

3489

10. 96.000.72
Act. 96.000.50

ID-3489



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

MODELOS DE PLANEJAMENTO AGRÍCOLA
CONSERVACIONISTA COM SUPORTE DE
GEOPROCESSAMENTO - ESTUDO DE CASO NOS
MUNICÍPIOS DE PATY DE ALFERES E MIGUEL
PEREIRA - RJ.

WALDIR DE CARVALHO JUNIOR

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO, COMO
REQUISITO PARCIAL PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE
EM CIÊNCIAS (M.Sc.).

96.000.72
CAR
1996

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL
FEVEREIRO DE 1996

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

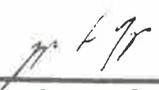
MODELOS DE PLANEJAMENTO AGRÍCOLA
CONSERVACIONISTA COM SUPORTE DE
GEOPROCESSAMENTO - ESTUDO DE CASO NOS
MUNICÍPIOS DE PATY DE ALFERES E MIGUEL
PEREIRA - RJ.

WALDIR DE CARVALHO JUNIOR

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO, COMO
REQUISITO PARCIAL PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE
EM CIÊNCIAS (M.Sc.).

APROVADA :

Prof.: 
Dr. Mauro S. F. Argento (Presidente da Banca)

Prof.: 
Dr. Jorge Soares Marques

Prof.: 
Dr. Mário Valério Filho

EMBRAPA

Valor Aquisição Cz\$

Data Aquisição

N.º N. Fiscal/Fatura

Fornecedor

N.º Ordem Compra

Origem

N.º de Tombo

CARVALHO JUNIOR, Waldir
Modelos de Planejamento Agrícola
Conservacionista Com Suporte de Geoprocessamento-
Estudo de caso nos municípios de Paty de Alferes e
Miguel Pereira - RJ. -- Rio de Janeiro : UFRJ, 1996.
xii, 115p.
Dissertação (Mestrado) -- Univ. Federal do Rio de
Janeiro/PPGG, 1996

Bibliografia: p.100-102

1.Planejamento Agrícola Conservacionista-teses.
2.EUPS 3.Potencial Natural de Erosão 4.Aptidão
Agrícola 5.Geoprocessamento. I. UFRJ/PPGG II.Título

À Thais Helena, minha esposa
Ao Waldir e Theresa, meus pais

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Mauro Sérgio F. Argento pelo seu incentivo, ensinamentos e orientação.

Ao Prof. Mário Valério Filho pelos ensinamentos e sugestões.

Ao Prof. Francisco Lombardi Neto pela atenção e apoio.

Ao Dr. Francesco Palmiere pela ajuda prestada nos trabalhos de campo.

Aos demais colegas da EMBRAPA/CNPS pelo apoio e incentivo.

Aos colegas da UFRJ, do Laboratório de Geomorfologia Fluvial, Costeira e Submarina, pelo estímulo e apoio.

A todos aqueles que, direta ou indiretamente, prestaram seu apoio e incentivo à realização deste trabalho.

MEU MUITO OBRIGADO

RESUMO

Esta dissertação objetiva, com suporte do geoprocessamento, apresentar uma metodologia de um modelo de planejamento agrícola conservacionista, utilizando a Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) associada a Aptidão Agrícola das Terras, já convencionalmente utilizada.

A partir de uma revisão bibliográfica, são abordadas as bases conceituais relacionadas as Técnicas de Sensoriamento Remoto em Base Orbital; Sistemas de Informação Geográfica (SIG's); problemática da erosão do solo; modelo da EUPS e Aptidão Agrícola das Terras. Destes temas, é dado prioridade ao Modelo da EUPS, pois a partir dele é que são gerados mapas temáticos de Potencial Natural de Erosão (PNE), considerados como importantes subsídios ao planejamento agrícola.

O fator comprimento da vertente, constante do modelo do PNE, foi utilizado segundo duas resoluções distintas, uma representada por células de 0.25 x 0.25 cm e outra, considerando um pixel de 0.5 x 0.5 cm. Este procedimento forneceu um significativo apoio ao critério metodológico adotado neste estudo.

O desenvolvimento da base operacional está vinculado a uma área teste, localizada nos limites dos Municípios de Paty de Alferes e Miguel Pereira, região esta, constituída de "mar de morros", que apresenta, inclusive, problemas de erosão dos solos em virtude da horticultura implantada (principalmente tomate).

A comparação entre os modelos de PNE desenvolvidos neste estudo com o modelo de Aptidão Agrícola das Terras, convencionalmente utilizado, indicou haver uma boa correspondência entre a classe inapta de Aptidão Agrícola das Terras com as classes de maiores potenciais de erosão e terras aptas para a lavoura, com menores potenciais de erosão, o que garante os procedimentos metodológicos utilizados na presente dissertação.

Em síntese, enfatiza que os planejamentos agrícolas conservacionistas necessitam envolver uma enorme gama de informações, que podem ser administradas por modelos, como o PNE e Aptidão Agrícola das Terras, gerados a partir de um suporte de geoprocessamento.

ABSTRACT

This study shows a methodological view regarding to establishment thematic maps using the Universal Soil Loss Equation-USLE and Agricultural Land Uses with support of the geoprocessing techniques.

A conceptual basis is discussed in relation to Remote Sensing, USLE, Soil Erosion, Agricultural Land Uses and Geographical Information Systems.

A operational basis was developed with empirical support on an area between the townships of Paty de Alferes e Miguel Pereira. Thematic maps were generated with support on several geoprocessing techniques (PNE-Potential Natural de Erosão e Aptidão Agrícola das Terras).

The comparison between PNE maps established with a new approach developed in this study and the traditional Agricultural Land Uses maps indicates the consistency of this study and an importance of the thematic maps to aid decisions concerning to Maintenance Agricultural Planning.

SUMÁRIO

	pag.
1. INTRODUÇÃO	01
1.1. Apresentação.....	02
1.2. Objetivos e Hipótese.....	03
1.2.1. Objetivo Geral.....	03
1.2.2. Objetivos Específicos.....	04
1.2.3. Hipótese.....	04
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	05
2.1. A Erosão e seu Estudo.....	06
3. BASE CONCEITUAL	09
3.1 Base Conceitual para Utilização do Sensoriamento Remoto (SR).....	09
3.1.1. Técnicas de Pre-Processamento.....	14
3.1.1.1. Realçamento de Imagens.....	14
3.1.1.2. Transformações IHS ↔ RGB.....	16
3.1.1.3. Correção de Erros.....	17
3.1.1.4. Operações Aritméticas e Lógicas.....	19
3.1.1.5. Principais Componentes.....	19
3.1.2. Classificações.....	20
3.1.2.1. Classificação Supervisionada.....	21
3.1.2.1.1. Método do Paralelepípedo.....	22
3.1.2.1.2. Método das Distâncias Mínimas.....	22
3.1.2.1.3. Método da Máxima Verossimilhança (MaxVer).....	23
3.1.2.2. Classificação Não Supervisionada.....	24
3.2. Base Conceitual para Utilização do Geoprocessamento e em Especial Sistemas de Informação Geográfica(SIG's).....	25
3.2.1. Aplicações.....	26
3.2.2. Os Princípios de um SIG.....	27
3.2.3. Análise de Dados.....	29
3.2.4. Modelagem Numérica de Terreno (MNT).....	30
3.2.4.1. Formas de Interpolação para Geração de uma Matriz de Valores do Atributo Z.....	32
3.2.5. Integração entre SR e SGI.....	34
3.3. A EUPS e o Potencial Natural de Erosão (PNE).....	36
3.4. Aptidão Agrícola das Terras.....	39

	pag.
4. AS COMPONENTES FÍSICAS DO PROCESSO OPERACIONAL.....	42
4.1. Área de Estudo.....	42
4.2. Documentação e Equipamentos.....	48
5. MÉTODOS E TÉCNICAS.....	49
5.1. Processamento Digital de Imagem.....	49
5.1.1. Classificação das Imagens.....	55
5.1.1.1. Classificação Segundo a Máxima Verossimilhança (MaxVer).....	55
5.2. Os Mapas de Solos e de Aptidão Agrícola.....	57
5.2.1. O Mapa de Solos.....	57
5.2.2. Aptidão Agrícola das Terras da Área Teste.....	61
5.3. Os Fatores do Potencial Natural de Erosão (PNE).....	63
5.3.1. O Fator Erosividade (R).....	65
5.3.2. O Fator Erodibilidade (K).....	66
5.3.3. O Fator Topográfico (Fatores L e S).....	67
6. RESULTADOS.....	75
6.1. Resultados Obtidos Através das Imagens Orbitais.....	75
6.2. Integração dos Fatores para Elaboração dos Mapas de PNE.....	78
6.3. Os Cruzamentos para Avaliação dos Modelos.....	80
6.3.1. Cruzamento entre Aptidão Agrícola X PNE1.....	80
6.3.2. Cruzamento entre Aptidão Agrícola X PNE2.....	82
6.3.3. Cruzamento entre Aptidão Agrícola X Cobertura vegetal/Usos da Terra.....	84
6.3.4. Cruzamento entre PNE1 X Cobertura Vegetal/Usos da Terra.....	87
6.3.5. Cruzamento entre PNE2 X Cobertura Vegetal/Usos da Terra.....	88
6.4. Análise Comparativa dos Resultados dos Cruzamentos.....	90
7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	93
8. BIBLIOGRAFIA.....	100
ANEXO 1.....	103
ANEXO 2.....	104
ANEXO 3.....	105
ANEXO 4.....	106
ANEXO 5.....	107

	pag.
ANEXO 6.....	108
ANEXO 7.....	109
ANEXO 8.....	110
ANEXO 9.....	111
ANEXO 10.....	112
ANEXO 11.....	113
ANEXO 12.....	114
ANEXO 13.....	115

LISTA DE TABELAS

	pag.
01 - Faixa espectral relativa as bandas do satélite LANDSAT 5 - TM.	12
02 - Bandas do LANDSAT 5 - TM e suas principais aplicações.....	12
03a- Simbologia correspondente às classes de aptidão agrícola das terras	39
03b- Alternativas de utilização das terras de acordo com os grupos de aptidão agrícola.....	40
04 - Dados de precipitação da área de estudo.....	47
05 - Resultados analíticos das amostras de solo coletadas na área de estudo.....	58
06 - Área e porcentagem das unidades de mapeamento.....	61
07 - Avaliação da aptidão agrícola das terras da área teste.....	62
08 - Área e porcentagem das classes de aptidão agrícola.....	63
09 - Erosividade da chuva de Paty de Alferes e adjacências.....	65
10 - Erodibilidade dos solos de Paty de Alferes	66
11 - Comprimento do canal, área drenada e comprimento da vertente das subbacias Norte e Sul.....	68
12a e 12b - Classes, amplitude, frequência e porcentagens da subbacia Norte.....	71
13 - Resultados alcançados para a subbacia Norte.....	71
14a e 14b - Classes, amplitude, frequência e porcentagens da subbacia Sul.....	72
15 - Resultados alcançados para a subbacia Sul.....	72
16 - Matriz de classificação MAXVER da imagem de 04/12/94.....	76
17 - Relação de áreas e porcentagens das classes de uso encontradas na área.....	76
18 - Dados referentes à precisão do registro.....	77
19a - Classes, amplitude de variação, áreas e porcentagens do PNE1.....	79
19b - Classes, amplitude de variação, áreas e porcentagens do PNE2.....	79
20 - Área total (ha) e porcentagens aproximadas do cruzamento entre Aptidão Agrícola e PNE1.....	80
21 - Área total (ha) e porcentagens aproximadas do cruzamento entre Aptidão Agrícola e PNE2.....	82
22 - Área total (ha) e porcentagens aproximadas do cruzamento entre Aptidão Agrícola e Cobertura vegetal/uso da terra.....	84
23 - Área total (ha) e porcentagens aproximadas do cruzamento entre PNE1 e Cobertura vegetal/uso da terra.....	87
24 - Área total (ha) e porcentagens aproximadas do cruzamento entre PNE2 e cobertura vegetal/uso da terra.....	89
25 - Porcentagens relativas entre os mapas de PNE e Aptidão Agrícola.....	90

LISTA DE FIGURAS

	pag.
01 - Esquema do efeito da atmosfera na radiação eletromagnética....	11
02 - Histograma esquemático.....	15
03 - Cubo de cores RGB, com a diagonal pontilhada representando os níveis de cinza.....	16
04 - Relação entre os espaços RGB e HSI.....	17
05 - Efeito da correção atmosférica num histograma esquemático.....	18
06 - Conjunto de classificação de materiais, com a intensidade máxima e mínima de níveis de cinza.....	20
07 - Pequenos retângulos representam os conjuntos de treinamento.	22
08 - Representação esquemática de duas distribuições normais de classes e seu limite de decisão.....	23
09 - Representação esquemática do cruzamento dos fatores para obtenção do PNE.....	36
10 - Mapa representativo da localização da área de estudo.....	43
11 - Histogramas das bandas 2, 3 e 4 da imagem de 26/11/91.....	50
12a - Histogramas das bandas 2, 3 e 4 da imagem de 26/11/91 após realce pela equação linear de aumento de contraste.....	52
12b - Histogramas realçados das bandas 3, 4 e 5 da imagem de 04/12/94.....	53
13 - Representação gráfica da distribuição dos valores de comprimento de vertentes das subbacias Norte e Sul.....	69
14 - Representação esquemática do ábaco utilizado para a confecção do mapa de declividade.....	73

MODELOS DE PLANEJAMENTO AGRÍCOLA CONSERVACIONISTA -
ESTUDO APLICADO À UMA ÁREA TESTE LOCALIZADA NOS MUNICÍPIOS
DE PATY DE ALFERES E MIGUEL PEREIRA (RJ).

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

1. INTRODUÇÃO

A natureza é complexa, abrangendo aspectos bióticos e abióticos que interagem com um alto grau de associatividade. Os levantamentos de recursos naturais, hoje indispensáveis ao sucesso de projetos de desenvolvimento sustentado, buscam estratificar o ambiente em unidades geoambientais homogêneas, como por exemplo classes de solos, permitindo, assim, focar suas condições ecológicas limitantes, e por consequência, determinar o seu potencial de uso. Embora a repartição do ambiente em unidades homogêneas permita uma melhor análise de aspectos particulares, não se pode descuidar dos aspectos gerais envolvidos.

Nos últimos anos, em função do aumento da população mundial, o homem tem ampliado sensivelmente as áreas de plantio visando acompanhar a crescente necessidade de alimentos. É aqui que surge um grande desafio à ciência, o de manter a produção agrícola em níveis tais que sustentem uma população mundial em crescimento, sem degradar o meio-ambiente.

Para tal objetivo, são extremamente necessários planejamentos agropecuários conservacionistas confiáveis, o que, naturalmente, necessita de extraordinária quantidade de informações manuseadas de forma integrada. Segundo DONZELI et alii (1992), "a grande quantidade de informações e a sua dinâmica espaço/temporal são características deste enfoque e requerem uma

fonte de coleta de dados que atendam aquelas exigências de forma ágil e de custo relativamente baixo". Nestes termos, as técnicas de sensoriamento remoto, auxiliadas pelo emprego de Sistemas de Informação Geográfica (SIG's), constituem-se de importantes ferramentas que podem ser utilizadas para atender tais objetivos.

No que concerne a levantamentos de solos, que se constituem num verdadeiro banco de dados de recursos naturais, muitas agencias nacionais como a USDA Soil Conservation Service, a Canadian National and Provincial Agency e a Dutch Soil Survey Institute (atualmente parte do Staring Institute for Integrated Land, Water and Rural Survey) usam os SIG's como técnicas para mapear e prover informações sobre os solos e outros parâmetros de interesse para diferentes tipos de usuários (MAGUIRE et alii, 1991).

Nesse sentido, a relevância da presente dissertação consiste em associar estas componentes integradoras do meio físico, num estudo de planejamento agrícola conservacionista aplicado à uma área teste (Paty de Alferes), onde se desenvolve um projeto de pesquisa coordenado pela EMBRAPA/CNPS, com a participação da UFRJ/Depto. de Geografia, IBGE, UFF, entre outros.

1.1. APRESENTAÇÃO

A presente dissertação está estruturada, a partir de um capítulo introdutório, onde são apresentados os aspectos gerais que envolvem o estudo do solo e critérios para a conservação da natureza, enfatizando a necessidade de se planejar a ocupação, tanto agropecuária quanto urbana, com vistas a se obter um uso autosustentado de seus recursos.

No capítulo 2 é feita uma revisão bibliográfica sobre a erosão, os aspectos que estão envolvidos nos processos erosivos e a utilização de sensores

remotos como meio auxiliar no diagnóstico de uso das terras. Dando continuidade a revisão bibliográfica, são enfocados os temas de Sensoriamento Remoto (S.R.), Sistemas de Informação Geográfica (SIG's), a Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS)(WISCHMEIER & SMITH,1978) e ainda a Classificação da Aptidão Agrícola das Terras(RAMALHO FILHO et alii,1983), que são objetos de trabalho desta dissertação.

No capítulo 3, de conteúdo conceitual, se fornece uma base para o conhecimento das técnicas de S.R. , de SIG's, da EUPS e da Aptidão Agrícola das Terras, técnicas essas que se revestem em fontes fundamentais para o desenvolvimento do trabalho e o estabelecimento do modelo proposto para o planejamento agrícola conservacionista.

A seguir, no capítulo 4, estão descritas as principais componentes físicas que interagem no modelo de planejamento proposto e que subsidiam a explicação qualitativa do mesmo, bem como, os materiais usados. A base operacional está explicitada no capítulo 5, onde são tratadas as questões relativas aos métodos e técnicas que foram utilizados para efetivação do estudo do caso de uma região de Paty de Alferes e Miguel Pereira.

No capítulo 6, constam os produtos dos cruzamentos dos mapas, objeto deste estudo, colocados em tabelas com áreas e porcentagens, e seus respectivos resultados analisados de forma crítica no capítulo 7, que trata das conclusões e recomendações.

1.2. OBJETIVOS E HIPÓTESE

1.2.1. OBJETIVO GERAL

O objetivo geral do presente estudo é apresentar uma metodologia voltada ao estabelecimento de um modelo conservacionista, utilizando técnicas de

geoprocessamento com vistas a subsidiar decisões à nível de planejamentos agrícolas.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Como objetivos específicos podem ser alinhados:

A) Detectar, através de imagens digitais do sensor Thematic Mapper (TM) do LANDSAT 5, padrões de tipo de uso da terra, sinais de degradação (erosão) e área urbanizada, obtendo como produto o mapa de Cobertura vegetal/Usos da terra.

B) Caracterizar as áreas passíveis de processos de degradação/erosão, através de técnicas de geoprocessamento, obtendo mapas de Potencial Natural de Erosão (PNE) e Aptidão Agrícola.

C) Cruzar as informações geradas pelos mapas temáticos de PNE e Aptidão Agrícola, verificando a existência de superposição espacial das classes encontradas nos diferentes mapas.

D) Gerar cenários ambientais representativos de áreas de conflito, fornecendo um produto síntese, que corresponderá a um mapa temático da área estudada.

1.2.3. HIPÓTESE

As áreas de plantio de horticultura do município de Paty de Alferes e adjacências não estão tecnicamente condizentes com a aptidão agrícola e com o potencial natural de erosão dos solos, o que, conseqüentemente, vem provocando a degradação do meio-ambiente.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A erosão é um fenômeno complexo e está diretamente relacionado as características dos solos e de seu manejo, do relevo e do clima. Em pequenas áreas, o clima representado pelo fator "erosividade da chuva" pode ser considerado constante, em função da homogeneidade das chuvas, enquanto o solo representado por sua erodibilidade, varia constantemente e deve ser calculado para cada classe que ocorre na área de estudo (DONZELI et alii, 1992 e BUENO et alii, 1993). Existe uma razoável interação entre esses fatores, podendo em cada situação, um se sobressair aos outros, sem contudo excluir a influência dos demais.

As principais exigências para se estabelecer a melhor opção de uso da terra estão contidas no próprio solo e no meio-ambiente onde ele se desenvolve. Em muitos casos, a topografia (declividade) é o principal fator condicionante da aptidão agrícola das terras (LEPSCH et alii, 1983 citado por JACOBS et alii, 1993).

Para os estudos topológicos dos aspectos erosivos é necessário conhecer o uso e cobertura vegetal da terra. Nesse sentido, o uso de imagens orbitais se torna um instrumento muito poderoso, pelas suas características como repetitividade e baixo custo, entre outras. Segundo LIMA & CAVALHEIRO (1993), corroborado por LIMA & LIMA (1993), usando-se uma chave de interpretação baseadas em elementos como cor, textura, estrutura e tonalidade e densidade de biomassa, apresentados por imagens de satélites, é possível estabelecer várias formas de cobertura vegetal/uso da terra, delimitando suas áreas de ocorrência. Tal procedimento leva em conta a necessidade do acompanhamento da verdade terrestre através da coleta de dados de campo.

Para melhor compreensão e sem querer estabelecer uma regra geral, neste trabalho, o termo "cobertura do solo" significa a vegetação nativa primária ou secundária, enquanto que "uso da terra" corresponde as atividades antrópicas exercidas na área. Segundo DIAS JUNIOR et alii (1993), a análise da cobertura vegetal/uso da terra mediante coleta de dados de sensores remotos de base orbital permite, em áreas rurais, estabelecer diferenciações entre tipo de cultura, obras e práticas de controle de erosão, fase de desenvolvimento da cultura, parcelamento da terra e dispersão dos assentamentos rurais entre outros.

Ainda em relação ao estudo da cobertura vegetal/uso da terra, os chamados "Índices de vegetação"(IV) utilizados no estudo de comunidades vegetais e de agroecossistemas, tiveram ao longo das duas últimas décadas uma intensificação de sua utilização e de proposição de novos índices, cada vez mais adaptados as realidades locais (PEREIRA & GONTIJO,1993). No Sistema Interativo de Tratamento de Imagens (SITIM), desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), foi incluído um desses índices, modificado à partir do IV proposto por ROUSE et alii(citado por PEREIRA.op.cit.); este procedimento está contido no SITIM/INPE e será testado para avaliar o seu potencial de uso na região de Paty do Alferes-RJ.

2.1. A EROSÃO E O SEU ESTUDO

Erosão pode ser definida como a remoção do solo acima de um nível considerado aceitável (HIGGITT,1991) e a sua maior ou menor incidência depende dos processos biofísicos e dos fatores sócio-econômicos.

A grande massa de informações já existentes e, mais recentemente o advento das técnicas de geoprocessamento, oferecem subsídios importantes para a caracterização do estado atual de degradação dos solos e possíveis tendências futuras.

Segundo PINTO (1991), dados referentes as características das vertentes (declividade, extensão e geometria do perfil), cobertura litológica/pedológica, cobertura vegetal (incluindo vegetação natural e alterações antrópicas) e de precipitação devem ser levantados e analisados conjuntamente, na tentativa de definir procedimentos de diagnose ambiental.

No caso de estudos de erosão de solos, alguns modelos tem sido usados e entre eles podemos citar :

- EUPS (Equação Universal de Perda de Solo)(WISCHMEIER & SMITH, 1978)
- ANSWERS (Areal Nonpoint Source Watershed Environment Response Simulation)
- WEPP (Water Erosion Prediction Project).

Segundo FLACKE et alii (citado por HIGGIT, 1991), a combinação da EUPS com o Modelo Digital de Terreno pode produzir mapas significativos de risco de erosão (tanto laminar como em sulcos) e se tornar interessante, do ponto de vista prático.

No Brasil, alguns trabalhos têm sido feitos utilizando a EUPS para criar, através de técnicas de geoprocessamento, mapas de Potencial Natural de Erosão e de Estimativas de Perdas, como os trabalhos conduzidos por PINTO (1991) e DONZELI et alii (1992).

Na área de interpretação de levantamentos de solos, a Classificação da Aptidão Agrícola das Terras, desenvolvida pelo Centro Nacional de Pesquisa de Solos (CNPS-EMBRAPA), constitui-se num exemplo de planejamento agrícola conservacionista, que leva em consideração variáveis como fertilidade, possibilidades de mecanização, susceptibilidade a erosão, deficiência/excesso d'água e pedregosidade.

Portanto, tanto o Potencial Natural de Erosão, quanto a classificação da Aptidão Agrícola das Terras são meios de planejamento agrícola que levam em consideração o aspecto conservacionista/preservacionista.

O item 3, a seguir, que trata da base conceitual relativa ao Sensoriamento Remoto, aos Sistemas de Informação Geográfica, à "Equação Universal de Perda de Solo" (EUPS) e à Aptidão Agrícola das terras, também apresenta indicações bibliográficas, que por motivo de melhor composição na redação vem acoplada a cada tema acima mencionado. Por esta razão, essas citações não estão incorporadas no item 2, Revisão Bibliográfica.

3. BASE CONCEITUAL

Este item se refere às bases conceituais para utilização das ferramentas de estudo desta dissertação.

3.1. BASE CONCEITUAL PARA UTILIZAÇÃO DO SENSORIAMENTO REMOTO (SR)

O Sensoriamento Remoto (SR) abrange todas as técnicas possíveis de serem usadas para obter informações à respeito da superfície da terra e de sua atmosfera, por sensores que registram a radiação eletromagnética (REM) e estão localizados sobre plataformas específicas (GREGORY, 1992). Segundo CARVALHO (1993), a cada dia, as técnicas de SR ficam mais sofisticadas, ampliando sua aplicabilidade nos mais variados ramos da ciência e, hoje, pode-se dizer que é a mais importante técnica de aquisição de informações para o geoprocessamento.

Existem vários conceitos sobre sensoriamento remoto e dentre eles podem ser citados:

- Método de coleta de dados onde o sensor está longe do fenômeno, isto é, não está em contato físico direto com ele (COLWELL, 1984 cit. por JENSEN, 1986).
- Utilização de sensores para a aquisição de informações sobre objetos ou fenômenos, sem que haja contato direto entre eles (MORAES NOVO, 1992).
- Conjunto de métodos desenvolvidos para se obter dados de um meio com o qual não se tem contato físico, obtendo-se desta maneira, informações à distância (HARRISON & JUPP, 1989).

Embora as técnicas de SR já tenham sido desenvolvidas para fins específicos como por exemplo os "Índices de Vegetação", estes não devem ser aplicados indiscriminadamente em todos os locais, sem antes passarem por uma avaliação e, se necessário, modificações.

Dados de sensores remotos nos fornecem uma visão sinóptica ou regional da superfície da terra, possibilitando identificar feições particulares de interesse e criando uma grande gama de informações. Entretanto, os métodos de aquisição desses dados através de sensores remotos envolve implicitamente um certo nível de abstração. Por exemplo, um estudo particular para determinar a cobertura vegetal e suas condições, leva em consideração parâmetros que não são medidos diretamente, eles são relativos à propriedade pela qual a vegetação pode ser "medida" remotamente, chamada reflectância (HARRISON & JUPP, 1989).

Um sistema sensor remoto detecta a energia eletromagnética que emana do objeto de interesse e atravessa a atmosfera que pode muitas vezes estar não muito clara. O sistema sensor então transforma a energia eletromagnética refletida ou emitida que foi captada em sinais eletrônicos analógicos que são subsequentemente convertidos para valores digitais.

A figura 1 mostra esquematicamente como a radiação eletromagnética (REM), proveniente do sol, atravessa a atmosfera e chega ao sensor.

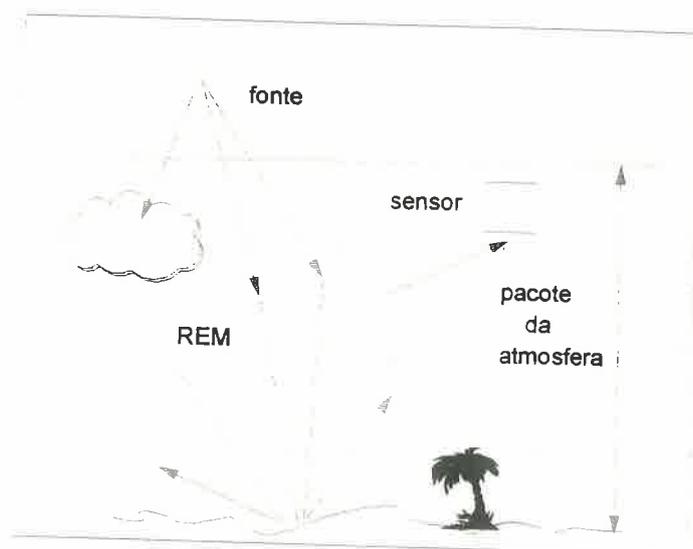


Figura 1 : Esquema do efeito da atmosfera na Radiação Eletromagnética.

Fonte : Adaptado de PINTO (1992)

Também as fotografias aéreas e as imagens de radar tem sido, há muito, empregadas na geografia física e tem sido ingrediente particularmente importante para avaliação de recursos terrestres. No entanto, com o advento das plataformas orbitais (satélites), aumentou sensivelmente o potencial do SR, devido à algumas características intrínsecas aos dados gerados pelos sensores nelas transportados. Os satélites que geram dados para a pesquisa científica atualmente disponíveis no Brasil são os sistemas SPOT, fabricado pelo consórcio entre França, Itália e Holanda, e o LANDSAT, de fabricação norte-americana. Neste trabalho, utilizaremos dados gerados pelo satélite norte-americano.

O LANDSAT 5, quinto satélite da serie, possui uma órbita polar e foi lançado em 1984 permanecendo em atividade até hoje, superando assim, as expectativas. Continua enviando dados as estações de captura terrestres e está equipado com um sensor denominado Thematic Mapper (TM).

O LANDSAT 5 -TM, é o que mais nos interessa, sendo por este motivo, o que será comentado.

O sensor TM capta a REM em 7 (sete) bandas com diferentes faixas de comprimento de onda, conforme é apresentado na tabela 1.

Tabela 1: Faixa espectral relativa as bandas do satélite LANDSAT 5 - TM

BANDAS	FAIXA ESPECTRAL (micrômetros)
TM1	0,45 a 0,52
TM2	0,52 a 0,60
TM3	0,63 a 0,69
TM4	0,769 a 0,90
TM5	1,55 a 1,75
TM6	10,4 a 12,5
TM7	2,08 a 2,35

A tabela 2 demonstra as principais aplicações de cada banda do LANDSAT 5-TM com o comportamento espectral de alguns alvos.

Tabela 2: Bandas do LANDSAT 5 - TM e suas principais aplicações

Banda	Aplicações potenciais
1	Mapeamentos de superfície d'água e análise de materiais em suspensão. Diferenciação solo/vegetação.
2	Mapeamento de vegetação sadia pela reflectância verde, cujo pico é em 0,55 μm
3	Banda de absorção da clorofila; útil na diferenciação de espécies vegetais.
4	Estudos de volume da biomassa e delineamentos de corpos d'água.
5	Estresse hídrico em vegetação
6	Propriedades termais dos alvos
7	Considerada uma banda estritamente geológica, selecionada para identificar minerais com ions hidroxila.

O LANDSAT 5 - TM, em sua órbita, apresenta uma cobertura com largura de aproximadamente 184 Km, fazendo uma varredura de toda a extensão e compondo cenas quadradas, chamadas de "cena completa", que, por motivos operacionais, se divide em 4 quadrantes. O pixel, que compõe a imagem, considerado como uma unidade distinta, possui 30 x 30 m de tamanho real na superfície da terra. Dessa forma, uma imagem do LANDSAT 5 - TM pode ser considerada uma imagem rasterizada de 184 x 184 Km onde cada célula da matriz ou pixel mede 30 x 30 m e é registrada na forma de níveis de cinza, que variam de 0 a 255, ou seja, cada pixel pode assumir um valor de cinza variando de 0 a 255, dependendo do alvo contido na cena e da banda em questão.

Pode-se então caracterizar o LANDSAT TM-5 como possuidor de 4 resoluções que são: a) resolução espacial de 30 x 30 m; b) resolução temporal, que está relacionada com o intervalo de tempo entre aquisições sucessivas de uma mesma área, e que é de 16 dias; c) resolução espectral, equivalendo aos canais ou bandas que estão associadas aos intervalos de comprimento de onda e que são ao todo 7 e d) resolução radiométrica, que pode ser definida como "a quantidade de energia requerida para aumentar uma unidade de nível de cinza de um pixel" (HARRISON e JUPP, 1989), sendo que no caso, o mínimo é de 0 e o máximo de 255, compreendendo uma resolução dita de 8 bits (dígitos binários) que condicionam a sua representação no computador.

As imagens então são compostas por uma matriz com Y linhas e X colunas e cada célula (X,Y) possuindo um valor de nível de cinza, conhecido por DN (digital number).

O histograma é uma das formas mais comuns de se representar a distribuição dos DN's de uma imagem, e possivelmente a mais útil para o processamento digital (CROSTA, 1992). A figura 2 representa um histograma de uma única banda de uma imagem de 8 bits.

O software SITIM/INPE permite a utilização de varias funções. No caso de imagens digitais do LANDSAT 5-TM, a aquisição de informações a partir dos dados originalmente captados pode ser pouco expressiva. Por este motivo, o uso de técnicas de pré- processamento são necessárias para extrair o máximo possível de informações dessas imagens.

3.1.1. TÉCNICAS DE PRE-PROCESSAMENTO.

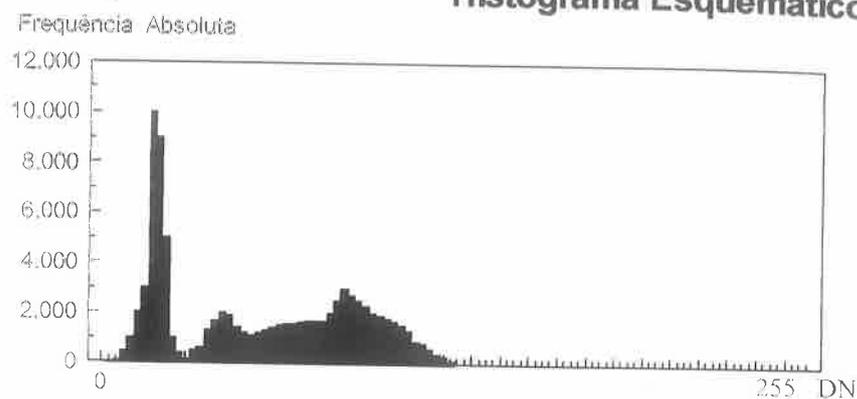
São técnicas que permitem retirar o máximo de informações das imagens geradas pelos satélites, pois geralmente as imagens originais mascaram as informações da superfície da terra. Entre elas podemos citar:

3.1.1.1. REALÇAMENTO DE IMAGENS

Consiste na transformação de uma cena de baixo contraste em cena visualmente mais realçada, discriminando melhor os alvos nela contidos. Na realidade ocorre que, quando uma cena é capturada pelo LANDSAT 5 - TM, a variação de níveis de cinza não é muito grande na maioria dos pixels, como na figura 2.

Figura 2 :

Histograma Esquemático



Valor de Brilho (0 a 256)

Fonte : Adaptado de JENSEN (1986)

Na figura 2 pode-se observar que a grande maioria dos pixels está dentro da faixa que vai do DN 60 ao 150. Como se pode imaginar, esta imagem terá pouco contraste visual devido à aglomeração em apenas aproximadamente 1/3 de todo o intervalo possível, porém, com as técnicas de realce de imagens, este contraste pode ser significativamente aumentado, fazendo com que a curva que representa a frequência se estenda pelos 256 DN possíveis.

As técnicas de realce mais usuais são: aumento linear de contraste, bilinear, não-lineares (equalização, normalização, logarítmica e exponencial) e quase-lineares (CROSTA, 1992). Nos programas ou softwares hoje disponíveis, incluindo o SITIM/INPE, todas essas equações de aumento de contraste são facilmente aplicáveis, devendo-se então avaliá-las para se conhecer qual a que melhor se adapta ao objeto de estudo. Não obstante, o aumento linear de contraste é o mais utilizado, pois geralmente tende a diminuir a perda de dados contidos nas imagens originais.

3.1.1.2. TRANSFORMAÇÕES IHS \leftrightarrow RGB

Outra técnica de processamento constitui-se na transformação de RGB em IHS e vice-versa. Ela tem como função, também, realçar as imagens. Consiste nos princípios da teoria básica das cores, onde as cores azul (B), verde (G) e vermelho (R) são consideradas as cores primárias e a partir da mistura delas é possível obter todas as tonalidades de cores. Considera-se então o espaço de cores RGB como um cubo, conforme figura 3.

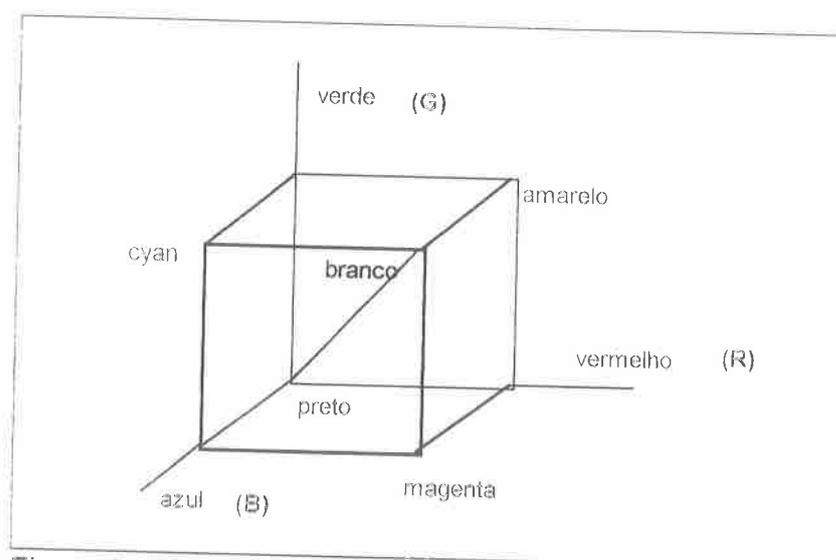


Figura 3 : Cubo de Cores RGB , com a diagonal pontilhada representando os níveis de cinza.

Fonte: Adaptado de CRÓSTA(1992).

A diagonal que vai do preto ao branco é chamado de "eixo cinza" ou acromático e é onde estão os valores de níveis de cinza.

Por outro lado, o espaço HSI (, Hue/Matiz, Saturação e Intensidade) é uma forma alternativa ao espaço RGB. Neste caso, as cores são definidas pelos 3 atributos citados entre parênteses (CROSTA,op.cit.).

A figura 4 mostra esquematicamente a relação entre os espaços RGB e IHS, sendo que este funciona como um cone dentro do cubo RGB.

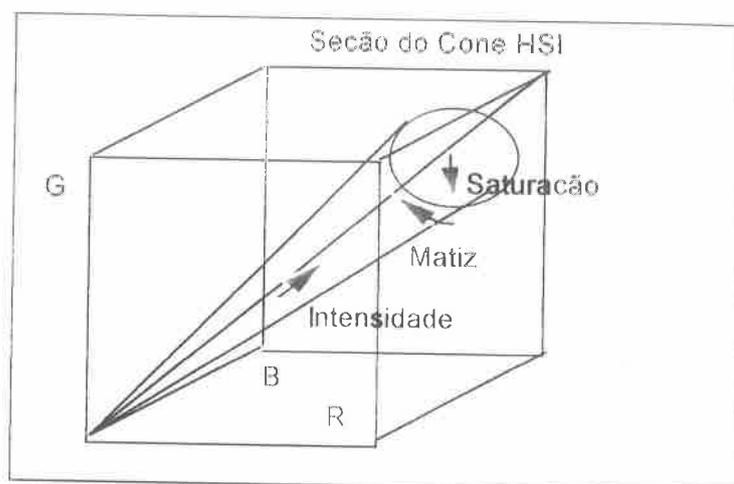


Figura 4 : Relação entre os espaços RGB e HSI

Fonte : Adaptado de CRÓSTA (1992)

3.1.1.3. CORREÇÃO DE ERROS

Erros inerentes aos processos de aquisição de dados podem degradá-los qualitativamente. As imagens de sensores remotos, que constituem uma grande fonte de dados, possuem comumente erros radiométricos e geométricos. O pre-processamento auxilia a determinar e remover esses erros.

O efeito da atmosfera, que "espalha" a radiação eletromagnética (REM), é uma fonte de erro para imagens de sensores orbitais, gerando uma distorção radiométrica. A correção desse efeito é conduzida por um ajustamento do histograma e é utilizada quando se deseja trabalhar com imagens orbitais de diferentes datas. A figura 5 mostra um histograma antes e após a amenização dos efeitos da atmosfera.

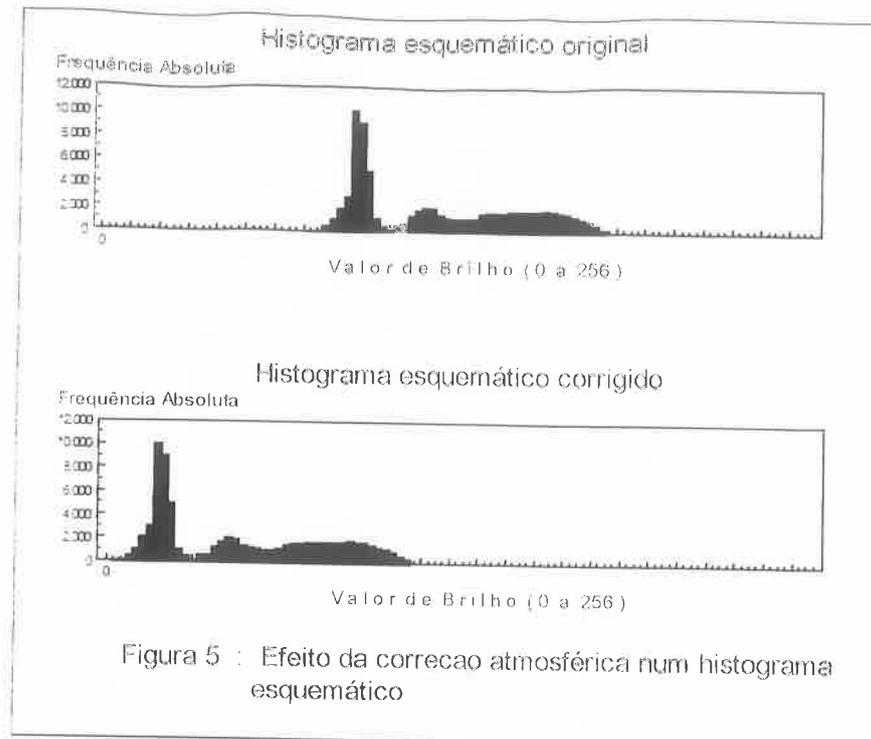


Figura 5 : Efeito da correção atmosférica num histograma esquemático

A distorção geométrica tem duas fontes, que podem ser devidas, de um lado ao próprio sensor e, de outro a altitude e/ou atitude (posição da plataforma). A correção deste tipo de erro é feita através do registro da imagem, que envolve equipamentos como mesa digitalizadora, microcomputador, sistema de tratamento de imagens de satélite ou similar, a imagem em formato digital e um mapa da mesma área para obtermos pontos de controle tanto no mapa quanto na imagem. O registro nada mais é que georreferenciar uma imagem, que permite que as informações extraídas das imagens de satélite possam ser integradas à outras informações ou seja cruzada com outros mapas dentro de um Sistema de Informação Geográfica (SIG).

3.1.1.4. OPERAÇÕES ARITMÉTICAS E LÓGICAS

Esta operação permite a adição, subtração, multiplicação e divisão de imagens previamente registradas, onde um pixel de uma imagem se refere exatamente a mesma área no terreno e ao mesmo pixel da outra imagem (CROSTA, 1992).

Neste tipo de operação são criadas as imagens ditas "razão de bandas", sendo bastante utilizadas na determinação dos Índices de Vegetação (IV's), entre outros.

No caso dos IV's, a maioria desses estudos envolve o uso de dados multiespectrais do sensor TM do LANDSAT 5 e consiste em reduzir os valores de um pixel em cada banda, através de algoritmos, para um número simples por pixel, que permite prever ou aproximar-se das características da vegetação como biomassa, produtividade, área foliar e/ou porcentagem de cobertura vegetal (JENSEN, 1986).

Muitos IVs são baseados no fato de que existe diferença significativa na forma das curvas de reflectância de alvos vegetais, tais como florestas nativas, reflorestamentos, culturas anuais, etc.

3.1.1.5. PRINCIPAIS COMPONENTES

Segundo CROSTA(op.cit), esta é uma das funções mais poderosas na manipulação de dados multiespectrais, porém devido a falta de compreensão é muito pouco utilizada.

A análise dos principais componentes pode ser utilizada para comprimir a informação contida em um pixel em várias bandas (e.g., 7 bandas do TM) para

apenas 2 ou 3, transformadas numa imagem de principais componentes (JENSEN, 1986).

3.1.2. CLASSIFICAÇÕES

É possível analisar os dados de sensoriamento remoto (SR) da superfície da terra e extrair informações temáticas. Segundo CROSTA(1992), "um dos principais objetivos do SR é o de distinguir entre as composições e identificar os diferentes materiais superficiais". É nessa etapa que os dados são transformados em informações, geralmente através de classificações de imagens multiespectrais.

A necessidade de se usar imagens multiespectrais advém do fato de que, o uso de apenas uma banda pode dificultar a separação de alvos diferentes que tenham um nível de cinza (DN) próximo nesta banda e em outra, possivelmente esses alvos teriam um contraste maior, como na figura 6.

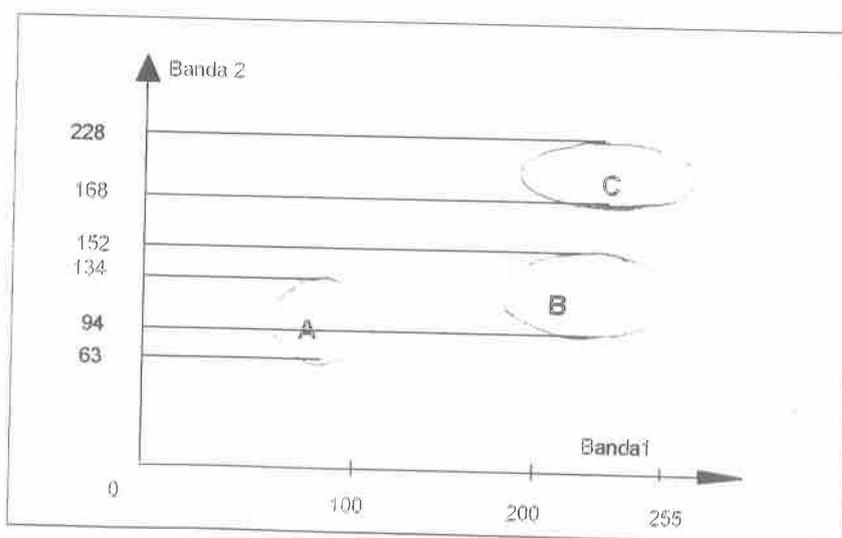


Figura 6: A, B e C são conjuntos de classificação de materiais, onde aparecem os intervalos de intensidade máxima e mínima de níveis de cinza.

Fonte: Adaptado de CROSTA (1992).

As classificações, supervisionadas ou não, consistem em observações no pixel em si e na sua vizinhança.

A classificação é dita supervisionada quando a identidade e a localização dos alvos/tipos da cobertura terrestre são conhecidos a priori, através de trabalhos de campo, análise de fotografias aéreas, mapas, etc. As áreas na imagem na qual o usuário conhece a verdade terrestre são identificadas como "áreas de treinamento", tendo em vista que o uso das características espectrais dessas áreas servem para "treinar" diferentes algoritmos classificatórios, que envolvem cálculos de estatística multivariada com parâmetros, como por exemplo média, desvio padrão, matriz de covariância, matriz de correlação, entre outros.

Classificações não supervisionadas, ao contrário da anterior, não leva em conta o prévio conhecimento da região. O programa utilizado, por si só, identifica as classes dentro de um conjunto de dados, que formam nuvens (cluster) no espaço de atributos. Cabe ao usuário a responsabilidade de rotular as classes estabelecidas e verificar sua veracidade.

Não obstante o tipo de classificação usado, o produto será sempre uma imagem classificada, representando um mapa temático.

3.1.2.1. CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA

Três classificações deste tipo, que são as mais utilizadas para extrair informações temáticas das imagens de satélites, serão aqui enfocadas.

3.1.2.1.1. MÉTODO DO PARALELEPÍPEDO

Esse método considera uma área no espaço de atributos ao redor do conjunto de treinamento e tem uma forma quadrática ou paralelepípeda, definida pelo DN máximo e mínimo do conjunto (CROSTA, 1992), como se pode observar pela figura 7.

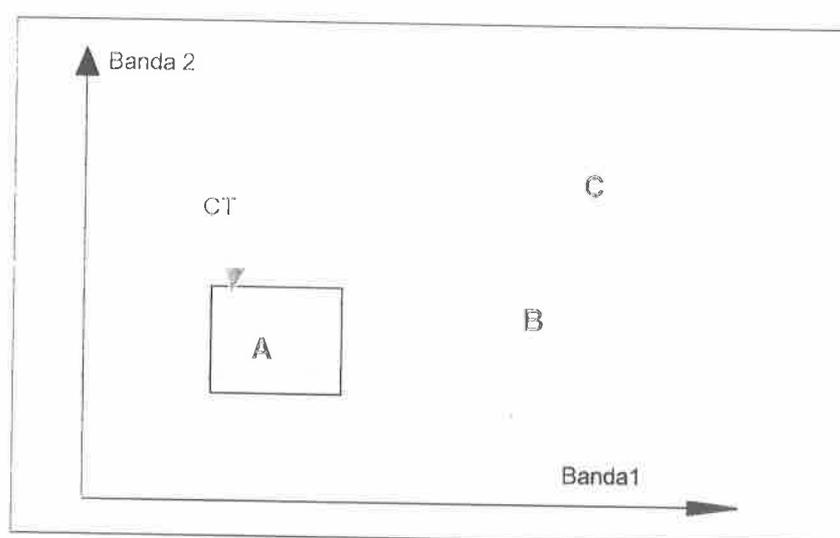


Figura 7: Os pequenos retângulos representam os conjuntos de treinamento (CT), dentro da classe A

Fonte: Adaptado de Crósta (1992).

Ocorre nesse método que a classe inclui pixels desconhecidos ou que na realidade não pertencem aquela classe. Numa imagem de SR que contém milhares de pixels, grande número deles pode estar sendo erroneamente classificado.

3.1.2.1.2. MÉTODO DAS DISTÂNCIAS MÍNIMAS

Esse método possui uma regra de decisão simples em termos computacionais e é comumente utilizada. Como é um método supervisionado, requer conhecimento prévio que possibilite a criação de áreas de treinamento.

Como no método do Paralelepípedo, as classes são trabalhadas estatisticamente, calculando-se a média para cada classe em cada banda espectral. Essa média está próxima ao centro da elipse e "o método da distância mínima atribui cada pixel desconhecido à classe cuja média é mais próxima a ele" (CROSTA, 1992).

3.1.2.1.3. MÉTODO DA MÁXIMA VEROSSIMILHANÇA (MaxVer)

Para que este método seja preciso o suficiente, é necessário um número razoavelmente elevado de pixels para cada área de treinamento, sendo preferencialmente maior que 100 (CROSTA, op.cit.).

O programa, através de cálculos estatísticos, trabalha com classes que tenham distribuição normal e pode ser melhor entendido observando-se a figura 8, quando duas classes apresentam superposição de uma faixa, o MaxVer cria um limite de decisão.

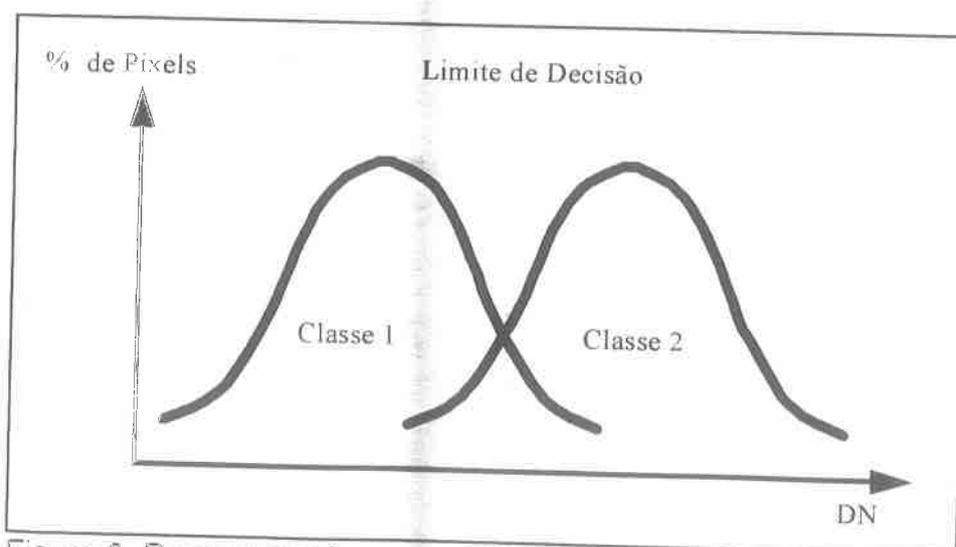


Figura 8: Representação esquemática de duas distribuições normais de classes e seu limite de decisão

É necessário frisar que qualquer que seja o método de classificação utilizado, é importante que o usuário defina áreas de treinamento representativas, para não correr o risco de imprecisões sérias que podem comprometer todo o trabalho.

3.1.2.2. CLASSIFICAÇÃO NÃO SUPERVISIONADA

Requer somente a entrada de dados e o programa identifica as classes automaticamente. É um processo onde operações numéricas são conduzidas para procurar grupamentos naturais de propriedades espectrais dos pixels. O programa seleciona as classes, suas médias e matrizes de covariância que serão posteriormente utilizadas num método de classificação como o MaxVer.

O usuário, após definidas as classes, interage com o programa estabelecendo limiares mínimos de frequência de pixels para que uma classe seja válida. Isso demonstra que existe um certo grau de interação do usuário com o programa, mesmo sendo denominado de não supervisionado.

Quase sempre, o produto obtido pelas classificações que foram comentadas, apresenta-se com ruídos ou pixels isolados, ou ainda grupos de pixels que ocorrem próximas a áreas homoganeamente classificadas. É possível eliminar essas áreas, mesmo que estejam corretamente classificadas, através da homogeneização de temas. Esse procedimento "carrega em si uma dose de risco, porém é útil na apresentação final do produto classificado" (CROSTA, 1992). Esses ruídos ou pixels são então incorporados à outras classes de áreas adjacentes.

3.2. BASE CONCEITUAL PARA UTILIZAÇÃO DO GEOPROCESSAMENTO E EM ESPECIAL OS SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA .

O termo "Sistema de Informação Geográfica" (SIG) pode ser definido de varias maneiras e é frequentemente aplicado para tecnologia computacional de dados orientados geograficamente (MAGUIRE, 1991).

Algumas definições podem ser colocadas de acordo com os seus autores. Segundo ARONOFF(1989), pode ser definido como "procedimento manual ou computacional usado para armazenar e manipular dados referenciados geograficamente"; já BURROUGH (1985), define como "poderosa ferramenta para coletar, armazenar, atualizar, recuperar e exibir dados espaciais do mundo real."

Em termos genéricos, XAVIER-DA-SILVA e SOUZA(1988), definem o geoprocessamento como "um conjunto de procedimentos computacionais que, operando sobre base de dados geocodificados ou, mais evoluidamente, sobre base de dados geográficos, executa análises, reformulações e sínteses sobre os dados ambientais disponíveis."

Neste contexto, os SIG's se revestem em "ferramentas" altamente significativas para o geoprocessamento

Alem destas definições, outras existem, mas todas têm uma feição em comum, que determinam que os SIG's são sistemas que manipulam informações geocodificadas.

Um SIG na realidade é representado como uma série de feições geográficas definidas de acordo com dois elementos básicos. O elemento

geográfico (locacional/localização) que é usado para prover a referência para o atributo, que é o outro elemento.

O enorme desenvolvimento dos SIG's observado na última década, se deve a alguns fatores como: a) maciça proliferação de informações sobre muitos aspectos da cultura e do meio-ambiente, advindos de satélites, censos demográficos e levantamentos topográficos, pedológicos e climáticos, entre outros; b) a grande aplicação comercial do SIG em instituições particulares e governamentais, para inventariar, planejar e gerenciar recursos sobre a superfície da terra e c) rápida redução nos custos operacionais, quando se necessitam de computadores, e elaboração de programas que visam as estruturas espaciais.

Existem vários programas que hoje estão preparados para manusear de forma convincente dados geográficos, e entre eles pode-se citar alguns que são comercializados: IDRISI, ARC/INFO, MAP (Map Analysis Package-IBM) (MAGUIRE et alii, 1991), Sistema Geográfico de Informação (SGI/INPE) e Sistema de Análise Geo- Ambiental (SAGA/UFRJ). Apenas os dois últimos são produtos gerados com tecnologia nacional.

3.2.1. APLICAÇÕES

A nível de aplicação voltada à utilização do solo, um SIG pode ser aplicado para solucionar vários tipos de problemas. DONZELLI et alii (1992), usaram o SGI/INPE para cruzar informações de microbacias a fim de detectar o potencial natural de erosão da área através da equação da EUPS (Equação Universal de Perda de Solo). PINTO (1991), também executou um trabalho de integração de dados ambientais para o estudo da erosão dos solos. JURGENS

geográfico (locacional/localização) que é usado para prover a referência para o atributo, que é o outro elemento.

O enorme desenvolvimento dos SIG's observado na última década, se deve a alguns fatores como: a) maciça proliferação de informações sobre muitos aspectos da cultura e do meio-ambiente, advindos de satélites, censos demográficos e levantamentos topográficos, pedológicos e climáticos, entre outros; b) a grande aplicação comercial do SIG em instituições particulares e governamentais, para inventariar, planejar e gerenciar recursos sobre a superfície da terra e c) rápida redução nos custos operacionais, quando se necessitam de computadores, e elaboração de programas que visam as estruturas espaciais.

Existem vários programas que hoje estão preparados para manusear de forma convincente dados geográficos, e entre eles pode-se citar alguns que são comercializados: IDRISI, ARC/INFO, MAP (Map Analysis Package-IBM) (MAGUIRE et alii, 1991), Sistema Geográfico de Informação (SGI/INPE) e Sistema de Análise Geo- Ambiental (SAGA/UFRJ). Apenas os dois últimos são produtos gerados com tecnologia nacional.

3.2.1. APLICAÇÕES

A nível de aplicação voltada à utilização do solo, um SIG pode ser aplicado para solucionar vários tipos de problemas. DONZELLI et alii (1992), usaram o SGI/INPE para cruzar informações de microbacias a fim de detectar o potencial natural de erosão da área através da equação da EUPS (Equação Universal de Perda de Solo). PINTO (1991), também executou um trabalho de integração de dados ambientais para o estudo da erosão dos solos. JURGENS

e FANDER (1993), também utilizaram um SIG para determinar e simular a erosão de solos através da EUPS. Em termos gerais, um SIG pode nos fornecer respostas a várias questões ambientais tais como localização, condição, tendência, direcionamento, modelos e modelagens espaciais (MAGUIRE et alii, 1991).

Hoje acredita-se que os SIG's constituirão dentro em breve, grandes acervos de informações ambientais, de fácil acesso e manuseio para os usuários que objetivam trabalhos relacionados ao planejamento e gerenciamento ambiental. Desta forma, os SIG's se constituem num instrumento capaz de conceber diagnósticos e prognósticos numa análise ambiental. No entanto, apesar de todo o desenvolvimento tecnológico existente na informática, é necessário prudência e espírito crítico na sua utilização pois, enquanto é desejável o avanço acadêmico em bases teóricas e conceituais "elegantes", a aplicação prática fora de um contexto de análise ambiental voltada para objetivos definidos, pode servir para criar "mapas temáticos isolados no tempo, sem pertencer a uma cobertura geográfica planejada" (XAVIER-DA-SILVA e CARVALHO FILHO, 1993), ou seja, produzir informações desconexas sem uma finalidade social clara e de valor técnico-científico discutível.

3.2.2. OS PRINCÍPIOS DE UM SIG

Diferentes de muitos outros tipos de dados manuseados rotineiramente pelos modernos sistemas de informação, os dados geográficos são mais elaborados pelo fato de que necessitam incluir informações sobre topologia, posição e atributos dos objetos armazenados (BURROUGH, 1986).

Segundo XAVIER-DA-SILVA e SOUZA (1988), a geração de dados ambientais é de uma importância e de custos, comumente, bastante elevados. Os dados são variados e numerosos e colocam para o pesquisador, de imediato, a tarefa de geri-los e organizá-los de maneira a extrair efetivos subsídios para responder as suas questões.

A importância em se adquirir dados ambientais de maneira concisa e confiável advém do fato de que se não forem extremamente corretos e atenderem aos objetivos específicos propostos, poderão gerar resultados sem nenhuma validade científica e social.

A geração de dados e a sua respectiva entrada num SIG, a qual é chamada de INPUT ou ENTRADA, cobre todos os aspectos da transformação de mapas temáticos (solos, geomorfologia, declividade, etc) e de imagens de sensores utilizando-se o formato digital. Após a entrada de dados, estes são processados, podendo-se então extrair as informações, as quais são chamadas de OUTPUT ou SAÍDA. O manuseio pode ser entendido como a análise dos dados de forma lógica e objetiva através do cruzamento de diferentes características (variáveis) distribuídas espacialmente.

Os dados geográficos podem resumir-se em três conceitos topológicos básicos - o ponto, a linha e a área. Todos os fenômenos geográficos podem, em princípio, ser representados por um destes conceitos (BURROUGH, 1986).

Essa estrutura de pontos, linhas e áreas estão presentes em todos os SIG's existentes, pois um mapa é constituído por esta base, definida pela sua localização no espaço (sistema de coordenadas) e pelos seus atributos não espaciais. A ligação entre os atributos não espaciais e as entidades espaciais é feita pela legenda (BURROUGH, 1986), que num SIG se constitui em Banco de

Dados, e este deve possuir hierarquias em sua composição e estar totalmente integrado à topologia.

A representação dos dados geográficos num SIG constitui-se de dois modos: raster e vetorial. O modo raster ou varredura consiste num quadro ou matriz com células, estrutura essa semelhante a de uma imagem de satélite. Sua principal vantagem é o fácil manuseio pelos programas (cálculo de áreas e cruzamento de planos de informação, entre outros), porém ocupa maior espaço físico de memória do computador, pois toda a superfície do mapa é tomada por células. De outro lado, o modo vetorial utiliza muito menos espaço pois trabalha com arcos, isto é, linhas formadas pela ligação de dois pontos dentro de um eixo de coordenadas (X,Y). No entanto, este modo requer uma quantidade de cálculos enorme para se conhecer a área dos polígonos e também para o cruzamento dos planos de informação.

3.2.3. ANÁLISE DE DADOS

Procurando não se afastar de objetivos pre-definidos, a análise dos dados para a extração de informações segue dois procedimentos considerados como diagnósticos e prognósticos. Os procedimentos diagnósticos são os levantamentos ambientais (inventários, planimetrias, assinaturas e monitorias) e as prospecções ambientais (riscos e potenciais, incongruências de uso, potenciais conflitantes, áreas críticas e impactos ambientais). De outra forma, os procedimentos prognósticos envolvem simulações, cenários ambientais, normas e unidades territoriais de manejo ambiental e planos diretores (XAVIER-DA SILVA e CARVALHO FILHO, 1993).

A partir da integração de diversos dados, geográficos e alfanuméricos das mais variadas origens, as análises espaciais e espaço-temporais, capazes de

depreender e explicar os mecanismos que definem a interação espacial do binômio sociedade-natureza qualificam um SIG. A visão holística dos problemas, a possibilidade de promover avaliações e diagnósticos, simulações e previsões, em suma, a condução dos processos de tomada de decisão que implicam na alteração do espaço geográfico, fazem dos SIG's poderosos e multiperspectivos sistemas de informação (PINA, 1994).

3.2.4. MODELAGEM NUMÉRICA DE TERRENO (MNT)

A modelagem numérica de terreno (MNT) é um método que torna possível representar e manipular efetivamente informações sobre variações contínuas de um atributo em um determinado espaço (Burrough, 1986). Quando se utiliza a representação digital da variação deste atributo numa superfície, podemos chamar de Modelo Digital de Terreno (MDT).

Resumidamente, um MNT ou MDT é constituído por um conjunto de vetores (X, Y, Z) , onde X e Y definem a posição sobre a superfície e Z representa o atributo associado àquela posição.

Os modelos podem ser representados tanto por superfícies definidas por equações matemáticas quanto por pontos ou linhas que vão gerar a sua imagem (representação gráfica).

A representação gráfica pode seguir 2 modelos, a saber:

a) Linhas

O mais comum é a representação do MNT por uma série de curvas, que podem ser descritas como a interseção da superfície com planos onde o atributo Z é constante, denominado de isolinhas. Este modelo não é especialmente apropriado ao cálculo de declividades ou da orientação azimutal de cada ponto da superfície, então é comum converter este modelo para o de

pontos, com o formato de uma matriz de valores Z discretizada (Burrough, 1986).

A transformação do modelo de linhas para o de pontos é feito por algoritmos de interpolação.

Neste modelo de linhas, os perfis ou cortes verticais são produtos derivados, comumente utilizados para análise de declividade, elaboração de ortofotocartas e construção de bloco diagramas (representação tridimensional) (Burrough, 1986).

b) Pontos

Segundo Burrough (op.cit), a forma mais comum de MDT é a matriz de altitude ou grade regular retangular. Embora este tipo de modelo permita a geração de isolinhas, de ângulos de declividade e orientação, de sombreamento de relevo e delineamento de bacias, algumas desvantagens podem ser citadas, tais como:

- redundância de informação em áreas onde o atributo Z é uniforme.
- incapacidade de se adaptar as áreas onde o atributo Z é bastante variável, sem mudar o tamanho da célula da grade.

Outra forma de capturar e armazenar dados do atributo Z é a chamada Rede Irregular Triangulada. Esta rede, evita a redundância de informação da matriz ou grade regular e, ao mesmo tempo, é mais eficiente para muitos tipos de processamento computacional, como por exemplo o cálculo da declividade.

A Rede Irregular Triangulada é formada por uma série de sub-áreas triangulares, ajustadas à superfície, com base no princípio de que uma superfície plana pode ajustar-se a quaisquer três pontos não colineares.

3.2.4.1. FORMAS DE INTERPOLAÇÃO PARA GERAÇÃO DE UMA MATRIZ DE VALORES DO ATRIBUTO Z.

O sistema SGI/INPE, por exemplo, utiliza o modelo de Matriz de Valores de Z, obtido pela interpolação dos dados que são introduzidos.

O processo de estimar o valor do atributo Z, em uma área carente desta informação, a partir de valores de pontos amostrados vizinhos é chamado de interpolação. Vários métodos estão disponíveis, cada um mais apropriado a determinada função.

Os interpoladores seguem 2 modelos básicos:

a) Interpoladores de transição abrupta

Essa técnica admite que todas as variações importantes ocorrem nos limites (fronteiras) das classes, sendo que dentro da classe o atributo é homogêneo e isotrópico (Burrough, 1986).

Neste tipo de interpolação se enquadram os Polígonos de Thiessen, que consiste em assumir que dentro de um arranjo (X,Y) de pontos amostrais, a melhor estimativa do valor do atributo Z em local desconhecido é o valor do ponto amostrado mais próximo. Esse tipo de interpolador é mais usado para estudos climatológicos e divide o espaço estudado de uma maneira totalmente dependente da configuração dos pontos amostrados. Segundo Burrough (op.cit.), os Polígonos de Thiessen são melhores para dados qualitativos (valores nominais), já que outros interpoladores seriam inaplicáveis.

b) Interpoladores de transição gradual

Ao contrário do anterior, quase todos os métodos de interpolação incorporam a noção de variação espacial contínua ou gradual, que pode ser

matematicamente definida. Estes interpoladores podem ser divididos em técnicas de ajuste global e técnicas de ajuste local.

As técnicas de ajuste global modelam o espaço utilizando toda a informação disponível, ou seja, todo o universo amostrado. A sua desvantagem está no fato de que em feições de caráter localizado, podem ocorrer problemas. Estas técnicas utilizam a análise de superfícies de tendência (TREND SURFACE) e Séries de Fourier (Burrough, op. cit.).

As técnicas de ajuste local são mais indicadas para o estudo de fenômenos com pequeno intervalo de variação e conseqüentemente um número relativamente grande de pontos amostrais. Segundo Risso (1993), este tipo de técnica analisa a informação referente aos dados localizados na vizinhança do ponto a ser interpolado, e 2 maneiras podem ser citadas: o método da média móvel e o método de otimização da autocovariância espacial (Kriging).

O método da média móvel atribui um valor Z a um ponto não amostrado através do cálculo da média dos valores amostrados em sua vizinhança. Sendo assim, observações localizadas mais próximas ao ponto a ser interpolado, tendem a ter uma influência maior na sua estimativa, isto é levado em consideração quando se calcula a média das cotas vizinhas fazendo uma ponderação dos valores em função da distância do ponto a ser estimado. Esse método é denominado de média móvel ponderada (Burrough, 1986).

Segundo Risso (1993), além da ponderação referente à distância entre os pontos amostrados e o ponto a ser estimado, outros fatores também contribuem para a estimativa. Um destes fatores é relativo ao tamanho da área usada para localizar os pontos amostrais, sendo chamado de método de procura. Este

equivale ao tamanho da vizinhança que será utilizada para os cálculos. O tamanho pode ser normal, por quadrante ou por octante.

O normal utiliza os N pontos vizinhos mais próximos para interpolar o valor do atributo Z. Por quadrante ou por octante, o espaço é dividido em 4 ou 8 setores, respectivamente, atribuindo a cada setor um número máximo de pontos a serem utilizados para interpolar o valor do ponto central.

3.2.5. INTEGRAÇÃO ENTRE O S.R. E O SIG

O S.R. é uma das principais fonte de dados para um SIG, notadamente pela grande quantidade de informação já gerada pelos sensores aerotransportados (radares e fotografias aéreas) e orbitais (LANDSAT 5-TM) principalmente (ARONOFF, 1989).

Os satélites portadores de sensores, além de cobrirem praticamente toda a superfície do globo, incluindo áreas anteriormente inacessíveis, permitem o acompanhamento dos fenômenos em função da sua periodicidade de obtenção das imagens.

Segundo CRÓSTA (1992), o processamento digital das imagens trata especificamente das técnicas utilizadas para identificar, extrair, condensar e realçar a informação de interesse, a partir de uma enorme quantidade de dados que normalmente as compõem. Sendo assim, o sensoriamento remoto apresenta-se como uma parte geradora de dados perfeitamente adequada à caracterização de uma superfície em classes, apesar da limitação oferecida pela dificuldade de obtenção de dados simultâneos à captação das imagens.

Neste momento a integração entre as duas técnicas (SIG e SR) torna-se fundamental. A possibilidade de comparar os planos de informação gerados pelos dados coletados no campo com os resultados obtidos pelo tratamento das

imagens de sensoriamento remoto dão um significado às classes identificadas no processamento digital das imagens.

Além disso, a comparação de imagens obtidas em diferentes ocasiões permite que se conheça, em linhas gerais, a dinâmica dos processos envolvidos na composição do meio-ambiente, sejam de expansão/retração de áreas urbanas, de manejo agrícola, etc.

Assim sendo, os dois processos de geoprocessamento (SIG e S.R.) se relacionam e complementam, propiciando avaliações ambientais de ecossistemas e, reproduzindo as palavras de XAVIER-DA-SILVA (1987) com relação ao SIG, "é uma estrutura georreferenciada de registros ambientais que permite entrada, armazenamento, atualização, transformação, recuperação, análise e exibição de dados ambientais, composta de uma base geocodificada, com um banco de dados a ela acoplada, e um sistema de transformação de seus dados, destinado a analisar situações ambientais julgadas de interesse.

O SIG é a técnica capaz de interrelacionar as informações de sensores remotos com outros tipos de informações espacialmente distribuídas ou cartográficas. Este tipo de interface é funcional e utiliza as informações temáticas extraídas do S.R., conjugadas com os planos de informação do SIG para procedimentos diagnósticos e prognósticos. A figura 9 representa como são cruzados planos de informações num SIG.

3.3. A EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDA DE SOLO (EUPS) E O POTENCIAL NATURAL DE EROSIÃO (PNE).

A EUPS subsidia a obtenção dos PI's para a criação do mapa de PNE, conforme trabalhos elaborados por PINTO(1991) e DONZELI et alii (1992). A figura 9 esquematiza como é operacionalizado o cruzamento dos PI's (fatores da EUPS) para obtenção do mapa de PNE.

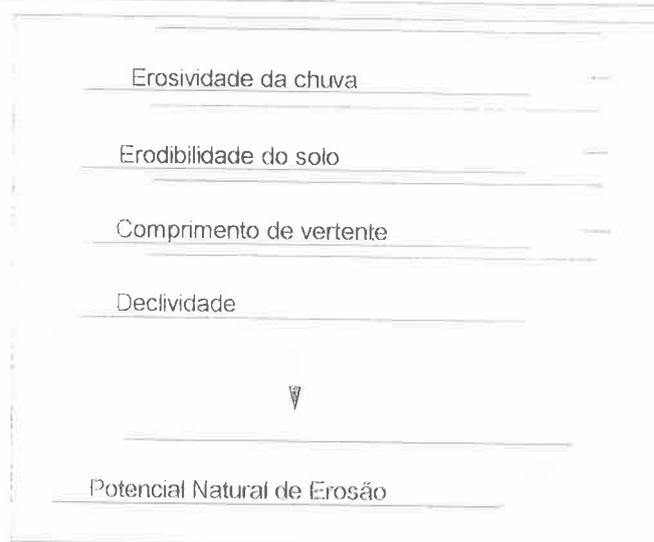


Figura 9: Representação esquemática do cruzamento dos fatores para obtenção do PNE.

Fonte : adaptado de PINTO (1991)

Este processo irá facilitar os estudos das interfaces entre os produtos obtidos por sensoriamento remoto, em base digital, com o produto do PNE obtido através do entrecruzamento dos diferentes PI's obtidos do processo da EUPS, e ainda com o mapa de Aptidão Agrícola.

A Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) (WISCHMEIER e SMITH, 1978) foi adotada por diversos autores para avaliação da degradação dos solos em estudos de médio-grande porte, como os conduzidos por PINTO (op.cit.) e DONZELI et alii (op.cit.), já oportunamente citados.

Os fatores como comprimento e declividade da vertente, susceptibilidade dos solos à erosão e poder erosivo das chuvas, entre outros, são condicionantes da erosão do solo e compõem a EUPS juntamente com a cobertura vegetal/manejo e práticas conservacionistas. A EUPS é formulada da seguinte maneira:

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P, \text{ onde:}$$

- A → perda de solo
- R → erosividade da chuva
- K → erodibilidade do solo
- L → comprimento da vertente
- S → declividade da vertente
- C → cobertura vegetal
- P → práticas conservacionistas

O fator **Erosividade da chuva (R)**, índice de erosão pelas chuvas, ou simplesmente erosividade, é a capacidade de uma chuva em erodir um solo desprotegido (WISCHMEIER, 1959 cit. por PINTO, 1991); será calculado neste trabalho conforme proposta de BERTONI e LOMBARDI NETO (1985), adaptado por LOMBARDI NETO (comunicação pessoal) e expressa pela equação a seguir.

$$R = 89,823 (r^2/P)^{0,759}, \text{ onde:}$$

- R → Erosividade da chuva
- r → precipitação média mensal (mm)
- P → precipitação média anual (mm)

O outro fator considerado na EUPS refere-se à **Erodibilidade do solo (K)**, que por sua vez, representa a susceptibilidade de um solo à erosão. Conforme WISCHMEIER e SMITH (1978), este fator é medido em termos de taxa de perda de solo por unidade de erosividade, e leva em consideração características físicas dos solos (granulometria), % de matéria orgânica,

estrutura e permeabilidade. Essas características são relativas à camada cultivável do solo (WISCHMEIER, 1977). Dentro deste contexto, cada classe de solo ou unidade de mapeamento possui um valor de K.

O fator topográfico (LS), é outra característica básica no estudo da EUPS, sendo constituído por L e S (comprimento e declividade da vertente, respectivamente) e são coletados diretamente das cartas topográficas. O fator topográfico é expresso conforme equação proposta por BERTONI e LOMBARDI NETO (1985).

$$LS = 0,00984 C_v^{0,63} D^{1,18}, \text{ onde:}$$

LS → fator topográfico

C_v → comprimento da vertente

D → declividade

Da mesma forma, os fatores uso e manejo do solo e práticas conservacionistas (C e P), referem-se à cobertura vegetal e práticas conservacionistas respectivamente, equivalendo ao estado atual da região em questão e não são utilizadas para gerar o mapa de Potencial Natural de Erosão (PNE) por serem fatores ligados às atividades antrópicas e estarem em um estado bastante dinâmico.

A obtenção do PNE é feito através de operações e combinações dos fatores envolvidos que se constituem em planos de informação de um SIG e pode ser representado como :

$$PNE = R \cdot K \cdot L \cdot S$$

Os fatores C e P serão discutidos neste trabalho em termos de cobertura vegetal/uso da terra.

3.4. APTIDÃO AGRÍCOLA DAS TERRAS

A aptidão agrícola das terras representa a fase de interpretação de levantamentos de solos visando o uso racional e preservacionista do recurso solo. São considerados três níveis de manejo objetivando diagnosticar o comportamento das terras em diferentes níveis tecnológicos, sendo representados pelas letras A, B e C, que indicam um aumento no nível de aplicação de tecnologia.

De forma reduzida, os níveis de manejo são caracterizados da seguinte maneira:

- Nível de manejo A → Práticas agrícolas que refletem um baixo nível técnico-cultural, e dependem fundamentalmente do trabalho braçal, podendo utilizar alguma tração animal.
- Nível de manejo B → Práticas agrícolas refletem um nível tecnológico médio, condicionadas principalmente à tração animal e uma modesta aplicação de capital e resultados de pesquisa.
- Nível de manejo C → Práticas agrícolas refletem alto nível tecnológico, com a presença da motomecanização nas diversas fases da operação agrícola e aplicação intensiva de capital e resultados de pesquisa.

A tabela 3a representa as classes de aptidão agrícola de acordo com os níveis de manejo e o tipo de utilização.

Tabela 3a: Simbologia correspondente às classes de aptidão agrícola.

Classe de Aptidão Agrícola	Tipo de Utilização					
	Lavouras			Pastagem Plantada	Silvicultura	Pastagem Natural
	Nível de Manejo			Nível de Manejo	Nível de Manejo	Nível de Manejo
	A	B	C	B	B	B
BOA	A	B	C	P	S	N
REGULAR	a	b	c	p	s	n
RESTRITA	(a)	(b)	(c)	(p)	(s)	(n)
INAPTA	-	-	-	-	-	-

Fonte: Adaptado de RAMALHO FILHO et alii (1983).

Com relação aos grupos de aptidão agrícola, trata-se mais de um artifício cartográfico, para identificar no mapa, o tipo de utilização mais intensivo das terras (RAMALHO FILHO et alii, 1983). Esses grupos são identificados pelos números de 1 a 6, sendo que os grupos 1, 2 e 3 pertencem às terras que tenham as lavouras como o tipo de utilização mais intensivo, aumentando a intensidade da limitação de uso com o aumento do número de cada grupo, ou seja, o grupo 1 tem maiores alternativas de uso que o grupo 2 e assim sucessivamente. Os grupos 4, 5 e 6 identificam a utilização com pastagem plantada, silvicultura e/ou pastagem natural e preservação da fauna e da flora, respectivamente.

A tabela 3b demonstra através das áreas hachuradas as possibilidades de uso de cada grupo de aptidão agrícola.

Tabela 3b: Alternativas de Utilização das Terras de Acordo com os Grupos de Aptidão Agrícola

Grupos de Aptidão Agrícola		→Aumento da Intensidade de Uso→				
		Preservação da Flora e da Fauna	Silvicultura e/ou Pastagem Natural	Pastagem Plantada	Lavoura Aptidão Restrita	Lavoura Aptidão Regular
Aumento da intensidade da limitação e Diminuição das alternativas de uso	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					

Fonte : adaptado de RAMALHO FILHO et alii (1983).

Na avaliação da aptidão agrícola são tomados cinco fatores tradicionalmente utilizados para este fim. São eles : deficiência de fertilidade, deficiência de água, excesso de água ou deficiência de oxigênio, susceptibilidade à erosão e impedimentos à mecanização.

Para análise das condições agrícolas das terras, toma-se como referência um solo que, hipoteticamente, não apresenta problemas quanto a quaisquer dos fatores citados anteriormente.

As características inerentes aos solos, nestes cinco fatores, somados a outros fatores como os ecológicos (temperatura, umidade, pluviosidade, luminosidade, topografia, cobertura vegetal, etc) e os econômicos são considerados na Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras (RAMALHO FILHO et alii, 1983).

O mapa de Aptidão Agrícola das Terras que, após transformação para o formato digital, se constituirá num PI, será obtido pela metodologia proposta por RAMALHO FILHO et alii (op.cit.), atualmente em uso pelo Centro Nacional de Pesquisa de Solos (CNPS/EMBRAPA).

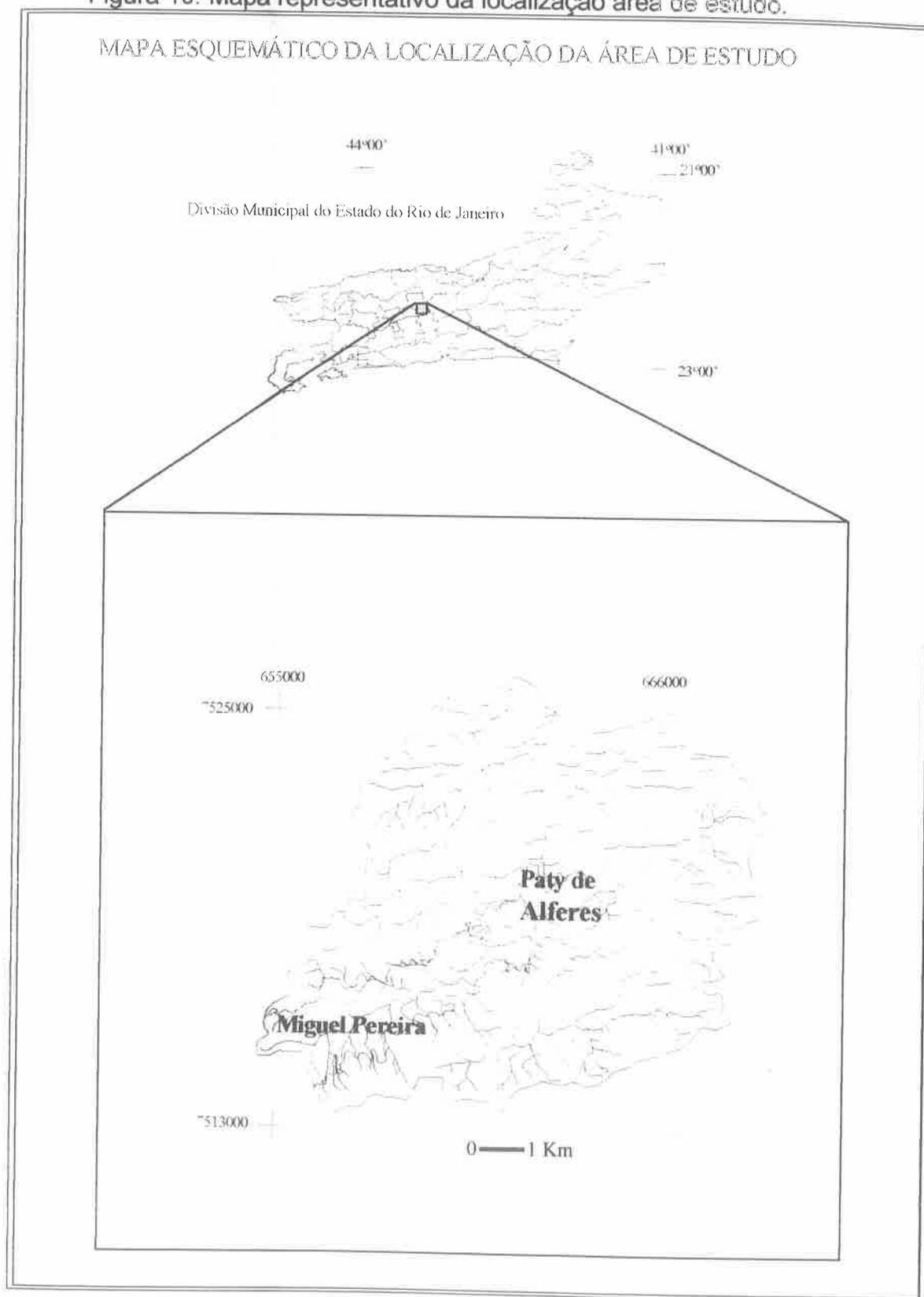
4. AS COMPONENTES FÍSICAS DOS PROCESSOS OPERACIONAIS

Buscando associar a base conceitual, anteriormente apresentada, a uma perspectiva operacional, optou-se por desenvolver os capítulos seguintes, onde primeiramente são apresentadas as justificativas de escolha da área piloto e suas principais características físicas, bem como os materiais, equipamentos e sistemas utilizados para alcançar os objetivos do presente estudo, ou seja, metodologia voltada para o estabelecimento de um modelo conservacionista, utilizando técnicas de geoprocessamento.

4.1. ÁREA DE ESTUDO

Para realização do presente trabalho, optou-se por uma área com atividade agrícola permanente, o que geralmente, devido ao manejo inadequado, acaba por causar a degradação do solo e que, estrategicamente, não fosse muito distante do Rio de Janeiro para facilitar as viagens a campo, necessárias em todo o processo de elaboração. Com esse intuito, optou-se por uma área na região centro-oeste do estado do Rio de Janeiro, abrangendo parte dos municípios de Miguel Pereira e Paty de Alferes. A área teste é constituída por parte da bacia do rio Ubá, indo desde a nascente do córrego do Saco, seguindo até a altura, aproximada, da coordenada quilométrica 7.526 km. Fazem parte os afluentes das margens esquerda e direita deste trecho da bacia. Em termos de coordenadas geográficas, a área de estudo está compreendida entre 22° 22' e 22° 30' de latitude sul e 43° 22' e 43° 30' de longitude oeste. Esta área está localizada na porção sudoeste da folha topográfica Miguel Pereira de IBGE (esc. 1:50.000) (Figura 10). Possui uma área total de 117,92 km², sendo 17,58 km² (15%) ocupados por área urbana e o restante (85%) área rural. Além dos motivos anteriormente citados, acresce o

Figura 10: Mapa representativo da localização área de estudo.



fato do Laboratório de Geomorfologia Fluvial, Costeira e Submarina do Departamento de Geografia (Instituto de Geociências) da UFRJ já possuir imagens digitais da área e de existir, ainda, um projeto integrado entre a EMBRAPA/CNPS e a UFRJ, para o desenvolvimento de um projeto numa microbacia da região.

Segundo informações de nível prático, obtidas pelos trabalhos de campo realizados no local, a agricultura praticada na região utiliza uma aração profunda (aproximadamente 40 cm) realizada "morro abaixo", o que limita a vida útil do solo para o plantio, fazendo com que o agricultor procure novas áreas a cada 2 anos, abandonando ou implantando pastagens naquelas áreas já utilizadas. Este tipo de manejo adotado pelos agricultores vem de longa data e tem favorecido o desmatamento, bem como o assoreamento de córregos e lagoas. Em termos tecnológicos, a agricultura local pode ser considerada de médio para alto nível, pois utilizam tração mecânica, irrigação ou molhação, adubação química e orgânica e pulverização com pesticidas químicos. A horticultura praticada na área prioriza a produção de tomate, pepino e repolho, principalmente.

À nível de características geológicas, segundo o projeto RADAMBRASIL (BRASIL, 1983), a área está dentro do Complexo Paraíba do Sul, que compõe o embasamento do Cinturão Móvel do Atlântico, indo desde os limites entre MG e BA até o litoral sul de SP, estendendo-se pelos estados de RJ e ES. Estrutura importantes entidades morfológicas do sudeste brasileiro, como a serra do Mar, parte da serra da Mantiqueira e Baixada fluminense. Dentro deste Complexo, a unidade indivisa, formada por gnaisse bandeados, milonitos e migmatitos, é a mais expressiva na região de estudo.

Segundo DRM/INPE (1977), o Complexo Paraíba do Sul é denominado de Grupo e é composto por gnaisses bandeados e/ou laminados. Possui um padrão de drenagem tipicamente dendrítico-angular, claramente controlado por estruturas geológicas, com pouco espaçamento e topografia rugosa de topos arredondados e declives relativamente acentuados. Constituída quase que exclusivamente por gnaisses, mostrando muitas variedades, "porem estas rochas geralmente tem um carater comum: o paralelismo muito notável das faixas de composição diferentes" (ROSIER, 1965, citado por DRM/INPE, 1977).

Estes fatores corroboram às condições de erodibilidade que caracterizam a área de estudo.

Com relação à geomorfologia, a região apresenta um quadro relacionado aos efeitos de um tectonismo regional e de sucessivas fases erosionais. A topografia reflete os condicionantes geológicos predominantes, e em toda a sua extensão são registrados vales alongados, segmentos de drenagens retilíneos, linhas de crista e de cumeadas paralelas, relevos com grandes desníveis altimétricos e escarpas íngremes.

O conjunto topográfico e morfológico local formam uma paisagem característica de "mar de morros", facilitando assim, o desenvolvimento agrícola nas partes menos declivosas, intermontanas, porém conduzindo à problemas consideráveis no que se refere à erosão hídrica dos solos nas partes com relevo mais acidentado.

Já os solos da área, segundo levantamento feito pelo CNPS/EMBRAPA, na escala de 1:250.000 (não publicado), são constituídos por uma unidade composta por Latossolo Vermelho-Amarelo textura muito argilosa ou argilosa e Podzólico Vermelho-Amarelo textura argilosa/muito argilosa.

A fase de vegetação encontrada nas duas classes descritas pelo CNPS, indica área de ocorrência de Floresta Tropical Subperenifolia, e a fase de relevo é composta de 2 tipos predominantes, que são forte ondulado e montanhoso. Porém, devido a escala do mapa, apenas duas fases de relevo e uma unidade de solos são citadas, sendo que devido à escala deste trabalho ser maior (1:50000), durante a etapa de aquisição de dados, foi elaborado um esboço pedológico, com o auxílio dos pesquisadores do CNPS/EMBRAPA, onde houve um maior detalhamento das informações como relevo e unidades de mapeamento, que será mais bem definido no capítulo referente aos procedimentos.

O clima da área é considerado Tropical de Altitude (FINDERJ,1977), e caracteriza-se por temperatura média anual de 20,7°C com verões quentes e temperatura média de 24,0°C em fevereiro.

Conforme a tabela 4, a seguir, a pluviosidade média anual é de 1.163 mm, com estação chuvosa de verão (218,4 mm em janeiro) e período mais seco a partir de maio (29,0 mm) se estendendo até agosto (23,8 mm).

ANO/MÊS	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL	MÉDIA
1971	256,7	94,6	91,9	110,3	35,2	68,9	1,2	22,5	64,7	110,1	129,1	176,3	1161,5	96,8
1972	233,7	227,8	143,6	30,3	20,9	2,5	53,8	48,0	29,9	122,5	189,1	135,2	1237,3	103,1
1973	278,9	93,8	89,8	307,3	46,8	10,7	69,2	29,2	19,5	122,5	191,4	254,6	1513,7	126,1
1974	171,4	40,0	144,6	55,1	13,7	45,8	0,0	2,0	13,6	99,8	65,5	214,7	866,2	72,2
1975	196,8	142,8	5,2	62,9	43,6	5,3	28,5	0,0	19,6	78,8	157,4	202,2	943,1	78,6
1976	155,0	168,0	48,6	22,9	46,8	21,7	33,4	56,6	118,3	157,6	337,3	155,8	1322,0	110,2
1977	128,6	4,6	141,5	54,2	1,9	4,3	0,2	2,7	129,3	58,6	252,7	174,5	953,1	79,4
1978	204,7	116,3	100,0	16,0	49,8	14,2	40,5	19,4	62,7	76,7	85,1	90,8	876,2	73,0
1979	152,1	258,3	111,6	29,3	63,4	8,0	21,1	69,9	57,0	107,9	147,0	171,6	1197,2	99,8
1980	184,1	85,2	35,7	73,4	7,0	37,6	0,2	29,2	26,6	84,1	217,2	333,4	1113,7	92,8
1981	288,9	21,7	100,8	97,5	8,0	25,7	1,6	18,0	13,8	121,8	122,8	289,1	1109,7	92,5
1982	258,2	76,6	316,4	39,9	5,9	35,5	31,6	11,8	11,2	155,9	104,6	297,7	1345,3	112,1
1983	264,2	64,9	222,9	93,4	32,1	173,3	57,8	1,1	284,0	105,5	159,6	190,8	1649,6	137,5
1984	150,8	24,5	62,9	61,4	44,9	0,0	2,5	23,8	29,8	19,9	67,4	160,3	648,2	54,0
1985	290,1	160,0	115,1	31,4	37,2	18,6	0,0	23,7	74,5	59,0	203,2	225,6	1238,4	103,2
1986	129,5	167,9	169,9	52,7	55,5	11,2	26,7	73,4	31,9	26,3	33,7	260,3	1039,0	86,6
1987	193,0	170,3	185,2	135,6	85,4	17,7	9,4	6,2	73,6	124,0	67,4	279,7	1347,5	112,3
1988	266,0	335,5	72,1	66,3	94,5	5,3	4,4	0,0	20,8	176,9	68,6	175,0	1285,4	107,1
1989	126,1	188,3	161,0	62,2	39,3	97,3	28,4	35,9	90,5	38,0	81,2	166,6	1114,8	92,9
1990	198,1	94,2	72,0	97,6	71,6	0,2	31,6	25,9	101,6	64,0	82,5	181,4	1020,7	85,1
1991	269,6	97,9	203,6	73,8	41,0	14,2	19,8	7,5	65,9	94,1	66,0	368,7	1322,1	110,2
1992	494,3	74,9	109,5	81,4	48,1	3,2	13,6	14,7	143,1	99,3	214,6	116,8	1413,5	117,8
1993	153,6	147,9	145,8	56,4	16,2	43,6	2,8	26,9	102,6	37,7	103,0	181,6	1018,1	84,8
1994	196,8	45,0	373,0	99,0	253,0	31,3	---	---	---	---	---	---	998,1	---
TOTAL	5241,2	2901,0	3222,7	1810,3	1161,8	696,1	478,3	548,4	1584,5	2141,0	3146,4	4802,7	---	---
MÉDIA	218,4	120,9	134,3	75,4	48,4	29,0	20,8	23,8	68,9	93,1	136,8	208,8	---	---
MÉDIA ANUAL		1162,4												
MÉDIA MENSAL		98,2												

Tabela 4: Dados de precipitação da área de estudo.

Fonte: Estação agroclimatológica da PESAGRO

4.2. DOCUMENTAÇÃO E EQUIPAMENTOS

Para o desenvolvimento do trabalho, foram utilizados produtos de sensoriamento remoto, documentos cartográficos, equipamentos e sistemas (softwares) computacionais.

Com relação aos produtos de sensoriamento remoto, foram utilizadas fotografias aéreas P&B da USAF-1960 na escala 1:60000, imagens digitais LANDSAT 5- TM da orbita 217 ponto 76 quadrante A nas passagens de 26 de novembro de 1991 nas bandas 2, 3 e 4 e de 04 de dezembro de 1994 nas bandas 3, 4 e 5 e imagem analógica do mesmo satélite na escala 1:100000, em composição colorida falsa cor na seguinte combinação, 4R, 3G e 2B.

A documentação cartográfica de apoio à coleta de dados utilizadas neste trabalho foi a seguinte:

- Carta topográfica, na escala 1:50000 do IBGE, folha Miguel Pereira.
- Mapa de solos do Estado do Rio de Janeiro, na escala 1:250000 do CNPS/EMBRAPA (não publicado).
- Mapas pedológico, geológico e geomorfológico do RADAMBRASIL volume , na escala 1:1000000.
- Mapa geológico do estado do Rio de Janeiro do DRM/INPE.

Para o processamento da imagem digital, bem como a fotointerpretação e a análise de dados, foram utilizados os seguintes equipamentos:

- Estereoscópio de mesa.
- Sistema de tratamento de imagens (SITIM/INPE).
- Sistema Geográfico de Informações (SGI/INPE).
- Microcomputador IBM/compatível 386 DX40, dotado de mesa digitalizadora, unidade visualizadora de imagens, plotter e impressora.
- SPRING

Foram também utilizados, como material de apoio à coleta de dados, os seguintes materiais: trado, clinômetro, carta colorimétrica de Munsell, régua, trena, máquina fotográfica e projetor de slides, entre outros.

5. MÉTODOS E TÉCNICAS

Tendo em vista a diversidade das técnicas empregadas no desenvolvimento deste trabalho, optou-se, aqui, por apresentar alguns resultados parciais, que serviram de base para a continuidade do estudo.

5.1. PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

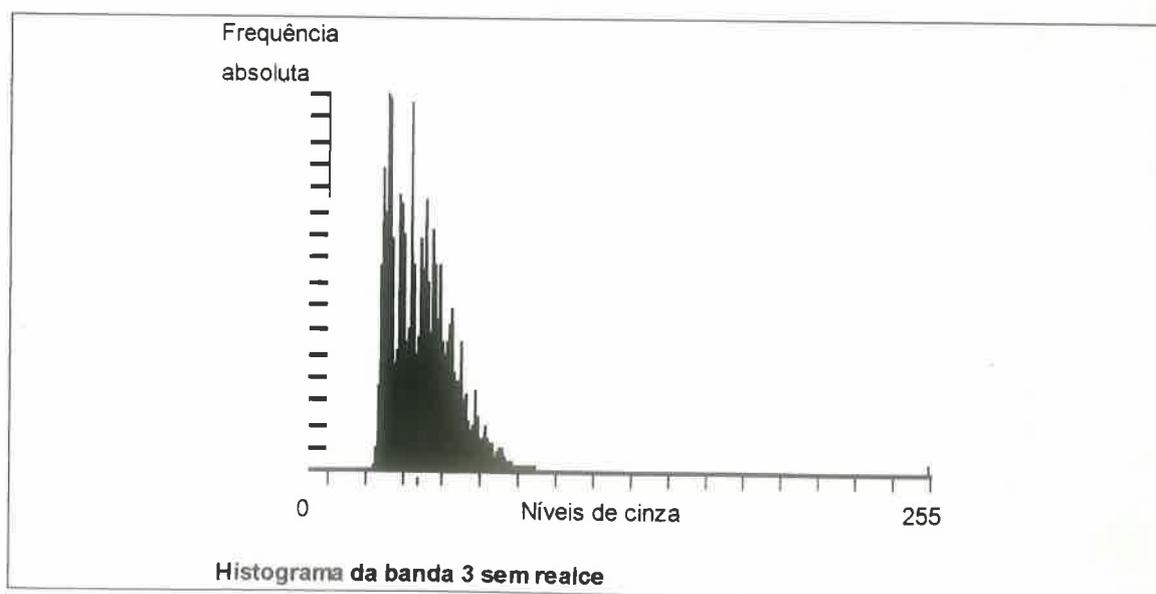
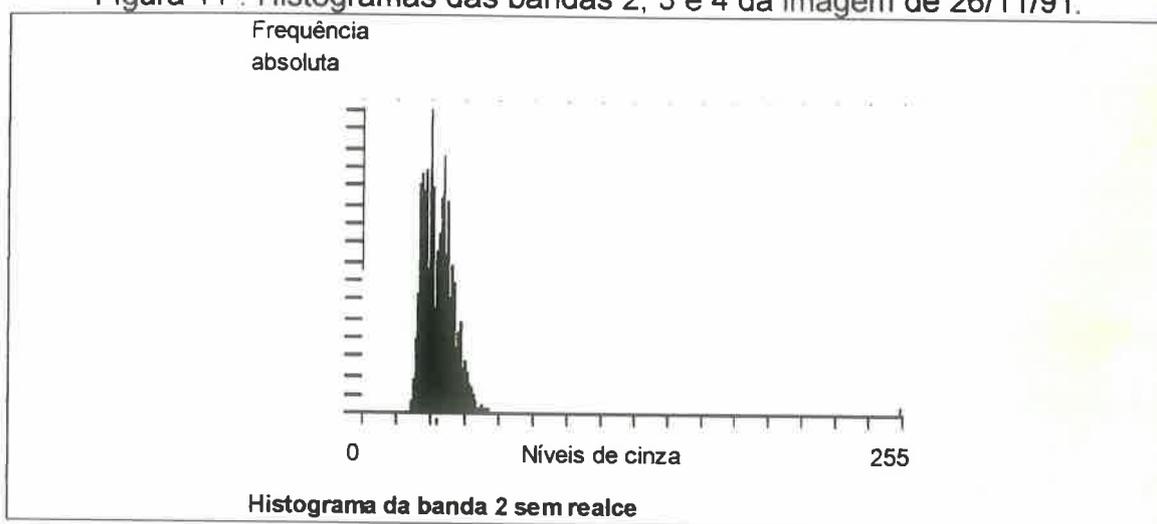
Nesta etapa, operações como realçamento de contraste, transformações IHS \leftrightarrow RGB, registro de imagem, utilização de classificações supervisionadas ou não, foram conduzidas procurando-se extrair o máximo de informações da imagem digital na forma de mapas temáticos, principalmente relacionado à Cobertura Vegetal/Usos da Terra e delimitação da área urbana.

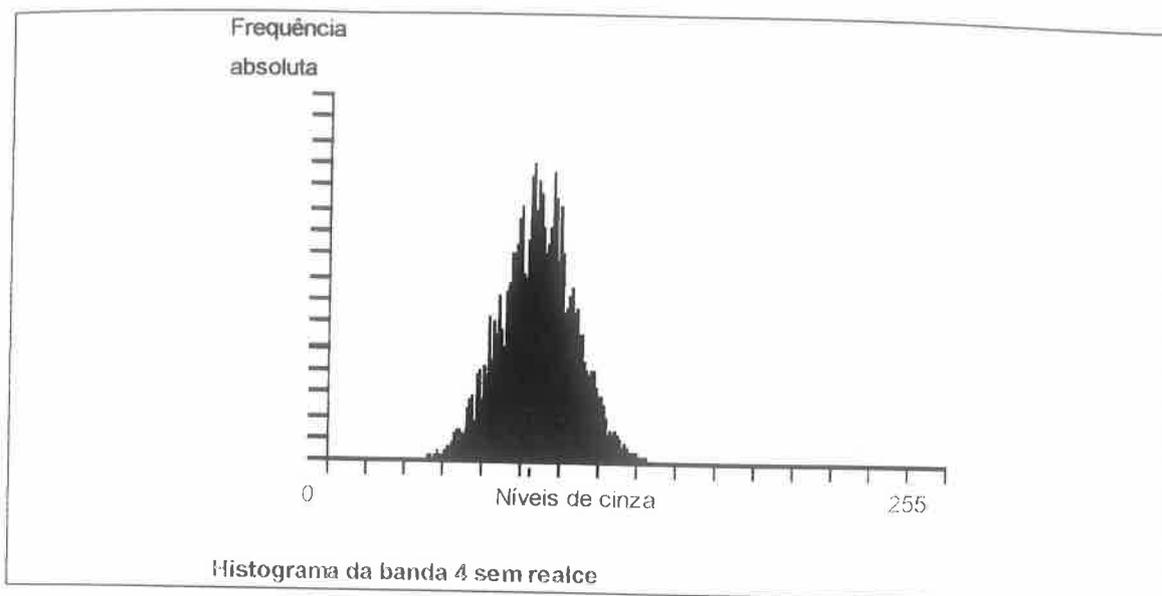
A metodologia adotada partiu da leitura da fita streamer e do compact disc (CD), das imagens de 1991 e 1994 respectivamente, de toda a cena que compõe o quadrante, onde constava a área de interesse. Lida a fita, foi dado o "display" da imagem e localizada a área específica do estudo, sendo então novamente lida a fita, apenas delimitando linhas e colunas iniciais e finais, abrangendo o espaço geográfico a ser analisado, gerando assim, uma nova imagem, que foi a seguir trabalhada. As imagens originais, em fita streamer e CD, pertencem à órbita 217 ponto 76 quadrante A do sensor Thematic Mapper (TM) do LANDSAT 5, nas bandas 2, 3 e 4, da passagem de 26/11/91 e bandas 3, 4 e 5 da passagem de 04/12/94.

De posse da imagem da área de estudo, o passo seguinte foi o seu realçamento. Para tanto, foram gerados os histogramas referentes à cada banda da imagem, como são mostrados à seguir (figura 11), referentes a imagem de 1991.

A presença de uma maior parte dos pixels da imagem, em qualquer uma das bandas, ocupando uma faixa estreita de níveis de cinza, explica a pouca variabilidade de reflectância dos alvos contidos na cena, aspecto este, muito comum para a maioria das imagens digitais deste satélite. Este fato evidenciou a necessidade de se testar, à nível metodológico, os diferentes realces, no sentido de se poder optar por aquele que melhor se adapte à cena.

Figura 11 : Histogramas das bandas 2, 3 e 4 da imagem de 26/11/91.

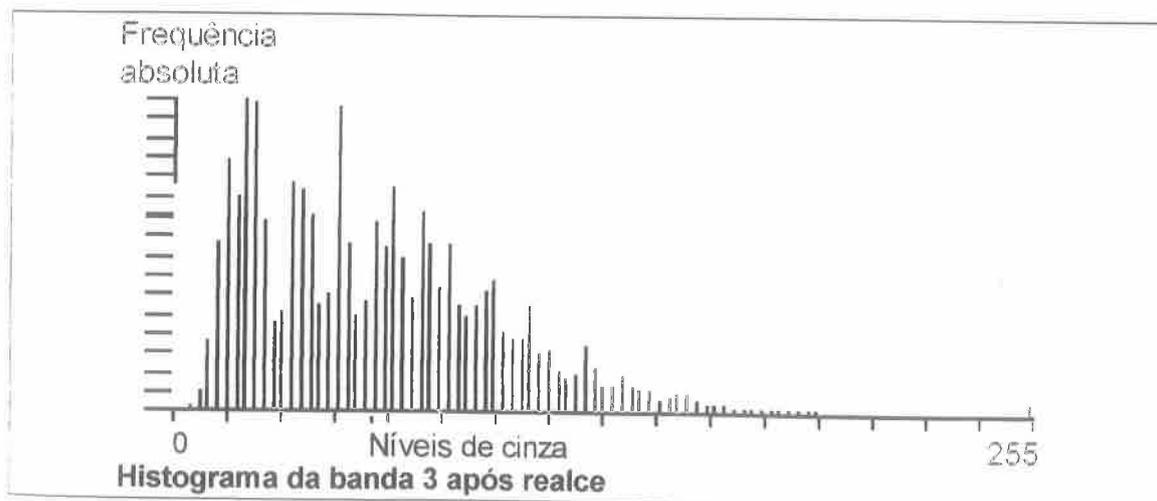
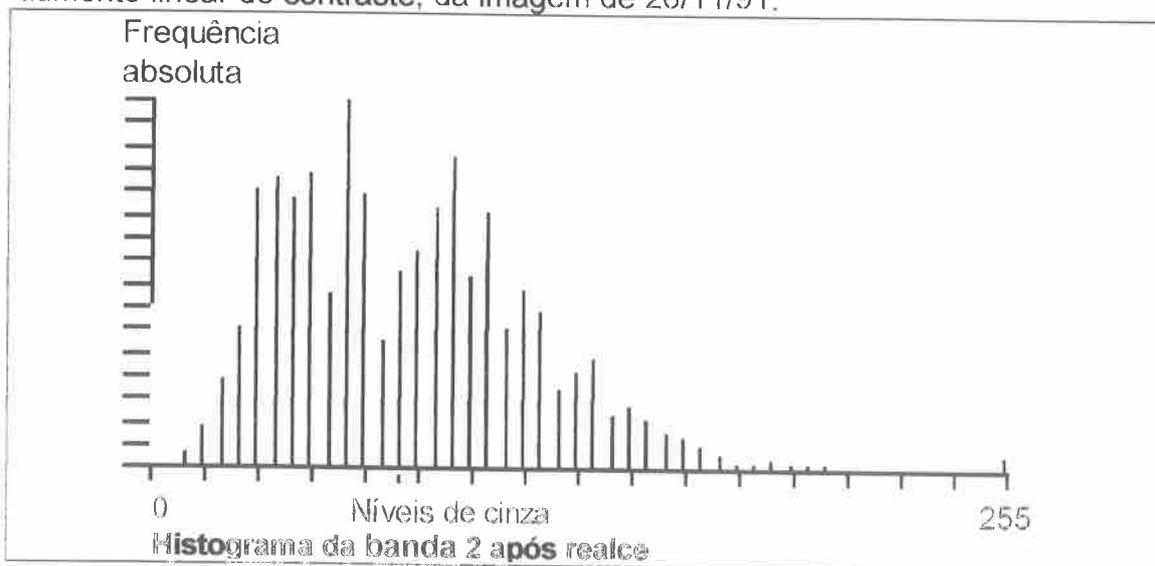




Assim, o realce foi feito de dois modos diferentes, para as duas imagens, afim de verificar qual melhor se adaptaria às condições locais. No primeiro, buscou-se uma equação linear de aumento de contraste para cada banda, que foi posteriormente aplicada; no segundo, optou-se pela transformação $RGB \leftrightarrow IHS$ seguida do aumento linear de contraste, conforme proposto por CRÓSTA (1992). Este passo consistiu em transformar as bandas 4, 3 e 2 (canais R, G e B, respectivamente), da imagem de 1991, chamado "triplet", para o espaço de cores I, H e S (intensidade, matiz e saturação, respectivamente). Em seguida, aplicou-se uma equação de aumento linear de contraste para expandir o intervalo de intensidade e de saturação, de forma idêntica ao primeiro modo, sendo feita então a reversão da imagem para as coordenadas RGB, restaurando a forma inicial do triplet. Tanto a transformação $RGB \rightarrow IHS$, quanto a inversa foi feita através de algoritmos matemáticos, que estão nas rotinas do SITIM/INPE e que são "transparentes" aos usuários. Para a imagem de 04/12/94, nas bandas 3, 4 e 5, procedeu-se da mesma maneira.

Após confronto do realçamento entre os dois procedimentos diferentes, optou-se por aquele gerado pela equação linear de aumento de contraste, pois apresentou um resultado visual melhor para a caracterização das feições de interesse, assim como uma melhor distribuição dos pixels em relação aos níveis de cinza. Os histogramas de cada banda após a aplicação da equação, para as duas imagens, constantes da figura abaixo, documentam o exposto (figuras 12a e 12b).

Figura 12a: Histograma das bandas 2, 3 e 4 após realce pela equação de aumento linear de **contraste**, da imagem de 26/11/91.



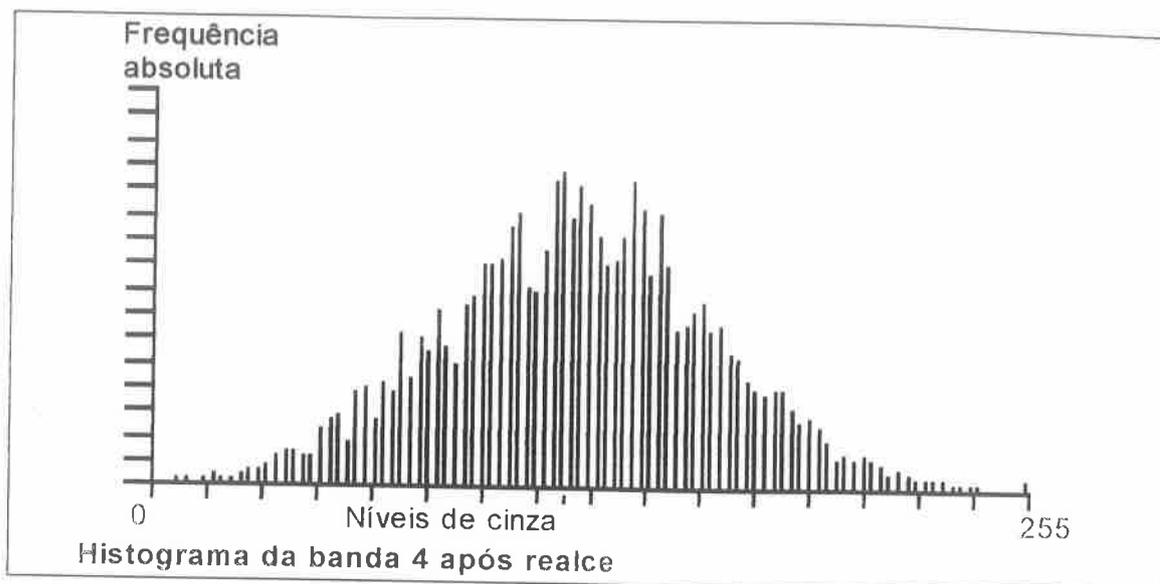
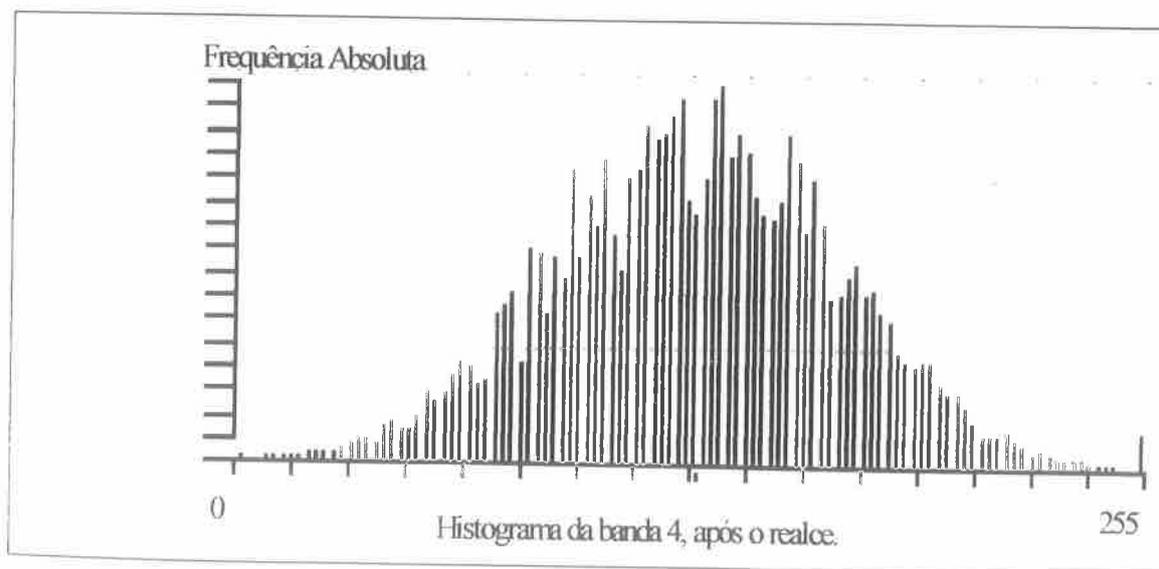
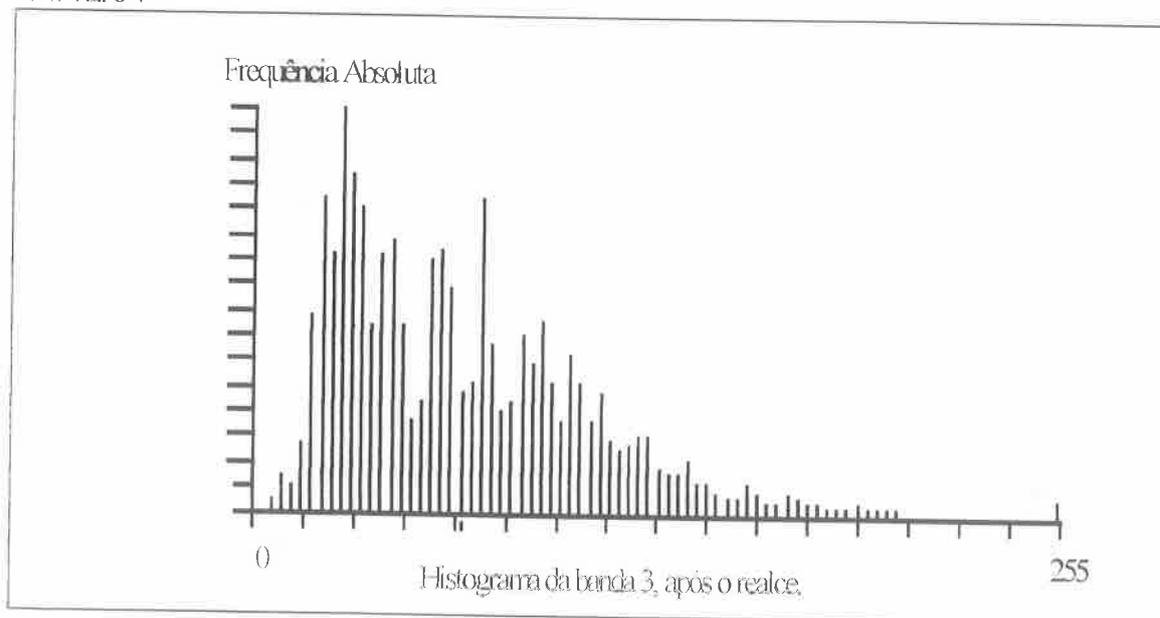
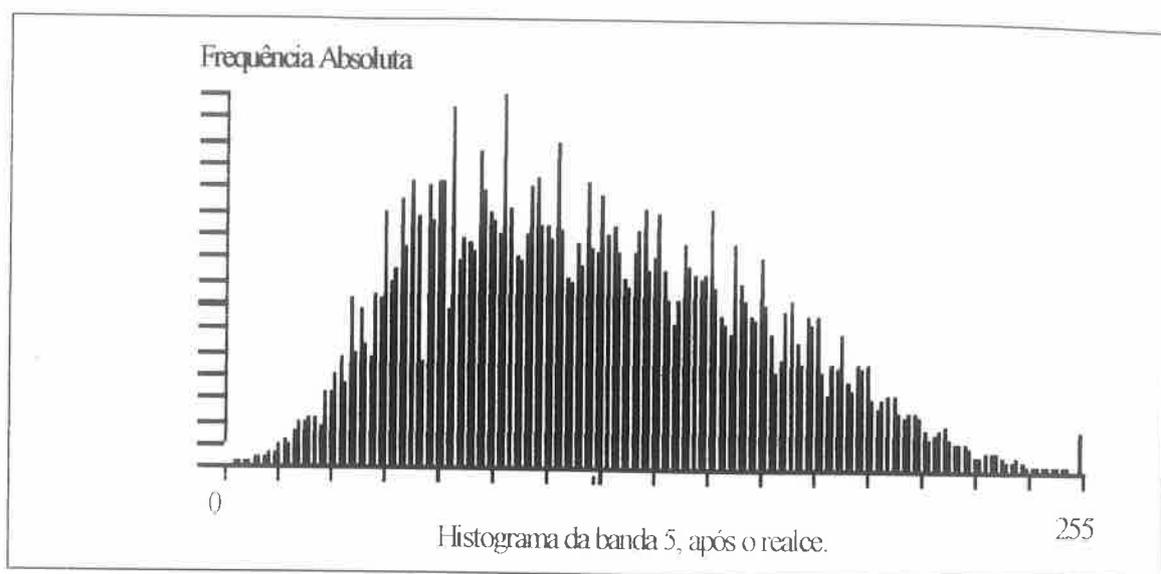


Figura 12b: Histogramas realçados das bandas 3, 4 e 5 da imagem de 04/12/94





A correção geométrica foi cuidadosamente conduzida para possibilitar que as informações geradas pudessem ser transferidas, ou transportadas, para o projeto Paty dentro do sistema de informações geográficas utilizado (SGI/INPE).

A correção geométrica foi feita através da mesa digitalizadora, após o aumento linear de contraste, quando foram definidos pontos de controle na folha topográfica Miguel Pereira (IBGE), na escala 1:50000, e na imagem colocada na unidade de visualização. Estes pontos de controle são alvos de fácil reconhecimento, tanto na carta planialtimétrica quanto na imagem, representados por cruzamentos de estradas, pontes, junção de canais de rios e córregos, etc. Essa rotina foi seguida dentro das normas e da tolerância máxima de erro contida no Manual de Referência do SITIM (Engespaço), gerando como produto uma imagem georreferenciada, corrigida geometricamente, que pode ser visualizada pela carta-imagem no anexo 1.

5.1.1. CLASSIFICAÇÃO DAS IMAGENS

Buscando criar um mapa temático de cobertura vegetal/uso da terra da área teste, após a etapa de pre-processamento anteriormente referida, foram executadas algumas alternativas de classificações digitais, supervisionadas e não supervisionadas, discutidas no capítulo 3.1.2., e também classificações de imagens analógicas através da interpretação de padrões e tonalidades.

Quanto à classificação não supervisionada, foi feita uma tentativa, porém o resultado não se mostrou satisfatório, provavelmente tendo em vista a grande semelhança entre classes diferentes. Por esta razão, passou-se então a trabalhar com a classificação "MaxVer".

5.1.1.1. CLASSIFICAÇÃO SEGUNDO A MÁXIMA VEROSSIMILHANÇA (MAXVER)

Trabalhando com uma imagem de cada vez, inicialmente foi classificada aquela de 1991. Para tanto, buscou-se dividir a área em 5 (cinco) classes distintas, relativas a pastagem, atividade agrícola/horticultura, mata, ocupação diversificada (misto) e áreas com processos erosivos atuantes (degradadas). Devido, principalmente ao grau de superposição de algumas destas classes, em termos de valores de níveis de cinza nas bandas 2, 3 e 4 da imagem, a classificação gerou alta "confusão", mesmo quando se elaborava o melhor possível as áreas amostrais. Devido a este fato, optou-se então por diminuir o número de classes. No entanto, mesmo com esta agregação de classes, o resultado da classificação continuava a ser confuso, de maneira que as classes estavam muito próximas, ou seja, também havia um alto grau de superposição, ou confusão de classes.

Com todas as dificuldades encontradas para a classificação digital, da imagem de 1991 nas bandas 2, 3 e 4, apenas a classe urbana foi mapeada,

através da projeção de um diapositivo da imagem realçada, registrada e em escala, sobre uma carta da área teste, na escala 1:50000. O prévio conhecimento da área rural e do aspecto urbano, conseguido através dos trabalhos de campo, permitiu a elaboração de um novo PI com a classe relativa à área urbana. Este PI foi introduzido no projeto Paty dentro do SGI/INPE através de mesa digitalizadora.

De outra maneira, a imagem de 04/12/94, nas bandas 3, 4 e 5, teve, na classificação "MAXVER", um comportamento bastante satisfatório, quando foram distinguidas 5 (cinco) classes, definidas por:

- a) Pastagem - áreas de pastagens propriamente ditas;
- b) Cultura - áreas com atividade agrícola/horticultura;
- c) Mata - áreas com remanescentes de florestas que cobriam toda a região, e que hoje estão dispersas e alteradas;
- d) Ocupação Diversificada (Misto) - área de fundos dos vales, utilizadas como pastagens, capineiras, capoeiras, algumas pequenas culturas e/ou áreas de proteção dos córregos d'água, e
- e) Áreas com Processos Erosivos Atuantes (Degradado) - áreas degradadas pelo uso, constituídas de deslizamentos, desbarrancamentos, erosões superficiais fortes e algumas áreas recém-abandonadas pela atividade agrícola.

Este PI, gerado pela classificação digital da imagem, foi utilizado para fazer o cruzamento das informações oriundas das duas imagens, e seu resultado pode ser representado pelo anexo 2, que é o mapa de cobertura vegetal/uso do solo

Convém ressaltar que este mapa temático reflete o tipo de uso na data em que a imagem foi adquirida, ou seja, 04 de dezembro de 1994. No entanto, este

fato não prejudica a avaliação do presente estudo, pois os mapas temáticos de Potencial Natural de Erosão (PNE) e de Aptidão Agrícola são permanentes, já que utilizam para a sua confecção parâmetros que se modificam apenas em uma escala de tempo geológica, exceto a precipitação, que possui uma variação sazonal. O cruzamento destes mapas com o mapa de Cobertura vegetal/Uso da terra forneceu as condições pretéritas de uso do solo e que hoje se refletem nos processos de erosão.

Este tipo de informação gerado pelo processamento digital e não digital da imagem servirá de base para a análise final do presente trabalho, já que é o diagnóstico de uso da área, e através dele, cada categoria de uso identificada, será cruzada com os mapas de PNE e Aptidão Agrícola, objetivando a apreciação de áreas de conflito e/ou adequação de uso.

5.2. OS MAPAS DE SOLO E DE APTIDÃO AGRÍCOLA DAS TERRAS

5.2.1. O MAPA DE SOLOS

Com base nas informações coletadas através do mapa de solos do Estado do Rio de Janeiro (1:250000), da fotointerpretação das fotografias aéreas (1:60000), da folha topográfica Miguel Pereira (1:50000), das imagens digital e analógica (1:100000) e dos trabalhos de campo para caracterização e coleta de solos, foi elaborado um esboço pedológico (1:50000), que serviu para dar continuidade ao presente trabalho.

O esboço pedológico é constituído por uma legenda com 3 (três) unidades de mapeamento, que consistem no seguinte:

- 1) **LVd** - Latossolo Vermelho-Amarelo + Latossolo Vermelho-Amarelo podzólico ambos distróficos A moderado textura argilosa + Solos Hidromórficos indiscriminados.
- 2) **Pvd** - Podzólico Vermelho-Amarelo + Podzólico Vermelho-Amarelo latossólico ambos tb textura argilosa + Solos Hidromórficos indiscriminados.

3) Cd - Cambissolo tb distrófico A moderado textura argilosa + Solos Litólicos + Afloramentos de Rochas.

O total de 6 (seis) amostras, representativas dos diferentes tipos de solos encontrados na área, foram analisadas nos laboratórios do CNPS/EMBRAPA, servindo para confirmar as classificações feitas no campo. Os resultados das análises laboratoriais podem ser, resumidamente, colocados da seguinte maneira (tabela 5):

Obs:

- * os resultados referentes ao complexo sortivo estão em meq/100g, exceto aqueles da amostra número 6 (seis), que estão com as unidades sobrescritas ao quadro respectivo.

Tabela 5: Resultados analíticos das amostras de solos de coletadas na área de estudo

Amostra 1 - LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO distrófico A moderado textura argilosa fase Floresta Tropical Subcaducifolia relevo ondulado/forte ondulado.

Horizonte	Prof. (cm)	Areia grossa (%)	Areia fina (%)	Silte (%)	Argila Total (%)	C (%) (org)	N(%)
Ap	0-20	26	12	11	51	1,83	0,17
A	-30	28	10	10	52	1,60	0,16
Bw	45-75	24	10	09	57	1,16	0,12

Horiz.	pH(1:2,5) água	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor S	Al ⁺⁺⁺	H ⁺	Valor V (%)	P ass.
Ap	5,7	1,5	0,6	0,15	0,03	2,3	0,0	4,5	34	22
A	5,6	1,5	0,7	0,06	0,03	2,3	0,0	4,9	32	22
Bw	4,7	0,5		0,03	0,01	0,5	0,0	4,9	09	2

Horizonte A com estrutura moderada pequena a grande granular.

Horizonte Bw com estrutura fraca média blocos subangulares que se desfazem em forte pequena granular; bem drenado.

Amostra 2 - LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO eutrófico A moderado
textura argilosa fase Floresta Tropical Subcaducifolia relevo plano.

Horizonte	Prof. (cm)	Areia grossa (%)	Areia fina (%)	Silte (%)	Argila Total (%)	C % (org)	N %
Ap	0-18	21	10	24	45	1,73	0,20
Bw	30-50	16	08	25	51	0,66	0,09

Horiz.	pH(1:2,5) água	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor S	Al ⁺⁺⁺	H ⁺	Valor V	P ass.
Ap	6,8	3,3	0,9	1,39	0,07	5,7	0,0	2,0	74	136
Bw	6,2	1,7	0,5	0,73	0,05	3,0	0,0	1,7	64	2

Horizonte A com estrutura moderada pequena a grande granular.

Horizonte Bw com estrutura fraca média blocos subangulares que se desfazem em forte pequena granular; bem drenado.

Amostra 3 - LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO distrófico podzólico A moderado textura argilosa.

Horizonte	Prof. (cm)	Areia grossa (%)	Areia fina (%)	Silte (%)	Argila Total (%)	C % (org)	N %
A	0-16	43	10	14	33	1,58	0,18
AB	-28	32	11	14	43	0,89	0,17
BA	-44	32	09	12	47	0,58	0,12
Bw	-100	27	10	12	51	0,33	0,11
Bt	-140	23	08	13	56	0,25	0,10
B/C	-190	26	14	21	39	0,23	0,09

Horiz.	pH(1:2,5) água	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor S	Al ⁺⁺⁺	H ⁺	Valor V	P ass.
A	4,7	0,9	0,7	0,37	0,03	2,0	0,2	5,2	27	2
AB	4,7	0,4	0,8	0,18	0,03	1,4	0,2	3,4	28	1
BA	4,8	0,2	1,0	0,10	0,03	1,3	0,2	2,9	29	1
Bw	4,8	0,9		0,07	0,02	1,0	0,1	2,9	25	2
Bt	4,9	0,8		0,07	0,04	0,9	0,1	2,6	25	2
B/C	4,9	0,8		0,12	0,07	1,0	0,1	2,3	29	2

Horizonte A com estrutura moderada pequena a grande granular.

Horizonte Bw com estrutura fraca pequena a média blocos subangulares que se desfazem em muito pequena granular.

Horizonte Bt de estrutura fraca prismática que se desfaz em moderada pequena e média blocos subangulares e angulares.

Amostra 4 - PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO Tb distrófico A moderado textura argilosa fase erodida.

Horizonte	Prof. (cm)	Areia grossa (%)	Areia fina (%)	Silte (%)	Argila Total (%)	C % (org)	N %
A	0-10	46	13	17	24	1,55	0,16
AB	0-25	31	13	19	37	1,10	0,11
BA	-55	34	16	16	34	0,75	0,09
Bt1	-92	35	15	13	37	0,59	0,08
Bt2	-122	30	13	14	43	0,51	0,08
Bt3	-155	30	12	11	47	0,54	0,05

Horiz.	pH(1:2,5) água	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor S	Al ⁺⁺⁺	H ⁺	Valor V	P ass.
A	5,1	1,5	0,7	0,61	0,03	2,8	0,1	4,1	40	3
AB	6,4	1,8	1,4	0,96	0,04	4,2	0,0	2,3	65	2
BA	5,0	0,9	0,8	0,33	0,04	2,1	0,3	2,7	41	2
Bt1	5,5	1,3	0,8	0,13	0,04	2,3	0	2,3	50	1
Bt2	5,5	1,1	1,0	0,11	0,04	2,2	0	2,4	48	1
Bt3	5,4	1,2	1,2	0,12	0,04	2,6	0	2,3	53	1

Horizonte Bt de estrutura moderada pequena e média blocos subangulares e angulares.

Amostra 5 - PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO Tb distrófico latossólico A moderado textura argilosa

Horizonte	Prof. (cm)	Areia grossa (%)	Areia fina (%)	Silte (%)	Argila Total (%)	C % (org)	N %
Ap	0-15	37	10	12	41	1,64	0,11
B	-40	28	08	11	53	0,78	0,05

Horiz.	pH(1:2,5) água	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor S	Al ⁺⁺⁺	H ⁺	Valor V	P ass.
Ap	4,8	1,1	0,5	0,21	0,03	1,8	0,2	6,5	21	4
B	4,7	0,9		0,09	0,01	1,0	0,3	3,9	19	2

Amostra 6 - CAMBISSOLO Tb distrófico A moderado textura argilosa

Horizonte	Prof. (cm)	Areia grossa (%)	Areia fina (%)	Silte (%)	Argila Total (%)
Ap	0-25	50	14	14	22
BA	-45	42	14	12	32
Bi	-80	42	14	12	32

Horiz.	pH	meq/100ml	ppm		ppm			P ass.	
		1:2,5	Al ⁺⁺⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺		H ⁺ +Al ⁺⁺⁺
Ap	5,9		0,0	3,0	0,9	117	2	3,0	1
BA	6,0		0,0	2,1	0,5	74	2	2,1	1
Bi	6,0		0,0	2,2	0,5	31	2	2,1	1

Este resultado gerou um esboço pedológico, que deu entrada no projeto Paty do SGI/INPE através da mesa digitalizadora, na escala 1:50000, permitindo assim que fossem conhecidas as áreas correspondentes à cada unidade de mapeamento estabelecida, conforme a tabela a seguir.

Tabela 6: Área e porcentagem das unidades de mapeamento

Unidade de mapeamento	Área (Km ²)	%
LVd	83,13	70,5
PVd	1,04	0,9
Cd	33,75	28,6

O anexo 3, representa o esboço pedológico, elaborado com o apoio técnico dos pesquisadores da EMBRAPA/CNPS para a área teste.

5.2.2. APTIDÃO AGRÍCOLA DAS TERRAS DA ÁREA TESTE

Consciente de que o objetivo do trabalho permitia, o nível de manejo A (práticas agrícolas de baixo nível técnico) não foi contemplado, restando apenas aqueles que possuem um médio e alto nível tecnológico (níveis de manejo B e C, respectivamente). Desta maneira, de posse do esboço pedológico, do mapa de declividades e dos resultados analíticos das amostras

coletadas na área, foi possível, então, elaborar o mapa de aptidão agrícola das terras, de acordo com a metodologia proposta por RAMALHO FILHO et alii (1983).

A tabela 7 apresenta como foi avaliada a aptidão agrícola das terras em relação aos 5 (cinco) fatores utilizados.

Tabela 7: Avaliação da aptidão agrícola das terras da área teste

solo	relevo	Def. fertilidade		Def. de água		Excesso. de água		Suscep. à erosão		Imped. à mecaniz.		Aptidão agrícola
		B	C	B	C	B	C	B	C	B	C	
LVd	s.ond	L/M		M		N		L		L		2 b(c)
	ond 1	L/M		M		N		L/M		M		2 b(c)
	ond 2	L/M		M		N		M		M/F		2 b
	f.ond	L/M		M		N		F		F		4 p
	mon+esc	L/M		M		N		MF		MF		6
PVd	s.ond	L/M		M		N		L/M		L		2 b
	ond 1	L/M		M		N		M		M		2 b
	ond 2	L/M		M		N		M/F		M/F		4 P
	f.ond	L/M		M		N		F/MF		F		4 (p)
	mon+esc	L/M		M		N		MF		MF		6
Cd	s.ond	M/F		M		N		L/M		L		4 p
	ond 1	M/F		M		N		M		M		4 p
	ond 2	M/F		M		N		M/F		M/F		4 p
	f.ond	M/F		M		N		F/MF		F		4 (p)
	mon+esc	M/F		M		N		MF		MF		6

Obs:

- * As letras N, L, M, F e MF representam os graus de limitação ao uso, sendo respectivamente nulo, ligeiro, moderado, forte e muito forte, para cada fator limitante em relação a um solo hipotético que não apresenta nenhum tipo de restrição ao uso.
- * O relevo ondulado (8 a 20%) foi subdividido em duas classes, sendo ond1 (8 a 12%) e ond2 (12 a 20%), com o intuito de melhorar a avaliação da aptidão agrícola das terras.

A seguir é colocada a tabela 8 com as classes de aptidão agrícola da área teste e suas respectivas áreas e porcentagens.

Tabela 8: Área e porcentagem das classes de aptidão agrícola.

CLASSE	Área (Ha)	%
2 b(c)	922	8
2 b	1421	12
4 P	8	0,1
4 p	1856	15
4 (p)	524	5
6	5280	44,9
área urbana	1756	15

Sendo:

2 b(c) - áreas com aptidão regular para lavouras no nível de manejo B e restrita no nível de manejo C

2 b - áreas com aptidão regular para lavouras no nível de manejo B

4 P - áreas com aptidão boa para pastagem plantada

4 p - áreas com aptidão regular para pastagem plantada

4 (p) - áreas com aptidão restrita para pastagem plantada

6 - áreas sem aptidão para o uso agrícola.

O anexo 4 representa o PI relativo ao tema aptidão agrícola.

5.3. OS FATORES DO POTENCIAL NATURAL DE EROSÃO (PNE)

Para o estabelecimento dos planos de informação (PI's), do tipo modelo numérico do terreno (MNT), referentes à cada fator do PNE, foram usados, de um lado, metodologias já testadas por PINTO(1991) e DONZELI et alii(1992) e, de outro lado, metodologias adaptadas às condições locais, seguindo orientação dos Professores Mauro S. F. Argento e Jorge S. Marques (UFRJ) e Mário Valerio Filho (INPE).

Os materiais cartográficos básicos utilizados para dar entrada dos PI's no projeto Paty do SGI/INPE foram o esboço pedológico, o mapa de declividades e a carta topográfica de Miguel Pereira, todos na escala 1:50000. Como existiram duas técnicas distintas para a avaliação do fator relativo ao comprimento da vertente, a entrada de dados também foi feita de duas maneiras diferentes, ambas utilizando uma grade regular, variando apenas o tamanho da célula,

sendo de 0,5 X 0,5 cm (250 X 250 m) o tamanho da célula para aquele PNE obtido com o fator comprimento da vertente medido diretamente sobre a carta topográfica, e de 0,25 X 0,25 cm (125 X 125 m) o tamanho da célula para o PNE obtido com o fator comprimento da vertente calculado pelo método da densidade de drenagem "modificado" (WILLIAMS e BERNDT, 1977) "modificado". O fator declividade, para os dois mapas de PNE, foi dado entrada através da grade menor, de 0,25 X 0,25 cm, para que melhor representasse esse fator, pois quando a grade era de 0,5 X 0,5 cm, ocorriam até três classes de declive na mesma célula, e como só se coloca um ponto por célula, estava havendo negligência na informação. Em cada célula destas grades era dada entrada de um ponto central com o valor correspondente ao fator do PNE, como exemplificado da seguinte maneira:

- **Coloca-se, por exemplo, o mapa de solos sobre a mesa digitalizadora e sobre ele a grade em papel transparente, sendo ambos fixados à mesa. Prossegue-se fazendo a calibração da mesa para a entrada de dados, que são os pontos do MNT a ser criado. Com a cruzeta do cursor no centro da célula, é marcado um ponto e colocado, via teclado, seu valor numérico correspondente à carta que esta abaixo, e ao final é obtida uma malha regular de pontos distribuídos uniformemente por toda a área teste.**
- **Como estes PI's são do tipo MNT (grade retangular regular), a fase seguinte é a escolha de um interpolador que melhor se adapte à proposta do trabalho. Para essa escolha foram levados em conta os tipos de interpoladores que existem no sistema SGI/INPE, seu tempo de processamento e ao final, verificação se os valores máximos e mínimos se aproximavam ao máximo d'aqueles que foram introduzidos no sistema.**
- **Após os testes, optou-se pelo interpolador nº 6 (seis) do SGI/INPE, que é do tipo de transição gradual, com média móvel ponderada por quadrante, sendo que o expoente utilizado na função de interpolação foi 4 (quatro). Para a criação das grades, optou-se por aquela que tinha células de 250 X 250m de tamanho real para o caso do PNE obtido com o fator comprimento da vertente medido diretamente sobre a carta topográfica, e de 125 X 125m para o outro caso.**
- **Escolhido o interpolador, foram criados os MNT's (grades retangulares regulares) relativos à cada fator da USLE que entram na equação do PNE; depois houve apenas operações matemáticas sobre estas grades.**

5.3.1. O FATOR EROSIVIDADE (R).

Foi considerado constante para toda a área teste, devido à sua pequena extensão e a proximidade da estação de coleta de dados agroclimatológicos da PESAGRO-RJ. Conforme já foi citado no subitem 3.3.1., este fator foi calculado segundo a equação proposta por BERTONI e LOMBARDI NETO (1985).

Como cada mês possui uma precipitação média, o fator erosividade da chuva teve que ser calculado para cada mês do ano, conforme a tabela 9.

Tabela 9: Erosividade da chuva de Paty de Alferes e adjacências.

	PPT	Erosividade		
	mm	MJ.mm/ha.h ¹	%	% acumulada
Julho	20.8	42	1	1
Agosto	23.8	52	1	2
Setembro	68.9	261	4	6
Outubro	93.1	413	7	13
Novembro	136.8	740	12	25
Dezembro	208.8	1406	23	47
Janeiro	219.3	1515	25	72
Fevereiro	124.2	639	10	82
Março	123.9	637	10	93
Abril	74.4	294	5	97
Mai	39.5	112	2	99
Junho	28.9	70	1	100
Total	1162.4	6182	100	

¹ Lombardi Neto, F. Comunicação Pessoal. Onde:

$$E = 89,823 (r^2 / P)^{2,759}$$

r = precipitação média mensal

P = precipitação média anual

Porém, para que não houvesse a necessidade de se produzir um MINT para cada mês do ano, e conseqüentemente tivéssemos também um PNE para cada mês, procurou-se usar um valor que represente no mínimo uma erosividade média dos meses mais chuvosos. Então, foi utilizada a média dos meses que estão acima de 515 MJ.mm/ha.h (média de todos os meses do ano), apesar de que os meses de dezembro e janeiro estão acima, também, do desvio padrão, significando que nestes meses a chuva tem um poder erosivo

preocupante. Para este trabalho foi então utilizada a média do fator R dos meses de novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e março, que representa um valor médio de erosividade da chuva dos meses mais chuvosos. O valor encontrado foi de 987,4 MJ.mm/ha.h., o que representa a média dos máximos deste fator. O MNT relativo ao fator R criado possui, então, em toda a sua área o valor de 987,4.

5.3.2.O FATOR ERODIBILIDADE (K)

Este fator foi conseguido através da análise dos resultados laboratoriais das amostras de solo coletadas na área.

Devido ao pouco estudo deste fator para os solos do Brasil e, principalmente no estado do Rio de Janeiro, foi consultado LOMBARDI NETO (1995, comunicação pessoal) para ajudar na sua determinação.

A tabela 10 representa o resultado da determinação do fator K para as unidades de mapeamento do esboço pedológico da área teste.

Tabela 10: Erodibilidade dos solos de Paty de Alferes.

	CHS	K	T
- Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico A moderado textura argilosa + Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico podzólico A moderado textura argilosa + Solos hidromórficos indiscriminados	A/B	0,0246	12,6
- Podzólico Vermelho-Amarelo Tb distrófico A moderado textura argilosa + Podzólico Vermelho-Amarelo Tb distrófico latossólico A moderado textura argilosa + Solos hidromórficos indiscriminados	C	0,0359	8,6
- Cambissolo Tb distrófico A moderado textura argilosa	C	0,0350	6,0

Onde: CHS = classe hidrológica do solo

K = erodibilidade do solo (t.h/MJ.mm)

T = tolerância de perdas de solo (t/ha)

Fonte : Lombardi Neto, F.1995. Comunicação pessoal.

Estes valores deram entrada no projeto Paty do SGI/INPE através de rotina já citada no início deste item.

5.3.3. FATOR TOPOGRÁFICO (Fatores L e S)

Representam respectivamente o comprimento da vertente e a declividade, sendo que após associados são denominados de fator topográfico, simplesmente.

O fator L, comprimento da vertente, foi calculado de dois modos distintos, com o intuito de avaliá-los. O primeiro método utilizado, denominado método da grade, consistiu em medir o comprimento diretamente sobre a carta topográfica, interpretando-se a topografia expressa pelo desenho e arranjo das curvas de nível, considerando o possível caminho preferencial das águas pluviais, com o auxílio de uma grade regular de 0,5 x 0,5 cm. Neste caso, cada célula da grade recebe um valor em metros para o comprimento da vertente local, podendo este valor ser cumulativo ou não, dependendo da sua localização topográfica e relacional com o corpo de toda a vertente analisada. Desta forma, foi gerada uma grade (matriz georreferenciada) com os valores do fator L, que varia dentro da faixa de 50 a 730 m para toda a área teste.

No segundo método, chamado de método da densidade de drenagem (WILLIAMS e BERNDT, 1977) "modificado", o fator L é igual à metade da área drenada dividida pelo comprimento do canal. Este método foi aplicado em duas sub-bacias da área teste, chamadas de sub-bacia Norte e Sul, considerando todos os canais de 1ª, 2ª, 3ª e 4ª ordens, os seus comprimentos (medidos diretamente sobre a carta com o auxílio de um curvímetro) e as suas respectivas áreas drenadas (medidas após delimitação sobre a carta topográfica e digitalização em forma de PI dentro do projeto Paty do SGI/INPE). O anexo 5 e a tabela 11 representam este PI, com a drenagem e as respectivas áreas drenadas de cada canal (áreas rotuladas de 1 a 98), bem como o cálculo do comprimento da vertente cada área.

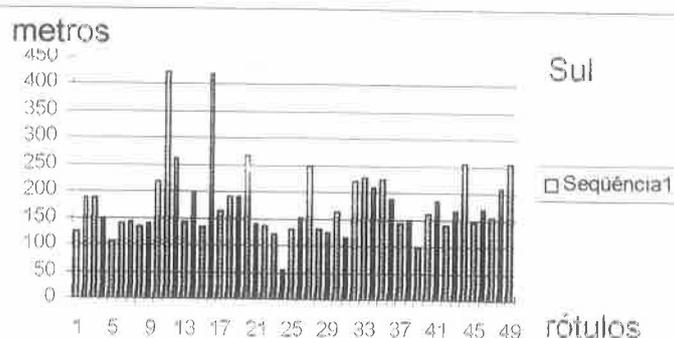
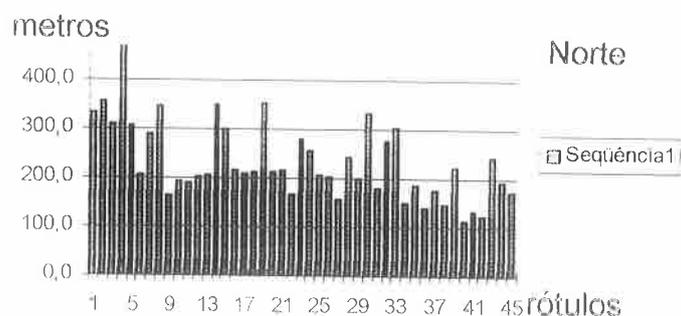
Tabela 11 Comprimento do canal, área drenada e comprimento da vertente das sub-bacias Norte e Sul

Rótulo	Comp. do canal (m)	Área drenada (m ²)	Comp. da vertente (m)	Rótulo	Comp. do canal (m)	Área drenada (m ²)	Comp. da vertente (m)
1	1.150	766.529	333,2	50	750	157.715	105,1
2	950	679.475	357,6	51	400	112.492	140,6
3	250	155.454	310,9	52	950	274.164	144,3
4	150	145.279	484,3	53	200	53.137	132,8
5	250	152.627	305,3	54	550	154.889	140,8
6	3.500	1.455.613	207,9	55	1.000	436.401	218,2
7	750	436.401	290,9	56	200	169.021	422,6
8	500	345.390	345,4	57	175	91.011	260,0
9	550	179.761	163,4	58	600	172.978	144,1
10	500	192.197	192,2	59	1.550	609.944	196,8
11	450	171.282	190,3	60	1.050	283.209	134,9
12	950	386.656	203,5	61	150	126.059	420,2
13	500	206.330	206,3	62	200	66.139	165,3
14	1.450	1.015.820	350,3	63	450	172.978	192,2
15	1.050	633.121	301,5	64	425	163.973	192,9
16	650	279.817	215,2	65	250	133.973	267,9
17	1.000	418.312	209,2	66	575	160.541	139,6
18	1.000	427.357	213,7	67	1.050	287.731	137,0
19	250	176.369	352,7	68	200	48.615	121,5
20	2.600	1.103.440	212,2	68	450	49.745	55,3
21	700	304.124	217,2	70	325	84.793	130,5
22	900	301.863	167,7	71	450	137.930	153,3
23	650	364.045	280,0	72	400	198.416	248,0
24	700	359.522	256,8	73	550	142.452	129,5
25	500	205.764	205,8	74	375	93.838	125,1
26	450	183.718	204,1	75	250	81.401	162,8
27	350	109.666	156,7	76	425	98.925	116,4
28	600	292.819	244,0	77	875	388.352	221,9
29	500	198.981	199,0	78	1.000	456.186	228,1
30	550	367.436	334,0	79	925	385.526	208,4
31	425	152.627	179,6	80	2.600	1.174.666	225,9
32	3.700	2.043.512	276,2	81	525	199.546	190,0
33	1.550	937.811	302,5	82	400	113.623	142,0
34	400	119.841	149,8	83	600	178.065	148,4
35	400	150.366	188,0	84	925	179.196	96,9
36	700	197.285	140,9	85	175	55.963	159,9
37	550	196.155	178,3	86	450	165.629	184,0
38	550	161.672	147,0	87	500	139.626	139,6
39	600	269.642	224,7	88	200	66.704	166,8
40	425	96.664	113,7	89	200	102.317	255,8
41	500	133.973	134,0	90	425	124.928	147,0
42	1.675	417.182	124,5	91	925	317.691	171,7
43	350	171.282	244,7	92	450	139.061	154,5
44	1.200	465.231	193,8	93	325	136.234	209,6
45	475	166.194	174,9	94	1.475	743.352	252,0
46	600	149.236	124,4	95	1.000	469.188	234,6
47	1.050	396.266	188,7	96	900	460.143	255,6
48	650	245.900	189,1	97	575	153.193	133,2
49	1.575	466.927	148,2	98	550	136.799	124,4

onde :comp. da vertente = 0,5 x (área drenada/comp. do canal)

Os resultados determinados estão na faixa de 113 a 484,3 m, com média de 233 m e desvio padrão de 77,6 para a sub-bacia Norte e entre 55 e 422 m, com média 179 m e desvio padrão 67 m para a Sul. Pela observação da figura 13 e pelos parâmetros estatísticos supracitados, pode-se notar que apesar da faixa de variação não ser considerada pequena, pois a relação entre os valores máximo e mínimo chega a ultrapassar os 300%, a maioria dos valores de comprimento das vertentes calculados por este método não se afasta da média, se concentrando em uma pequena faixa de variação.

Figura 13: Representação gráfica da distribuição dos valores de comprimento de vertentes das sub-bacias Norte e Sul, respectivamente:



Após a geração das grades, procedeu-se a comparação entre as duas metodologias de aquisição do fator relativo ao comprimento da vertente. Foi feita, então, uma classificação dos valores obtidos pelas duas metodologias

através do algoritmo de Sturges, pois "este procedimento viabiliza a descrição de eventos que apresentam grandes sequências numéricas à luz de um elemento sintetizador que é conhecido como classe" (ARGENTO, 1990).

Nesse algoritmo, o primeiro passo é estabelecer o número de classes, que é uma variável dependente do número total de amostras, e é definido pela fórmula a seguir:

$$K = 1 + 3,3 \log_{10} N, \text{ onde:}$$

K é o número de classes,
N é o número de amostras e
 \log_{10} é o logaritmo na base 10.

Após definido o número de classes, foi necessário definir o intervalo de cada classe, dividindo-se a amplitude total dos valores pelo número de classes, procedimento feito em cada uma das metodologias aplicadas.

Apesar de simples, este procedimento estatístico foi de grande valia para a correta comparação entre os dois métodos. Para tanto, foi feito o fatiamento dos MNT's em 6 (seis) e 7 (sete) fatias, sendo a primeira para a comparação da área relativa à sub-bacia norte e a segunda para a sub-bacia sul, nas duas metodologias, gerando PI's com classes que foram então cruzadas através de um algoritmo especialmente construído para este fim. Este algoritmo leva em consideração 3 (três) tipos de respostas e as suas áreas correspondentes, sendo as respostas definidas por maior, igual ou menor.

Os resultados obtidos por este procedimento estatístico, para cada sub-bacia, são apresentados nos dois subitens a seguir.

A) Sub-bacia Norte

$$K = 1 + 3,3 \log_{10} 48 \Rightarrow K = 6,455 \cong 6 \text{ classes.}$$

Método da Grade

Amplitude de cada classe = $(595,3 - 60,0) / 6 = 89,22$

Tabela 12a: Classes, amplitude, frequência e porcentagem da sub-bacia Norte

Classe	Intervalo	Frequência (m ²)	Porcentagem
A	60 a 149,2	51.300	0,3
B	149,2 a 238,4	11.332.800	64,1
C	238,4 a 327,6	5.987.700	33,8
D	327,6 a 416,8	298.800	1,7
E	416,8 a 506,1	18.000	0,1
F	506,1 a 595,3	0	0

Método da Densidade de drenagem "modificado"

Amplitude de cada classe = $(484,3 - 94,77) / 6 = 64,92$

Tabela 12b

Classe	Intervalo	Frequência (m ²)	Porcentagem
A	94,77 a 159,7	728.100	4,1
B	159,7 a 224,6	6.716.700	38,0
C	224,6 a 289,5	4.921.200	27,8
D	289,5 a 354,5	4.564.800	25,8
E	354,5 a 419,4	656.100	3,7
F	419,4 a 484,3	101.700	0,6

Resultado

Tabela 13: Resultados alcançados para a sub-bacia Norte

Identificação	Frequência (m ²)	Porcentagem
Classe Inferior	2.224.800	12,6
Classe Igual	7.593.300	43,0
Classe Superior	7.870.500	44,4

*obs: Classe inferior significa que, após o fatiamento, a classificação de determinada área pelo método da densidade de drenagem "modificado" tenha recaído na classe B e, essa mesma área, no método da grade tenha sido classe C, D, E ou F.

B)Sub-bacia Sul

$$K = 1 + 3,3 \log_{10} 53 \Rightarrow K = 6,690 \cong 7 \text{ classes.}$$

Método da Grade

$$\text{Amplitude de cada classe} = (595,3 - 60) / 7 = 76,47$$

Tabela 14a: Classes, amplitude, frequência e porcentagens da sub-bacia Sul.

Classe	Intervalo	Frequência (m ²)	Porcentagem
A	60 a 136,4	0	0
B	136,4 a 212,9	2.123.100	17,5
C	212,9 a 289,4	7.709.400	63,7
D	289,4 a 365,9	2.185.200	18,1
E	365,9 a 442,4	88.200	0,7
F	442,4 a 518,8	0	0
G	518,8 a 595,3	0	0

Método da Densidade de drenagem "modificado"

$$\text{Amplitude de cada classe} = (484,3 - 94,77) / 7 = 55,64$$

Tabela 14b

Classe	Intervalo	Frequência (m ²)	Porcentagem
A	94,7 a 150,4	2.739.600	22,6
B	150,4 a 206,1	4.257.000	35,2
C	206,1 a 261,7	4.596.300	38,0
D	261,7 a 317,4	253.800	2,1
E	317,4 a 373,0	136.800	1,1
F	373,0 a 428,6	122.400	1,0
G	428,6 a 484,3	0	0

Resultado

Tabela 15: Resultados alcançados para a subacia sul.

Identificação	Frequência (m ²)	Porcentagem
Classe Inferior	6.940.800	57,3
Classe Igual	4.446.000	36,7
Classe Superior	719.100	6,0

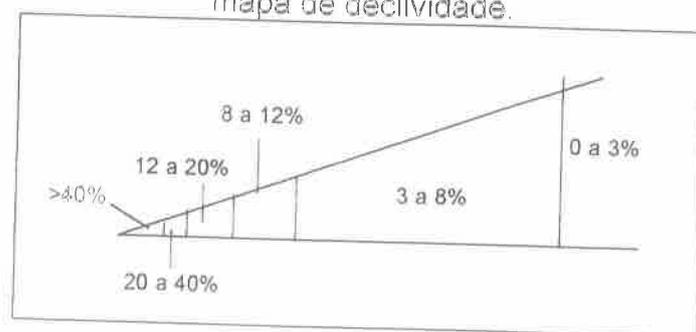
Quando da comparação final entre os dois métodos, dentro de cada sub-bacia, concluiu-se que são metodologias distintas e que apresentaram resultados bastante diferentes pois, como se pode observar no anexo 6, na sub-bacia norte somente 43% das áreas tiveram equivalência entre as classes

obtidas pelas duas metodologias, o mesmo ocorrendo na sub-bacia sul, que teve apenas 36,7% de acerto. A alta percentagem de erro, 57% para a sub-bacia norte e 63,3% para a sub-bacia sul, nos levou a assumir que existe uma diferença significativa entre os dois métodos, sendo por isso então, elaborados 2 mapas de Potencial Natural de Erosão (PNE) utilizando-se este parâmetro obtido pelas duas metodologias, e que foram comparados com o mapa de Aptidão Agrícola das Terras.

Assim, como a maior porcentagem das comparações foram superior, 44,4%, para a sub-bacia norte, e inferiores, 57,3% para a sub-bacia sul, conclui-se que o método da densidade de drenagem "modificado", em relação ao método da grade, numa área subestima e na outra superestima o valor do comprimento da vertente, devido, muito provavelmente, às condições locais, que são bastante diferentes quanto à declividade, principalmente.

O fator S (declividade) foi também elaborado de duas formas, afim de testá-las. A primeira, tradicional, feita com o auxílio de uma ábaco triangular (Figura 14) conforme metodologia descrita por DE BIASE (1970), considerando as classes: 0 a 3%, 3 a 8%, 8 a 12%, 12 a 20%, 20 a 45% e >45%. Este mapa temático foi considerado como a "verdade terrestre" para a comparação com a segunda técnica de obtenção de mapas de declividades.

Figura 14: Representação esquemática do ábaco utilizado para a confecção do mapa de declividade.



A segunda técnica consistiu em utilizar as rotinas existentes dentro do sistema SGI/INPE para gerar um mapa de declividades, que se inicia com a digitalização das curvas de nível e dos pontos cotados da folha topográfica Miguel Pereira, criando um MNT, seguindo alguns procedimentos até a geração de um mapa de declividade.

Os anexos 7 e 8 representam, respectivamente, os dois mapas temáticos de declividade gerados, via ábaco e pelo SGI/INPE, para este trabalho. Como se pode notar, o mapa elaborado pelo SGI/INPE não gerou um grau de resposta satisfatório, pois muitas áreas com relevo maiores que 45%, nele aparecem como relevo plano, classe que não foi encontrada quando da utilização do ábaco para gerar o mesmo mapa temático. Sendo assim, o mapa gerado pelas rotinas do SGI/INPE foi preterido em relação ao gerado via ábaco para o presente trabalho.

6. RESULTADOS

6.1. RESULTADOS OBTIDOS ATRAVÉS DAS IMAGENS ORBITAIS.

A caracterização, através das imagens orbitais, de feições da superfície da terra promovidas pela ocupação humana, foi elaborada em duas etapas, sendo a primeira de caracterização da faixa urbana e a segunda das demais feições que compõem a área de estudo. A caracterização espacial da área urbana foi conseguida por intermédio da projeção de um diapositivo da imagem de 1991 (4R/3G/2B), realçada e corrigida geometricamente, sobre uma base cartográfica gerada especialmente para esta finalidade. Esta base cartográfica, foi elaborada através da composição de alguns Planos de Informação (PI's) criados no projeto Paty do SGI/INPE, e transferidos para o SPRING (Sistema de Processamento de Informações Geocodificadas), disponível na EMBRAPA/CNPS. A exportação dos PI's relativos à base cartográfica, do SGI/INPE para o SPRING, foi feita por causa dos melhores recursos oferecidos por este último, quanto aos procedimentos de saídas gráficas. Foi utilizado para tal, o sistema e o ploter jato de tinta, tamanho A0, existentes na EMBRAPA. A escala de representação utilizada é de 1:50000.

O mapa temático representativo de área urbana, obtido a partir deste procedimento, deu entrada no projeto Paty do SGI/INPE através de mesa digitalizadora.

Numa segunda etapa, foram extraídas informações das imagens orbitais, objetivando a caracterização do uso da terra na época da passagem (04/12/94), nas bandas 5R/4G/3B. Efetuou-se então a classificação digital através do aplicativo MAXVER, com a discriminação de 5 classes, já comentadas no item 5.1.1.1.

A tabela 16 mostra a matriz de classificação desta imagem, apresentando os índices de desempenho, confusão e abstenção entre as classes e a situação média final. São apresentadas as classes de pastagem, cultura, mata, ocupação diversificada (uso misto) e áreas com processos erosivos atuantes (degradadas), observando-se entre os resultados obtidos, que o desempenho médio encontrado, acima de 90%, apresenta boa confiabilidade estatística (superior a 90 %).

Tabela 16: Matriz de classificação MAXVER da imagem de 04/12/94

Classes	N	1	2	3	4	5
pastagem	1.8	90.3	4.1	0.0	3.8	0.0
cultura	2.8	9.4	87.0	0.0	0.0	0.8
mata	4.1	0.0	0.0	93.5	2.3	0.0
uso misto	4.5	1.3	0.0	1.9	92.3	0.0
degradado	5.2	0.0	0.0	0.0	0.0	94.8

Desempenho médio : 91.17

Abstenção média : 3.22

Confusão média : 5.61

Os resultados quantitativos encontrados na classificação, estão garantidos pelo confronto com a verdade terrestre, através de idas a campo, verificação de mapas e bibliografia existentes. Além disso, conforme pode ser observado na tabela 16, existe uma área que não foi classificada, que é constituída por sombras, lagos, lagoas e algumas feições de aspectos de uso da terra não definidos na imagem pelo MAXVER.

Tabela 17: Relação de áreas e percentagens das classes de uso encontradas na área.

Classe	Área (m ²)	%
cultura	4.837.500	4,1
pastagem	20.654.100	17,5
mata	26.885.700	22,8
uso misto	20.129.400	17,1
áreas degradadas	5.755.500	4,9
área urbana	17.580.600	14,9
não classificado	22.077.200	18,7
área total	117.920.000	100,0

As composições utilizadas neste trabalho, com as bandas 2, 3 e 4 e 3, 4 e 5, são adequadas e já consagradas em estudos que envolvam a diagnose do uso do solo, corroborado por CARVALHO et alli (1993), DIAS JUNIOR et alli (1993) DONZELI et alli (1992), entre outros. O Laboratório de Geomorfologia Fluvial, Costeira e Submarina do Instituto de Geociências, que ofereceu suporte a nível de equipamentos, software e imagens para essa pesquisa, possui em seu banco de imagens as bandas supracitadas, pelo fato das mesmas serem importantes no estudo de corpos d'água e ocupação do solo.

Na sequência do trabalho, a execução do registro da imagem apresentou um desempenho considerado satisfatório, como pode ser observado na tabela 18, que representa o cálculo da precisão do registro, onde o erro interno para os pontos utilizados no mapeamento foi igual a 0,765 pixel, enquanto que o ponto não utilizado teve um erro de 4,765 pixels.

Tabela 18: Dados referentes a precisão do registro

Erro interno para os pontos utilizados no mapeamento			
Horizontal: 0.224		Vertical: 0.731	Total:
0.765			
Erro interno para os pontos não utilizados no mapeamento			
Horizontal: 1.971		vertical: 4.338	Total:
4.765			
<u>Resíduo em módulo para cada ponto</u>			
Nome do ponto	Flag	Res X	Res Y
1	1	0.3	0.5
2	1	0.3	0.6
3	1	0.1	0.9
4	1	0.2	1.1
5	0	2.0	4.3
6	1	0.0	0.1

Dos 6 (seis) pontos selecionados foi retirado aquele que apresentou o maior resíduo, permanecendo 5 (cinco) de maneira efetiva. A escolha destes pontos deveu-se às características próprias da área, para a realização do registro, além de que o erro interno está dentro da tolerância exigida de 0,5cm na escala da carta.

6.2. INTEGRAÇÃO DOS FATORES PARA A ELABORAÇÃO DOS MAPAS DE POTENCIAL NATURAL DE EROSÃO (PNE).

Os dados referentes ao meio físico que compõem a EUPS (erosividade, erodibilidade, declividade e comprimento da vertente), foram integrados através da manipulação de Modelos Numéricos de Terreno (MNT's), dentro do projeto Paty do SGI/INPE.

A partir das operações e combinações dos fatores envolvidos, através da formulação citada no item 3.3., chegou-se a dois mapas representativos do PNE da área de estudo.

Salienta-se aqui, que o PNE considera o potencial máximo de erosão, imaginando uma situação onde o solo estaria totalmente exposto, descoberto de qualquer vegetação e susceptível à carga de todo tipo de fenômeno, como por exemplo o impacto da chuva no solo ou o escoamento superficial da água.

No primeiro caso, relativo ao mapa de PNE gerado com o fator comprimento da vertente calculado diretamente sobre a carta topográfica, como já comentado no item 5.3., com uma grade de 0,5 X 0,5cm, apresentou valores que variam de 49,067 até 2281,87. Assim, cada célula da matriz possui um valor discriminador do seu potencial natural à erosão. Esse mapa passou a ser referido pelo nome de PNE1 (anexo 9).

No segundo caso, onde o comprimento da vertente foi calculado pelo método da densidade de drenagem "modificado" (WILLIAMS e BERNDT, 1977), obteve-se uma matriz de células com tamanho de 0,25 X 0,25cm. Neste caso, a amplitude de variação dos valores de potencial natural à erosão dos solos da área de estudo foi de 45,031 a 2245,16, sendo referido por PNE2 (anexo 10).

Em termos de amplitude de variação, os dois mapas, PNE1 e PNE2, tiveram um comportamento semelhante, porém, quando comparado espacialmente ocorreu uma diferença significativa, induzindo uma análise distinta para os dois mapas. No cruzamento dos dois mapas, houve igualdade de localização das classes em 18.973.800 m² (63,7%) e uma desigualdade de 36,6% (anexo 11).

Para os dois mapas de PNE gerados, suas matrizes foram convertidas em mapas temáticos, na escala de 1:50000, onde as classes de PNE são representadas por polígonos. As classes de PNE adotadas partiram de uma divisão por 5 (cinco), de toda a amplitude encontrada em cada um dos mapas de PNE, sendo apresentadas nas tabelas 19a e 19b:

Tabela 19a: Classes, amplitude de variação, áreas e porcentagens do PNE1

Classe	Amplitude de Variação	Área (m ²)	%
muito baixo	49,067 a 495,63	35.441.100	30,0
baixo	495,63 a 942,19	29.870.100	25,3
médio	942,19 a 1.388,75	34.665.300	29,4
alto	1.388,75 a 1.835,31	15.923.700	13,5
muito alto	1.835,31 a 2.281,87	2.025.900	1,8

Tabela 19b: Classes, amplitude de variação, áreas e porcentagens do PNE2

Classe	Amplitude de Variação	Área (m ²)	%
muito baixo	45,03 a 485,06	13.189.500	44,3
baixo	485,06 a 925,08	7.800.300	26,1
médio	925,08 a 1.365,11	5.196.600	17,5
alto	1.365,11 a 1.805,14	3.121.200	10,5
muito alto	1.805,14 a 2.245,16	491.400	1,6

6.3. OS CRUZAMENTOS PARA A AVALIAÇÃO DOS MODELOS.

A avaliação qualitativa dos mapas de PNE1 e PNE2 foi conduzida através de cruzamentos dos planos de informação (PI's). Esses cruzamentos foram direcionados por regras, que no caso do SGI/INPE chama-se arquivo de regras, que são na realidade algoritmos criados especificamente para tais fins.

6.3.1. CRUZAMENTO ENTRE APTIDÃO AGRÍCOLA X PNE1

O primeiro cruzamento refere-se à comparação entre o mapa de Aptidão Agrícola das Terras e o mapa de PNE1.

A resposta deste cruzamento pode ser representada pela tabela 20.

Tabela 20: Área total (hectares) e porcentagens aproximadas do cruzamento entre Aptidão Agrícola e PNE1

Classes Aptidão Agrícola	Classes de PNE1 (ha - %)				
	muito baixo	baixo	médio	alto	muito alto
2 b(c)	739,08 - 80%	152,19 - 16%	29,7 - 03%	1,89 - 0,2%	---
2 b	919,44 - 65%	392,58 - 27%	91,26 - 06%	18,0 - 01%	0,45 - 0,1%
4 P	0,63 - 07%	8,1 - 93%	---	---	---
4 p	952,02 - 51%	588,96 - 32%	214,29 - 12%	95,49 - 05%	5,58 - 0,4%
4 (p)	44,01 - 08%	186,12 - 36%	190,89 - 36%	97,92 - 19%	5,76 - 1,1%
6	288,63 - 06%	1284,66 - 24%	2145,51 - 40%	1370,8 - 26%	190,71 - 4%

A análise da tabela 20, considerando uma classe de aptidão agrícola de cada vez, ou seja, trabalhando na direção das linhas da matriz, nos evidencia os seguintes resultados:

A) 2 b(c) - Terras classificadas com aptidão regular para lavouras no nível de manejo B e restritas no nível de manejo C.

Desta classe, 80%, está dentro da classe muito baixo do PNE1. Apenas 16% dessa área se encontra na classe de baixo potencial natural de erosão (pne).

As classes de médio e alto potencial natural de erosão equivaleram a 3,2% e a classe muito alto não teve concordância com esta classe de aptidão agrícola das terras.

B) 2 b - Terras classificadas com aptidão regular para lavouras no nível de manejo B.

Esta classe apresentou 65% de sua área total, concordante com a classe muito baixo do PNE1. A classe baixo do PNE1 contribuiu com 27% desta área.

As classes médio, alto e muito alto do PNE1 contribuíram com apenas 7% do total.

C) 4 P - Terras classificadas com aptidão boa para pastagem plantada

Da área, 93% é constituído pela classe baixo do PNE1, e o restante faz parte da classe muito baixo potencial natural de erosão. As outras classes do PNE1, que são médio, alto e muito alto, não entraram na composição desta aptidão agrícola.

D) 4 p - Terras classificadas com aptidão regular para pastagem plantada

Neste caso, suas porcentagens de área correspondente no mapa de PNE1 são distribuídas da seguinte maneira:

- ⇒ 51% equivale a classe muito baixo
- ⇒ 32% equivale a classe baixo
- ⇒ 12% equivale a classe médio
- ⇒ 05% equivale a classe alto
- ⇒ 0,4% equivale a classe muito alto

E) 4 (p) - Terras classificadas com aptidão restrita para pastagem plantada

Esta classe de aptidão apresenta as seguintes correspondências com as classes do PNE1:

- ⇒ 08% equivale a classe muito baixo
- ⇒ 36% equivale a classe baixo
- ⇒ 36% equivale a classe médio
- ⇒ 19% equivale a classe alto
- ⇒ 01% equivale a classe muito alto

F) 6 - Terras consideradas inaptas para a utilização com atividades agropecuárias

Essa classe apresentou as seguintes correspondências com as classes do mapa de PNE1.

- ⇒ 06% equivale a classe muito baixo
- ⇒ 24% equivale a classe baixo
- ⇒ 40% equivale a classe médio
- ⇒ 26% equivale a classe alto
- ⇒ 04% equivale a classe muito alto

6.3.2. CRUZAMENTO ENTRE APTIDÃO AGRÍCOLA X PNE2

O segundo cruzamento procurou dar subsídios para a avaliação entre o mapa de aptidão agrícola das terras e o mapa de PNE2. Da mesma maneira que o cruzamento anterior, foi criado um algoritmo com as regras que definem os resultados esperados deste cruzamento, que podem ser observados, de maneira global, na tabela 21.

Tabela 21: Área total (hectares) e porcentagens aproximadas do cruzamento entre Aptidão Agrícola e PNE2.

Classes Aptidão Agrícola	Classes de PNE2 (ha - %)				
	muito baixo	baixo	médio	alto	muito alto
2 b(c)	312,75 - 90%	28,08 - 08%	5,76 - 1,6%	1,35 - 0,4%	---
2 b	448,74 - 82%	88,47 - 16%	8,55 - 1,5%	3,06 - 0,6%	0,9 - 0,3%
4 p	458,55 - 73%	136,17 - 22%	27,0 - 4,3%	5,76 - 01%	---
4 (p)	27,0 - 13%	137,43 - 63%	41,31 - 19%	5,85 - 2,7%	5,13 - 2,3%
6	65,79 - 5,4%	386,1 - 32%	432,81 - 36%	291,69 - 24%	37,08 - 3,1%

A avaliação concernente a cada classe de aptidão agrícola (direção das linhas da matriz) é a seguinte:

A) 2 b(c)

Da área contida nesta classe de aptidão agrícola, 90% pertencem também a classe muito baixo do PNE2. A classe baixo potencial natural de erosão contribuiu com 08% do total, e os 2% restantes estão nas classes médio e alto potencial natural de erosão. A classe muito alto do PNE2 não encontra equivalência nesta aptidão agrícola.

B) 2 b

A área pertencente a esta classe de aptidão agrícola é composta por 82% da classe muito baixo do PNE2, 16% de baixo potencial natural de erosão e o restante 2,4% às outras classes do PNE2 (médio, alto e muito alto).

C) 4 p

As áreas que possuem aptidão agrícola regular para pastagem plantada, estão distribuídas percentualmente da seguinte maneira, em termos de classes do PNE2.

- ⇒ 73,0% equivale a classe muito baixo
- ⇒ 22% equivale a classe baixo
- ⇒ 4,3% equivale a classe médio
- ⇒ 1,0% equivale a classe alto

A classe muito alto do PNE2 não aparece na composição desta classe de aptidão agrícola.

D) 4 (p)

De toda a área pertencente a esta classe de aptidão agrícola, restrita para pastagem plantada, apenas 13% são equivalentes a classe muito baixo do PNE2. A classe baixo potencial natural de erosão corresponde à 63% da área, e a classe médio potencial natural de erosão contribui com 19%. As classes de alto e muito alto potencial natural de erosão estão presentes em 5% da área.

E) 6

As terras classificadas como inaptas para a atividade agropecuária, segundo a avaliação da aptidão agrícola da área de estudo, estão subdivididas, em relação às classes do PNE2, da seguinte maneira:

- ⇒ 05% equivale à classe muito baixo
- ⇒ 32% equivale à classe baixo
- ⇒ 36% equivale à classe médio
- ⇒ 24% equivale à classe alto
- ⇒ 03% equivale à classe muito alto.

6.3.3. CRUZAMENTO ENTRE APTIDÃO AGRÍCOLA X COBERTURA VEGETAL/USO DA TERRA.

Como forma de avaliar o atual quadro de uso da terra da área de estudo, o mapa de cobertura vegetal/uso da terra foi cruzado com o mapa de aptidão agrícola das terras.

Este terceiro cruzamento, bem como todos os outros, resultou na criação de um novo PI que, neste caso, puderam ser quantificadas e colocadas na tabela 22.

Tabela 22: Área total (hectares) e porcentagens aproximadas do cruzamento entre Aptidão Agrícola e Cobertura vegetal/uso da terra.

Classes Aptidão Agríc.	Classes de Uso da Terra (ha - %)				
	Ativid. Agríc.	Pastagem	Mata	Misto	Degradado
2 b(c)	38,25 - 5%	249,48 - 34%	134,1 - 18%	294,66 - 41%	7,02 - 02%
2 b	54,81 - 5%	364,41 - 32%	257,94 - 23%	414,99 - 37%	33,66 - 03%
4 P	---	2,79 - 46%	0,54 - 09%	2,52 - 41%	0,27 - 04%
4 p	121,05 - 8%	471,78 - 32%	378,81 - 26%	426,96 - 29%	68,22 - 05%
4 (p)	29,34 - 7%	89,46 - 22%	172,71 - 42%	88,11 - 22%	27,72 - 07%
6	236,79 - 6%	867,42 - 21%	1723,5 - 41%	769,23 - 22%	436,32 - 10%

obs: as porcentagens desta tabela estão no sentido das linhas

A análise dos dados contidos na tabela 22 será feita a partir de dois pontos de vista, um pela aptidão agrícola (linhas da matriz) e outro pelo uso da

terra (colunas da matriz). Pelo lado da aptidão agrícola, teremos as seguintes análises.

A) 2 b(c)

As áreas com esta aptidão, vêm sendo utilizadas, em sua maioria (41%), pelas atividades classificadas como de uso misto, seguido da atividade de pastagem (34%) e áreas com mata (18%). A atividade agrícola representa apenas 5% da área apta para esta opção. As áreas consideradas degradadas pela classificação digital MAXVER, representam somente 2,0% do total desta classe de aptidão agrícola.

B) 2 b

As áreas com esta classe de aptidão agrícola compõem-se dos seguintes tipos de cobertura vegetal/uso da terra.

- ⇒ 05% destinados a atividade agrícola
- ⇒ 32% destinados a pastagem
- ⇒ 23% destinados a matas
- ⇒ 37% destinados ao uso misto
- ⇒ 03% de áreas degradadas

C) 4 P

Nesta classe de aptidão agrícola, o uso adotado na sua área é subdividido em pastagens (46%), uso misto (41%), matas (9%) e áreas degradadas (4%). Não foi constatada atividade agrícola nesta área.

D) 4 p

Dentro dos locais indicados com esta aptidão, o uso se define, em ordem decrescente, como pastagem (32%), uso misto (29%), matas (26%), atividade agrícola (8%) e áreas degradadas (5%).

E) 4 (p)

As áreas nesta classe, vêm sendo utilizadas com matas (42%), pastagem (22%), uso misto (22%), atividade agrícola (7%) e áreas degradadas (7%).

F) 6

As áreas consideradas inaptas para a atividade agropecuária, classe 6 da avaliação da aptidão agrícola, têm na cobertura por matas o seu maior percentual, 43%, sendo seguido por pastagem (21%), uso misto (19%), áreas degradadas (11%) e atividades agrícolas (6%).

De maneira inversa, ou seja, análise feita a partir das classes de uso (colunas da matriz), a atividade agrícola registrada em toda a área de estudo, tem sido feita em sua maioria, 49%, em áreas consideradas inaptas para a agropecuária, segundo a avaliação da aptidão agrícola das terras. Apenas 19% da atividade agrícola da área se encontra em consonância com sua aptidão agrícola, sendo que os restantes 32% são conduzidos em terras aptas para pastagem plantada (aptidão regular e/ou restrita).

Continuando a avaliação no sentido das colunas da tabela anterior, as pastagens da área de estudo estão condizentes com a aptidão agrícola em 58% de sua área, enquanto o restante (42%) vem sendo conduzido em locais inaptos para a agropecuária, classe 6 da aptidão agrícola.

As áreas consideradas degradadas estão, em sua maioria (76%), localizadas em regiões inaptas para a atividade agrícola, ou seja, classe 6 da aptidão agrícola, sendo que as parcelas restantes são distribuídas da seguinte forma: 1,2% na classe 2 b(c); 5,8% na classe 2 b ; 12% na classe 4 p e 5% na classe 4 (p).

Das terras preservadas com vegetação natural (matas), 64% pertencem a locais com classe de aptidão agrícola 6 (inaptas), sendo seguida por terras

aptas para pastagem plantada (4 P, 4 p e 4 (p)) com 21% e aquelas aptas para lavouras, classes 2 b(c) e 2 b, com 15%.

O mapa com as áreas consideradas como de uso correto, em consonância com a aptidão agrícola, e aquelas consideradas "super-utilizadas", ou seja, usadas acima do que sua aptidão recomenda, representando áreas com incongruência de uso, pode ser observado no anexo 12.

6.3.4. CRUZAMENTO ENTRE PNE1 X COBERTURA VEGETAL/USO DA TERRA.

O cruzamento do PI relativo ao PNE1 com o PI cobertura vegetal/uso da terra, foi elaborado para verificar em qual classe de PNE1, as áreas de atividade agrícola, pastagens, uso misto, mata e degradadas estão inseridas; o resultado pode ser observado na tabela 23.

Tabela 23: Área total (hectares) e porcentagens aproximadas do cruzamento entre PNE1 e Cobertura **vegetal/uso** da terra, excluindo-se a área urbana.

Classes de PNE1	Classes de Uso da Terra (ha - %)				
	Ativid. Agríc.	Pastagem	Mata	Misto	Degradado
m. baixo	151,83 - 31%	818,19 - 39%	452,43 - 17%	862,2 - 43%	55,17 - 10%
baixo	115,20 - 23%	589,14 - 28%	685,98 - 26%	544,95 - 27%	115,2 - 20%
médio	110,16 - 22%	431,82 - 21%	930,24 - 34%	400,77 - 20%	196,02 - 34%
alto	88,29 - 18%	194,94 - 10%	544,14 - 20%	174,42 - 09%	190,35 - 33%
m. alto	15,93 - 06%	23,94 - 02%	68,58 - 03%	26,64 - 01%	18,09 - 03%
TOTAL	481,41 - 100%	2.058,03 - 100%	2.681,37 - 100%	2.008,98 - 100%	574,83 - 100%

Como pode ser observado na tabela 23, as áreas utilizadas com atividades agrícolas decrescem com o aumento do PNE1, da seguinte maneira: classe de PNE1 muito baixo com 31%; classe baixo com 23%; classe médio com 22% e os 24% restantes nas classes alto e muito alto do PNE 1.

Quanto aos locais utilizados por pastagens, a distribuição percentual das classes de PNE1 obedece à seguinte ordem: 39% na classe muito baixo; 28% na classe baixo; 21% na classe médio; 10% na classe alto e 2% na classe muito alto.

Nos locais onde a mata se faz presente, sua maior área encontra-se concordante com a classe do PNE1 médio (34%), seguido das classes baixo (26%), alto (20%), muito baixo (17%) e muito alto (3%).

Nas áreas de uso misto, a classe do PNE1 de maior concordância é o muito baixo (43%) seguido por baixo (27%), médio (20%), alto (9%) e muito alto (1%).

Com relação às áreas degradadas, elas estão distribuídas percentualmente, em relação as classes de PNE1, da seguinte maneira: classe muito baixo com 10%; classe baixo com 20%; classe médio com 34%; classe alto com 33% e muito alto com 3%.

O mapa do anexo 13 mostra a relação espacial entre atividade agrícola e pastagem com muito baixo potencial natural de erosão (pne), situação considerada ótima, e o inverso, onde as classes de uso da terra são concordantes com baixo, médio, alto e muito alto pne.

6.3.5. CRUZAMENTO ENTRE PNE2 X COBERTURA VEGETAL/USO DA TERRA.

O último cruzamento foi elaborado com o mesmo propósito que o anterior, como forma de comparar o resultado das áreas com atividade agrícola, pastagens, mata, uso misto e degradadas, além de possibilitar uma comparação entre os resultados destes dois últimos cruzamentos, já que, conceitualmente, se trata do mesmo procedimento metodológico.

A tabela 24 contém o resultado deste cruzamento.

Tabela 24: Área total (hectares) e porcentagens aproximadas do cruzamento entre PNE2 e Cobertura vegetal/uso da terra.

Classes de PNE2	Classes de Uso da Terra (ha - %)				
	Ativid. Agric.	Pastagem	Mata	Misto	Degradado
m. baixo	98,64 - 59%	451,71 - 62%	201,87 - 26%	293,22 - 56%	25,92 - 18%
baixo	30,06 - 18%	152,28 - 21%	242,01 - 31%	130,32 - 25%	42,48 - 29%
médio	24,03 - 15%	75,06 - 10%	181,17 - 23%	64,35 - 12%	46,71 - 32%
alto	12,15 - 07%	40,14 - 06%	138,78 - 18%	27,09 - 05%	27,36 - 19%
m. alto	0,90 - 01%	8,91 - 01%	19,53 - 02%	8,19 - 02%	2,52 - 02%
TOTAL	165,78 - 100%	728,10 - 100%	783,36 - 100%	523,17 - 100%	144,99 - 100%

Seguindo a sistemática utilizada com relação ao PNE1, a análise indicou que, das terras utilizadas com atividades agrícolas, 59% pertencem à classe muito baixo do PNE2, 18% à classe baixo potencial natural de erosão, 15% à classe médio, 7% à classe alto do PNE2 e apenas 1% à classe muito alto.

Dentre os locais onde a atividade é a pastagem, 62% pertencem a classe muito baixo do

PNE2. A classe baixo potencial natural de erosão contribuiu com 21%, seguido da classe médio com 10%, alto com 6% e muito alto com 1%.

Na área onde a mata ainda existe, a distribuição das classes de PNE2 é a seguinte:

- ⇒ muito baixo com 26%
- ⇒ baixo com 31%
- ⇒ médio com 23%
- ⇒ alto com 18%
- ⇒ muito alto com 2%

Nos locais onde a classificação de uso misto está presente, as classes do PNE2 se dividem da seguinte maneira:

- ⇒ muito baixo com 56%
- ⇒ baixo com 25%
- ⇒ médio com 12%
- ⇒ alto com 5%
- ⇒ muito alto com 2%

Dentre as áreas degradadas, a associação percentual entre as classes de potencial natural de erosão e o tipo de cobertura vegetal/uso da terra ficaram do seguinte modo:

- ⇒ classe muito baixo com 18%
- ⇒ classe baixo com 29%
- ⇒ classe médio com 32%
- ⇒ classe alto com 19%
- ⇒ classe muito alto com 2%

6.4. ANÁLISE COMPARATIVA DOS RESULTADOS DOS CRUZAMENTOS.

O comportamento dos mapas de PNE1 e PNE2 diante do mapa de aptidão agrícola das terras pode ser apresentado conforme a tabela 25.

Tabela 25: Porcentagens relativas entre os mapas de PNE e a aptidão agrícola

Classe de Aptidão	PNE1					PNE2				
	m.baixo	baixo	médio	alto	m.alto	m. baixo	baixo	médio	alto	m.alto
2 b(c)	80,0	16,5	3,5		0,0	89,9	8,2	2,0		
2 b	64,7	27,6	7,7			81,6	16,0	2,4		
4 p	51,3	31,7	11,5	5,1	0,4	73,0	21,7	4,3	1,0	0,0
4(p)	8,4	35,5	36,4	18,	1,1	12,5	63,4	19,0	5,	1
6	5,5	24,3	40,6	26,	3,6	5,4	31,8	35,7	24,0	3,1

obs: tabela com valores percentuais

As terras com aptidão regular para lavouras no nível de manejo B e de aptidão restrita no nível C (2 b(c)), estão concordantes, em sua maioria, com a classe muito baixo dos mapas de PNE, tanto para o PNE1 como para o PNE2. Neste caso, o PNE2 obteve um pequeno percentual maior, que pode ser explicado, provavelmente, pelo tamanho menor da célula associado à base de dados na geração da grade, ou seja, devido à sua melhor resolução espacial (0,25 X 0,25 cm).

Este tipo de resultado era esperado, pois as terras com melhor aptidão agrícola teriam que possuir os menores valores de potencial natural de erosão (pne).

No caso das terras com classe de aptidão agrícola 2 b (regular para lavouras no nível de manejo B), o PNE2 teve um comportamento melhor que o PNE1, já que 81,6% desta aptidão estão na classe de muito baixo potencial natural de erosão, contra 64,7% do PNE1. Este fato, muito provavelmente também é devido a melhor resolução espacial do PNE2.

A aptidão regular para pastagem plantada (4p) teve, no PNE1, uma distribuição diferente do PNE2. No PNE1, 51,3% se enquadraram na classe muito baixo enquanto que no PNE2 a resposta foi de 73% para esta classe. Na classe baixo potencial natural de erosão a situação foi de 31,7% para o PNE1 e 21,7% para o PNE2. Para esta aptidão agrícola, o resultado que estaria mais dentro da expectativa, é o encontrado no PNE1, já que a distribuição de sua área deve se encaminhar para as classes de maior potencial natural de erosão, e não na classe de menor potencial natural de erosão, como no caso do PNE2. Além disso, 17% das terras com esta aptidão caíram nas classes médio, alto e muito alto potencial natural de erosão, no caso do PNE1 e apenas 5,3% para o PNE2.

Para as terras com aptidão restrita para pastagem plantada, 4(p), as classes baixo e médio do PNE1 contribuíram com 71,9%, enquanto que para o PNE2 82,4% caíram nesta mesma classe.

Para as terras inaptas para a agropecuária, tanto no PNE1 como no PNE2, o resultado indicou que as classes baixo, médio e alto alcançaram aproximadamente 90%, sendo que a classe médio foi a de maior percentual.

Em vista destes resultados, pode-se afirmar que as terras com melhor aptidão agrícola, que são 2 b(c) e 2 b, tiveram, de certa maneira, uma boa

correspondência com os mapas de PNE 1 e 2, já que estão em sua maioria na classe de menor valor de potencial natural de erosão.

As terras aptas para a pastagem plantada também tiveram a sua correspondência majoritária na classe muito baixo, para a aptidão regular, situação que não representa o ideal do que era esperado, porém, no caso de aptidão restrita, as classes baixo e médio (PNE1) e baixo (PNE2) foram majoritárias e demonstram uma melhor relação.

A classe inapta correspondeu, principalmente, à classe médio potencial natural de erosão nos dois casos, praticamente não aparecendo a classe muito baixo. Esta situação é bastante interessante do ponto de vista prático, já que as terras inaptas para atividades agropecuárias apresentam um potencial natural de erosão maior do que àquelas que apresentam aptidão para essas atividades.

Desta análise, pode-se inferir que a aptidão 4p foi a única classe de aptidão agrícola que não obteve uma correspondência satisfatória com os mapas de PNE, tanto a nível do PNE1 como PNE2, muito provavelmente devido ao fato de que as manchas desta aptidão são pequenas e compridas, tendo sido geradas vetorialmente e depois transformadas em raster para a comparação, quando o tamanho da grade modificou a forma das manchas, interferindo no resultado.

O cruzamento do mapa de aptidão agrícola com o mapa de cobertura vegetal/uso da terra, demonstrou que a atividade agrícola registrada na área de estudo, vem sendo conduzida em locais inaptos para este fim, o que com certeza, está contribuindo para a diminuição do tempo de vida útil daqueles solos, devido à aceleração dos processos erosivos, e culminando com o abandono cada vez mais precoce das terras que entram no processo produtivo. A adequação de práticas de manejo para esta área, é necessária e faz parte de

pesquisas realizadas pela EMBRAPA/CNPQ em microbacias da região, para tentar solucionar ou minimizar os graves problemas ambientais, que são a erosão e o assoreamento dos pequenos córregos, fonte de água para a horticultura local.

Comparando-se o mapa uso e cobertura vegetal da terra com o mapa de PNE1, verifica-se situação semelhante à anterior, com boa parte da atividade agrícola (46%) sendo conduzida em áreas de médio, alto e muito alto potencial natural de erosão. Já, quando se compara a uso e cobertura vegetal da terra com o PNE2, apenas 23% da área que apresenta atividade agrícola se encontra em áreas de médio, alto e muito alto potencial natural de erosão.

7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.

◆ QUANTO À METODOLOGIA ADOTADA:

- * O uso de técnicas de geoprocessamento, como sistemas de informação geográfica (SIG's) e tratamento digital de imagens de sensores remotos orbitais, foi importante para armazenar, atualizar e manipular os dados, gerando as situações de interesse deste estudo de maneira ágil e eficiente.
- * A elaboração de mapas de Potencial Natural de Erosão (PNE), através do uso da EUPS com a modelagem numérica de terreno, foi importante, e estes mapas podem servir como mais uma informação básica para ajudar no planejamento agrícola de uma área, porém, seu uso deve ser bastante criterioso, já que este trabalho trata de uma área específica, e a extrapolação de seus resultados depende de mais experimentações.

* A integração do uso dos SIG's e do sensoriamento remoto (SR) é importante no diagnóstico e na avaliação do quadro de uso e cobertura vegetal da terra, pois trabalhando com as imagens LANDSAT 5 TM foi possível criar mapas atualizados deste tema na escala 1:50000.

◆ QUANTO AOS MAPAS DE POTENCIAL NATURAL DE EROSÃO (PNE).

- * A comparação do PNE1 com o PNE2 demonstrou que devemos buscar outros métodos, além dos que foram aqui utilizados, que discriminem melhor as áreas de estudo quanto aos fatores envolvidos, principalmente aquele relativo ao comprimento da vertente, apesar de que este fator tem uma influência menor que o fator declividade na geração do mapa de PNE, corroborando com PINTO (1992).
- * A comparação entre os valores numéricos correspondentes ao fator comprimento da vertente, calculado pelos dois métodos, apresentou diferenças significativas, porém quando distribuídas no espaço através dos produtos temáticos de PNE, demonstra uma igualdade ao nível de 70%. Este fato indica que a nível temático, é indiferente a utilização de uma ou outra metodologia, caso se considere este nível de acerto satisfatório.
- * A diferença fundamental entre os dois métodos empregados para o cálculo do PNE, consistiu na discretização das células, para a geração das grades. Cabe ao usuário escolher o nível de discretização desejado. Para maior nível de detalhamento, ficou demonstrado que em trabalhos que se propõem a detectar terras com aptidão agrícola

para lavouras, a célula discriminadora de 0,25 X 0,25 cm (PNE2) é a mais indicada. Já para aptidão regular para pastagem plantada (4p), o método que ofereceu melhor correspondência foi aquele que considerou a célula de 0,5 X 0,5 cm (PNE1), pois apresentou menor percentual na classe de muito baixo PNE. No entanto, consideramos esta avaliação com certo grau restritivo, tendo em vista os dois valores percentuais encontrados para cada PNE serem altos, o que embute um resíduo na interpretação qualitativa. A garantia seria que os resultados apresentassem uma grande variabilidade entre as classes de PNE.

- * Tanto a aptidão restrita para pastagem plantada, como as terras inaptas para as atividades agropecuárias, mostraram-se indiferentes na comparação com os PNE's.
- * Os demais fatores envolvidos e as fórmulas para correções e ajustes, foram elaborados pela análise (correlação e regressão) de dados obtidos em experimentos de campo e oriundos de estações climatológicas.

◆ QUANTO AO SENSORIAMENTO REMOTO EM BASE ORBITAL.

- * O potencial de utilização das imagens orbitais para caracterizar a cobertura vegetal/uso da terra (diagnose ambiental), é grande, e as combinações das bandas das imagens que foram utilizadas, ou seja, R4/G3/B2 e R5/G4/B3, são adequadas para este tipo de trabalho.

◆ QUANTO AOS MODELOS DE PLANEJAMENTO AGRÍCOLA CONSERVACIONISTAS.

- * Na perspectiva geográfica, os mapas temáticos transformam-se no principal modelo para a análise ambiental, e a produção deles deve obedecer a critérios bem definidos, para que, com o apoio do SIG, sejam elaborados produtos de interesse, tanto sócio-econômicos quanto ambientais. Estes mapas, além de servirem para subsidiar cenários ambientais, através dos cruzamentos, constituem-se num banco de dados geoambientais, disponíveis a qualquer tempo, para viabilizar confrontos espaço-temporais.
- * Desta forma o presente trabalho buscou, através da metodologia que utiliza a EUPS, mapas temáticos, sensoriamento remoto e SIG's, estabelecer modelos representativos dos objetivos propostos, os quais poderão servir de significativos subsídios para se encontrar um planejamento agrícola conservacionista e autosustentado.

◆ QUANTO AO USO ATUAL DA TERRA

- * Pela interpretação do modelo de planejamento agrícola conservacionista, obtido pelo produto dos mapas temáticos (PNE1, PNE2 e Aptidão Agrícola), confrontados com a verdade terrestre, verificou-se uma incoerência ambiental no que concerne à localização das áreas de horticultura em locais de elevado PNE e aptidão agrícola não condizente com esta atividade. Este fato vem ratificar a hipótese nula levantada no início deste estudo.

- * Verificou-se ainda que a área estudada apresenta sua grande maioria de utilização agrícola em áreas consideradas de alto potencial natural de erosão, o que demonstra a necessidade de desenvolvimento de trabalhos científicos junto à comunidade no sentido de buscar o desenvolvimento sustentado.

◆ QUANTO ÀS RECOMENDAÇÕES.

- * É recomendável que as informações obtidas através da metodologia adotada neste estudo para a elaboração dos mapas de PNE do tipo modelo numérico de terreno, sejam qualificadas, ou seja, a quantificação de perda de solo por erosão deve ser composta em classes que espelhem sua capacidade de utilização agrícola, como por exemplo, o fato de que as áreas com muito baixo potencial natural de erosão possuem menores impedimentos à utilização agrícola.
- * A viabilização da criação de banco de dados ambientais, como o produzido para este trabalho, deve ser sempre buscada, visando o monitoramento, diagnóstico e prognóstico das possíveis alterações ambientais que possam vir a ocorrer.
- * Estabelecimento de faixas de amplitude de variação dos mapas de PNE para cada tipo de utilização, indo desde as mais intensivas (agricultura/horticultura) até aquelas áreas inaptas para a exploração agropecuária, ou de alto risco de erosão, que podem comprometer o estado de "equilíbrio" do meio-ambiente, quando manejados inadequadamente. Estabelecer estas faixas depende de maiores experimentações para aumentar o universo de dados e, conseqüentemente, ampliar sua utilização.

- * As faixas de variação adotadas nesta dissertação, nos indicaram que não há a necessidade de que todas as faixas possuam a mesma amplitude, pelo contrário, os menores valores precisam ser mais discriminados que os maiores. Esta afirmação corrobora o trabalho de PINTO (1992), que classificou o PNE com base na distribuição de frequência de seus valores, e obteve classes com intervalos de variação bastante distintos. No presente caso, notou-se que: a última classe (muito alto) praticamente não apresentou resultado em termos de área, ou seja, sua frequência foi mínima, e a junção desta classe com as médio e alto indicam áreas que devem ser deixadas de fora do processo produtivo, ou seja, áreas onde os valores de PNE estejam acima de aproximadamente 900, não devem ser indicadas a nenhum tipo de uso
- * Modelos de planejamento agrícola conservacionistas, tais como a aptidão agrícola e os mapas de PNE gerados neste estudo, devem englobar aspectos relevantes do meio físico, sem esquecer do principal agente modificador dos ambientes, o homem. Esses modelos podem ser usados em conjunto, para subsidiar tomada de decisões a nível regional ou municipal, indicando áreas que devem ser, preferencialmente, mantidas fora do processo produtivo e aquelas onde a produção pode ser desenvolvida, porém de maneira auto-sustentada, ou seja, sem degradar o meio-ambiente e visando melhorar as condições de vida tanto no campo como na cidade.
- * No caso de Paty de Alferes e Miguel Pereira, objetos deste estudo, a análise indicou que existem áreas onde a agricultura vem sendo

conduzida que são indicadas como inaptas (aptidão agrícola) ou de médio, alto e muito alto potencial natural de erosão (PNE1 e PNE2), o que, certamente, está contribuindo para aumentar a erosão do solo e o assoreamento dos córregos d'água, enfim, a degradação do meio-ambiente. Este fato, vem de encontro a hipótese levantada no início deste estudo.

- * A presente proposta relaciona vários modelos de escala (mapas temáticos), como elementos fundamentais para um estudo de planejamento agrícola conservacionista. Desta forma preconiza-se, aqui, a criação de mapas que contemplem o PNE e a Aptidão Agrícola, desenvolvidos com o suporte de técnicas de geoprocessamento, dentre elas o sensoriamento remoto em base orbital, o uso da Equação Universal de Perda de Solo - EUPS e os SIG's.

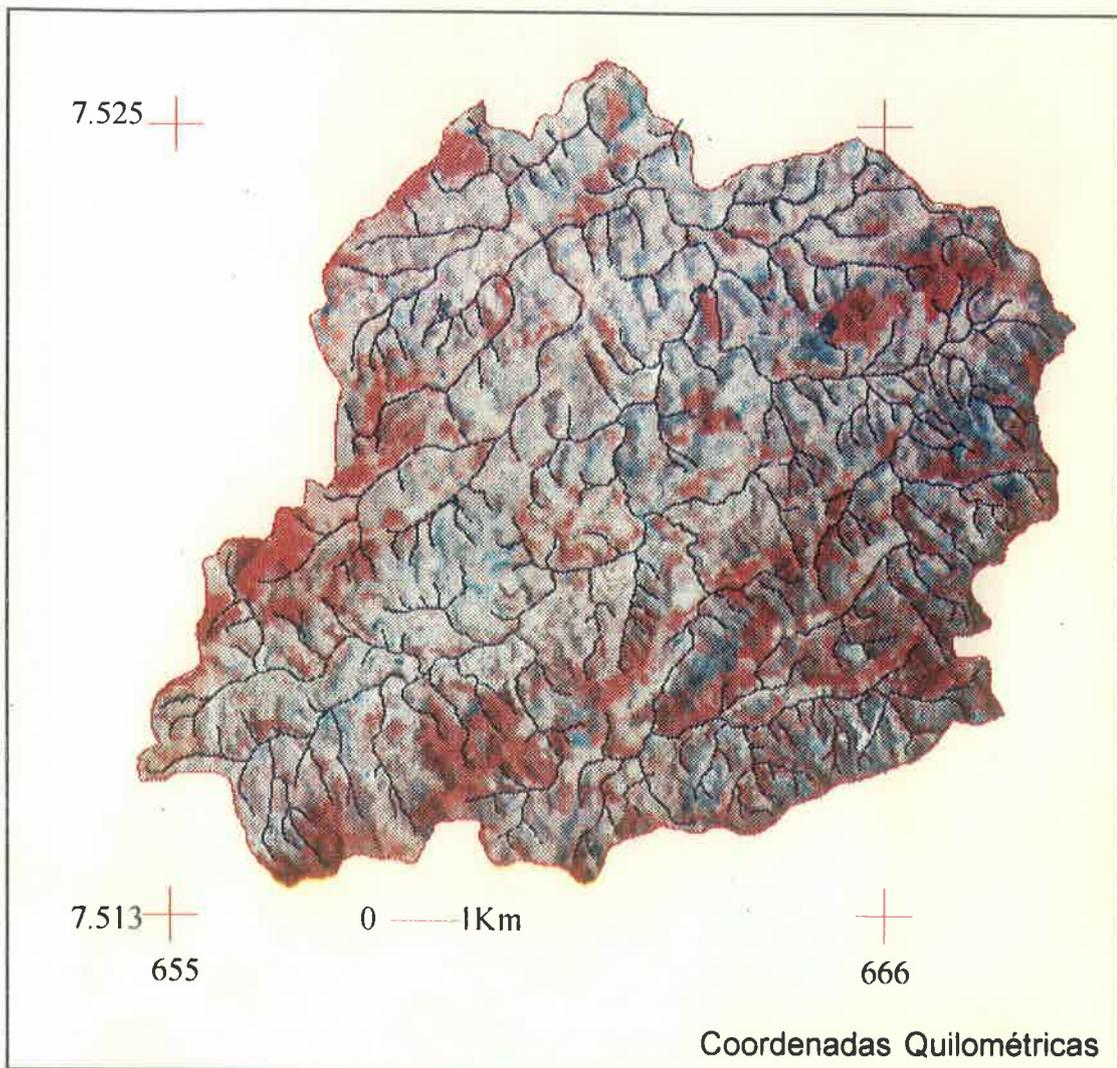
8. BIBLIOGRAFIA

- 01-ARGENTO, M. S. F. **Introdução a Pesquisa Ambiental - Uma Perspectiva Geográfica**. Ed. CENEPAM/SIMONSEN. 151p. 1990
- 02-ARONOFF, S. **Geographic Information System: a management perspective**. WDL publications, Ottawa. 1989.
- 03-BERTONI, J. e LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. Piracicaba. Livroceres, 392p. 1985.
- 04-BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. Projeto **RADAMBRASIL**. Folha . Nome da folha: Geologia, Geomorfologia, Pedologia. Rio de Janeiro, DNPM, data. 522p. (Levantamento de Recursos Naturais, 15)
- 05-BUENO, C.R.P.; STEIN, D.P.; LOMBARDI NETO, F. e GARCIA, G.J. **Potencial Natural à Erosão na Microbacia do rio Jacaré-Pepira (Alto e Médio Curso)-SP**. In: Resumos do XXIV Congresso Brasileiro de Ciência do solo. Goiânia-GO. pp157-158. 1993.
- 06-BURROUGH, P.A. **Principles of geographic Information Systems for Land Resources Assessment**. Clarendon Press. Oxford. 194p. 1986.
- 07-CARVALHO, G.M.B.S.; VALÉRIO FILHO, M. e MEDEIROS, J.S. **Aplicação de Técnicas de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento na identificação da erosão dos solos na bacia do rio Aracoíaba-CE**. In: Anais do VII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Vol III. pp188-198. 1993.
- 08-CRÓSTA, A.P. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. IG/UNICAMP. Campinas-SP. 170p. 1992.
- 09-DE BIASE, M. **Cartas de Declividade: confecção e utilização**. Instituto de Geografia. SP. Geomorfologia numero 21. São Paulo. 1970.
- 10-DIAS JUNIOR, C.J.; WINZ, R.; GIVATI, C.S.; ANDRADE, J.J. e LANGE JUNIOR, F.L. **A Utilização de imagens de Satélite para fins de levantamento da cobertura vegetal dos municípios do estado do Paraná**. In: Anais do VII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Vol II. pp57-60. 1993.
- 11-DONZELI, P.L.; VALÉRIO FILHO, M.; PINTO, S.A.F.; NOGUEIRA, F.P.; ROTTA, C.L. e LOMBARDI NETO, F. **Técnicas de Sensoriamento Remoto aplicadas ao diagnóstico básico para planejamento e monitoramento de microbacias hidrográficas**. Documentos IAC. Numero 29. pp91-119. 1992.

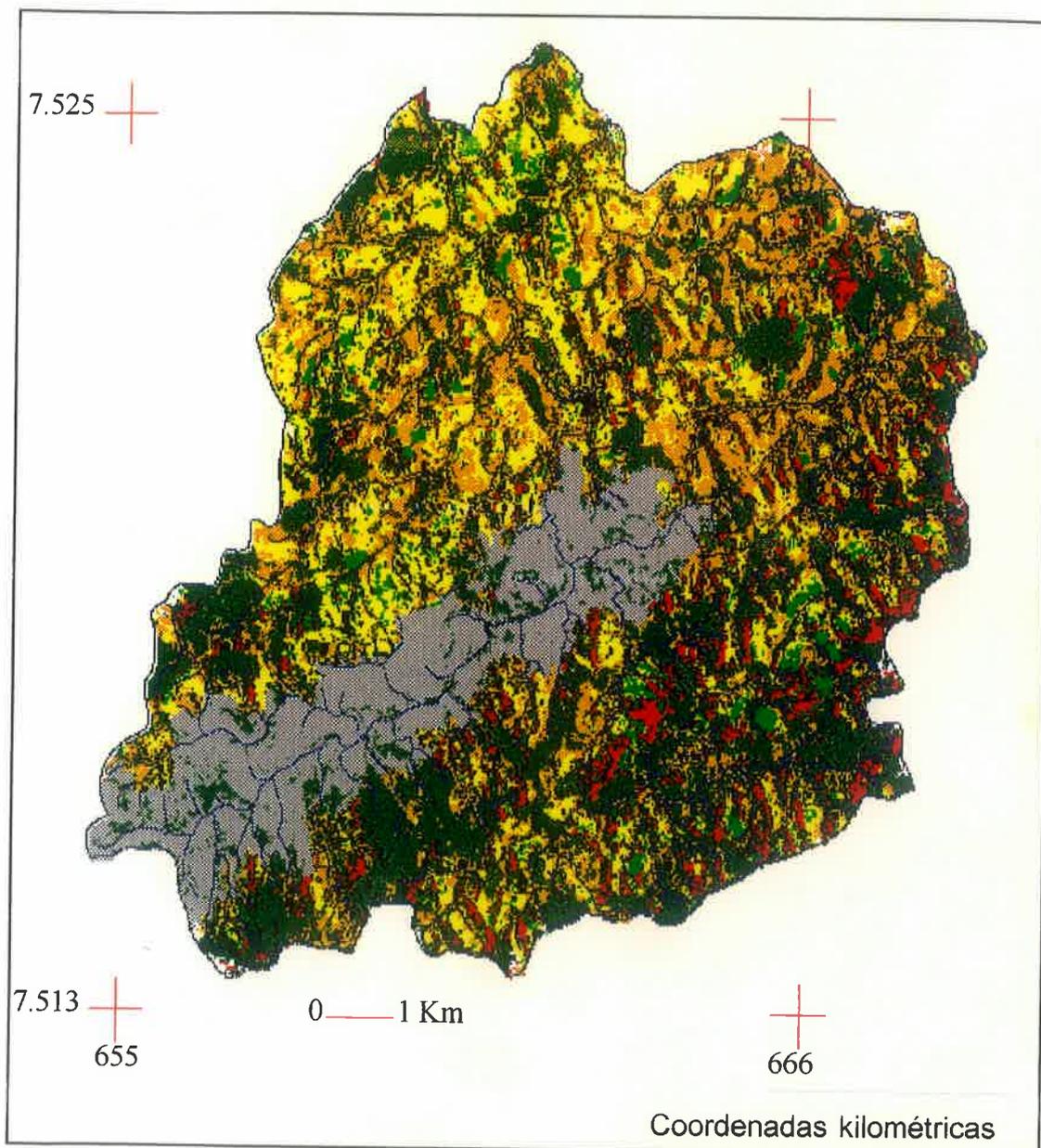
- 12-DRM/INPE. **Mapa Geológico do estado do Rio de Janeiro baseado em Imagens MSS do Landsat-1. Texto Explicativo.** 41p. 1977.
- 13-EVELYN, M.L. NOVO. **Métodos de Análise da Morfodinâmica Fluvial: Uma Comparação Entre Métodos de Análise Fluviométrica e Métodos de Análise Multitemporal de Sensores Remotos.** Rev. Bras. de Geociências. V15 nº 3. 207-212p. 1985.
- 14-FELGUEIRAS, C. A. **Desenvolvimento de um Sistema de Modelagem Digital de Terreno para Microcomputadores.** INPE. Dissertação de Mestrado. 243p. 1987.
- 15-FELGUEIRAS, C. A. e ERTHAL, G. J. **Aplicações de Modelos Numéricos de Elevação e Integração com Imagens Digitais.** In: V Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Natal, RN. 1988.
- 16-FINDERJ. **Estudos Para o Planejamento Municipal - Vassouras** Governadoria de Estado do Rio de Janeiro. 1977.
- 17-GREGORY, K.J. **A Natureza da Geografia Física.** Ed. Bertrand do Brasil. Rio de Janeiro. 1992.
- 18-HARRISON, B.A. e JUPP, D.L.B. **Introduction to Remotely Sensed Data.** CSIRO Publications. Austrália. 141p. 1989.
- 19-HIGGITT, D.L. **Soil Erosion and Soil Problems.** Progress in Physical Geography, nº 15, 1 (1991) pp91-100.
- 20-JACOBS, G.A.; MAXIMIANO, G.A. e IHLENFELD, R.G.K. **Identificação do uso atual do solo através de imagens de satélite para subsidiar ações de âmbito fundiário no Paraná.** In: Anais do VII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Curitiba-PR. Vol I. pp68-74. 1993.
- 21-JENSEN, J.R. **Introductory Digital Image Processing. A Remote Sensing Perspective.** Ed. Prentice-Hall, New Jersey. 1986.
- 22-JURGENS, C. e FAUDER, M. **Soil erosion assessment and simulation by means SGEOS and ancillary digital data.** In: International Journal of Remote Sensing. Vol 14, numero 15, pp2847-2855. 1993.
- 23-LIMA, J.D. e LIMA, S. do C. **Mapeamento da cobertura vegetal e do uso antrópico na região do Triângulo Mineiro (MG), através de imagens TM/Landsat.** In: Anais do VII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Curitiba-PR. Vol II. pp162-170. 1993.
- 24-LIMA, M.A. e CAVALHEIRO, F. **Análise de Degradação Ambiental no município de Rio Claro com apoio de Sistema de Informação Geográfica.** In: Anais do VII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Curitiba-PR. Vol I. pp83-91. 1993.

- 25-MAGUIRE,D.J.; GOODCHILD,M.F. e RHIND,D.W. **Geographical Informations Systems**.Vol I e II.Ed. Longman Scientific and Thecnical, London. 1991.
- 26-MORAES NOVO, E. M. L. **Sensoriamento Remoto - Princípios e Aplicações**. 2º edição. Ed. Edgar Blucher LTDA, SP. 1992.
- 27-PEREIRA,M.D.B. e GONTIJO,A.M.F. **Utilização de Índice de vegetação calculado com dados do Landsat-5 na separação de unidades fitofiógráficas na serra do Cipo-MG**.In: Anais do VII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Curitiba-PR. Vol II. pp216-222. 1993.
- 28-PINA,M. de F.R.P. **Modelagem e Estruturação de dados nao-gráficos em ambiente de Sistemas de Informação Geográfica: estudo de caso na área de saúde pública**. Tese de Mestrado. IME. 168p. 1994.
- 29-PINTO,S.A.F. **Sensoriamento Remoto e Integração de dados aplicados no estudo da erosão dos solos: contribuição metodológica**. Tese de Doutorado. INPE. 149p. 1991.
- 30-RAMALHO FILHO,A.; PEREIRA,E.G. e BEEK,K.J. **Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras**.Rio de Janeiro, SUPLAN/EMBRAPA/SNLCS. 1983. 57p. 2 ed.(revisada).
- 31-SCHOWENGERDT,R.A. **Techniques for Image Processing and Classification in Remote Sensing**.London,Academic, 249p. 1983.
- 32-WILLIAMS, J. R. e BERNDT, H. D. **Determining the Universal Soil Loss Equation's Length-Slope Factor for Watersheds**. Soil Erosion: Prediction and Control. Soil Conservation Soc. of America. Special Publication nº 21, 217-225p, 1977.
- 33-WISCHMEIER,W.H. e SMITH,D.D. **Predicting rain-fall erosion losses: a guide to conservation planning**. Washington, USDA. 58p. 1978. (Agriculture Handbook,537).
- 34-WISCHMEIER,W.H. **Erosion Research Techniques, Erodibility and Sediment Delivery**. 45-46p. Ed. Terrence J. Toy, England. 1977.
- 35-XAVIER-DA-SILVA,J. **Semântica Ambiental: Uma Contribuição Geográfica**. In: Anais do II Congresso Brasileiro de Defesa do Meio Ambiente. Rio de Janeiro, BR. Vol 2 pp47-61. 1987.
- 36-XAVIER-DA-SILVA,J. e SOUZA,M.J.L. **Análise Ambiental**.Ed. UFRJ 198p. 1988.
- 37-XAVIER-DA-SILVA,J. e CARVALHO FILHO,L.M. **Sistemas de Informação Geográfica: uma proposta metodológica**.In: Anais da IV Conferência Latino-americana sobre Sistemas de Informação Geográfica e II Simpósio Brasileiro de Geoprocessamento. USP-SP. 1993.

ANEXO 1
CARTA-IMAGEM DA ÁREA TESTE
PATY DE ALFERES E MIGUEL PEREIRA



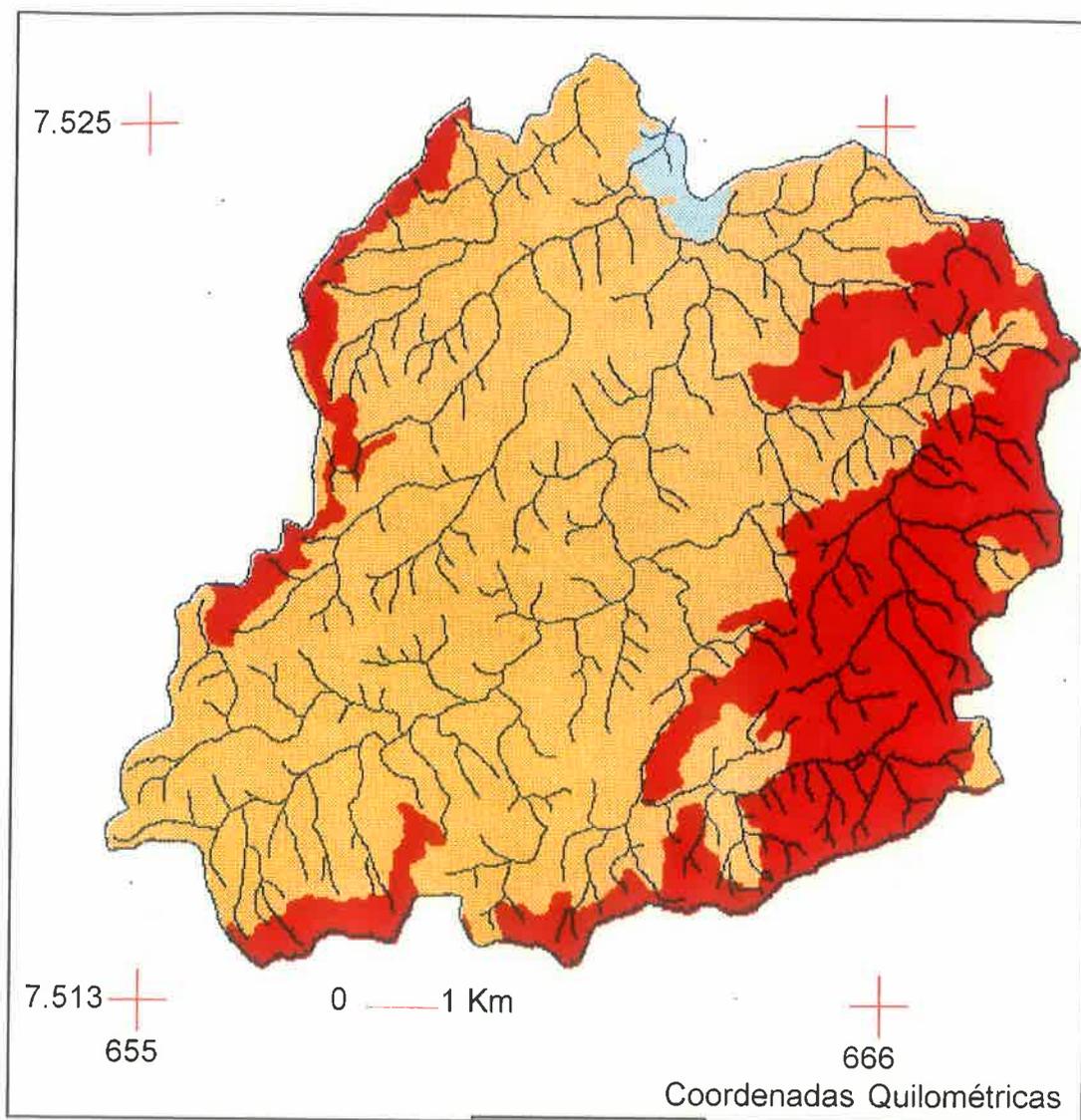
ANEXO 2
REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO PI
COBERTURA VEGETAL/USO DA TERRA



LEGENDA

- Pastagem
- ▨ Agricultura
- Mata
- ▩ Misto
- Degradada
- ▨ Urbano
- Não definido

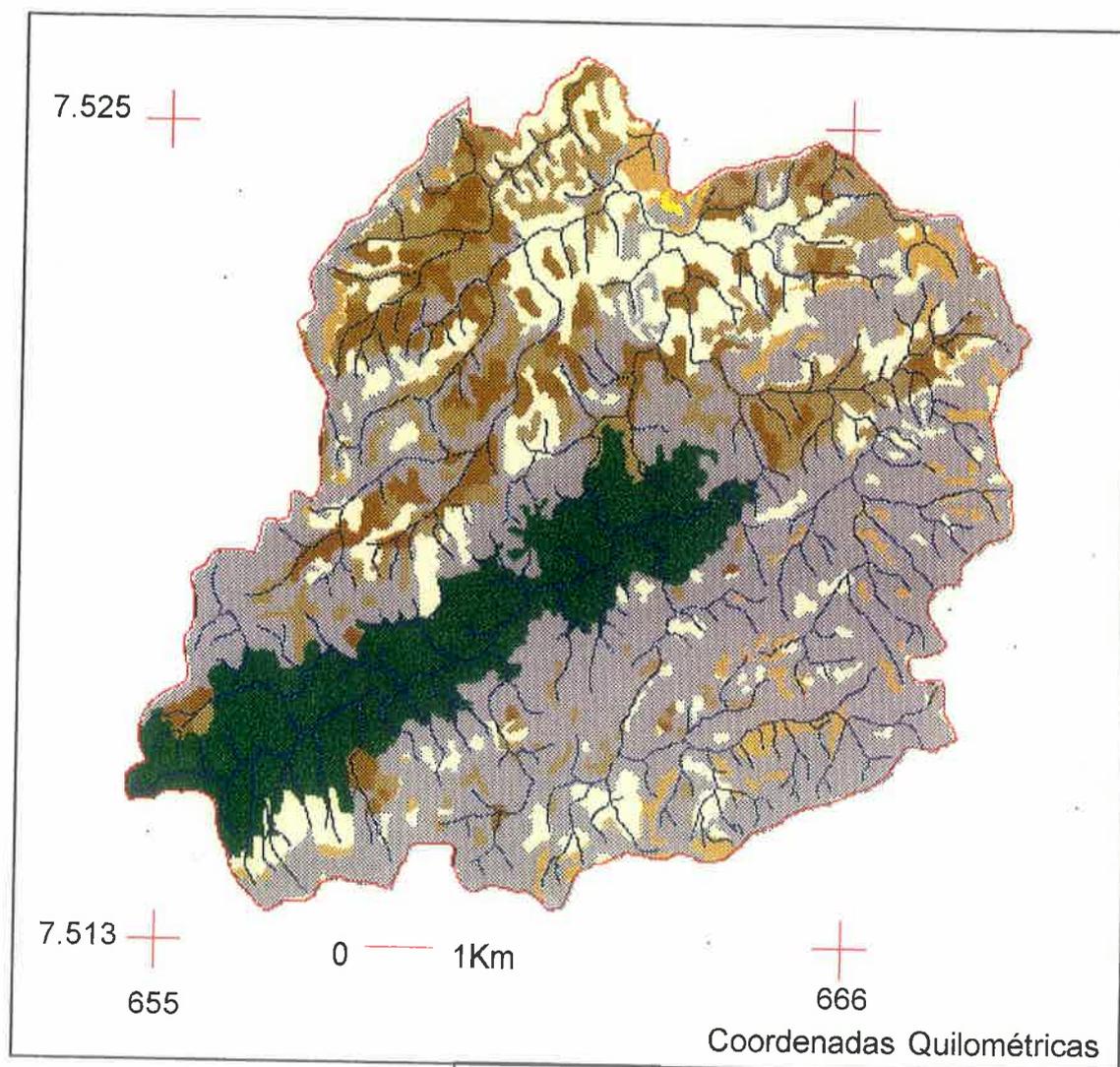
ANEXO 3
REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO PI
ESBOÇO PEDOLÓGICO



LEGENDA

-  LVd
-  Cd
-  PVd
-  Drenagem

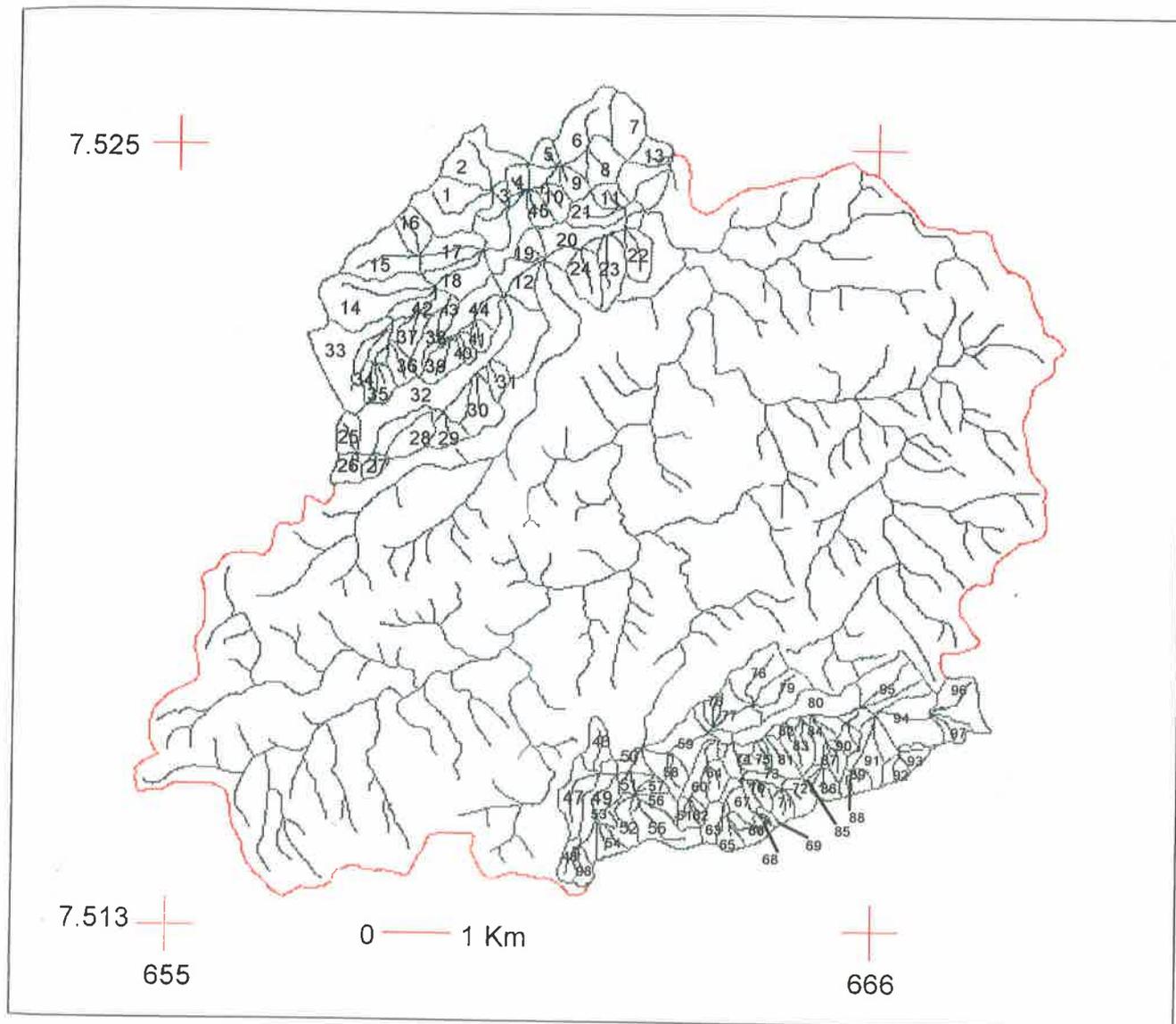
ANEXO 4
 REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO PI
 APTIDÃO AGRÍCOLA



LEGENDA

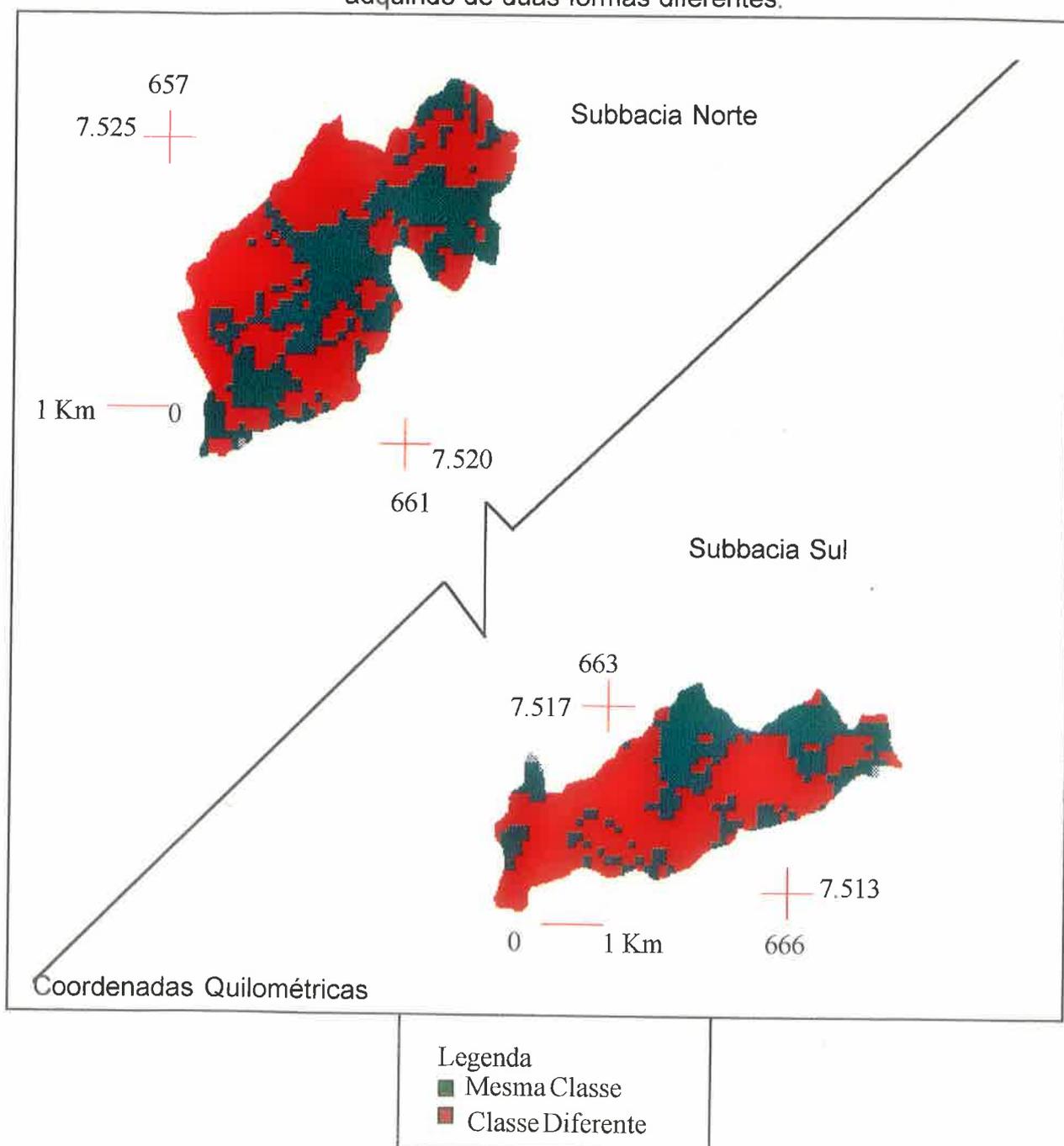
- 2 b(c)
- 2 b
- 4 P
- 4 p
- 4 (p)
- 6
- Urbano

ANEXO 5
REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO PI
COM A LOCALIZAÇÃO DAS DUAS SUBBACIAS E
AS ÁREAS DRENADAS DE CADA CANAL

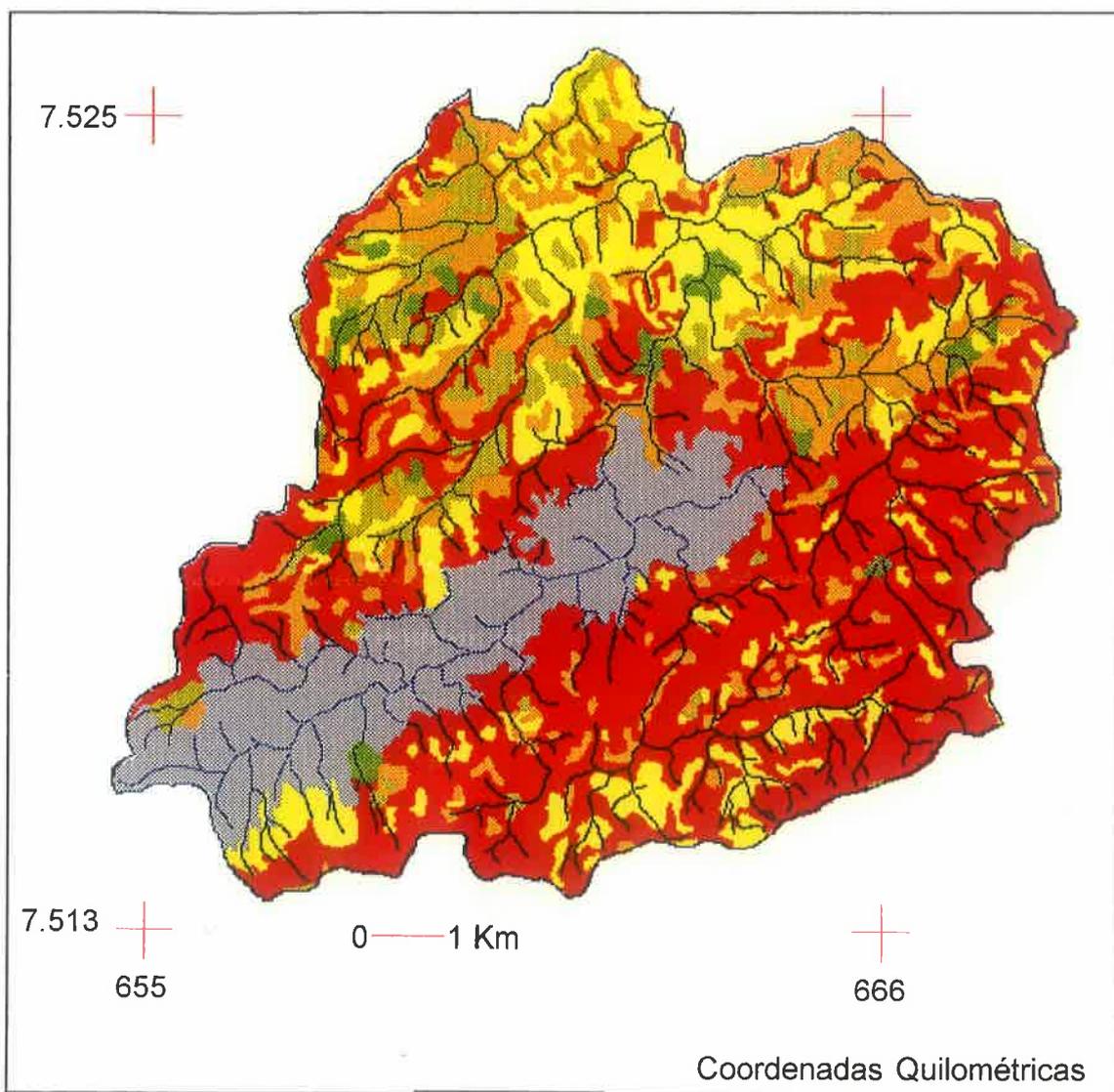


ANEXO 6 :

Representação esquemática do PI resultado do cruzamento entre o fator comprimento da vertente adquirido de duas formas diferentes.



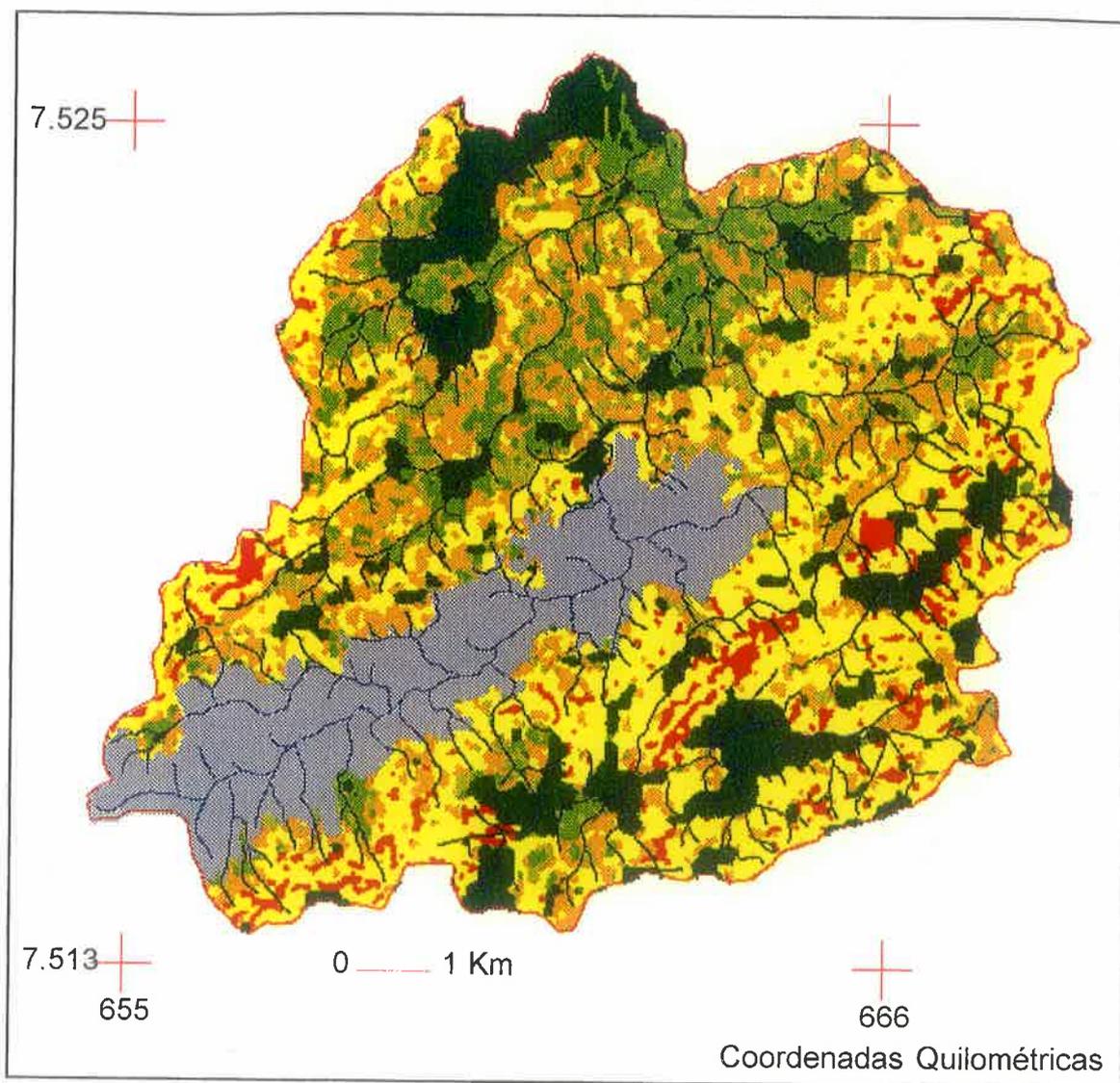
ANEXO 7
REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO PI
DECLIVIDADE GERADO VIA ÁBACO



LEGENDA

- 3 - 8%
- 8 - 12%
- 12 - 20%
- 20 - 45%
- > 45%
- urbano

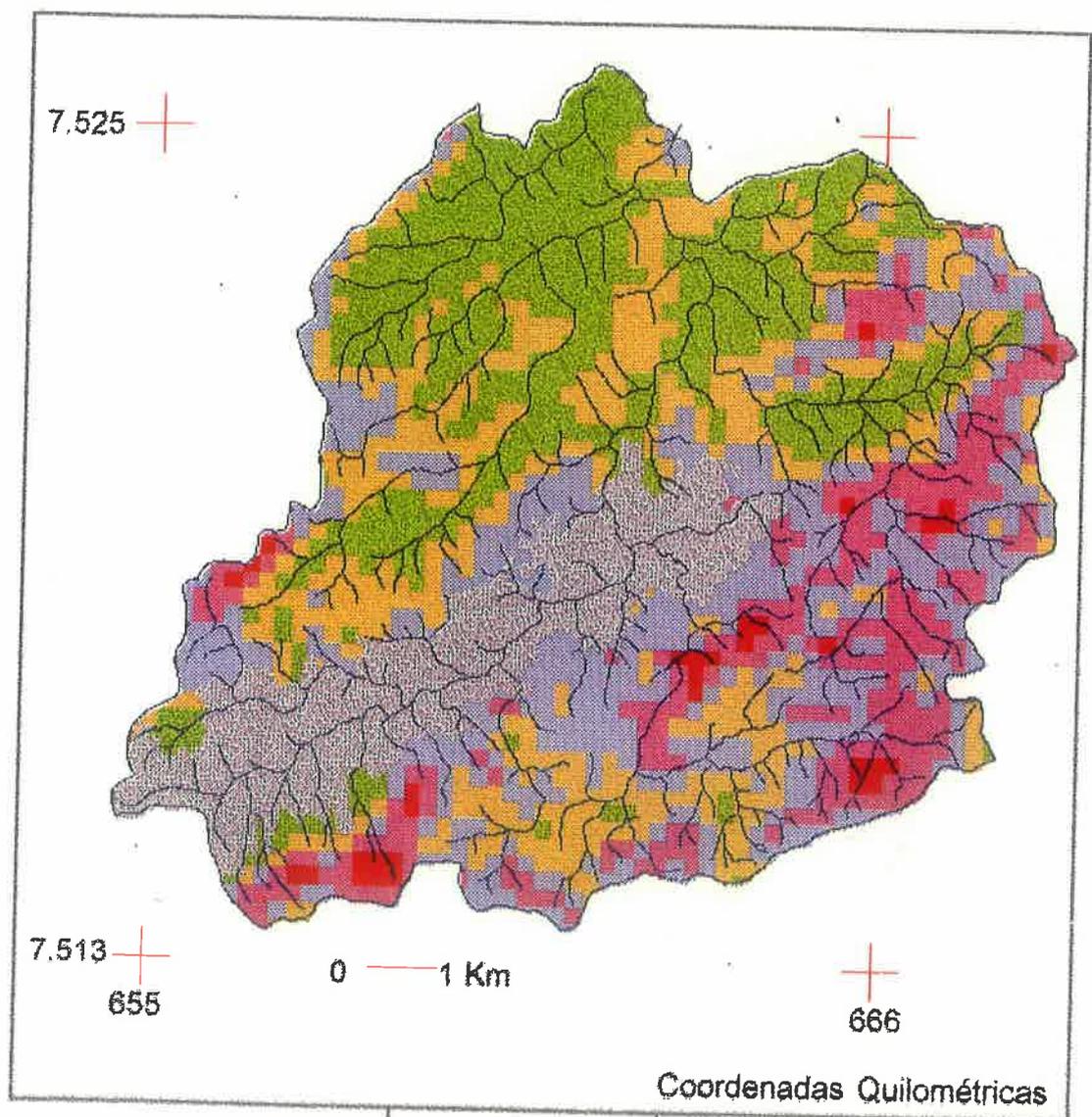
ANEXO 8
REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO PI
DECLIVIDADE GERADO VIA SGI



LEGENDA

- 0 - 3%
- 3 - 8%
- 8 - 12%
- 12 - 20%
- 20 - 45%
- > 45%
- urbano

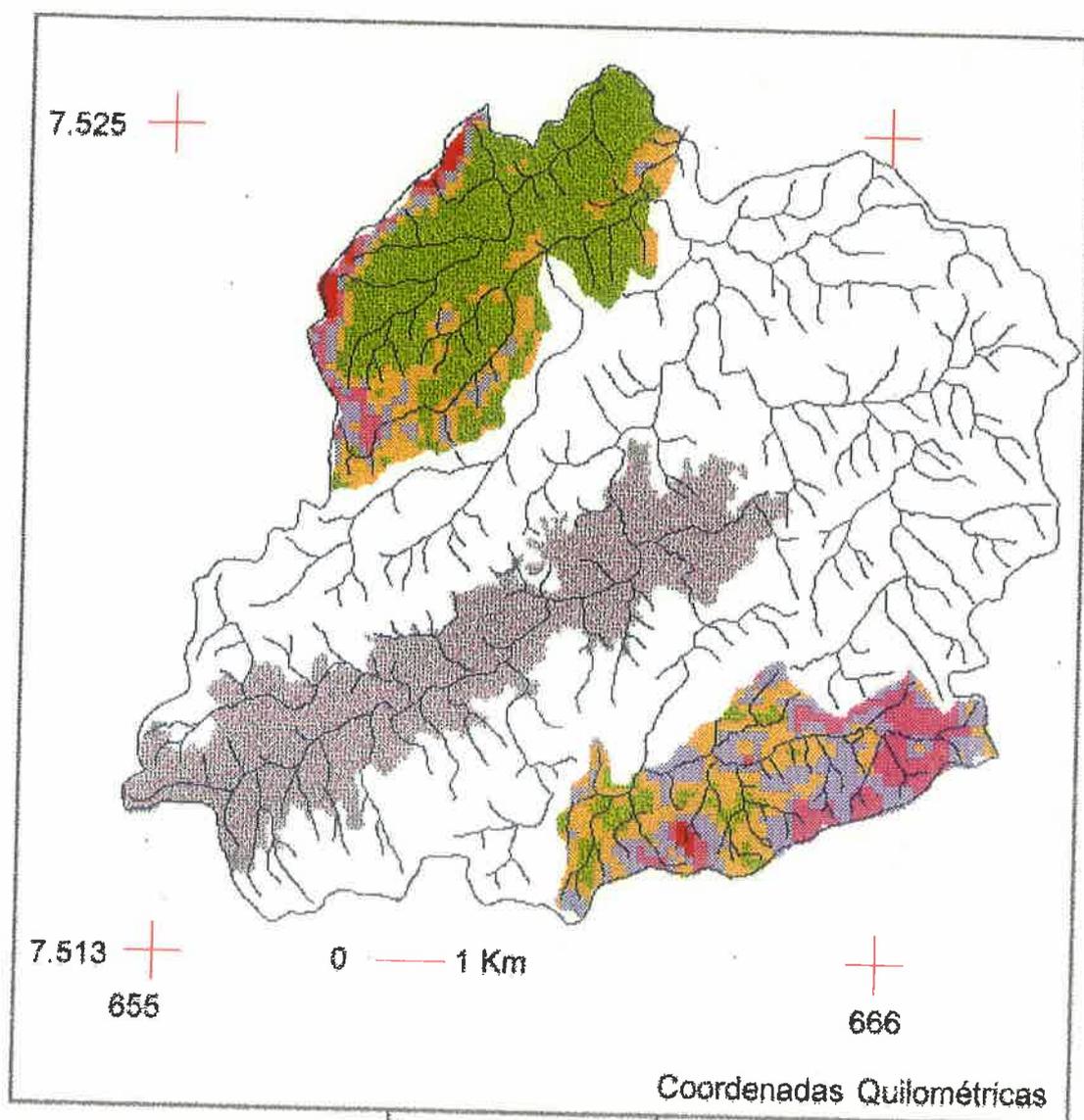
ANEXO 9
 REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO PI
 PNE1



LEGENDA

- ☐ muito baixo
- ☐ baixo
- ☐ médio
- ☐ alto
- ☐ muito alto
- ☐ urbano

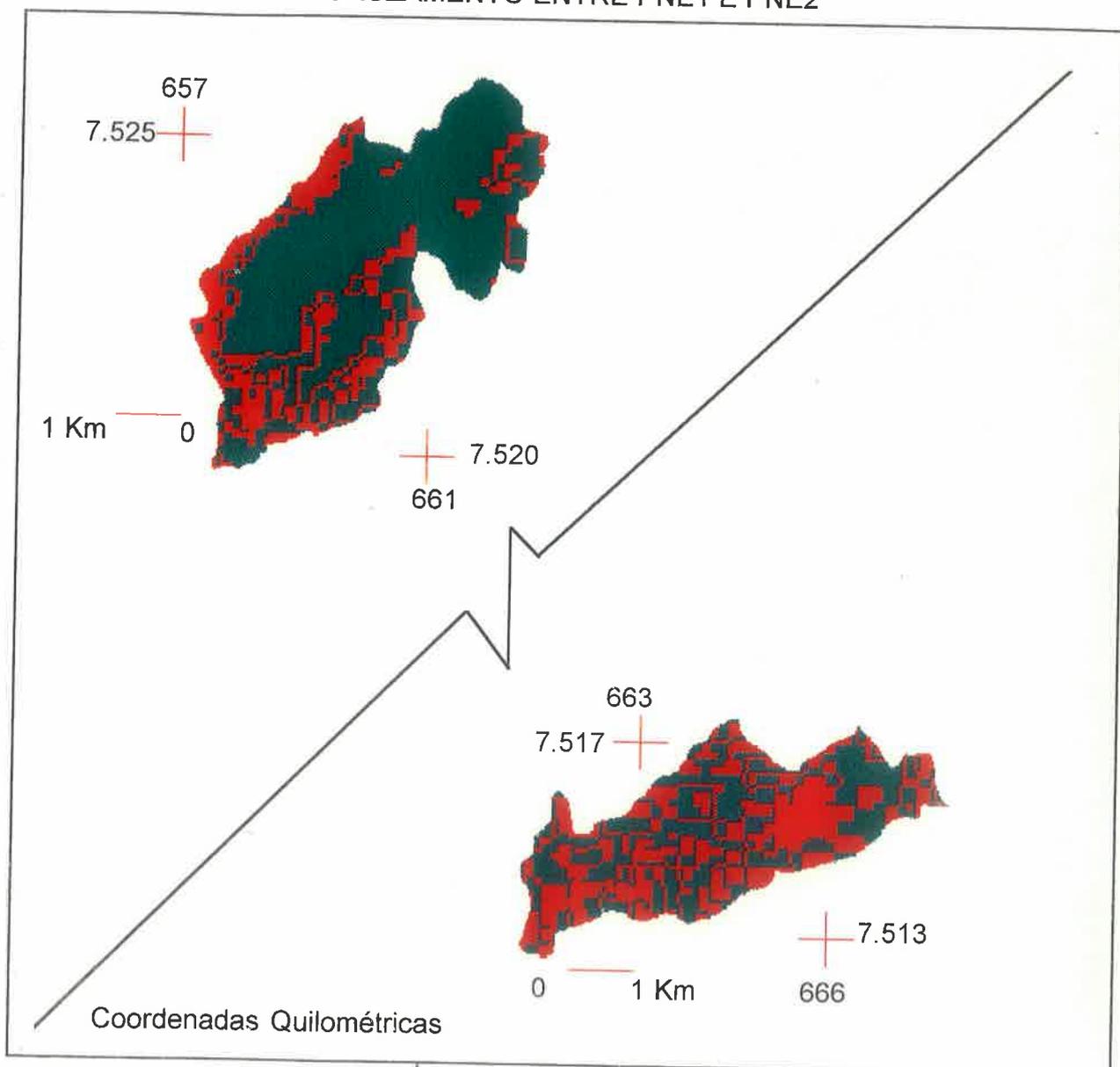
ANEXO 10
REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO PI
PNE2



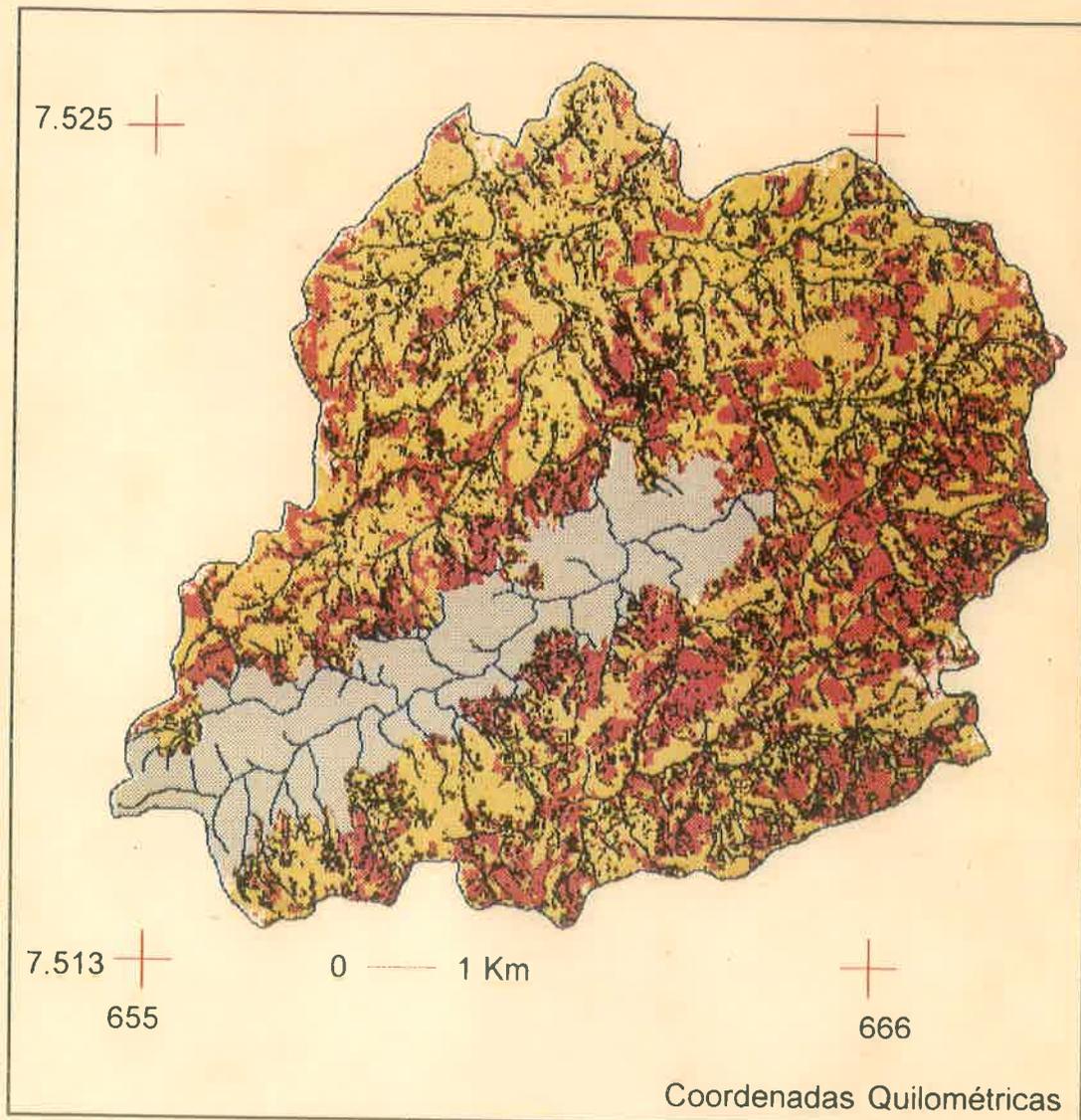
LEGENDA

- muito baixo
- baixo
- médio
- alto
- muito alto
- urbano

ANEXO 11 :
REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO PI RESULTADO DO
CRUZAMENTO ENTRE PNE1 E PNE2



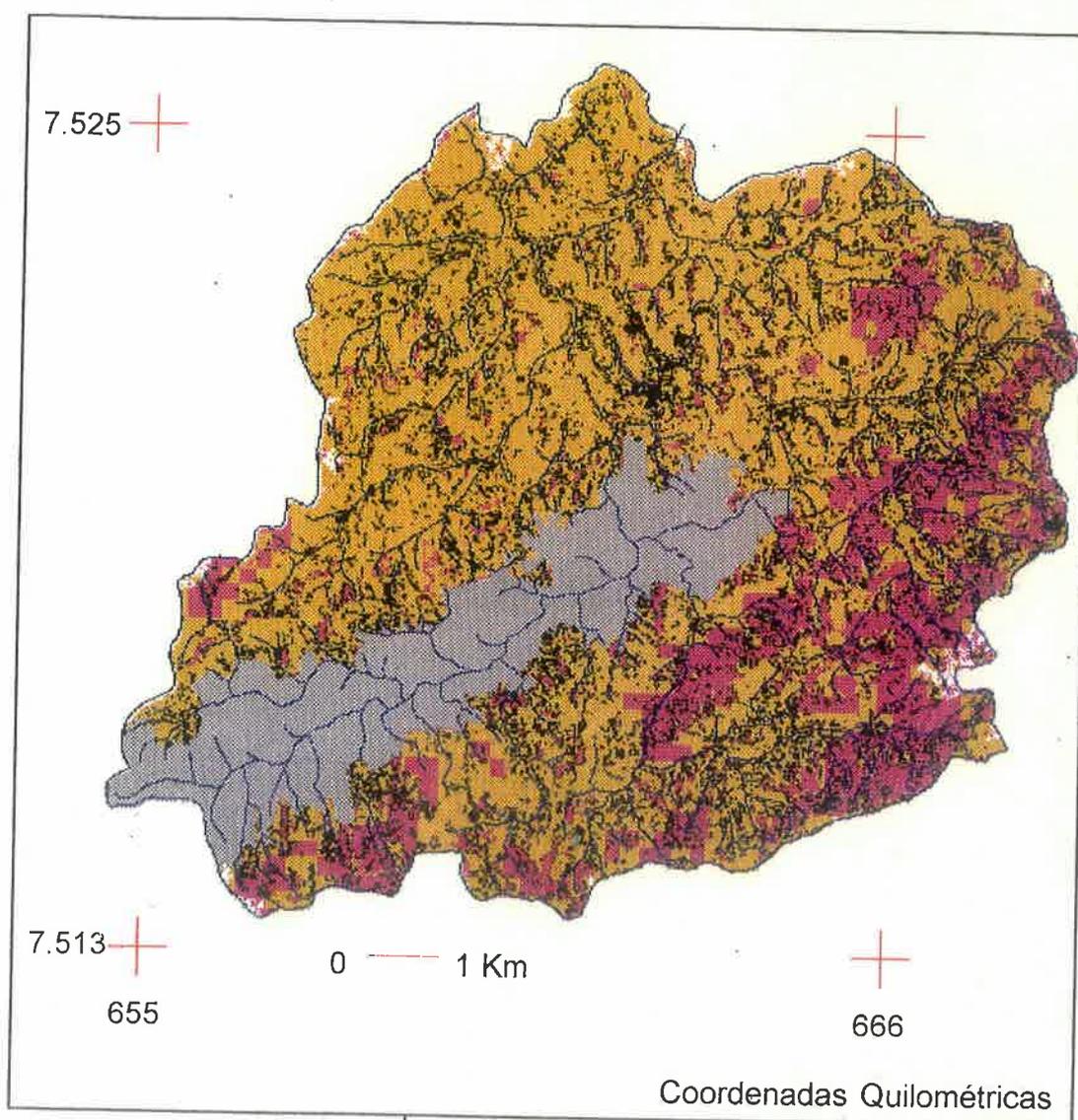
ANEXO 12
REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO PI
AVALIAÇÃO DO USO ATUAL COM A APTIDÃO AGRÍCOLA



LEGENDA

- Uso recomendado
- Uso não recomendado
- Urbano

ANEXO 13
REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO PI
AVALIAÇÃO DO USO ATUAL COM O MAPA DE PNE1



LEGENDA

- Uso recomendado
- Uso não recomendado
- Urbano