



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

INPE-6145-PUD/82

**CURSO DE SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO AO
ZONEAMENTO ECOLÓGICO-ECONÔMICO**

Edison Crepani
José Simeão de Medeiros
Luiz Guimarães de Azevedo*
Pedro Hernandez Filho
Tereza Gallotti Florenzano
Valdete Duarte

Metodologia desenvolvida para subsidiar o Zoneamento Ecológico-Econômico e capacitar os técnicos dos Estados da Amazônia Legal (Convênio SAE/INPE)

*(Consultor SAE/PR – Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República)

INPE
São José dos Campos
1996

RESUMO

Este trabalho apresenta uma metodologia para elaborar mapas de vulnerabilidade natural a erosão. O objetivo destes mapas é subsidiar o Zoneamento Ecológico-Econômico da Amazônia. Esta metodologia foi desenvolvida com base no conceito de Ecodinâmica e na utilização de imagens TM-Landsat (composições coloridas, 5, vermelho; 4, verde; 3, azul), que permitem uma visão sinótica e holística da paisagem. A análise e interpretação destas imagens é feita considerando os padrões fotográficos identificados pelas variações de cores, textura, forma, padrões de drenagem e relevo. A vulnerabilidade das unidades ambientais ou de paisagem é estabelecida através de uma escala de valores (de 1 a 3, um total de 21 classes), de acordo com a relação morfogênese/pedogênese, analisando cada um dos temas: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e clima.

Course on Remote Sensing Applied to the Ecologic-Economic Zoning

Abstract

This study introduces a methodology to produce maps of natural vulnerability to erosion. These maps are intended to give support to the Ecologic Economic Zoning of the Amazon Region. The methodology is based on the Ecodynamic concept and the use of TM-LANDSAT imagery (color composite, band 5, red; band 4, green; band 3, blue) which allows for both, synoptic and holistic understanding of the landscape. The analysis and interpretation of these images are based on photographic elements such as colour, texture, drainage and relief. Vulnerability of environmental entities or landscape is characterized by values ranging from one to three, for a total of 21 classes, according to the relationship between morphogenesis/pedogenesis, considering, for each entity, the following themes: geology, geomorphology, pedology, vegetation and climate.

SUMÁRIO

	Pág.
LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE TABELAS.....	xi
1-Introdução.....	1
2-A imagem TM-Landsat como “Âncora” para o zoneamento.....	2
3-As Unidades de Paisagem Natural.....	3
4-Os Polígonos de Ação Antrópica.....	4
5-Elaboração de uma carta de vulnerabilidade natural a erosão.....	5
5.1 - Associação do mapa preliminar das unidades de paisagem natural com dados auxiliares pré-existentes.....	5
5.2 - Critérios para atribuir valores de vulnerabilidade aos temas (Geologia, Geomorfologia, Pedologia, e a Vegetação) dentro de cada unidade de paisagem natural	8
5.2.1 - Geologia.....	8
5.2.2 - Geomorfologia.....	8
5.2.3 - Pedologia.....	12
5.2.3.1 - Unidade de paisagem natural onde ocorrem solos estáveis.....	12
5.2.3.2 - Unidade de paisagem natural onde ocorrem solos intermediários.....	12
5.2.3.3 - Unidade de paisagem natural onde ocorrem solos vulneráveis.....	13
5.2.3.4 - Relatório e os mapas de solos do projeto RADAM.....	13
5.2.4 - Vegetação.....	13
5.2.4.1 - Cobertura vegetal que favorece a estabilidade da unidade de paisagem natural.....	14
5.2.4.2 - Cobertura vegetal que favorece valores intermediários de vulnerabilidade a unidade de paisagem natural	14
5.2.4.3 - Cobertura vegetal que favorece a vulnerabilidade da unidade de paisagem natural.....	14
5.2.5 - Climatologia.....	14
5.3 - Representação Cartográfica da Carta de Vulnerabilidade Natural a Erosão.....	16
6 - Referências bibliográficas.....	17

LISTA DE FIGURAS

	Pág
1 - Mostra uma imagem de satélite TM/LANDSAT na composição 5R4G3B.....	6
2 - Mostra a delimitação das unidades de paisagem natural sobre a imagem TM.....	7
3 - Forma dos interflúvios (topos).....	9
4 - Modelo esquemático das sete classes morfométricas de relevo proposta nesta metodologia.....	10
5-Mapa indicativo que representa a superposição do Mapa MIR sobre o Mapa das Isoietas Médias Anuais do Brasil.....	15
6-Exemplo da representação da carta de vulnerabilidade natural a erosão.....	16

LISTA DE TABELAS

	Pág.
1 - Avaliação da vulnerabilidade das unidades de paisagem natural.....	7
2 - Valores de vulnerabilidade das unidades de paisagem natural.....	8
3 - Classes dos índices morfométricos.....	10
4 - Matriz dos índices de dissecação do relevo (Projeto Radam).....	11
5 - Representação da vulnerabilidade e/ou estabilidade das unidades de paisagem natural.....	17

1 - INTRODUÇÃO

Neste trabalho é apresentada uma metodologia para capacitar técnicos dos estados da Amazônia Legal na elaboração da primeira fase do Zoneamento Ecológico Econômico desta região. Assim, através da aplicação desta metodologia é possível gerar cartas de vulnerabilidade natural a erosão para subsidiar o Zoneamento Ecológico Econômico da Amazônia.

Esta metodologia foi desenvolvida a partir do conceito de ecodinâmica de Tricart (1977), baseado na relação morfogênese/pedogênese, e da potencialidade, para estudos integrados, das imagens TM-LANDSAT uma vez que permitem uma visão sinótica e holística da paisagem.

Dessa forma, de acordo com essa metodologia, primeiramente é elaborado um mapa de unidades homogêneas de paisagem, obtido através da análise e interpretação de imagens TM-LANDSAT (na escala de 1:250.000 e em composição colorida com as bandas 3, 4 e 5 associadas com as cores azul, verde e vermelho, respectivamente) considerando os padrões fotográficos identificados pelas variações de cores, textura, forma, padrões de drenagem e relevo. Em seguida, são realizadas associações das informações temáticas auxiliares preexistentes (mapas geológicos, geomorfológicos, pedológicos, de cobertura vegetal e dados climatológicos) com o mapa preliminar de unidades homogêneas obtido das imagens. Esta associação permite caracterizar tematicamente as unidades ambientais ou de paisagens.

Posteriormente, é feita uma classificação do grau de estabilidade ou vulnerabilidade de cada unidade ambiental, segundo as relações entre os processos de morfogênese e pedogênese. A vulnerabilidade é expressa pela atribuição de valores de estabilidade (de 1 a 3, um total de 21 valores) para cada unidade ambiental. Com este procedimento metodológico é possível elaborar cartas de vulnerabilidade natural a erosão, na escala de 1:250.000.

Durante o período de novembro de 1994 a outubro de 1995 o INPE, em convênio com a SAE/PR (Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República), desenvolveu projeto de treinamento de equipes multidisciplinares, em todos os Estados da Amazônia Legal, dentro do Projeto de Zoneamento Ecológico-Econômico da Amazônia. A partir das Comissões Estaduais de Zoneamento Ecológico-Econômico, cada estado definiu uma área prioritária, dentro de seu território, e a equipe a ser treinada.

Na composição de cada equipe multidisciplinar procurou-se, sempre que possível, contar com a participação de profissionais atuantes nos diversos temas a serem integrados: Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação e Climatologia.

A metodologia aplicada no curso de treinamento foi concebida visando o mapeamento de todo o território da Amazônia Legal mas pode ser aplicada em todo território nacional, uma vez que tem como "âncora" as imagens TM/LANDSAT.

No estágio atual do treinamento realizado pelo INPE foram atendidos os 9 Estados da Amazônia Legal, com o treinamento de 115 técnicos; 9 folhas da carta do Brasil na escala de 1:250.000 estão sendo concluídas com o tema "vulnerabilidade natural a erosão".

Na avaliação da metodologia apresentada e do treinamento oferecido pode-se afirmar que houve grande aceitação por parte dos técnicos e especialistas das equipes estaduais do ZEE.

O treinamento deverá ser reiniciado futuramente com a abordagem dos polígonos de ação antrópica (uso da terra) e de procedimentos para a geração de cartas de sustentabilidade. Finalmente, é importante enfatizar que os procedimentos apresentados neste trabalho seguem as orientações das Diretrizes Metodológicas e Patamar Mínimo para o Zoneamento Ecológico-Econômico (SAE/PR-CCZEE, 1991). Também foi sugerido por Becker e Egler (1996) que os procedimentos metodológicos desenvolvidos pelo INPE devem ser ponto de referência para aprofundar a avaliação das unidades de paisagem natural, bem como elemento fundamental para compor a carta síntese de propostas de zoneamento para os estados da Amazônia Legal.

2 - A IMAGEM TM-LANDSAT COMO "ÂNCORA" PARA O ZONEAMENTO

Dentro dessa abordagem metodológica de promover a integração de dados sobre uma imagem que possa ser interpretada, as **unidades territoriais básicas** de um zoneamento ecológico-econômico podem ser divididas em duas categorias: as "**unidades de paisagem natural**" e os "**polígonos de ação antrópica**".

As unidades de paisagem natural são definidas sobre as imagens a partir da interpretação dos seus elementos básicos: elementos de textura, de relevo, de drenagem, e tonalidades de cinza ou matizes de cores.

Os polígonos de ação antrópica correspondem às feições decorrentes da intervenção humana na paisagem, manifestada na forma de alterações na tonalidade de cinza ou matizes de cores, dentro de padrões característicos.

A delimitação das unidades territoriais básicas sobre uma imagem de satélite permite o acesso às informações que as diferentes resoluções (espacial, temporal e radiométrica) da imagem podem oferecer, ao contrário do simples cruzamento de informações, gerado a partir de dados de diferentes escalas, épocas, e metodologias de trabalho, que nem sempre apresentam um resultado consistente para um determinado momento.

Segundo Becker e Egler (1996), as **unidades territoriais básicas** são as células elementares de informação e análise para o zoneamento ecológico econômico. Como em um ser vivo, cada célula contém um conjunto de informações fundamentais à manutenção e à reprodução da vida e compõe um tecido que desempenha determinadas funções em seu desenvolvimento. 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 complexa rede integrada por outras unidades territoriais.

3 - AS UNIDADES DE PAISAGEM NATURAL

As unidades de paisagem natural, definidas a partir de critérios de fotointerpretação sobre a "âncora" representada pelas imagens orbitais, devem ser analisadas à luz de suas características genéticas e daquelas relacionadas à sua interação com o meio ambiente, para que se possa conhecer e classificar sua capacidade de sustentação à ação humana.

Para se analisar uma unidade de paisagem natural é necessário conhecer sua gênese, constituição física, forma e estágio de evolução, bem como o tipo da cobertura vegetal que sobre ela se desenvolve. Estas informações são fornecidas pela Geologia, Geomorfologia, Pedologia e Fitogeografia e precisam ser integradas para que se tenha um retrato fiel do comportamento de cada unidade frente à sua ocupação. Finalmente, é necessário o auxílio da Climatologia para que se conheçam algumas características climáticas da região onde se localiza a unidade de paisagem, a fim de que se anteveja o seu comportamento frente às alterações impostas pela ocupação.

A análise morfodinâmica das unidades de paisagem natural pode ser feita a partir dos princípios da Ecodinâmica (Tricart, 1977) que estabelece uma relação entre os processos de morfogênese/pedogênese. Quando predomina a morfogênese prevalecem os processos erosivos modificadores das formas de relevo, e quando predomina a pedogênese prevalecem os processos formadores de solos.

A contribuição da Geologia para a análise e definição morfodinâmica das unidades de paisagem natural compreende as informações relativas ao grau de coesão das rochas que a compõem, fornecidas pela Mineralogia e Petrologia, e as informações relativas à história da evolução do seu ambiente geológico, fornecidas pela Tectônica e pela Geologia Estrutural. Por grau de coesão das rochas entende-se a intensidade da ligação entre os minerais ou partículas que as constituem. O grau de coesão das rochas é a informação básica da Geologia a ser integrada a partir da Ecodinâmica, uma vez que em rochas pouco coesas prevalecem os processos modificadores das formas de relevo, enquanto que nas rochas bastante coesas prevalecem os processos de formação de solos.

Na metodologia proposta, a Geomorfologia oferece para a caracterização da estabilidade das unidades de paisagem natural, as informações relativas à Morfometria que influenciam de maneira marcante os processos ecodinâmicos. As informações morfométricas utilizadas são: a amplitude de relevo, a declividade e o grau de dissecação da unidade de paisagem. Essas informações caracterizam a forma de relevo da unidade de paisagem natural e permitem que se quantifique empiricamente a energia potencial disponível para o "runoff" (Morisawa, 1968), isto é, a transformação de energia potencial em energia cinética responsável pelo transporte de materiais que esculpe as formas de relevo. Dessa maneira, podemos entender que em unidades de paisagem natural que apresentam valores altos de amplitude de relevo, declividade e grau de dissecação, prevalecem os processos morfogenéticos, enquanto que em situações de baixos valores para as características morfométricas prevalecem os processos pedogenéticos.

A Pedologia participa da caracterização morfodinâmica das unidades de paisagem natural fornecendo o indicador básico da posição ocupada pela

unidade dentro da escala gradativa da Ecodinâmica: a maturidade dos solos. A maturidade dos solos, produto direto do balanço morfogênese/pedogênese, indica claramente se prevalecem os processos erosivos da morfogênese que geram solos jovens, pouco desenvolvidos, ou se, no outro extremo, as condições de estabilidade permitiram o predomínio dos processos de pedogênese gerando solos maduros, lixiviados e bem desenvolvidos.

As informações vindas da Fitogeografia se revestem da maior importância, pois a cobertura vegetal representa a defesa da unidade de paisagem contra os efeitos dos processos modificadores das formas de relevo (erosão). A ação da cobertura vegetal na proteção da paisagem se dá de diversas maneiras: a) evita o impacto direto das gotas de chuva contra o terreno que promove a desagregação das partículas; b) impede a compactação do solo que diminui a capacidade de absorção de água; c) aumenta a capacidade de infiltração do solo pela difusão do fluxo de água da chuva; d) suporta a vida silvestre que, pela presença de estruturas biológicas como raízes de plantas, perfurações de vermes e buracos de animais, aumenta a porosidade e a permeabilidade do solo. Em última análise, compete à cobertura vegetal um papel importante no trabalho de retardar o ingresso das águas provenientes das precipitações pluviais nas correntes de drenagem, pelo aumento da capacidade de infiltração, pois o ingresso imediato provoca incremento do "runoff" (massas de água em movimento), com o conseqüente aumento na capacidade de erosão e transporte, pela transformação de energia potencial em energia cinética. Isto também pode ser verificado nos experimentos discutidos por De Ploey (1981).

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

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

4 - OS POLÍGONOS DE AÇÃO ANTRÓPICA

Como representantes da área física onde se dá a atuação humana que modifica as condições naturais, os polígonos de ação antrópica podem localizar-se

sobre uma única, ou várias unidades de paisagem natural, dependendo exclusivamente de suas dimensões.

Esta simples constatação a respeito dos polígonos de ação antrópica demonstra a necessidade de se conhecer previamente as unidades de paisagem natural. A atuação do homem sobre o meio ambiente, sem o prévio conhecimento do equilíbrio dinâmico existente entre os diversos componentes que permitiram a "construção" das diferentes unidades de paisagem pode levar a situações desastrosas, do ponto de vista ecológico e econômico. Portanto, antecedendo qualquer ocupação, deve-se conhecer os componentes físico-bióticos (Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Fitogeografia e Clima) que interagindo, levaram ao estabelecimento das unidades de paisagem natural.

O conhecimento dos mecanismos que atuam nas unidades de paisagem natural permite orientar as atividades a serem desenvolvidas dentro do polígono de ação antrópica, de maneira a evitar agressões irreversíveis e obter maior produtividade, além de dirigir ações corretivas dentro daqueles polígonos onde o uso inadequado provoca consequências desastrosas.

5 - ELABORAÇÃO DE UMA CARTA DE VULNERABILIDADE NATURAL A EROÇÃO

Para elaboração de uma Carta de Vulnerabilidade Natural a Erosão são necessários os seguintes materiais: Imagem TM/LANDSAT; Relatório do Projeto RADAM e os respectivos Mapas temáticos na escala de 1:1.000.000 (geológico geomorfológico, solos e fitoecológico); Carta topográfica do IBGE, na escala de 1:250.000. Como material auxiliar de execução da Carta de Vulnerabilidade, pode-se adquirir ainda, dados bibliográficos da área de estudo, bem como, o Mosaico Semicontrolado de RADAR, na escala de 1:250.000, elaborado pelo Projeto RADAM.

Sobre as imagens TM/LANDSAT na composição 5R4G3B (banda 5, Vermelho; banda 4, Verde; banda 3, Azul) e escala 1:250.000 (a "âncora" escolhida), desenvolve-se o trabalho de interpretação que consiste em elaborar um mapa preliminar de unidades territoriais básicas de um zoneamento ecológico-econômico obtido a partir da análise e interpretação das imagens TM/LANDSAT, considerando os padrões fotográficos identificados pela graduação das cores, textura, forma, padrões de drenagem e relevo. Após a realização da análise e interpretação das imagens TM/LANDSAT é possível obter a separação das unidades territoriais básicas de mapeamento: as **unidades de paisagem natural** e os **polígonos de ação antrópica**, conforme Figuras 1 e 2.

5.1 - ASSOCIAÇÃO DO MAPA PRELIMINAR DAS UNIDADES DE PAISAGEM NATURAL COM DADOS AUXILIARES PRÉ-EXISTENTES

O mapa preliminar das unidades de paisagem natural é associado com os dados auxiliares temáticos pré-existentes (tais como: mapas geológicos, geomorfológicos, pedológicos, e de cobertura vegetal). O mapa preliminar das unidades de paisagem natural foi obtido através da análise e interpretação das imagens TM/LANDSAT. Esta associação permite caracterizar tematicamente cada unidade de paisagem natural. A partir de sua identificação, cada unidade de paisagem natural passou a ser analisada, com a integração entre os dados disponíveis no acervo bibliográfico e as informações contidas nas imagens.

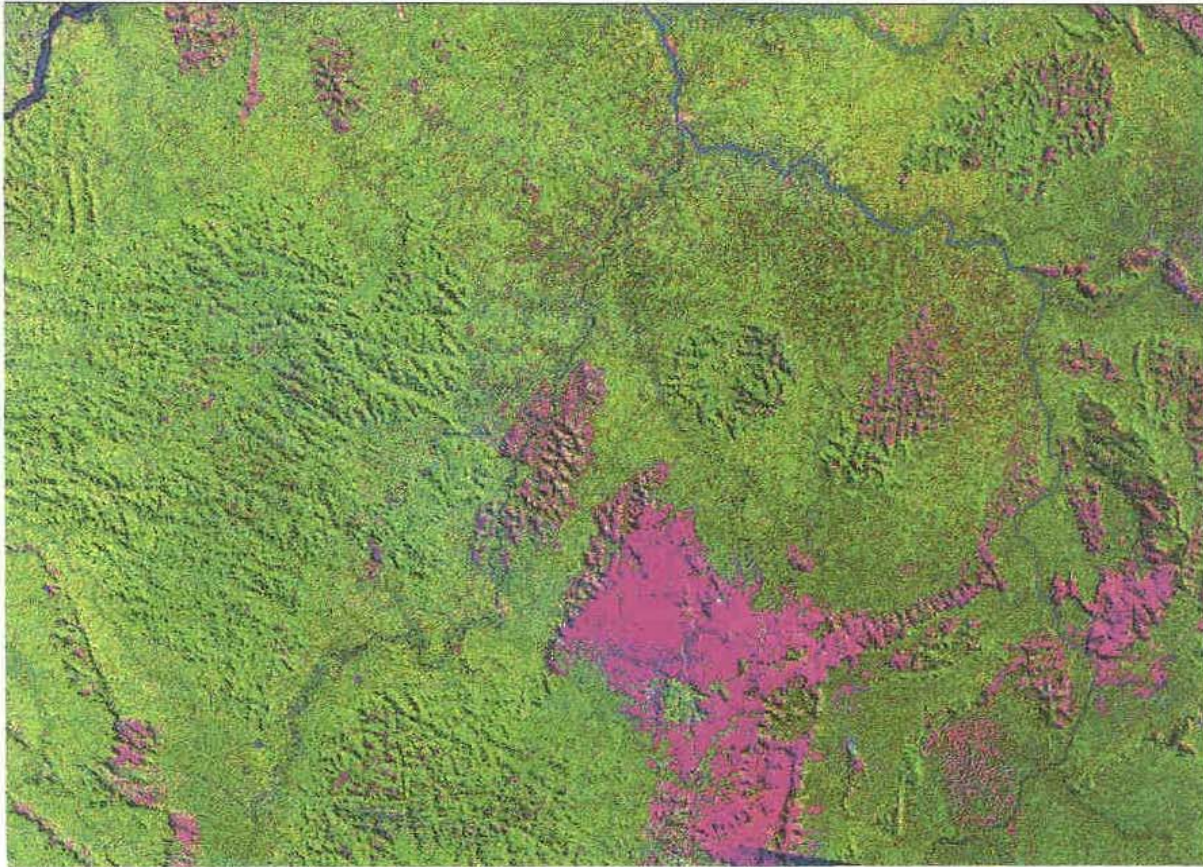


Fig. 1 - Mostra uma imagem de satélite TM/LANDSAT na composição 5R4G3B

A integração dos dados disponíveis é feita segundo um modelo que estabelece 21 classes de vulnerabilidade à erosão, distribuídas entre as situações de predomínio dos processos de pedogênese (às quais se atribuem valores próximos de 1,0), passando por situações intermediárias (às quais se atribuem valores ao redor de 2,0) e situações de predomínio dos processos de morfogênese (às quais se atribuem valores próximos de 3,0). Este modelo foi idealizado a partir dos conceitos da Ecodinâmica (Tricart, 1977), como mostra a Tabela 1.

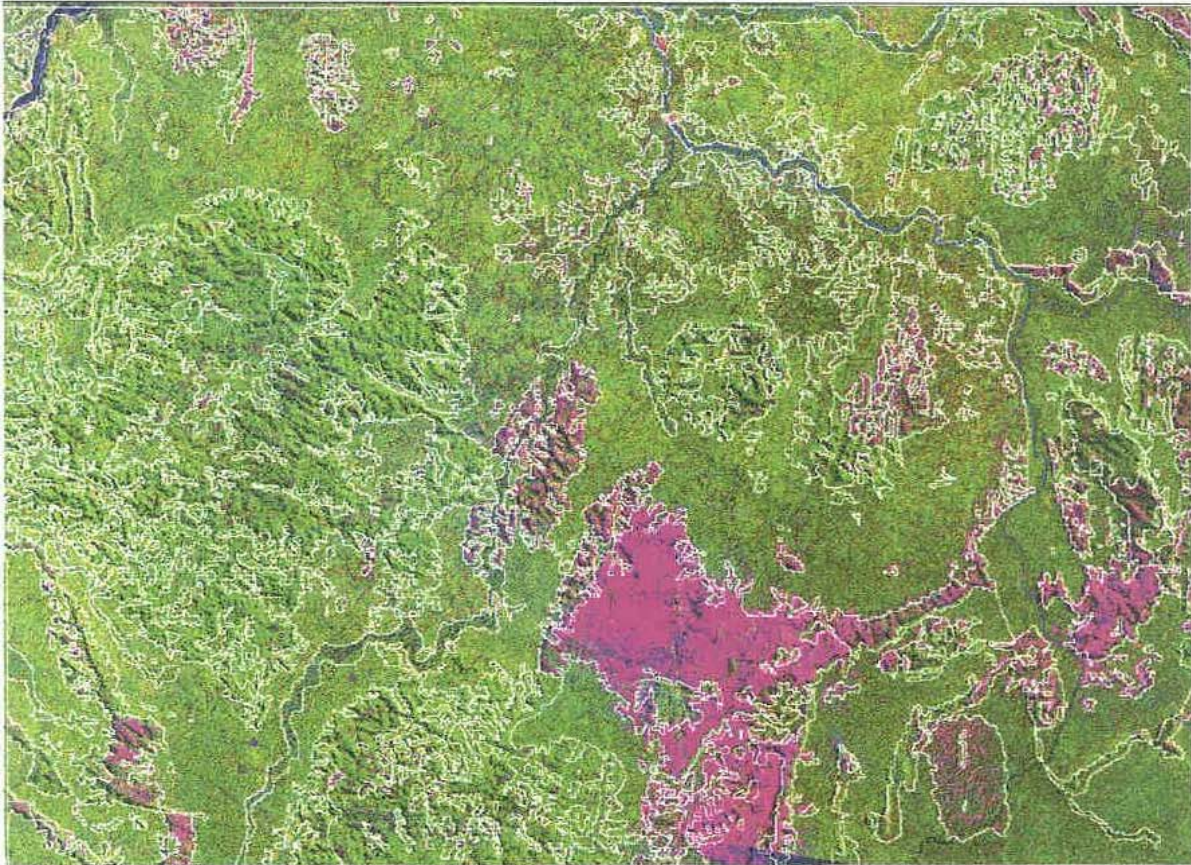


Fig. 2 - Mostra a delimitação das unidades de paisagem natural sobre a imagem TM

TABELA 1 - AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE DAS UNIDADES DE PAISAGEM NATURAL

Unidade	Relação pedogênese /morfogênese	Valor
Estável	Prevalece a pedogênese	1,0
Intermediária	Equilíbrio entre pedogênese e morfogênese	2,0
Instável	Prevalece a morfogênese	3,0

Modificada de Tricart, (1977).

O modelo é aplicado a cada tema individualmente (Geologia, Pedologia, Geomorfologia e Vegetação) dentro de cada uma das unidades de paisagem natural, respeitando uma abordagem holística e posteriormente recebe um valor final, resultante da média dos valores individuais (Tabela 2), que representa a posição desta unidade de paisagem natural dentro da escala de vulnerabilidade à erosão. A média aritmética entre os valores individuais dos temas (geologia, pedologia, geomorfologia, vegetação), para cada uma das unidades de paisagem natural permite apresentá-la numa escala de estabilidade/vulnerabilidade com 21 classes. As unidades mais estáveis apresentarão valores mais próximos de 1,0, as intermediárias ao redor de 2,0 e as unidades de paisagem mais vulneráveis estarão próximas de 3,0.

TABELA 2 - VALORES DE VULNERABILIDADE DAS UNIDADES DE PAISAGEM NATURAL

UNID.	GEOLOGIA	VALOR	SOLOS	VALOR	RELEVO	VALOR	VEGETAÇÃO	VALOR	MÉDIA
U14	Fm. Iriri: Rio- litos, Piroclasi- tos, Granófilos	1,0	Podzólico Verm. Amarelo	2,0	Superfície Pediplanada Diss. Baixa	1,1	Floresta tropical densa	1,0	1,3
U17	Aluvião	3,0	Solos Aluviais	3,0	Planície Aluvial	3,0	Floresta tropical densa	1,0	2,5
U18	Compl. Xingu: Gran., Gnaiss- Migmatitos	1,5	Podzólico Verm. Amarelo	2,0	Superfície Pediplanada Diss. Baixa	1,1	Floresta tropical aberta	1,3	1,5
U26	Fm. Sobreiro: Andesitos Pórfiros e Porfíricos	1,9	Terra Roxa Podz. Ver. Am. Latos. Ver. Am.	1,9	Colinas Aplainadas Diss. Baixa a Média	1,3	Floresta tropical aberta	1,3	1,6
U48	Fm. Gorotire: Arenitos Con- glomeráticos a Finos	2,6	Solos Litólicos	3,0	Ravinas Diss Alta	2,5	Cerradão	1,7	2,5

5.2 - CRITÉRIOS PARA ATRIBUIR VALORES DE VULNERABILIDADE AOS TEMAS (GEOLOGIA, GEOMORFOLOGIA, PEDOLOGIA, E A VEGETAÇÃO) DENTRO DE CADA UNIDADE DE PAISAGEM NATURAL

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

5.2.1 - GEOLOGIA

Os elementos considerados para a atribuição de valores para as 21 classes de vulnerabilidade do tema Geologia, a partir das informações bibliográficas, são basicamente aqueles relacionados à história da evolução do ambiente geológico onde se insere a unidade de paisagem natural, o que permite entender sua origem e sua tendência futura, e os elementos relativos ao grau de coesão das rochas que suportam a unidade de paisagem natural, atribuindo-se valores próximos à estabilidade (1,0) para as rochas que apresentam maior grau de coesão para as condições a que está submetida a unidade de paisagem natural, valores intermediários (ao redor de 2,0) para as rochas que apresentam valores intermediários no seu grau de coesão, e valores próximos à vulnerabilidade (3,0) para as rochas que apresentam os menores valores no seu grau de coesão.

5.2.2 - GEOMORFOLOGIA

Para estabelecer os valores de estabilidade das unidades de paisagem com relação a geomorfologia são consideradas as formas de relevo, basicamente

a forma dos topos, como mostra a Figura 3 (plano ou tabular, arredondado ou em colinas e angular ou em forma de crista), e são analisados os índices morfométricos referentes a dissecação do relevo pela drenagem, amplitude altimétrica e declividade.

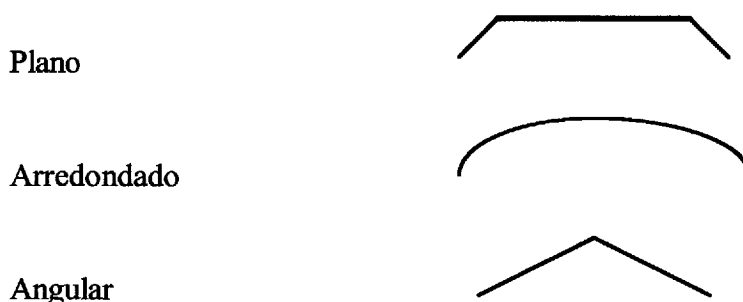


Fig. 3 - Forma dos interflúvios (topos)

A dissecação pela drenagem pode ser obtida a partir de medidas, realizadas nas cartas topográficas ou nas imagens de sensoriamento remoto, da amplitude (dimensão) dos interflúvios ou da densidade de drenagem, parâmetro este inversamente proporcional ao primeiro. A amplitude altimétrica, que está relacionada com o aprofundamento da dissecação, é obtida pelo cálculo da diferença entre as cotas máxima e mínima, realizado através dos dados de altimetria existentes nas cartas topográficas. A declividade também pode ser obtida através de medidas realizadas, por exemplo, através de um ábaco (De Biasi, 1992), nas cartas topográficas. Todas essas medidas podem ser amostrais, ou seja, para cada tipo de unidade tomam-se, por exemplo, três medidas e calcula-se a média. Cabe destacar que para a obtenção desses parâmetros a partir das cartas topográficas é necessário que a escala das cartas seja igual ou maior que a de 1:100.000. Entretanto, sabe-se que em muitas regiões, principalmente da Amazônia, não há disponibilidade de cartas topográficas nesta escala. Nestes casos procura-se inferir as classes morfométricas com base nas referências disponíveis, na análise da textura de imagens de sensoriamento remoto e no conhecimento de campo dos técnicos envolvidos no projeto de zoneamento.

Para a metodologia proposta neste trabalho foram definidos, para os três parâmetros considerados (dissecação, amplitude altimétrica, declividade), os índices de sete classes morfométricas como indica a Tabela 3. A Figura 4 ilustra de forma esquemática essas classes morfométricas. Fica claro que essas classes serão adaptadas para cada realidade, dependendo do nível de detalhe dos dados disponíveis. Assim, por exemplo, podem ser utilizadas somente as classes de dissecação, mais facilmente inferidas através da análise de imagens de sensoriamento remoto. Neste sentido, pode ser utilizado a matriz dos índices de dissecação que acompanha a maioria das legendas dos mapas geomorfológicos do Projeto Radambrasil, no qual 1- é a ordem de grandeza das formas de dissecação (dimensão ou amplitude interfluvial) e 2- é a intensidade de aprofundamento da drenagem (Tabela 4) que está relacionada com a amplitude altimétrica.

TABELA 3 - CLASSES DOS ÍNDICES MORFOMÉTRICOS

Classes Morfométricas	Índices Morfométricos		
	Dissecação.(Amplitude Interfluvial) (m)	Amplitude Altimétrica (m)	Declividade (%)
Muito Baixa	> 5.000	< 20	< 2
Baixa	3.000 - 5.000	20 - 40	2 - 5
Baixa a Média	2.000 - 3.000	40 - 80	5- 10
Média	1.250 - 2.000	80 - 120	10 -20
Média a Alta	750 - 1.250	120 - 160	20 -30
Alta	250 - 750	160 - 200	30 - 50
Muito Alta	< 250	> 200	> 50

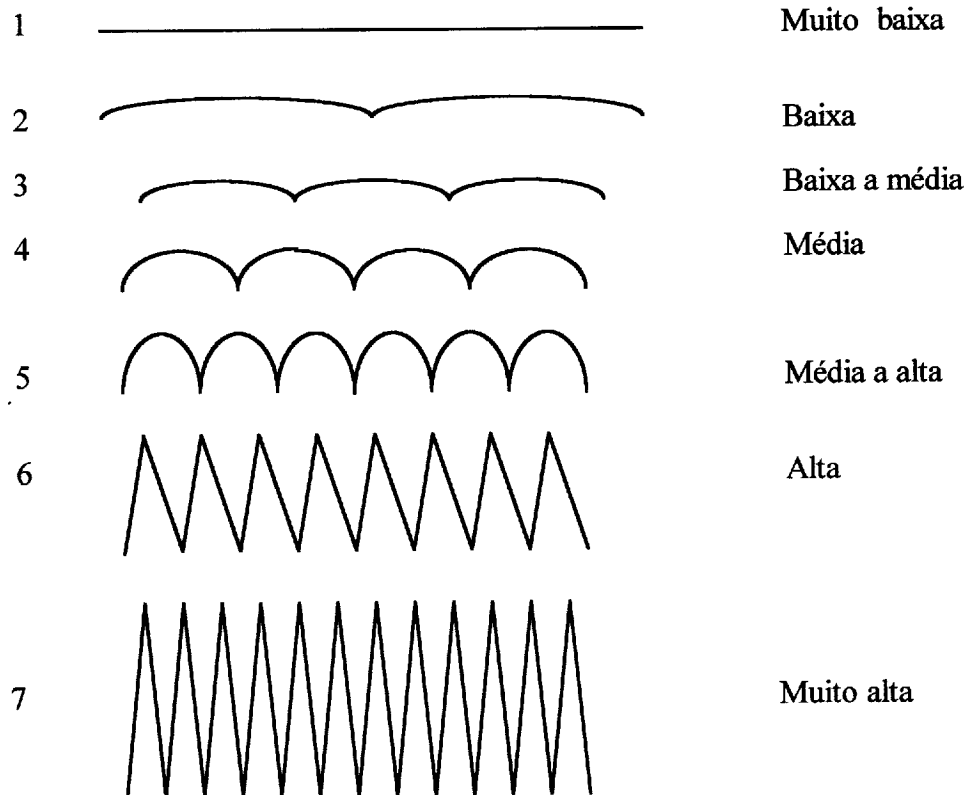


Fig.4 - Modelo esquemático do relevo ilustrando as sete classes morfométricas definidas na tabela 3

**TABELA 4 - MATRIZ DOS ÍNDICES DE DISSECAÇÃO DO RELEVO
(PROJETO RADAM)**

		1-ORDEM DE GRANDEZA DAS FORMAS DE DISSECAÇÃO				
		≤ 250m	> 250m ≤ 750m	> 750m ≤ 1.750m	> 1.750m ≤ 3.750m	> 3.750m ≤ 12.750m
2-INTENSIDADE DE APROFUNDAMENTO DA DRENAGEM	MUITO FRACA	11	21	31	41	51
	FRACA	12	22	32	42	52
	MEDIANA	13	23	33	43	53
	FORTE	14	24	34	44	54
	MUITO FORTE	15	25	35	45	55

Na Tabela 4, o primeiro dígito indica o nível de dissecação, no plano horizontal e o segundo dígito indica a profundidade de dissecação, no plano vertical. Cabe salientar que da forma como foi construída essa tabela, no primeiro dígito (somente para ele), a ordem de grandeza está invertida, ou seja, neste caso, quanto menor o valor maior é o grau de dissecação de uma determinada unidade de relevo e vice-versa. Desta maneira, uma unidade com os dígitos 51, significa que ela apresenta baixa dissecação, tanto no nível horizontal (embora o dígito seja de valor alto) quanto no vertical; enquanto que os dígitos 15, ao contrário, indica alto índice de dissecação nos dois planos, apesar do primeiro dígito ser o de valor mais baixo.

Assim, com base nas formas de relevo e nos índices morfométricos, propõe-se que os relevos planos a suavemente ondulados como as superfícies pediplanadas, os interflúvios tabulares e as colinas de topos aplainados, recebam valores de estabilidade que variam de 1,0 a 1,6, dependendo das classes dos índices morfométricos, ou seja, quanto mais baixos esses índices, valores de estabilidade mais próximos de 1,0 e quanto mais altos, valores de estabilidade mais próximos de 1,6.

Para os relevos ondulados, dissecados em colinas, sugerem-se valores de estabilidade que variam de 1,7 a 2,3, também dependendo da intensidade e grandeza desses índices morfométricos (dissecação, amplitude de relevo e declividade).

Para os relevos fortemente ondulados a escarpados, dissecados em cristas, ravinas e pontões, propõe-se valores de estabilidade que variam de 2,4 a 3,0, também dependendo da intensidade e grandeza dos índices morfométricos (dissecação, amplitude de relevo e declividade).

As formas de acumulação, como as planícies e terraços, sujeitas à inundação, são áreas de grande dinâmica nas quais os processos de morfogênese (processos de formação do relevo) predominam sobre a pedogênese (processos de formação do solo). Estas áreas portanto, apesar do relevo plano, são muito instáveis e assim sendo também recebem valor de estabilidade 3,0. Ao contrário, as áreas de terraços fluviais, não atingidas pelas cheias e por se caracterizarem por relevo plano, são consideradas estáveis e portanto recebem valor de estabilidade 1,0.

5.2.3 - PEDOLOGIA

A característica considerada para estabelecer as 21 classes de vulnerabilidade do tema solos é o grau de desenvolvimento do solo, a partir de dados bibliográficos associados à interpretação da imagem são atribuídos valores ao solo, ou a associação de solos. Uma unidade de paisagem natural é estável, quando favorece o processo de pedogênese, isto é, o ambiente favorece a formação e o desenvolvimento do solo. Nestes ambientes encontramos solos bastante desenvolvidos, intemperizados e envelhecidos. É bom lembrar que o tempo de formação de um solo desenvolvido, apesar de ser variável, nunca é uma reação instantânea, requerendo centenas e milhares de anos para ser completada. Uma unidade de paisagem natural é instável, quando prevalece a formação do relevo (morfogênese), existe um predomínio dos processos de erosão do solo em detrimento ao processo de formação e desenvolvimento do solo.

5.2.3.1 - UNIDADE DE PAISAGEM NATURAL ONDE OCORREM SOLOS ESTÁVEIS

Na unidade de paisagem natural onde ocorrem solos estáveis a nota é 1 e é representada pela classe de solos do tipo Latossolos. Os Latossolos são solos bem desenvolvidos, com grande profundidade e porosidade, sendo portanto considerados os solos cujos materiais são os mais decompostos. São considerados solos velhos ou maduros. Devido ao intenso processo de intemperismo e lixiviação que foram submetidos apresentam quase que uma ausência total de minerais facilmente intemperizáveis e/ou minerais de argila 2:1, por outro lado, ocorre uma concentração residual de sesquióxidos (óxido de alumínio Al_2O_3 e óxido de ferro Fe_2O_3), além de argila do tipo 1:1. São solos que possuem boas propriedades físicas: permeabilidade a água e ao ar, mesmo com alta porcentagem de argila; são porosos, friáveis, de baixa plasticidade. A principal limitação ao uso agrícola é a baixa fertilidade natural; mesmo os eutróficos contêm baixa soma de bases e não possuem reserva de nutrientes. Apresentam ainda, os horizontes A, B, e C bem desenvolvidos. São em geral, solos pouco suscetíveis aos processos erosivos. Ocorrem geralmente em topografia mais suaves. Segundo o Mapa Exploratório de Solos do projeto RADAM, referente à região da Amazônia Legal, os principais tipos de Latossolo que ocorrem são: Latossolo Amarelo (LA); Latossolo Vermelho-Amarelo (LV); Latossolo Vermelho-Escuro (LE); Latossolo Roxo (LR); Latossolo Bruno-Húmico (LBH).

5.2.3.2 - UNIDADE DE PAISAGEM NATURAL ONDE OCORREM SOLOS INTERMEDIÁRIOS

Na unidade de paisagem natural onde ocorrem solos intermediários a nota é 2 e é representada pela classe de solos do tipo Podzólico. Os solos Podzólicos quando comparados com os Latossolos, apresentam profundidade menor, são solos menos estáveis e menos intemperizados do que os Latossolos. Ocorrem, geralmente, quando

comparados aos Latossolos, em topografias um pouco mais movimentada. Nos Podzólicos ocorre também, um horizonte B onde existe uma acumulação de argila; isto é, durante o processo de formação uma boa parte da argila translocou-se do horizonte A, levada pela água gravitativa que se infiltrou no perfil do solo e parou no horizonte B, onde se acumulou. Nestes solos a diferença de textura entre os horizontes A e B (ocasionada pelo acúmulo de argila no horizonte B) dificulta a infiltração de água no perfil destes solos o que favorece o processo de erosão. Para a região Amazônica os principais tipos de solos Podzólicos que ocorrem são: Podzólico Vermelho Amarelo (PV); Podzólico Amarelo (PA); Terra Roxa Estruturada (TR); Planossolo (PL).

5.2.3.3 - UNIDADE DE PAISAGEM NATURAL ONDE OCORREM SOLOS VULNERÁVEIS

Na unidade de paisagem natural onde ocorrem solos vulneráveis a nota é 3 e é representada pelos solos jovens e pouco desenvolvidos, isto é, sua característica principal é a pouca evolução dos perfis do solo. Nestes solos o horizonte A está assentado diretamente sobre o horizonte C ou então assentado diretamente sobre a rocha mãe (não possuem o horizonte B). São considerados como sendo solos jovens, ainda em fase inicial de formação porque estão ainda se desenvolvendo a partir dos materiais de origem recentemente depositados ou, então, porque estão situados em lugares de alta declividade, nos quais a velocidade da erosão é igual ou maior que a velocidade de transformação da rocha em solo. Existem diversos tipos de solos poucos desenvolvidos na Amazônia, entre os quais, os mais importantes são: Solos Litólicos (R); Solos Aluviais (A); Regossolo (RE); Areias Quartzosas (AQ); Solos Orgânicos (HO) e também os solos Hidromórficos (HI). Dentro dos Hidromórficos as principais classes que ocorrem são: Glei Húmico (G); Glei Pouco Húmico (GPH), Laterita Hidromórfica (LH), que é também denominado de Plintossolo (PL). Observa-se também na região os solos Concrecionários Lateríticos (CL), são aqueles que apresentam acima de 50% em volume de concreções ferruginosas, ocorrendo normalmente, no horizonte A ou no B.

5.2.3.4 - RELATÓRIO E OS MAPAS DE SOLOS DO PROJETO RADAM

No relatório do projeto RADAM, as classe de solos são descritas em suas características morfológicas, físicas, e químicas, acompanhadas dos resultados analíticos dos perfis representativos. Relevo, cobertura vegetal e material de origem também são enfocados. Os respectivos Mapas Exploratórios de Solos, na escala de 1:1.000.000, foram elaborados com base em interpretação de mosaicos semicontrolados de imagens de radar e trabalho de campo. Devido ao nível generalizado do levantamento, raramente uma classe de solos é cartografada isoladamente ocorrendo com maior frequência unidades de mapeamento, compostas por associações de solos, com um máximo de três componentes. O símbolo da unidade de mapeamento tem como origem o solo dominante, que figura como primeiro componente da associação e ocupa mais de 50% da área da unidade; os demais componentes são considerados subdominantes, quando ocupam entre 20 e 50% da área da unidade; e inclusões, quando menos de 20%. Desta forma, sempre que dentro de uma unidade de paisagem natural ocorrer uma associação de solos deve-se fazer a ponderação em função das classes de solos que ocorrem em primeiro, segundo e terceiro lugar; sendo associadas às proporções de ocorrência de 60%, 30% e 10%, respectivamente. Em cada unidade de mapeamento constam os nomes dos componentes, acompanhados do caráter eutrófico ou distrófico ou álico, além da textura, vegetação e relevo, e outros caracteres específicos, quando necessário.

5.2.4 - VEGETAÇÃO

Para o tema vegetação, a densidade de cobertura vegetal é o parâmetro a ser obtido, da documentação existente e da interpretação das imagens, para se determinar as 21 classes de vulnerabilidade. A densidade de cobertura vegetal da unidade de paisagem, fator de proteção da unidade, determina se o valor se aproxima da estabilidade (1,0), se apresenta valores intermediários (ao redor de 2,0), ou se apresenta baixa densidade de cobertura vegetal, como a savana parque, por exemplo, que apresenta valores próximos da vulnerabilidade (3,0).

5.2.4.1 - COBERTURA VEGETAL QUE FAVORECE A ESTABILIDADE DA UNIDADE DE PAISAGEM NATURAL

Para o tema vegetação, as unidades de paisagem natural que se atribuem valores próximos a 1,0 podem ser caracterizadas pela formação Floresta Tropical Densa, independente da posição topográfica (Aluvial, Terras baixas, Submontana, Montana e Alto montana) e da fisionomia específica (dossel uniforme ou emergente). Também esta unidade de paisagem natural pode ser caracterizada pela formação Floresta Tropical Aberta, independente da posição topográfica (Terras baixas, Submontana e Montana) e da fisionomia específica (Palmeiras, Cipó, Bambu e Sororoca).

5.2.4.2 - COBERTURA VEGETAL QUE FAVORECE VALORES INTERMEDIÁRIOS DE VULNERABILIDADE À UNIDADE DE PAISAGEM NATURAL

Para o tema vegetação, as unidades de paisagem natural as quais se atribuem valores próximos a 2,0 podem ser caracterizadas pelas formações Savana Forestada e Savana Arborizada, independente do relevo (Planaltos tabulares e/ou Planícies e de fisionomia específica (com ou sem Floresta de Galeria). Esta unidade de paisagem natural, também pode ser caracterizada pelas formações Floresta Estacional Semidecidual (20 a 50% de caducifolia) e Floresta Estacional Decidual (acima de 50% de caducifolia), independente da posição topográfica (Aluvial, Terras baixas, Submontana e Montana) e da fisionomia específica (dossel uniforme e emergente).

5.2.4.3 - COBERTURA VEGETAL QUE FAVORECE A VULNERABILIDADE DA UNIDADE DE PAISAGEM NATURAL

Para o tema vegetação, a unidade de paisagem natural que se atribuem valores próximos a 3,0 apresenta baixa densidade de cobertura vegetal como, as formações Savana Parque e Savana Gramíneo Lenhosa independente do relevo (Planalto tabulares e/ou Planícies) e de fisionomia específica (com ou sem Floresta de Galeria).

5.2.5 - CLIMATOLOGIA

Uma relação entre os valores extremos da pluviosidade e da duração do período chuvoso, da região onde se localiza a unidade de paisagem natural, determina o intervalo de valores que, por interpolação, fornecerão as 21 classes de vulnerabilidade desta região. Assim, as unidades de paisagem natural localizadas em regiões que apresentem menores índices pluviométricos anuais e maior duração para o período chuvoso receberão valores próximos à estabilidade (1,0), aos valores intermediários associam-se os valores de vulnerabilidade/estabilidade ao redor de 2,0, e às unidades de paisagem natural localizadas em regiões de maiores índices de pluviosidade anual e menor duração do período chuvoso atribuem-se valores próximos da vulnerabilidade (3,0).

De acordo com (Ross, 1991) as informações climáticas, sobretudo a pluviosidade e a temperatura, dependendo da extensão da área de estudo ou das características do relevo, podem ser a mesma ao longo de toda extensão. Entretanto, tratando-se de área com grande variação altimétrica, a distribuição das chuvas e temperaturas pode ser distinta. De qualquer modo, deve-se também atribuir valor de acordo com a intensidade maior ou menor do efeito pluviométrico.

Conforme esta afirmação, foi elaborado um mapa indicativo que representa a superposição do Mapa Índice Reduzido (MIR) das folhas da Carta do Brasil na escala de 1:250.000 com o Mapa das Isoietas Médias Anuais do Brasil, série histórica entre os anos de 1931 a 1988. A consulta deste material pode orientar a necessidade ou não de ser considerado o clima no cálculo da vulnerabilidade média das unidades de paisagem natural.(Figura 5)

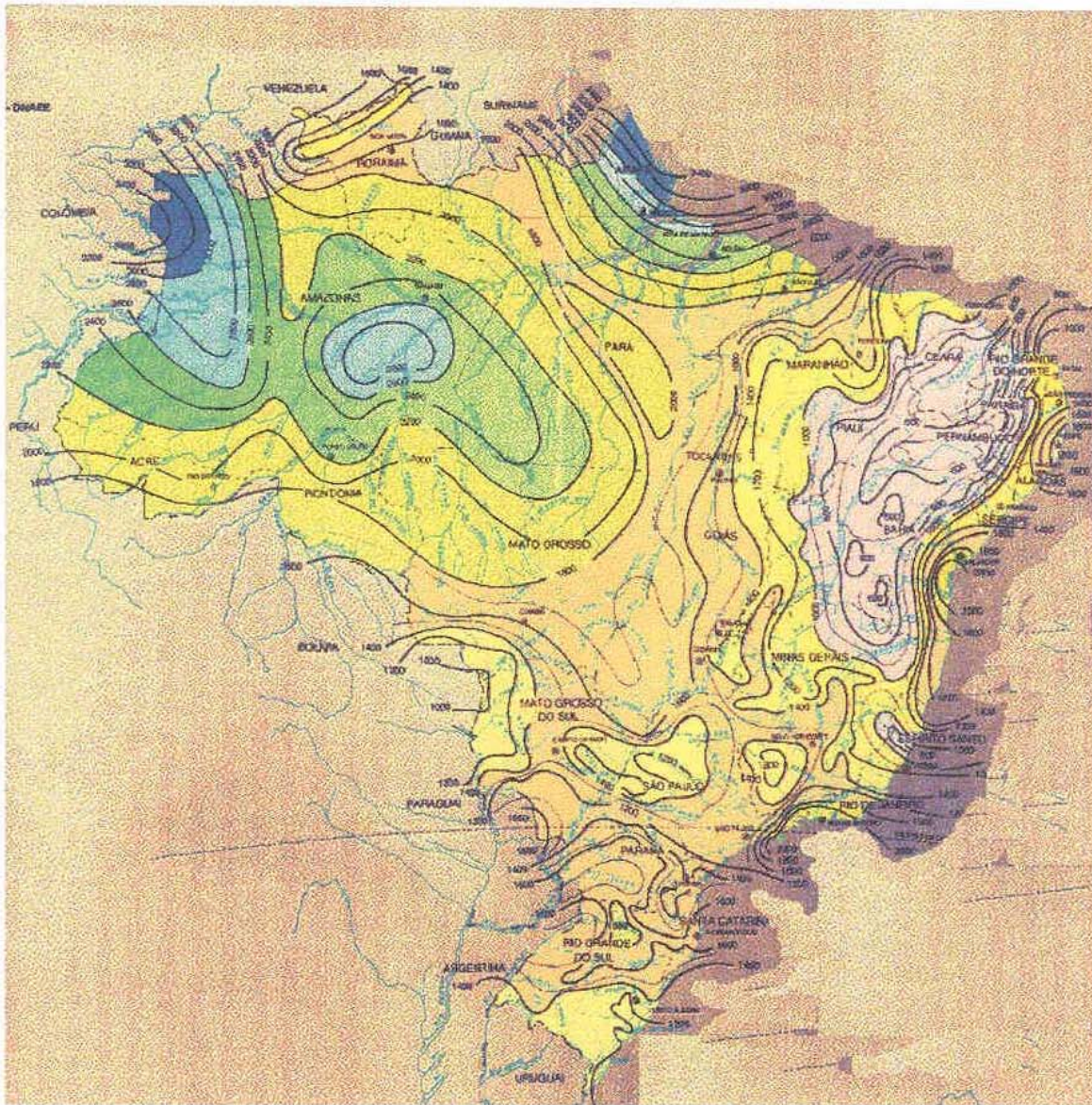


Fig. 5 - Mapa indicativo que representa a superposição do Mapa MIR sobre o Mapa das Isoietas Médias Anuais do Brasil

Fonte: Brasil. MME. SE

5.3 - REPRESENTAÇÃO CARTOGRÁFICA DA CARTA DE VULNERABILIDADE NATURAL À EROÇÃO

Para a representação cartográfica das unidades de paisagem natural, bem como de sua vulnerabilidade/estabilidade, optou-se por adotar um formato que reunisse a maior compatibilização possível com outros formatos cartográficos, legenda simplificada e apresentasse facilidade de comunicação visual, de maneira que pudesse ser compreendido não só por especialistas e técnicos, mas também pelas autoridades tomadoras de decisão e pelo público em geral. Desta forma, os mapas são apresentados obedecendo as folhas da Carta do Brasil na escala de 1:250.000, onde estão representadas as unidades de paisagem natural e os principais elementos geográficos. A Figura 6 mostra um exemplo da forma final concebida para a carta de vulnerabilidade natural a erosão.

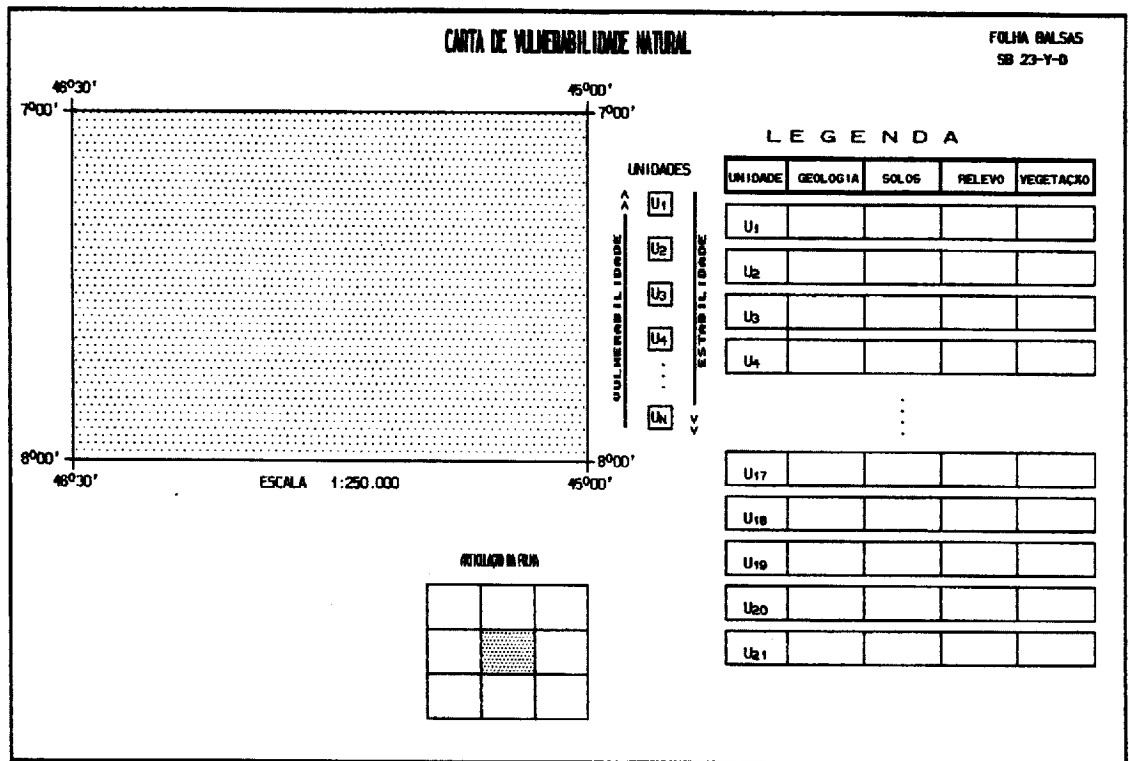









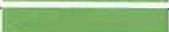



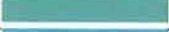









Fig. 6 - Exemplo da representação da carta de vulnerabilidade natural a erosão

A representação da vulnerabilidade ou estabilidade das unidades de paisagem natural é feita por meio de cores (Tabela 5). Foram selecionadas 21 cores obtidas a partir da combinação aditiva das três cores primárias (azul, verde, e vermelho), de modo que se associasse a cada classe de vulnerabilidade/estabilidade sempre a mesma cor, obedecendo ao critério de que ao valor médio de maior estabilidade (1,0) associa-se a cor azul, ao intermediário (2,0) associa-se a cor verde e às unidades de maior vulnerabilidade (3,0), associa-se a cor vermelha. Às unidades de paisagem com valores médios entre 1,0 e 2,0 associam-se cores resultantes da combinação, entre o azul e o verde, crescendo a participação do segundo a medida que se obtenha valores próximos a 2,0. As unidades de paisagem com valores médios intermediários entre 2,0 e 3,0 associam-se cores resultantes da combinação entre o verde e o vermelho, crescendo a participação do segundo a medida que se obtenha valores próximos a 3,0.

TABELA 5 - REPRESENTAÇÃO DA VULNERABILIDADE E/OU ESTABILIDADE DAS UNIDADES DE PAISAGEM NATURAL

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	V	2,7		255	153	0		
U5	U	2,6	MODERADAM. VULNERÁVEL	255	204	0		
U6	L	2,5		E	255	255	0	
U7	N	2,4	MODERADAM. VULNERÁVEL	204	255	0		
U8	E	2,3		S	153	255	0	
U9	R	2,2	MEDIANAM. ESTÁVEL/ VULNERÁVEL	102	255	0		
U10	A	2,1		B	51	255	0	
U11	B	2,0		I	0	255	0	
U12	I	1,9		L	0	255	51	
U13	L	1,8	MODERADAM. ESTÁVEL	0	255	102		
U14	I	1,7		D	0	255	153	
U15	D	1,6		A	0	255	204	
U16	A	1,5		D	0	255	255	
U17	D	1,4	ESTÁVEL	0	204	255		
U18	E	1,3		E	0	153	255	
U19		1,2			0	102	255	
U20		1,1			0	51	255	
U21		1,0		0	0	255		

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Becker, B. K. ; Egler, C. A. G. **Detalhamento da metodologia para execução do zoneamento ecológico-econômico pelos estados da Amazônia Legal.** Rio de Janeiro/Brasília, (SAE-MMA), 1996.

Brasil. ME. DSG. **Mapa índice nº21.** Cartas do Brasil, Rio de Janeiro, 1994.

Brasil. MME. SE. **Mapa das isoietas médias anuais do Brasil.** Brasília, 1993.

Brasil. PR. SAE. CCZEE. **Diretrizes metodológicas e patamar mínimo para o zoneamento ecológico-econômico do território nacional.** Brasília. SAE/PR. 1991.

De Biasi, M. A. **Carta Clinográfica: os métodos de representação e sua confecção.** São Paulo, GEOGRAFIA (6):45-60, 1992.

De Ploey, J. **The ambivalent effects of some factors of erosion.** Louvain, Mém. Inst. Geol. Univ. Louvain. t. XXXI, pp 171-181. 1981.

Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (FIBGE). **Manual técnico da vegetação brasileira.** Rio de Janeiro, 1992.

Lepsch, I. **Solos-formação e conservação.** Prisma, São Paulo, 1977.

Morisawa, M. **Streams: their dynamics and morphology**. New York, McGraw-Hill Book, 1968, 175p.

Projeto RADAMBRASIL. **Levantamento de recursos naturais**. Rio de Janeiro, DNPM, 1977-19??

Resende, M. et. al. **Pedologia: base para distinção de ambientes**. Viçosa, NEPUT, 1995.

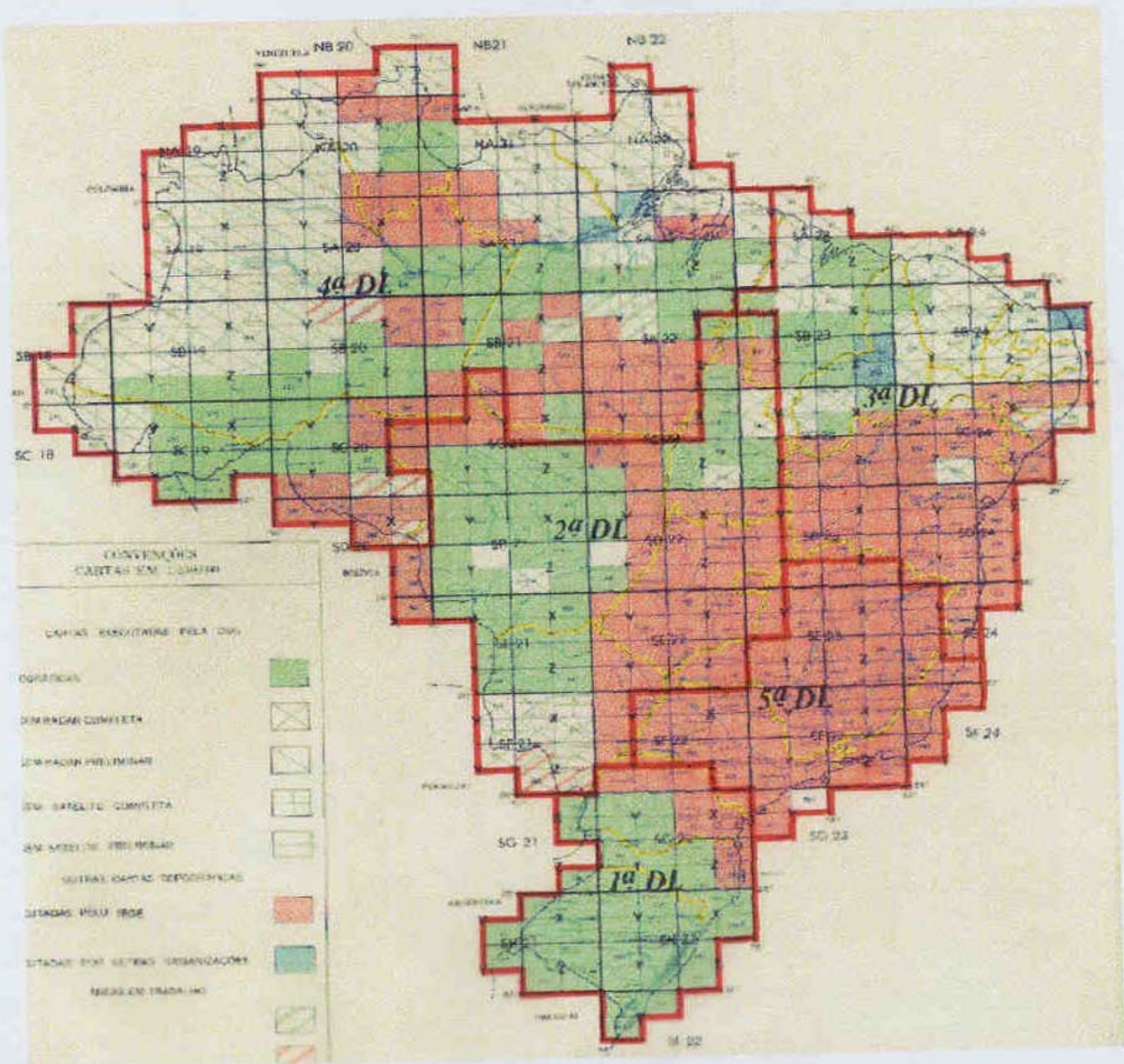
Ross, J.L.S. **Geomorfologia ambiente e planejamento**. Contexto, São Paulo, 1991

Tricart, J. **Ecodinâmica**, Rio de Janeiro, IBGE-SUPREN, 1977, 91 p. (Recursos Naturais e Meio Ambiente),

Tricart, J. **Paisagem e ecologia**. Inter- Fácies, escritos e documentos. São José do Rio Preto. IBILCE-UNESP N^o. 76. 1982. 55p.

Tricart, J. Kiewietdejonge. C. **Ecogeography and rural managment**. Essex, UK. Longman Scientific & Technical. 1992.

Email dos autores:
crepani@ltid.inpe.br
simeao@dpi.inpe.br
pedro@ltid.inpe.br
teresa@ltid.inpe.br
valdete@ltid.inpe.br



Fonte: Brasil. ME. DSG