

**SENSORIAMENTO REMOTO E GEOPROCESSAMENTO
APLICADOS NA CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS E
DA COBERTURA VEGETAL NA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO CANDIRU-AÇU (PA)**

AMARINDO FAUSTO SOARES
Engenheiro Agrônomo

Orientador Dr. VALDEMAR ANTONIO DEMÉTRIO

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Agronomia, Área de Concentração: Solos e Nutrição de Plantas.

PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Novembro - 1994

S676s

Soares, Amarindo Fausto
Sensoriamento Remoto e
Geoprocessamento aplicados na
caracterização dos solos e da cobertura
vegetal na bacia hidrográfica do Rio
Candiru-Açu (PA). Piracicaba, 1995.
138p. il.

Diss. (Mestre) - ESALQ
Bibliografia.

1. Cobertura vegetal - Bacia
Hidrográfica do Rio Candiru-Açu (PA) 2.
Geoprocessamento 3. Sensoriamento
Remoto 4. Solo - Bacia hidrográfica do Rio-
Candiru-Açu (PA) I. Escola Superior de
Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

CDD 526.9823
526.0285

Dedico

A *Deus*, Grande Mestre e Arquiteto do Universo que privilegiou-me ter chegado a vida através de duas “entidades” da minha existência, *Miguel e Cristina*, meus pais, de onde fluíram até minha pessoa, honestidade, perseverança, respeito ao próximo e muitos outros valores morais preservados e transmitidos até hoje.

AGRADECIMENTOS

À Universidade de São Paulo-Campus de Piracicaba/Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” USP-ESALQ, juntamente com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-Centro Nacional de Pesquisa de Solos EMBRAPA-CNPS na pessoa de seus dirigentes, pela realização e aprimoramento profissional.

Ao Dr. Valdemar Antônio Demétrio, pelo apoio, compreensão, incentivo e valiosa orientação.

Ao Professor Geraldo Vitorino França pela ajuda e compreensão.

Ao Dr. Herman do Amaral Germeck e distinta família pela amizade, compreensão e apoio recebidos.

Aos Professores Alfredo Arcuri Eluf e Carlos Alberto Vettorazzi, ambos do Departamento de Engenharia Rural da ESALQ-USP, pela ajuda.

Ao Dr. Gilberto J. Garcia professor Titular do Departamento de Cartografia do Instituto de Geo-Ciências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista UNESP-Campus de Rio Claro-SP, pela valiosa ajuda no tratamento dos dados.

À Professora Assistente Diana S. Hamburguer do Departamento de Cartografia do Instituto de Geo-Ciências e

Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista UNESP/Campus de Rio Claro-SP, pela valiosa colaboração no tratamento dos dados.

À Superintendência de Desenvolvimento da Amazônia-Centro de Hidroclimatologia e Sensoriamento Remoto da Amazônia SUDAM-CHSRA, na pessoa de seus dirigentes e corpo técnico, permitindo a utilização do acervo de material e equipamentos na digitalização dos dados.

Ao colega e amigo Eduardo Jorge Maklouf Carvalho e distinta família pela amizade, compreensão, paciência, sugestões e grande apoio recebidos, tanto na parte pessoal como na profissional.

Aos colegas do CNPS Mário Luiz Áglio pela ajuda na confecção das figuras Waldir Carvalho Junior e Rogério Alvarenga, todos pela manipulação dos Planos de Informação no SPRING.

Ao dirigente e colegas do CNPTIA pelo apoio recebido na confecção dos Planos de Informação.

Enfim, todos aqueles que ajudaram tanto pessoal como profissionalmente.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS.....	x
RESUMO	xi
SUMMARY	xiii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	5
2.1. Generalidades.....	5
2.2. Bacias Hidrográficas.....	7
2.3. Sistemas Agroflorestais	11
2.4. Sensoriamento Remoto	14
2.4.1. Considerações Gerais	14
2.4.2. Técnicas de Sensoriamento Remoto.....	20
2.4.2.1. Generalidades	20
2.4.2.2. Componentes das Imagens.....	24
2.4.2.3. Histograma	32
2.4.3. Processamento Digital de Imagens.....	38
2.4.3.1. Generalidades	38
2.4.3.2. Realce de Imagens	41
2.4.3.3. Filtragem Digital.....	42
2.4.3.4. Cor.....	44
2.4.3.5. Operações.....	46
2.4.3.6. Classificação	47

2.4.3.7. Principais Componentes	53
2.4.3.8. Correção Geométrica e Registro	54
2.5. Geoprocessamento.....	57
2.5.1. Considerações Gerais.....	57
2.5.2. Conceitos Básicos.....	60
2.5.2.1. Entes ou Entidades.....	60
2.5.2.2. Sistemas.....	61
2.5.2.3. Dado Espacial.....	61
2.5.2.4. Informação Geográfica.....	61
2.5.3. Características de um Dado Espacial.....	63
2.5.3.1. Posição.	63
2.5.3.2. Atributos.....	63
2.5.3.3. Topologia	64
2.5.3.4. Tempo.....	64
2.5.4. Componentes Básicos dos SIGs... ..	65
2.5.4.1. Entrada	65
2.5.4.2. Armazenamento e Manipulação	73
2.5.4.3. Recuperação Análise e Saída.....	74
3. MATERIAL E MÉTODOS	75
3.1. Material.....	75
3.2. Descrição Geral da Área.....	76
3.3. Métodos.....	79
3.3.1. Sensoriamento Remoto.....	79
3.3.2. Sistema de Informação Geográfica.....	82
3.3.2.1. Definição	87

3.3.2.2. Entrada.....	88
3.3.2.3. Conversão.....	91
3.3.2.4. Manipulação.....	92
3.3.2.5. Saída.....	93
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	97
4.1. Sensoriamento Remoto.....	97
4.2. Sistema de Informação Geográfica.....	113
4.3. Comentários Finais e Sugestões.....	121
5. CONCLUSÕES.....	123
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	125
BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA.....	134
ANEXOS.....	139

LISTA DE FIGURAS

FIGURA

	Página
1. Divisor topográfico.e divisor freático.....	10
2 Histograma: a) unidimensional. b) bidimensional.....	35
3. Histograma unidimensional: a) bimodal b) unimodal	37
4. Histograma bidimensional mostrando um espaço de atributos, de uma imagem multiespectral, em duas bandas 1 e 2 de três tipos de materiais a, b e c: a) de uma imagem com duas bandas espectrais 1 e 2; b) considerando as intensidades máximas e mínimas de DN.....	50
5. Histograma bidimensional mostrando um espaço de atributos, de uma imagem multiespectral, em outro par de bandas 2 e 3 e os mesmos três tipos de materiais a, b, e c da figura 4, considerando agora uma terceira banda 3	52
6. Esquema de representação de mapa vetorial e imagem raster.....	66
7. Representação das unidades elementares.	68
8. Representação de pontos, linhas poligonais e polígonos.	69
9. Representação tesselar quadrada.	70
10. Exemplos de representação vetorial e tesselar.....	71
11 . Mapa de localização da área.	77

12. Fotografia mostrando a cena processada da banda 3.	98
13. Histograma fotografado e impresso referente a banda 3 sem processamento.	99
14. Histograma fotografado e impresso referente a banda 3 com processamento.	100
15. Fotografia mostrando: a) cena não processada; b) cena processada referente a banda 4.	101
16. Histograma fotografado e impresso referente a banda 4 sem processamento.	102
17. Histograma fotografado e impresso referente a banda 4 com processamento.	103
18. Fotografia mostrando: a) cena não processada; b) cena processada referente a banda 5.	104
19. Histograma fotografado e impresso referente a banda 5 sem processamento.	105
20. Histograma fotografado e impresso referente a banda 5 com processamento.	106
21. Composições coloridas das bandas 3,4e5 sem processamento e com processamento.	107
22. Distribuição espacial das classes resultantes do cruzamento dos planos de Informação Solo vs Uso/Vegetação.	119
23. Distribuição espacial das classes resultantes do cruzamento dos planos de informação Solo vs Uso/Vegetação.	120

LISTA DE TABELAS**TABELA**

	Página
1. Regiões do espectro eletromagnético e suas respectivas bandas espectrais.....	28
2. Bandas, faixas espectrais e aplicações do sensor TM/Landsat 5.....	30
3. Cálculos estatísticos dos Histogramas provenientes das imagens originais e processadas.....	108
4. Classes do Plano de Informação Solos, com suas respectivas áreas.....	116
5. Classes do Plano de Informação Vegetação/Uso Atual, com suas respectivas áreas.	117
6. Classes resultantes do cruzamento dos Planos de Informação Solo x Vegetação/Uso Atual, com suas respectivas áreas em km².individual por plano e por cruzamento	118

**SENSORIAMENTO REMOTO E GEOPROCESSAMENTO
APLICADOS NA CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS E
COBERTURA VEGETAL NA BACIA HIDROGRÁFICA
DO RIO CANDIRU-AÇU (PA)**

Autor: AMARINDO FAUSTO SOARES

Orientador: DR. VALDEMAR ANTONIO DEMÉTRIO

RESUMO

Utilizando recursos do Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento para caracterização dos solos e da cobertura vegetal da bacia hidrográfica do Rio Candiru-Açu no Estado do Pará, foi selecionada uma área de aproximadamente 1800 km² localizada ao longo da BR-010, Belém-Brasília, próximo ao município de Paragominas.

O presente trabalho objetivou testar o uso dos recursos do sensoriamento remoto e geoprocessamento na caracterização dos elementos de uma bacia hidrográfica, tentando desenvolver uma metodologia em que os elementos envolvidos estejam mais integrados, permitindo o desenvolvimento de pesquisas ambientais melhor dirigidas.

A área já foi objeto de estudo de zoneamento agro-edafo-climático com indicação de culturas climaticamente adaptadas a região, onde constavam dois mapas: um contendo os Solos e outro a

Vegetação com o Uso Atual, confeccionados pelos métodos convencionais, através de análise visual, fotointerpretação e prospecção de campo.

Inicialmente, tomou-se a cena 223/62 do sensor TM/Landsat - 5 com as bandas 3, 4, e 5, que abrange a área de estudo, para que fossem aplicadas, com o auxílio do SITIM 150, as técnicas de processamento digital.

Feito isso, passou-se à etapa de informatização dos mapas existentes, o de solos e o de vegetação com uso atual, com a digitalização dos mesmos formando inicialmente dois planos de informação, Solo com oito classes e Vegetação+Uso Atual com cinco classes que, posteriormente, foram sobrepostos e cruzados formando um terceiro plano resultante denominado Usolo, com o cálculo das áreas digitalizadas, utilizando o SITIM-SIG e o SPRING(Sistema de Processamento de Informações Geo-referenciadas) acoplado a estação de trabalho Silicon Graphics (Workstation).

Através da conexão do computador com um traçador gráfico "Plotter", como produto final de saída, é confeccionada uma carta(mapa) para cada plano digitalizado e cruzado.

Em vista disso conclui-se que, a utilização de tecnologias mais avançadas, como sensoriamento remoto e geoprocessamento na caracterização ambiental, nos permite reunir uma boa quantidade de variáveis (clima, relevo, aptidão agrícola, parâmetros edáficos, exigências de culturas, etc.), possibilitando a interação e o cruzamento dessas informações de modo a simular todas as possibilidades existentes na natureza.

**REMOTE SENSING AND GEOPROCESSING
APPLIED TO THE SOILS AND COVER
CHARACTERIZATION OF THE CANDIRU-AÇU (PA)
HYDROGRAPHIC BASIN**

Author: AMARINDO FAUSTO SOARES

Adviser: DR. VALDEMAR ANTONIO DEMÉTRIO

SUMMARY

Using the resources of remote sensing and geoprocessing for soils and cover characterization of the Candiru-açu hydrographic basin in the State of Pará an area of approximately 1800 km² situated along the BR-010 Belém-Brasília was selected close to district of Paragominas.

The aim of this work was to test the use of remote sensing resources and geoprocessing in the characterization of the elements of a hydrographic basin as an effort to develop a methodology with the involved elements more closely integrated and allowing the development of better directed environmental researches

The area has already been object for agro-edapho-climatic zoning studies with indication of cultures climatically adapted to the region where two maps were developed: one containing the soils and other the vegetation with present use made by conventional methods

through visual analysis, photointerpretation and prospection of the field

Initially scene Landsat 5 TM(Tematic Mapper) 223/62 appeared with stripes 3, 4, e 5, which reaches the area of study so that the techniques of digital processing could be applied with the help of SITIM-150, first with the employed of picture display by the modification of the original histograms of the stripes individually subsequently the superposition of the already displayed stripes was executed which formed a colored composition.

After that the information storage of the existent maps was analyzed, one with the soils and other with vegetation with present use, with the digitalization of these elements which formed initially two information plans, soil with eight classes and vegetation and present use with five classes which subsequently were superposed and crossed and formed a third plan resulting denominated of USol. At this phase GIS (Geographic Information System) adapted to the SITIM 150 and SPRING (Geo-referred Information Processing System) adapted to the Silicon Graphics Workstation.

GIS supplied the calculation of all the areas of the digitalized classes to the three plans of information permitted a very good interpretation evaluation and interaction of the information plans which were involved in the process.

Through the connection of the computer with the graphic designer "Plotter" with the final product of the output a map for each digitalized and crossed plan is made.

Thus, one concludes that the use of more advanced technologies such as remote sensing and geoprocessing in the

1. INTRODUÇÃO

Com o avanço da ciência ambiental e da tecnologia orbital, estão sendo descobertas mais relações entre as diversas variáveis, componentes ambiente, conhecidas como variáveis ambientais.

Estudos desenvolvidos na área de preservação ambiental, tem detectado grandes desequilíbrios no ambiente, manifestados através de profundas e extremas mudanças climáticas caracterizadas por extensos períodos de estiagem, fortes precipitações pluviométricas com enchentes catastróficas, extremos de temperatura e transições bruscas desses eventos.

Tal fato se deve a desordenada maneira com que o homem vem interferindo no ambiente através da má utilização dos recursos naturais. Por um lado, cada vez mais produz-se alimentos para a população, por outro, devasta-se e degrada-se extensas áreas que poderiam continuar produtivas.

Através da conscientização da população, com a criação de uma política preservacionista, poderiam ser criados e implantados sistemas de recuperação e uso da terra, com práticas de manejo, resgatando áreas já degradadas, evitando a falência de grandes extensões de solos produtivos, como também preservando os mananciais que auxiliam tanto na irrigação como no abastecimento urbano.

A tecnologia orbital, com o grande avanço e importância que tem apresentado ultimamente, é responsável pela coleta de uma infinidade de dados e informações da superfície terrestre, imageada periodicamente pelos diversos sensores a bordo dos vários satélites em órbita da Terra, entre eles o LANDSAT 5, adaptado com o imageador TM (Thematic Mapper).

Esse constante fornecimento de dados e informações, periodicamente coletados e armazenados pelos sistemas sensores, surge a necessidade de tratamento e encadeamento dos mesmos para que se possa monitorar as diversas variáveis ambientais e, dessa maneira, acompanhar as mudanças espaço-temporais, gerando assim dados multivariados, prontos para serem analisados e armazenados. Pela maneira como estava sendo feito, crescia cada vez mais a

probabilidade desses dados e informações serem perdidos sem serem utilizados, ocasionando uma série de limitações em projetos futuros, com a criação de novas e onerosas missões de coleta de dados.

O grande avanço tecnológico, ocorrido no campo da computação nas últimas décadas, bem como a necessidade de processar grandes quantidades de informações promoveu o desenvolvimento de tecnologias traduzidas na forma sistemas ou softwares que, de acordo com a funcionalidade, recebem denominações específicas.

Dessa maneira, pode-se diagnosticar, dentro de bacias hidrográficas, áreas que estão sendo usadas desordenadamente, sugerindo o emprego do sensoriamento remoto e geoprocessamento para melhor caracterizá-las e, assim, promover o desenvolvimento e implantação de sistemas de recuperação manejo dos recursos naturais.

A caracterização de bacias hidrográficas com a utilização de recursos do sensoriamento remoto e geoprocessamento, dotam o pesquisador de instrumentais capazes de auxiliá-lo desde o tratamento de imagens de satélite, com o emprego de técnicas de processamento digital de imagens até o uso de tecnologias SIG - Sistema de

Informações Geográficas, acoplado a gerenciadores de banco de dados destinados à aquisição, armazenamento, análise e modelagem de dados referenciados espacialmente.

Dessa forma, objetiva-se no presente trabalho, avaliar a utilização de técnicas e tecnologias perfeitamente integradas visando a caracterização dos solos e da cobertura vegetal na bacia hidrográfica do Rio Candiru-Açu, no Estado do Pará.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Generalidades

A grande dinâmica espaço-temporal da agricultura brasileira, fruto de sua expansão e modernização, tem gerado problemas ambientais de natureza e magnitude inéditos, como relata MIRANDA(1990). Segundo ALVES(1993), o uso adequado da terra vem a ser o passo decisivo para uma agricultura racional.

De acordo com ASSAD et al.(1993), está havendo uma constante e crescente contaminação das águas, fruto da má utilização e preservação inadequada dos recursos naturais, o que tem provocado a poluição das mesmas, outrora límpidas, podendo inclusive já ter atingido o lençol freático, inviabilizando a sua utilização tanto para a irrigação na agricultura como para o abastecimento urbano. Essas águas, prosseguem os autores, podem transportar solos carregados pelas chuvas, que já foram adubados e corrigidos a custos altíssimos, no limite da capacidade financeira dos agricultores.

Por outro lado, um estudo especial da UNESCO acaba de divulgar, através da Folha do Meio Ambiente (1993) que, os atuais 800 metros cúbicos anuais per capita, representam um crescimento de cerca de 50% de consumo em relação aos níveis apurados em 1950. Esse estudo revela ainda que, a demanda mundial de água potável está crescendo mais que a população e a situação pode se agravar muito mais e até gerar conflitos em regiões altamente carentes de água, como no Oriente Médio. Segundo a UNESCO, há sinais visíveis de diminuição dos níveis dos rios e lagos, além do desaparecimento de áreas úmidas. Um relatório do “World Watch Institute~WWI”, informa que as reservas de água diminuem com o crescimento da população e atualmente é três vezes menor do que há 25 anos atrás. Apesar de três quartos da superfície do planeta serem cobertos por água, apenas uma pequena parcela se compõe de água potável localizando-se, essas reservas, em regiões geladas e de difícil acesso.

Segundo ALVES(1993), o uso racional dos recursos naturais só pode ser atingido mediante cuidadoso planejamento levando em consideração os aspectos físicos, econômicos e sociais.

Muitos autores são unânimes ao comentar e enfatizar a importância do tipo de cobertura vegetal na conservação do solo e da água.

ASSAD et al.(1993) acrescentam que o cenário de degradação e poluição dos recursos pode ser modificado, sendo necessário para isso a implantação de um programa racional de utilização e manejo desses recursos, principalmente solo, água e cobertura vegetal, com participação direta das comunidades rurais. Os autores ainda comentam que, o incremento da produção e da produtividade agrossilvopastoril, diminuição dos riscos de seca e da inundação, redução dos processos de erosão do solo, preservação e/ou recuperação de reservas florestais de áreas nativas, principalmente das matas ciliares, são metas a serem alcançadas em programas dessa natureza.

2.2. Bacias Hidrográficas

De acordo com o Programa Nacional de Microbacias Hidrográficas(1987)¹, citado por ASSAD et al.(1993), os trabalhos de manejo de solo e água praticados até agora no país, restringem-se a

¹BRASIL. Ministério da Agricultura. **Programa Nacional de Microbacias Hidrográficas: manual operativo**, 1987. 60p.

algumas ações isoladas feitas a nível de propriedade agrícola, não levando em consideração o conjunto, ou seja, o aproveitamento integrado dos recursos naturais. Conforme esse Programa, a microbacia hidrográfica é a unidade geográfica ideal para esse planejamento integrado do manejo dos recursos naturais no ecossistema por ele envolvido. Ela pode ser definida como sendo a área fisiográfica drenada por um curso d'água ou sistema de cursos d'água conectados e que convergem direta ou indiretamente para um leito ou espelho d'água.

VILLELA & MATTOS(1975) conceituam bacia hidrográfica, bacia contribuinte ou ainda bacia de drenagem de uma seção transversal de um curso de água, como sendo a área coletora de águas pluviais que, escoando pela superfície do solo, atinge a seção considerada. Esta recebe um volume determinado de água, proveniente das chuvas, que atingem o leito após ter sido escoada de maneira superficial, subsuperficial e subterrânea. Os limites de uma bacia, segundo esses autores, são definidos por dois tipos de divisores de água ou espigões que a separam das bacias vizinhas, um divisor topográfico ou de superfície e um divisor freático ou subterrâneo. As áreas demarcadas por esses divisores dificilmente coincidem

exatamente. Como o divisor freático é oscilante, mudando de posição com as flutuações do lençol freático, considera-se a área de uma bacia aquela delimitada pelo divisor topográfico (Fig. 1).

Rocha 1991², citado por ASSAD et al.(1993), conceitua microbacia como áreas drenadas pelas águas das chuvas, as quais, por ravinas, canais e tributários dirigem-se para um curso principal. A única diferença, segundo o autor, é sua dimensão que não pode ser maior que 10.000 hectares. VILLELA & MATTOS(1975) afirma que estudos hidrológicos mostram haver uma diferença marcante entre a pequena e grande bacia, que não depende exclusivamente do seu tamanho. Ele afirma também que, para uma pequena bacia, os caudais são principalmente influenciados pelas condições climáticas da localidade, condições físicas do solo e da cobertura vegetal sobre a qual o homem tem algum controle; já para uma grande bacia o efeito do armazenamento no leito do curso d'água torna-se muito pronunciado, de tal modo que nela predomina o estudo hidrológico do curso d'água, efetuando-se medidas diretas dos canais em pontos predeterminados e estudos estatísticos das vazões, os quais são muitas vezes estendidos e extrapolados. VILLELA & MATTOS(1975) concluem

²ROCHA, J. S. M. **Manual de manejo integrado de bacias hidrográficas**. Santa Maria. Universidade de Santa Maria, 1991.

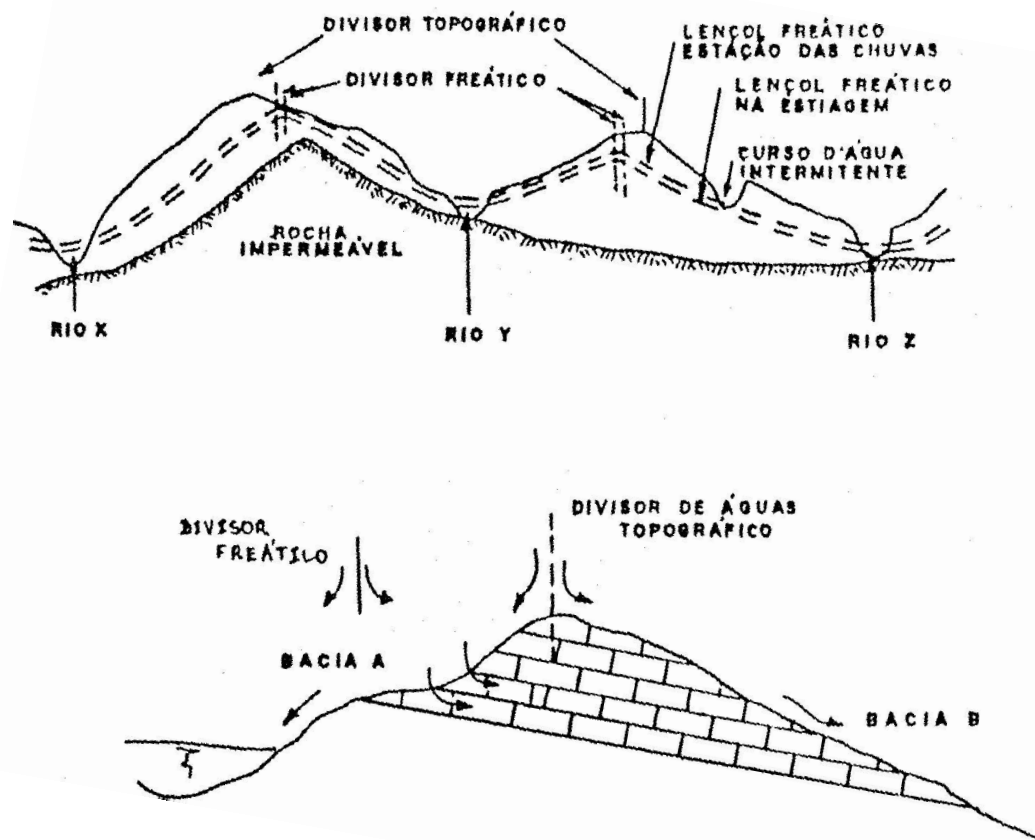


Figura 1. Divisor topográfico e divisor freático

também que uma característica distinta de uma pequena bacia é o fato de que o efeito do escoamento superficial na bacia não afeta muito mais o valor caudal máximo do que o efeito do armazenamento do curso d'água. Tal efeito é muito pronunciado nas grandes bacias. Os estudos desenvolvidos por VILLELA & MATTOS(1975) esclarecem que, tanto o escoamento superficial como o subterrâneo, caminham para o talvegue, linha que une os pontos de cota mínima. Alguns autores consideram bacia hidrográfica a contribuição do escoamento superficial e bacia hidrogeológica as contribuições dos escoamentos superficial e subterrâneo.

2.3. Sistemas Agroflorestais

ALVES(1993) discorre sobre sistemas de uso da terra que podem contribuir extraordinariamente para a conservação do solo e/ou da água, conhecidos como sistemas agroflorestais, os quais podem ser perfeitamente implantados em bacias hidrográficas.

Por serem bastante abrangentes fica difícil conceituá-los em todos seus pontos fortes. Alguns autores como Couto & Passos 1990³; Couto 1990⁴ e MacDicken & Vergara 1990⁵ citados por

³ COUTO, L. & PASSOS, C. A. M. Sistemas agroflorestais: conceitos propriedades e aplicações. Linhares, UFV/SIF, 1980. 34p. (Curso de Introdução ao Planejamento Ambiental e Econômico em Propriedades Rurais

ALVES(1993), definem como sistemas de uso da terra que procuram maximizar a produtividade, sustentabilidade e seu grau de adotabilidade por um determinado público. A adoção desses sistemas são altamente importantes em bacias hidrográficas cujo objetivo principal é a conservação do solo e água.

ALVES(1993) destaca a importância dos sistemas agroflorestais avaliada pelo seu grau de adotabilidade e benefícios por eles proporcionados. São adotados em programas de colonização, projetos de manejo integrado de bacias hidrográficas, em recuperação de áreas degradadas e muitos outros.

RAINTREE(1982) explica como os sistemas agroflorestais multiestratificados podem se transformar numa forma apropriada de uso do solo. BUDOWSKI(1984) descreve os efeitos positivos de culturas anuais sobre as condições do solo. Esses sistemas são bastante viáveis em regiões de solos pobres onde não existem outros sistemas de produção. Podem conservar e até melhorar a fertilidade do solo, de acordo com ALVES(1993).

O uso indiscriminado e desordenado dos recursos naturais tem provocado a falência do ambiente. Tem comprometido a

⁴ COUTO, L. O estado da arte de sistemas agroflorestais no Brasil. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6. Campos do Jordão, 1990. Anais ...Campos do Jordão, SBS, 1990. v.1, p.94 - 8

⁵ MacDICKEN, K. G. & VERGARA, N. T. Agroforestry: classification and management. New York, John Wiley & Sons, 1990. 382p.

capacidade produtiva dos solos provocando o aparecimento de extensas áreas degradadas principalmente na Amazônia, frágil ecossistema que vive submetido a um intenso regime climático, com solos de origem sedimentar referentes aos períodos geológicos do Terciário e Quaternário, em sua maioria de baixa fertilidade de acordo com BRASIL(1973).

A implantação desses sistemas agroflorestais constitui tarefa muito complexa por tratar-se de assunto bastante abrangente, devendo-se analisar cuidadosamente aspectos ecológicos, sociais, econômicos e políticos. Sendo assim, abrangem vários tipos de sistemas de acordo com a estrutura, função, aspectos sócioeconômicos e/ou ecológicos, como Combe & Budowski 1979⁶ King 1979⁷; citados por ALVES(1993), que classifica esses sistemas procurando grupá-los em sistemas silviagrícolas, silvipastoris, agrossilvipastoris e sistemas de produção de árvores de múltiplos usos.

A recuperação do ambiente degradado mediante a implantação de sistemas agroflorestais, tomando-se uma bacia hidrográfica como área-piloto, pode ser a solução técnica viável. Vai

⁶ COMBE, J. & BUDOWSKI, G. Clasificación de las técnicas agroforestales: una revisión de literatura. TALLER DE SISTEMAS AGROFORESTALES EN AMERICA LATINA, 1979. Taller.... Turrialba, Costa Rica, Gonzalo de Las Salas, 1979. p.17-47.

⁷ KING, K. F. S. Concepts of Agroforestry. In: CONFERENCE ON INTERNATIONAL COOPERATION IN AGROFORESTRY. Nairobi, 1979. Proceedings ... Nairobi, s. ed., 1979. p.1-13.

contribuir para recuperação dos solos e preservação dos mananciais, que passam a produzir mais e com o mínimo de agressão ao meio ambiente.

BOUERI(1990) afirma que, para a eficiência de uma pesquisa, é necessário que se tenha conhecimento sólido e profundo sobre o meio a ser estudado, além do uso de técnicas e instrumentais adequados para esse fim. Como foi visto anteriormente, para uma caracterização de uma determinada região visando a implantação de sistemas agroflorestais, o conhecimento e interação das diversas variáveis ambientais é de suma importância ao mesmo tempo que possibilita o monitoramento ambiental.

2.4. Sensoriamento Remoto

2.4.1. Considerações Gerais

Hoje em dia, com o grande desenvolvimento do Sensoriamento Remoto, uma poderosa ferramenta de coleta e tratamento de dados e informações se apresenta como solução estratégica, tanto na caracterização ambiental como no monitoramento de grandes e pequenas áreas.

Segundo GARCIA(1982), o sistema LANDSAT, originalmente denominado ERTS(Earth Resources Technology Satellite) foi desenvolvido com o objetivo de se obter uma ferramenta prática no inventário e manejo dos recursos naturais.

Segundo NOVO(1989), planejou-se uma série de seis satélites, apresentando os dois primeiros, um sistema do tipo RBV(Return Beam Vidicon), semelhante a uma câmera de televisão com registro instantâneo de uma certa área da superfície terrestre(cena) e outro MSS(Multispectral Scanner Subsystem) com imageamento através de varredura em linhas. O baixo desempenho, prossegue a autora, fez com que o 3^o satélite melhorasse o sistema RBV na resolução espacial em uma única faixa do espectro e o MSS fosse acrescido uma faixa espectral operando no infravermelho.

Segundo GARCIA(1982), o imageador termal alimentava grandes expectativas, o que frustrou os pesquisadores devido a condensação de umidade nas lentes de proteção, não produzindo imagens aceitáveis.

NOVO(1989) explica que o atual sistema de imageamento do satélite LANDSAT 5, está em órbita da Terra a uma altura de 705 km em relação à superfície terrestre no Equador, suficiente para

determinar uma resolução de 30 metros no terreno. Os sensores a bordo, continua a autora, permitem o rastreamento do terreno numa faixa de 185km a cada linha de varredura do espelho imageador, permitindo um recobrimento da superfície total da Terra a cada 16 dias. Dessa forma, pode-se concluir que, quinzenalmente o sistema de imageamento terrestre por satélite, coleta milhões de informações que, devido ao alto custo operacional das missões de coleta e importância das informações coletadas, necessitam ser armazenadas, tratadas e analisadas, visando buscar novas relações entre as variáveis do meio ambiente.

KOFFLER(1992) relata que, esse periódico imageamento do satélite Landsat 5, permite que a cada 16 dias (resolução temporal) se tenha uma cena da superfície de uma determinada região da Terra, cena essa composta de pequenas células chamadas Pixel, originada da junção do termo inglês "Picture Element", ou elemento de informação que equivale no terreno a uma área de 30m x 30m (resolução espacial ou geométrica), sendo essa região detectada em seis bandas espectrais(resolução espectral), correspondendo a seis estreitos intervalos do comprimento de onda do espectro

eletromagnético, assunto que será abordado com maiores detalhes mais adiante.

CRÓSTA(1992) explica que, atualmente uma cena desse satélite imageando uma área de aproximadamente 185km x 185km com resolução espacial de 30m x 30m é capaz de coletar aproximadamente 42 milhões de informações em apenas uma banda espectral. O próximo satélite da série Landsat, a ser lançado muito em breve, quadruplicará o número de informações para aproximadamente 140 milhões de informações por banda espectral, visto que terá uma resolução espacial de 15m x 15m.

Essa área do conhecimento utiliza muito os termos *Dado e Informação*, para os quais alguns autores fazem distinção. O dado diz respeito a valores registrados em um banco de dados, oriundos de qualquer aquisição. A informação é caracterizada pela composição dos dados segundo um significado adequado às aplicações, como explica DATE(1986).

TEIXEIRA et al.(1992) definem dado como sendo um conjunto de valores, numéricos ou não, sem significado próprio e informação como sendo um conjunto de dados que possuem significado para determinado uso ou aplicação.

Segundo MARTINI(1990), o sofisticado sistema terrestre de recepção e processamento de dados captados por satélite fornece entre outros produtos, cenas gravadas em fita magnética compatível com computador CCT (Computer Compatible Tape) de 2.400 pés, bem como fita cartucho (Streamer) 60 Mb e 600 pés no formato de bandas intercaladas em linhas (BIL) ou em bandas sequenciais (BSQ), Esses produtos, permitem ao usuário, manipular as cenas em escala de até 1:30.000 aproximadamente, que vem a ser o tamanho do pixel ou resolução espacial, dependendo do estudo a ser desenvolvido. Essas fitas magnéticas permitem processamentos digitais das cenas nelas gravadas utilizando técnicas contidas em softwares de tratamento de imagens, visando melhorá-las e adaptá-las às condições do estudo a ser desenvolvido.

Segundo SOUZA(1990), a partir de 1985, foi aperfeiçoado no Brasil, pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais- INPE o Sistema de Tratamento de Imagens-SITIM 150 idealizado para trabalhar, em ambiente MS-DOS, de forma integrada com o Sistema de Informação Geográfica(SIG).

De acordo com FELGUEIRAS & CÂMARA(1993), o SITIM/SIG trabalhando integradamente, permite manipular imagens

tanto de sensores remotos (Landsat, SPOT, GOES) como imagens temáticas provenientes de imagens já tratadas e classificadas e de imagens geradas pelo SIG, provenientes de dados poligonais no formato vetorial que sofreram processo de rasterização.

Esse sistema permite também realizar operações de leitura e gravação de dados, realces mono e multiespectrais, classificação, correção geométrica e registro de imagens em outras bases cartográficas e em outras imagens. As imagens manipuladas no SITIM podem ser imediatamente transferidas para o SIG, que podem ser sobrepostas a outros dados, podendo gerar outros mapas temáticos partindo de imagens de satélite já classificadas.

Atualmente, segundo CÂMARA et al.(1993), o INPE e EMBRAPA desenvolvem, em parceria, o SPRING um Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas que vem a ser um sistema de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento concebido para operar em Workstations ou Estações de Trabalho em ambiente UNIX, construído com técnicas no estado-da-arte da informática com programação orientada-a-objetos, banco de dados relacional e sistema de interface “X-Windows”.

Como já foi visto, dispõe-se de um sofisticado e sofisticável sistema de coleta de dados da superfície do planeta que, a bordo de satélites, envia periodicamente às estações receptoras terrestre informações úteis à pesquisa e monitoramento ambiental. Para que isso seja possível serão necessários o armazenamento e tratamento dessas informações que, por sua vez, irão gerar uma série de dados multivariados, sem o risco de serem perdidos.

BOUERI(1990) explica ser visível o fato de que a quantidade de dados a serem manipulados não é modesta, nem é facilitada quando se faz necessário interrelacionar dados tão complexos, distintos e muitas vezes mutáveis.

Para que se possa entender a verdadeira dinâmica da manipulação dessa infinidade de dados, é necessário que se faça uma abordagem em separado dos assuntos tratados neste trabalho. Para isso, serão tratados inicialmente as técnicas de sensoriamento remoto e, posteriormente, do geoprocessamento, abrangendo o uso do SIG.

2.4.2. Técnicas de Sensoriamento Remoto

2.4.2.1. Generalidades

Segundo TEIXEIRA et al.(1990), o grande avanço tecnológico ocorrido na área da informática ultimamente, tem

provocado a disseminação do uso de computadores em todas as áreas do conhecimento, inclusive disseminando a utilização de técnicas e tecnologias para os mais diversos fins.

Como já foi visto em parágrafos anteriores, o sensoriamento remoto vem se destacando como uma das mais poderosas ferramentas para o estudo e avaliação das mudanças espaço-temporais do meio físico, através da medida das trocas energéticas entre objetos e o ambiente, manifestando-se predominantemente por emissão ou modificação na radiação eletromagnética ou perturbação nos campos naturais, conforme explica AMARAL(1992).

Paralelamente ao avanço da tecnologia orbital, foram desenvolvidas técnicas, através de computadores, visando a manipulação e análise das imagens de satélite produzidas periodicamente, técnicas essas conhecidas como Processamento Digital de Imagens. Essa terminologia é proveniente do Processamento Digital de Sinais e o seu estudo hoje está intimamente ligado à área de Reconhecimento de Padrões (Estatísticos ou não) e Inteligência Artificial.

As técnicas de Processamento Digital de Imagens datam dos anos 20, quando figuras digitalizadas foram inicialmente transmitidas via cabo submarino, entre Nova Iorque e Londres.

Entretanto, as aplicações e documentos de Processamento Digital de Imagens só tiveram maior desenvolvimento depois da metade dos anos 60, com o aparecimento da terceira geração de computadores digitais, os quais colocaram à disposição dos usuários, velocidade e capacidade de armazenamento compatíveis com aquelas necessárias à implementação de algoritmos de processamento de imagens, conforme relata QUINTANILHA(1990).

Numa visão técnico-científica, imagens de sensoriamento remoto são fontes de dados para estudos e levantamentos de recursos naturais, cartográficos e de uma infinidade de áreas do conhecimento e atividade humana.

CRÖSTA(1992) afirma que o sensoriamento remoto representam uma das únicas formas viáveis de monitoramento ambiental em escalas locais e globais dada sua eficiência, rapidez, periodicidade e visão sinóptica que as caracterizam, constituindo-se como uma ferramenta estratégica para o futuro, dada a necessidade

de monitorar as mudanças globais que vêm ocorrendo na superfície do planeta.

O autor relata também no progressivo desenvolvimento de sistemas sensores aerotransportados, visando atender às demandas mais sofisticadas, com o aumento da resolução dos dados gerados, provocando como consequência um aumento brutal da produção de dados continuamente gerados na forma de imagens de sensoriamento remoto.

Em contrapartida, prossegue o autor, foram simultaneamente desenvolvidas técnicas de processamento das informações contidas nessas imagens.

Por outro lado, a necessidade de processamento advém do fato da imagem conter uma quantidade muito maior de informações do que o olho humano conseguiria perceber. Há necessidade de torná-la mais visível ou representá-la de uma forma pela qual possa ser percebida.

É nesse ponto que reside o fundamental papel do processamento digital de imagens, traduzindo essas informações para o intérprete, extraindo delas apenas a parte essencial aos fins determinados, conforme explica CRÓSTA(1992).

2.4.2.2. Componentes das Imagens

A função primordial do processamento digital, segundo CRÓSTA(1992), é a de fornecer ferramentas necessárias para facilitar a identificação e a extração das informações contidas nas imagens, para posterior interpretação. O autor esclarece que imagens de sensores remotos são elementos de entrada de dados para processamento digital, as quais possuem componentes essenciais para o melhor entendimento do processo. Esses componentes são:

a) Estrutura

b) Resolução

a) Estrutura: diz respeito à constituição de uma imagem digital que, por analogia, pode ser comparada a um quebra-cabeça em que cada uma de suas peças constitui um pixel ou célula, arranjados em uma malha ou grid, com localização definida em um sistema de coordenadas linha e coluna representados por x e y.

Cada uma dessas células ou pixels possui também um atributo z, indicando o nível de cinza, que varia do preto ao branco, conhecido em inglês como DN -"Digital Number", representando a intensidade de energia (refletida ou emitida) captada pelo sensor.

Em outras palavras, CRÓSTA(1992) explica que, a imagem digital vem a ser o elemento principal de entrada de dados em

processamento, representada por uma matriz x e y com um atributo z a cada célula, representando o nível de cinza, sendo que em imagens de satélite essa matriz possui algumas milhares de linhas e colunas produzindo uma quantidade muito grande de informações, da ordem de milhões de pixels.

b) Resolução: é outro componente fundamental das imagens de sensoriamento, pormenorizada em três tipos:

Resolução Espacial
Resolução Espectral
Resolução Radiométrica

A ***Resolução Espacial*** vem a ser a capacidade do sistema sensor em captar os objetos na superfície terrestre; é determinada pelas propriedades geométricas do sistema sensor, que vai definir o seu campo de visão instantâneo ou IFOV-”Instant Field of View” em inglês, que significa ser a menor área vista ou captada pelo sensor, de uma determinada altura a um dado momento, vindo a representar o tamanho do pixel.

A correlação resolução espacial e IFOV é puramente teórica, visto que existem variações na altitude da órbita do satélite e, conseqüentemente, variações no IFOV sem alterar o tamanho do pixel

que é fixo e determinado pelo intervalo de amostragens do sinal recebido pelo sensor. Quanto menor o objeto captado, maior a resolução espacial.

A *Resolução Espectral* baseia-se numa forma particular de transferência de energia por meio de radiação que é feita através de ondas eletromagnéticas.

As ondas eletromagnéticas são caracterizadas fisicamente por intensidade, frequência, polarização e comprimento de onda.

A transferência de energia por radiação independe da existência de um meio de propagação. Dessa maneira as partículas materiais do universo podem estar carregadas, eletricamente ou não. Caso estejam carregadas, estas podem estar positivamente ou negativamente.

Quando uma dessas partículas adquire movimento acelerado, passa a emitir radiação eletromagnética, por meio de ondas e, conseqüentemente, emitir energia eletromagnética.

De uma maneira geral as ondas eletromagnéticas são idênticas e, por razões tecnológicas, elas se espalham ao longo de uma faixa, subdividida em diversas regiões, conhecida como Espectro

Eletromagnético, não existindo limite rígido entre essas regiões segundo AMARAL(1992).

As formas de interação entre radiação e os componentes da superfície, variam ao longo do espectro de tal forma que, em regiões dos raios Cósmticos, Gama e X, por exemplo, são radiações que reagem violentamente com os componentes da superfície, determinando modificações na estrutura interna da matéria, chegando a modificar a configuração dos elétrons nos átomos; já nas outras regiões, como do visível e do infravermelho, os processos de interação são vibracionais e rotacionais, conforme explica NOVO(1989).

Dessa maneira, segundo AMARAL(1992), dependendo da região do espectro trabalha-se com Energia, Comprimento de Onda e Frequência como unidade de referência para medir essas interações. Por outro lado, ao se trabalhar com sensores passivos, que utilizam a luz do solar, principal fonte de Radiação EletroMagnética - REM, a região do espectro pode ser subdividas em outras, como acontece com a região do visível que pode ser subdivida em regiões menores, correspondendo as cores que são percebidas pelo homem (Tabela 1).

Dessa forma, a resolução espectral fundamenta-se na capacidade do sistema sensor em imagear a superfície terrestre em

Tabela 1. Regiões do espectro eletromagnético, e suas respectivas bandas espectrais

Banda espectral	Região espectral	Unidade
Radiação Gama	0,40 - 2,82 MeV ¹	Energia
Ultra-violeta		
- médio	0,28 - 0,32 μm ²	Comprimento de onda
- próximo	0,32 - 0,38 μm	Comprimento de onda
Visível		
- Violeta	0,38 - 0,45 μm	Comprimento de onda
- Azul	0,45 - 0,50 μm	Comprimento de onda
- Verde	0,50 - 0,57 μm	Comprimento de onda
- Amarelo	0,57 - 0,59 μm	Comprimento de onda
- Laranja	0,59 - 0,61 μm	Comprimento de onda
- Vermelho	0,61 - 0,78 μm	Comprimento de onda
Infra-vermelho		
- próximo	0,78 - 3,00 μm	Comprimento de onda
- médio	3,00 - 8,00 μm	Comprimento de onda
- distante	8,00 - 1000,00 μm	Comprimento de onda
Microondas		
- Banda milimétrica	acima de 40GHz ³	Frequência
- Banda Ka	40,0 - 26,5GHz	Frequência
- Banda K	26,5 - 18,0GHz	Frequência
- Banda Ku	18,0 - 12,5GHz	Frequência
- Banda X	12,5 - 8,0GHz	Frequência
- Banda C	8,0 - 4,0GHz	Frequência
- Banda S	4,0 - 2,0GHz	Frequência
- Banda L	2,0 - 1,0GHz	Frequência
- Banda UHF	1,0 - 0,3GHz	Frequência
- Banda P	0,3 - 0,2GHz	Frequência
Rádio		
- UHF	3,0GHz - 300MHz ⁴	Frequência
- VHF	300 - 30MHz	Frequência
- HF	30 - 3MHz	Frequência
- Normal (MF e LF)	3MHz - 30KHz ⁵	Frequência
- VLF	30 - 3KHz	Frequência
- ELF	abaixo de 3KHz	Frequência

1 . MeV - Milhões de elétrons Volts; 2. μm - micrômetro; 3. GHz - GigaHertz (10^9 Hz);

4 . MHz - MegaHertz (10^6 Hz); KHz - KiloHertz (10^3).

várias regiões do espectro eletromagnético, com diferentes comprimentos de ondas, conhecidas como bandas espectrais. O número de bandas vai determinar a largura da região do espectro e, conseqüentemente, a maior ou menor resolução espectral.

De acordo com NOVO(1989) e AMARAL(1992) o atual sistema sensor TM do Landsat 5 possui sete bandas operando nas seguinte faixas espectrais e com as seguintes aplicações(Tabela 2):

Objetos fotografados em preto-e-branco e em cores representam, respectivamente, fotos monoespectrais e multiespectrais; estas últimas com as bandas do vermelho, azul e verde que, combinadas e sobrepostas, mostram o objeto colorido.

MARCHETTI(1977) explica que comprimentos de ondas aproximadamente 0,4 a 0,5 μm apresentam-se azuis aos olhos humanos, entre 0,5 e 0,6 apresentam-se em verde e entre 0,6 e 0,7 apresentam-se em vermelho. A energia com comprimento mais curto que 0,4 μm a chamada de energia ultravioleta (UV) e a energia de comprimentos de ondas mais longos que 0,7 μm é chamada de energia infravermelha

A **Resolução Radiométrica** é baseada no número de níveis de cinza que um objeto pode ser fotografado.

Tabela 2. Bandas, faixas espectrais e aplicações do satélite Landsat 5 - TM.

Banda	Faixa do Espectro (µm)	Principais Aplicações
1	0,45-0,52	Mapeamento de águas Costeiras Diferenciação Solo e Vegetação Diferenciação vegetação Coníferas e Decídua
2	0,52-0,60	Reflectância de vegetação sadia
3	0,63-0,69	Absorção da Clorofila Diferenciação de espécies vegetais
4	0,76-0,90	Levantamento da biomassa Delimitação de corpos d'água
5	1,55-1,75	Medidas de Umidade da vegetação Diferenciação entre nuvens e neve
6	10,4-12,5	Mapeamento de estress térmico em plantas, outros mapeamentos térmicos.
7	2,08-2,35	Mapeamento hidrotermal

Quanto maior o número de níveis de cinza, maior a resolução radiométrica.

HABERACKER(1984) explica como representar digitalmente informações de uma fotografia, com apenas dois níveis de cinza, através da sobreposição de uma grade de células de dimensões constantes. Essa grade, explica o autor, vai constituir uma matriz bidimensional, atribuindo-se valor 0 (zero) quando a célula apresenta-se preto e 1 quando apresenta-se branco. Se uma imagem possui apenas dois níveis de cinza (preto e branco), possui menor resolução que uma de 256 níveis de cinza visto que, entre o 0(preto) e o 255(branco), existe uma variedade muito grande de níveis de cinza, sendo logicamente a quantidade de detalhes perceptíveis maior.

Os níveis de cinza são expressos em dígitos binários denominados "bits" (byte) que é o expoente de uma potência de base 2. Os atuais sistemas sensores possuem resolução radiométrica de 6 e 8 bits, isto é 2^6 e 2^8 significando possuir 64 e 256 níveis de cinza, respectivamente. O sistema visual humano não possui grande capacidade de percepção das diversas nuances ou níveis de cinza existentes entre o preto e o branco, visto que só é possível perceber não mais do que 30 níveis, aproximadamente; já os computadores têm

alta capacidade de captar essas nuances, razão pela qual torna-se importante trabalhar com imagens possuindo cada vez mais alta resolução radiométrica.

2.4.2.3. Histograma

Segundo CRÓSTA(1992), o histograma é uma das maneiras mais importantes e úteis de representar a distribuição dos DNs das imagens digitais.

O histograma mostra estatisticamente a distribuição dos diversos níveis de cinza dos pixels de uma imagem.

Dessa forma, como uma imagem digital é uma malha de milhões de pixels compondo uma cena imageada pelo satélite, NOVO(1989) afirma ser de fundamental importância o conhecimento do comportamento espectral dos objetos na superfície imageada, como também dos fatores que interferem nesse processo.

A autora fala também que, no comportamento espectral dos alvos é muito importante os parâmetros relativos ao alvo, visto que a reflectância dos objetos adjacentes, podem interferir nas medidas de reflectância do objeto em si devido ao espalhamento da energia pela vizinhança, proporcionando um teor espectral diferente do que o objeto realmente possui.

NOVO(1989) destaca que a análise do comportamento espectral da vegetação é muito importante, podendo ser esquematizado separando-o em três regiões espectrais da seguinte maneira:

-a) até 0,7 μm , abrangendo as bandas 1, 2 e 3(Tabela 2) a reflectância é baixa por predominar a absorção da radiação incidente pelos pigmentos da planta.

-b) de 0,7 a 1,3 μm , banda 4 (Tabela 2) é uma região dominada pela alta reflectância da vegetação devido a estrutura celular.

-c) de 1,3 a 2,5 μm , parte das bandas 5 e 7(Tabela 2) reflectância da vegetação dominada pelo conteúdo de água das folhas.

O comportamento espectral dos alvos é importante também na seleção de bandas para uma composição colorida, para não correr o risco de desprezar faixas espectrais de grande significância.

Dessa maneira o bom conhecimento do comportamento espectral dos alvos, como também da(s) faixas espectrais em que a(s) banda(s) estão operando, facilita a análise dos seus histogramas e,

consequentemente, pode-se extrair melhores informações dos dados de sensoriamento remoto.

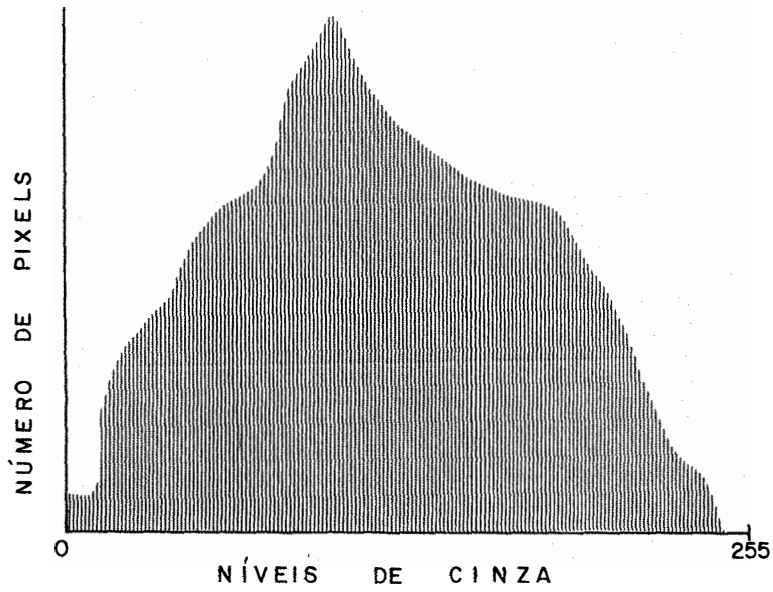
CRÓSTA(1992) explica que, o espalhamento dos valores de DN_s, dá a medida de contraste: quanto maior o espalhamento ao longo do eixo dos DN_s, maior o contraste da imagem.

Imagens contendo áreas com água e solo fornecem histogramas nos quais os pixels correspondentes à água, mais escuros, estarão grupados próximo à origem dos eixos e os demais vão se distribuir menos pronunciadamente pelo restante do intervalo.

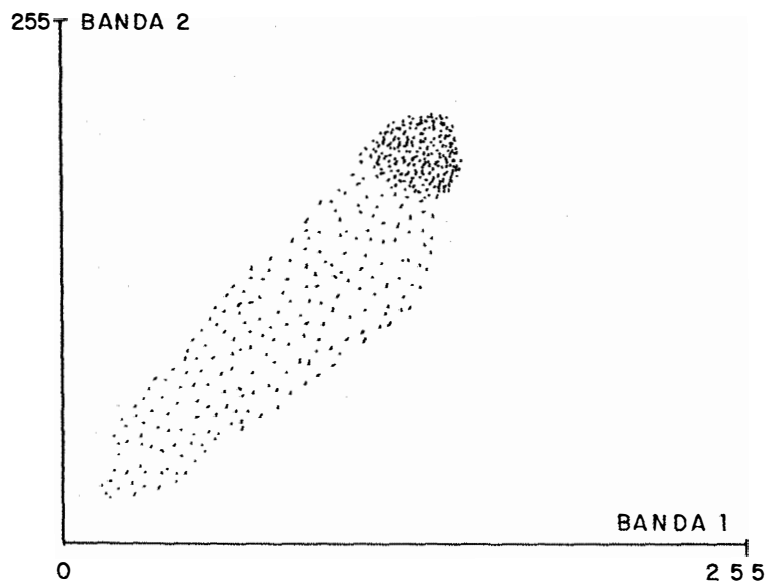
CRÓSTA(1992) ainda esclarece ser difícil encontrar imagens de sensoriamento remoto com resolução radiométrica de 256 níveis de cinza, que possuam espalhamento por todo o intervalo.

Os histogramas mais simples são os uni-dimensionais que mostram a distribuição dos DN_s de apenas uma banda espectral através de um gráfico com dois eixos ortogonais no qual estão representados em um eixo a distribuição dos níveis de cinza e no outro, a frequência dos pixels, dando informações importantes como intensidade, média e espalhamento dos valores de DN_s(Fig.2a).

Esse tipo de histograma pode apresentar variações de acordo com o modo pelo qual estão distribuídos. Se ele apresentar



a



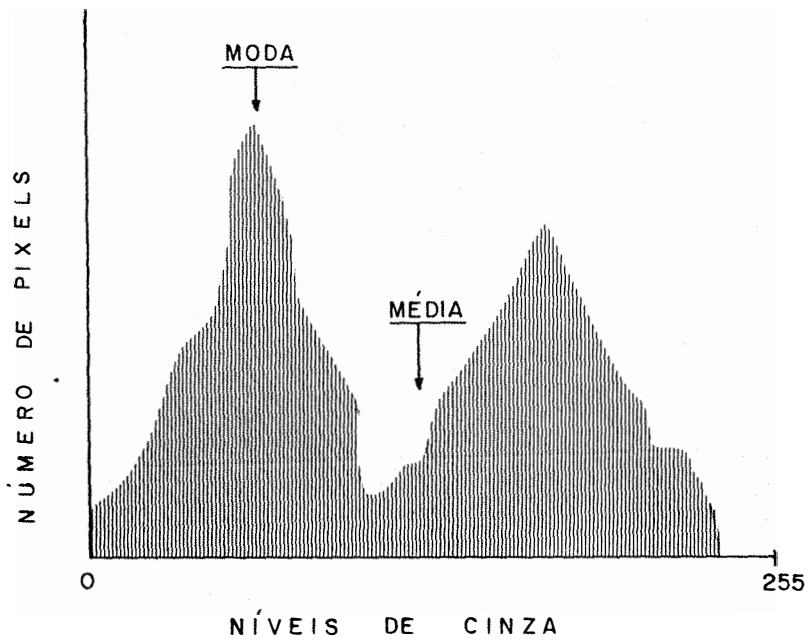
b

Figura 2. Histograma: a) unidimensional; b) bidimensional

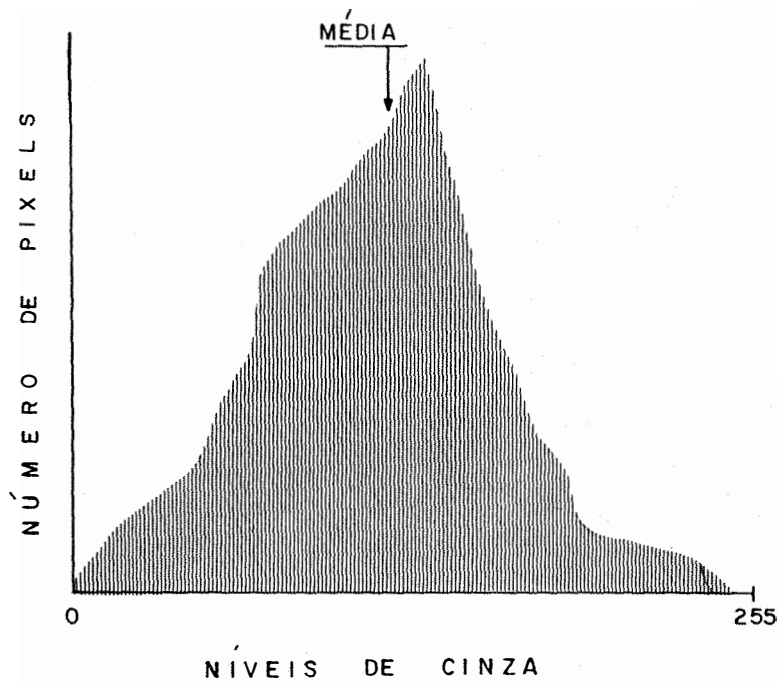
dois picos, um na região do mais escuro e um na região do mais claro(Fig.3a), ele se chamará bi-modal. Por outro lado, se apresentar uma distribuição uniforme ao longo do eixo do DNs com apenas um pico no centro, se chamará uni-modal(Fig.3b).

Esses mesmos histogramas referidos no parágrafo anterior, podem representar valores de *Média e Moda* muito úteis, que vem a ser o centro de gravidade do mesmo e o ponto mais alto na distribuição dos DNs, respectivamente, no eixo horizontal(Fig.3a e 3b).

Por outro lado, CRÓSTA(1992) explica que existem outras maneiras de representar a distribuição das intensidades de DNs de bandas de imagens multiespectrais combinadas duas a duas que poderemos chamar de histogramas bi ou multidimensionais que na verdade são concentrações dos DNs de uma banda num eixo e concentrações dos DNs de outra banda no outro eixo ortogonal, produzindo uma região onde os DNs de ambas as bandas se concentram produzindo uma área escurecida (Fig.2b). Nesse caso podemos ter:



a



b

Figura 3. Histograma unidimensional: a) bimodal; b) unimodal.

Uni - dimensional

Uni - modal
 Bi - modal

Bi - dimensionais (de imagens multiespectrais)

2.4.3. Processamento Digital de Imagens

2.4.3.1. Generalidades

PARADELLA(1989) explica que o Processamento Digital de Imagens envolve três procedimentos básicos: a) Pré-processamento; b) Realce; c) Classificação. O autor esclarece que, fala que, na fase de pré-processamento utilizam-se técnicas com rotinas que visam corrigir imperfeições causadas pelo sistema sensor, rotinas essas incluindo correções geométricas, correções de ruídos causados pela varredura do espelho imageador, correções de linhas sem informação ou com ruído. A fase de realce, continua o autor, visa melhorar a qualidade das imagens para facilitar a interpretação visual e classificação de padrões e, finalmente, a fase de classificação extrai informações necessárias à análise quantitativa.

Segundo NOVO(1989), a análise digital engloba uma série de técnicas de manipulação numérica de dados contidos em imagens

digitais provenientes do sistema de varredura multiespectral, permitindo a saída de dados em fitas magnéticas. Isso, prossegue a autora, ocorreu com o advento dos sensores operando além da região do visível do espectro eletromagnético, em que dados analógicos (intensidade do sinal elétrico) permitem converter os dados originais em outro tipo de dado analógico, de fácil interpretação, constituindo-se em uma imagem bidimensional do terreno.

Dessa maneira, ao adquirir dados de sensores, torna-se necessária a transformação dos mesmos da forma analógica para a digital, processo esse denominado de digitação, conforme explica MENEZES(1987). Todas essas manipulações são feitas através do computador, de modo que, a entrada e a saída do processo são também imagens. Essas técnicas visam melhorar seu aspecto, auxiliando e fornecendo um material mais adequado e capacitado ao desempenho da função do fotointérprete, tanto para a análise visual como para a análise automática, visto que foram suavizadas todas as informações desnecessárias e realçadas as mais importantes, para uma fiel análise. Através desse processamento serão gerados novos produtos, que, por sua vez, poderão também sofrer novos e

posteriores processamentos, conforme descreve o manual do INPE(1988).

Segundo CRÓSTA(1992), o processamento digital de imagens de sensoriamento trata especificamente de técnicas utilizadas para identificar, extrair, condensar e realçar as informações de interesse para determinados fins, a partir de uma enorme quantidade de dados que usualmente compõem essas imagens.

QUINTANILHA(1990) explica que o processamento digital de imagens consta de uma série de rotinas de tratamento pelo computador. Segundo o autor, fazem parte do processamento digital de imagens: a entrada de dados, o realce, a análise estatística e geração de saída (imagens monocromáticas e coloridas). Para que as imagens de sensoriamento remoto sejam passíveis de processamento automático em computadores digitais, torna-se necessário que elas estejam em formato digital. Segundo o autor, essas imagens possuem aproximadamente 6.000 amostras (pixels) por linha, em várias bandas espectrais, correspondendo cada banda a diferentes regiões do espectro eletromagnético, com diferentes comprimentos de ondas, de tal forma que se tem várias imagens de uma mesma região, no mesmo instante e com respostas espectrais diferentes.

2.4.3.2. Realce de Imagens

De acordo com o manual do INPE(1988), compreende um conjunto de procedimentos com o objetivo de melhorar a qualidade das imagens sob os critérios subjetivos do olho humano.

Esses procedimentos, explica o manual, promovem transformações radiométricas, manipulando o histograma, pixel a pixel, aumentando a discriminação visual das imagens que possuem baixo contraste, modificando e tornando as informações, contidas nas imagens brutas, mais claramente visíveis e úteis ao fotointérprete. Um exame prévio do histograma da imagem original, nos explica ainda o manual, pode dar uma idéia da distribuição dos níveis de cinza.

CRÓSTA(1992) afirma que o realce de imagens por aumento de contraste, nunca revelará uma informação nova e sim, as tornará mais visíveis ao fotointérprete. O autor ainda explica que, essa técnica é usada em estágio de pré-processamento; em vista disso, deve-se tomar cuidado para que parte da informação não seja perdida, dependendo da forma como é feita. O realce de imagens por aumento de contraste é comumente aplicado em composições coloridas com 3 bandas espectrais, para se obter uma boa distribuição

de cores, sendo necessário, nesse caso, que se tenham os contrastes previamente e individualmente aumentados.

2.4.3.3. Filtragem Digital

Esta técnica lança mão da resolução espectral. QUINTANILHA(1990) relata que, assim como o aumento de contraste as filtrações digitais são transformações feitas pixel a pixel, considerando nesse caso, os valores digitais de vizinhança de cada pixel.

CRÓSTA(1992) relata que, considerada uma de suas bandas espectrais as diversas intensidades de DNs de imagens de sensoriamento remoto, podem ser representadas em gráficos de intensidade versus distâncias, obtendo-se dessa forma uma curva complexa com diferentes frequências e amplitudes, mostrando a distribuição espacial delas na imagem. O autor explica que, as diferentes feições do terreno imageado(solo, vegetação, relevo, etc.) mostram diferentes tonalidades de DNs da imagem, resultando um limite com outras feições conhecidas como "bordas".

CRÓSTA(1992) também explica que, quando as feições imageadas variam bastante, apresentando limites ou bordas com transições claras entre elas e em pequenas áreas, são conhecidas como

feições de Alta Frequência e podem ser exemplificadas como áreas com diversos tipos de uso ou relevo movimentado, aparecendo áreas sombreadas e áreas iluminadas. Por outro lado, feições imageadas apresentando limites ou bordas com transição difusa ou gradativa, ocorrendo uniformemente ao longo de grandes distâncias, são conhecidas como feições de Baixa Frequência, podendo ser exemplificadas como extensas áreas de monocultura em relevo plano.

O autor ainda prossegue dizendo que, de acordo com o que foi visto, as imagens de sensoriamento remoto transmitem uma infinidade de mistura de frequências, o que dificulta muito o trabalho do fotointérprete. Por essa razão, existem técnicas de realce seletivo das feições de alta, média e baixa frequência conhecidas como Filtragem Digital, visando melhorar a aparência da distribuição espacial das informações.

Essa técnica, continua CRÓSTA(1992), utiliza filtros que são classificados de acordo com a funcionalidade em: a) filtros passa-baixas, produzindo uma suavização da imagem, com uma redução do contraste geral, eliminando as altas frequências e deixando passar as baixas frequências; b) filtros passa-altas, realçando os detalhes produzindo uma agudização da imagem, eliminando as feições de

baixa frequência e deixando passar as altas frequências, normalmente expressas em bordas.

2.4.3.4. Cor

É outro componente que desempenha papel importante no processamento digital de imagens de sensoriamento. Segundo CRÓSTA(1992), dada sua natureza multispectral, composta por várias bandas, as composições coloridas de três bandas sintetizam em uma única imagem grande quantidade de informações, representando-as em diferentes cores. O autor prossegue informando que, a forma mais comum de combinar 3 bandas de uma imagem de satélite é a composição colorida falsa-cor, produzidas através dos sensores do Landsat-5 usando-se combinadas as bandas 7, 5, e 4 do MSS(Multispectral Scanning Subsystem) e 4, 3, e 2 do TM(Tematic Mapper) em RGB(Red, Green, Blue), respectivamente. Essa combinação originou-se após o desenvolvimento do filme colorido infravermelho, durante a II Grande Guerra Mundial, usado estrategicamente para distinguir camuflagens da vegetação verdadeira. O filme colorido infravermelho possui resposta espectral semelhante às combinações MSS e TM anteriormente citadas, produzindo imagens onde a vegetação de cor verde reflete a energia

eletromagnética no comprimento de onda relativo ao infravermelho, aparecendo em cores vermelhas. As bandas 3, 2, 1 do TM em RGB são bastante utilizadas também, equivalendo a uma composição colorida real devido à semelhança com as cores percebidas pelo olho humano.

CRÓSTA(1992) adverte, no entanto, que um cuidado muito grande a ser tomado na escolha das bandas para composição colorida é na seleção das bandas que contenham a informação espectral desejada. Imagens multiespectrais apresentam limitações no que diz respeito à repetição da informação de uma banda para outra devido os intervalos de comprimento de ondas serem contíguos. Essas repetições de informação entre bandas são chamadas de Correlação, havendo para isso técnicas de removê-las antes de combiná-las.

Entre essas técnicas, explica CRÓSTA(1992), a transformação IHS vem a ser uma forma alternativa ao espaço RGB de representação de cores. Essas cores são definidas por três atributos: H(Hue) Matiz; S(Saturation) Saturação; I(Intensity) Intensidade, manipuladas individualmente ao invés de três quantidades de cores intrinsecamente interligadas.

2.4.3.5. Operações

Segundo CRÓSTA(1992), considerando o caráter multiespectral ou multitemporal das imagens, existem operações de análise usadas em processamento que podem ser realizadas com as mesmas. Nessas operações, continua o autor, são utilizadas duas ou mais imagens geograficamente idênticas, sempre co-registradas, isto é, cada pixel de cada imagem se refere à mesma área no terreno. A entrada é representada por duas ou mais imagens e a saída é uma combinação das imagens realizadas pixel a pixel. Dentre essas operações, as mais comuns são: adição, subtração, multiplicação e divisão, esta última conhecida como razão entre bandas. Essa razão entre bandas é a mais comum em processamento digital, servindo para realçar intensamente as diferenças espectrais de um par de bandas.

CRÓSTA(1992) explica que, os extremos do intervalo 0 (preto) e 255 (branco) são as maiores diferenças de reflectância entre as bandas. Como essa operação é feita pixel a pixel, o resultado poderá ser pixel escuro quando o denominador é maior que o numerador, dando um resultado menor que 1; caso contrário, se o numerador for maior que o denominador, o quociente será maior que

1 resultando em um pixel branco. Por outro lado se o numerador e denominador forem os mesmos não haverá diferença entre as duas bandas para aquele pixel.

2.4.3.6. Classificação

Segundo CRÓSTA(1992) é talvez a etapa mais importante e objetiva em processamento digital. Porém, QUINTANILHA(1992) esclarece que, as técnicas de classificação dizem respeito a um campo da pesquisa que não se restringe essencialmente ao Processamento Digital, ele tem suas origens na Estatística Multivariada e no Reconhecimento de Padrões.

CRÓSTA(1992) explica que, a identificação dos diversos materiais na superfície terrestre é possibilitada devido ao comportamento específico que os mesmos possuem ao longo do espectro eletromagnético. Isso possibilita delinear-los, separando-os em diversos grupos que irão constituir-se em unidades de mapeamento para posterior e exata identificação e confirmação no local, permitindo a elaboração do mapeamento da superfície terrestre com maior grau de certeza.

Segundo CRÓSTA(1992), a classificação automática de imagens multiespectrais, associa cada pixel de uma imagem a um

"rótulo". Dessa forma, cada valor de DN de cada pixel identificado estará associado a um tipo de cobertura da superfície terrestre imageada (solo, vegetação, relevo, etc.) chamada de "tema", originando assim um mapa temático mostrando a sua distribuição geográfica. Dessa maneira, uma imagem de sensoriamento remoto classificada é uma forma de mapa digital temático. Se ele for reorganizado para se ajustar à uma dada projeção geográfica, torna-se um importante elemento a ser incorporado a um Sistema de Informação Geográfica.

Numa classificação automática de imagens de sensores multiespectrais, consideram-se duas abordagens principais:

a) Classificação não supervisionada, em que o computador assume sozinho, através de regras estatísticas, a tarefa de localizar as classes e os pixels pertencentes a cada uma.

b) Classificação supervisionada, em que são identificados alguns pixels das classes e informando ao computador que adquire a tarefa de localizar os demais pixels daquela classe, baseado em algumas regras estatísticas pré-estabelecidas. O usuário precisa ter um conhecimento da área através de observações diretas no terreno durante a passagem do satélite, observação essa

serve para confirmar a conhecida "verdade terrestre" (Ground Truth). Essas áreas identificadas, representando uma das classes, são chamadas "áreas de treinamento". Os métodos desse tipo de classificação denominam-se:

Paralelepípedo
Distância mínima
Máxima Verossimilhança ou MaxVer

Este último é o método mais utilizado, apresentando uma base estatística bastante complexa, necessitando para isso, de um tempo de processamento computacional bem maior.

Segundo CRÓSTA(1992), esse tipo de classificação utiliza gráficos contendo frequências de distribuição de intensidades de bandas de uma imagem multiespectral, representadas duas a duas visto anteriormente como histograma bidimensional, definindo o chamado *espaço de atributos*, essencial para se entender como funciona a classificação de imagens multiespectrais.

No gráfico(Fig.4) contendo o espaço de atributos de uma imagem com duas bandas espectrais, no qual estão plotados um pixel de três diferentes tipos de materiais A, B e C, considerando apenas a banda 1 nota-se que dois deles B, e C são coincidentes por possuírem o mesmo valor de DN no espaço unidimensional. Por outro

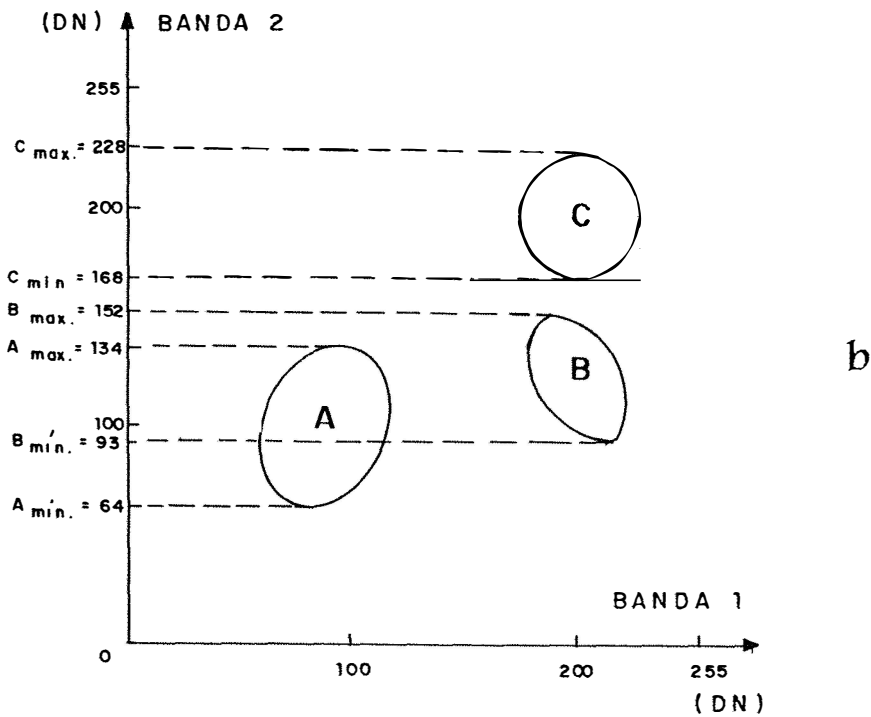
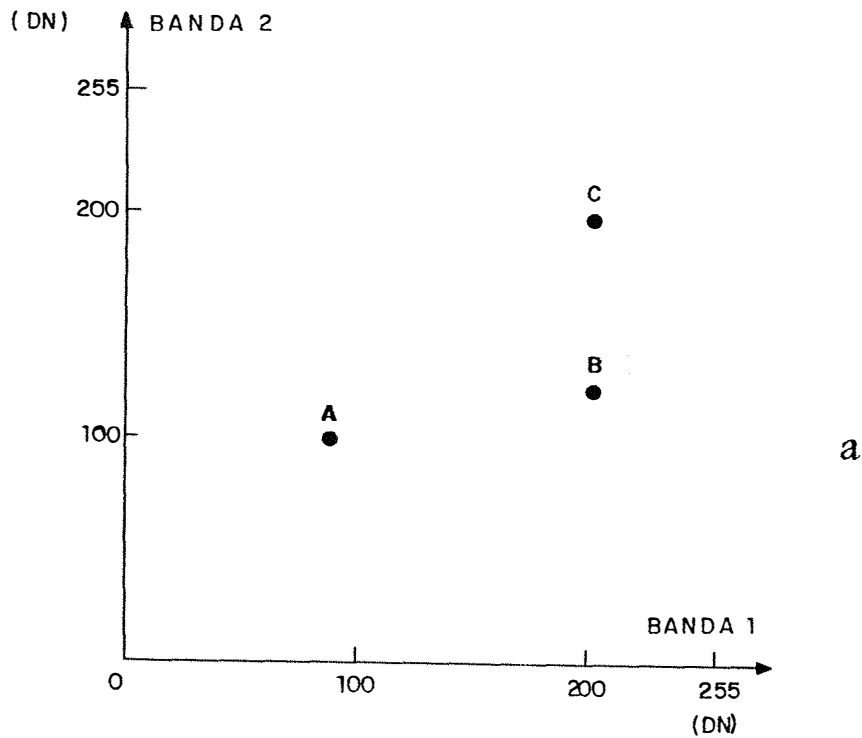


Figura 4. Histograma bidimensional mostrando um espaço de atributos, de uma imagem multiespectral, em 2 bandas 1 e 2 de três tipos de materiais a, b, e c: a) de uma imagem com duas bandas espectrais 1 e 2; b) considerando as intensidades máximas e mínimas dos DN.

lado, ao se considerar o espaço bidimensional, banda 1 e 2, os três ocupam posição única no espaço de atributos, sendo distintos e identificáveis.

Na verdade, o certo é basear-se nos valores das intensidades máxima e mínima dos DN's dos materiais considerando suas composições variáveis, diferentes condições de iluminação e outros fatores.

A figura 4b mostra a distribuição dos três materiais em regiões conhecidas *classes*, delineando diferentes *nuvens ou clusters* de concentração dos pixels no espaço de atributos com classes diferentes referindo-se a diferentes tipos de materiais com base na banda 1. Ao considerar somente a banda 2, nota-se uma boa superposição dos intervalos das classes A e B, não podendo classificar-se como pertencentes a classes A ou B; o mesmo ocorrendo com a banda 1.

Considerando uma terceira banda, (Figura 5) as classes poderiam ser plotadas separadamente no espaço de atributos.

Dai a importância do número de bandas, alta resolução espectral, na identificação de determinado tipo de material e consequente precisão na classificação.

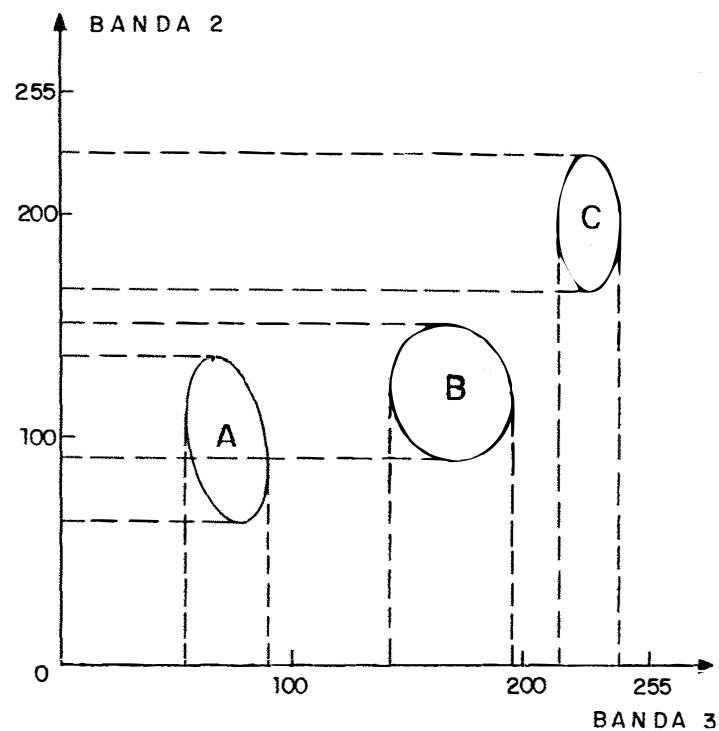


Figura 5. Histograma bidimensional mostrando um espaço de atributos, de uma imagem multiespectral, em outro par de bandas 2 e 3 e os mesmos três tipos de materiais a, b e c da figura 4, considerando agora uma terceira banda 3.

2.4.3.7. Principais Componentes

Segundo CRÓSTA(1992), é a mais eficiente e pouco utilizada das técnicas em processamento digital. Com o aumento da resolução espectral disponível nos atuais sensores, essa técnica vem se tornando cada vez mais útil na análise de imagens multiespectrais.

QUINTANILHA(1990) adverte que, a alta resolução espectral torna-se algumas vezes uma característica inconveniente, principalmente agora que a tendência dos atuais sensores é ter uma quantidade maior de bandas espectrais, mais contíguas e com informações mais repetidas de uma banda para outra.

CRÓSTA(1992) explica que, as imagens multiespectrais dos atuais sensores, possuem estreitas e contíguas faixas do espectro eletromagnético, devido ao aumento do número de bandas, possuindo com isso, alto grau de correlação entre elas, isto é, uma repetição das informações em várias bandas devido ao estreito espaço de atributos

Um histograma bidimensional possui intensidades e feições semelhantes em bandas isoladas (Fig.5), determinando assim uma repetição da informação e uma alta correlação entre bandas que, através de uma transformação matemática apropriada, podem ser

removidas de tal maneira que o resultado são imagens sem nenhuma correlação entre si.

Assim, a análise por principais componentes vem a ser a análise de um conjunto de imagens brutas correlacionadas, produzindo um novo conjunto de imagens sem nenhuma correlação entre si. Esse processo funciona de uma maneira tal que a 1^a principal componente ou PC1 irá conter a informação comum a todas as bandas funcionando como "imagem-filtro", retendo as informações comuns e deixando passar as menos comuns, de tal maneira que sucessivas e últimas PCs irão conter feições espectrais menos comuns. Nesse tipo de análise existem modificações que podem ser introduzidas no sentido de melhorar sua performance em casos específicos que são: Análise Canônica e Realce por Decorrelação.

2.4.3.8. Correção Geométrica e Registro

Segundo CRÓSTA(1992), as imagens de sensores remotos de qualquer tipo, estão sujeitas a uma série de distorções espaciais, ocasionando uma falta de precisão cartográfica e, conseqüentemente, um bom posicionamento dos objetos. Por serem importantes fontes de dados para confecção de material básico para Sistema de Informação Geográfica, essas imagens precisam ser

integradas e ajustadas a outros tipos de material representado na forma de mapas.

Para que isso seja possível, prossegue CRÓSTA(1992), torna-se necessário que as imagens sofram determinados tratamentos no sentido de eliminar essas distorções espaciais, provenientes tanto da órbita do satélite como da rotação da Terra. Dessa maneira, continua o autor, um bom processo de correção e ajuste de imagens irá produzir mapas mais corretos, considerando que um mapa vem a ser a representação gráfica e plana da superfície curva da Terra, essa deve ser bem posicionada e controlada geodésicamente de maneira tal a produzir uma projeção cartográfica perfeita e fiel da superfície terrestre.

No Brasil, de acordo com CRÓSTA(1992), utiliza-se o sistema de projeção cartográfica UTM (Universal Transversa de Mercator).

Segundo OLIVEIRA(1988), na projeção UTM não existe deformação de ângulos e em decorrência disso não deforma áreas por menores que sejam, a escala é a mesma em qualquer ponto e as distâncias são corretamente representadas.

CRÓSTA(1992) explica que, partindo-se de imagens de sensores remotos, pode-se fazê-las passar por processos de correções geométricas visando a introdução de precisão cartográfica segundo um sistema de coordenadas para que elas assumam propriedades de escala e de projeção de mapa, tudo isso executado através de um sistema de processamento de imagens.

Como um dos objetivos do sensoriamento remoto vem a ser o monitoramento ambiental, necessário se faz combinar duas imagens multiespectrais semelhantes e multitemporais diferentes do mesmo sensor, sendo para isso impossível conseguí-las com cobertura equivalente no terreno. Para isso é necessário que sofram outro tipo de transformação conhecido como Registro, que trata de ajustar os sistemas de coordenadas (pixel/linha) entre si. Esse Registro pode ser feito também entre diferentes tipos de sensores ou na confecção de mosaicos com imagens contendo recobrimento lateral e/ou longitudinal.

2.5. Geoprocessamento

2.5.1. Considerações Gerais

O grande avanço da tecnologia orbital, ocorrido ultimamente, ampliou consideravelmente a obtenção de dados da superfície terrestre de tal maneira que, TEIXEIRA et al.(1992) falam de um verdadeiro acúmulo de dados e facilidades em obter informações relacionadas com a distribuição espacial dos elementos e variáveis de interesse para Geografia, Geociências, Análise Ambiental e Monitoramento Ambiental.

O desenvolvimento de tecnologias, ocorrido dentro da área do Geoprocessamento, visa o manejo das informações coletadas da superfície terrestre para que possam ser utilizadas as variáveis do ambiente na avaliação dos recursos naturais e, principalmente, no monitoramento desses recursos.

O Geoprocessamento vem a ser um conjunto de tecnologias especializadas na coleta e tratamento de informações espaciais, bem como no desenvolvimento e uso de sistemas que possam utilizá-las, conforme RODRIGUES(1990). A esses sistemas dá-se a denominação de Sistemas de Informação Geográfica - SIG.

Segundo ALVES(1990), os conceitos de SIG referem-se a sistemas destinados à aquisição e tratamento de dados referenciados espacialmente.

Essa tecnologia torna possível a automatização de tarefas realizadas até então manualmente, facilitando a realização de análises complexas, através da possibilidade de integração de dados de diversas fontes e de criação de um Banco de Dados geocodificados, segundo o manual do SIG do INPE(1988).

Dessa maneira, de acordo com o manual de SIG do INPE(1988), as principais características do sistema são:

- ~ recuperar informações, baseadas em localizações específicas;
- ~ integrar informações provenientes de fontes e dados distintos;
- ~ disponibilidade de aplicativos gráficos para edição de gráficos e geração de símbolos.

CÂMARA(1993) ressalta que, a característica fundamental de um sistema de geoprocessamento, vem a ser a sua capacidade de armazenar, recuperar e analisar mapas num ambiente computacional, já que o mapa é uma representação gráfica de fenômenos geográficos,

geralmente em uma superfície plana. O autor explica que, num ambiente computacional a noção de mapa deve ser estendida para incluir diferentes tipos de dados geográficos, como imagens de satélite e Modelos Numéricos de Terreno (MNT). Em suma, o autor relata que as principais características de SIG são as possibilidades de integrar numa única base de dados, informações espaciais provenientes de dados cartográficos, dados de censo e cadastro urbano e rural, imagens de satélite, redes e MNTs, como também combinar as várias informações através de algoritmos de manipulação para gerar mapeamento derivado. O SIG também consulta, recupera, visualiza e desenha o conteúdo da base de dados geocodificados.

COWEN(1988), discorrendo sobre SIG, CAD, DBMS, cita várias definições sobre SIG como a de Tomlinson 1972⁸, como sendo um campo comum entre processamento de informações e muitos outros campos utilizando técnicas de análise espacial. Ele também fala na definição de Clarke 1986⁹, como um sistema computadorizado para entrada, armazenamento, recuperação, análise e exibição de dados espaciais. Segundo ainda Clarke 1986, citado por

⁸ TOMLINSON, R. F. (ed), 1972. Geographical data Handling. IGU Commission on Geographical Data Sensing and Processing. Ottawa.

⁹ CLARKE, K. C. Advances in Geographic Information Systems, Computers, Environment and Urban Systems. 1986. vol.10, pp. 175-184

COWEN(1988), pode parecer que, do ponto de vista de muitos, SIG é todo e qualquer tipo de processamento automático de dados espaciais.

De acordo com TEIXEIRA et al.(1992), os SIGs se desenvolveram a partir dos avanços ocorridos na área da computação nos anos 40 e 50, como também da necessidade de processar uma grande quantidade de dados produzidos em decorrência do grande avanço do sensoriamento remoto. Por outro lado, os autores advertem que, para um bom entendimento de SIG, torna-se necessário conhecer alguns conceitos básicos normalmente empregados.

2.5.2. Conceitos Básicos

Segundo TEIXEIRA et al.(1992), os SIGs envolvem uma série de conceitos básicos que precisam ser bem definidos para um melhor entendimento do assunto. Esses conceitos são:

2.5.2.1. Entes ou Entidades

São elementos ou objetos tomados como unidade básica para coleta de dados relacionando-os com os atributos, caracterizando e fornecendo significado à unidade estudada. Se um local é a entidade, o solo, o relevo, e a vegetação são alguns dos seus

atributos. O número de atributos fornece a base para melhor caracterização da área através do cruzamento das informações.

2.5.2.2. Sistemas

São arranjos de entes ou entidades (elementos ou coisas) relacionados ou conectados de tal maneira que constituem uma unidade ou um todo organizado com características próprias e subordinadas a processos de transformação conhecidos.

2.5.2.3. Dado Espacial

Como já foi visto em parágrafos anteriores, é um conjunto de valores numéricos ou não, sem significado próprio, conforme TEIXEIRA et al.(1992). Em SIG esses conceitos passam a tomar significado mais específico, como relatam PAINHO & GUEVARA(1989), que definem Dado Espacial como estando associado ao espaço, um conjunto de atributos e relações com outros elementos.

2.5.2.4. Informação Geográfica

Vem a ser um conjunto de Dados Espaciais cujo o significado contém associações ou relações de natureza espacial, podendo ser apresentado graficamente (ponto, linha, polígono); numericamente (caracteres numéricos) ou alfa-numéricos

(combinação de letras e números), como definem TEIXEIRA et al.(1992). Dessa maneira, segundo estes autores, um SIG utiliza dados computadorizados com informação espacial, devendo-se tomar cuidado em não deturpar a sigla de SIG para SGI, pois são sistemas que tratam informações de natureza geográfica e não sistemas geográficos que tratam simplesmente informações, reforçam os autores.

Uma questão primordial a ser abordada a respeito de SIGs vem a ser a forma de obter os dados, como também a forma de representá-los depois de analisados. Por se tratar de dados de natureza espacial ou georreferenciados, há necessidade de esclarecer certas características quanto à estrutura complexa dos mesmos, devido a serem relevantes pela sua posição em relação a um sistema de referência qualquer associado ao espaço.

Em cartografia verifica-se a presença desses dados de estrutura complexa denominados de Dados Espaciais ou Georreferenciados, caracterizados pela sua posição em relação a um sistema de referência qualquer associado ao espaço.

2.5.3. Características de um Dado Espacial

PAINHO & GUEVARA(1989) e THE UNIVERSITY OF CALGARY(1987) caracterizam um dado espacial através de um conjunto de atributos e relações com outros elementos, definindo-o completamente em:

2.5.3.1. Posição

Define o dado espacial através de pares de coordenadas x e y no espaço bidimensional que o posicionam a partir de um sistema de referência relativo á superfície terrestre.

2.5.3.2. Atributos

Descrevem e representam o dado espacial, através de códigos, rótulos e descritores textuais. Uma cidade possui geocódigo, nome, simbologia, densidade demográfica e atividade predominante, entre outros. A quantidade de atributos é função das aplicações. Uma modelagem incorreta poderá ocasionar omissões ou excessos de descritores.

2.5.3.3. Topologia

São relações espaciais de adjacência e conectividade, não métricas, entre vários objetos da superfície terrestre. Em hidrografia, a informação sobre quais afluentes se encontram à margem esquerda do rio principal é relação de adjacência. A posição exata onde o afluente deságua no rio principal é relação de conectividade.

2.5.3.4. Tempo

Elemento adicionado, considerando que muitos fenômenos que ocorrem podem ser registrados, variando ao longo do tempo, razão pela qual, é de suma importância a sua consideração na atualização do dado. Dados altimétricos variam anualmente em relação ao nível do mar, determinado e adotado como plano de referência altimétrico (datum vertical); o tempo pode ocasionar a desatualização no valor absoluto das altitudes.

Considerando esses quatro elementos, componentes de um dado espacial, verifica-se a complexidade para o armazenamento e, conseqüentemente, dificuldade no manuseio dos mesmos, segundo SILVA(1990).

2.5.4. Componentes Básicos dos SIGs

Os SIGs são dotados essencialmente de três etapas: Entrada; Armazenamento e Manipulação; Recuperação, Análise e Exibição dos Dados. Todas essas etapas são decisivas e importantes, estando intimamente ligadas entre si de uma maneira tal, que o sucesso do resultado final vai depender das rotinas que deverão ser cumpridas de modo a criar um arquivo consistente de dados.

2.5.4.1. Entrada

Nesta etapa existe um cuidado muito grande a ser observado que vem a ser o formato do dado. O olho humano é altamente eficiente no reconhecimento do formato das imagens, mas o computador necessita ser instruído de como manipular o dado espacial, como adverte BURROUGH(1986). Os dados digitais podem ser representados basicamente em dois formatos, ambos possuindo vantagens e desvantagens que afetam o custo e a eficiência. São eles:

a) Representação Raster: É composta por uma grade de células contíguas sobre as quais incidem pontos, linhas e áreas sem coordenadas x e y, visto que sua localização está implícita na linha e coluna da malha (Fig.6)

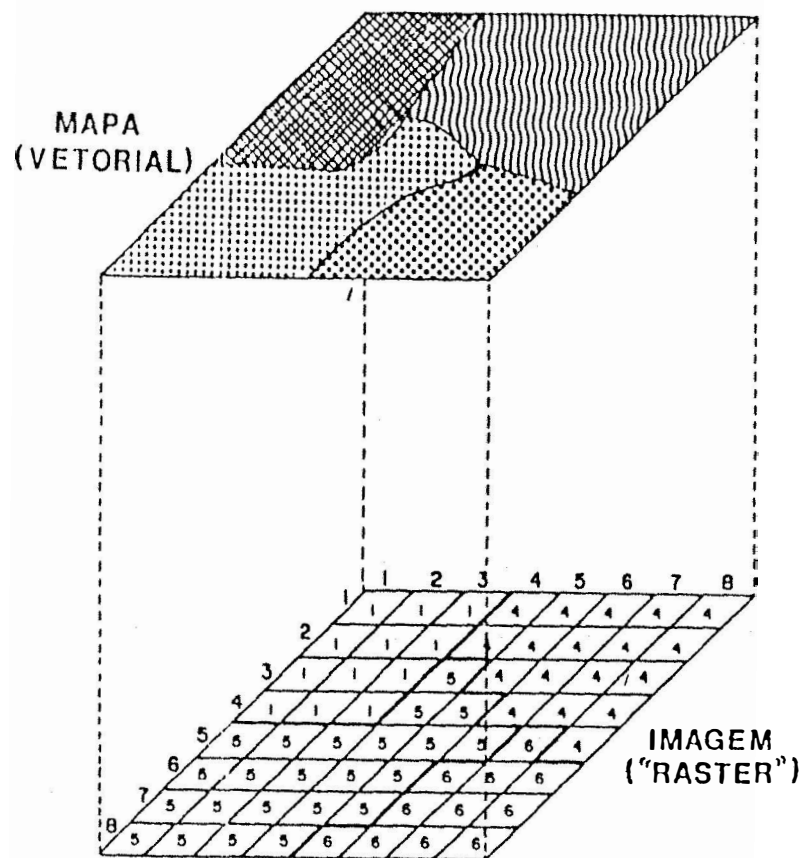


Figura 6. Esquema de representação de mapa vetorial e imagem raster.

b) Representação Vetorial: É composta por um conjunto de pontos com pares de coordenadas cartesianas definidas x e y que vão formar as linhas. Numa representação vetorial é necessário se levar em conta certas propriedades topológicas bidimensionais que são unidades elementares de qualquer representação bi-dimensional (Fig.6), a saber:

Ponto: Ente localizado geograficamente por um par de coordenadas x e y que, dispostas sucessivamente, podem formar uma "Linha" (Fig.7, 8, 9, 10).

Nó: Ponto inicial e/ou final ao qual está associada uma feição topológica (Fig.7).

Arco: Conjunto de pontos, determinando uma linha, delimitado por dois nós, um inicial e um final (Fig.7, 8, 9, 10).

Ilha: Região limitada por uma sucessão de arcos com uma única feição topológica, havendo um só ponto inicial coincidindo com um final (Fig.7).

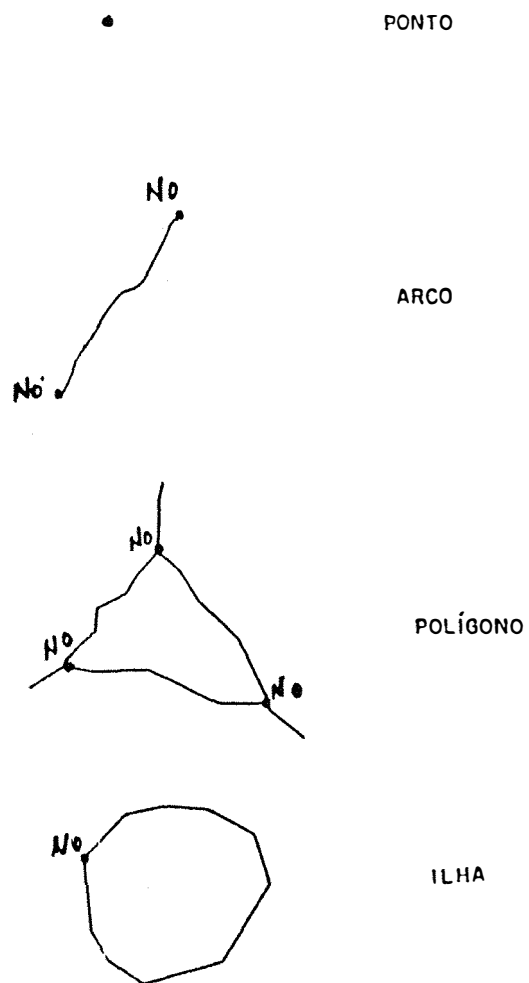


Figura 7. Representação das unidades elementares.

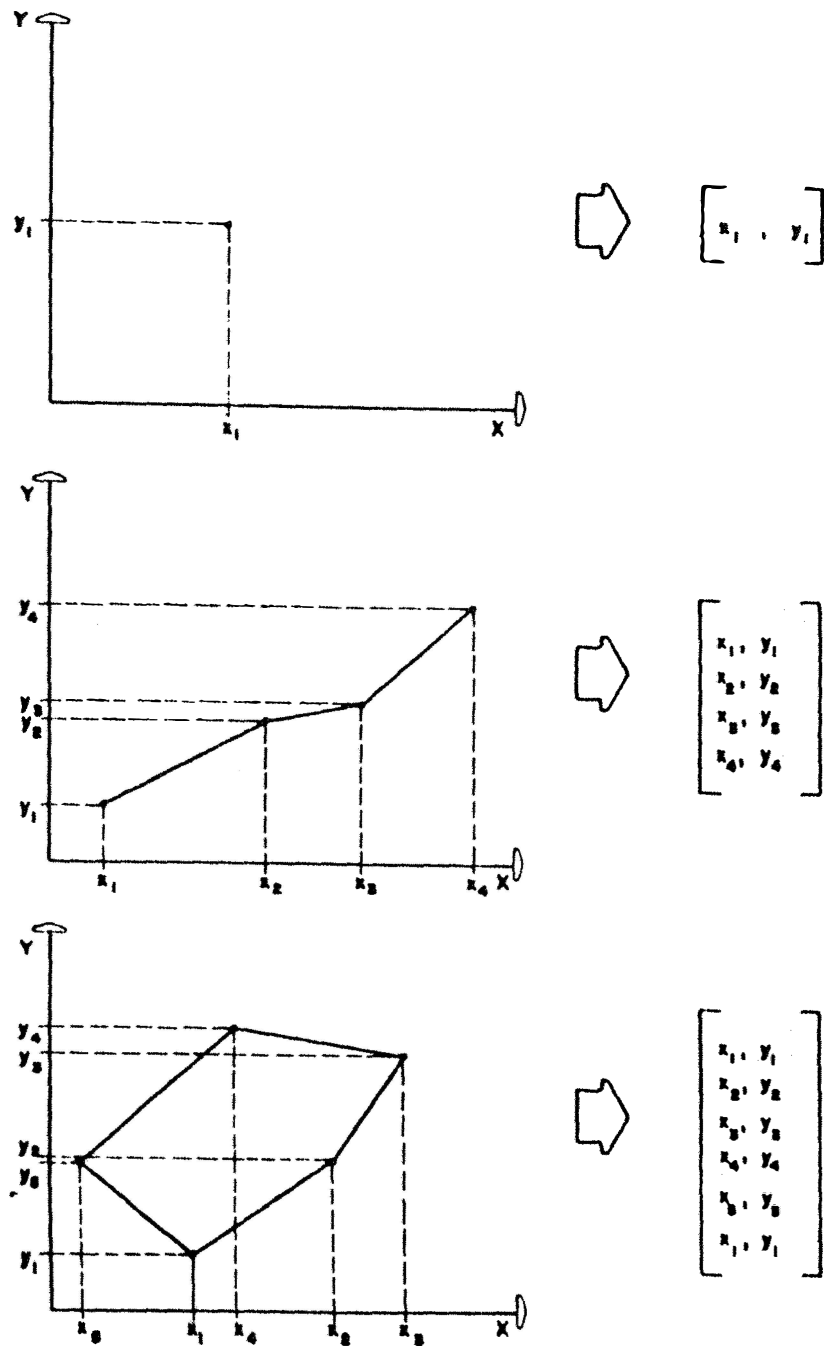


Figura 8. Representação de pontos, linhas poligonais e poligonos.

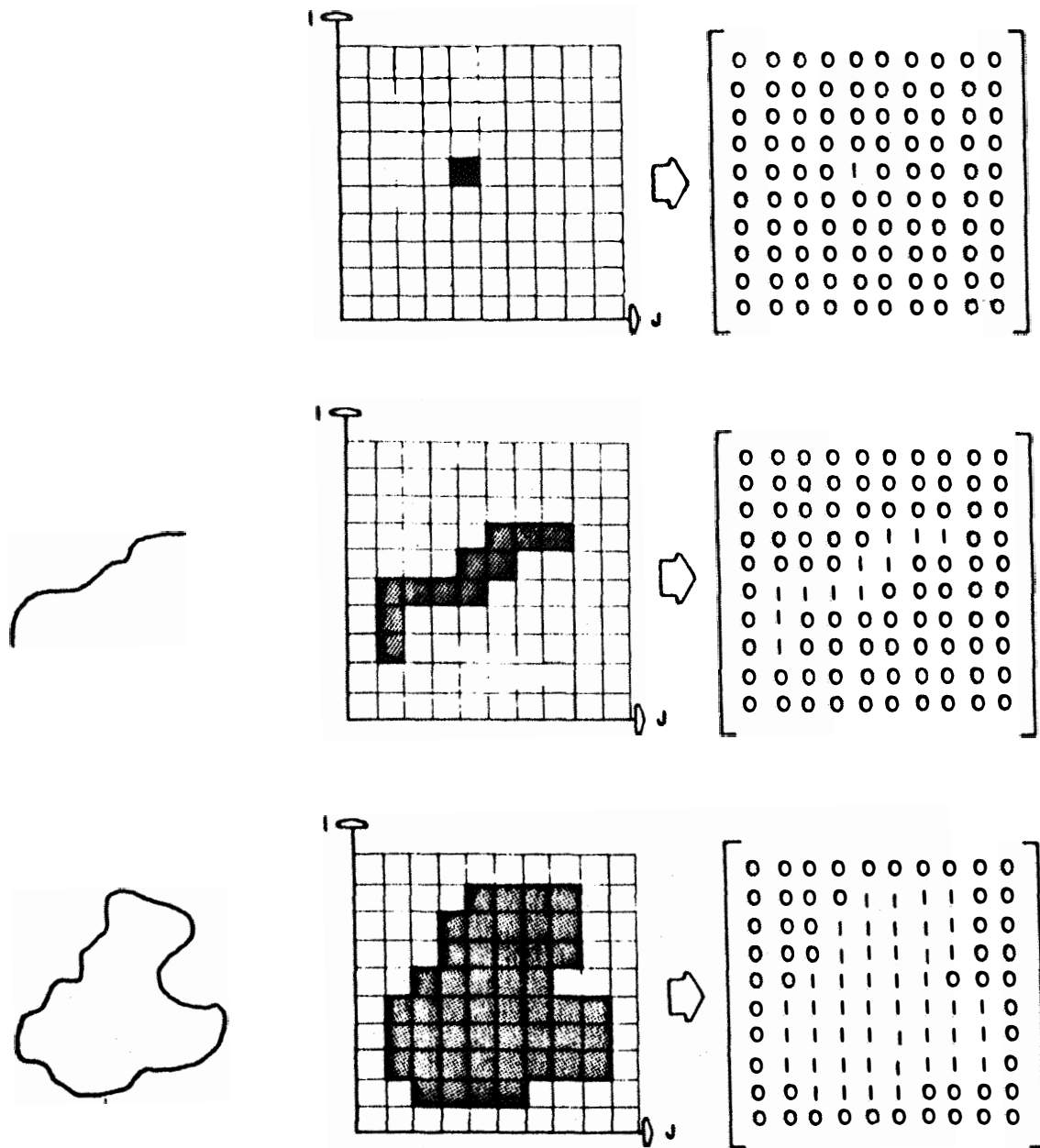


Figura 9. Representação tesselar quadrada.

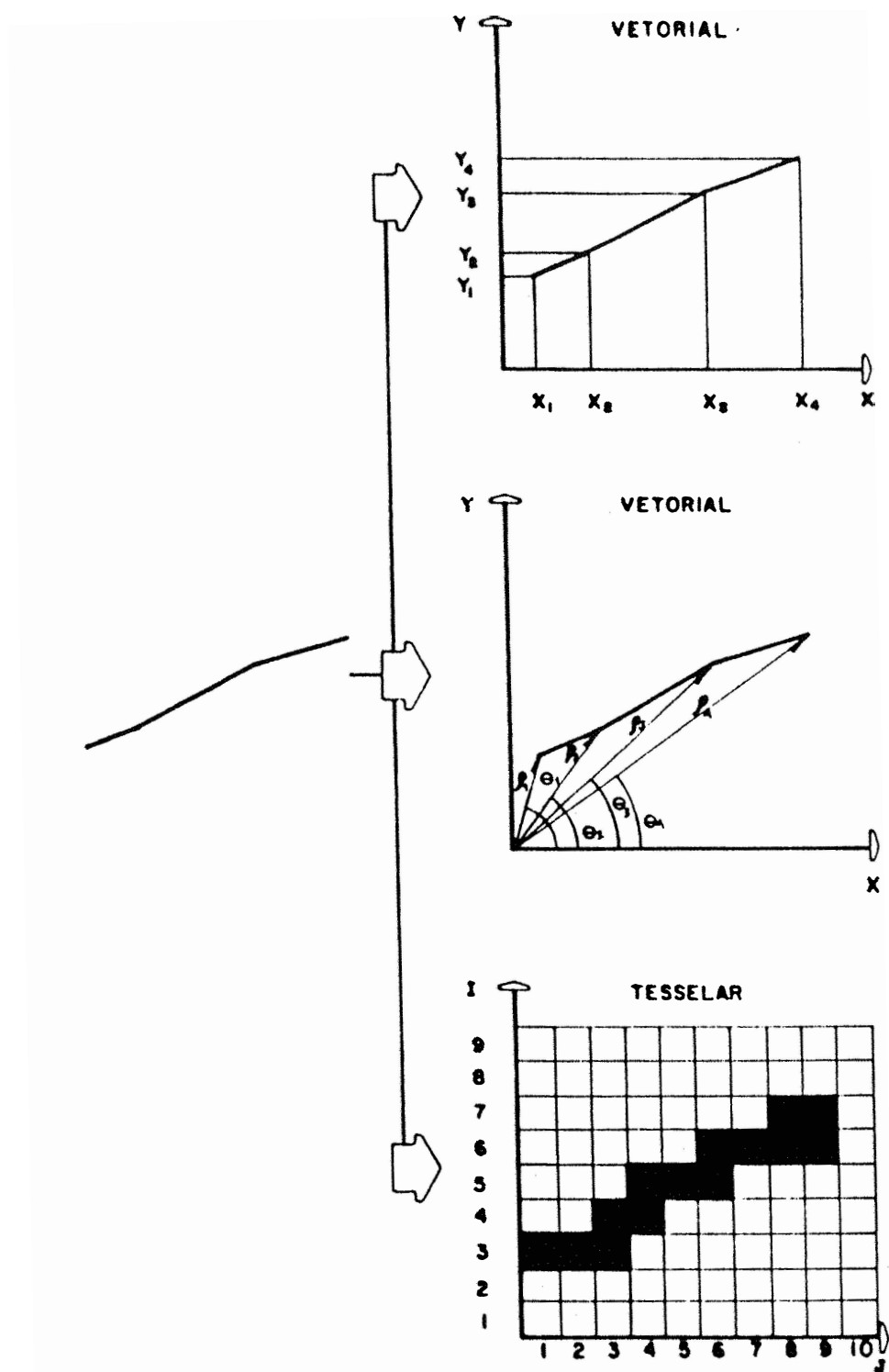


Figura 10. Exemplos de representação vetorial e tesselar.

Polígono: Região limitada por uma sucessão de arcos na qual há mudança de feição topológica, com um ponto inicial e um ponto final, podendo receber a denominação de Polígono Aberto (Fig.7, 8, 9, 10).

Centróide: Pontos internos de um polígono, usado para associar os atributos de cada região e construção de um polígono a partir dos arcos que o limitam, conforme a operação de Poligonalização descrita no manual do INPE(1988).

Os métodos pelos quais os dados poderão dar entrada no SIG são:

Digitalização	<ul style="list-style-type: none"> Manual Semi - Automática Automática (Scanner)
---------------	---

Dados Digitais

Produtos de Sensores Remotos

GUIMARÃES FILHO & CRÓSTA(1993) explicam que, nos processos de digitalização de mapas, podem ocorrer erros durante sua codificação. Esses erros devem ser muito bem controlados, principalmente se os produtos vão ser utilizados em outros

programas, posteriormente. Esses erros, provenientes de duas fontes, é que ocasionam a redução da precisão dos produtos e a qualidade dos mesmos. São eles: a) erros inerentes, isto é, já estão contidos nas fontes originais e b) erros operacionais, que são produzidos durante a entrada dos dados e manipulação digital nos programas.

2.5.4.2. Armazenamento e Manipulação

É uma etapa em que, dada a grande quantidade de dados, devem ser armazenados de modo a permitir uma rápida e efetiva recuperação por ocasião do processamento e atualizações. O armazenamento abrange a estruturação dos dados na base e a organização da mapoteca digital, segundo descreve SILVA(1990). As técnicas de armazenamento variam muito desde o formato dos dados até a sua quantidade. A técnica “Run Length Encoding” é eficiente nas representações matriciais, onde a variabilidade espacial é pouca, caso contrário sua utilização pode acarretar ocupação de maior espaço. Por outro, lado se as aplicações requerem alta precisão e economia de espaço, a técnica “Quadtree” é mais eficiente, organizando dados matriciais de forma hierárquica. Os dados vetoriais são armazenados através de técnicas como "Espaguete", em que as componentes posicionais são armazenadas em um arquivo como uma representação

fiel do mapa, com grande redundância de dados devido à digitalização de limites comuns entre polígonos adjacentes. Um ponto é armazenado apenas pelas suas coordenadas x e y; uma linha é armazenada através de um ponto inicial e um final, sem envolver relação entre objetos. A técnica de armazenamento topológica estabelece uma relação entre objetos de forma explícita.

2.5.4.3. Recuperação, Análise e Saída

Esta etapa é uma parte da ferramenta do SIG com um conjunto de funções específicas de acordo com a finalidade para o qual o mesmo foi projetado. A eficiência das análises será função do formato do armazenamento, estrutura de organização do dado na base e do tamanho das unidades de recuperação, conforme SILVA(1990).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Material

Para a realização do presente trabalho, visando estudos na área do Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento aplicado à recursos naturais, para caracterizar uma bacia hidrográfica localizada na Amazônia, foi utilizado o seguinte material:

- Acervo de imagens do Centro de Hidroclimatologia e Sensoriamento Remoto da Superintendência de Desenvolvimento da Amazônia CHSRA-SUDAM, em Belém-Pa, com a utilização da cena 223/62 do sensor TM do Landsat 5, no formato de fita magnética CCT nas bandas 3,4 e 5.

- Sistema Integrado de Tratamento de Imagens acoplado ao Sistema de Informação Geográfica, SITIM-SIG, tendo como equipamento base o SITIM-150 do CHSRA-SUDAM e da Universidade Estadual Paulista UNESP Campus de Rio Claro-SP.

- SPRING (Sistema de Processamento de Informações Geo-referenciadas), instalado em Workstation SiliconGraphics do Centro Nacional de Pesquisas de Solos CNPS-EMBRAPA

- Microcomputador PC 486

- Mesa digitalizadora A0

- Traçador Gráfico (Plotter) ENCAD NOVAJET II

- Cartas planialtimétricas /DSGE, escala 1:100.000

MI-488 MI-489 MI-542 MI-543.

- Mapas de Levantamento de Solos, Vegetação e Uso Atual na escala 1:100.000, Segundo SANTOS(1993).

3.2. Descrição Geral da Área

A área de estudo (Fig 11.), localiza-se a nordeste do Estado do Pará, delimitada pela bacia do Rio Candiru-Açu, que possui como afluente principal o rio Ipixuna, dentro dos municípios de São Domingos do Capim e Paragominas, ao longo da BR-010, rodovia Belém-Brasília. Possui uma superfície de 1.800km², delimitada pelas seguintes coordenadas:

02°23'S 47°47'WGr 02°23'S 47°10'WGr

03°00'S 47°47'WGr 03°00'S; 47°10'WGr

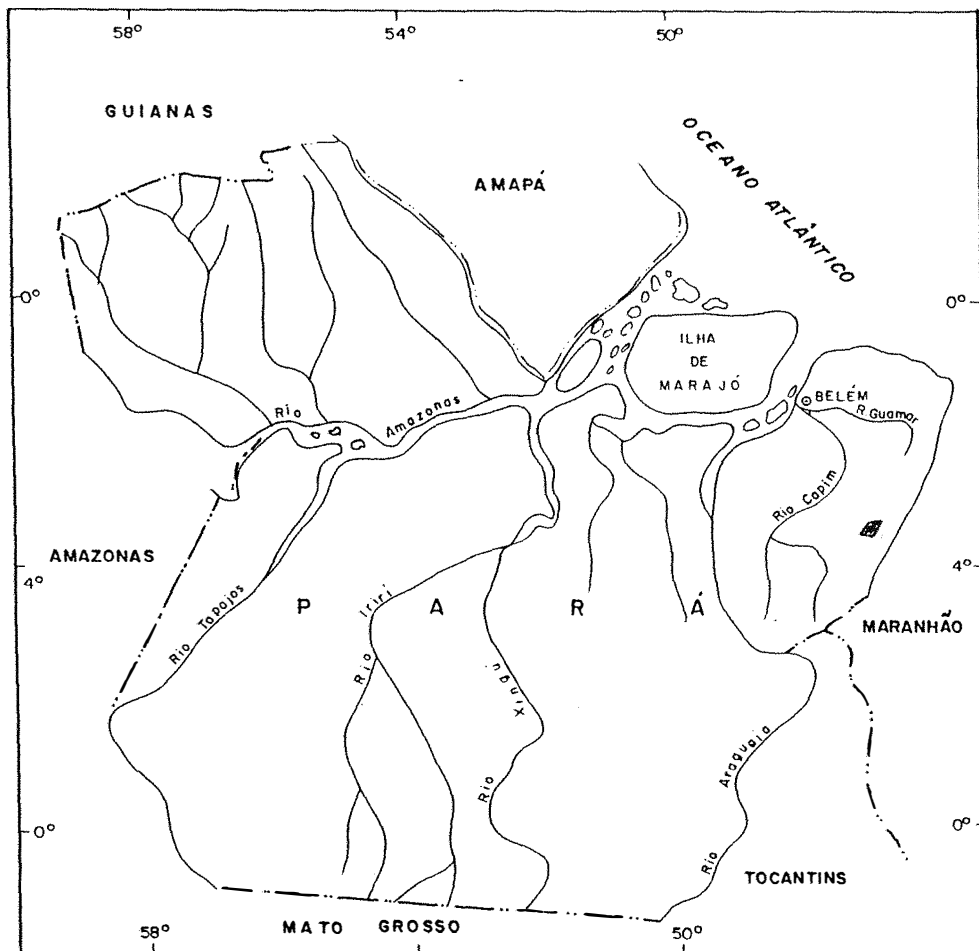


Figura 11. Mapa de localização da área

Durante o desenvolvimento dos trabalhos de escritório e de campo, baseado no estudo de SANTOS(1993), foram confeccionados dois mapas:

- a) Solos
- b) Vegetação/ Uso Atual

Com a identificação das seguintes classes de solos:

- a) Latossolo Amarelo
- b) Solo Podzólico Vermelho-Amarelo
- c) Solos Aluviais

SANTOS (1993) esclarece também que, na região foram identificados os seguintes tipos de vegetação e uso atual:

- Floresta Ombrófila (natural)
- Floresta Ombrófila em regeneração (Capoeira)
- Pecuária
- Cultura Temporárias (arroz, milho, feijão, mandioca)
- Cultura Perenes (dendê e caju)

O relevo da região varia do plano ao forte ondulado, com declividades variando de 0 a 20% aproximadamente, em classes de

relevo, de acordo com normas preconizadas pelo SNLCS - EMBRAPA, (1988):

Plano	0% - 3%
Suave Ondulado	+ 3% - 8%
Ondulado	+8% - 20%
Forte Ondulado	+20% - 45%

3.3. Métodos

3.3.1. Sensoriamento Remoto

Devido ao tamanho da imagem 223/62, utilizada no presente trabalho, foi separada parte dessa com a dimensão de 600x600 pixels para ilustrar este item. A imagem toda foi gravada da fita Streammer para disquetes 3 1/2 HD onde foram feitos os tratamentos necessários para a execução do trabalho.

Essas imagens, em suas bandas originais, sofreram tratamentos na forma de Processamento Digital de Imagens, através da técnica de realce com a manipulação individual dos histogramas originais de cada banda com a finalidade de melhorar a qualidade da cena, com a formação de novas imagens de melhor qualidade onde, posteriormente, foi aplicada a técnica de cor através da composição colorida RGB, com a sobreposição das três cenas já realçadas.

Em todas as etapas, tanto de Processamento Digital como de Sistema de Informação Geográfica(SIG), foram utilizados o SITIM 150 e o SPRING, que foram desenvolvidos pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE, acoplados a computadores PC 486 e Workstations, respectivamente.

Esse tipo de processamento de imagens é o mais simples e utilizado, tornando-se possível através das inúmeras funções que possui o SITIM, listadas a seguir

LISTA DE FUNÇÕES DO SITIM

1. Transferência de Imagens

- Exibição de Imagens
- Exibição de Imagem Temática
- Armazenamento de Imagem em Disco
- Impressão de Imagens
- Lista de Imagens em Disco

2. Manipulação de Imagens em Fita

- Leitura de Fita TM - formato BSQ
- Leitura de Fita TMPT - formato BSQ
- Leitura de Fita SPOT - formato BIL
- Leitura de Fita TIROS (NOAA)
- Armazenamento/Recuperação em Fita
- Lista de Imagens em Fita

3. Manipulação de Imagens em Cartucho

- Leitura Cartucho TM - formato BSQ
- Leitura Cartucho SPOT - formato BIL
- Armazenamento/Recuperação
- Lista de Imagens

4. Tratamento de Imagens

- Geração de Tabela de Cores
- Aplicação de Tabela de Cores
- Lista de Tabelas
- Detecção de Bordas
- Operações Aritméticas
- Eliminação de Ruído

Uniformização de Temas

5. Filtragem Espacial
 - Criação de Máscara
 - Lista de Máscara
 - Filtragem

6. Classificação por Máxima Verossimilhança
 - Inicialização de Sessão
 - Lista de arquivos Maxver
 - Aquisição de Amostras
 - Subtração de Amostras
 - Matriz de Classificação
 - Análise de Amostras
 - Apresentação de Amostras
 - Classificação
 - Exibição de Imagem Temática
 - Apresentação do Arquivo Maxver
 - Seleção de Atributos
 - Reaquisição de Bandas

7. Classificação Determinística
 - Inicialização da Sessão
 - Treinamento Automático
 - Classificação Euclidiana

8. Classificação - Outros
 - Método do Paralelepípedo
 - Fatiamento/Nível de Cinza
 - Fatiamento/Temperatura

9. Registro de Imagens
 - Inicialização de Sessão
 - Definição das Imagens
 - Calibração da Mesa
 - Aquisição de Pontos de Controle IxI (Imagem x Imagem)
 - Aquisição de Pontos de Controle IxM (Imagem x Mapa)
 - Cálculo do Mapeamento
 - Aquisição de Matriz de Reamostragem
 - Registro de Imagens
 - Avaliação de Precisão

10. Rotação Espectral
 - Principais Componentes
 - Análise Canônica
 - Aplicação de Transformação
 - Transformação IHS
 - Realce por Decorrelação
 - Lista de Arquivos

11. Operações no Visualizador
 - Manipulação de Contraste
 - Animação de Imagens

- Colocação de Legendas
- Leitura de Pixel
- Cálculo de Parâmetros Estatísticos
- Apagar Imagem
- Delimitação de Regiões
- Densitômetro
- Exibição de Tabela de Cores

12. Utilitários

- Impressão de Níveis de Cinza
- Leitura de Atributos de Imagens
- Eliminação de Arquivos
- Inicialização da Unidade de Visualização
- Padrão de Calibração
- Inicialização da Unidade de Fita
- Inicialização de Fita
- Teste de Fita Magnética
- Inicialização de Cartucho
- Teste de Cartucho

No entanto, deve ser salientado que, tanto as etapas do Processamento Digital de Imagens como do Sistema de Informação Geográfica, são constituídas de funções de aprendizado puramente prático-visual, isto é, necessitam de uma boa interação máquina/operador, sendo todas as funções solicitadas pelo operador facilmente visualizadas através do monitor e imediatamente entendidas.

3.3.2. Sistema de Informação Geográfica

Esta etapa consta da fotointerpretação do material tratado na fase de sensoriamento remoto, com o delineamento das unidades fisiográficas observadas nas imagens tratadas. Os mapas, elaborados através de fotointerpretação de imagens de satélite na escala

1:100.000, foram complementados com prospecção, através de coleta de amostras de solos e observações diretamente no campo para confirmação da verdade terrestre. Essas coletas e observações seguem normas preconizadas pela EMBRAPA/SNLCS(1988), e LEMOS & SANTOS(1982).

A etapa inicial da entrada de dados no SIG, teve início coma a digitalização dos mapas de solos e vegetação/uso atual, confeccionados por SANTOS(1993), os quais sofrerão tratamento no Sistema de Informação Geográfica-SIG, sendo gerados os Planos de Informação (PI) Solos, Vegetação/Usos Atuais, etc.

Foram confeccionados dois mapas, um de solos e outro de vegetação/uso atual, ambos com legenda que irão constituir, junto com as cartas planialtimétricas, material básico para a confecção dos Planos de Informação a serem digitalizados no SIG. No SIG, após a confecção dos Planos de Informação drenagem, rede viária, solos, vegetação/uso atual, serão gerados novos planos.

Os mapas foram digitalizados com auxílio de microcomputadores do tipo AT 486 DX 66 com 500Mbytes, terminal de vídeo e teclados, com entrada de comunicação serial para conexão da mesa digitalizadora de tamanho A0 e traçador gráfico ("Plotter").

O usuário do SIG, ao utilizá-lo, cria "projetos", os quais reúnem todos os dados de interesse da região que está sendo estudada. Esses projetos compõem os diversos Planos de Informação (PI) que serão armazenados separadamente. Os PIs podem se enquadrar em três categorias: Temática, Modelo Numérico de Terreno (MNT) e Imagem. Os de natureza temática contêm informações planimétricas com objetos contidos no espaço bidimensional. Os de categoria MNT contêm informações de natureza tridimensional, com objetos definidos no espaço x e y acrescidos de um atributo z representado pela cota. Os de categoria de imagem são as imagens não temáticas de sensores remotos.

Sempre que se utilizar o SIG, devem ser seguidas uma série de rotinas que vão permitir a montagem do mesmo. Essas rotinas são divididas em cinco etapas principais, especificados a seguir.

LISTA DE FUNÇÕES DO SIG

1. Definição

- Definir Projeto Ativo
- Definir/Criar PI Ativo
- Definir Parâmetros de PI
- Eliminar PI
- Carregar Tabela de Cores
- Modificar Atributos de Classes
- Configurar Sistema
- Redefinir Projeto Ativo
- Redefinir PI

2. Entrada

- Entrada de Áreas

- Digitalização
 - Digitalizar Arcos
 - Digitalizar Polígonos Abertos
 - Digitalizar Ilhas
- Identificação de Áreas
 - Inserir Centróides
 - Identificar Polígonos Abertos
 - Identificar Ilhas
 - Identificar Arcos
 - Suprimir Centróides
 - Modificar Centróides
- Edição de Linhas
 - Ajustar Manualmente
 - Suprimir
 - Separar
 - Concatenar
- Ajustar Linhas PI
- Poligonalizar PI
- Rotular Polígonos Fechados
- Rotular Polígonos Abertos
- Ler Arquivo ASCII
- Copiar Linhas entre PI
- Entrada de MNT
 - Digitalização
 - Edição
 - Organizar Pontos
 - Gerar Grade Regular
 - Ler Arquivo de Isolinhas
 - Ler Arquivo de Pontos
 - Ler Arquivo Grade
- Entrada de Imagens
- Entrada de Símbolos
- Entrada de Textos
 - Inserir
 - Eliminar
 - Mover
 - Copiar
 - Extrair
 - Editar
 - Definir Atributo
- Criação de Biblioteca de Símbolos
 - Ativar Biblioteca
 - Eliminar Símbolo
 - Recuperar
 - Listar Biblioteca
 - Mudar Nome
 - Criação de Símbolo

3. Conversão

- Converter Vetor-Varredura
- Converter Varredura-Vetor
- Refinar Grade Regular
- Gerar Isolinhas

Converter Resoluções
Converter Projeções
Mascarar Plano
Uniformizar Temas

4. Manipulação

Reclassificar por Classes
Fatiar MNT
Reclassificar por Polígono
Operar Grade
Sobrepor
Cruzar
Ponderar
Combinar Grades
Gerar Mapas de Distâncias
Gerar Declividade
Geração de Perfis em MNT
Calcular Área das Classes
Calcular Volume de MNT
Consulta ao DBase

5. Saída

Listagens

Listar Projetos
Listar Projeção
Listar Linhas PI
Listar Polígono PI
Listar Margem PI
Listar Tabela PI
Listar Amostra 3D PI
Listar Pontos Org. PI
Listar Centróides PI
Listar Rótulos PI
Listar Grade PI

Geração de Cartas

Selecionar PI
Mudança de Parâmetros
Carregar Carta
Salvar Carta
Definição da Folha

Plotar Cartas

Visualizar em 3D
Gerar Imagem Sintética
Gerar Tabulação Cruzada
Geração de Legendas no Monitor

3.3.2.1. Definição:

Dentro dessa etapa, como nas próximas, existe também uma série de rotinas que devem ser rigorosamente seguidas e definidas:

a) Cria ou Ativa Projeto: cria, se não existir ou ativa caso já exista o "projeto", pedindo ao usuário que forneça os dados que possam defini-lo como nome-CAN, escala 1:100.000, poligonal envolvente da área do projeto e sistema de projeção cartográfica-UTM.

b) Cria ou Ativa PI: em seguida solicita ao usuário também criar, caso não exista, ou ativar se já existe o(s) PI(s) ativo, que no presente caso serão drenagem, rede viária, solos, vegetação e uso atual, cruzamento uso/solo=usolo para operar com o fornecimento de parâmetros como nome, escala, categoria (temática ou MNT) e rótulo das classes se o PI for temático.

c) Define Parâmetros do PI: os planos de informação do projeto ativo possuem parâmetros de visualização que são: prioridade, texto, símbolo, formato, cor da linha, canal da UVI (Unidade Visualizadora de Vídeo), cor da linha mestra, interpolador e a altura. Esses parâmetros, como o próprio nome sugere, vão permitir

uma sequência, determinada pelo usuário, para visualização dos vários PIs, com todos os símbolos e textos existentes, características essas definidas pelo próprio usuário para diferenciá-lo dos demais.

d) Define Atributos de Classe: exhibe, permitindo alteração pelo operador, os atributos das classes dos PIs temáticos.

e) Eliminar PI: exclui um PI e todos seus dados a ele associados.

f) Carrega Tabela de Cores: mostra no monitor a tabela gráfica de cores predefinidas para o SIG.

g) Redefine Projeto: redefine informações contidas na estrutura de um projeto já existente, sem redefinir o nome e referencial geográfico.

h) Redefine PI: permite a mudança de qualquer atributo do PI menos o seu nome.

3.3.2.2. Entrada:

Engloba rotinas de preparação da base a ser digitalizada, como também da mesa digitalizadora. Consta do seguinte:

a) Calibração da Mesa Digitalizadora:

permite compensar distorções e enquadrar o material a ser digitalizado, a partir de quatro pontos de controle, mapeando as coordenadas da mesa para as coordenadas de projeção do mapa. A mesa estando acoplada ao microcomputador irá projetar, com essa calibração, o cursor piscando no monitor da UVI.

b) Entrada de Áreas: permite ao usuário a entrada dos mapas temáticos na forma de planos de informação. As fases dessa etapa incluem (ver listagem) a Digitalização das áreas dos mapas temáticos em todos seus aspectos. Essa etapa é muito importante pois abrange uma boa parte do volume do trabalho.

c) Ajuste de Linhas: após essa etapa, seguem-se o Ajuste de Linhas que pode ser automático inicialmente e manual posteriormente com tolerância de 0,3mm, evitando erros de fechamento dos polígonos, conforme advertem SANO et al.(1993). Caso duas pontas não se encontrem fechando o polígono, é feita uma ampliação (Zoon) para observar as suas posições. Através das etapas de Supressão, Divisão, Concatenação as duas pontas das linhas separadas poderão se unir e fechar o polígono.

Outro cuidado muito grande a ser tomado é na digitalização de polígonos isolados, denominados "ilhas", pois os mesmos só devem possuir um ponto inicial e final coincidentes, caso contrário não fecham, prejudicando etapas como a Poligonalização.

d) Inserir Centróides: é outra etapa em que se deve ter muito cuidado, pois na fase de poligonalização os polígonos são fechados a partir dos arcos em torno do centróide.

e) Poligonalização: é também responsável pela topologia e relação de vizinhança entre polígonos. A poligonalização é iniciada pelas duas linhas mais próximas ao centróide em questão, que fecha o polígono em torno do mesmo, iniciando-se da linha a direita mais próxima, desse modo, se houver um polígono isolado, uma ilha por exemplo, muito próximo ao centróide, a poligonalização abrangeria os limites da ilha como sendo o limite externo do polígono acarretando erro, na operação.

f) Entrada de MNT: Esse conjunto de funções pode ser usado se o PI ativo é de categoria modelo numérico de terreno. De acordo com FELGUEIRAS & CÂMARA(1993), o armazenamento das amostras 3D consta de digitalização dos dados pontuais x, y, z ou curvas de isovalor ou pontos isolados, obtendo-se

um arquivo de pontos 3D e um arquivo de linhas. Essa etapa permite também alterar dados de MNT, gerar árvore permitindo também uma separação eficiente de amostras no espaço. Gera também uma grade regular a partir de pontos digitalizados, utilizando um dos vários interpoladores disponíveis.

3.3.2.3. Conversão

Após feita a entrada de todos os Pls foi realizada a conversão do formato dos dados, com a realização da seguinte operação:

a) Converter Vetor-Varredura: consta da conversão de todos os polígonos vetorialmente digitalizados e corrigidos, durante a entrada de dados para o formato raster. Essa etapa, também chamada de Rasterização, consta de converter os mapas vetoriais para imagens raster com resolução de 50 metros. Essa etapa também quantifica todas as áreas digitalizadas.

Como foi visto anteriormente, essas etapas são decisivas para a confecção de um produto final de ótima qualidade, como também continuidade do mesmo, haja vista que se uma etapa não for feita dentro dos padrões estipulados, as próximas não poderão ser

executadas. Todas as etapas requerem do usuário muita atenção e controle das operações.

3.3.2.4. Manipulação

Essa etapa consta do manuseio, feito pelo computador, do produto (PI) ora confeccionado. Serão feitas as seguintes operações:

a) Sobrepor: consta da sobreposição de planos, gerando um novo plano, através da combinação das classes de outros dois. Foi feita a sobreposição do Plano Solo(Anexo 1) com o Vegetação/Usos(Anexo 2), gerando o plano USolo(Anexo 3).

b) Cruzar: o SIG permite cruzar até 10 Planos de Informação. Foi feita através de um arquivo ASCII (arquivo de regras) que constou em definir, em primeiro lugar, os planos a serem cruzados com a listagem das classes dos planos a serem relacionadas entre si e o resultado final desse cruzamento. Finalmente efetuou-se as regras propriamente dita, isto é como fazer a notação para que o computador entenda e execute a operação.

c) Calcular Área das Classes: calculou a área de cada plano digitalizado (Tabelas 3, 4 e 5), quando foram feitas as operações de inserção de centroides e poligonalização.

3.3.2.5. Saída

É a etapa e objetivo final do SIG, que consta da exibição e confecção do produto final, constou de:

a) Listar Tabela: emite a relação das classes de cada plano digitalizado e cruzado, com o fornecimento da área de cada um

b) Geração de Cartas: possibilitou a criação de um documento cartográfico através do monitor, de um traçador ou Plotter, ou impressora acoplada.

c) Geração de Legendas: foram inseridas as legendas, símbolos e textos explicativos dos planos digitalizados e cruzados de forma a permitir a produção de um documento cartográfico completo a ser emitido no monitor ou no Plotter.

Foram identificadas segundo SANTOS (1993) as seguintes classes de solos e suas variações:

LATOSSOLO AMARELO

LAa₁ -LATOSSOLO AMARELO ÁLICO A moderado
textura muito argilosa fase floresta ombrófila densa relevo plano e
suave ondulado.

LAa₂ -LATOSSOLO AMARELO ÁLICO A moderado
textura média fase floresta ombrofila densa relevo plano e suave
ondulado.

LAa₃ -LATOSSOLO AMARELO ÁLICO A moderado
textura muita argilosa fase pedregosa I floresta ombrófila densa
relevo forte ondulado + LATOSSOLO AMARELO ÁLICO A moderado
textura muita argilosa fase floresta ombrófila densa relevo suave
ondulado.

LAa₄ -LATOSSOLO AMARELO ÁLICO A moderado
textura muito argilosa fase pedregosa I floresta ombrófila densa
relevo forte ondulado + SOLO PODZÓLICO-VERMELHO AMARELO
Tb ÁLICO A moderado textura arenosa/média fase floresta ombrófila
densa relevo plano.

LAa₅ -LATOSSOLO AMARELO ÁLICO A moderado
textura média fase floresta ombrófila densa relevo suave ondulado e
ondulado + LATOSSOLO AMARELO ÁLICO A moderado textura

muito argilosa fase pedregosa I floresta ombrófila densa relevo ondulado e forte ondulado.

LAd₆-LATOSSOLO AMARELO DISTRÓFICO A moderado textura média fase floresta ombrófila densa relevo plano e suave ondulado + LATOSSOLO AMARELO ÁLICO A moderado textura muito argilosa fase pedregosa I floresta ombrófila densa relevo plano e suave ondulado.

SOLO PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO

PV_a-SOLO PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO Tb ÁLICO A moderado textura arenosa/média fase floresta ombrófila densa relevo plano

SOLOS ALUVIAIS

A_a-SOLOS ALUVIAIS Tb ÁLICO A moderado textura arenosa fase floresta ombrófila densa relevo plano + SOLOS HIDROMÓRFICOS INDISCRIMINADOS fase floresta ombrófila densa aluvial relevo plano.

Os tipos de cobertura vegetal e uso atual identificados foram os seguintes:

FLORESTA OMBRÓFILA densa

FLORESTA OMBRÓFILA em regeneração (CAPOEIRA)

PECUÁRIA

CULTURAS TEMPORÁRIAS (arroz, milho, feijão, etc)

CULTURAS PERENES (dendê, caju).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Sensoriamento Remoto

A cena 223/62 do sensor TM nas bandas 3, 4, e 5 sofreu processamento digital por meio de realce através da modificação nos seus histogramas originais, sem tratamento, sendo apresentados nas Figuras 13, 16 e 19, com as seguintes cenas (Figuras 12, 15a e 18a), e composição colorida (Figura 21a).Os histogramas modificados, apresentados nas Figuras 14, 17 e 20, produziram cenas já realçadas, Figuras.12b, 15b e 18b e composição colorida (Figura 21b).

Numa análise individual, que se pode acompanhar pela visualização da Figura 12 até a Figura 21 e Tabela 3, pode-se constatar que:

- a banda 3, originalmente sem processamento, não pôde ser reproduzida em foto por apresentar-se muito escura no monitor, com valores dos Níveis de Cinza-NC (Tabela 3) variando de 0 a 221, sendo o NC mais populoso o de valor 14 e a média de concentração



Figura 12. Fotografia mostrando a cena processada da banda 3.

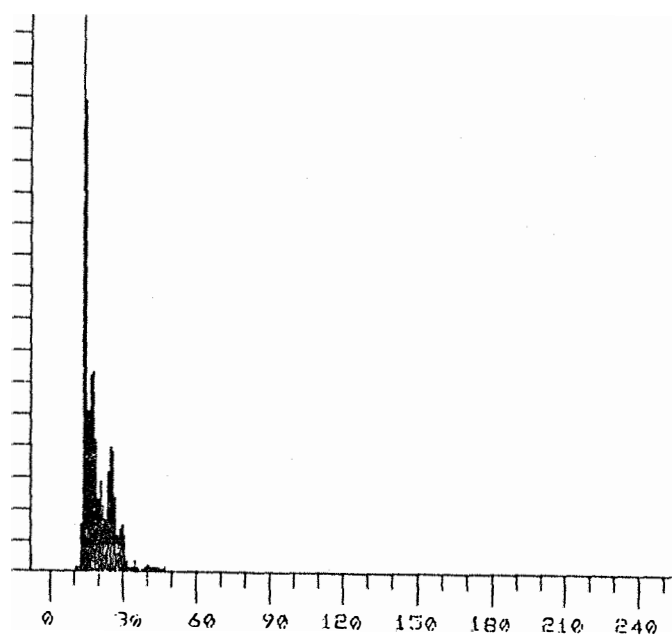
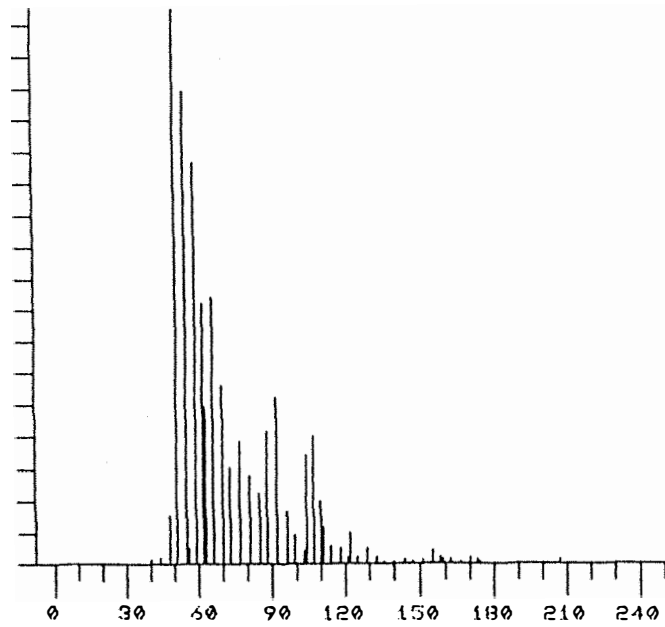
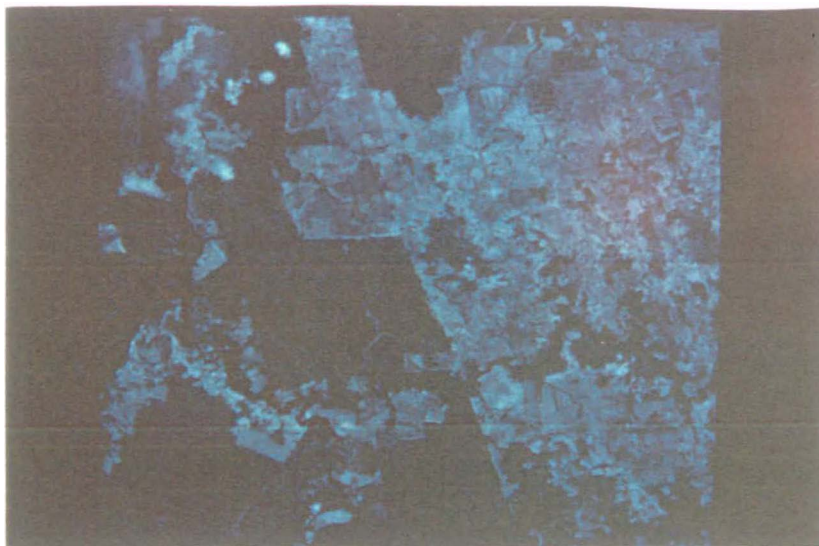


Figura 13. Histograma fotografado e impresso referente a banda 3, sem processamento.



**Figura 14. Histograma fotografado e impresso referente a banda 3,
com processamento.**

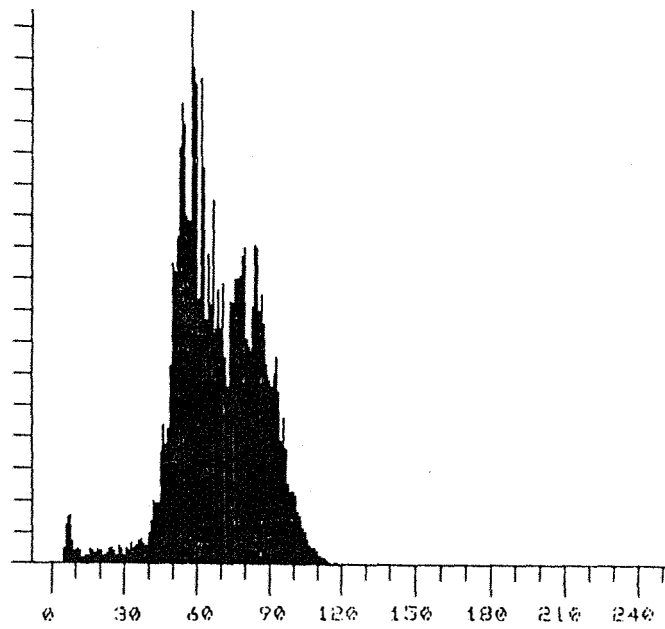


a)



b)

Figura 15. Fotografia mostrando: a) cena não processada; b) cena processada, referente a banda 4.



**Figura 16. Histograma fotografado e impresso referente a banda 4,
sem processamento.**

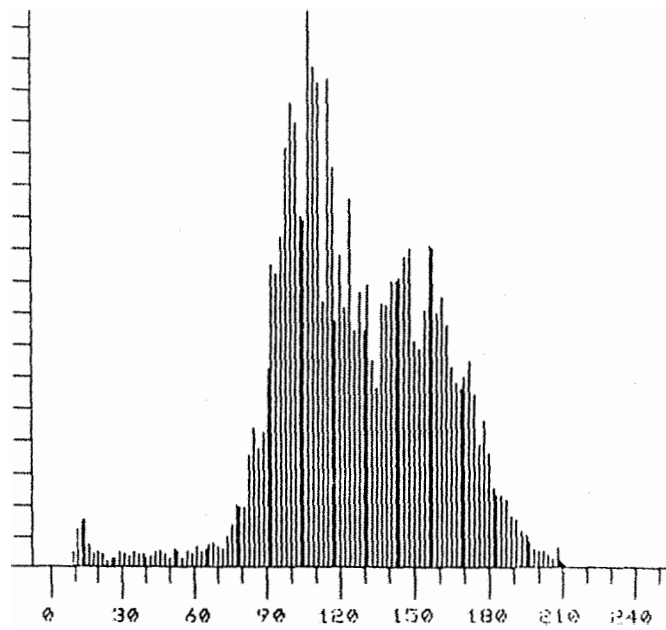
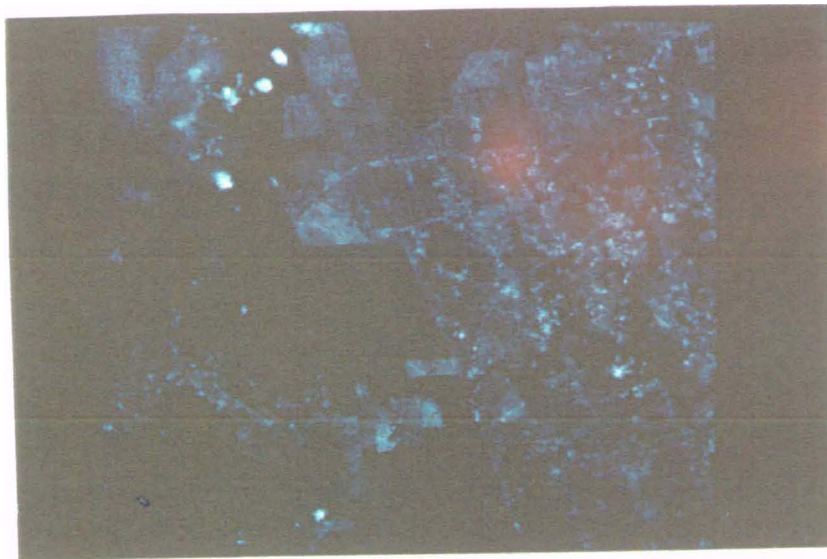


Figura 17. Histograma fotografado e impresso referente a banda 4, com processamento.



a)



b)

Figura 18. Fotografia mostrando: a) cena não processada; b) cena processada, referente a banda 5.

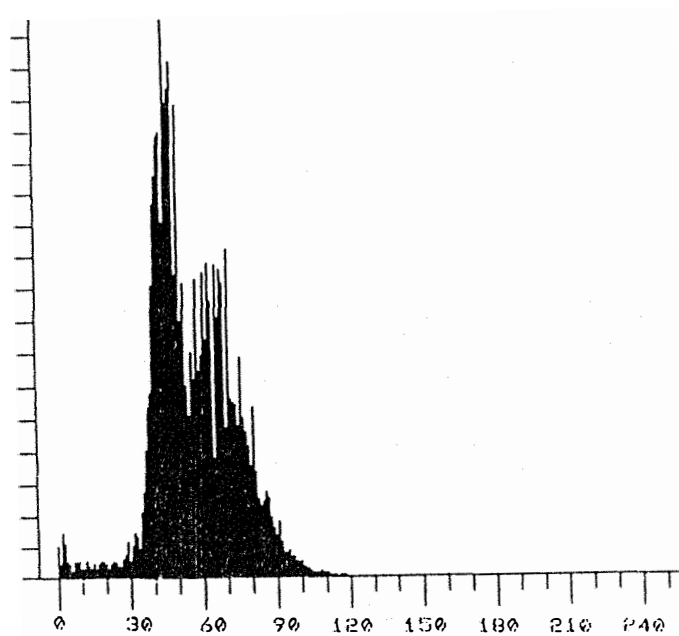
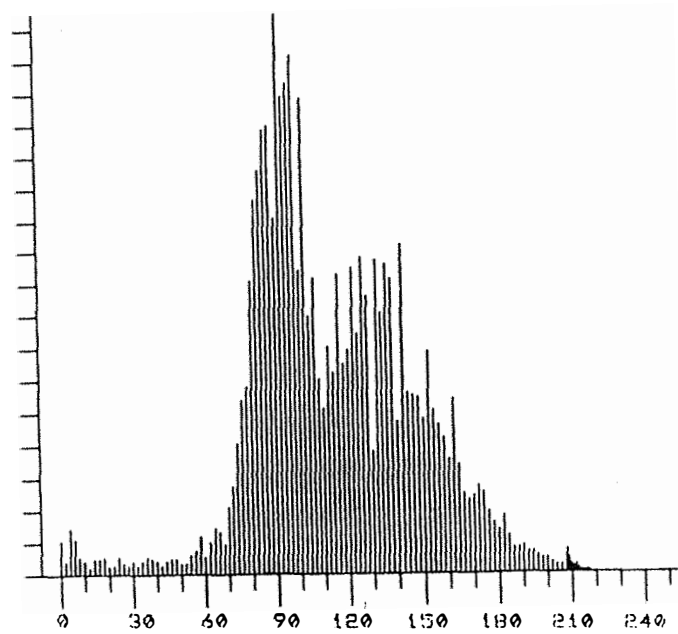
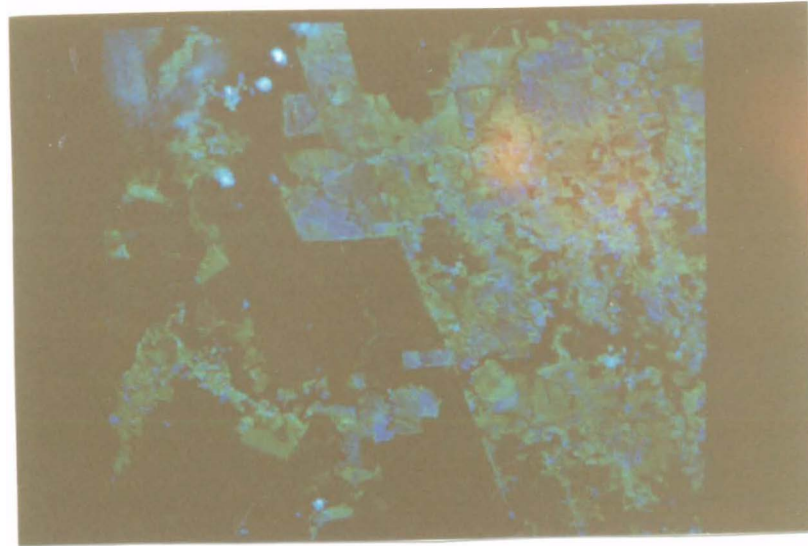


Figura 19. Histograma fotografado e impresso referente a banda 5, sem processamento.



**Figura 20. Histograma fotografado e impresso referente a banda 5,
com processamento.**



a)



b)

Figura 21. Composição colorida referente as bandas 3, 4 e 5: a) sem processamento; b) com processamento.

Tabela 3. Cálculos estatísticos dos Histogramas provenientes das imagens originais e processadas.

Bandas	Imagem	Distribuição dos níveis de cinza			
		Média	menor	maior	+ populoso
3	original	19,64	0	221	14
	processada	73,18	0	251	51
4	original	67,97	0	173	58
	processada	125,78	0	228	107
5	original	56,71	0	255	46
	processada	113,16	0	255	92

dos NC por volta do valor 19, conforme mostra a fotografia do histograma e a sua impressão, apresentados na Figura 13.

A razão pela qual a banda 3 apresentou-se completamente escura no monitor deve-se ao fato que aproximadamente 54% da área é composta de floresta nativa e 30% de floresta em regeneração ou seja, apresenta quase 85% de área coberta por vegetação densa.

O conhecimento do comportamento espectral dos objetos na superfície imageada, é fundamental para extrair informações dos dados das imagens de sensores.

É sabido que a vegetação desempenha importante papel na análise de informações de imagens digitais por ser o um dos primeiros alvos captado pelo sistema sensor e apresentar uma curva espectral fotossinteticamente ativa bastante característica.

A vegetação apresenta, nas três regiões espectrais em que se divide, uma que vai até $0,7\mu\text{m}$, onde ocorre a mais baixa reflectância da vegetação ($\rho < 0,2$), prevalecendo a absorção da radiação incidente pelos pigmentos da planta (carotenoides e clorofila).

A banda 3, possuindo uma faixa espectral que vai $0,63$ a $0,69\mu\text{m}$ (Tabela2), está totalmente enquadrada nessa região

espectral(até $0,7\mu\text{m}$), onde a vegetação apresenta a mais baixa reflectância.

Dessa maneira, a vegetação absorve toda a radiação não enviando nenhuma resposta ao sensor; embora existindo área sem vegetação, a grande região coberta por mata nativa e em regeneração prevalece sobre as demais, mascarando-as, justificando dessa forma, o realce com modificação dos histogramas visando suavizar a grande absorção.

A mesma imagem nessa banda já processada(Figura 12), teve seu histograma modificado (Figura 14), ampliando o intervalo dos valores de NC de 0 a 221 para 0 a 251, o NC mais populoso o de 14 para o valor 51 e a média de concentração dos NC de 19 o valor 73(Tabela 3), tornando-a apta para análise.

- a banda 4 (Figura 15a), sem nenhum processamento apresentou-se escurecida no monitor, porém em menor intensidade, com valores de NC (Tabela 3) entre 0 e 173, o NC mais populoso possui valor 58 e a média com valor 68 aproximadamente (Figura 16).

Fato semelhante ao da banda 3 ocorre em menor intensidade, decorrente da banda 4 possuir intervalo de faixa espectral $0,76$ a $0,90\mu\text{m}$ (Tabela 2), localizada em parte da segunda

região da curva espectral da vegetação que vai de 0,7 a 1,3 μm , onde ocorre a maior reflectância da vegetação devido a interferência da estrutura celular.

Após o tratamento (Figura 15b) apresenta valores de NC que antes eram de 0 a 173 agora variam de 0 a 228, o NC mais populoso possui valor que antes era 58 agora é 107 e a média mudou de 67 para 125 aproximadamente (Figura 17).

- a banda 5 (Figura 18a), antes do processamento, apresenta valores de NC (Tabela 6 e Figura 19), neste caso espalhados ao longo de todo o intervalo, variando de 0 (preto) a 255 (branco), já que para os atuais sistemas sensores temos 256 nuances entre o preto e o branco, o NC mais populoso localiza-se no valor 46 e a média de concentração dos NC por volta do valor 56 aproximadamente. Com o tratamento (Figura 18b), os valores de NC permaneceram espalhados ao longo dos 256 níveis, o NC mais populoso passou a ter valor 92 e a média de concentração ficou em 113 aproximadamente (Figura 20).

A banda 5 apresenta faixa espectral entre 1,55 e 1,75 μm localizada em parte da terceira região da curva de reflectância da vegetação que vai de 1,3 a 2,5 μm onde a reflectância é dominada pelo teor de água das folhas com dois pontos máximos em 1,4 μm e 1,95 μm .

Vale salientar que, apenas uma pequena parte da faixa espectral da banda encontra-se na terceira região da curva sendo pouco afetada pelos efeitos mascaradores da absorção

Como pode-se observar, existem três bandas operando em faixas espectrais diferentes, imageando um alvo(vegetação) que possui três regiões espectrais distintas em sua curva de reflectância, onde a banda 3 opera na região de menor reflectância, a banda 4 na região da maior e a banda 5 na região de média reflectância.

Vale salientar no entanto que, para estudos de caracterização ambiental, o uso das bandas isoladamente é tão importante quanto ao uso de composições coloridas, como também o tipo de alvo a ser estudado. Dessa maneira podemos lançar mão das diversas opções que nos são oferecidas.

Como mencionado anteriormente, esse tipo de técnica é a mais simples e usada em processamento digital. Existem técnicas avançadíssimas que permitem extrair das imagens de sensoriamento remoto, informações específicas ao tipo de trabalho que se está desenvolvendo.

Grandes avanços e sofisticações vem ocorrendo repentinamente na área de sensoriamento remoto, através do lançamento e operação de novas plataformas orbitais voltadas para o

levantamento e monitoramento dos recursos naturais dotados de resoluções espectrais, radiométricas e espaciais mais poderosas, como também com o lançamento de plataformas dotadas sensores ativos atuando na faixa das microondas, capazes de imagear a superfície terrestre sem a interferência das condições atmosféricas.

Isso está propiciando também, o desenvolvimento de novos sistemas de tratamento de imagens sofisticados e compatíveis com os novos sistemas de aquisição de dados lançados e a serem lançados.

4.2. Sistema de Informação Geográfica

O estudo inicialmente pretendia testar a capacidade do MaxCAD na geração de planos de informação, embora esse programa não seja um SIG, apresenta um bom desempenho e operacionalização na área de desenho automatizado com a criação de polígonos e uma boa interação com alguns SIGs. Devido problemas de disponibilidade de equipamento ficou impossível a sua utilização.

Devido essa impossibilidade, optou-se em avaliar o potencial do SPRING, que está sendo desenvolvido pelo INPE em

parceria com a EMBRAPA e na ocasião encontrava-se na versão 0,5.

Os dados do estudo que inicialmente haviam sido tratados e gerados planos de informação Solos e Vegetação/Usos Atuais no SITIM-SIG, que opera em ambiente MS-DOS, poderiam ser importados pelo SPRING, que opera em ambiente UNIX e testar tanto essa importação, como a própria operacionalização do sistema.

Em termos de importação e operacionalização o SPRING funcionou muito bem, porém ao se tentar gerar o plano de informação declividade, com o auxílio das cartas planialtimétricas, o sistema se mostrou impotente mesmo após sugestões acrescentadas nas versões seguintes que foram postas à disposição dos usuários (versões 1,0 e 1,1).

ALVES(1993) conseguiu gerar mapas de declividade utilizando outros sistemas já testados e consagrados.

Com a importação para o SPRING e alguns acertos dos planos de informação Solos (Anexo 1) e Vegetação/Usos atuais (Anexo 2), foram gerados no SITIM-SIG, foram geradas as Tabelas 4 e 5, posteriormente, com o resultado do cruzamento de ambos originou o Plano USol (Anexo 3), com a geração da Tabela 6 permitindo a

confeção dos gráficos compondo as Figuras 22 e 23 que melhor elucidam a relação solo versus vegetação/uso, considerando as variáveis utilizadas na sua classificação.

Desde o momento em que os mapas são digitalizados em mesa digitizadora, passam por todas as etapas citadas no capítulo anterior, constando de tarefas criteriosas, contidas no próprio

Tabela 4. Classes do Plano de Informação Solos e suas fases, com suas respectivas áreas.

SOLOS	ÁREA (Km ²)
LATOSSOLO AMARELO	
- LA _{a1} - LATOSSOLO AMARELO ÁLICO A moderado textura muito argilosa fase floresta ombrófila densa relevo plano e suave ondulado (Sol.1).	673,4
- LA _{a2} - LATOSSOLO AMARELO ÁLICO A moderado textura média fase floresta ombrófila densa relevo plano e suave ondulado(Sol.2).	342,5
- LA _{a3} - LATOSSOLO AMARELO ÁLICO A moderado textura muito argilosa fase pedregosa I floresta ombrófila densa relevo forte ondulado + LATOSSOLO AMARELO ÁLICO A moderado textura muito argilosa fase floresta ombrófila densa relevo suave ondulado(Sol.3).	114,3
- LA _{a4} - LATOSSOLO AMARELO ÁLICO A moderado textura muito argilosa fase pedregosa I floresta ombrófila densa relevo forte ondulado + SOLO PODZÓLICO VERMELHO AMARELO Tb ÁLICO a moderado textura arenosa/média fase floresta ombrófila densa relevo plano. (Sol.4).	174,3
- LA _{a5} - LATOSSOLO AMARELO ÁLICO A moderado textura média fase floresta ombrófila densa relevo suave ondulado e ondulado + LATOSSOLO AMARELO ÁLICO A moderado textura muito argilosa fase pedregosa I floresta ombrófila densa relevo ondulado e forte ondulado(Sol.5).	308,3
- LA _{a6} - LATOSSOLO AMARELO DISTRÓFICO A moderado textura média fase floresta ombrófila densa relevo plano e suave ondulado + LATOSSOLO AMARELO ÁLICO A moderado textura muito argilosa fase pedregosa I floresta ombrófila densa relevo plano e suave ondulado (Sol.6).	148,9
SOLO PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO	
- PV _a - SOLO PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO Tb ÁLICO A moderado textura arenosa/média fase floresta ombrófila densa relevo plano (Sol.7).	111,5
SOLOS ALUVIAIS	
- A _a - SOLOS ALUVIAIS Tb ÁLICO A moderado textura arenosa fase floresta ombrófila densa relevo plano + SOLOS HIDROMÓRFICOS INDISCRIMINADOS fase floresta ombrófila densa aluvial relevo plano.(Sol.8).	36,3

Tabela 5. Classes do Plano de Informação Vegetação/Usos atuais, com suas respectivas áreas

VEGETAÇÃO / USO ATUAL	ÁREA (Km ²)
1. U - FLORESTA OMBRÓFILA densa	1031,3
2. U - FLORESTA OMBRÓFILA em regeneração (Capoeira)	243,0
3. U - PECUÁRIA	572,8
4. U - AGRICULTURA INTENSIVA (arroz, milho, feijão)	48,8
5. U - AGRICULTURA EXTENSIVA (dendê, caju)	13,8

Tabela 6. Classes resultantes do cruzamento dos Planos de Informação Solos com Vegetação/Useo Atual, com suas respectivas áreas em km² individual por plano e por cruzamento dos planos..

SOLOS	VEGETAÇÃO				
	1.U	2.U	3.U	4.U	5.U
	1031,3	243	572,8	48,8	13,8
Sol.1	1.USol.1	2.USol.1	3.USol.1	4.USol.1	5.USol.1
673,4	498,6	54,5	118,2	1,4	1,0
Sol.2	1.USol.2	2.USol.2	3.USol.2	4.USol.2	5.USol.2
342,5	113,0	58,5	156,0	5,0	10,0
Sol.3	1.USol.3	2.USol.3	3.USol.3	4.USol.3	5.USol.3
114,3	46,4	22,1	45,8	0,0	0,0
Sol.4	1.USol.4	2.USol.4	3.USol.4	4.USol.4	5.USol.4
174,3	136,4	15,9	10,6	11,4	0,0
Sol.5	1.USol.5	2.USol.5	3.USol.5	4.USol.5	5.USol.5
308,2	95,3	38,4	163,9	7,8	2,8
Sol.6	1.USol.6	2.USol.6	3.USol.6	4.USol.6	5.USol.6
148,9	65,9	40,0	32,4	10,6	0,0
Sol.7	1.USol.7	2.USol.7	3.USol.7	4.USol.7	5.USol.7
111,5	62,3	9,9	28,7	10,6	0,0
Sol.8	1.USol.8	2.USol.8	3.USol.8	4.USol.8	5.USol.8
36,3	13,4	3,7	17,2	2,0	0,0

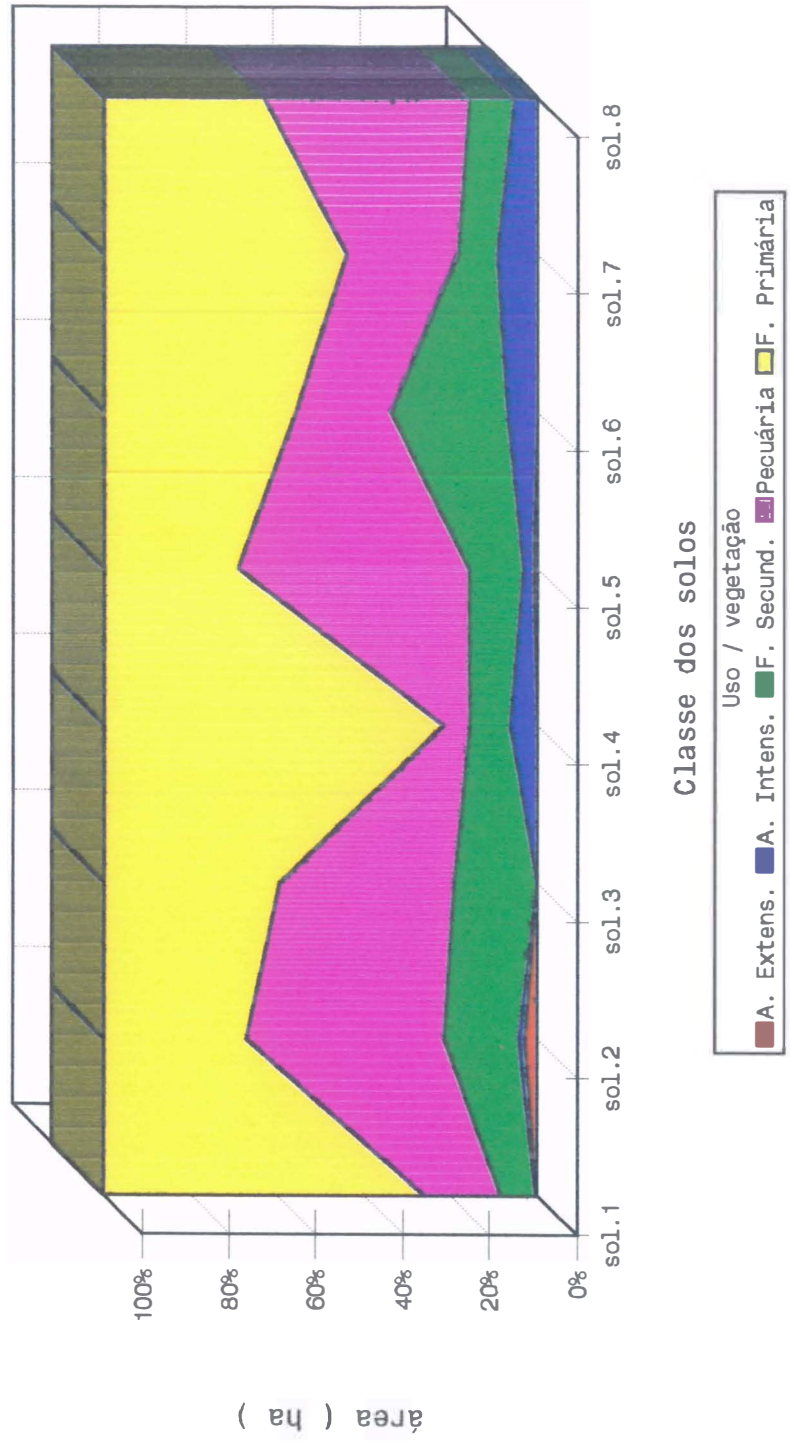


Figura 22 Distribuição espacial das classes resultantes do cruzamento dos planos de informação solo vs uso / vegetação.

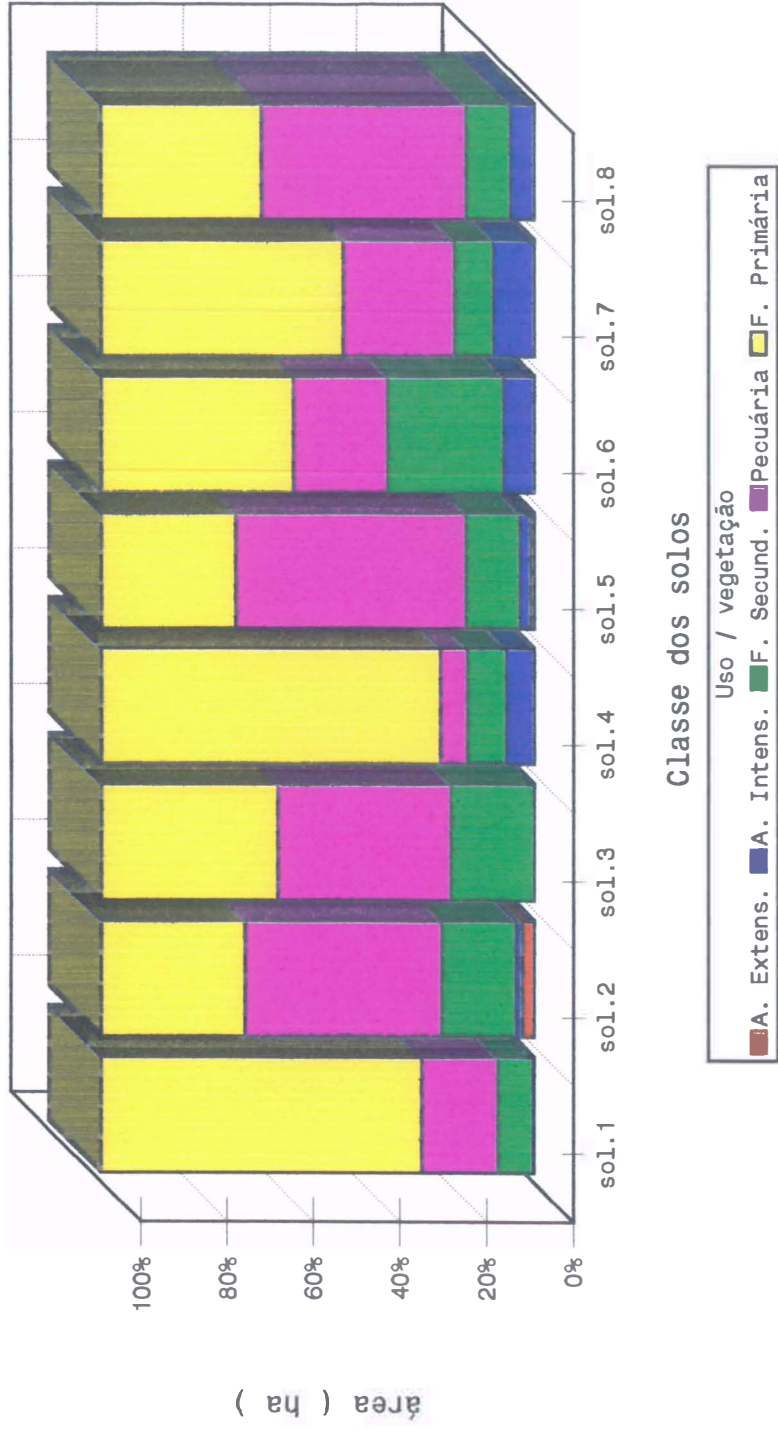


Figura 23. Distribuição espacial das classes resultantes do cruzamento dos planos de informação solo vs uso / vegetação.

software, que irão culminar com a elaboração de cartas confeccionadas por equipamentos traçadores, conhecidos como Plotter que nada mais são do que sofisticadas impressoras de mapas.

Vale salientar que, trabalhos feitos por métodos convencionais servem de subsídios importantes para trabalhos futuros, principalmente considerando que são fontes de entrada de dados para cruzamento de dados em SIGs.

4.3. Comentários Finais e Sugestões

Infelizmente devido problemas operacionais do sistema não foi possível gerar outros planos de informação e cruzá-los. Tal possibilidade permitiria tirar conclusões mais importantes sobre a região.

Um dos grandes problemas existentes, é encontrar pesquisadores de diversas áreas dispostos a testar e sugerir alterações no SPRING de modo a torná-lo operacional em suas áreas de trabalho.

A tendência é utilizar os programas importados, que já se encontram consagrados no mercado esquecendo de que o SPRING é fruto de estudos e pesquisa de pesquisadores brasileiros

que, para se tornar operacional, necessita ser testado por nós procurando operacionalizá-lo de acordo com nossas necessidades.

5. CONCLUSÕES

Nas condições em que o trabalho foi realizado, pode-se concluir que:

a) em média, 54 % da área estudada é composta de floresta nativa(1U), a qual é contemplada em todas as classes de solo, com predominância na classe Sol 1, a qual apresenta boas características químicas e físicas com condições de relevo razoáveis para uma utilização agrícola.

b) a utilização com pastagem(3.U) vêm em segundo lugar, com um percentual médio de 30% da área, ocorrendo, também, em todas as classes de solo, com destaque para Sol.1, Sol.2 e Sol.5, o que demonstra a vocação para a pecuária na região.

c) a área de floresta secundária(Capoeira) ocupa o terceiro lugar em tamanho, demonstrando talvez uma preocupação em recuperar áreas já degradadas.

d) as áreas de agricultura intensiva e extensiva não representam praticamente nada em termos percentuais, ficando sua utilização restrita aos pequenos agricultores da região.

e) a classe Sol 8, representada pelos Solos Aluviais, constitui a classe de solo menos utilizada, devido à sua pequena extensão e, talvez, às dificuldades para o seu aproveitamento.

f) uma das vantagens na utilização dos SIGs na caracterização ambiental é a possibilidade de geração de tabelas, com a extensão das classes que constituem os planos gerados por eles, e o cruzamento das mesmas, o que permite tirar importantes conclusões sobre a utilização dos solos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, M.S. ; FELGUEIRAS, C.A. ; SHIMABUKURO, Y.E. Sistema de Informação Geográfica Aplicado ao Manejo de Florestas Implantadas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOPROCESSAMENTO, São Paulo, 1990. Geoprocessamento; anais. São Paulo, USP/Escola Politécnica,1990. p 262 ~ 5.

ALVES, L. M. Sistema de Informação Geográfica como instrumento para o planejamento de uso da terra em bacias hidrográficas. Viçosa,1993. 112p. (Doutorado ~ Universidade Federal de Viçosa)

AMARAL, G. Princípios de Sensoriamento Remoto. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOPROCESSAMENTO, São Paulo, 1990. Geoprocessamento; anais. São Paulo, USP/Escola Politécnica, 1990. p. 27 ~ 36.

AMARAL, G. Introdução ao sensoriamento remoto e suas aplicações. Campinas, UNICAMP/IG; São Paulo, USP/IG, 1992. 124p.

- ARONOFF, S. Geographic Information Systems; a management perspective. Ottawa, WDL 1989. 294p.
- ASSAD, E. D.; SANO, E. E. ; MEIRELLES, M.L.; MOREIRA, L. Estruturação de dados geoambientais no contexto de microbacias hidrográficas. In: ASSAD, E. D. & SANO, E. E. Sistema de Informação Geográfica: aplicações na agricultura. Planaltina, EMBRAPA/CPAC, 1993. cap. 4, p. 89 - 108.
- BOUERI, J. Tecnologias de CAD e SIG: Aplicações no Projeto Urbanístico. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOPROCESSAMENTO, São Paulo, 1990. Geoprocessamento, anais. São Paulo, USP/Escola Politécnica 1990. p.342 - 6.
- BRASIL. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto RADAM; folha SA. 23: São Luís e parte da Folha SA. 24 - Fortaleza; geologia, geomorfologia, solos, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1973. (Levantamento de Recursos Naturais, 3).
- BUDOWSKI, G. Los sistemas agroflorestales en Centro America. In: AGROFORESTERIA, Turrialba, 1981. Actas. Turrialba, CATIE, 1984. p.15 - 24.

BURROUGH, P. A. Principles of Geographical Information Systems for land resources assessment. London, Clarendon Press, 1986.

193p.

CÂMARA, G. Anatomia de Sistema de Informações Geográficas visão atual e perspectivas de evolução. In: ASSAD, C. D. & SANO, E. E. Sistemas de Informações Geográficas: aplicações na agricultura. Planaltina, EMBRAPA/CPAC 1993. cap. 1, p.15 - 37.

CÂMARA, G.; SOUZA, R. C. M. de; FREITAS, U. M.; PAIVA, J. A. SPRING: concepção, evolução e perspectivas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 7., Curitiba, 1993. Anais. São José dos Campos, INPE, 1993. p.308 - 17.

COWEN, D. J. GIS versus CAD versus DBMS: What Are the Differences? . Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 54 (11): 1551-5, Nov 1988.

CRÓSTA, A. P. Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto. Campinas, UNICAMP/IG, 1992. 170p.

DATE, C. J. Introdução a sistema de banco de dados. Rio de Janeiro, Ed. Campus, 1986.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Critérios para distinção das classes de solo e de fases de unidades de mapeamento: normas em uso pelo SNLCS. Rio de Janeiro, 1988. 87p. (Documentos, 11).

FELGUEIRAS, C. A. & CÂMARA, G. Sistema de Informações Geográficas do INPE. In: ASSAD, E. D. & SANO, E. E. Sistema de Informações Geográficas: aplicações na agricultura. Planaltina, EMBRAPA/CPAC, 1993. cap. 2, p. 41 - 59.

GARCIA, G. J. Sensoriamento remoto: princípios e interpretação de imagens. São Paulo, Nobel, 1982. 357p.

GUIMARÃES FILHO, H. A & CRÓSTA, A. P. Digitalização de mapas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 7., Curitiba, 1993 Anais São José dos Campo, INPE, 1993. p.351 - 8.

HABERACKER, P. Digital image processing. München, Fachhochschule, 1984.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS/ENGESPAÇO
INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA. SITIM 150; Sensoriamento
remoto: manual do usuário. São José dos Campos, 1988. 151p.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS/ENGESPAÇO
INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA. Sistema de Informações
Geográficas - SIG; manual do usuário; Versão 2.0 São José dos
Campos, 1988. 162p.

KOFFLER, N. F. Introdução ao sensoriamento remoto; apontamentos
de aula. Piracicaba, ESALQ, 1992. 101p.

LEMOS, R. C. & SANTOS, R. D. dos. Manual de descrição e coleta de
solos no campo. 2ed. Campinas, SBCS, 1982. 45p.

MARCHETTI, D. A. B. & GARCIA, G. J. Princípios de fotogrametria e
fotointerpretação. São Paulo, Nobel, 1977. 257p.

MARTINI, P.R. Imagens de sensores orbitais disponíveis no Brasil. In:
SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOPROCESSAMENTO, São Paulo,
1990. Geoprocessamento; anais. São Paulo, USP/Escola
Politécnica, 1990. p 153 - 67.

MENEZES, P. M. L. de Aquisição, tratamento e armazenamento de Dados de Cartas Topográficas Digitalizadas. Rio de Janeiro, 1987 (Mestrado ~ Instituto Militar de Engenharia).

MIRANDA, E. E. de Geoprocessamento em análise ambiental: a experiência da EMBRAPA. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOPROCESSAMENTO, São Paulo, 1990. Geoprocessamento; anais. São Paulo, USP/Escola Politécnica, 1990. p 198 - 203.

NOVO, E. M. L de M. Sensoriamento remoto: princípios e aplicações. 2ed. São José dos Campos, Edgard Blucher, 1989. 308 p.

NAIR, P. K. R. Agroforestry systems in the tropics. Dordrecht, Kluwer Academic, 1989. 664p.

OLIVEIRA, C. de Curso de cartografia moderna. Rio de Janeiro, IBGE, 1988. 152p.

PAINHO, M. & GUEVARA, A. Sistema de Informação Geográfica: conceitos, tecnologia e aplicações. In: WORKSHOP BRASILEIRO SOBRE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA, 1., Brasília, 1989. Anais

PARADELLA, W.R. Introdução ao processamento digital de imagens de sensoriamento remoto aplicados à geologia. São José dos Campos, INPE, 1989.

QUINTANILHA, J. A. Processamento de imagens digitais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOPROCESSAMENTO, São Paulo, 1990. Geoprocessamento, anais. São Paulo, USP/Escola Politécnica, 1990. p 37 - 52.

RAINTREE, J. B. What's agroforestry. Agroforestry Systems, 1 (1): 7 - 12, 1982.

RODRIGUES, M. Introdução ao geoprocessamento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOPROCESSAMENTO, São Paulo, 1990. Geoprocessamento; anais. São Paulo, USP/Escola Politécnica, 1990. p 1 - 26.

SANO, E. E. ; ASSAD, E. D. ; MOREIRA, L.; MACEDO, J. Estruturação de dados geoambientais no contexto de fazenda experimental. In: ASSAD, E. D. & SANO, E. E. Sistema de Informações Geográficas: aplicações na agricultura. Planaltina, EMBRAPA/CPAC, 1993. cap. 3, p.63 - 85.

SANTOS, P.L. Zoneamento agroedafoclimático da Bacia do Rio Candiru Açú-Pará. Belém, 1993. 152p. (Mestrado-Faculdade de Ciências Agrárias do Pará).

SILVA, S. M. L. Procedimento fotogramétrico para construção de uma base de dados em Sistemas de Informações Geográficas. Rio de Janeiro, 1990. 181p. (Mestrado-Instituto Militar de Engenharia).

SOUZA, R. C. M. de; CÂMARA NETO, G.; ALVES, D. S. O Desenvolvimento de Sistemas de Informações Geográficas e de processamento digital de imagens no INPE. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOPROCESSAMENTO, São Paulo, 1990. Geoprocessamento anais. São Paulo, USP/Escola Politécnica, 1990. p.168 - 73.

TEIXEIRA, A. I. A. ; PROCHNOW, M. C. R. ; SUAREZ, R; CARDOSO, S. Determinação das áreas de risco de erosão na Bacia do Córrego Monjolo Grande (SP), através de um SIG. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOPROCESSAMENTO, São Paulo, 1990. Geoprocessamento anais. São Paulo, USP/Escola Politécnica, 1990.p. 300 - 7.

TEIXEIRA, A. L.; MORETTI, E.; CHRISTOFOLETTI, A. Introdução aos
Sistemas de Informação Geográfica. Rio Claro, 1992. 80p.

UNESCO Pode faltar água potável no mundo. Folha do Meio
Ambiente, Brasília, 4 (32):19, ago.1993.

UNIVERSITY OF CALGARY. Dept. of surveying Engineering. Lecture
notes in digital mapping and land information. Alberta, 1987.

VILLELA, S. M. & MATTOS, A. Bacia hidrográfica. In:~~~~~.

Hidrologia aplicada. São Paulo, Makron Books, 1975. cap.2, p.6-28.

BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA

O Sensoriamento Remoto ou Tecnologia Orbital, como alguns autores preferem chamar, juntamente com o Geoprocessamento são áreas do conhecimento, praticamente novas, aplicáveis para vários ramos da atividade humana. Dessa forma, vem se desenvolvendo com relativa rapidez e esmerado grau de sofisticação visto que, estão intimamente ligadas a área da Computação e podendo ser perfeitamente interagidas.

Considerando essa importância, acha-se conveniente abrir um espaço para citação de algumas bibliografias e títulos de periódicos que, embora não tendo sido consultadas, alicerçaram o estudo e servem de sugestão de leitura para pesquisadores que se interessam pelo assunto e desejam ingressar nessa área do conhecimento.

AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. Manual of remote sensing. Falls Church, Sheridan Press, 1983.

DONKER, N. H. W. & SOETERS, I. R. Digital image processing subjects. Enschede. ITC, 1983. 65 p.

DRURY, S. A. Remote sensing course book. Heerlen, Open Universiteit. 1989. 383 p.

FAUST, N. L.; JORDAN, L.; FURMAN, M. D. Development and implementation of a low cost microcomputer system for Landsat analysis and geographic database applications. Cambridge, Harvard Graphics Week, 1980

FISCHER, W. A. History of remote sensing. In: [AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY]. Manual of remote sensing. Falls Church, 1975. p. 27-50

GREEN, N. P. A.; FINCH, S.; WIGGINS, J. The state of the art in geographic information systems. Area, 17(4): 295 - 301, 1985.

GONZALEZ, R.C. & WINTZ, P. Digital image processing 2.ed. Reading, Addison-Wesley, 1987. 503 p.

JENSEN, J. R. Introduction to digital image processing a remote sensing perspective. New Jersey, Prentice Hall, 1986

JOBIM FILHO, P. Uma metodologia para o planejamento e o desenvolvimento de sistemas de informação. São Paulo Edgard Blucher, 1979. 47 p.

LILLESAND, T. M. & KIEFER, R. W. Remote sensing and image interpretation. New York, John Wiley, 1979. 612 p.

MARBLE, D. & PEUQUET, D. J. Geographic information systems and remote sensing. In: AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. Manual of remote sensing. 2.ed. Falls Church, 1983. p.923-8.

MASCARENHAS, N. D. A. & VELASCO, F. R. D. Processamento digital de imagens. 4^a Escola de Computação. São Paulo, USP/Instituto de Matemática e Estatística, 1984. 235 p.

MULDER, N. J. Databases, geo-information systems. Enschede, ITC, 1984. 62 p. (ITC Lecture Notes).

NIBLACK, W. An introduction to digital image processing. Prentice London, Prentice Hall Internacional, 1987. 215 p.

OLIVEIRA, M.O.B. Aquisição e tratamento de dados para um sistema geográfico de informação. São José dos Campos, 1987. 77 p. (Mestrado - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais).

SABINS, F. Remote sensing: principles and interpretation. New York, V.H.Freeman, 1987. 449 p.

SCHANDA, E. Remote sensing for environmental sciences. New York, Springer Verlag, 1976. 367 p.

SCHOWENGERDT, R. A. Techniques for image processing and classification in remote sensing. New York, Academic Press, 1983. 249 p.

STAR, J. & ESTES, J. Geographic Information Systems. New Jersey, Prentice Hall, 1990. 303 p.

SUITS, G. H. The nature of the eletromagnetic radiation. In: [AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY]. Manual of remote sensing. Falls Church, 1975. p. 51-75.

TARANIK, J. V. Characteristics of the Landsat multiespectral data system. U.S. Geological Survey. Report, 76 p.(Report 78-187).

TEIXEIRA, A. L. A. Sistemas de Informação Geográfica: uma solução para microcomputadores de 8 bits. Rio Claro, 1987. 242 p.(Doutorado-IGCE/UNESP).

TOMLINSON, R. F.; CALKINS, H. W.; MARBLE, D. F. Computer handling of geographical data. The UNESCO Press, 1976. 214 p.

Апexos