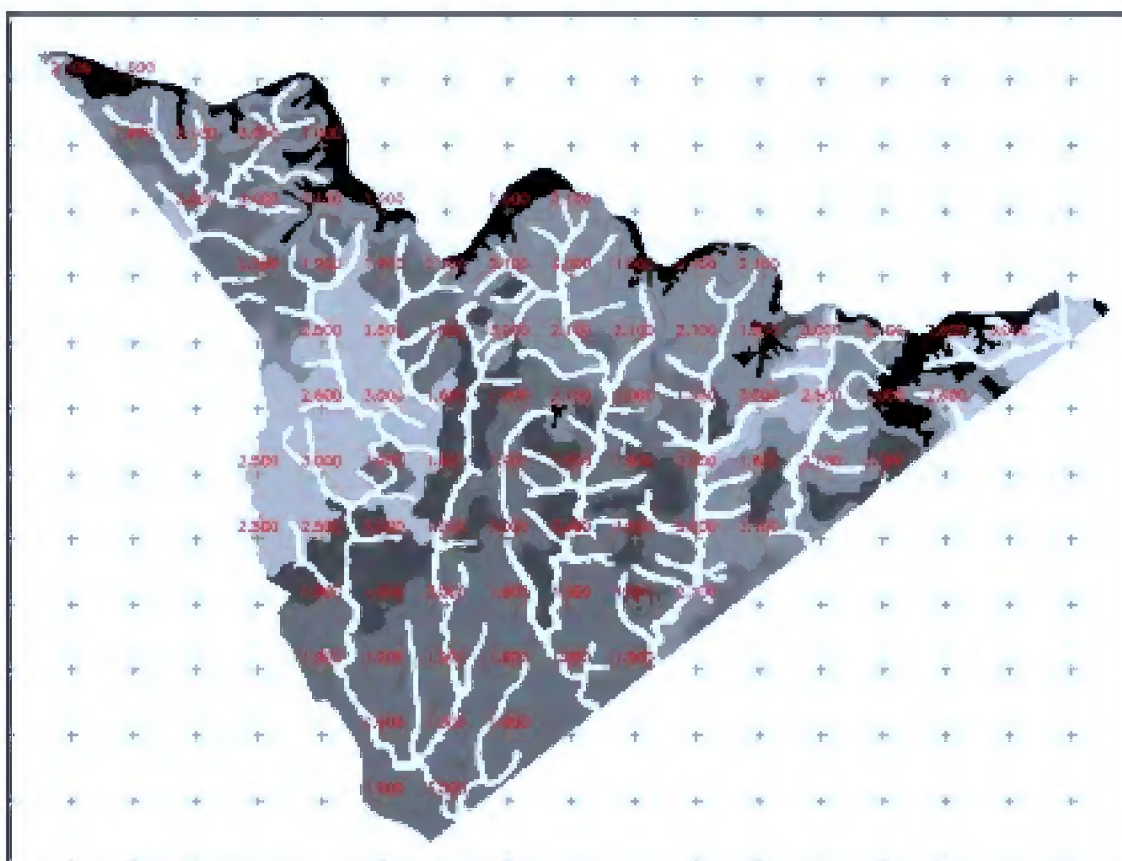


Figura 30 - Conversão do mapa temático de solo em mapa numérico, com a atribuição dos respectivos valores (pesos) às unidades de mapeamento, a partir do programa LEGAL (Spring).

Quanto ao relevo foram considerados basicamente o grau de dissecação e de declividade apoiados nas cartas planialtimétricas, imagens orbitais e observações de campo, para cada unidade geoambiental, conforme adotado por Crepani et al. (2001) e

Carvalho et al. (2003). As superfícies pediplanadas com topos e chapadas com relevo plano do Planalto Dissecado Gurupi-Grajaú, receberam o valor 1,0; As superfícies dissecadas com topos convexos em relevo forte ondulado do Planalto Gurupi-Grajaú, receberam o valor 3,0. As superfícies dissecadas com topos convexos em relevo ondulado Capim-Moju, receberam valor 2,5. As superfícies dissecadas com topos convexos em relevo suave ondulado e ondulado Depressão de Imperatriz, receberam valor 2.1. As superfícies de topos tabulares em relevo plano e suave ondulado da Depressão de Imperatriz, receberam valor 1.2 (Tabela 15). Com os valores atribuídos a essas unidades de mapeamento, foi elaborado o mapa numérico de geomorfologia (Figura 31).

Tabela 15 - Classes de geomorfologia e respectivos valores da escala de vulnerabilidade.

<b>Classes</b>	<b>Declividade</b>	<b>Altimetria</b>	<b>Valor de Vulnerabilidade</b>
Plano	0-3	340-370	1.0
Plano / suave ondulado	3-8	120-180	1.2
Suave/ondulado	8-15	180-230	2.1
Ondulado	15-25	230-260	2.5
Forte ondulado	25-45	260-340	3.0

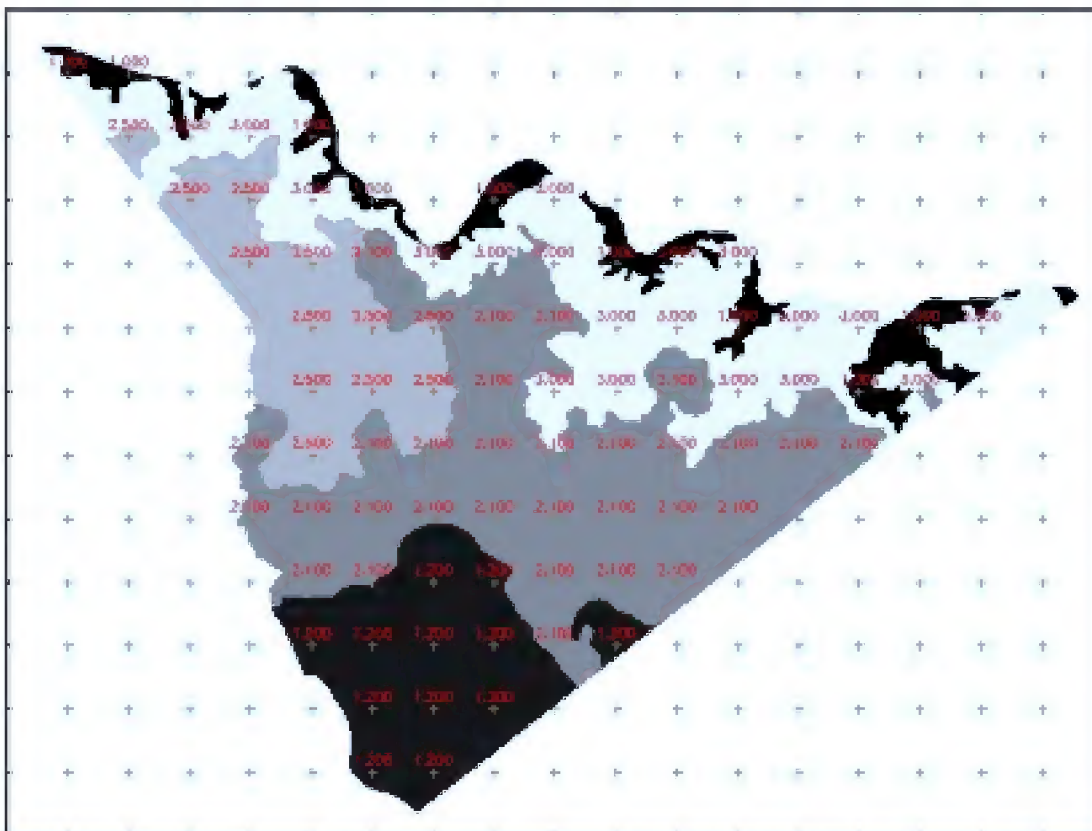


Figura 31 - Conversão do mapa temático de geomorfologia em mapa numérico, com a atribuição dos respectivos valores (pesos) às unidades de mapeamento, a partir do programa LEGAL (Spring).

A cobertura do solo representa a proteção do solo contra os efeitos dos processos modificadores das formas do relevo (erosão), e sua participação na caracterização da morfodinâmica da paisagem, está relacionada à sua capacidade de proteção ao solo. Para a vegetação foram adotados valores de acordo com a proteção oferecida ao solo, e em função da densidade da cobertura vegetal. Foram empregados valores de 1.0 para floresta densa, 3.0 para vegetação aluvial, 1.2 para capoeira alta, 1.5 para capoeira média, 2.0 para capoeira baixa, 3.0 para pastagens, independente do relevo. Para as associações foi feita a ponderação, associando as proporções de ocorrência para os componentes de cada unidade de mapeamento (Tabela 16). Com os valores atribuídos às classes de cobertura vegetal e uso da terra, foi elaborado o mapa numérico do mesmo (Figura 32).

Tabela 16 - Classes de Cobertura vegetal e uso da terra e respectivos valores da escala de vulnerabilidade.

<b>Classes</b>	<b>Descrição das unidades de mapeamento</b>	<b>Valor de Vulnerabilidade</b>
Ds	Floresta	1.0
Va	Vegetação com influência fluvial (aluvial)	3,0
Ca	Capoeira alta	1.2
Cm	Capoeira média	1.5
Cb	Capoeira baixa	2.0
Ap	Pastagem	3.0
Ap+Vs	Pastagem + Vegetação secundária	2.4
Vs+Ap	Vegetação secundária + Pastagem	2.1

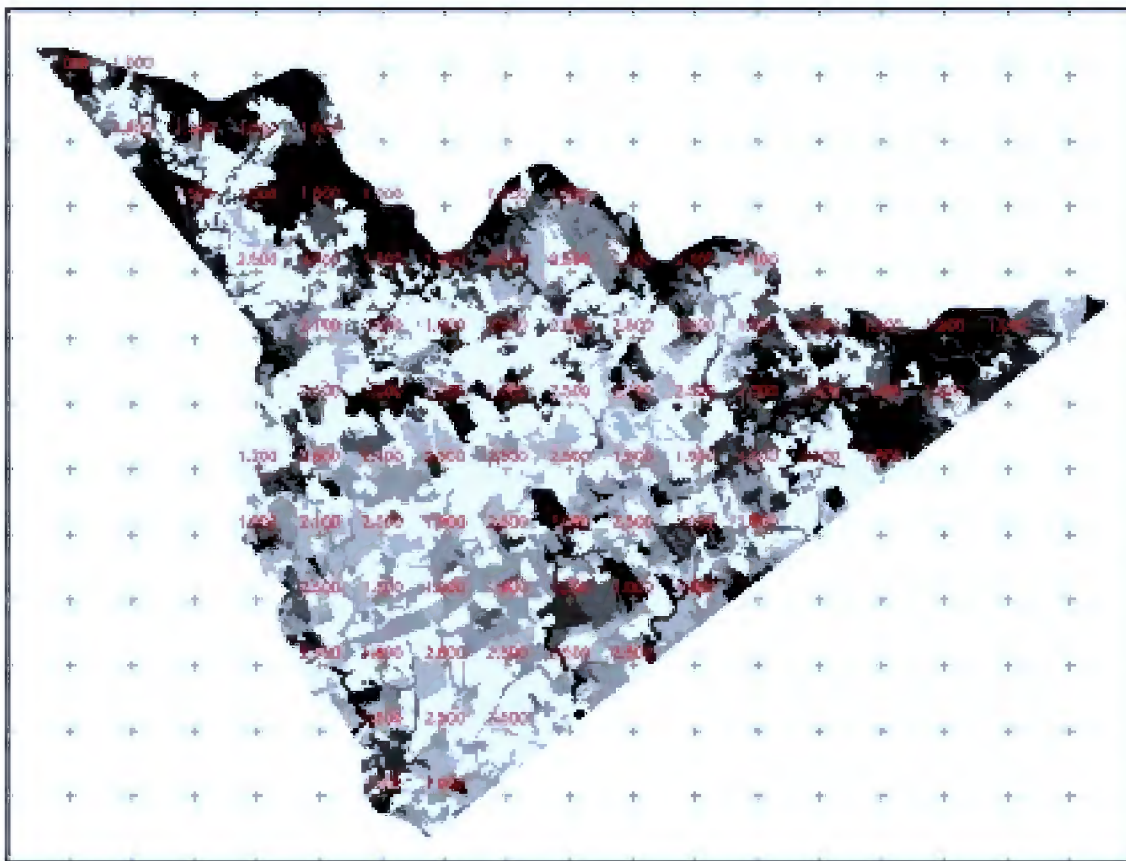


Figura 32 - Conversão do mapa temático de cobertura vegetal e uso da terra em mapa numérico, com a atribuição dos respectivos valores (pesos) às unidades de mapeamento, a partir do programa LEGAL (Spring).

As condições de clima da região norte do Brasil, segundo a classificação de Köppen são representadas pelos tipos climáticos Af e Am, onde a precipitação pluviométrica total média anual é superior a 2.000mm e o Aw com precipitação pluviométrica total média anual igualmente inferior a 2.000mm (SUDAM, 1984). Na região do município de Abel Figueiredo predomina as condições do clima Aw, sendo atribuído valor 2.0, por apresentar precipitação pluviométrica total média anual abaixo de 2.000mm, apresentando menor ação ao processo erosivo, em virtude de seu regime pluviométrico que se caracteriza pela ausência de chuva durante a maior parte do ano, tendo o trimestre de janeiro à março como o período mais chuvoso.

A integração final dos meios físico-biótico-antrópico com a finalidade de elaborar o mapa de vulnerabilidade foi obtido por meio da análise integrada das unidades de mapeamento das classes individuais de cada tema, representada por parâmetros do meio físico (geologia, geomorfologia, solos, clima) com parâmetros do meio biótico (cobertura



vegetal e uso da terra). A análise resultante, considerando a média aritmética entre os valores individuais obtidos dos temas para cada unidade de paisagem (unidade geoambiental), permitiu a elaboração do mapa com os atributos finais correspondentes a escala de valores de vulnerabilidade à erosão (Tabela 17), onde foram determinadas 05 (cinco) classes de vulnerabilidade/estabilidade à erosão aos processos erosivos para a área do município de Abel Figueiredo, Pará: estável, moderadamente estável, medianamente estável/vulnerável, moderadamente vulnerável e vulnerável (Figura 33).

Tabela 17 - Grau de Vulnerabilidade e/ou Estabilidade das classes à Erosão.

Unidade de Paisagem	Escala de Vulnerabilidade	Grau de Vulnerabilidade	Área	
			ha	%
U1	1.0 1.4	Estável	2.789,49	4,47
U2	1.4 1.8	Moderadamente Estável	8.245,53	13,21
U3	1.8 2.2	Medianamente Estável / Vulnerável	23.510,56	37,68
U4	2.2 2.6	Moderadamente Vulnerável	18.677,23	29,93
U5	2.6 3.0	Vulnerável	9.176,59	14,71

Fonte: Modificada de Crepani et al., (2001).

*Classe Estável* Corresponde a uma parcela da área de estudo com uma superfície de aproximadamente 2.789,49 ha, equivalente a 4,47% do município, onde ocorrem solos mais desenvolvidos, bem profundos, da classe Latossolo Amarelo, em relevo plano a suave ondulado e cobertura vegetal de floresta, sob processo de exploração florestal, onde predomina o processo de pedogênese. São áreas com boa capacidade produtiva no uso dos recursos naturais do solo, apresentando boa retenção de água, solos bem profundos de baixa fertilidade natural, não susceptível ao risco de erosão.

*Classe moderadamente estável* compreende a uma porção da área, com uma superfície de aproximadamente 8.245,53 ha, equivalendo a 13,21% da área de estudo, onde ocorrem solos profundos e muito profundos representados pelas classes dos Latossolos Amarelos de textura argilosa e média e dos Argissolos Amarelos de textura média/argilosa, com predominância da fração areia nesses solos, ambos em relevo plano e suave ondulado e cobertura da vegetação secundária (capoeira alta e média), propiciando que haja dominância de processos de pedogênese. São áreas capazes de suportar atividades produtivas com uso dos recursos de solos, tendo boa retenção de água, de fertilidade

natural baixa, pouco susceptível à erosão, devido à proteção da vegetação e forma do relevo.

*Classe medianamente estável/vulnerável* Compreende uma área com uma superfície de aproximadamente 23.510,56 ha, equivalendo a 37,68%, onde ocorre ambientes com interferência permanente de processos de pedogênese e de morfogênese, atuando de maneira concorrente no mesmo espaço. Trata-se de um ambiente susceptível à erosão, cuja exploração em atividades agrícolas fica comprometida. As classes de solos encontradas na área são os Argissolos Amarelos de textura média/argilosa e Latossolos Amarelos de textura argilosa, em relevo ondulado e suave ondulado, respectivamente, apresentando-se susceptíveis à erosão com cobertura vegetal secundária e pastagens. Na área predominam solos de baixa e média fertilidade natural, com elevado conteúdo da fração areia nos horizontes superficiais, onde ocorre acumulação de argila, isto é, durante o processo de formação do solo uma boa parte da fração argila migrou por eluviação do horizonte A para o horizonte B, onde se acumulou. A diferença textural entre os horizontes A e B, dificulta a infiltração de água no perfil, o que favorece os processos erosivos, representado uma área com baixa capacidade produtiva pelo uso dos recursos naturais em atividades agrícolas.

*Classe moderadamente vulnerável* Esta classe corresponde a uma área superficial de aproximadamente 18.677,23 ha, equivalente a 29,93% da área de estudo. A cobertura vegetal é constituída por vegetação secundária (capoeira baixa) e pastagens formadas após a derrubada e queimada da floresta, para criação extensiva do gado bovino. São áreas que apresentam problemas quanto à capacidade dos recursos naturais de solos, onde ocorrem em algumas áreas desmatamento das encostas mais íngremes propiciando a aceleração de processos erosivos. Os solos profundos e medianamente profundos são representados pelos Argissolos Vermelho Amarelo de textura média/argilosa, com conteúdo elevado da fração areia no horizonte A, decrescendo em profundidade, caracterizando um acúmulo do conteúdo da fração argila no horizonte B, em relevo forte ondulado e ondulado. A diferença textural acentuada entre os horizontes A e B, dificulta a infiltração de água no perfil, propiciando a intensificação dos processos erosivos.

*Classe vulnerável* Esta classe corresponde a uma área superficial de aproximadamente 9.176,59 ha, equivalente a 14,71% da área de estudo. Compreende as áreas vulneráveis aos processos erosivos naturais, ocupando as planícies aluviais,

submetidos à influência fluvial e pluvial, onde predomina a instabilidade geomorfológica. A vegetação é constituída por formações adaptadas às condições de várzeas inundáveis, com capacidade bioestabilizadoras para evitar o deslocamento dos sedimentos. Na área predomina o processo de morfogênese, recobertas por solos representados pelos Gleissolos e Neossolos Flúvicos, bem como a presença acentuada de pasto ao longo da rede hidrográfica. A capacidade produtiva dos recursos naturais, nessa área é mínima, sendo recomendada para a recuperação da mata ciliar e preservação ambiental.

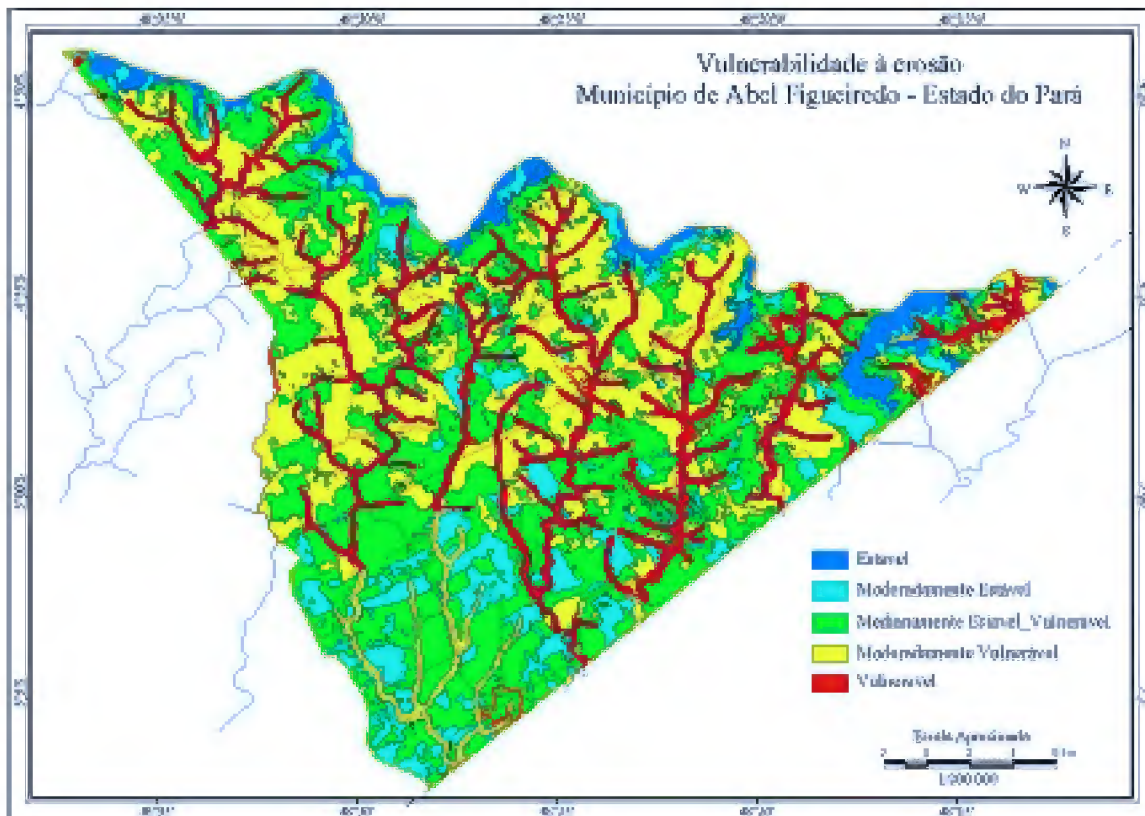


Figura 33 - Classes de vulnerabilidade à erosão das terras do município de Abel Figueiredo, Estado do Pará.

Este mapa pode ser usado como uma ferramenta para subsidiar na definição e implementação de políticas públicas no âmbito da ocupação e uso adequado do solo, bem como na preservação, quando necessário, de áreas inadequadas para o desenvolvimento de atividades agropecuárias.

## 5 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Com base nos dados e informações obtidos pode-se fazer as seguintes conclusões.

1. Mais da metade da superfície territorial da área de estudo apresenta-se medianamente a moderadamente vulnerável aos processos de perda de solo, em virtude da presença de solos profundos a medianamente profundos com concentração elevada da fração areia e substituição da cobertura vegetal por pastagem, muitas vezes ao longo da rede hidrográfica e nas encostas com percentual de declividade acentuado. As formas de relevo apresentam áreas com diferenças acentuadas de amplitude altimétrica e declividade, aonde a perda de solo vem ocorrendo ora em virtude de processos naturais, ora pela falta da cobertura vegetal;
2. O desmatamento vem se expandindo como consequência da intervenção antrópica, constituindo-se no fator que mais degrada o meio ambiente do Município de Abel Figueiredo. A elaboração de trabalhos dessa natureza (Crepani, 2001; Carvalho, 2003) que tem como objetivo caracterizar o estado atual da paisagem, facilitou a adaptação e desenvolvimento de metodologias e técnicas aplicados na execução do presente trabalho;
3. No que diz respeito à aplicabilidade e utilização de produtos e técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento, respectivamente, bem como dos métodos de análise dos dados, foi observado que tais ferramentas demonstraram sua eficácia nos ajustes e complementação dos mapas temáticos e na realização de estudos dessa natureza;
4. O mapa de vulnerabilidade à erosão, possibilitou indicar 05 (cinco) classes de vulnerabilidade/estabilidade aos processos de perda de solo, tais como:
  - As classes estável e moderadamente estável, apresentam boa capacidade produtiva dos recursos naturais pelo predomínio do processo de pedogênese nessas áreas;

- Já a classe medianamente estável/vulnerável, apresenta baixa capacidade produtiva devido à interferência permanente dos processos de pedogênese e morfogênese, onde os processos erosivos são favorecidos;
  - As classes moderadamente vulnerável e vulnerável, apresentam problemas de limitações quanto à capacidade produtiva dos recursos naturais, pela presença de declividades acentuadas, áreas inundáveis e substituição da cobertura vegetal por pasto ao longo de margens de rios e igarapés, sendo essas áreas indicadas para preservação ambiental e recuperação da mata ciliar;
5. A metodologia e técnicas adotadas na elaboração deste trabalho para obtenção do mapa de vulnerabilidade à erosão, mostraram-se bastante eficazes no que diz respeito a sua aplicabilidade. Este produto, que reflete o estado atual da paisagem, apresenta-se como uma ferramenta indispensável no ordenamento territorial, podendo também ser usado para evitar o uso inadequado dos recursos naturais;

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AQUINO, Luiz Henrique Muniz de; PINTO, Sérgio dos Anjos Ferreira. **Caracterização de indicadores de erosão na bacia do rio Santa Bárbara, entorno imediato do reservatório de Peti.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 05-10 abril, 2003, Belo Horizonte. Anais XI, São José dos Campos: INPE, p.1255-1262.

BECKER, B. K.; EGLER, C. A. G. **Detalhamento da metodologia para execução do zoneamento ecológico-econômico pelos Estados da Amazônia Legal.** Rio de Janeiro: LAGET/UFRJ, 1997, 43 p.

CAMARGO, M. N.; RODRIGUES, T. E. **Guia de excursão do XVII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo.** Rio de Janeiro: Embrapa-SNLCS, 1979. 72 p.

CAVALCANTI, C. **Sustentabilidade da economia: paradigmas alternativos de realização econômica.** In: **A economia da sustentabilidade: princípios, desafios, aplicações.** Recife: Fundação Joaquim Nabuco: Instituto de Pesquisas Sociais, 1994. p. 12-15

CARVALHO, Gleuba Maria Borges de Souza; SOUZA, Marcos José Nogueira de.; SANTOS, Silvania Maria dos. **Análise da vulnerabilidade à erosão: Bacias dos rios Aracatiaçu e Aracatimirim (CE).** In. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 05-10 abril, 2003, Belo Horizonte. Anais XI, São José dos Campos: INPE, p. 1281-1288.

CBERS (Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Naturais). banco de dados. [on line]. Disponível em <<http://www.cbbers.inpe.br>>. Acesso em Jun. 2004.

COELHO, M. C. N. **Desenvolvimento sustentável, economia política do meio ambiente e a problemática ecológica da Amazônia.** In: D'INCAO, M. A.; SILVEIRA, I. M. (Org.) **Amazônia e a crise da modernização.** Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, 1994. p. 381-387.

- COLEMAN, N. T.; THOMAS, G. W. The basic chemistry of soil acidity. In: PHARSON, R. W.; ADAMS, F. (Ed.). **Soil acidity and liming**. Madison: American Society of Agronomy, 1967. p. 1-41.
- CONGALTON, R; GREEN, K. **Assessing the Accuracy of remotely Sensed Data: Principles and Practices**. Lewis Publishers, USA. 1999.
- COSTANZA, R. (Ed). **Ecological economics: the science and management of sustainability**. New York: Columbia University, 1991. p. 331-343.
- CREPANI, E.; SANTOS, A. R. dos. **Erosion of the Upper Taquari Basin and the sediment accumulation in the Pantanal Mato-Grossense**. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF RESOURCE AND ENVIRONMENTAL MONITORING. Rio de Janeiro, sept. 26-30, 1994.
- CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; HERNANDES FILHO, P. **Uso de sensoriamento remoto no zoneamento ecológico econômico**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 1996, Salvador. Anais... São José dos Campos: INPE, 1996. 1CD.
- CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S. de.; FILHO, P. H.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C. C. F. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos SP. 2001. (INPE-8454-RPQ/722).
- CREPANI, E.; DUARTE, V.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento no mapeamento regional da cobertura vegetal e uso atual da terra**. São José dos Campos SP. 2001. 25 p. (INPE PUD).
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos e avaliação da aptidão agrícola das terras da área do Pólo Tapajós**. Rio de Janeiro, 1983. 284 p.
- EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Úmido, Belém, PA. **Pesquisa sobre utilização e conservação do solo na Amazônia Oriental**. Belém PA, 1986. 291 p. (Embrapa-CPATU, Doc. 40)

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Definição e notação de horizontes e camadas do solo**. Rio de Janeiro, 1988. (Embrapa-SNLCS. Documentos, 3).

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Procedimentos normativos de levantamentos pedológicos**. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS; Brasília: Embrapa-SPI, 1995. 116 p.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo** / Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p. (Embrapa-CNPS)

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos: 5ª aproximação**. Rio de Janeiro, 1999. p. 412.

FAO/NETHERLANDS. **Conference on agriculture and the environment**, S Hertogen-Bosch, Netherlands, 15-19 April 1991. Report of the conference. Vol. 2.

FONSECA, E. L. da.; OLIVEIRA, J. C. de.; RIZZI, R. **Avaliação da identificação de áreas com cultivos agrícolas para fins de previsão de safras utilizando procedimentos de classificação digital de imagens do sensor TM/Landsat 5**. In. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2001, Foz do Iguaçu. Anais X, São José dos Campos: INPE, 1CD.

GALAN, B. B. **Participación campesina para una agricultura sostenible en países de América Latina**. Roma: FAO, 1994. 48p. (Participación Popular n. 7).

GUERRA, A. J. T. (1991b). **Avaliação da influência das propriedades do solo na erosão com base em experimentos utilizando um simulador de chuvas**. In: SIMPÓSIO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA. IV Anais, Porto Alegre, p. 260-266.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 4. ed. Rio de Janeiro RJ: Bertrand, 2001. p. 154-161.



HEDLEY, M. J.; STEWART, J.W. B.; CHAUCHAN, B. C. Changes in inorganic and organic soil phosphorus fractions induced by cultivation practices and laboratory incubations. **Soil Science Society American Journal**, v. 46, n.5, p. 970-976. 1982.

IBGE. **Manual técnico de uso da terra** (manuais técnicos em geociências nº 7). Rio de Janeiro RJ, 1999. p. 58.

IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira** (série manuais técnicos em geociências nº 1). Rio de Janeiro RJ, 1992. p. 92.

LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v. 33, n. 1, p. 159-174, 1977.

LAURANCE, W. F. et al. **The future of the Brazilian Amazon. Science**. 19; 291: 2001. 438-439 p.

LEMOS, R. C., SANTOS, R. D. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 3. ed. Campinas: SBCS, 1996.

LIMA, Mário Ivan Cardoso de. **Introdução à interpretação radargeológico** / Mário Ivan Cardoso de Lima. Rio de Janeiro: IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1995. 124 p. (Manuais Técnicos em Geociências nº 3).

LOPES, A. S.; GUIDOLIN, J. **A interpretação de análise de solo: conceitos e aplicações**. São Paulo: ANDA, 1989. 50 p.

LOUREIRO, Rui Lopes de. **Vegetação: Relatório da operação de campo na folha SB.22-Araguaia**. IBGE/SIVAM. Belém PA. 2001.

M LLER, S. I. M. **Comparação entre os métodos de máxima verossimilhança, distância mínima e o método de Fisher para reconhecimento de padrões em imagens coloridas**. 1997. p. 37-48. Dissertação de Mestrado - ITA, São José dos Campos, 1997.

MONTESI, E. C.; BATISTA, G. T. **Avaliação de dados do satélite CBERS para o mapeamento de produção agrícola ao nível municipal**. In. SIMPÓSIO BRASILEIRO

- DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2003, Belo Horizonte, 05-10 abril, 2003, Belo Horizonte. Anais XI, São José dos Campos: INPE, p. 181-188.
- NAGAI, H. **Ecologia: fatos e mitos.** In: SIMPÓSIO DE AGRICULTURA ECOLÓGICA, 1993, Campinas. Anais Campinas: Cargil, 1993. p. 37-48.
- NEPSTAD, D. et al. **Road paving, Fire regime feedbacks, and the future of amazon Forest.** Forest Ecology and Management, 5524: 1-13. 2001.
- NOVO, Evlyn M. L. de M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações.** 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher LTDA. 1993. 294 p.
- RADAMBRASIL, Departamento Nacional da Produção Mineral. **Levantamento de Recursos Naturais. Folha SA-22-Belém: geologia, geomorfologia, pedologia e vegetação.** Rio de Janeiro. 1974.
- RADAMBRASIL, Departamento Nacional da Produção Mineral. **Levantamento de Recursos Naturais. Folha SA-24-Fortaleza: geologia, geomorfologia, pedologia e vegetação.** Rio de Janeiro. 1973.
- RODRIGUES, T. E.; SILVA, B. N. R. da; FALESI, I. C.; REIS, R. S. Dos; MORIKAWA, I. K; ARAÚJO, J. V. **Solos da rodovia PA 70: trecho Belém Brasília Marabá.** Belém: (IPEAN. Boletim Técnico, 60).
- ROSA, R. **Introdução ao sensoriamento remoto.** 5. ed. Uberlândia, UFU, 2003.
- ROSA, R.; BRITO, J. L. **Introdução ao Geoprocessamento: Sistema de Informação Geográfica.** Uberlândia, UFU, 1996.
- ROSENFELD, G. H.; FITZPATRICK-LINS, K. A coefficient of agreement as a measure of thematic classification accuracy. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing.** v. 52, n. 2, p.223-227, 1986.
- SALES, Gil Mendes. **Ecologia da paisagem da Ilha do Mosqueiro, no Estado do Pará.** 2005. 103 p. Dissertação de mestrado Universidade Federal do Pará, Belém PA. 2005.

- SANCHES, P. A.; LOGAN, I. J. Myrths and science about the chemistry and fertility of soils in the tropics. In: LAL, R.; SANCHES, P. A. (Ed.). **Myrths and science of soils of the tropics**. Madison: Soil Science Society of America, 1992. p. 18-33.
- SANTOS, C. R.; CASTANHO, R. B.; ROSA, R.; ROSENDO, J. S. **Geoprocessamento e o sensoriamento remoto aplicados na análise ambiental da microbacia hidrográfica do arroio capivara/MG**. Universidade Federal de Uberlândia MG. 2004.
- SANTOS; CANDEIAS. **Relação entre o relevo e as classes texturais do solo na microbacia hidrográfica de Vaca Brava, PB**. Universidade Federal de Pernambuco, 2002. Disponível em [www.prudente.unesp.br/rbc/pdf\\_54\\_2002/54\\_09.pdf](http://www.prudente.unesp.br/rbc/pdf_54_2002/54_09.pdf) >. Acesso em Mar. 2004.
- SANTOS, P. L. dos. **Zoneamento agroedafoclimático da Bacia do Rio Candiru-Açu, Pará**. 1993. 153 p. Tese (Mestrado) Faculdade de Ciências Agrárias do Pará, Belém.
- SILVA, J. M. L. da.; VALENTE, M. A.; RODRIGUES, T. E.; PONTE, F. C. da, **Levantamento de reconhecimento de alta intensidade dos solos do Município de Abel Figueiredo Pará**, 2002 (Embrapa Amazônia Oriental. Doc. 132).
- SOARES, D. M.; FREITAS, M. W. D. de.; ARRAUT, E. M. **Análise comparativa entre imagens dos sensores CCD/CBERS e ETM+/LANDSAT na classificação da cobertura vegetal no semi-árido brasileiro**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16-21 abril, 2005, Goiânia, Brasil. Anais XII, INPE, p.1091 - 1098.
- SOUSA, C. J. da S. de. **Carta de vulnerabilidade a erosão como subsídio ao zoneamento ecológico-econômico em áreas intensamente antropizada**. 1999. Dissertação de mestrado Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos - SP.
- SOUZA, André Luiz Lopes de. **Desenvolvimento sustentável, manejo florestal e o uso dos recursos madeireiros na Amazônia: desafios, possibilidades e limites**. Belém: UFPA/NAEA, 2002. 302 p.

SPRING (Sistema de Processamento de Informações Geográficas). Banco de dados. [on line]. Disponível em <<http://www.dpi.inpe.br/spring>>. Acesso em Nov. 2004.

SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission - NASA). Banco de dados. [on line]. Disponível em <[ftp://edcsgs9.cr.usgs.gov/pub/data/srtm/South\\_America](ftp://edcsgs9.cr.usgs.gov/pub/data/srtm/South_America)> . Acesso em Set. 2004.

SUDAM. Projeto de Hidrologia e Climatologia da Amazônia. **Atlas climatológico da Amazônia brasileira**. Belém - PA, 1984. 125p. (SUDAM. Publicação, 39)

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE, 1977. 91 p. (Recursos Naturais e Meio Ambiente, 1).

WATRIN, Orlando dos Santos. **Dinâmica da paisagem na Amazônia Oriental utilizando técnicas de geoprocessamento**. 1994. 146 p. Dissertação de mestrado Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos SP. 1994.

## ANEXOS

### Anexo 1

```
{
//Programa 1 - Conversão de mapas temáticos em mapas numéricos através do operador
PONDERE

//Declaração das variáveis que receberão os PI's

Tematico Entradageologia2      ("geologia2");
Tematico Entradageomorfologia  ("geomorfologia");
Tematico Entradapedologia      ("pedologia");
Tematico Entradauso            ("uso");

//Declaração das variáveis que receberão os PI's ponderados

Numerico geologia2Ponderado     ("mdt");
Numerico geomorfologiaPonderado ("mdt");
Numerico pedologiaPonderado     ("mdt");
Numerico usoPonderado           ("mdt");

//Declaração das variáveis que receberão as tabelas com os temas e seus respectivos
valores de estabilidade/vulnerabilidade

Tabela Tabgeologia2            (Ponderacao);
Tabela Tabgeomorfologia        (Ponderacao);
Tabela Tabpedologia            (Ponderacao);
Tabela Tabuso                  (Ponderacao);

//Instanciação
//Recuperação dos PI's de geologia2, geomorfologia, pedologia e uso

Entradageologia2              = Recupere (Nome = "geologia2");
Entradageomorfologia          = Recupere (Nome = "geomorfologia");
Entradapedologia              = Recupere (Nome = "pedologia");
Entradauso                    = Recupere (Nome = "uso");

//Associação das variáveis que receberão os PI's ponderados, com os novos PI's

geologia2Ponderado            = Novo (Nome = "geol_pond", ResX = 10, ResY = 10,
Escala = 100000, Min = 1.0, Max = 3.0);
geomorfologiaPonderado        = Novo (Nome = "geom_pond", ResX = 10, ResY = 10,
Escala = 100000, Min = 1.0, Max = 3.0);
pedologiaPonderado            = Novo (Nome = "pedologia_pond", ResX = 10, ResY = 10,
Escala = 100000, Min = 1.0, Max = 3.0);
usoPonderado                  = Novo (Nome = "uso_pond", ResX = 10, ResY = 10, Escala
= 100000, Min = 1.0, Max = 3.0);
```

//Associação das variáveis que receberão as tabelas de ponderação

```
Tabgeologia2      = Novo (CategoriaIni = "geologia2",  
                          "Itapecuru" : 2.0,  
                          "Barreiras" : 2.0,  
                          "Aluvionares" : 3.0);
```

```
Tabgeomorfologia = Novo (CategoriaIni = "geomorfologia",  
                          "A" : 1.0,  
                          "B" : 3.0,  
                          "C" : 2.5,  
                          "D" : 2.1,  
                          "E" : 1.2);
```

```
Tabpedologia      = Novo (CategoriaIni = "pedologia",  
                          "LAd1" : 1.0,  
                          "LAd2" : 1.6,  
                          "LAd3" : 1.9,  
                          "PAe1" : 2.5,  
                          "PAe2" : 2.6,  
                          "PAd1" : 2.1,  
                          "PAd2" : 1.9,  
                          "PVAd1" : 2.5,  
                          "PVAd2" : 2.1,  
                          "PVAd3" : 2.1,  
                          "GXbd" : 3.0);
```

```
Tabuso = Novo (CategoriaIni = "uso",  
               "floresta" : 1.0,  
               "ca" : 1.2,  
               "cm" : 1.5,  
               "cb" : 1.8,  
               "Ap" : 2.5,  
               "Ap+Vs" : 2.1,  
               "Vs+Ap" : 1.9);
```

//Execução da operação de ponderação

```
geologia2Ponderado      = Pondere (Entradageologia2, Tabgeologia2);  
geomorfologiaPonderado = Pondere (Entradageomorfologia, Tabgeomorfologia);  
pedologiaPonderado     = Pondere (Entradapedologia, Tabpedologia);  
usoPonderado           = Pondere (Entradauso, Tabuso);  
}
```

## Anexo 2

```
{
//Programa 2 - Cálculo da média dos quatro PI's numéricos

//Declarações

Numerico Entradageologia2      ("mdt");
Numerico Entradageomorfologia  ("mdt");
Numerico Entradapedologia      ("mdt");
Numerico Entradauso            ("mdt");
Numerico Media4PI              ("mdt");

//Instanciação das variáveis

Entradageologia2      = Recupere (Nome = "geol_pond");
Entradageomorfologia  = Recupere (Nome = "geom_pond");
Entradapedologia      = Recupere (Nome = "pedologia_pond");
Entradauso            = Recupere (Nome = "uso_pond");

//Novo PI de saída

Media4PI = Novo (Nome = "media4Pi1", ResX = 10, ResY = 10, Escala = 100000, Min =
1.0, Max = 3.0);

//Operação Aritimética (+ , e /)

Media4PI =
(Entradageologia2+Entradageomorfologia+Entradapedologia+Entradauso)/4;

}
```

### Anexo 3

```
{  
  
//Programa 3 Geração do Mapa de Vulnerabilidade Temática  
  
//Declarações  
  
Digital      VulnerabilidadeDigital      ("mdt");  
Tematico    VulnerabilidadeTematica    ("vulnerabilidade");  
Tabela      FatieNumTem                      (Fatiamento);  
  
//Recupere o PI Numérico  
  
VulnerabilidadeDigital = Recupere (Nome = "media4Pi1");  
  
//Cria novo PI Tematico  
  
VulnerabilidadeTematica = Novo (Nome = "vulnerabilidade", ResX = 10, ResY = 10,  
Escala = 100000, Repres = Raster);  
  
//Cria Tabela para Fatiamento (associa intervalos de valores a classes temáticas)  
  
FatieNumTem = Novo (CategoriaFim = "vulnerabilidade",  
                    [1.0,1.4] : "Estavel",  
                    [1.4,1.8] : "Moder_Estavel",  
                    [1.8,2.2] : "Median_Estavel_Vulner",  
                    [2.2,2.6] : "Moder_Vulner",  
                    [2.6,3.0] : "Vulneravel");  
  
//Operação gera PI Temático a partir de um PI Numerico e Tabela de Fatiamento  
  
VulnerabilidadeTematica = Fatie (VulnerabilidadeDigital, FatieNumTem);  
  
}
```