



UNIVERSIDADE ESTADUAL  
PAULISTA

"CAMPUS" DE RIO CLARO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E CIÊNCIAS EXATAS

---

AVALIAÇÃO DOS ASPECTOS TEXTURAIS NA IMAGEM LANDSAT  
COMO SUBSÍDIO À COMPARTIMENTAÇÃO FISIAGRÁFICA DOS  
MUNICÍPIOS DE PERUÍBE E ITANHAÉM - SP

Mirley Ribeiro Moreira

Rio Claro, 2003



**UNIVERSIDADE ESTADUAL  
PAULISTA**  
"CAMPUS" DE RIO CLARO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E CIÊNCIAS EXATAS

---

**AVALIAÇÃO DOS ASPECTOS TEXTURAIS NA IMAGEM LANDSAT  
COMO SUBSÍDIO À COMPARTIMENTAÇÃO FISIOGRAFICA DOS  
MUNICÍPIOS DE PERUÍBE E ITANHAÉM - SP**

**Mirley Ribeiro Moreira**

**Orientadora: Profa. Dra. Paulina Setti Riedel**

Dissertação de Mestrado elaborada junto ao Programa de Pós-graduação em Geociências e Meio Ambiente - Área de concentração em Geociências e Meio Ambiente, para a obtenção do Título de Mestre em Geociências e Meio Ambiente.

Rio Claro (SP), 2003

526.982 M838a Moreira, Mirley Ribeiro.  
Avaliação dos aspectos texturais na imagem Landsat como subsídio a compartimentação fisiográfica dos municípios de Peruíbe e Itanhaém – SP / Mirley Ribeiro Moreira . - Rio Claro : [s.n.], 2003  
129 f. ,il. , tabs. Fots., mapas

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas  
Orientador: Paulina Setti Riedel

1. Fotogrametria. 2. Processamento digital de imagens.  
3. Textura. 4. Compartimentação fisiográfica. 5. Análise estatística multivariada. I. Título

Ficha Catalográfica elaborada pela STATI – Biblioteca da UNESP  
Campus de Rio Claro/SP

**Comissão Examinadora**

---

**Profa. Dra. Diana Sarita Hamburger**

---

**Prof. Dr. Paulo Milton Barbosa Landim**

---

**Profa. Dra. Paulina Setti Riedel (Orientadora)**

**Mirley Ribeiro Moreira  
(Orientanda)**

**Data da defesa:** Rio Claro, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_  
de 2003.

**Resultado:** \_\_\_\_\_

" Depois de plantada a semente deste incrível arbusto, não se vê nada, por aproximadamente 5 anos, exceto o lento desabrochar de um diminuto broto, a partir do bulbo. Durante 5 anos, todo o crescimento é subterrâneo, invisível a olho nu, mas uma maciça e fibrosa estrutura de raiz, que se estende vertical e horizontalmente pela terra está sendo construída. Então, no final do 5º Ano, o bambu chinês, cresce até atingir a altura de 25 metros.

Um escritor de nome Covey escreveu:

"Muitas coisas na vida pessoal e profissional são iguais ao bambu chinês. Você trabalha, investe tempo, esforço, faz tudo o que pode para nutrir seu crescimento, e, às vezes não vê nada por semanas, meses, ou anos. Mas se tiver paciência para continuar trabalhando, persistindo e nutrindo, o seu 5º Ano chegará, e, com ele, virão um crescimento e mudanças que você jamais esperava. O bambu chinês nos ensina que não devemos facilmente desistir de nossos projetos, de nossos sonhos. Em nosso trabalho, especialmente, que é um projeto fabuloso que envolve mudanças de comportamento, de pensamento, de cultura e de sensibilização. Para ações devemos sempre lembrar do bambu chinês, para não desistirmos facilmente diante das dificuldades que surgirão.

Tenha sempre dois hábitos: Persistência e Paciência, pois tu mereces alcançar todos os seus sonhos!!! É preciso muita fibra para chegar às alturas e, ao mesmo tempo, muita flexibilidade para se curvar ao chão..."

Autor Desconhecido

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por me confortar nos momentos mais difíceis e por me mostrar que com fé tudo podemos conseguir.

Ao meu grande amor Carlos Alberto, que esteve comigo desde o início desta caminhada me apoiando e me dando força em todos os momentos. Mesmo me sentindo incapaz ele estava ali, me incentivando e me mostrando que tinha capacidade de realizar qualquer coisa que eu quisesse. Obrigado por fazer parte da minha vida.

A minha irmã gêmea Mirian Ribeiro, que mesmo estando distante sempre me confortava com suas palavras de carinho e atenção ao telefone. As contas de telefone algumas vezes vieram caras, mas valeu a pena poder te sentir por perto, mesmo sendo pelas palavras.

Ao meu pai Mirson B. Moreira pela compreensão, a minha querida mãe Maria das D. Ribeiro que mesmo diante de tantas lágrimas, me deu apoio constante para a realização deste meu projeto. A meus irmãos Marcus R. Moreira e Mírcia R. Moreira, pelo incentivo.

À Profa. Dra. Paulina Setti Riedel; filósofos já diziam que há um grande abismo entre o saber e o ensinar e entre o viver e o aprender. Aprendi durante esses dois anos que um grande mestre, não é aquele que entra em uma sala de aula e ensina apenas uma matéria ou uma disciplina; mas sim

aquele que nos motiva e incentiva a adquirir um aprendizado científico e correto. Adquiri durante nossa convivência, um sentimento prático daquilo que vale a pena ser realmente empreendido, e do que seja moralmente correto. Hoje quero te agradecer, pelos seus ensinamentos e por ter me recebido com tanta atenção, cuidado e carinho. Obrigado pela confiança e amizade.

Ao Prof. Dr. Paulo M. Barbosa Landim, sempre disposto a tirar as dúvidas no decorrer do trabalho; a Prof. Dr. Diana Sarita Hamburger pelas contribuições ao longo da pesquisa.

A uma pessoa especial Lucilia do Carmo, que em todo momento sempre esteve disposta a me ajudar. Obrigado pelos ensinamentos de cada encontro.

Aos primos, que a cada encontro é sempre uma festa....

Aos companheiros de orientação, Thomaz Alvisi, Lia Rainieri, Paulo Cesar Araújo, Daniel Cardoso, Felipe Cologna, Carolina Monteiro e tantos outros.

Aos colegas das disciplinas cursadas durante o curso.

A Laura Narciso, por estar sempre aberta a esclarecimentos dos mais diversos tipos.

A Rosemeide Ap. Franchin (Secretária da pós-graduação da geologia) pela assistência.

A Darlene Armbrust do Laboratório de Geomatemática, pela paciência e pela imprescindível assistência de *softwares* durante o desenvolvimento deste trabalho.

A Maria Célia Zadra do Laboratório Didático de Geoinformática, pela colaboração do uso de micros

Aos funcionários do departamento de Geologia aplicada

A pós-graduação, que me acolheu em seu programa, dando o apoio e toda assistência necessária a realização deste mestrado.

Aos funcionários da Biblioteca do Campus de Rio Claro

A Ana Cristina Moreseli, Ieda Maria Razaboni, Ana Paula Landi, Alexandre Kanashiro, Denise P. da S. Leitão, Luciana Mariko Kabeya, Ana Elisa Caleiros, Cláudia Bittecnourt, Lívia, Adriana, Regina, Profa. Dra. Yara Maria Lucisano Valim, da FCFRP - USP e Silvana Chedraoui Silva e José Antonio da Silva FMRP - USP.

À CAPES pelo auxílio financeiro concedido para a realização deste trabalho.

E a todos aqueles que, embora não citados, contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho.





" Você conhece uma árvore chamada carvalho?

Pois é, essa árvore é usada pelos botânicos e geólogos como um medidor de catástrofes naturais do ambiente. Quando querem saber o índice de temporais e tempestades ocorridas numa determinada floresta, eles observam logo o carvalho, que naturalmente é a árvore que mais absorve as consequências de temporais. Quanto mais temporais e tempestades o carvalho enfrenta, mais forte ele fica. Suas raízes naturalmente se aprofundam mais na terra e seu caule se torna mais robusto, sendo impossível uma tempestade arrancá-lo do solo ou derrubá-lo.

Mas não pense que os cientistas precisam fazer essas análises todas para saber isso. Basta apenas eles olharem para o carvalho. Por absorver as consequências das tempestades, a robusta árvore assume uma aparência disforme, como se realmente tivesse feito muita força. Muitas vezes uma aparência triste. Cada tempestade para um carvalho é mais um desafio a ser vencido e não uma ameaça! Numa grande tempestade, muitas árvores são arrancadas, mas o carvalho permanece firme!

Assim somos nós. Devemos tirar proveito das situações contrárias à nossa vida e ficar mais fortes. Um pouco marcados. Muitas vezes com aparência abatida, mas fortes! Com raízes bem firmes e profundas na terra!"

Autor Desconhecido

## Sumário

Lista de Siglas e Abreviaturas	i
Lista de Tabelas	ii
Lista de Figuras	iii
Resumo	v
Abstract	vi
1 - Introdução	02
1.1 - Objetivo	08
1.2 - Estrutura do Trabalho	08
2 - Revisão Bibliográfica	11
3 - Caracterização da Área Física	32
4 - Material e Métodos	43
4.1 - Materiais e Equipamentos	43
4.1.1 - Produtos Orbitais	43
4.1.2 - Produtos Cartográficos	43
4.1.3 - Aplicativo computacional	43
4.2 - Métodos	43
4.2.1 - Pesquisa Bibliográfica	44
4.2.2 - Interpretação Preliminar das Imagens	44
4.2.3 - Identificação dos dados	45
4.2.4 - Realce da imagem	45
4.2.5 - Compartimentação Fisiográfica.	46
4.2.6 - Análise Textural e Critérios Fotointerpretativos	46
4.2.6.1 - Análise Visual das Imagens	47
4.2.6.2 - Análise Estatística dos Padrões Texturais	48
4.2.7 - Avaliação das sombras como um critério fotointerpretativo	54

4.2.8 - Análise Estatística Multivariada	55
4.2.8 - Edição das Imagens Trabalhadas	57
4.3 - Fluxograma de atividades	57
5. Resultados e Discussão	60
6. Conclusões	121
7.Referências Bibliográficas	124

## **Lista de Siglas e Abreviaturas**

<b>TM</b>	Thematic Mapper (sensor do Landsat)
<b>MSS</b>	Multiespectral Scanner System
<b>RBV</b>	Return Beam Vidicon
<b>ETM+</b>	Enhanced Thematic Mapper Plus (sensor do Landsat)
<b>NASA</b>	National Aeronautics and Space Administration
<b>IFOV</b>	Instantaneous Field of View
<b>IBGE</b>	Instituto Brasileiro de geografia e estatística
<b>IPT</b>	Instituto de pesquisas tecnológicas do Estado de SP
<b>ln</b>	logaritmo natural

## Lista de Tabelas

<b>Tabela 1</b> - Comparação da Fotointerpretação humana e análise computacional.	16
<b>Tabela 2</b> - Características do meio físico brasileiro	29
<b>Tabela 3</b> - Descrição das unidades geomorfológicas	37
<b>Tabela 4</b> - Descrição das formações litoestratigráficas	39
<b>Tabela 5</b> - Descrição das unidades pedológicas	41
<b>Tabela 6</b> - Critérios utilizados na caracterização das unidades de relevo	48
<b>Tabela 7</b> - Caracterização dos compartimentos fisiográficos, segundo critérios fotointerpretativos	62
<b>Tabela 8</b> - Critérios fotointerpretativos traduzidos numa escala binária	68
<b>Tabela 9</b> - Avaliação das técnicas estatísticas multivariadas empregadas	83
<b>Tabela 10</b> - Análise Estatística dos algoritmos trabalhados	93
<b>Tabela 11</b> - Resposta dos filtros segundo os critérios fotointerpretativos	106
<b>Tabela 12</b> - Síntese da descrição dos compartimentos	113

## Lista de Figuras

<b>Figura 1</b> - Figuras de ilusão visual	05
<b>Figura 2</b> - Estrutura da imagem de sensoriamento remoto	12
<b>Figura 3</b> - Representação da variação de cinza no histograma	14
<b>Figura 4</b> - Limitação da pura percepção humana	19
<b>Figura 5</b> - Direções usadas pelo filtro direcional	24

<b>Figura 6</b> - Localização da área em estudo	35
<b>Figura 7</b> - Mapa geomorfológico da área	36
<b>Figura 8</b> - Mapa geológico da área	38
<b>Figura 9</b> - Mapa pedológico da área	40
<b>Figura 10</b> - Imagem de satélite LANDSAT, composição colorida 3b,5g,4r	60
<b>Figura 11</b> - Compartimentos da área de estudo, obtidos pela interpretação visual	62
<b>Figura 12</b> - Análise de correspondência entre as variáveis e os pontos	71
<b>Figura 13</b> - Análise de correspondência das amostras (compartimentos)	72
<b>Figura 14</b> - Análise de correspondência das variáveis	73
<b>Figura 15</b> - Dendograma resultante do modo (UPGM) com a utilização do coeficiente de jaccard	78
<b>Figura 16</b> - Mapa temático referente à análise de correspondência	81
<b>Figura 17</b> - Mapa temático referente à análise de agrupamento	82
<b>Figura 18</b> - Imagem resultante do algoritmo Riqueza Relativa	86
<b>Figura 19</b> - Imagem resultante do algoritmo Diversidade	87
<b>Figura 20</b> - Imagem resultante do algoritmo Índice de Domínio ( $H_{m\acute{a}x} - H$ )	88
<b>Figura 21</b> - Imagem resultante do algoritmo Índice de Fragmentação..	89
<b>Figura 22</b> - Imagem resultante do algoritmo NDC (Número de Classes Diferenciadas)	90
<b>Figura 23</b> -Imagem resultante do algoritmo CNV (Centro versus Vizinho)	91
<b>Figura 24</b> - Imagem resultante do algoritmo BCM (Matriz de Comparação Binária)	92
<b>Figura 25</b> - Imagem de satélite LANDSAT, resolução espacial de 30 metros	95
<b>Figura 26</b> - Imagem referente ao resultado do filtro direcional - orientação norte	96
<b>Figura 27</b> - Imagem referente ao resultado do filtro direcional - orientação sul	96

<b>Figura 28</b> - Imagem referente ao resultado do filtro direcional - orientação leste	97
<b>Figura 29</b> - Imagem referente ao resultado do filtro direcional - orientação oeste	97
<b>Figura 30</b> - Imagem referente ao resultado do filtro direcional - orientação nordeste	98
<b>Figura 31</b> - Imagem referente ao resultado do filtro direcional - orientação sudoeste	98
<b>Figura 32</b> - Imagem referente ao resultado do filtro direcional - orientação noroeste	99
<b>Figura 33</b> - Imagem referente ao resultado do filtro direcional - orientação sudeste	99
<b>Figura 34</b> - Imagem reclassificada segundo valores de níveis de cinza sombreados e os compartimentos identificados pela distribuição e forma das sombras	109
<b>Figura 35</b> - Imagem LANDSAT (banda 5), saturada na porcentagem de 0.5	111
<b>Figura 36</b> - Modelo de elevação digital	112
<b>Figura 37</b> - Ilustração da projeção de sombras na superfície	117

## Resumo

As imagens de satélite, por serem um registro de alvos com diferentes comportamentos espectrais e diferentes arranjos espaciais, respondem com variações tonais de cinza e variações texturais. Esta variação textural é analisada normalmente através de interpretação visual, que é uma sistematização de várias técnicas, as quais convergem para um único objetivo, a compartimentação da imagem. Em geral, a textura apresenta-se como sendo uma arma valiosa na interpretação de formas de relevo, drenagem e de padrões da cobertura vegetal e de uso da terra. Acredita-se que, a partir da utilização das técnicas de processamento digital de imagens e técnicas estatísticas multivariadas, como subsidiária na redução do caráter subjetivo da análise textural e da correspondência entre zonas homólogas, será possível favorecer a discriminação de elementos imageados, e encontrar um modelo que possibilite explicar mais satisfatoriamente a compartimentação e a relação de equivalência entre zonas que constituem texturas semelhantes. Desta forma, o objetivo geral do trabalho, é avaliar diversas metodologias, com intuito de realizar uma compartimentação fisiográfica, explorando o aspecto textural da imagem além da similaridade existentes entre as áreas após compartimentada. A área de estudo abrange os municípios de Itanhaém e Peruíbe localizados no litoral sul do Estado de São Paulo. A partir dos resultados obtidos, verificou-se que o método convencional de fotointerpretação juntamente com a aplicação da análise estatística multivariada, mostrou-se viável de ser aplicado apresentando resultados satisfatórios e inovadores. Já no processamento de alguns algoritmos de textura a redução de informações foi bastante grande, devido à redução dos valores de níveis de cinza e à homogeneização dos alvos; mostrando que o resultados não foram positivos. No entanto a aplicação dos filtros direcionais juntamente com o critério de análise das sombras, ambos forneceram melhores resultados para o processo de compartimentação das áreas.

**Palavras-chaves:** Processamento Digital de Imagens, Textura, Compartimentação Fisiográfica, Análise Estatística Multivariada.

## Abstract

Satellite images record surface features based on their different spectral behaviors and spatial arrangements. As such, these features are discernable from different shades of gray and textural variations seen in the images. These textural variations represent a systematic utilization of various techniques, which converge for a single objective: compartmentalization of the image. In general, texture is used as an important tool in the interpretation of relief forms, drainage patterns and vegetative cover and land-use patterns. Through the application of digital processing techniques and multivariable statistical analyses, it is possible to reduce the subjective character of textural analysis and correspondence between homologous zones, hence enhance the discrimination of different elements in an image. These methods can help find a model that allows for a better explanation of the compartmentalization and equivalence between zones that consist of similar textures. In this form, the general objective of the study is to evaluate diverse methodologies with the objective of determining the physiographic compartmentalization, exploiting the textural aspect of the image in addition to the existing similarities between areas following compartmentalization. The study area is within the municipalities of Itanhaém e Peruíbe, located along the south coastal region of São Paulo State. Based on the results obtained, it is confirmed that the conventional method of photo-interpretation, together with the application of multivariate statistical analysis, shows that it is a viable combination, yielding both satisfactory and innovative results. Already, in the processing of some textural algorithms, the reduction of information was significant, owing to the reduction of the values in the shades of gray and to the homogenization of targets, showing that the results were not positive. However, the application of directional filters together with the criteria of shadow analysis, both yielded better results for the process of compartmentalization of the areas.

Key words: Digital image processing, texture, physiographic compartmentalization, multivariate statistical analysis.



" Embora ninguém possa voltar atrás e fazer um novo  
começo, qualquer um pode começar agora e fazer  
um novo final."

Chico Xavier

## 1. Introdução

As imagens por representarem normalmente o resultado final de uma grande parte de processos que englobam métodos computacionais, são de fundamental importância para estudos onde a distribuição espacial dos fenômenos possam ser identificadas. As mesmas podem orientar o cientista em etapas decisivas, pois qualquer que seja o estudo em questão, a análise visual é muito mais eficaz.

O desenvolvimento tecnológico, por ser um processo crescente, a cada ano torna-se mais intenso, os *hardwares*, os *softwares*, mecanismos de raios x e gama vem invadindo o universo científico com a finalidade de mostrar que tudo é possível de ser mostrado em imagens, tornando-se visível aos nossos olhos. A cada ano esse desenvolvimento vem instigando pesquisadores a investigar diferentes métodos capazes de proporcionar uma visualização de experimentos e hipóteses; como por exemplo é a microscopia eletrônica, que proporciona a amostragem de formas, tamanhos e texturas de células, bem como de diversos materiais da área da ciências biológicas e ciências dos materiais. Mediante o progresso tecnológico, técnicas mais modernas estão se inserindo no mercado, com intuito de proporcionar ao usuário maior qualidade e confiança aos seus propósitos como cientistas e operadores. Tem-se como exemplo o desenvolvimento das técnicas de processamento de imagens aplicadas a várias áreas da ciência. Destaca-se, por exemplo, a atividade médica, onde o processamento digital de imagens, permite um diagnóstico mais

preciso de inúmeras doenças. A odontologia é uma outra área que surge com ampla desenvoltura na aquisição, gerenciamento e manipulação de informações dos seus pacientes.

O uso de imagens em controle de qualidade de processos industriais também vem se destacando nos últimos anos. Através da detecção automática de falhas, é possível, por exemplo uma maior rapidez na identificação e remoção de objetos defeituosos, facilitando de forma automatizada a tomada de decisões. Destaca-se por exemplo, a determinação da qualidade de carnes utilizando procedimentos de análise de textura (SHIRANITA et al., 1998).

Na educação, o uso de técnicas computacionais, através de projetos de multimídia em comunicação educacional, cultural e científico, vem ocupando um amplo espaço. As salas de aula vem sendo regidas com princípios de modernidade, no qual os professores buscam uma divulgação do conhecimento com o direcionamento a uma interdisciplinariedade.

No tocante às ciências da Terra, o desenvolvimento das imagens orbitais, juntamente com as facilidades computacionais, proporcionou, segundo SCHOOWENGERDT (1983), uma importante fonte de dados para o monitoramento e avaliação ambiental, como também para a detecção de mudanças globais, exploração de recursos não-renováveis, meteorologia, mapeamento, entre outros.

A aplicação das técnicas de sensoriamento remoto vem crescendo cada vez mais, sendo atualmente fruto de um esforço multidisciplinar, envolvendo avanços na química, físico-química, geociências e informática dentre outras. Novas metodologias estão sendo aplicadas, principalmente na área de recursos

naturais, abrindo perspectivas otimistas para a elaboração e atualização de produtos cartográficos (FRANZONI et al., 1998).

Como já era previsto, as imagens de satélite invadiram vários campos da ciência tornando-se um grande aliado nas pesquisas. Os sistemas de sensoriamento remoto em nível orbital geram uma grande variedade de dados e produtos, oferecendo uma visão panorâmica da área de interesse. Estes sistemas têm como principal característica a repetitividade, o que permite uma análise temporal, passível de acompanhar a evolução de processos dinâmicos, bem como verificar as alterações ocorridas na estrutura de determinada área (FRANZONI et al., 1998).

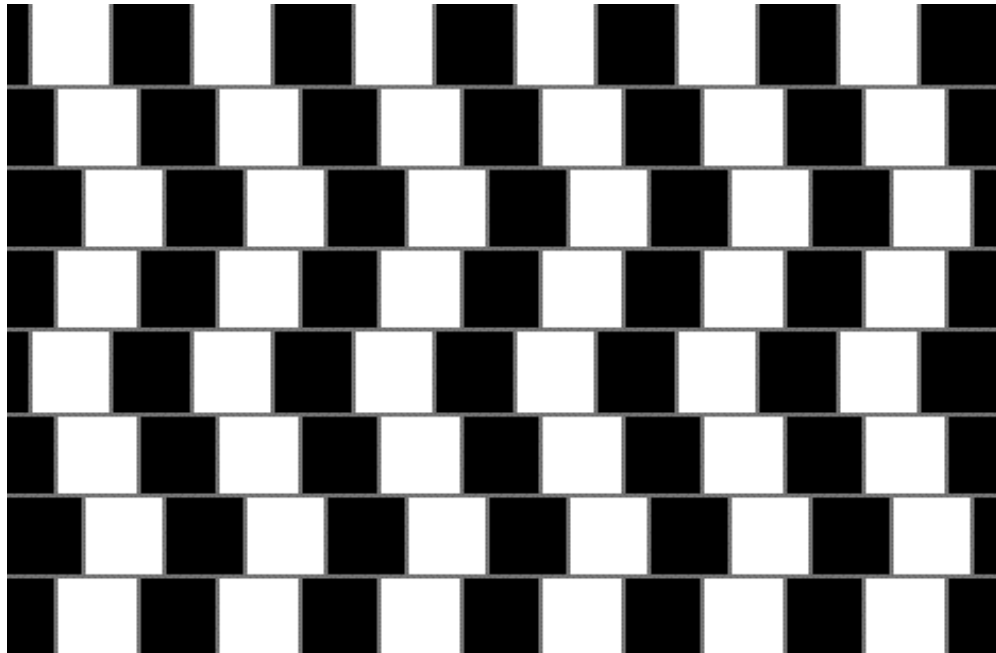
Atualmente tem-se procurado analisar a imagem não somente de forma qualitativa e sim quantitativa, adequando técnicas com bases estatísticas, no intuito de extrair, explorar e possibilitar maior velocidade, objetividade e sistematização das análises contidos em um determinado estudo de caso.

Esse comportamento possibilita e facilita o planejamento e a definição de estratégias, com relação a problemas recentes e futuros.

Estudos com a finalidade de facilitar a percepção visual humana, paralelamente com técnicas estatísticas, vêm sendo realizados através de imagens, proporcionando uma maior compreensão das nossas limitações humanas.

Quando se depara com uma imagem, o sistema visual humano distingue nitidamente cores, formas e tamanho. No entanto, o sistema de percepção humana se apresenta limitado; segundo JULESZ (1975) ele pode realizar certos tipos de tarefas de percepção muito bem até que o sistema seja sobrecarregado de

alguma forma, ou seja, exceda um valor surpreendentemente baixo. Portanto, a percepção visual tem sua magnitude até um certo grau de complexidade e quando ultrapassado, há uma sobrecarga no sistema visual que o torna incapaz de perceber a periodicidade ou a falta de conexão entre as formas (Figura 1).



**Figura 1-** A figura evidência a confusão de interpretação visual do cérebro humano. O que parece ser em uma primeira avaliação visual linhas diagonais, são na verdade linhas horizontais e paralelas. Este é um caso típico de confusão visual a partir de um desenho. Fonte: BURATO, 2002

Quando se trabalha com imagens que contêm informações além do que o olho humano consegue perceber, a interpretação muitas vezes se perde na delimitação de áreas homólogas, o que no presente estudo será de fundamental importância.

O princípio utilizado para a compartimentação fisiográfica de terrenos, a partir da interpretação sistemática de produtos de sensoriamento remoto, baseia-se no fato de que os elementos fisiográficos interagem de maneira diferente de área para área em função de variações nos fatores (clima, tectônica, etc.) que

regem sua evolução. Isso faz com que esses elementos apresentem-se sob formas particulares em cada região, determinando assim diferentes paisagens. Essas paisagens específicas são refletidas na imagem através de texturas também específicas e que são resultado da organização espacial dos diferentes tipos de elementos texturais (VEDOVELLO E MATTOS, 1989). Embora não exista uma definição universalmente aceita para textura, pode-se referenciá-la como o conjunto de estruturas detalhadas, existentes nas superfícies físicas, perceptíveis ao olho humano, e que trazem grande quantidade de informações sobre a natureza da superfície (FIGUEIRAS, 2000).

A interpretação visual, normalmente utilizada para a compartimentação fisiográfica, é uma sistematização de várias técnicas, as quais convergem para um único objetivo, a análise de elementos texturais, avaliação de geometria e estrutura, bem como as tonalidades, seja de cores ou tons de cinza.

As imagens normalmente são interpretadas pela variação de tonalidade associada a diferentes respostas de cada alvo terrestre no momento do seu imageamento. Essa variação é representada pela textura, que sob o aspecto fisiográfico é identificada por regiões de iluminação e sombreamento, as quais se apresentam em pares alternados diante da superfície. Essas texturas, normalmente estudadas através dos elementos texturais de relevo e drenagem, englobam uma diversidade de fatores no momento de sua interpretação, como: propriedades das formas, organização, estrutura dos elementos texturais, entre outros. Essas propriedades dependem exclusivamente do alvo ou do conjunto de alvos que foi imageado.

Ao se trabalhar no estabelecimento de limites entre zonas homólogas, o sistema visual humano ou a percepção humana irá trabalhar basicamente com duas características: a tonalidade e a textura, as quais possuem uma inter-relação, pois sem variações tonais, nenhuma mudança na textura poderia ser percebida na imagem. Por conseguinte, no momento da delimitação das áreas, o fotointérprete as classifica segundo suas propriedades e características semelhantes, a partir de divisões de unidades, seguindo determinados critérios. Portanto, diante da percepção intrínseca de cada fotointérprete com relação a uma imagem de satélite, surge uma problemática, a subjetividade, que é consequência da diversidade da percepção humana.

Para reduzir esta subjetividade, tem-se trabalhado com técnicas de processamento digital de imagens, que atualmente são consideradas como valiosas ferramentas para a extração e discriminação de alvos. Estas técnicas vêm, atualmente, trazendo inúmeras vantagens na manipulação de dados do sensoriamento remoto, facilitando detectar informações que, às vezes, o olho humano não consegue identificar. No entanto, as técnicas de processamento digital que envolvem análise textural são normalmente subutilizadas, apresentando-se com um certo grau de complexidade e de dificuldade para o intérprete.

Em geral, a textura apresenta-se como sendo uma arma valiosa na interpretação de formas de relevo, drenagem e de padrões da cobertura vegetal e de uso da terra. Acredita-se que, a partir da utilização das técnicas de processamento digital de imagens como subsidiária na redução do caráter subjetivo da análise textural, será possível favorecer a discriminação de

elementos imageados, e encontrar um modelo que possibilite explicar mais satisfatoriamente o estabelecimento de equivalência entre as zonas consideradas homólogas.

## **1.1 - Objetivo**

A interpretação visual se utiliza de uma sistematização de várias técnicas, que fornecem subsídios à compartimentação de uma imagem de sensoriamento remoto. Esta compartimentação, baseada nas propriedades dos elementos texturais da imagem, pode ser voltada a fins específicos, como a separação de diferentes tipos de uso e cobertura vegetal, de diferentes litologias ou diferentes compartimentos fisiográficos.

A partir desse propósito, o objetivo geral do trabalho é avaliar diversas metodologias, com intuito de contribuir para a redução da subjetividade inerente aos processos de compartimentação fisiográfica e de similaridade e/ou correspondência entre as zonas homólogas existentes na área compartimentada.

## **1.2 - Estrutura do Trabalho**

O trabalho apresentado está estruturado em sete capítulos, conforme segue:

No primeiro capítulo é apresentado o assunto trabalhado, paralelamente apoiado em algumas considerações bibliográficas, no intuito de sustentar o objetivo geral do trabalho.



No segundo capítulo é realizada uma revisão da síntese da bibliografia fundamental, onde é apresentada a importância da análise textural juntamente com o processamento digital de imagens.

No terceiro capítulo é feita uma caracterização fisiográfica da área, com intuito de descrever a área de estudo, sob os aspectos geomorfológicos, geológicos e pedológicos. Contribuindo assim, para análise dos resultados.

O quarto capítulo refere-se à apresentação dos materiais utilizados para a pesquisa, que se restringiram basicamente em imagens digitais, softwares e mapas topográficos e temáticos. Concomitantemente, são descritas as propostas metodológicas que foram subdivididas em realce da imagem, compartimentação fisiográfica, análise textural e critérios fotointerpretativos, análise visual das imagens, análise estatística dos padrões texturais, avaliação das sombras como um critério fotointerpretativo e análise estatística multivariada.

O quinto capítulo é a apresentação dos resultados obtidos, além de uma discussão dos mesmos, com intuito de ressaltar a contribuição de cada resultado na pesquisa.

No sexto capítulo são apresentadas as conclusões do trabalho, bem como recomendações voltadas a alguns problemas surgidos durante a pesquisa. O sétimo e último capítulo traz consigo as referências bibliográficas.

"A vida é um eco.  
Se não está gostando do que está recebendo,  
observe o que está emitindo."  
Lair Ribeiro

## **2. Revisão Bibliográfica**

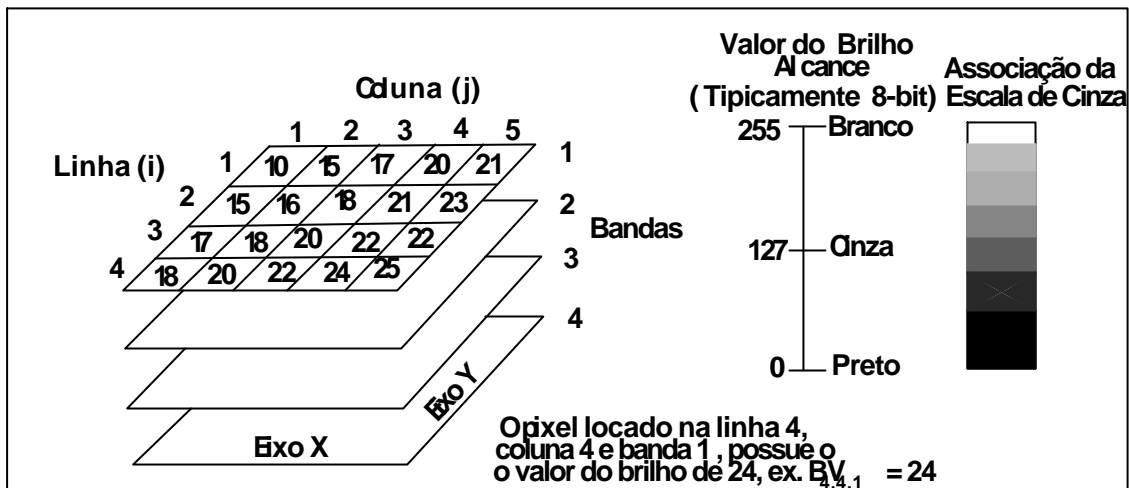
A história do sensoriamento remoto orbital é relativamente recente no Brasil, tendo grande impulso com acordos realizados entre o INPE (Instituto Nacional de Pesquisas) com a NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), no sentido de adquirir dados espaciais, espectrais e temporais da superfície terrestre, de forma global, sinóptica e repetitiva.

Os satélites LANDSAT possui ao longo de sua história sete gerações. O 01, 02, e 03 foram lançados na década de 70 para operar a 920 Km de altitude e estavam equipados com dois sistemas sensores: o MSS (Multispectral Scanner System) com imageamento do terreno por sistema de varredura e o RBV (Return Beam Vidicon) com imageamento instantâneo de toda a cena. Já os LANDSAT 04 e 05 foram lançados, na década de 80, para operar a 705 Km de altitude, sendo que o sistema sensor RBV foi substituído pelo sistema sensor TM (Thematic Mapper), que opera simultaneamente em 7 bandas espectrais: azul, verde, vermelho, infravermelho próximo, duas no infravermelho médio e uma no infravermelho termal (banda 6), com uma resolução de 120 m. Já o Landsat 6 foi perdido no lançamento.

No ano de 1999, foi lançado o Landsat 7, o qual entrou em órbita com um sensor diferente do Landsat 5, denominado ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper Plus*). Possui oito bandas e conta com uma resolução espacial de 30 m, uma banda pancromática com 15 m e outra no infravermelho termal com 60 metros, sendo que sua cobertura total da Terra é realizada em 16 dias.

Esse histórico é importante devido ao fato que o sensor é um equipamento de extrema importância em um satélite, pois mede a intensidade de radiação eletromagnética emitida pelos alvos. Sabe-se que o sensor possui um campo de visada instantâneo - IFOV (Instantaneous Field of View) do qual são captados os fluxos de energia em uma dada área da cena. Essa área é definida pela resolução espacial que vem a ser a capacidade de discernir dois pontos do terreno separados por determinada distância, que no caso do Thematic Mapper no Landsat cobre uma área de 30 x 30 metros (FILHO, 1980; ANDRADE, 1989).

É importante salientar sobre esse tópico pois influencia na estrutura da imagem digital, a qual consiste em um arranjo de elementos sob a forma de uma malha ou grid. Essa malha é definida por um sistema de coordenadas do tipo linha e coluna, no qual cada retângulo ali representado é dado o nome de pixel (do inglês - *picture element*). A posição do pixel é determinado por um sistema de coordenadas X e Y. O valor de brilho de cada localização do pixel normalmente é representado por um número que varia de 0 a 255. Este valor pode ser modulado para produzir uma sombra cinza que varia de negro (BV = 0) a branco (BV = 255), (Figura 2).



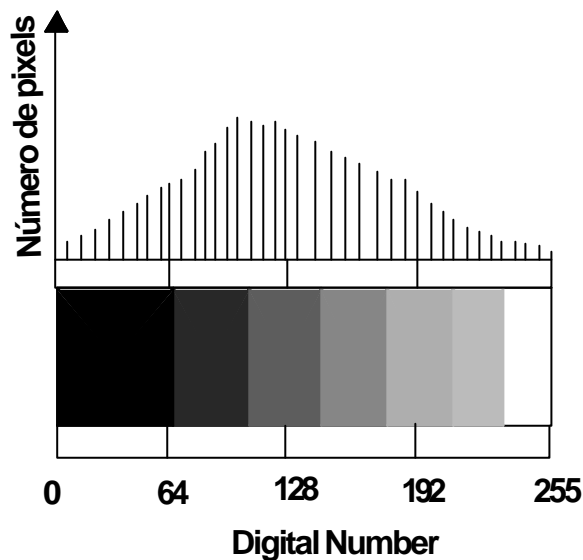
**Figura 2** - A imagem de sensoriamento remoto é tipicamente composta por pixels localizados em intersecções de linhas e colunas para cada banda da imagem. (Fonte: JENSEN, (1996)).

Cada *pixel* tem um valor numérico, chamado de número digital (DN) ele é registrado pela intensidade de energia eletromagnética refletida ou emitida pelo objeto imageado, portanto para cada pixel haverá um valor, sendo este a variar de zero para algum número mais alto na escala de tons de cinza. Essa medida de valores é convertida digitalmente para o que chamamos de *brightness*, ou seja, o brilho que cada imagem possui diante da variação do preto e branco (CRÓSTA, 1992 ; SABINS, 1997 e JENSEN, 1996).

Essa variação dos DNs pode ser estudada detalhadamente por forma de histogramas, o mesmo é usado graficamente para representar a informação contida na imagem de sensoriamento remoto e ao mesmo tempo ter uma noção instantânea sobre as características da mesma. Segundo CRÓSTA (1992), a forma do histograma fornece informações de grande importância, tais como intensidade média e espalhamento dos valores DN; este último, por sua vez, dá a medida do contraste, sendo que quanto maior o

espalhamento ao longo do eixo dos DNS, maior o contraste da imagem (Figura 3).

O aumento do contraste na imagem é algo importante, pois tem como objetivo melhorar a informação das imagens sob os critérios subjetivos do olho humano. No entanto, deve-se atentar para a perda de informações, quando é realizado tal procedimento, pois as imagens, em sua maioria, apresentam histograma concentrado numa faixa estreita de níveis de cinza. O que se tenta realizar é a expansão do intervalo original de níveis de cinza para um outro intervalo desejado, que facilita a **discriminação visual dos objetos presentes na imagem.**



**Figura 3** - Representação da variação de cinza no histograma. No eixo Y é representado a frequência de pixels com tom de cinza da imagem. Ao longo do eixo X é representado o espalhamento dos DNS, que é diretamente proporcional ao contraste da imagem (Fonte: SABINS, (1997)).

As imagens orbitais podem ser analisadas de duas formas diferentes: através do processamento digital e da interpretação visual.

O processamento digital envolve o uso do computador que examina individualmente cada pixel contido na imagem, para o discernimento sobre os mesmos e de seus devidos atributos. Isto é referido como uma análise quantitativa.

Segundo CRÓSTA (1992), o processamento digital de imagens envolve técnicas utilizadas para identificar, extrair, condensar e realçar a informação de interesse para determinados fins, afim de facilitar a identificação e a extração da informação contidas na imagem. Essas técnicas podem ser divididas em três etapas independentes: o pré-processamento, que se refere ao processamento inicial dos dados brutos; o realce, que torna as feições texturais mais visíveis e a classificação, que pode ser dividida em classificação supervisionada e não-supervisionada.

A interpretação visual envolve uma extração da informação por meio de uma inspeção visual humana. Seu sucesso depende da eficiência do analista em explorar os elementos espaciais, espectrais e temporais presentes na imagem. As duas abordagens para interpretação de imagens tem suas próprias funções e freqüentemente ambas são complementares (RICHARDS, 1994).

A fotointerpretação pode ser melhorada substancialmente se algumas etapas do processamento digital de imagens são aplicadas previamente aos dados da imagem, enquanto que o êxito da análise quantitativa depende de informações fornecidas pelo analista em etapas cruciais. Disto pode ser concluído que a fotointerpretação, por envolver uma direta interação humana e

desta forma altos níveis de decisões, traz bons resultados para informações espaciais, mas é pobre em precisão quantitativa. Por exemplo, a área calculada pela fotointerpretação pode envolver medidas planimétricas de regiões identificadas visualmente, nisto erros de definição de limite poderão prejudicar a precisão da área (RICHARDS, 1994).

Pelo contrário, a análise quantitativa, por requerer pouca interação humana e baixos níveis de decisões de software, tem menos habilidade espacial mas alta precisão quantitativa. Sua precisão vem da habilidade do computador, para processar cada faixa total dos detalhes espectrais, espaciais e radiométricos presentes na imagem. O seu potencial de análise vem da dificuldade com que decisões sobre forma, tamanho, orientação e textura podem ser feitas, usando técnicas padrão de computação seqüencial. Desenvolvimentos simultâneos de métodos computacionais com análise de imagens de multi-resolução vêm amenizar isto no devido tempo. A seguir, é apresentada na Tabela 1 uma comparação entre as duas formas de análise.



**Tabela 1** - Comparação de Fotointerpretação humana e

análise computacional

<b>Fotointerpretação (por interpretação humana)</b>	<b>Análise quantitativa através do computador</b>
Larga escala relativa ao tamanho do pixels	Análise de pixels individuais
Estimativas de áreas sem precisão	Possibilidade de calcular a área precisa
Limitado em análise multiespectral	Pode executar uma verdadeira análise multiespectral (multidimensional)
Pode assimilar somente um número limitado de brilho, nivelando distintamente (16 níveis em cada característica)	Pode fazer uso quantitativo de todos os níveis de brilho disponíveis em todas as características
Forma fácil de determinação	Determinação da forma envolvendo decisões complexas do software
Informação espacial é de fácil uso em um sentido qualitativo	Técnicas disponíveis no uso de dados espaciais são limitadas.

Fonte: RICHARDS, 1994

Na abordagem de RICHARDS (1994), sobre o aspecto da interpretação humana, levanta-se um questionamento, o da subjetividade das análises inferidas pelo fotointérprete, pois a fotointerpretação está ligada diretamente ao processo dedutivo e indutivo dos dados obtidos durante as fases de análise, e à medida que esta análise é realizada, presencia-se a capacidade do sujeito em adaptar e evoluir técnicas de interpretação que até então lhe foram passadas. Apesar de todo aprendizado científico apresentar um nível básico, cada um encontra a melhor maneira de se adequar e aplicar o método, com objetivo de se obter resultados com qualidade e rapidez. Parte-se do pressuposto que a metodologia permanece mutável e que cada fotointérprete, com sua individualidade, apresenta resultados de diferentes formas.

A imagem, como instrumento de trabalho deve ser entendida como uma estrutura fotográfica com várias tonalidades de níveis de cinza, organizadas e/ou agrupadas entre si. Segundo WANG e HE

(1990), os níveis de cinza constituem uma importante característica para a identificação de objetos ou regiões de interesse na imagem, independentemente se a imagem é uma fotografia aérea ou uma imagem de satélite.

Portanto, essas variações de tonalidades a níveis de cinza, são elementos básicos da interpretação e da extração de informações do terreno, no entanto a cor e a tonalidade, segundo NOVO (1991), não são os únicos atributos que um objeto imageado possui e nem todos se distinguem apenas pela cor, devendo ser considerado aspectos como a forma e a textura.

Quando a textura aborda a forma de elemento de reconhecimento, aspectos de certa ordem precisam ser considerados. HARALICK (1979) descreve que, para usar objetivamente os elementos de tonalidade e padrão textural, os mesmos precisam ser explicitamente definidos. Com uma definição explícita, nós descobrimos que tonalidade e textura não são conceitos independentes, eles possuem uma relação intrínseca entre eles, muito similar à relação existente entre a partícula e a onda. De fato não existe nada que seja somente partícula ou somente onda, tudo que existe possuem em ambas propriedades e dependendo da situação pode predominar as propriedades de partícula ou as propriedades da onda. Similarmente, no contexto de imagem, a tonalidade e textura sempre existem, embora algumas vezes uma propriedade possa dominar a outra, e tenderemos a falar somente de tonalidade ou somente de textura.

As relações básicas percebidas intuitivamente entre tonalidade e textura são as seguintes: quando uma pequena área de uma imagem tem pequena variação, por exemplo, pequena

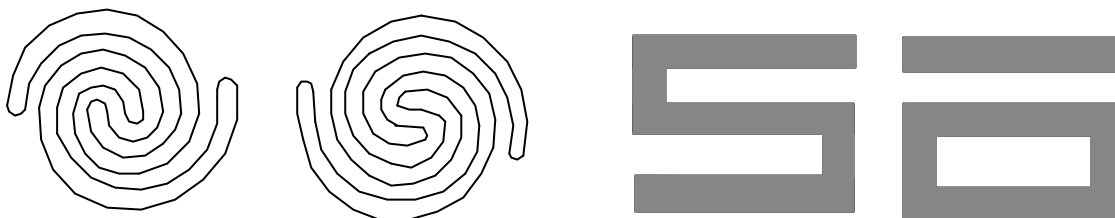
variação de características de tom de cinza discreto, a propriedade dominante daquela área é a tonalidade. Quando uma pequena área tem uma variação larga de características de tom de cinza discreto, a propriedade daquela área é a textura. Crucial nesta distinção é o tamanho das áreas e o número de características discretas distinguíveis, ou seja, com o número de redução das características discretas tonais distinguíveis as propriedades tonais predominarão. Assim, quando se faz uma definição explícita de tonalidade e textura, não estão sendo definidos dois conceitos, mas sim um conceito de tonalidade-textura.

Segundo ANDRADE (1989), a tonalidade refere-se às diversas graduações de tons de cinza dos elementos da imagem, enquanto que a textura está relacionada com a distribuição espacial destes tons de cinza. Esta distribuição significa a freqüência espacial contida na imagem. O grau desta freqüência determina tipos de textura como: rugosa, fina, suave, etc. LILLESAND E KIEFER (1998) apresentam que a freqüência espacial alta resultará em uma superfície fina, o que significa que os níveis de cinza nesta área sofrem uma mudança abrupta sobre o número relativamente grande de pixels. Áreas mais ásperas, apresentam-se com uma baixa freqüência espacial, ou seja, os níveis de cinza variam gradualmente sobre uma determinada área.

Por essas características, a textura é um importante fator para a fotointerpretação. Sabe-se que a mesma não é bem conhecida na maneira pelo qual o ser humano detecta e analisa a informação textural no processo de percepção visual de uma cena.

Estudo realizados por JULESZ (1975) têm a finalidade de desvendar a função que o sistema visual humano exerce na percepção. Portanto, o mesmo procura mostrar a distinção entre a percepção pura e a cognição através das figuras.

A Figura 4A consiste em dois padrões espirais que parecem ser similares entre si. Entretanto, não são pois um dos padrões é delineada com uma linha contínua e outro não.



(A)

(B)

**Figura 4** - Na figura A é demonstrada a limitação da pura percepção humana; aparentemente consiste um trabalho de linhas contínuas, no entanto em uma análise detalhada verifica-se que há descontinuidade nos elementos. E na figura b exemplo de pura percepção, não requerendo nenhuma ajuda de processos cognitivos para demonstrar seus reais formatos.

Este fato não pode ser percebido espontaneamente é necessário traçar as linhas ponto por ponto para se constatar que se trata de um padrão formado por uma linha contínua e outro não. Qualquer tarefa visual que não possa ser realizada espontaneamente e sem esforço ou deliberação pode ser considerada um tarefa cognitiva ao invés de perceptiva.

A Figura B demonstra melhor o que se percebe por pura percepção. Diante destes exemplos ressalta-se os limites da

percepção visual. O sistema de percepção humana pode realizar certos tipos de tarefas de percepção muito bem até que o sistema seja sobrecarregado de alguma forma. O fenômeno de discriminação de textura visual cessa quase abruptamente quando a ordem de complexidade excede um valor surpreendentemente baixo. Portanto, o sistema visual é geneticamente programado para a discriminação de textura, mas não pode cobrir estruturas além de uma certa complexidade.

Observa-se que a análise textural é uma tarefa difícil no campo do processamento digital de imagens, e para facilitar, métodos vêm sendo desenvolvidos como o de análise estrutural e estatístico.

Normalmente, alguns métodos são utilizados para a análise textural, e HARALICK (1979) e WANG e HE (1990), nos apresentam, de uma maneira geral, dois métodos de análise: o primeiro baseado no método estrutural e o segundo no método estatístico.

No primeiro método, a textura é considerada como uma repetição de padrões básicos e repetitivos com uma certa regra de ajuste, um exemplo adequado para esta abordagem é uma imagem de muro de tijolos. A análise espectral tradicional de Fourier geralmente é usada para determinar regras primitivas e de ajustes. Já a segunda abordagem trabalha com o método estatístico, que tem como objetivo caracterizar propriedades estocásticas na distribuição espacial de níveis de cinza na imagem, onde freqüentemente é utilizado uma matriz de co-ocorrência.

HARALICK (1979) descreve os vários procedimentos estatísticos e estruturais utilizados para a análise de textura

durante o processamento de uma imagem. Tais abordagens agrupadas em procedimentos estatísticos e/ou estruturais, permitem a extração de textura baseada na utilização de diferentes métodos. Os procedimentos estatísticos, que envolvem dados referentes a medidas da freqüência espacial dos tons de cinza; ao número de bordas por unidade de área, à co-ocorrência espacial de tons de cinza e modelos autoregressivos, os quais são melhor utilizados em microtextura. Já para macrotextura, os pesquisadores utilizam procedimentos estruturais, baseados em histogramas e co-ocorrência de propriedades primitivas.

As medidas de freqüência espacial estão envolvidas na obtenção de textura através do uso de funções de auto correlação, métodos de processamento ótico e de transformação digital. A validade destes métodos se justifica pelo fato de que texturas finas são ricas em altas freqüências espaciais, enquanto que texturas mais grosseiras são ricas em baixas freqüências espaciais. Uma alternativa de avaliar a textura como distribuição de freqüência espacial envolve a avaliação do número de bordas por unidade de área, pois texturas grosseiras possuem um pequeno número de bordas por unidade de área, ocorrendo o oposto para texturas finas (HARALICK, 1979).

Um dos problemas inerentes a abordagens envolvendo freqüência espacial é com relação à calibração do tom de cinza da imagem. Desta forma, alguns autores consideram que abordagem de freqüência espacial possuem menor validação que as abordagens estruturais. Estas últimas, as quais enfatizam os aspectos de tonalidade primitivas, são porém somente aplicáveis para imagens binárias, (HARALICK, 1979).

HARALICK et al. (1973), entre outros, relataram que a princípio os estudos texturais em imagens se restringiram a funções de autocorrelação, de poder espectral, primeira e segunda ordem de Markov e frequências relativas de vários níveis cinzas não normalizados. Estes algoritmos tiveram algum grau de sucesso, no entanto ocorreu somente uma transformação matemática, que em geral nomeou números à imagem transformada de uma direção não específica. Portanto, a tentativa de extrair características texturais ficou limitada a algoritmos que extraem propriedades de imagem específicas como "rugosa" e presença de bordas.

HARALICK et al. (1973) baseia-se no fato de que o procedimento geral para se extrair texturas em imagens é o domínio espacial, ou seja, que a informação textural em uma imagem está contida na relação espacial global ou comum aos que os tons cinzas têm um com o outro na imagem.

Portanto, as matrizes de dependência espacial de tons de cinza descrevem as características texturais de uma imagem, que é computada para várias relações angulares e distâncias entre pares de cela de resolução vizinha na imagem.

Essas características texturais são derivadas do vizinho-próximo de tons de cinza de matrizes angulares de dependência espacial, que HARALICK et al. 1973 e HARALICK 1979, apresentam como matriz de co-ocorrência.

A matriz de co-ocorrência é a co-ocorrência de uma tonalidade de cinza especificada em uma matriz de frequência relativa  $P_{ij}$ , com a qual duas células vizinhas separadas pela distância  $d$ , ocorrem na imagem, uma com tonalidade cinza  $i$  e a

outra com tonalidade cinza  $j$ . Tais matrizes de tonalidade espacial de cinza, dependentes de frequência, são simétricas, e são uma função da relação angular entre duas células de resolução vizinha, bem como função da distância entre elas.

A extração de informações texturais, pela matriz de co-ocorrência, é apresentada por um conjunto de 14 características texturais:

- 1- Segundo Momento Angular
- 2- Contraste
- 3- Correlação
- 4- Variância
- 5- Momento Inverso da Diferença
- 6- Média da Soma
- 7- Variância da Soma
- 8- Entropia da Soma
- 9- Entropia
- 10- Variância da Diferença
- 11- Entropia da Diferença
- 12 e 13 - Informação de Medidas de Correlação
- 14 - Coeficiente Máximo de Correlação.

Estas características contêm informação sobre características de textura da imagem como homogeneidade, dependências lineares de tom cinza (estrutura linear), contraste, e a complexidade da imagem.

Outro método capaz de avaliar as informações texturais em imagens é a técnica de filtragem. A filtragem espacial é uma operação local, na qual valores de pixels numa imagem original são modificados com base nos pixels vizinhos (LILLESAND e

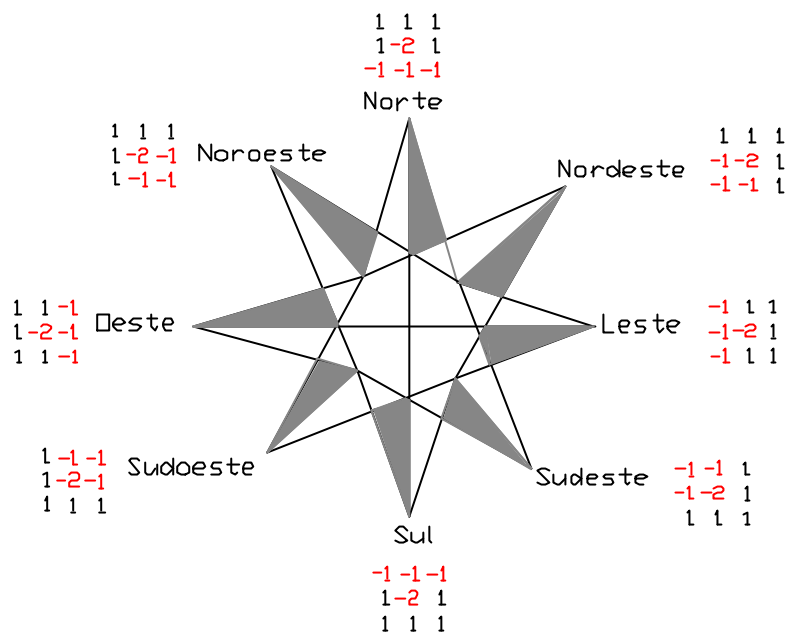


KIEFER, 1989). O processo é realizado pela utilização de matrizes, denominadas janelas e/ou máscaras, aplicadas sobre uma imagem. Estas janelas podem ter dimensão de 3x3, 5x5 e 7x7 ou superiores.

Segundo CRÓSTA (1992), os filtros espaciais, também conhecidos por convolução, apresentam-se por três tipos básicos: filtros passa baixa, passa alta e direcionais. O filtro passa baixa ou de suavização (em inglês *smoothing*) elimina as altas frequências da imagem, deixando passar somente as baixas frequências. Quatro tipos mais comuns de filtros desta família são: filtro da média, filtro da média ponderada, filtro da moda e filtro da mediana.

Os filtros passa alta, também conhecidos como realce de bordas, eliminam as feições de baixa frequência deixando apenas as de alta frequência, normalmente expressas por bordas ou limites entre áreas de diferentes valores de DN. Os tipos mais comuns de filtros passa alta são: Laplacianos e direcionais.

Os filtros direcionais são um tipo especial de combinação de filtragem passa alta com a limiarização dos níveis de cinza. Esse filtro realça os alvos, de acordo com a direção desejada e aplica uma máscara com valores negativos, onde seus pesos distribuídos são assimétricos, ao redor de um eixo hipotético. As direções a serem realçadas são perpendiculares à esse eixo hipotético, sendo que o realce se dá num intervalo de 45° para ambos os lados em relação à direção de realce. (CRÓSTA, 1992).



**Figura 5** - Direções usadas pelo filtro direcional

A máscara da direção norte, por exemplo, realça os limites horizontais, a máscara sul os verticais e assim por diante. Nesta família de operações as direções se subdividem em norte, sul, oeste, leste, nordeste, sudeste, noroeste e sudoeste (Figura 5). A vantagem do uso deste filtro é o realce de bordas em direções predeterminadas, no entanto deve-se atentar para a produção de bordas artificiais que muitas vezes podem confundir o intérprete.

WOODCOCK et al. (1988); CURRAN (1988) e ONGE (1999), apresentam uma outra proposta para o estudo textural, que é o uso de variogramas. A função do semivariograma relaciona a semivariância à separação espacial e fornece uma descrição concisa e imparcial da escala e padrão da variabilidade

espacial. Os variogramas, conforme WOODCOCK et al. (1988), apresentam ser uma das formas mais promissoras no estudo de análise de usos do solos, eles apresentam o potencial de classificar imagens segundo características espaciais.

ONGE (1999) recentemente tem utilizado o semivariograma para obtenção de textura em imagens de alta resolução, com objetivo de estimar tamanho e densidade de árvores. Seus resultados demonstraram que a topografia afeta a textura, principalmente em disposições esparsas, e que é baixo o erro absoluto induzido na estimativa do tamanho e densidade de árvores, podendo assim ser satisfatoriamente aplicado para mapear estruturas de florestas, através do processamento automático de imagens de alta resolução.

Apesar dessas metodologias seguirem caminhos algumas vezes distintos, a única intenção é a caracterização e a discriminação textural, proporcionando assim uma maior facilidade de interpretação e de extração de atributos na imagem.

Uma das questões referentes à utilização dessas metodologias é para trabalhar com estabelecimento de limites entre zonas homólogas, nas propriedades texturais e/ou estruturais de uma imagem de satélite. Segundo MATTOS (2001) e SOARES e FIORI (1976), na caracterização das zonas homólogas e de seus limites, faz-se necessário a análise das formas da rede de drenagem e das formas de relevo, que são elementos texturais de vital importância para a fotointerpretação. VENEZIANI e ANJOS (1982) atribuem ao conceito de zonas homólogas propriedades qualitativas e quantitativas, onde se distinguem cinco tópicos:

- 1) Propriedade qualitativa dos elementos texturais  
(propriedade qualitativa)
- 2) Densidade de textura (propriedade quantitativa)
- 3) Estrutura (propriedade qualitativa)
- 4) Grau de estruturação ((propriedade quantitativa)
- 5) Ordem de estruturação (propriedade qualitativa)

Para VENEZIANI e ANJOS (1982), as zonas homólogas devem ser delimitadas constituindo propriedades qualitativas idênticas e a mesma estrutura.

Vários autores têm trabalhado afim de facilitar essa delimitação de zonas homólogas, e sabe-se que, com o avanço computacional na últimas décadas, os procedimentos de extração de informação digital a partir de análise textural de produtos do sensoriamento remoto, têm sido realizados com sucesso. Nas últimas décadas, vários estudos vêm sendo realizados com o objetivo de obter informações texturais por diferentes manipulações em imagens; dentre eles pode-se citar, JENSEN, (1979) - Caracterização espectral e textural para classificação de coberturas de terras elusivas na franja urbana ; SHIH e SCHOWENGERDT (1983) - Classificação de superfícies áridas geomorfológicas utilizando características espectrais e texturais do LANDSAT ; KURKDJIAN (1988) - Textura fotográfica homogênea: como instrumento na identificação de segmentos de população urbanas diferenciados ; PEREIRA, et al. (1989) - Cobertura e uso da terra através de sensoriamento remoto; JENSEN (1990) - Classificação baseada em conhecimento da área urbana, usando textura e informação de contexto na imagem TM-LANDSAT; HAMBURGER (1993) - Utilização de informações derivadas

de características texturais de imagens orbitais na definição de classes de uso do solo urbano, PINEL, et al. (1998) - Sensibilidade de imagens texturais de alta resolução na aquisição de parâmetros biofísicos em florestas; HUDAK e WESSMAN (1998) - Análise de Textural do histórico de fotografias aéreas para caracterizar a invasão de uma planta lenhosa na savana na África do Sul; ONGE(1999) - Efeitos topográficos de florestas em imagens texturais de alta-resolução medida pelo semivariograma , entre outros.

Esses pesquisadores apresentaram um objetivo comum, o de avaliar a análise textural a partir de técnicas de processamento digital de imagens, na caracterização do uso e ocupação da terra, áreas e populações urbanas, disposições florestais, etc. Dentre essas variedade de estudos, é importante ressaltar a importância da compartimentação fisiográfica atualmente em projetos de mapeamento.

Em linhas gerais, conforme VEDOVELLO e MATTOS (1998) apresentam, a compartimentação fisiográfica consiste em dividir uma determinada região em áreas que apresentem internamente características fisiográficas homogêneas e que sejam distintas das áreas adjacentes. Portanto, é de suma importância analisarmos a denominação de compartimentação fisiográfica e/ou fisiografia.

A compartimentação envolve procedimentos que dividem o terreno em várias unidades, as quais apresentam características homogêneas.

VEDOVELLO, em trabalhos de 1993 e 2000, utilizou uma abordagem fisiográfica na compartimentação do terreno, que como

foi dito anteriormente, consiste em dividir uma determinada região em áreas que apresentam internamente características fisiográficas homogêneas, que podem ser de natureza geológica, geomorfológica, pedológica, vegetacional, etc. Essa identificação dos compartimentos fisiográficos abrange um certo nível hierárquico, onde há identificação de diferentes unidades, levando à criação das UBCs, ou seja as Unidades Básicas de Compartimentação, que são discriminadas e identificadas em seu contexto fisiográfico.

A terminologia de fisiografia vem do grego *physis* - natureza e *graphos* - descrição, por conseguinte fisiografia seria a descrição da natureza. Todavia, a mesma é utilizada por vários autores como sinônimo do termo de geomorfologia, sendo que a mesma é conceituada como a ciência que estuda as formas de relevo, tendo em vista a origem, estrutura, natureza da rochas, o clima da região e as diferentes forças endógenas e exógenas que, de modo geral, entram como fatores construtores e destruidores do relevo terrestre (GUERRA, 1975).

Já o geomorfólogo TRICART (1965) nos mostra que na geomorfologia o seu objeto específico é uma superfície de contato, a que separa a parte sólida do globo terrestre, a litosfera, das partes líquidas e gasosas que a envolvem. Ressaltando a sensível interação com as ciências que estudam a litosfera (geologia estrutural e geofísica), a hidrosfera e atmosfera (oceanografia e climatologia) como demais disciplinas, por exemplo: biogeografia, hidrologia fluvial, pedologia e sedimentologia.

CHRISTOFOLETTI (1971), apresenta que o relevo é o elemento de base para as pesquisas físico-geográficas, porque, dependendo do espaço e das condições, o relevo é o que melhor preserva os estágios de desenvolvimento dos complexos naturais e, em relação a atmosfera, hidrosfera e biosfera, as suas mudanças são muito lentas, portanto a evolução do relevo não deve ser separada da ação exercida pelos demais componentes do meio natural, ou seja, implica em reconstruir as ligações e interrelações entre todos os fenômenos.

A fisiografia, como pode ser visto é basicamente a análise do meio físico. Segundo ZUQUETTE e GANDOLFI (1990), o Brasil particularmente apresenta uma diversidade do meio físico muito grande, a qual mesmo assim tentam demonstrar em uma listagem, como pode ser visto na Tabela 2.

**Tabela 2** - Características do meio físico brasileiro

<b>Tipos</b>	<b>Considerações</b>
Regiões Montanhosas	Típicas de rochas cristalinas ( ex.: Serra do Mar e Mantiqueira), de rochas metamórficas (ex.: Serra da Canastra); rochas sedimentares (ex.: Faixa Paraguai-Araguaia).
Regiões Litorâneas	Mais de 8000 Km de costa, com planícies costeiras e sem planícies costeiras, mas com serranias.
Regiões Planas	Com declividades predominantes < 15% com alta diversidade de rochas (ex.: Depressão Periférica - SP); com baixa diversidade de rochas (ex.: Planalto Ocidental - SP; Baixada Cuiabana - MT, Chapada dos Parecis - MT/RO).
Vales Circundados por Montanhas	Ex.: Vale do Rio Paraíba do Sul).
Áreas com relevo	Declividade entre 12 e 30% (ex.: Regiões dos

irregular	Estados de Goiás, Mato Grosso e Minas Gerais).
Planícies interiores	Com deposição d sedimentos (Ex.: Amazônia)
Planícies e Planaltos	Com rochas variadas (ex.: Nordeste do Brasil).

Fonte: ZUQUETTE e GANDOLFI (1990)

Ao se estudar, numa determinada área, as forma de relevo e os processos geomorfológicos que ali ocorrem, está-se realizando um trabalho que visa entender uma situação do tempo presente. Hoje, a evolução do relevo é vista freqüentemente numa perspectiva de Equilíbrio Dinâmico ou numa concepção mais avançada onde ela é considerada como o estado mais provável dentro de um contexto histórico probabilístico. O relevo e seus processos geradores têm, na explicação de suas existências e evoluções, a necessidade de conhecimentos relativos à contribuição de fatores como a geologia, o clima, a topografia, o solo, a hidrologia, a biologia e o homem. A Geomorfologia é beneficiada pelo avanço do nível de conhecimento sobre cada um desses fatores e dos estudos ambientais do qual todos fazem parte.

É necessário entender que métodos e técnicas empregados devem estar articulados, correspondendo às várias etapas a serem trilhadas para alcançar o objetivo final (CUNHA e GUERRA, 1996).

Uma das técnicas a serem avaliadas é o uso da tecnologia de sensores orbitais, que segundo VEDOVELLO e MATTOS (1998), apresentam-se com um grande potencial para a realização de compartimentações fisiográficas, uma vez que constituem "objetos" concretos (refletindo a organização espacial do meio físico) sobre os quais é possível traçar limites.



Estudos realizados por VEDOVELLO (1993 e 2000) e THEODOROVICZ et al. (1994), baseados em SOARES e FIORI (1976) e VENEZIANI e ANJOS (1982), permitiram que este processo fosse sistematizado de uma maneira clara e coerente.

"A Felicidade não depende do que nos falta,  
mas do bom uso que fazemos do que temos."  
Thomas Hardy

### **3. Caracterização da Área Física**

#### **3.1 -Localização e Acesso**

A área de estudo abrange os municípios de Itanhaém e Peruíbe, estando compreendida entre os paralelos 24° e 24°20' de latitude sul e entre os meridianos 46° e 46°45' de longitude oeste (Figura 6). As vias de acesso são a BR-116 (Rod. Régis Bittencourt) que liga a SP-165 e a SP-055 (Rod. Manoel da Nóbrega).

A população de ambos municípios, segundo dados do IBGE, perfazem cerca de 121.947 habitantes, onde Itanhaém apresenta 71.947 habitantes e Peruíbe 50.000 habitantes. Ambos municípios apresentam atividades econômicas diretamente ligadas ao turismo e lazer, o que evidencia uma população flutuante no decorrer das férias e de finais de semana, chegando a um total de 2000 pessoas no município de Itanhaém e 400.000 no município de Peruíbe.

O regime climático da área é tropical sem estação seca a quente sem estação seca. Segundo SETZER (1966), as áreas de maior pluviosidade são as encostas marítimas mais escarpadas da Serra do Mar, principalmente onde ela apresenta a direção E-W, mais influenciadas assim pelas massas de ar frio do Atlântico Sul. A evapotranspiração outro aspecto de grande importância, pois a diferença normal entre o total anual das chuvas e da evapotranspiração não deixa de caracterizar firmemente a umidade total do clima, a decomposição das rochas, a natureza dos solos e as características hidrológicas.

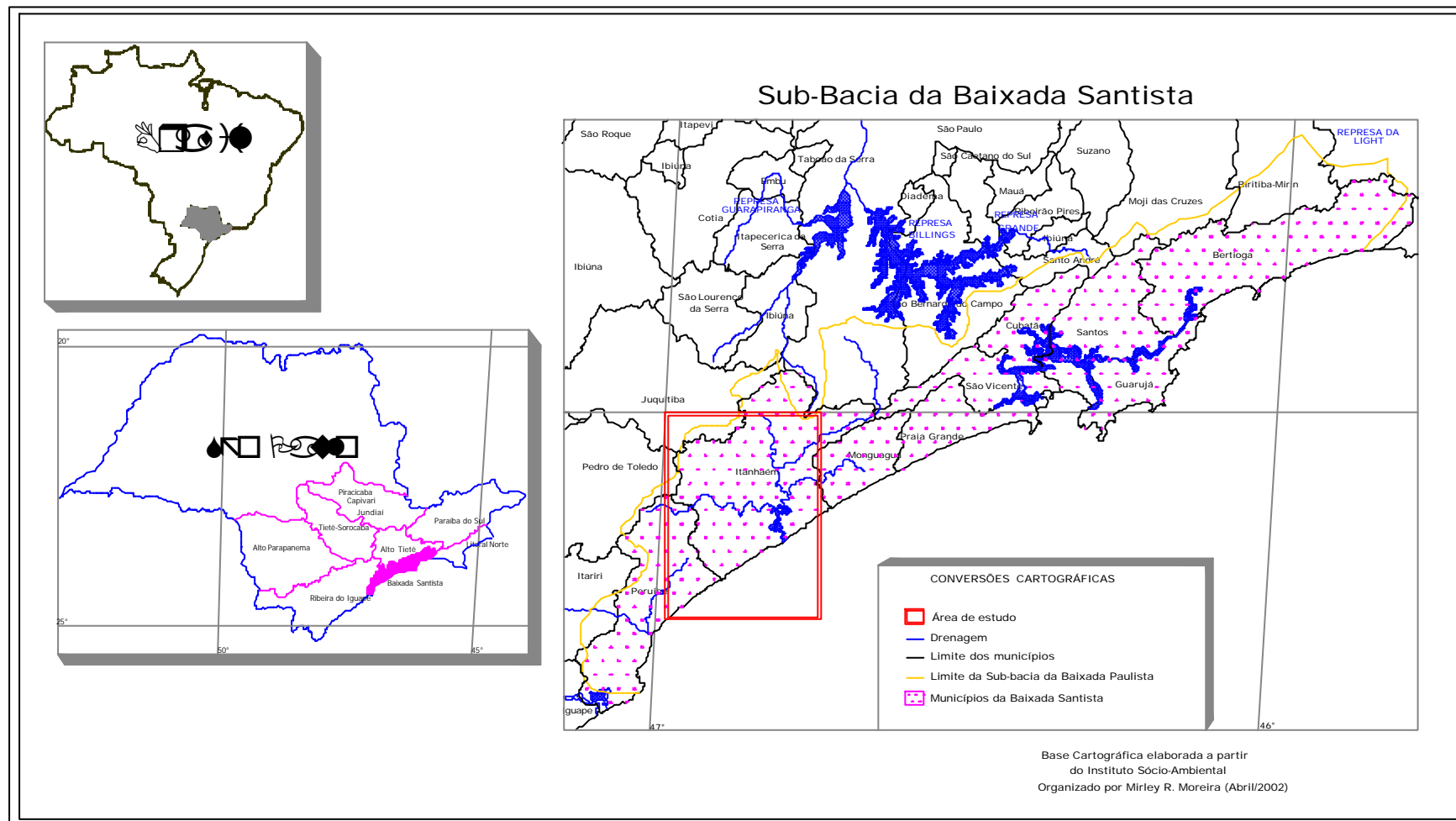
Segundo IPT (1981b), a área de estudo está geomorfologicamente situada em 4 unidades geomórficas: litorâneas, relevo de morrotes, relevo de morros, relevo montanhoso e escarpas (Figura 7 e Tabela 3)

A planície costeira é representada pelas porções mais externas, junto ao litoral, e internas, ao pé da zona serrana, da área de afloramentos quaternários; tratam-se de terrenos baixos e mais ou menos planos, drenados e sujeitos a inundações. Apresentam-se com altitude máxima de 4m (IPT (1981b) e GIANNINI (1987)). Geologicamente esta área se apresenta com sedimentos marinhos e mistos, onde predominam depósitos marinhos localmente retrabalhados por ação fluvial e/ou eólica termos areno-síltico-argilosos de deposição flúvio-marinho-lacustre e depósitos de mangue (Figura 8 e Tabela 4). Já os terraços marinhos, descritos como terrenos planos, se localizam poucos metros acima do nível do mar e com drenagem superficial ausente, constituídos de areias marinhas finas inconsolidadas freqüentemente limontizada, com presença de esparsos leitos argilosos terrenos arenosos praias (IPT; 1981a e GIANNINI; 1987).

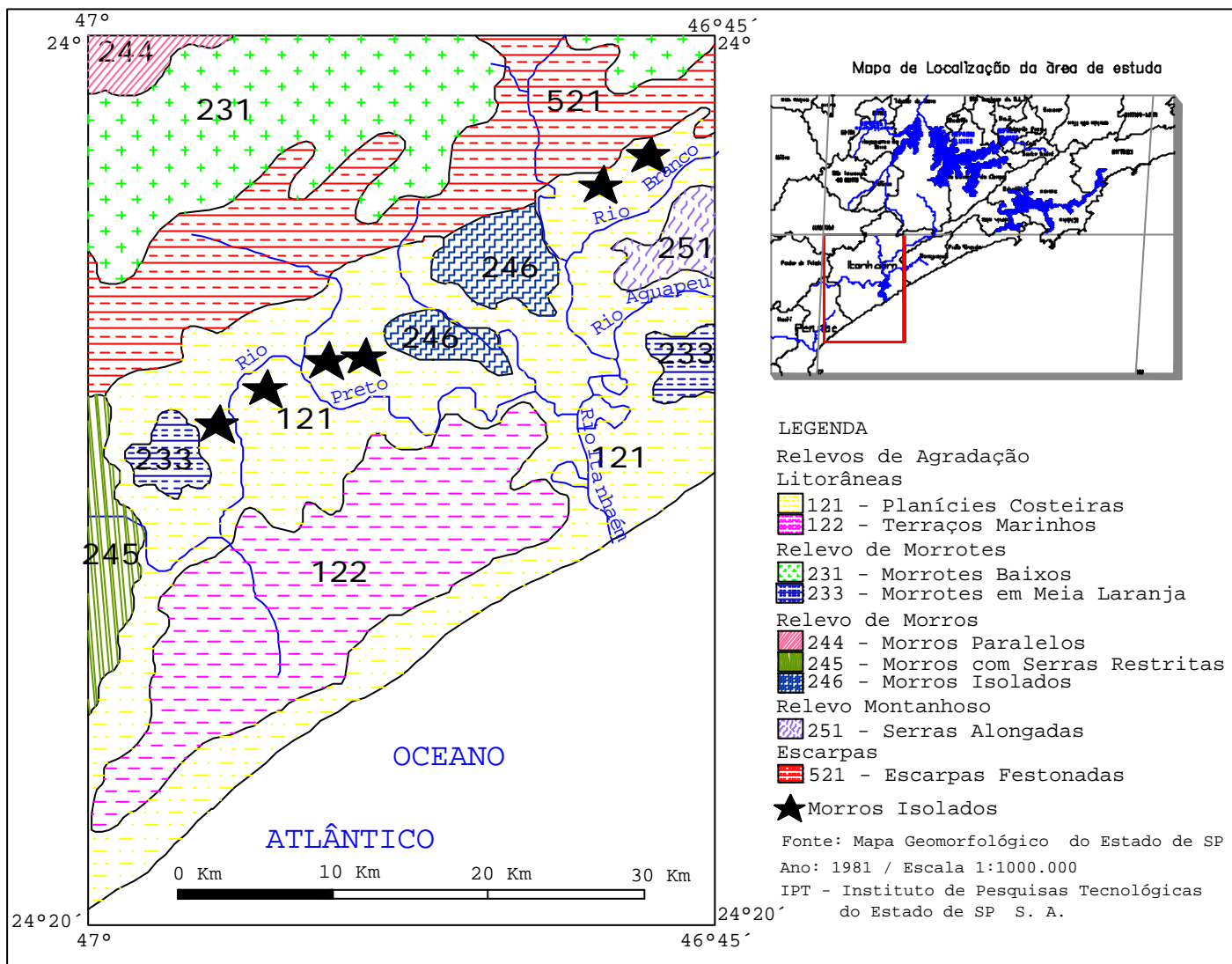
As áreas com serras alongadas, com altitudes máximas variando entre 800 a 1000m, são caracterizadas por topos angulosos, vertentes ravinadas e drenagem de alta densidade, com padrão paralelo-pinulado. Esta unidade geomórfica é representada na região da serra de Peruíbe. Os morros com serras restritas, definida por topos arredondados, vertentes com perfil retilíneo, vales fechados e padrão de drenagem dentrítico a pinulado (IPT, 1981b).

As escarpas festonadas são caracterizadas por anfiteatros separados por espigões, topos angulosos, vertentes com perfis retilíneos, drenagem de alta densidade, padrão subparalelo a dendrítico e vales fechados, constituído de migmatitos heterogêneos de estruturas variadas.

A pedologia da área em estudo se divide em quatro grupos: Cambissolos, Espodossolos, Glesissolos e Latossolos (Figura 9 e Tabela 5).



**Figura 6** - Localização da área em estudo



**Figura 7** - Mapa geomorfológico da área em estudo

**Tabela 3 - Descrição das unidades geomorfológicas**

<b>LITORÂNEAS</b>	
<b>121</b> - Planícies Costeiras	Terrenos baixos e mais ou menos planos, próximos ao nível do mar, com baixa densidade de drenagem, padrão meandrante, localmente anastomosado. Como formas subordinadas ocorrem cordões (praias, dunas, etc. )
<b>122-</b> Terraços Marinhos	Terrenos mais ou menos planos, poucos metros acima das planícies costeiras, com drenagem superficial ausente. Presença de antigos cordões (praias, dunas, etc.)
<b>RELEVO DE MORROTOS</b>	
<b>231</b> - Morrotes Baixos	Relevo ondulado, onde predominam amplitudes locais menores que 50 metros. Topos arredondados, vertentes com perfis convexos a retilíneos. Drenagem de alta densidade, padrão em treliça, vales fechados e abertos, planícies aluviais inferiores restritas. Presença eventual de colinas nas cabeceiras dos cursos d'água principais.
<b>233</b> - Morrotes em Meia Laranja	Relevo ondulado, de topos arredondados, vertentes com perfis retilíneos a convexos e presença local de serras. Drenagem de média a alta densidade, padrão subparalelo a sub-retangular, vales abertos localmente fechados, planícies aluviais inferiores desenvolvidas.
<b>RELEVO DE MORROS</b>	
<b>244</b> - Morros Paralelos	Topos arredondados, vertentes com perfis convexos a retilíneos. Drenagem de alta densidade, padrão dendrítico a retangular, vales abertos a fechados, planícies aluvionares interiores desenvolvidas. Constitui geralmente um conjunto de formas em " meia laranja"
<b>245</b> - Morros com Serras Restritas	Morros de topos arredondados, vertentes com perfis retilíneos a convexo. Drenagem de alta densidade, padrão em treliça a localmente subdendrítica, vales fechados a abertos, planícies aluvionares interiores restritas.
<b>246</b> - Morros Isolados	Topos arredondados, vertentes ravinadas de perfis convexo a retilíneos. Drenagem de média a alta densidade, padrão dendrítico, vales fechados. Ocorrem isolados nas planícies costeiras.
<b>RELEVO MONTANHOSO</b>	
<b>251</b> - Serras Alongadas	Topos angulosos, vertentes ravinadas com perfis retilíneos, por vezes abruptas. Drenagem de alta densidade, padrão paralelo pinulado, vales fechados.
<b>ESCARPAS</b>	
<b>521</b> - Escarpas Festonadas	Desfeitas em anfiteatros separados por espigões, topos angulosos, vertentes com perfis retilíneos. Drenagem de alta densidade, padrão subparalelo a dendrítico, vales fechados.

Fonte: IPT (1981b)



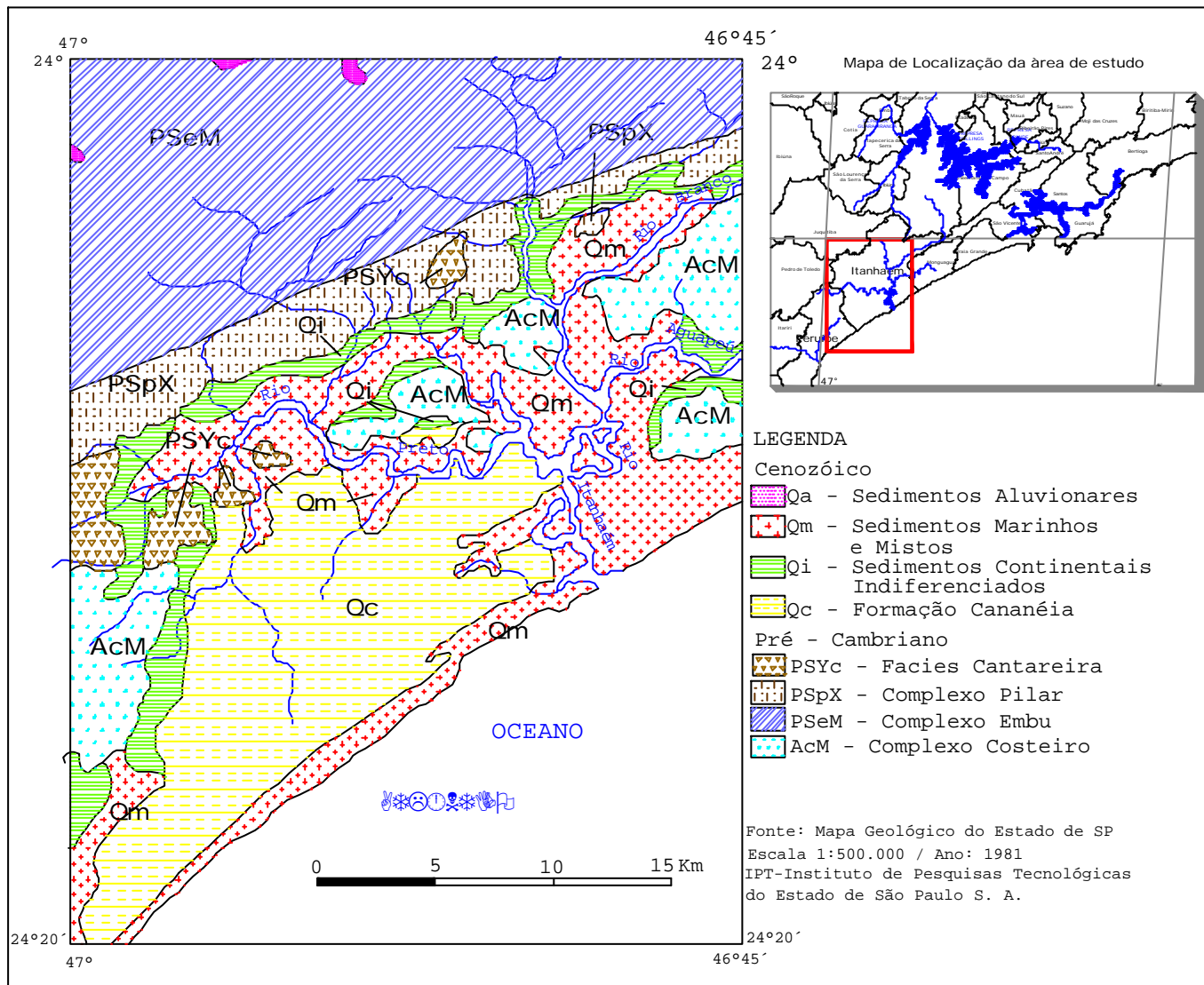
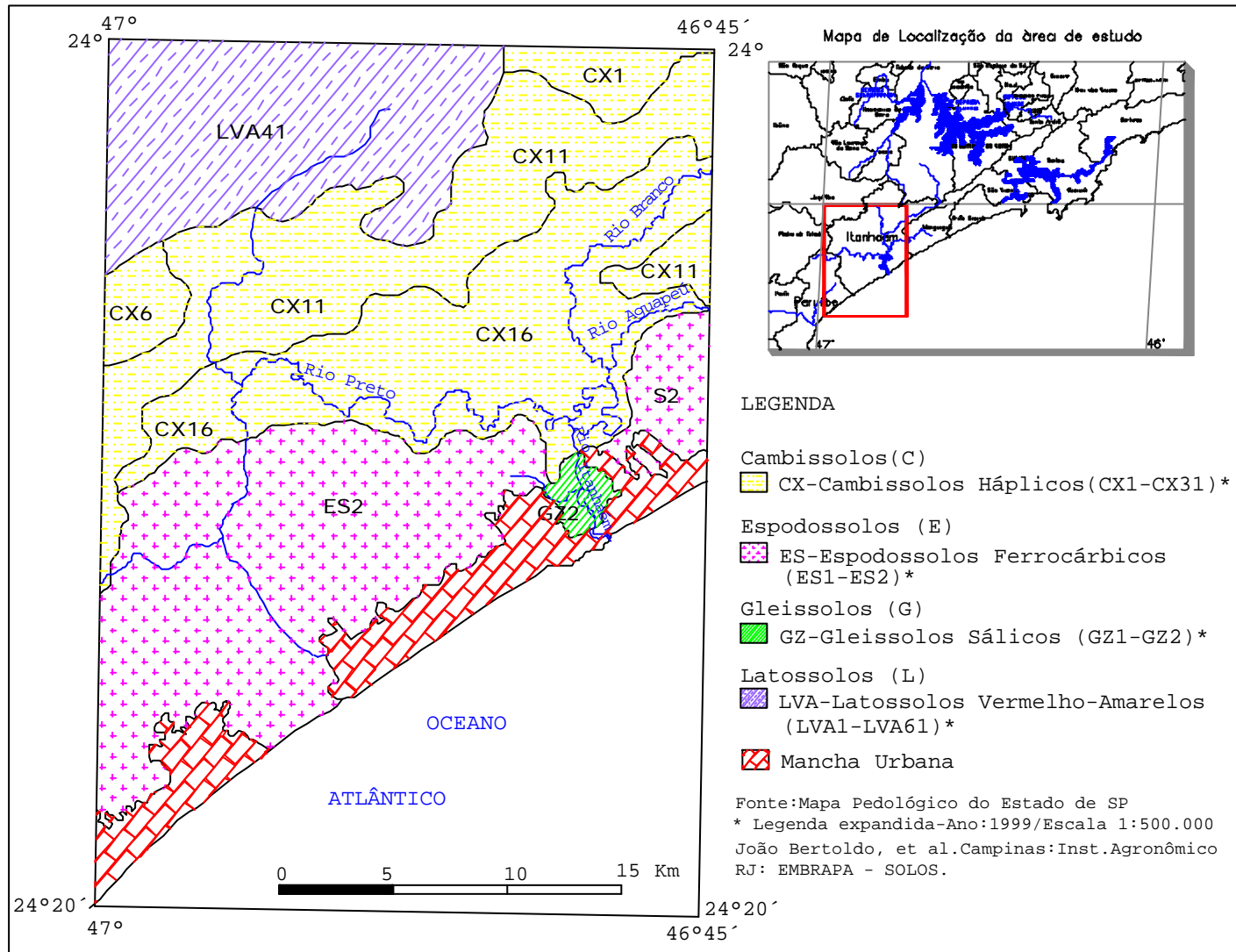


Figura 8 - Mapa geológico da área em estudo

**Tabela 4** - Descrição Da Unidades Litoestratigráficas

C E N O Z Ó I C O	<b>Qa</b> - Sedimentos Aluvionares	Aluviões em geral, incluindo areias inconsolidadas de granulação variável, argilas e cascalheiras fluviais subordinadamente, em depósitos de calha e/ou terraços.
	<b>Qm</b> - Sedimentos Marinhos e Mistos	Sedimentos atuais e subatuais, incluindo termos arenosos praias, depósitos marinhos localmente retrabalhados por ação fluvial e/ou eólica termos areno-siltico-argilosos de deposição flúvio-marinho-lacustre e depósitos de mangue.
	<b>Qi</b> - Sedimentos Continentais Indiferenciados	Depósitos continentais incluindo sedimentos elúvio-colvionares de natureza areno-argilosa e depósitos de caráter variado associados a encostas.
	<b>Qc</b> - Formação Cananéia	Areias marinhas finas inconsolidadas freqüentemente limontizada, com presença de esporços leitons argilosos.
P R É - C A M B R I A N O	<b>PSYc</b> - Fácies Cantareira	Corpos para-autóctones e alóctones, foliados, granulação fina a média, textura porfirítica freqüente; contatos parcialmente concordantes e composição granodiorítica a granítica.
	<b>PSPX</b> - Complexo Pilar	Quartzo-mica xistos, biotita-quartzo xistos, muscovita-quartzo xistos, granada-biotita xistos, xistos grafitosos, clorita xistos, magnetita xistos e calcoxistos com intercalações subordinadas de filitos, quartzitos, mármore, calcossilicáticas e metassiltitos.
	<b>PSeM</b> - Complexo Embu	Migmatitos heterogêneos de estruturas variadas, predominando estromatitos de paleossoma xistoso, gnáissico e/ou anfibolítico; migmatitos homogêneos variados predominando os de natureza homofânica, oftálmica e facoidal.
	<b>AcM</b> - Complexo Costeiro	Migmatitos metatexíticos de estruturas variadas predominantemente estromatíticas e oftálmicas; diatexitos, incluindo termos facoidais, oftálmicos e homofânicos e paleossomas variados e migmatitos policíclicos complexos de paleossoma xistoso e/ou gnáissico.

Fonte: IPT (1981a).



**Figura 9** - Mapa pedológico da área em estudo



**Tabela 5** - Descrição das unidades pedológicas

<b>CAMBISSOLOS (C)</b>	
<i>CAMBISSOLOS HÁPLICOS (CX1 - CX31)</i>	
<b>CX1</b>	Distróficos A moderado text. Argilosa rel. forte ondulado.
<b>CX6</b>	Tb Distróficos +CAMBISSOLOS HÁPLICOS Tb Distróficos latossólicos ambos A moderado text. Argilosa e argilosa com cascalhos rel. Montanhosos.
<b>CX11</b>	Distróficos text. Argilosa e média fase não rochosa e rochosa rel. montanhosos e escarpado + LATOSSOLOS VERMELHO - AMARELOS Distróficos text. Argilosa rel. montanhosos e forte ondulado ambos A moderado e proeminente.
<b>CX16</b>	Tb Distróficos A moderado text. Indiscriminada bem a imperfeitamente drenados + grupamento indiscriminado de NEOSSOLOS FLÚVICOS e GLEISSOLOS HÁPLICOS todos rel. de várzea.
<b>ESPODOSSOLOS (E)</b>	
<i>ESPODOSSOLOS FERROCÁRBICOS (ES1 - ES2)</i>	
<b>ES2</b>	Associação complexa de ESPODOSSOLOS FERROCÁRBICOS órticos A moderado + ESPODOSSOLOS FERROCÁRBICOS hidromórficos hísticos ambos text. Arenosa + ORGANOSSOLOS endotiomórficos + SOLOS DE MANGUE indiscriminados + GLEISSOLOS indiscriminados todos rel. de várzea.
<b>GLEISSOLOS (G)</b>	
<i>GLEISSOLOS SÁLICOS (GZ1 - GZ2)</i>	
<b>GZ2</b>	Órticos + GLEISSOLOS TIOMÓRFICOS indiscriminados + ESPODOSSOLOS FERROCÁRBICOS hidromórficos A proeminente e moderado text. Arenosa todos rel. plano.
<b>LATOSSOLOS (L)</b>	
<i>LATOSSOLOS VERMELHO-AMARELOS (LVA1 - LVA61)</i>	
<b>LVA41</b>	Distróficos câmbicos pouco profundos A moderado text. Argilosa rel. forte ondulado + grupo indiscriminado de GLEISSOLOS Distróficos text. Argilosa rel. de várzea.

Fonte: João Bertoldo et al. (1999)

"O medo tem alguma utilidade,  
mas a covardia não."  
Gandhi

## **4. Materiais e Métodos**

### **4.1 - Materiais e Equipamentos**

#### **4.1.1- Produtos Orbitais**

Para o desenvolvimento deste estudo, utilizou-se imagem obtida pelo sensor LANDSAT 7 e ETM+, em formato digital, referente à órbita 219, ponto 077, data 30/04/2000, bandas 3, 4 e 5, azimute 41.58, elevação solar 39.68. Englobando partes dos municípios de Peruíbe e Itanhaém.

#### **4.1.2- Produtos Cartográficos**

Os produtos cartográficos foram obtidos junto ao Instituto Geológico (IG-SMA), em formato digital, na escala de 1:50.000, contendo as seguintes informações: drenagem principal e secundária, representadas sob a forma de linha contínua de cor azul. Os limites municipais, estão representados por polígonos fechados e as rodovias pavimentadas com linha contínua vermelha, etc.

#### **4.1.3- Aplicativo Computacional**

O software utilizado foi o IDRISI for Windows, versão 3.2, que segundo EASTMAN (1999), é um software capaz de reunir um conjunto de procedimentos voltado para o tratamento de informações espaciais e para a análise estatística multivariada foi utilizado o software XLSTAT versão 5.0.

#### **4.2 - Métodos**

A metodologia foi subdividida em etapas, para um melhor desenvolvimento do trabalho. Essa seqüência é composta de: pesquisa bibliográfica, interpretação preliminar das imagens, identificação dos dados, realce da imagem, análise textural que compreende a interpretação visual das imagens e a análise estatística, interpretação das imagens segundo a compartimentação fisiográfica, avaliação das sombras como um critério fotointerpretativo, análise estatística multivariada e a edição das imagens.



#### **4.2.1 - Pesquisa Bibliográfica**

A obtenção de dados referenciais bibliográficos foi feita através de levantamentos realizados na biblioteca do Campus UNESP- Rio Claro, USP - São Carlos, INPE - São José dos Campos e pelo sistema de comutação - via biblioteca UNESP, a qual foi de fundamental importância para aquisição de artigos científicos sobre o assunto em estudo.

Vale ressaltar que a pesquisa bibliográfica é um processo de fundamental importância, pois através dela pode-se aprimorar ou abandonar modelos teóricos e práticos surgidos anteriormente e no decorrer das próprias etapas do projeto. No entanto, a bibliografia específica de compartimentação mostrou-se restrita, o que justifica o enfoque dado ao estudo efetuado por VEDOVELLO (1993 e 2000) e THEODOROVICZ et al.(1994).

#### **4.2.2 - Interpretação Preliminar das Imagens**

A interpretação preliminar compreendeu apenas uma fotoleitura, que caracterizou a identificação de terrenos planos, com baixa densidade de drenagem; relevo de morros ao longo da Planície Costeira e Serras alongadas com vertentes abruptas.

### **4.2.3 - Identificação dos Dados**

Na caracterização das imagens foram exploradas os seus níveis de cinza, realizando-se histogramas, que é uma das formas mais comuns de se representar a distribuição dos Números Digitais (DNs) de uma imagem, e possivelmente a mais útil em processamento digital de imagens. O histograma fornece a informação sobre quantos *pixels* a imagem possui e cada valor possível de DN (que no caso das imagens de 8 bits, variam de 0 a 255) ou, de forma equivalente, qual a proporção da imagem que corresponde a cada valor de DN (CRÓSTA, 1992).

O software IDRISI gera um histograma de frequência de níveis de cinza em cada classe, bem como a estatística descritiva da imagem, que apresenta a média, o desvio padrão e valores mínimos e máximos do gráfico.

### **4.2.4 - Realce da Imagem**

Uma vez que o sistema visual humano só consegue discriminar cerca de 30 tons de cinza, e assim mesmo só quando eles são bastante espalhados em relação ao intervalo de 0-255, uma imagem de satélite, vista da forma como é adquirida pelo sensor, aparece visualmente com baixo contraste. Para que as informações nela contidas possam ser extraídas por uma analista

humano, o seu histograma comprimido tem então que ser expandido para ocupar todo intervalo disponível, numa operação chamada de aumento de contraste.

#### **4.2.5 - Compartimentação Fisiográfica**

A compartimentação fisiográfica foi realizada a partir da análise integrada dos elementos do meio físico, que podem ser de natureza geológica, geomorfológica, pedológica, etc. Tal procedimento é aceitável, uma vez que as propostas de compartimentação partem do princípio de que há uma correlação natural entre os elementos constituintes do meio físico. VEDOVELLO (1993 e 2000) a partir desta análise, ressalta que os elementos fisiográficos interagem de maneira diferenciada de área para área, apresentando formas particulares. Essas paisagens específicas refletem na imagem texturas também específicas, as quais são resultado da organização espacial dos diferentes tipos de elementos texturais.

Essa identificação de texturas, juntamente com a compartimentação fisiográfica, pode ser realizada a partir de propriedades texturais de relevo e drenagem, conforme metodologia apresentada por VENEZIANI e ANJOS (1982). Esta metodologia tem o objetivo de caracterizar áreas homólogas, que será o passo a seguir.

#### **4.2.6- Análise Textural e Critérios Fotointerpretativos**

Neste etapa, foram realizadas duas formas de análise: a análise visual e a análise estatística, ambas direcionadas à compartimentação fisiográfica.

No software IDRISI foram testadas vários processamentos de análise estatística, avaliando como cada algoritmo contribui para uma melhor interpretação visual, facilitando a compartimentação. Fica claro que não são etapas independentes, e sim concomitantes, pois ao mesmo tempo que é realizada uma operação, a outra vem logo em seguida avaliando o processo até então realizado de forma interativa.

##### **4.2.6.1 - Análise Visual das imagens**

Inicialmente, a análise de textura foi realizada visualmente, baseada na metodologia de SOARES e FIORI (1976), adaptada por VENEZIANI e ANJOS (1982) para produtos de sensores orbitais. Segundo esta metodologia, a interpretação é baseada na análise dos elementos texturais de relevo e drenagem. As variações na textura do relevo e da drenagem constituem a propriedade fundamental na análise da imagem, pois permitem separar feições com significado diferente ou associar feições com o mesmo significado, dado por condições naturais. As

propriedades como: densidade, tropia, grau e ordem de estruturação, representam princípios fundamentais para a interpretação e delimitação de zonas homólogas, as quais são definidas pela composição dessas propriedades e de interesse à pesquisa.

Alguns critérios interpretativos, com a finalidade de facilitar a interpretação foram obtidos a partir da carta geomorfológica do Estado de São Paulo, ao milionésimo, executada a partir de uma análise sistemática de imagens LANDSAT, canais 4, 5 e 7, nas escalas 1:250.000 e 1:500.00 (IPT, 1981b). Esses critérios descritos na Tabela 6, favorecem a interpretação e buscam uma sistematização do trabalho de fotointerpretação.

**Tabela 6** - Critérios utilizados na caracterização das unidades de relevo

<b>Critério</b>	<b>Categoria</b>	<b>Conceito</b>
Densidade de drenagem	Muito Alta Alta Média Baixa M. baixa Ausente	Pode ser definida com a razão entre o número de elementos texturais de drenagem por unidade de área. É utilizado para definir zonas homólogas.
Densidade de Relevo	Muito Alta Alta Média Baixa	É uma propriedade quantitativa que pode ser considerada como uma avaliação relativa. Diz respeito à quantidade de elementos texturais distinguíveis por área imageada.

	M. baixa Ausente	
Tropia	Fortemente Orientada Pouco Orientada Não orientada	O critério baseia-se na análise das lineações texturais de relevo e drenagem que podem ser reflexos da intersecção de planos de foliações com a superfície topográfica.
Forma de topos	Aplainado Arredondados Angulosos Sem visibilidade	Critério interpretativo classificado como sendo uma propriedade muito útil, pois pode indicar diferentes graus de erodibilidade, no entanto sua caracterização é um tanto quanto complexa.
Tamanho das Feições de Relevo	Muito Grande Grande Médio Pequeno Muito Pequeno	Critério que baseia-se essencialmente na análise do tamanho da textura do relevo definido pelos pares alternados "luz-sombra".

Fonte: (Adaptado de IPT, 1981b)

O produto obtido a partir desses métodos serviu de base para o desenvolvimento da análise estatística de textura, que compreende a próxima etapa.

#### 4.2.6.2 - Análise estatística dos padrões texturais

O cérebro humano realiza agregações e discriminações texturais, utilizando uma conjunção de evidências e de análises com relativa facilidade, porém os resultados finais das análises, onde são separadas as zonas homogêneas, segundo critérios utilizados, podem variar em função do fotointérprete, de sua experiência e da importância a ele atribuída a cada um dos critérios de análise.

Numa análise estatística a subjetividade é reduzida, decorrente da alteração de critérios e da experiência do fotointérprete, o que favorece a repetitividade do processo em outras áreas físicas.

Para se caracterizar a textura estatisticamente foram testadas e comparadas várias categorias de análise subdivididas em medidas texturais MURPHY (1985) e TURNER(1989). A primeira categoria é a da variabilidade que se subdivide em :

##### Riqueza relativa

93	76	78
97	80	79
93	84	84

Imagem Original

44.44	66.66	66.66
55.55	77.77	88.88
66.66	77.77	66.66

Imagem Final

$$R = n/n_{\max} * 100$$

Onde: n = número de classes distintas - equivale a 7

$n_{\max}$  = número máximo de classes - equivale a 9

**Cálculo:**  $R = n/n_{\max} * 100$

$$R = 7/9 * 100$$

$$R = 77.77$$

**Diversidade (H)**

93	76	78
97	80	79
93	84	84

Imagem Original

1.27	1.73	1.73
1.42	1.88	2.04
1.73	1.88	1.67

Imagem Final

$$H = -\text{soma} (p * \ln(p))$$

Onde: soma = a soma em cima de todas as classes

P = proporção de cada classe na janela

**Cálculo:**  $H = -\text{soma} (p * \ln(p))$

$$H = - (2/9 * \ln(2/9) + 2/9 * \ln(2/9) + (1/9 * \ln(1/9)) * 5$$

$$H = - (0.222 * - 1.50407 + 0.222 * - 1.50407 + (0.111 * - 2.19722) * 5$$

$$H = - (-0.33390 + (-0.33390) + (-1.21945))$$



$$H = -(-1.88725)$$

$$H = 1.88$$

Índice de domínio (Hm - H)

93	76	78
97	80	79
93	84	84

Imagem Original

0.11	0.05	0.05
0.18	0.05	0.03
0.05	0.05	0.11

Imagem Final

$$D = H_{\text{máx}} - H$$

Onde: H= Diversidade

$$H_{\text{máx}} = \text{diversidade de máximo} = \ln(n)$$

Onde: n= número presente de classes distintas

ln= logaritmo natural

Cálculo:

$$D = H_{\text{máx}} - H$$

$$D = H_{\text{máx}} - (-\text{soma}(p \cdot \ln(p)))$$

$$D = \ln(7) - (1.88725)$$

$$D = 1.94591 - 1.88725$$

$$D = 0.05866$$

Índice de fragmentação

93	76	78
97	80	79
93	84	84

Imagem Original

0.37	0.62	0.62
0.5	0.75	0.87
0.62	0.75	0.62

Imagem Final

$$F = (n-1)/(c-1)$$

Onde: n= número presente de classes distintas - equivale a 7

C= número de celas considerando (9,25 ou 49) - equivale a 9

Cálculo:  $F = (n-1)/(c-1)$

$$F = (7-1)/(9-1)$$

$$F = 6/8$$

$$F = 0.75$$

**NDC (número de classes diferenciadas)**

O software Idrisi utiliza por decisão do usuário, 9 elementos vizinhos, como um espaço de subconjuntos. Onde é gerado subconjuntos de valores nominais com valores idênticos e valores diferentes. Em geral o valor do índice de NDC varia de 1-9, 1-25, 1-49, isso dependendo da janela a ser utilizada 3x3, 5x5 ou 7x7.

93	76	78
97	80	79
93	84	84

Imagem Original

4	6	6
5	7	8
6	7	6

Imagem Final

**Cálculo:**

Na janela 3x3 temos ao todo 9 valores, onde foi particionado em conjuntos conforme descritos a seguir:

A= {93, 93}

B= {84, 84}

C= {76}

D= {78}

F= {97}

G= {80}

H= {79}

O valor do índice é 7.

**CNV (Centro versus vizinho)**

Este método compara o vizinho do centro com os outros 8 elementos. O espaço topológico é um conjunto de 8 pares ordenados representando as comparações de valores de classes entre os elementos vizinhos. O índice pode variar de 0-8, 0-24, 0-48, dependendo da janela a ser utilizada.

93	76	78
97	80	79
93	84	84

Imagem Original

5	7	7
7	8	8
7	7	7

Imagem Final

**Cálculo:** Ao se comparar o pixel central com os demais é verificado que os demais pixels não apresentam valores iguais ao do pixel central, portanto o índice é 8.

**BCM Matriz de comparação binária**

93	76	78
97	80	79
93	84	84

Imagem Original

28	33	33
29	34	35
33	34	32

Imagem Final

$$BCM = 1/2 [ n^2 - \sum_{i=1}^k * f_i ]$$

onde: n= número de elementos vizinhos - eqüivale a 9 pela janela utilizada 3x3

fi= freqüência dos elementos na classe i

k= número de classes no vizinho - eqüivale a 7

**Cálculo:**

$$\begin{aligned}
 & \text{BCM} = \frac{1}{2} \left[ n^2 - \sum_{i=1}^{k=7} f_i^2 \right] \\
 & \text{BCM} = \frac{1}{2} [81 - 2^2 + 2^2 + 1^2 + 1^2 + 1^2 + 1^2] \\
 & \text{BCM} = \frac{1}{2} [81 - 4 + 4 + 5] \\
 & \text{BCM} = \frac{1}{2} [81 - 13] \\
 & \text{BCM} = 34
 \end{aligned}$$

**Convolução**

93	76	78
97	80	79
93	84	84

Imagem original

-29	10	-12
-25	2	-19
-18	-13	-22

Imagem Final

A convolução opera no domínio espacial de uma imagem, onde produz um realce das bordas direcionadas, geradas por filtros de orientação. Essa orientação é apresentada pelas seguintes janelas:

1	1	1
1	-2	1
-1	-1	-1

Norte

-1	-1	-1
1	-2	1
1	1	1

Sul

1	1	-1
1	-2	-1
1	1	-1

Oeste

-1	1	1
-1	-2	1
-1	1	1

Leste

1	1	1
-1	-2	1
-1	-1	1

Nordeste

-1	-1	1
-1	-2	1
1	1	1

Sudeste

1	-1	-1
1	-2	-1
1	1	1

Sudoeste

1	1	1
1	-2	-1
1	-1	-1

Noroeste

**Cálculo:**

O exemplo a ser dado será a orientação a norte. Todos os valores na janela de orientação são multiplicados pelos valores originais e logo após é realizada a somatória.

$$N = (93 \times 1) + (76 \times 1) + (78 \times 1) + (97 \times 1) + (80 \times -2) + (79 \times 1) + (93 \times -1) + (84 \times -1) =$$

$$N = 93 + 76 + 78 + 97 + (-160) + 79 + (-93) + (-84) + (-84) =$$

$$N = 2$$

#### **4.2.7 - Avaliação das Sombras como um critério fotointerpretativo**

Inicialmente foi selecionada uma região com diferentes graus de densidade e tropia. Esta área contém altitudes com variação de 20 metros a , obtidas a partir da carta topográfica IBGE na escala de 1:50.000.

A entrada de dados foi pelo software Auto CAD, o qual possibilitou atribuir valores altimétricos para as curvas de nível, gerando a posteriori um arquivo DXF, que foi importado para o software Idrisi. Após realizada a leitura do arquivo vetorial, o mesmo foi convertido para o formato raster.

A conversão para o formato matricial possibilitou a interpolação das curvas de nível através do módulo Intercon, que gera um modelo topográfico digital raster onde o declive em qualquer célula pode ser determinado comparando sua altitude com a altitude de cada uma de suas células vizinhas (EASTMAN, 1998; GILES, 2001).

Para a classificação das sombras, foi realizado um estudo minucioso das regiões amostradas, sobre a variação dos números digitais existentes nas sombras, detectando-se assim os valores mínimos e máximos que descrevem as áreas de sombra na imagem. Determinados esses valores, foram estipulados os intervalos das classes para a reclassificação da imagem de

forma a serem geradas em apenas duas categorias, numa imagem binária, uma sendo o fundo do mapa e a outra as sombras ao longo da imagem.

A partir da análise da imagem binária gerada, pode-se visualizar de forma direta as seguintes características das feições de sombras, densidade, orientação (tropia) e tamanho das feições, que serão discutidas neste trabalho.

Pretende-se explorar estas características das feições de sombra, associando-as a diferentes amplitudes e formas de relevo, para avaliar a sua contribuição na compartimentação fisiográfica.

#### **4.2.8 - Análise Estatística Multivariada**

Com a preocupação de analisar os compartimentos segundo suas similaridades, procurou-se aplicar duas técnicas estatísticas multivariadas que pudessem avaliar tal critério, sendo elas: análise das correspondências e análise de agrupamentos (*Cluster*).

O primeiro método a ser explorado, pode ser apresentado como uma técnica geométrica capaz de representar em um espaço bidimensional a distribuição simultânea de amostras e variáveis, ou seja, linhas e colunas (LANDIM (2001)). É melhor aplicado em tabelas de contingência (codificação binária), que consiste em dois critérios: sim ou não.



Desta forma, para a aplicação do método, as variáveis em análise que podem ser qualitativas, são traduzidas em valores quantitativos binários, onde o valor 1 significa presença da variável e o valor 0 representa sua ausência. Os resultados obtidos no processamento da análise das correspondências são normalmente visualizados de forma gráfica no espaço bidimensional, onde as porcentagens ao longo de cada eixo representam a variabilidade presente nos dados.

O segundo método utilizado é a análise de agrupamentos (cluster analysis) que é uma ferramenta que procura agrupar dados homogêneos a partir de coeficientes de similaridade ou de correspondência. O coeficiente de similaridade indica a força de relação entre os indivíduos ou variáveis, fixando um valor comum aos mesmos (EVERITT, 1993).

Existem técnicas de agrupamentos que vem sendo propostas, no entanto o mais comumente usado, segundo LANDIM (2001), é o agrupamento pareado igualmente ponderado (*unweighted pair-group method "UPGM"*), que realiza o cálculo dos valores médios das variáveis e atribui sempre o mesmo peso aos dois elementos que estão sendo integrados. No entanto, LANDIM (2001) nos alerta que, na dúvida sobre qual método a ser aplicado, deve ser entendido que a análise sempre deve ser aplicada com um caráter introdutório, e que o melhor método é aquele que fornece os resultados mais coerentes com a realidade em estudo.

Podem ser usados para a análise vários coeficientes de similaridade: Jaccard, Otsuka e Fager. O coeficiente de *Jaccard*, por ser um coeficiente binário que expressa o valor numérico de 0 e 1, foi o que atendeu às necessidades da pesquisa.

O resultado do processamento da análise de agrupamento são classificações hierárquicas, que podem ser representadas por um diagrama bidimensional conhecido como dendograma, que ilustra de forma gráfica o resultado final dos diversos agrupamentos. Nele estão dispostos linhas ligadas segundo os níveis de similaridade, que agrupará pares de indivíduos ou de variáveis (EVERITT (1993) e LANDIM (2001)).

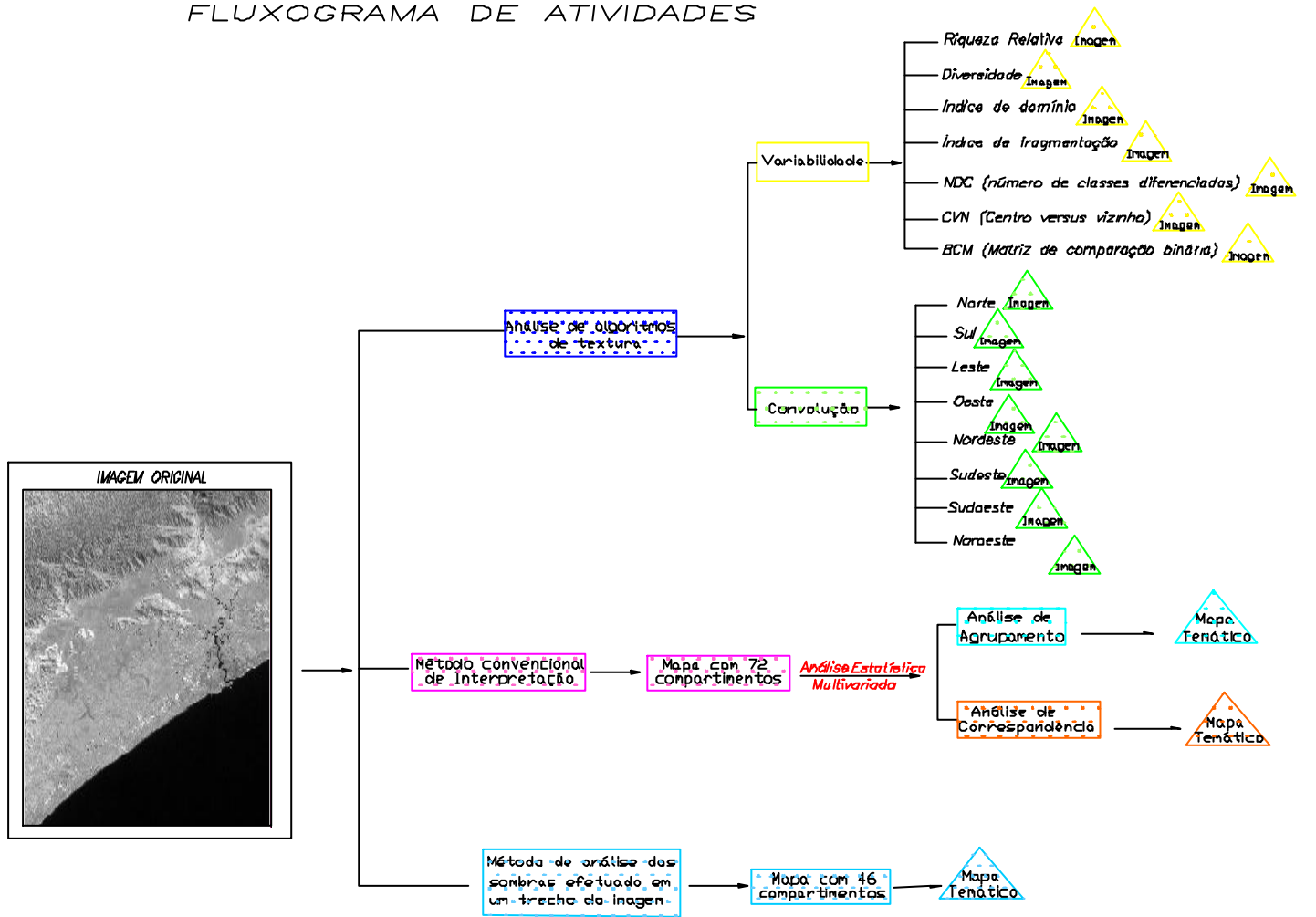
#### **4.2.9 - Edição das Imagens Trabalhadas**

Esse é o último processo, onde foram trabalhadas normas padrão para a apresentação dos mapas cartográficos.

### **4.3 - Fluxograma de atividades**

O fluxograma mostra de forma resumida as atividades desenvolvidas no decorrer da pesquisa.

## FLUXOGRAMA DE ATIVIDADES



fluxograma de atividades

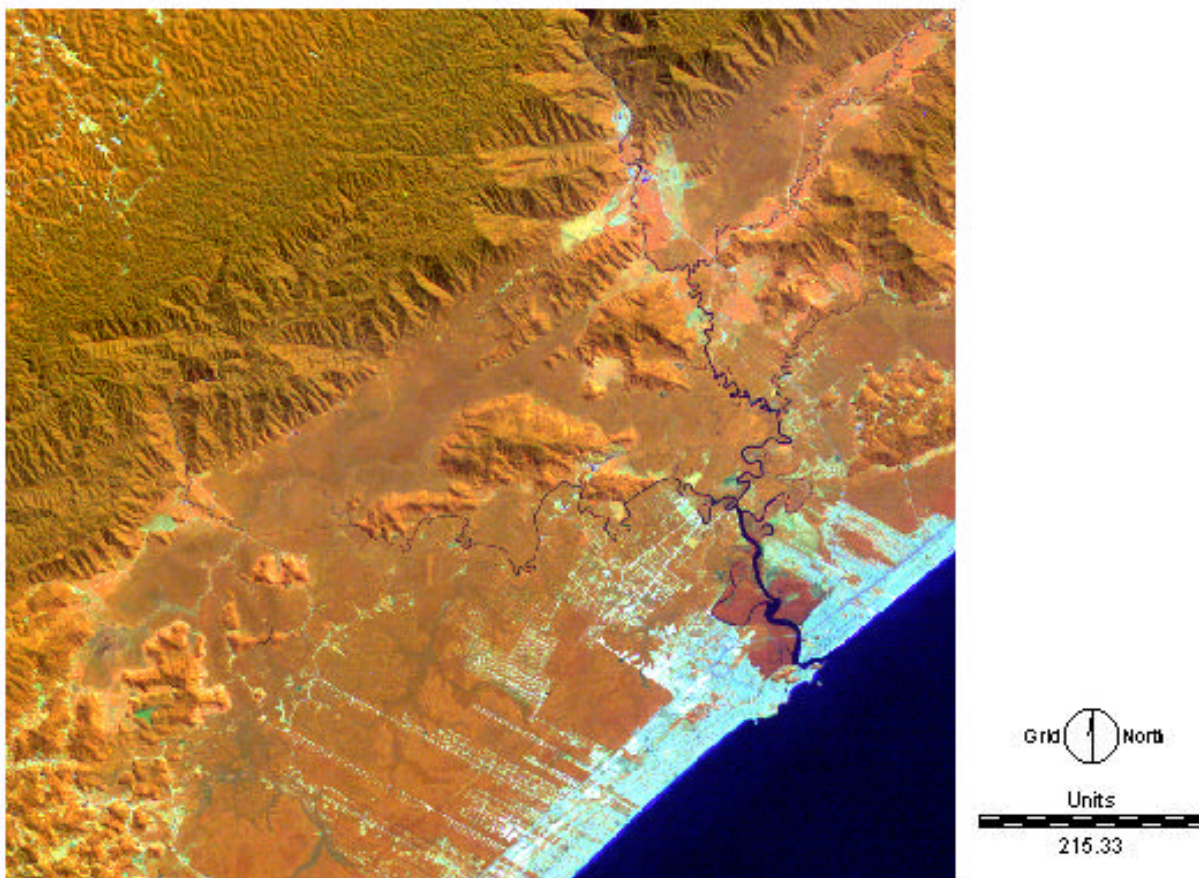
"A imaginação é mais importante que o conhecimento."

Albert Einstein

## 5. Resultados e Discussão

O objetivo geral do trabalho foi avaliar diversas metodologias, com intuito de contribuir para a redução da subjetividade inerente aos processos de compartimentação fisiográfica. Portanto, procurou-se inicialmente explorar a imagem realizando-se uma análise visual das principais formas de relevo da área. As diferenças na superfície são evidentes, deixando-se estabelecer quatro formas bastante distintas: morros, morrotes, planície costeira, escarpas (Figura 10).

### Composição colorida falsa cor



**Figura 10-** Imagem de satélite Landsat /TM, resolução espacial de 30 metros. Composição colorida falsa cor 3B5G4R.

O processo de compartimentação fisiográfica visual da área foi realizado pela necessidade de se descrever e avaliar a eficácia dos algoritmos descritos na pesquisa, a partir de métodos convencionais descritos por SOARES e FIORI (1976) e VENEZIANI e ANJOS (1982).

Os critérios utilizados na caracterização das unidades de relevo foram densidade de drenagem, densidade de relevo, tropia, forma dos topos e o tamanho das feições de relevo. A densidade tanto da drenagem, quanto do relevo condiz com a quantidade de feições por unidade de área. A tropia compreende a propriedade dos elementos se desenvolverem segundo um direção preferencial; a forma de topos, um outro critério interpretativo, é classificada como sendo uma propriedade muito útil, pois pode indicar diferentes graus de erodibilidade, no entanto sua caracterização é um tanto quanto complexa. Segundo IPTb(1989) os mesmos são classificados em aplainados, arredondados e angulosos. E por último o tamanho das feições de relevo.

Cabe salientar que essa análise conjunta de critérios possibilitou o traçado de limites de caráter morfológico, com uma conotação qualitativa e não quantitativa.

Antes da realização do processo de compartimentação fisiográfica foi realizada a correção geométrica da imagem, que possibilitou um georeferenciamento com base em coordenadas UTM a partir de uma base digital, realizada pelo instituto florestal,

em escala de 1:50.000. O erro do georeferenciamento foi de 1.75 metros, considerado apropriado visto que, o erro admissível é a metade da dimensão do pixel, que no caso é de 30 metros.



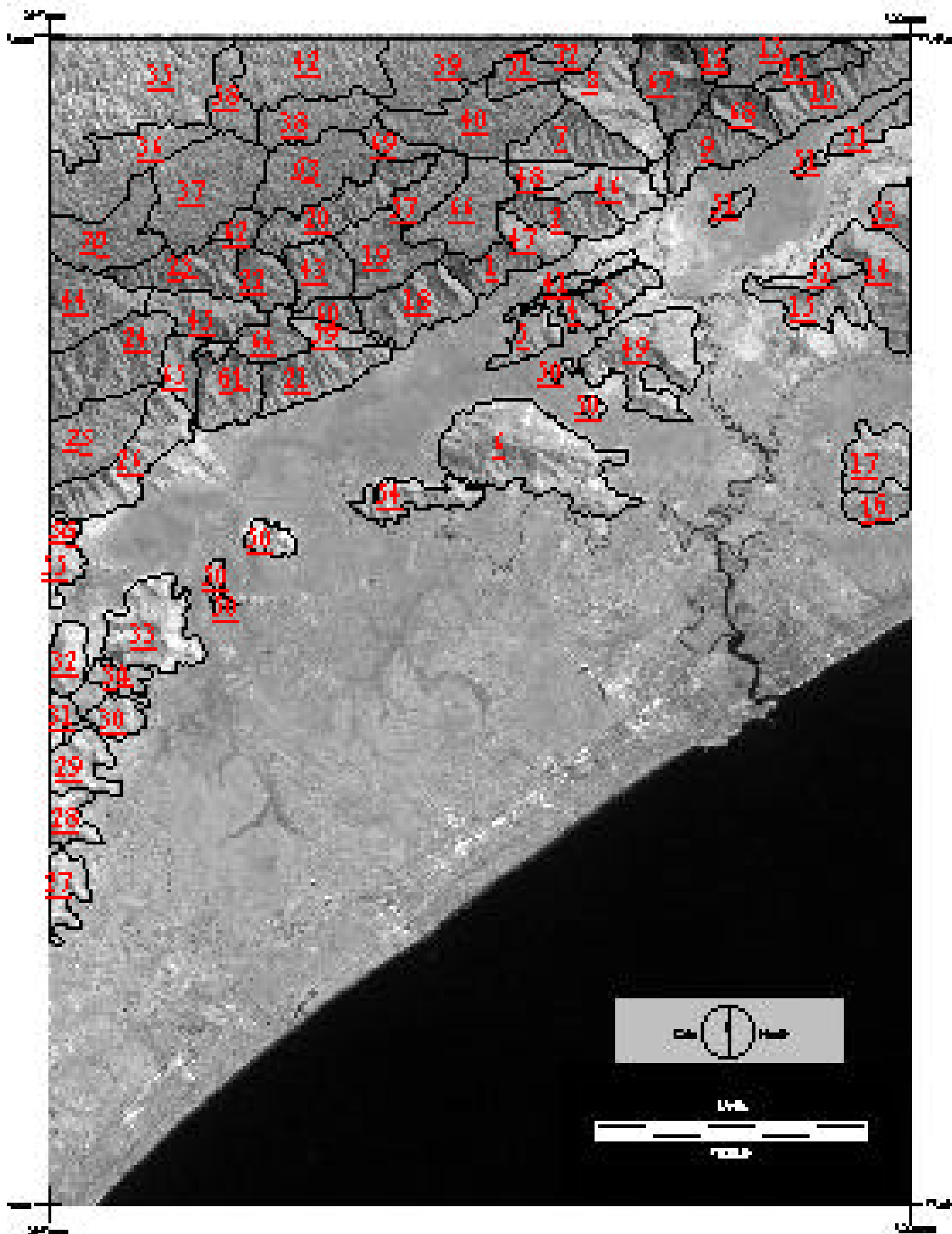


Figura 11 - Compartimentos da área de estudo, obtidos pela interpretação visual.

**Tabela 7-** Caracterização dos compartimentos fisiográficos, segundo critérios fotointerpretativos.

Áreas	Densidade de Drenagem	Densidade de Relevo	Tropia	Forma dos topos	Tamanho das feições de relevo
1	alta	alta	orientada	angulosos	médio
2	muito alta	muito alta	fortemente orientada	angulosos	muito grande
3	média	média	fortemente orientada	arredondados	muito grande
4	baixa	baixa	pouco orientada	arredondados	pequeno
5	baixa	baixa	pouco orientada	arredondados	pequeno
6	baixa	baixa	não orientada	angulosos	pequeno
7	muito alta	muito alta	fortemente orientada	angulosos	muito grande
8	alta	alta	orientada	angulosos	grande
9	muito alta	muito alta	fortemente orientada	anguloso	grande
10	alta	alta	fortemente orientada	angulosos	muito grande
11	muito alta	muito alta	fortemente orientada	angulosos	grande
12	média	alta	orientada	angulosos	médio
13	baixa	baixa	não orientada	arredondados	muito pequeno
14	média	média	não orientada	angulosos	grande
15	alta	alta	orientada	angulosos	grande
16	baixa	baixa	não orientada	arredondados	pequeno
17	média	média	não orientada	arredondados	pequeno
18	alta	alta	fortemente orientada	angulosos	muito grande
19	alta	alta	fortemente orientada	angulosos	pequeno
20	muito alta	muito alta	fortemente orientada	angulosos	médio
21	muito alta	muito alta	fortemente	angulosos	grande

			orientada		
22	baixa	alta	orientada	angulosos	médio
23	muito alta	muito alta	fortemente orientada	angulosos	médio
24	muito alta	muito alta	fortemente orientada	angulosos	médio
25	alta	alta	orientada	arredondados	pequeno
26	muito alta	muito alta	fortemente orientada	angulosos	muito grande
27	baixa	baixa	não orientada	arredondados	pequeno
28	baixa	baixa	não orientada	arredondados	pequeno
29	baixa	baixa	não orientada	arredondados	pequeno
30	muito baixa	muito baixa	não orientada	arredondados	pequeno
31	muito baixa	muito baixa	não orientada	arredondados	pequeno
32	baixa	baixa	não orientada	arredondados	pequeno
33	média	média	não orientada	arredondados	pequeno
34	muito baixa	muito baixa	não orientada	arredondados	muito pequeno
35	alta	alta	orientada	arredondados	pequeno
36	baixa	baixa	não orientada	arredondados	pequeno
37	baixa	baixa	não orientada	arredondados	muito pequeno
38	baixa	baixa	não orientada	arredondados	muito pequeno
39	média	média	não orientada	arredondados	pequeno
40	média	média	não orientada	arredondados	muito pequeno
41	média	média	fortemente orientada	arredondados	pequeno
42	alta	alta	orientada	arredondados	médio
43	média	alta	orientada	angulosos	grande
44	alta	alta	orientada	angulosos	médio
45	média	média	orientada	angulosos	médio
46	média	média	orientada	angulosos	médio
47	baixa	baixa	pouco orientada	angulosos	médio
48	baixa	baixa	pouco orientada	angulosos	médio

49	baixa	baixa	não orientada	arredondados	alto
50	baixa	baixa	não orientada	arredondados	muito pequeno
51	baixa	baixa	orientada	arredondados	pequeno
52	baixa	baixa	pouco orientada	angulosos	grande
53	baixa	baixa	pouco orientada	angulosos	grande
54	baixa	baixa	não orientada	arredondados	pequeno
55	muito baixa	muito baixa	não orientada	arredondados	pequeno
56	muito baixa	muito baixa	não orientada	arredondados	pequeno
57	média	média	pouco orientada	arredondados	pequeno
58	baixa	baixa	pouco orientada	arredondados	pequeno
59	baixa	baixa	não orientada	angulosos	grande
60	muito alta	muito alta	fortemente orientada	angulosos	muito grande
61	alta	alta	fortemente orientada	angulosos	muito grande
62	alta	alta	orientada	angulosos	média
63	média	média	não orientada	arredondados	pequeno
64	alta	alta	orientada	angulosos	pequeno
65	baixa	baixa	pouco orientada	angulosos	pequeno
66	alta	alta	não orientada	arredondados	muito pequeno
67	alta	alta	orientada	angulosos	grande
68	alta	alta	orientada	angulosos	grande
69	baixa	média	não orientada	arredondados	pequeno
70	média	média	não orientada	arredondados	pequeno
71	média	média	pouco orientada	arredondados	pequeno
72	alta	alta	pouco orientada	arredondados	pequeno

Efetuada a correção geométrica, procurou-se realizar uma compartimentação, através da interpretação visual em tela, seguindo critérios avaliados por SOARES e FIORI (1976); VENEZIANI e ANJOS (1982) e IPT (1981b). Os critérios utilizados na caracterização das unidades de relevo foram a partir de sua densidade de drenagem e de relevo, tropia bem como as formas dos topos e tamanho das feições do relevo, como já dito anteriormente.

De posse dos resultados, verificou-se 72 áreas com diferentes características fisiográficas (Figura 11 e Tabela 7).

O relevo se distinguiu basicamente nas escarpas festonadas, que é um relevo de transição considerado de intensa atuação nos processos de degradação. Na sua maioria, nota-se a presença de drenagem com densidade elevada, tropia fortemente orientada. Os morrotes baixos e os morrotes em meia laranja sofrem uma ação contínua de processos denudacionais e devido a isso apresentam-se com um relevo ondulado, com topos arredondados. As formas de ambos são muito similares, porém se diferem pela amplitude. O relevo de morros agrupa os morros com serras restritas e os morros isolados, os quais apresentam uma densidade de drenagem de média a alta e uma ação contínua de processos denudacionais. A forma de seus topos é arredondada e as vertentes têm perfis retilíneos, evidenciando as serras restritas.

As serras alongadas apresentam topos angulosos, com perfis retilíneos e alta densidade de drenagem. A planície se caracterizou devido a sua morfologia plana e com baixa densidade de drenagem se distribui ao longo da costa marítima.

Nota-se que a partir da interpretação visual da imagem, realizada em tela, a área de estudo se subdividiu em 72 compartimentos, de acordo com os critérios fotointerpretativos

utilizados. Observa-se que após realizada a compartimentação, houve uma certa dificuldade em avaliar a similaridade entre os vários compartimentos. Desta forma, buscou-se meios estatísticos para analisar e avaliar a similaridade e/ou a correspondência dos compartimentos com os seus vizinhos. Essa análise se apresentou de grande importância para completar o processo de compartimentação, a partir do conhecimento de semelhanças e diferenças entre cada compartimento.

Esse estudo foi realizado através de aplicações de métodos estatísticos multivariados, onde duas técnicas foram exploradas: a análise das correspondências e a análise de agrupamentos, já descritas.

Analisando-se a Tabela 7, nota-se que cada compartimento traçado apresenta propriedades qualitativas, geradas a partir dos critérios fotointerpretativos utilizados. Cada propriedade sob avaliação, para a aplicação da análise das correspondências, foi traduzida em valores quantitativos binários, onde o valor 1 significa presença da propriedade e o valor 0 representa ausência dela, conforme pode ser visto na Tabela 8.

**Tabela 8** - Critérios fotointerpretativos traduzidos, numa escala binária

ID	D(ma)	D(a)	D(m)	D(b)	D(mb)	R(ma)	R(a)	R(m)	R(b)	R(mb)	T(fo)	T(o)	T(po)	T(ño)	F(an)	F(ar)	T(mg)	T(g)	T(m)	T(p)	T(mp)
1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0
2	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0
3	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
4	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0
5	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0
6	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0
7	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0
8	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0
9	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0
10	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0
11	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0
12	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0
13	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1
14	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0
15	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0
16	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0
17	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0
18	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0
19	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
20	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0
21	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0
22	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0
23	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0
24	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0
25	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0
26	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0
27	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0
28	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0
29	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0
30	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0
31	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0
32	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0
33	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0
34	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1
35	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0
36	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0
37	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1
38	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1
39	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0
40	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1
41	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
42	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0
43	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0
44	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0
45	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0
46	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0
47	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0
48	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0
49	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0
50	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1
51	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0
52	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0
53	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0
54	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0
55	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0
56	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0
57	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0
58	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0
59	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0
60	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0
61	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0
62	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0
63	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0
64	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0
65	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0
66	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1
67	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0
68	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0
69	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0
70	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0
71	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0
72	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0

## **Legenda**

### **Densidade de drenagem**

D(ma) - muito alta

D(a) - alta

D(md) - média

D(b) - baixa

D(mb) - muito baixa

D(a) - ausente

### **Densidade de relevo**

R(ma) - muito alta

R(a) - alta

R(md) - média

R(b) - baixa

R(mb) - muito baixa

R(a) - ausente

### **Tropia**

T(fo) - fortemente orientada

T(o) - orientada

T(po) - pouco orientada

T(ño) - não orientada

### **Tamanho das feições de relevo**

T(mg) - muito grande

T(g) - grande

T(m) - médio

T(p) - pequeno

T(mp) - muito pequeno

### **Forma de topos**

Ar - Arredondados

Ap - aplainado

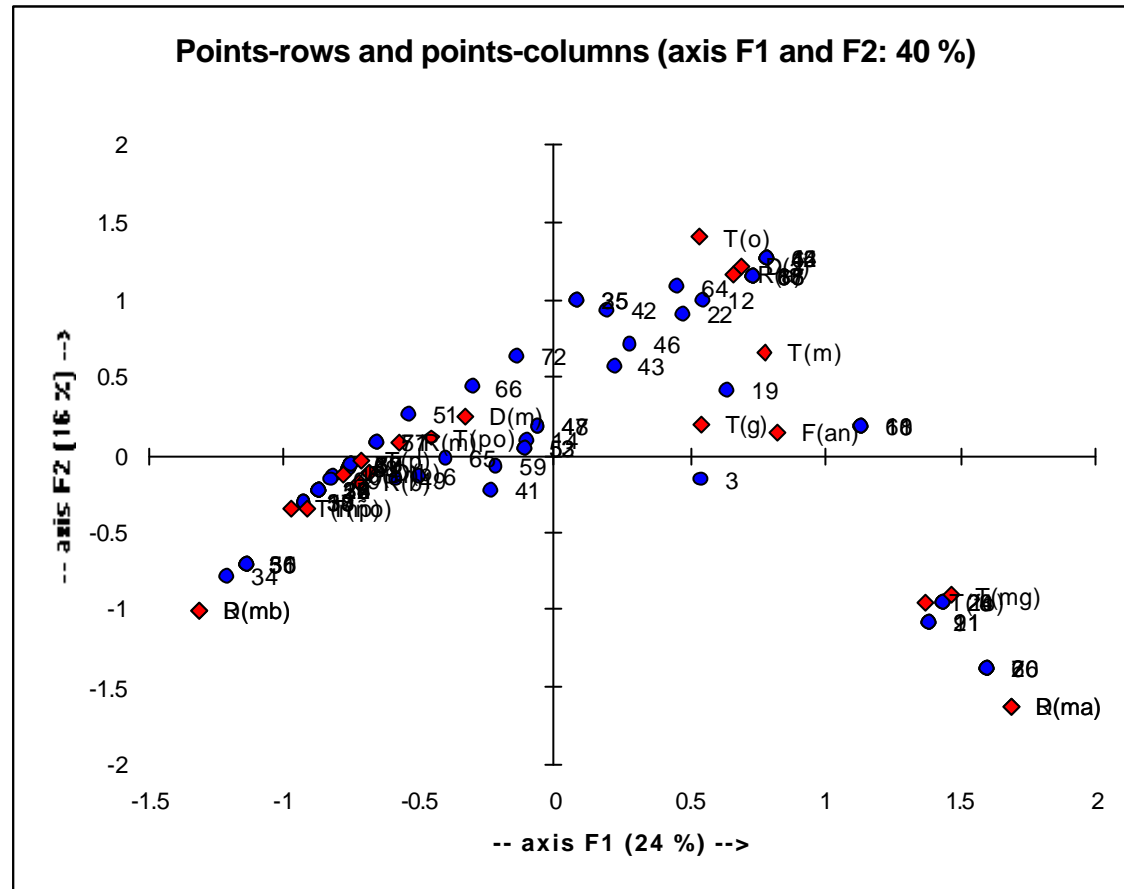
An - angulosos



Analisando-se os resultados obtidos no processamento da análise das correspondências (Figura 12), observa-se a distribuição dos dados num espaço bidimensional, onde há a distribuição simultânea tanto das amostras, como das variáveis. Esse diagrama de dispersão é de difícil interpretação, pois tanto as amostras como as variáveis são plotadas em sobreposição, dificultando a análise das mesmas. Portanto, o desmembramento das variáveis e das amostras foi efetuado com o propósito de uma melhor visualização, como pode ser visto nas Figuras 13 e 14.

Analisando-se as Figuras 13 e 14 conjuntamente observa-se que as amostras distribuíram-se por quadrantes distintos, de acordo com a distribuição das variáveis. Nota-se que a princípio os quadrantes apresentam dois grandes grupos orientados: lado esquerdo e o lado direito dos quadrantes. Analisando-se os compartimentos traçados, conjuntamente com o mapa geomorfológico, pode-se identificar que há dois relevos bastante marcantes, o da escarpas festonadas e o relevo de morros e morrotes. Portanto, explicar esse agrupamento por formas diferenciadas de relevo seria bem mais fácil, no entanto o objetivo de usar uma técnica estatística multivariada é de analisar compartimentos similares formadores de subgrupos. A seguir será verificado que a análise das correspondências apresentou um total de 22 subgrupos e a análise de agrupamentos (dendograma), apresentou com 16 subgrupos.





**Figura 12** - Análise de correspondência entre as variáveis e amostras (compartimentos)

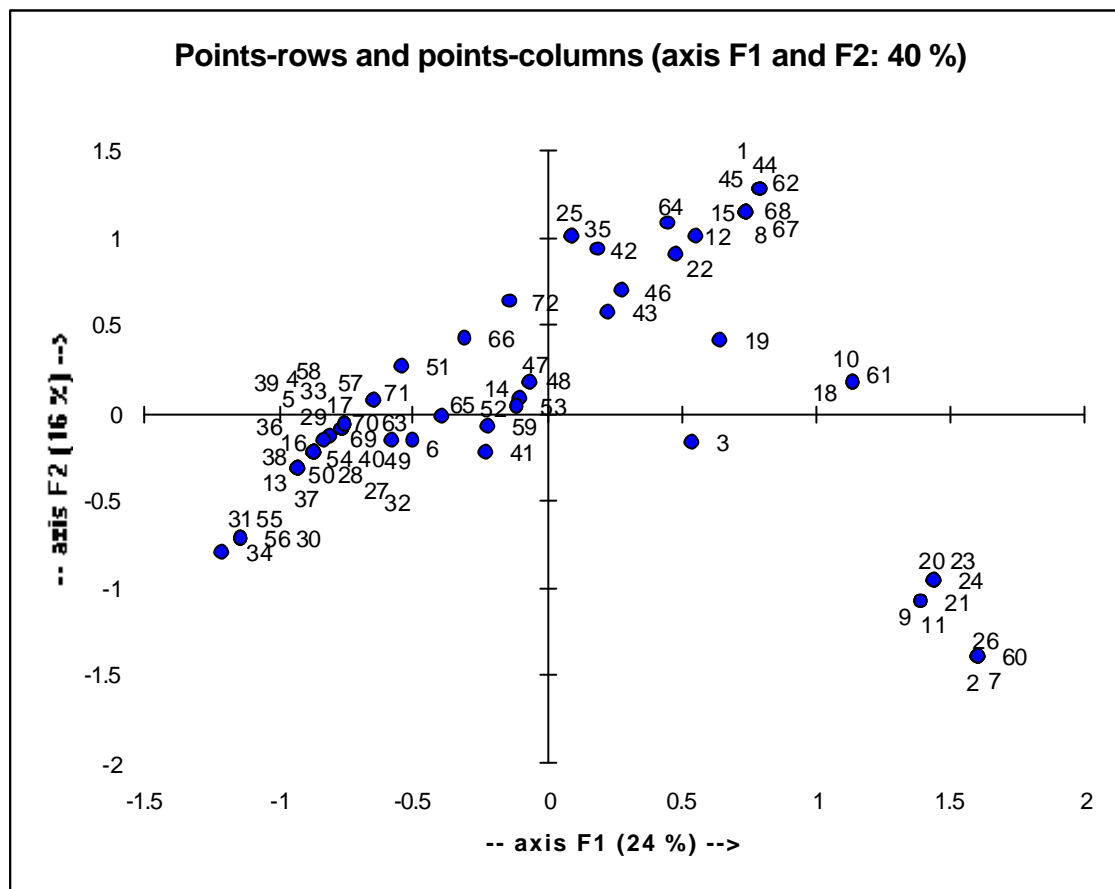
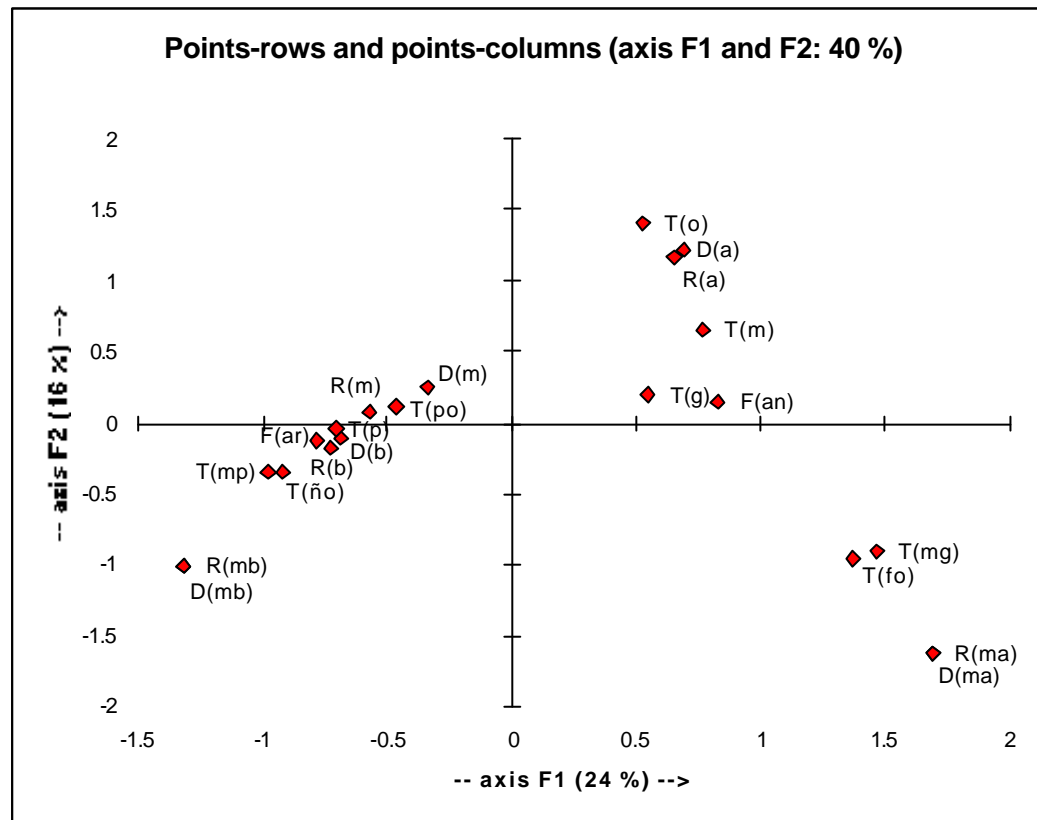


Figura 13 - Análise de correspondência entre as amostras (compartimentos)



**Figura 14** - Análise de correspondência entre as variáveis.

O resultado do processamento da análise das correspondências é melhor avaliado por meio de quadrantes individuais, os quais proporcionam uma melhor avaliação dos agrupamentos formados pelo processamento. Portanto no quadrante superior direito da Figura 13, são identificados uma dispersão dos identificadores 12, 19, 22, 42, 43, 46 e 64, juntamente com a presença de quatro subgrupos, **1º**- 10, 18 e 61; **2º** - 8, 15, 67 e 68; **3º** - 1, 44, 45 e 62 e **4º** - 25 e 35, os quais são pertencentes à classificação de escarpas festonadas. A amostra 15, caracterizada visualmente como serra alongada no mapa geomorfológico, se agrupou no segundo subgrupo. Esse resultado foi devido o compartimento se apresentar com características de densidade de relevo e drenagem alto, que designa uma região de escarpas festonadas.

As amostras 12, 19, 22, 43, 46 e 64 também visualizadas no grupo de escarpas festonadas, apenas o identificador 42, que quando comparado ao mapa geomorfológico apresentou-se como relevo de morrotes. Analisando a amostra 42 verificou-se uma densidade de relevo alta e com uma tropia orientada. Essas características favoreceram o agrupamento da variável 42, pois apresentava uma densidade de relevo e drenagem alta, tamanho das feições variando de médio a grande, tropia orientada e forma dos topos angulosos. Essas características foram determinantes para o agrupamento deste compartimento na classe de escarpas.

Analisando-se o quadrante inferior direito da Figura 13, verificou-se basicamente 3 grupos distintos: **1º** - 2, 7, 26 e 60; **2º** - 9, 11 e 21 e **3º** - 20, 23 e 24, que quando analisados foram identificados como pertencentes a um grupo maior, com a

caracterização de escarpas festonadas. As variáveis que determinaram essa concentração foram a densidade de relevo e drenagem muito alta, tropia fortemente orientada e tamanho das feições muito grande, conforme pode se observado na Figura 14. Essas características determinam compartimentos com anfiteatros bem definidos e de forte expressão. O identificador 3 localizado próximo ao eixo F1, apresentou um certo isolamento dos demais grupos, que quando verificado ao mapa geomorfológico apresentou-se como morros isolados.

Analisando-se o quadrante superior esquerdo na figura 13, foram identificados 3 subgrupos, sendo eles: 1º - 47 e 48; 2º - 52 e 53 e 3º 57 e 71, e demais identificadores 14, 51, 59, 66 e 72. Esses identificadores apesar de estarem próximos, não se agruparam em nenhum subgrupo.

Esses subgrupos bem como os identificadores, se agruparam pelos aspectos determinantes da tropia pouco orientada e densidade de relevo e drenagem médio, conforme pode ser observado na Figura 14.

Ao se analisar o quadrante inferior esquerdo em ambas as figuras 13 e 14, nota-se que várias amostras se aglomeraram devido a presença da tropia não orientada, tamanho das feições pequeno a muito pequeno, densidade de drenagem e de relevo baixa a muito baixa e forma dos topos arredondados. Essas características proporcionaram uma aproximação do relevo de morrotes (morrotes baixos e morrotes em meia laranja) com o relevo de morros (morros com serras restritas e morros isolados). As variáveis mais incidentes nesses compartimentos foram a tropia não orientada T(ño) e pouco orientada e a

densidade de relevo e drenagem baixa a muito baixa, conforme Figura 14.

Analisando-se os subgrupos formados, constatou-se que 7 subgrupos se apresentaram: **1°** - 13, 37, 38 e 50, **2°** - 16, 27, 28 e 29; **3°** - 32, 36 e 54; **4°** - 40 e 69; **5°** - 4, 5 e 58, **6°** - 17, 33, 39, 63 e 70, **7°** - 30, 31, 55 e 56.

Nota-se que a formação dos subgrupos é baseada nos identificadores plotados em sobreposição. No entanto, ao se analisar a Figura 13 serão visualizados identificadores únicos (sem subgrupos) distribuídos ao longo do quadrante que se aproximam de algum subgrupo, como é o caso dos identificadores 6, 34, 41, 49, 59 e 65. Esses identificadores serão agrupados em outros subgrupos, considerando a proximidade dos mesmos.

Em conclusão, os subgrupos selecionados podem ser apresentados da seguinte forma:

Primeiro Quadrante (Superior direito)

**1°** - 1, 44, 45 e 62; **2°** - 8, 15, 67 e 68; **3°** - 25 e 35;  
**4°** - 10, 18 e 61; **5°** - 12, 22 e 64; **6°** - 42, 43 e 46

Segundo Quadrante (Inferior direito)

**1°**- 2, 7, 26 e 60; **2°** - 9, 11 e 21; **3°** - 20, 23 e 24;

Terceiro Quadrante (Superior esquerdo)

**1°** - 14, 52, 53; **2°** - 47 e 48; **3°** - 51, 57 e 71; **4°**- 66  
e 72

Quarto Quadrante (Inferior esquerdo)

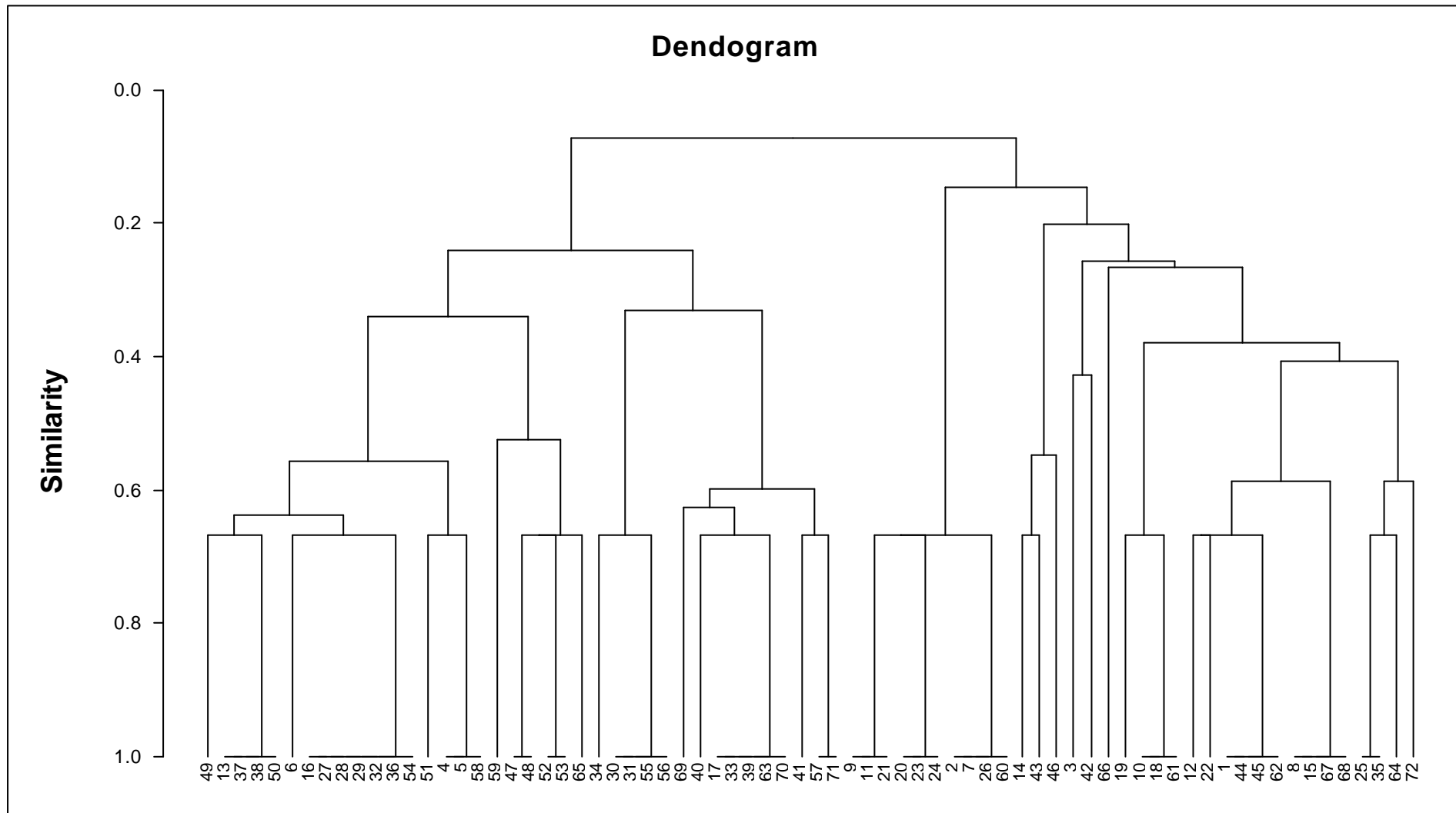
**1°** - 41 e 59; **2°** - 6, 49 e 65; **3°** - 13, 37, 38 e 50; **4°**  
- 16, 27, 28 e 29; **5°** - 32, 36 e 54; **6°** - 40 e 69; **7°** - 4, 5 e  
58; **8°** - 17, 33, 39, 63 e 70; **9°** - 30, 31, 55 e 56 e 34



Os identificadores 3 e 19 não puderam ser agrupados por não estarem tão próximos de subgrupos.

Outro método estatístico utilizado para subsidiar a análise da similaridade entre os vários compartimentos da área de estudo foi a análise de agrupamentos.

A escolha do procedimento de agrupamento a ser adotado foi baseada na análise da matriz inicial de dados, conforme sugere LANDIM (2001). Optou-se pela utilização do agrupamento igualmente pareado (UPGM), com a utilização do coeficiente de Jaccard. A Figura 15 apresenta o dendograma produzido pela análise de agrupamentos, aplicada a partir dos dados presentes na Tabela 7.



**Figura 15** - Dendrograma resultante do modo (UPGM) com a utilização do coeficiente de Jaccard.

Na figura 15 pode-se visualizar dois grandes agrupamentos principais, os quais se dissipam em agrupamentos menores.

O agrupamento mais marcante é o classificado como escarpas festonadas que apresentou um total de 9 subgrupos, como pode ser visto a seguir:

1º subgrupo - 25, 35, 64 e 72

2º subgrupo - 8, 15, 67 e 68

3º subgrupo - 1, 12, 22, 44, 45 e 62

4º subgrupo - 10, 18, 19, 61 e 66

5º subgrupo - 3 e 42

6º subgrupo - 14, 43 e 46

7º subgrupo que dividem-se em três grupos 1º - 2, 7, 26 e 60; 2º - 20, 23 e 24; 3º - 9, 11 e 21.

Avaliando-se os subgrupos, observou-se que o 1º, 2º, 3º e 4º apresentaram elementos qualitativos que os classificam como um relevo de escarpas festonadas. Somente o identificador 15, presente no 2º subgrupo, que quando analisado com o mapa geomorfológico, foi classificado como serra alongada, fugindo então do espaço classificatório de escarpas festonadas.

Analisado o 2 grupo e classificado como relevo de morros e morrotes, observou-se 7 subgrupos, sendo eles:

1º subgrupo - 41, 57 e 71

2º subgrupo - 69, 40, 17, 33, 39, 63 e 70

3º subgrupo - 30, 31, 34, 55 e 56

4º subgrupo - 47, 48, 52, 53, 59 e 65

5º subgrupo - 4, 5, 51 e 58

6º subgrupo - 6, 16, 27, 28, 29, 32, 36 e 54

7º subgrupo - 13, 37, 38, 49 e 50

Há identificadores que, quando comparados com o mapa geomorfológico, apresentam tipos diferenciados de relevos, como é o caso dos identificadores 3 e 42 que se encontram no grupo de escarpas festonadas e no entanto são classificados geomorfologicamente como morros isolados.

Não é interessante que esses subgrupos, até então encontrados em posições errôneas sejam reagrupados em grupos corretos. O objetivo aqui se pauta na similaridade dos compartimentos diante dos subgrupos, e para uma melhor visualização desse agrupamento foram produzidos dois mapas temáticos (Figura 16 e 17), que mostram claramente a formação dos subgrupos formados; conjuntamente foi produzida uma tabela que avalia a satisfatoriedade das técnicas estatísticas multivariadas empregadas (Tabela 9).

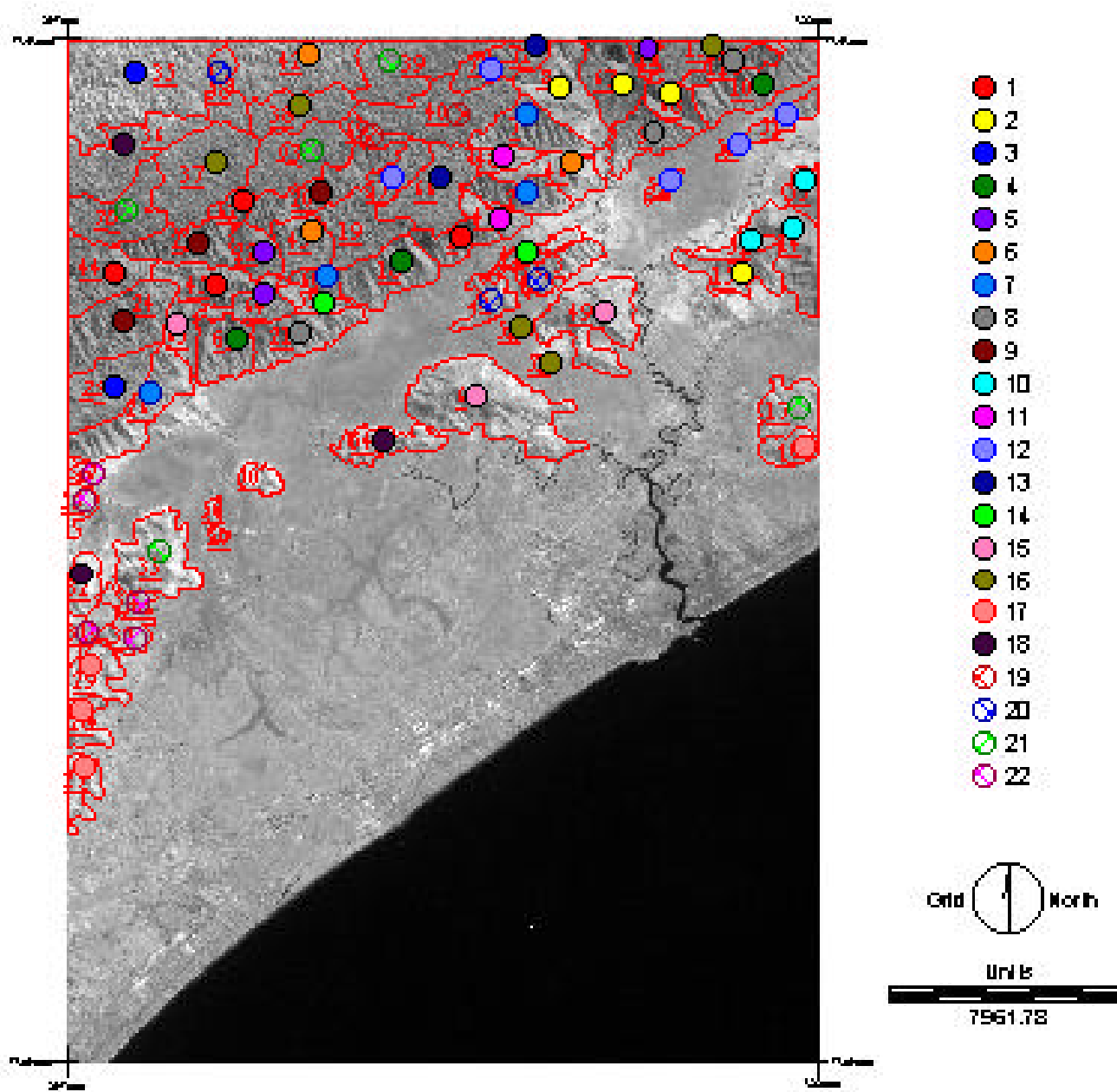


Figura 16 - Mapa temático referente a análise das correspondências

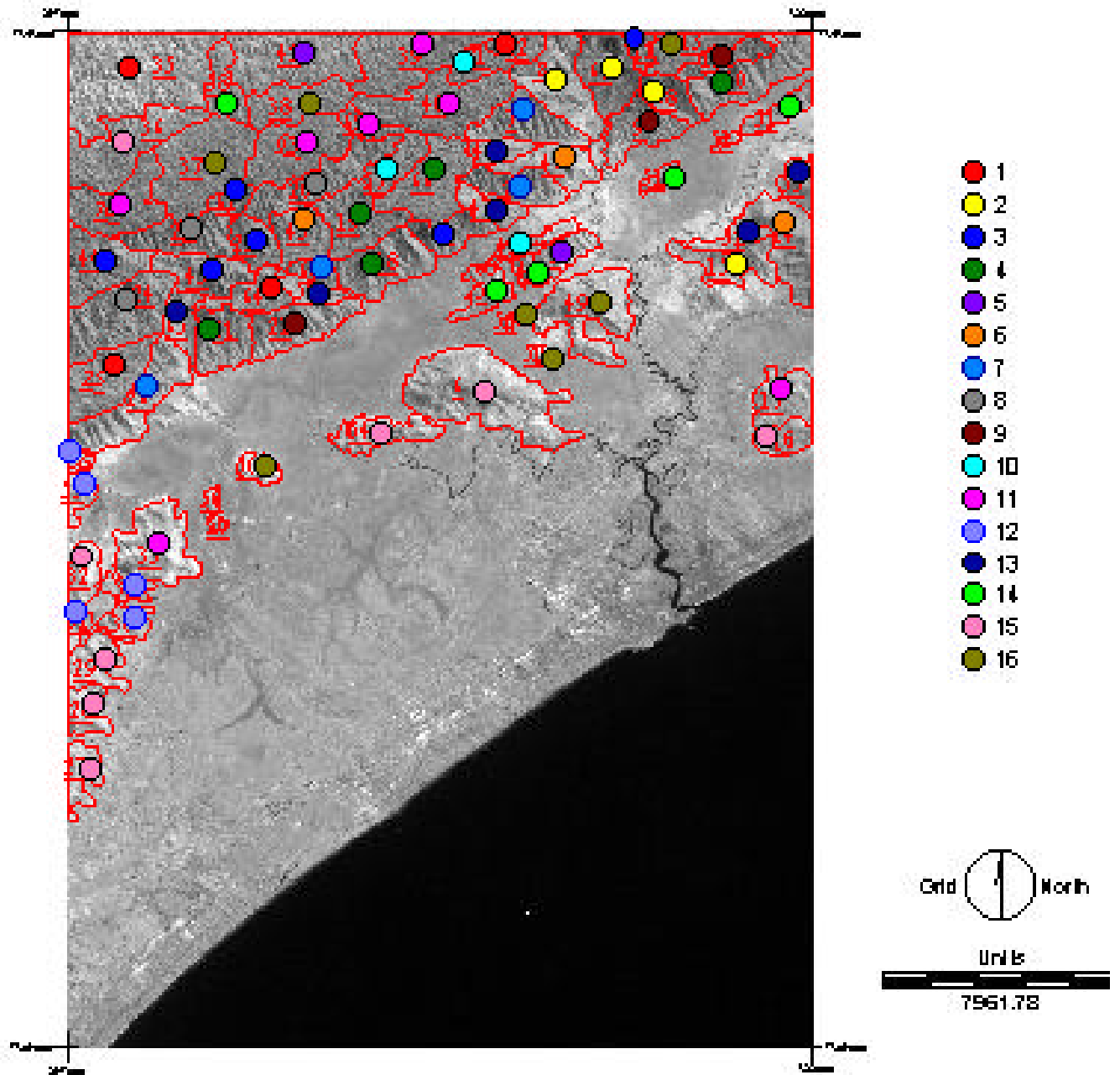


Figura 17 - Mapa temático referente a análise de agrupamentos

Comparando-se os mapas temáticos, notou-se que houve uma certa diferença nos resultados principalmente no que tange a formação de subgrupos, onde a análise das correspondências apresentou com um total de 22 subgrupos e a análise de agrupamentos com um total de 16 subgrupos.

**Tabela 9** - Avaliação das técnicas estatísticas multivariadas empregadas

Subgrupos	Satisfatório	Ñ satisfatório	Observações
<i>Análise das correspondências</i>			
1º subgrupo (1, 44, 45 e 62)		<b>X</b>	Não houve similaridade entre os identificadores.
2º subgrupo (8, 15, 67 e 68)		<b>X</b>	Os ids 8, 67 e 68 são similares, no entanto o 15 apresentou diferenças quando comparado com os demais.
3º subgrupo (25 e 35)		<b>X</b>	
4º subgrupo (10, 18 e 61)	<b>X</b>		
5º subgrupo (12, 22 e 64)		<b>X</b>	Apesar do identificadores 12 e 64 se apresentarem razoavelmente semelhantes, o id 22 não foi muito bem relacionado.
6º subgrupo (42, 43 e 46)		<b>X</b>	
7º subgrupo (2, 7, 26 e 60)		<b>X</b>	Os ids 2, 7 e 60 são mais similares entre si quando comparado com o id 26.
8º subgrupo (9, 11 e 21)	<b>X</b>		

9º subgrupo (20, 23 e 24)	X		
10º subgrupo (14, 52 e 53)	X		Ótima semelhança devido ser um grupo de Serras Alongadas.
11º subgrupo (47 e 48)	X		Muito bem definido
12º subgrupo (51, 57 e 71)		X	Os ids se diferenciaram muito entre si
13º subgrupo (66 e 72)	X		
14º subgrupo (41 e 59)		X	Há uma diferenciação muito grande entre os identificadores.
15º subgrupo (6, 49 e 65)	X		Os ids 6 e 49 apresentaram-se muito semelhantes, havendo um ótimo agrupamento, no entanto o id 65 poderia ser excluído devido a falta de semelhança.
16º subgrupo (13, 37, 38 e 50)	X		
17º subgrupo (16, 27, 28 e 29)		X	Os ids 27, 28 e 29 são semelhantes entre si, no entanto o 16 poderia ser excluído do grupo.
18º subgrupo (32, 36 e 54)	X		Os compartimentos 32 e 54 apresentaram-se semelhantes; devendo talvez excluir o identificador 36.
19º subgrupo (40 e 69)	X		Ótima semelhança
20º subgrupo (4, 5 e 58)		X	Ids 4 e 5 corresponderam a semelhança, o id 58 sugere talvez ir para ao subgrupo onde há presença do id 38.



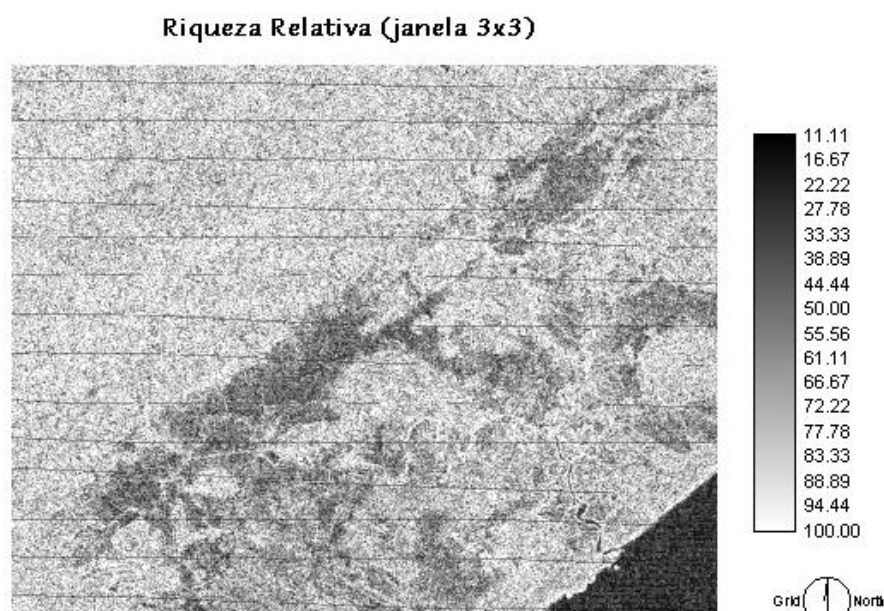
21º subgrupo (17, 33, 39, 63 e 70)	X		Foi satisfatório para os ids 39, 63 e 70, no entanto os ids 17 e 33 sugere a saída do subgrupo.
22º subgrupo (30, 31, 34, 55 e 56)	X		Satisfatório para os identificadores 55 e 56 devendo formar um outro subgrupo os identificadores 30 e 31.
<b>Análise de agrupamentos</b>			
1º subgrupo (25,35, 64 e 72)	X		
2º subgrupo (8,15, 67 e 68)	X		Apenas o id 15 que se mostrou diferente dos demais, sugerindo sua exclusão
3º subgrupo (1, 12, 22, 44, 45, e 62)		X	Não satisfatório pois apresentou diferenças entre os compartimentos, a semelhança somente foi presente nos ids 22 e 45.
4º subgrupo (10, 18, 19, 61 e 66)	X		Os ids 10, 18 e 61 são satisfatórios, no entanto o id 19 e 66 se afasta um pouco da semelhança com os demais.
5º subgrupo (3 e 42)	X		
6º subgrupo (14, 43 e 46)		X	Não houve semelhança nos compartimentos.
7º subgrupo (2, 7, 26 e 60)	X		
8º subgrupo (20, 23 e 24)	X		Excelente semelhança
9º subgrupo (9, 11 e 21)	X		
10º subgrupo	X		Apenas o id 41 que não

(41, 57 e 71)			apresentou com muita semelhança
11° subgrupo (17, 33, 39, 40,63, 69 e 70)	<b>X</b>		Satisfatório para os ids 39, 40, 63, 69 e 70. Apenas os ids 17 e 33 que ficaram mais semelhantes entre si que quando comparado com os demais.
12° subgrupo (30, 31, 34, 55 e 56)	<b>X</b>		
13° Subgrupo (47, 48, 52, 53, 59 e 65)	<b>X</b>		Houve um ótima semelhança, no entanto sugere-se dividir em dois grupos, um contendo os identificadores 52 e 53 e o outro com os demais identificadores.
14° subgrupo (4, 5, 51, 58)	<b>X</b>		Os ids 4, 5 e 51 mais semelhantes entre si do que os ids 58 e 65.
15° subgrupo (6, 16, 27, 28, 29, 32, 36 e 54)		<b>X</b>	Houve uma semelhança nos ids 27, 28, 29 e 32, no entanto houve uma dessemelhança com os demais.
16° subgrupo (13, 37, 38, 49 e 50)		<b>X</b>	Ids 13, 37 e 38 bem semelhantes, sugere-se a exclusão dos identificadores 49 e 50 para outros subgrupos, como o 49 indo para o subgrupo onde é presente o identificador 6.

Explorando as técnicas de processamento digital de imagens, procurou-se aplicar os algoritmos de textura, afim de realçar as informações texturais na imagem.

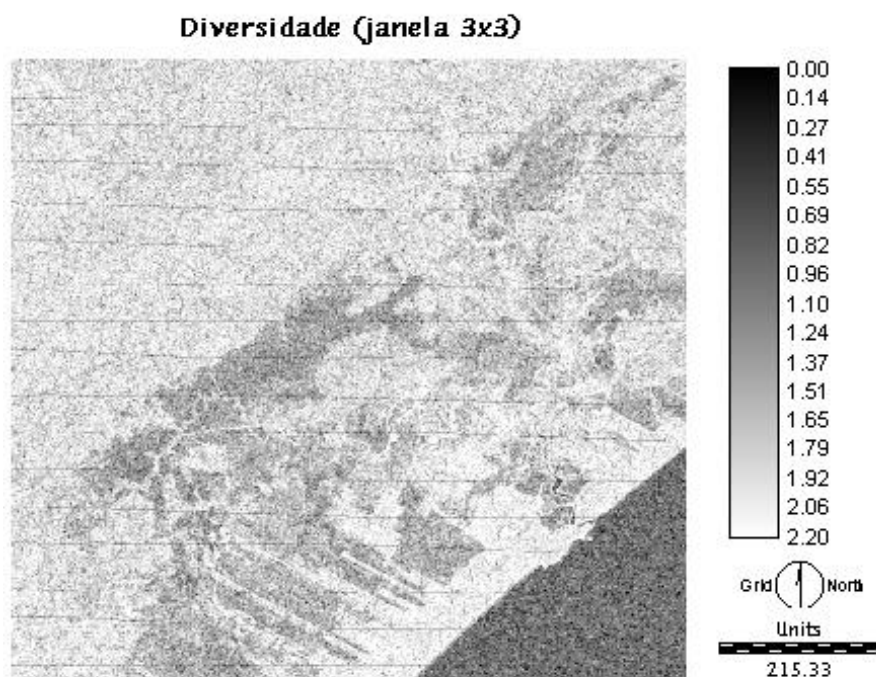
Inicialmente foram testados os algoritmos riqueza relativa, diversidade, índice de dominância, índice de fragmentação, número de classes diferenciadas, centro versus vizinho e matriz de comparação binária, para avaliar a contribuição de cada um na separação dos grandes compartimentos fisiográficos da área de estudo.

O primeiro algoritmo a ser analisado e avaliado foi a riqueza relativa, que resultou em uma imagem de textura granular e com algumas listas horizontais, talvez ruídos até então presentes na imagem. Foi possível a discriminação da planície costeira, mas os demais alvos representados aqui pelas principais formas de relevo da área de estudo se mostraram com uma certa homogeneidade com relação aos tons de cinza, comprometendo assim a interpretação visual. Seu desvio padrão se apresentou com 19.6819 e sua média de 71.8182 (Figura 18).



**Figura 18-** Imagem resultante do algoritmo Riqueza Relativa do módulo de análise textural no IDRISI, pela janela 3x3.

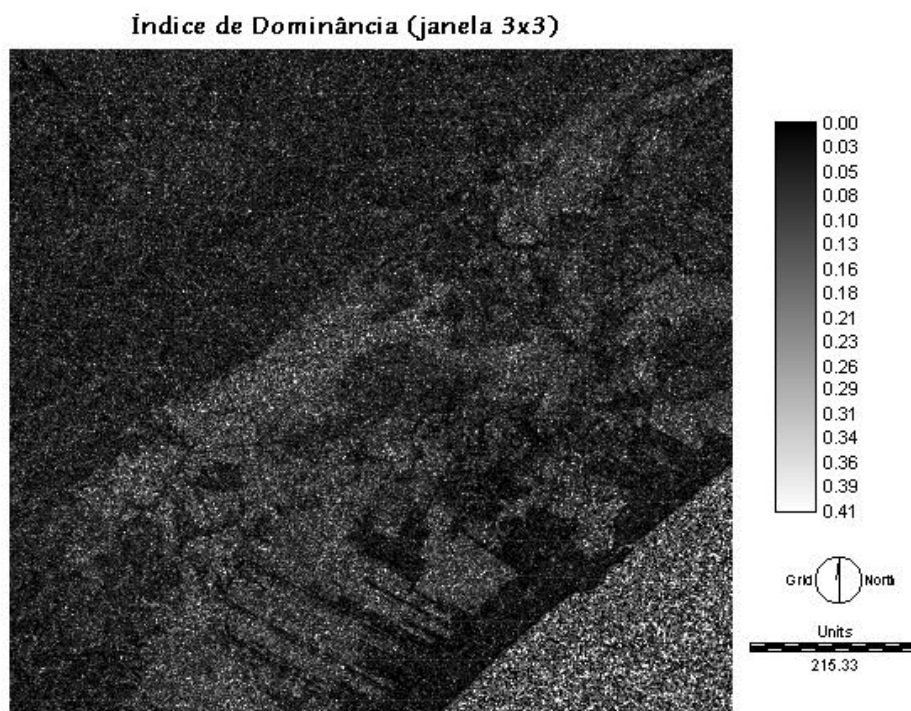
O segundo processamento avaliado foi a diversidade, que apresentou uma média=1.7422 e desvio padrão=0.3551. Neste caso, a imagem apresentou uma tonalidade de cinza claro, contrastando com cinza escuro da planície costeira (Figura 19). A drenagem ficou visível em algumas áreas e em outras se homogeneizou com os níveis de cinza claro. A imagem apresentou linhas horizontais e uma textura também granular, que dificultou a separação dos alvos.



**Figura 19** - Imagem resultante do algoritmo Diversidade do módulo de análise textural no IDRISI, pela janela 3x3.

O terceiro processamento foi o índice de dominância, que resultou em um escurecimento na imagem, dificultando a definição dos alvos (Figura 20). Em uma análise detalhada, pôde-

se verificar uma sutil delimitação da planície costeira, contrastada com os morros isolados ao longo da superfície. Esse algoritmo, bem como outros, realiza uma operação que diminui substancialmente os níveis de cinza. Ao posicionarmos os resultados da imagem original (banda 5), pode-se verificar que os valores mínimos e máximos mudam significativamente, os valores mínimos continuaram constantes, no entanto o valor máximo de 255 diminuiu para 0.4149. Sua média apresentou com 0.0764 e desvio padrão de 0.0634.

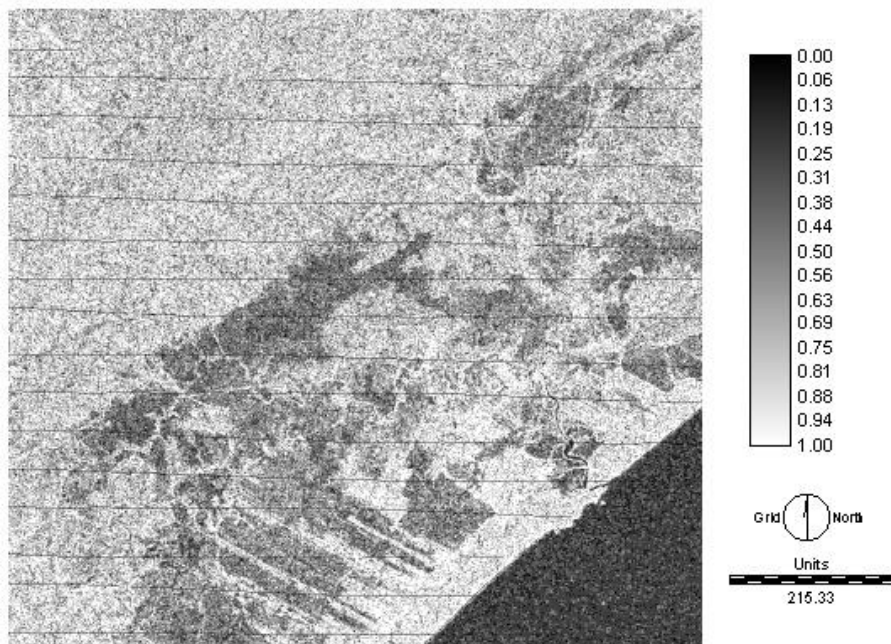


**Figura 20** - Imagem resultante do algoritmo Índice de Domínio ( $H_{m\acute{a}x} - H$ ) do modulo de análise textural no IDRISI, pela janela 3x3.

O quarto processamento, o índice de fragmentação, obteve sucesso no realce da planície costeira. Sua média foi de 0.6803 e seu desvio padrão de 0.216.

O Rio Itanhaém com seus afluentes Rio Branco, Rio Preto e Rio Mambu, bem como algumas áreas de planície aluvionar apresentaram-se passíveis de reconhecimento (Figura 21). Em uma fotoanálise, verifica-se que as áreas mais escuras referem-se à parte mais plana da imagem, sendo contrastada com a região de morros, que se apresenta com uma tonalidade de cinza claro.

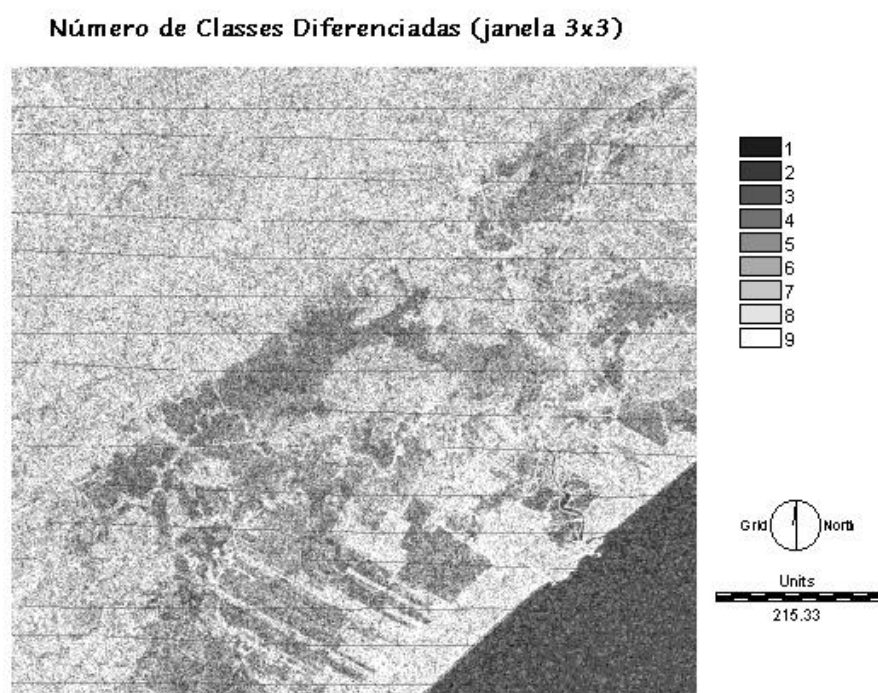
#### Índice de Fragmentação (janela 3x3)



**Figura 21** - Imagem resultante do algoritmo Índice de Fragmentação do módulo de análise textural no IDRISI, pela janela 3x3.

O quinto processamento NDC (Número de classes diferenciadas), por trabalhar com um espaço de subconjuntos,

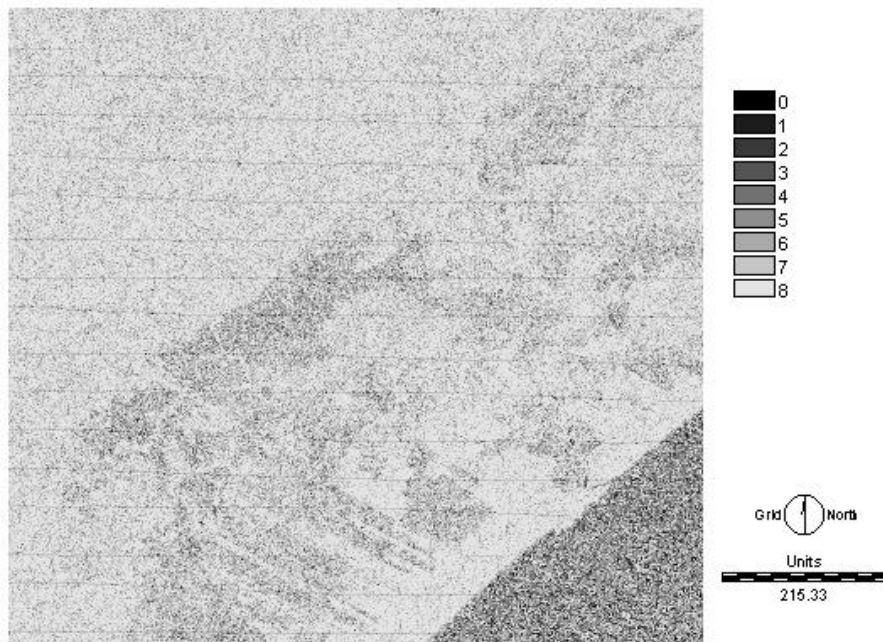
limita seus valores de acordo com a janela a ser utilizada, portanto seu valor mínimo varia de 1 e seu valor máximo de 9, 25 e 49, de acordo com as janelas (3x3, 5x5 e 7x7). Por trabalhar em uma janela 3x3 os resultados se limitaram de 1 a 9; referente à discriminação dos alvos, a planície costeira novamente se realçou diante das demais áreas, principalmente defrontando com a área de morros (Figura 22). Identificou-se traços do relevo de escarpas, que após analisados verificou-se que eram anfiteatros deste domínio. A drenagem foi outro alvo que se apresentou com certa nitidez. A Média apresentou-se com 6.4422 e o desvio padrão com 1.7271.



**Figura 22** - Imagem resultante do algoritmo NDC (Número de Classes Diferenciadas) do módulo de análise textural no IDRISI, pela janela 3x3.

O Sexto processamento é o CVN que trabalha com comparações de valores entre os elementos vizinhos, limitando seu valor mínimo a 0 e seu valor máximo a 8, 24 e 48, dependendo da janela a ser utilizada (3x3, 5x5 e 7x7). Por ter sido utilizada uma janela 3x3 os valores da imagem se limitaram a 0 e 8, reduzindo os 255 valores de níveis de cinza para o intervalo de 0 a 8, a discriminação dos alvos na imagem ficaram bem suavizadas, não havendo uma definição clara dos alvos (Figura 23). Analisando-se detalhadamente pode-se verificar somente um realce na planície costeira, no entanto bastante sutil o que, de acordo com as necessidades do estudo, não é eficaz. A média foi de 7.0914 e seu desvio padrão de 1.183.

O sétimo e ultimo processamento avaliado foi o BCM, que de a **Centro versus Vizinho (janela 3x3)** , bastante sign. entou com 32.2.

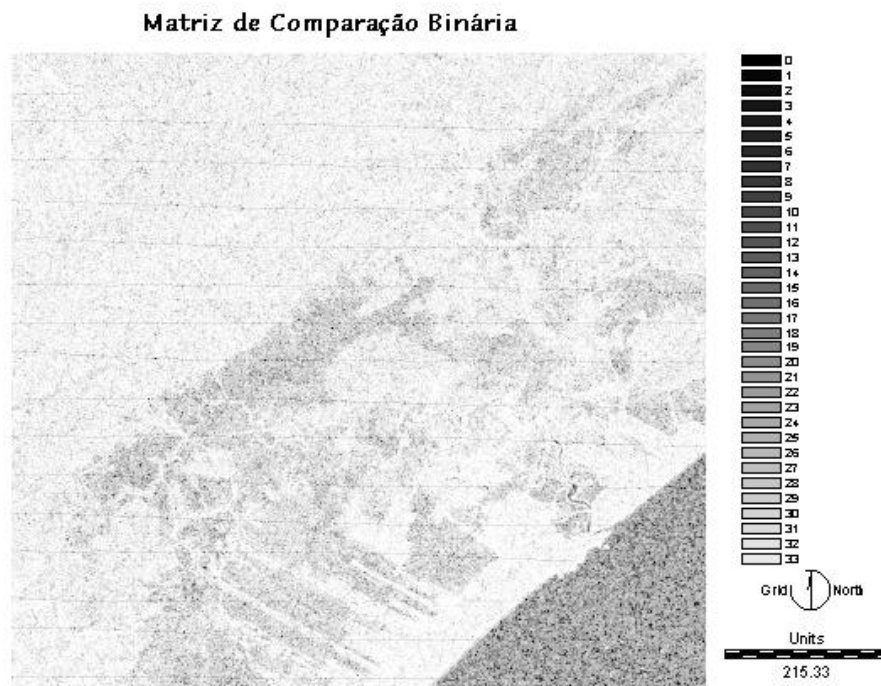


**Figura 23** -Imagem resultante do algoritmo CNV (Centro versus Vizinho) do modulo de análise textural no IDRISI, pela janela 3x3.



A planície costeira foi novamente realçada pela sua coloração mais escura, no entanto não eficaz devido à perda da definição de contornos com os demais setores.

Ao se comparar as imagens geradas, percebe-se que, apesar de algumas áreas terem sido separadas como foi a planície costeira e a drenagem, a redução de informações foi bastante grande e o tipo de resultado não satisfatório. Portanto, os critérios interpretativos ressaltados anteriormente não puderam ser explorados nestas imagens, devido à redução dos valores e à homogeneização dos alvos.



**Figura 24** - Imagem resultante do algoritmo BCM (Matriz de Comparação Binária) do módulo de análise textural no IDRISI, pela janela 3x3.

A compartimentação exige que a imagem apresente-se nítida, para que seja traçado limites específicos. Os objetos de interesse, como por exemplo diferenciar uma escarpa festonada de um relevo de morros, não foram salientados, prejudicando assim a fotointerpretação. Através da Tabela 10, nota-se que cada algoritmo limitou numericamente os valores de cinza, acontecendo uma queda muito brusca de valores. A diminuição da média segundo MENESES; et al. (1991), apresenta uma imagem cujos alvos ou objetos no terreno possuem uma baixa radiância, devendo a imagem ter um tom de cinza geral, mais escuro. Caso contrário, se a média é alta, a imagem possui alta radiância e se apresentará com tons mais claros.

Essa observação reintera a necessidade de se realizar novos estudos, talvez em pequenas áreas com comportamento espectral bastante distintos. O que era esperado é que de alguma forma os algoritmos distinguissem os relevos de morrotes, morros, montanhoso e escarpas na imagem, para que a *posteriori* se realizasse uma associação entre eles. No entanto, a homogeneização dos alvos foi constante em todos os algoritmos, deixando apenas a planície costeira em destaque.

**Tabela 10** - Análise Estatística dos algoritmos trabalhados

Janela	Valor Mínimo	Valor Máximo	Média	Desvio Padrão
<b>1-Imagem Landsat, banda 5 original</b>				
Original	0	255	50.7987	18.5064
<b>2-Riqueza Relativa</b>				
Janela 3x3	11.11	100	71.58	19.1936
Janela 5x5	0.3922	9.8039	5.0923	3.1518
Janela 7x7	0.3922	19.0078	7.4039	3.1518

<b>3-Diversidade</b>				
Janela 3x3	0	2.1972	1.7422	0.3551
Janela 5x5	0.2788	3.2189	2.3194	0.5243
Janela 7x7	0.3113	3.8635	2.5954	0.6435
<b>4-Índice de Dominância</b>				
Janela 3x3	0	0.4149	0.0764	0.0634
Janela 5x5	-0.3678	1.0384	0.1529	0.0993
Janela 7x7	-0.3113	1.4824	0.2146	0.1422
<b>5-Índice de fragmentação</b>				
Janela 3x3	0	1	0.6803	0.216
Janela 5x5	0	1	0.5032	0.198
Janela 7x7	0	1	0.3798	0.1696
<b>6-Número de Classes Diferenciadas (NDC)</b>				
Janela 3x3	1	9	6.4422	1.7271
Janela 5x5	1	25	12.9853	4.7618
Janela 7x7	1	48	18.8799	8.0366
<b>7-Centro versus vizinho (CVN)</b>				
Janela 3x3	0	8	7.0914	1.183
Janela 5x5	0	24	21.5014	3.1529
Janela 7x7	0	48	43.1239	6.7487
<b>8-Matriz de comparação binária (BCM)</b>				
Janela 3x3	0	36	32.2102	3.9191
Janela 5x5	0	300	58.0394	3.26068
Janela 7x7	0	1175	O idrisi não efetuou a operação devido a ultrapassar o limite por ele estipulado.	

Além destes algoritmos, foram também aplicadas filtragens espaciais direcionais, testando-se o comportamento de cada filtro com relação aos compartimentos da área.

A filtragem espacial está diretamente relacionada com a manipulação dos níveis de cinza na imagem e trabalha a partir de um somatório da intensidade de pixels vizinhos dentro de janelas específicas móveis, que podem ser de dimensão 3x3, 5x5 e 7x7, etc. Bibliografias relatam que, ao se trabalhar com aumento das dimensões da janela, os pixels tendem a se uniformizar.

A filtragem traz consigo vários mecanismos capazes de realçar a imagem. A princípio a pesquisa se restringiu aos filtros direcionais, que realçam os alvos de acordo com a direção desejada, permitindo que sejam exploradas as relações entre os filtros utilizados e as características dos compartimento fisiográficos. As direções se subdividem em norte, sul, oeste, leste, nordeste, sudeste, noroeste e sudoeste, onde é aplicada uma máscara com valores negativos, com pesos distribuídos assimetricamente ao redor de um eixo hipotético (CRÓSTA, 1992). A vantagem do uso deste filtro é o realce de bordas em direções predeterminadas. No entanto, deve-se atentar para a produção de bordas artificiais que muitas vezes pode confundir o intérprete.

Procurou-se uma forma de análise sistemática dos resultados obtidos pela filtragem espacial, portanto a melhor maneira encontrada foi a escolha de uma pequena área que apresentasse diferentes formas de relevo. Esse procedimento foi realizado, com o intuito de se propiciar uma melhor visualização, pois ao se trabalhar com a imagem inteira os realces não seriam tão claramente visualizados e para identificá-los seria necessário o comando zoom na tela ( Figura 25).

### Imagem Landsat/TM - banda 5

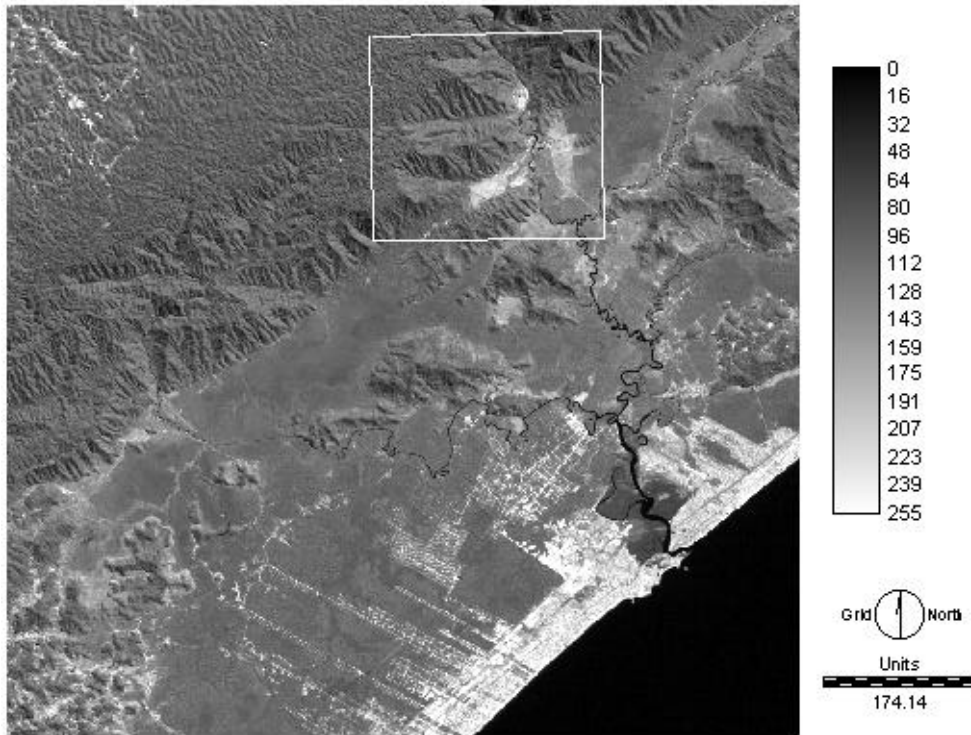
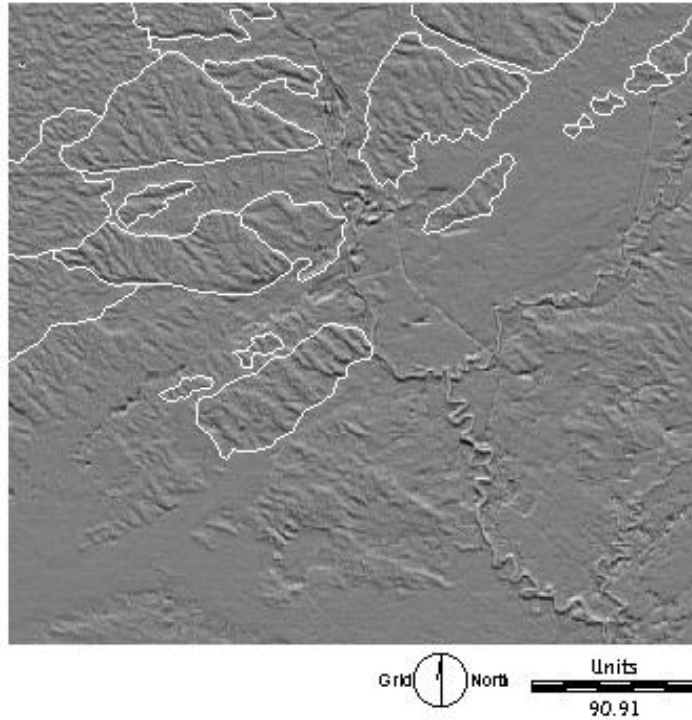


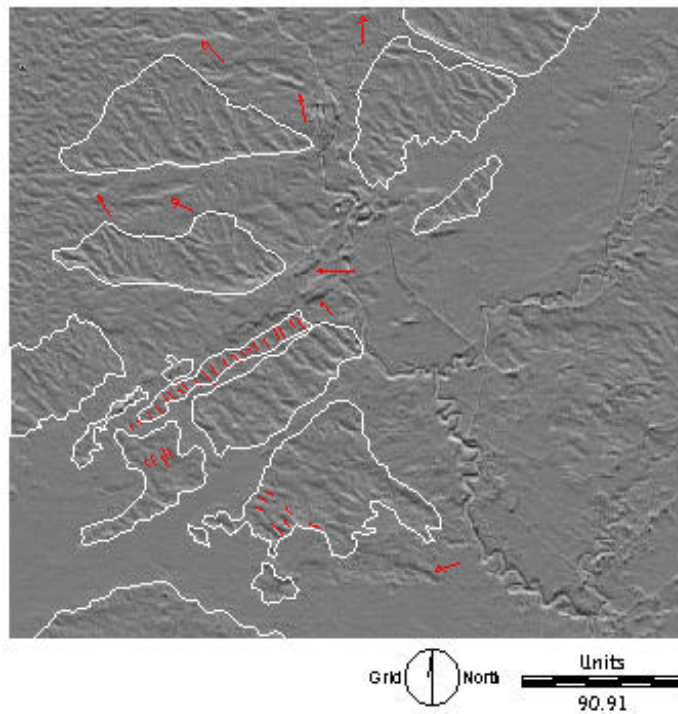
Figura 25 - Imagem de satélite Landsat /TM, resolução espacial de 30 metros, da região do infravermelho médio (1,55 -1,75  $\mu\text{m}$ ) -banda 5. O retângulo branco delimita a área escolhida para a aplicação dos filtros direcionais.

### Filtro direcional norte



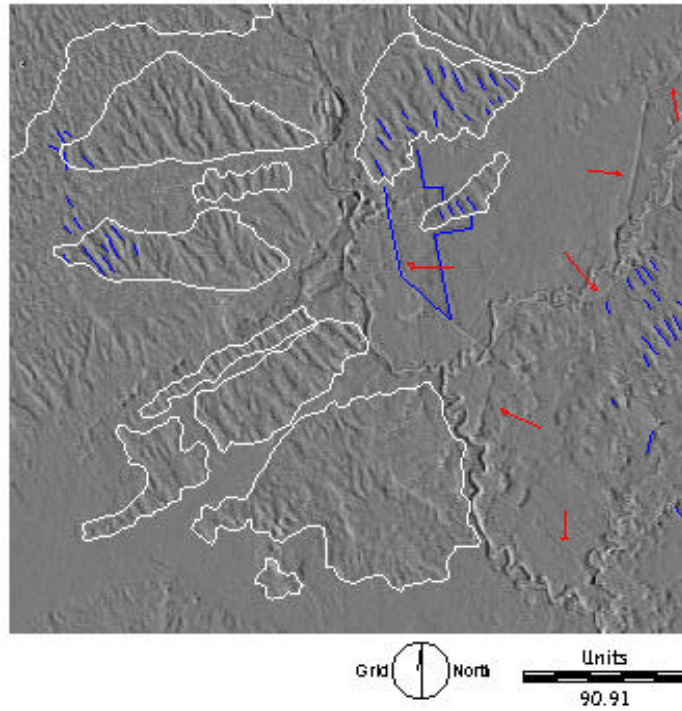
**Figura 26-** Imagem referente ao resultado do filtro direcional - orientação norte.

### Filtro direcional sul



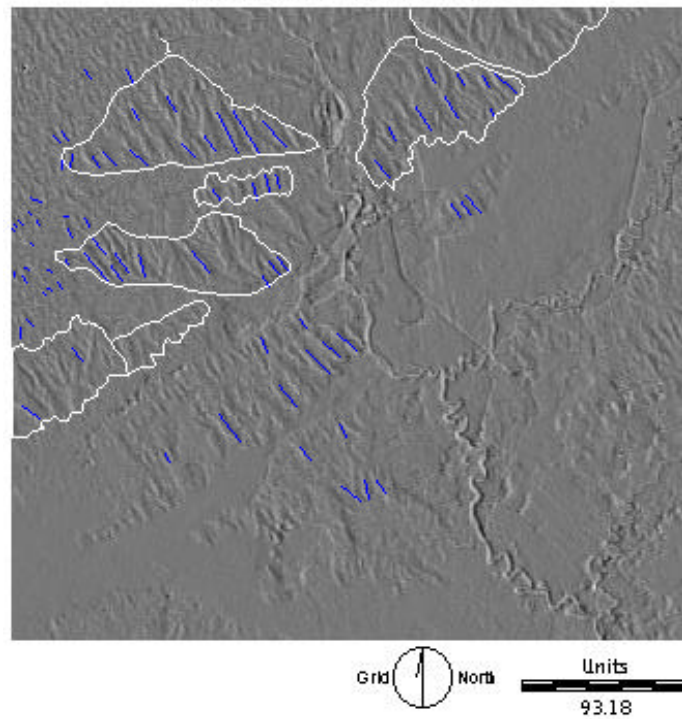
**Figura 27** - Imagem referente ao resultado do filtro direcional - orientação sul

### Filtro direcional leste



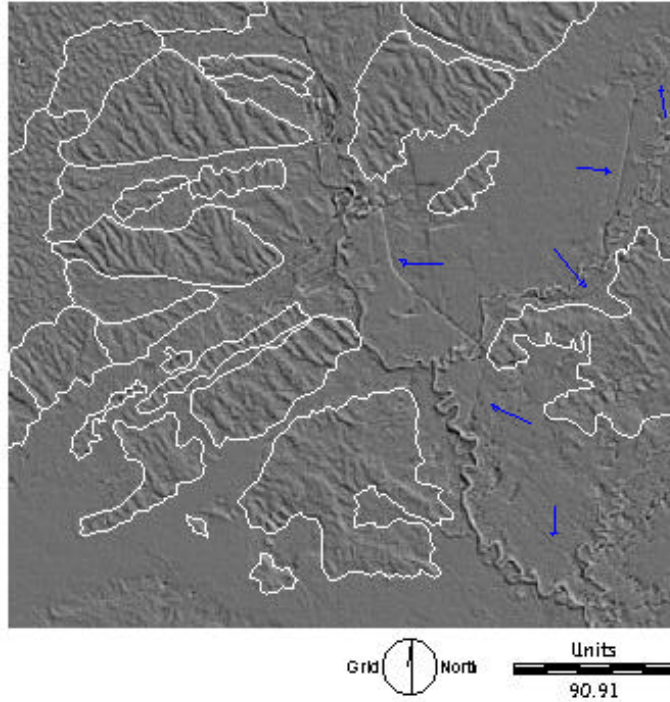
**Figura 28**- Imagem referente ao resultado do filtro direcional - orientação leste

### Filtro direcional oeste



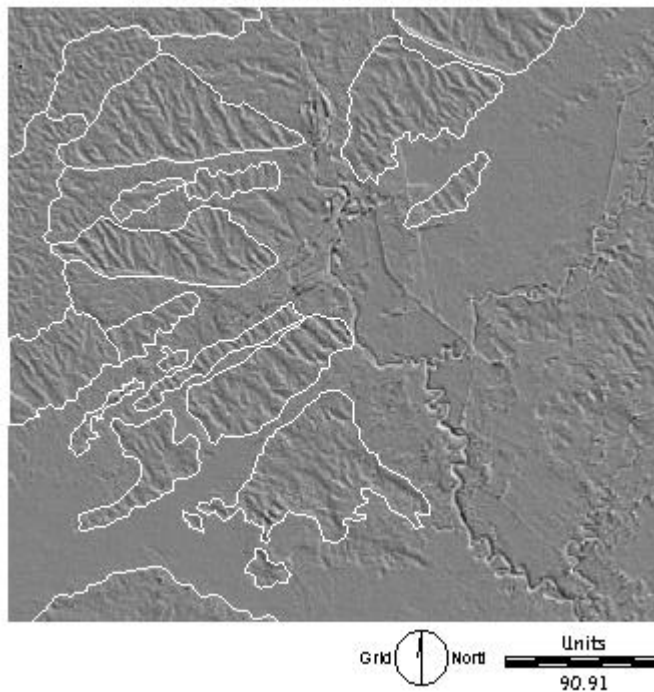
**Figura 29** - Imagem referente ao resultado do filtro direcional - orientação oeste

### Filtro direcional nordeste



**Figura 30**- Imagem referente ao resultado do filtro direcional - orientação nordeste

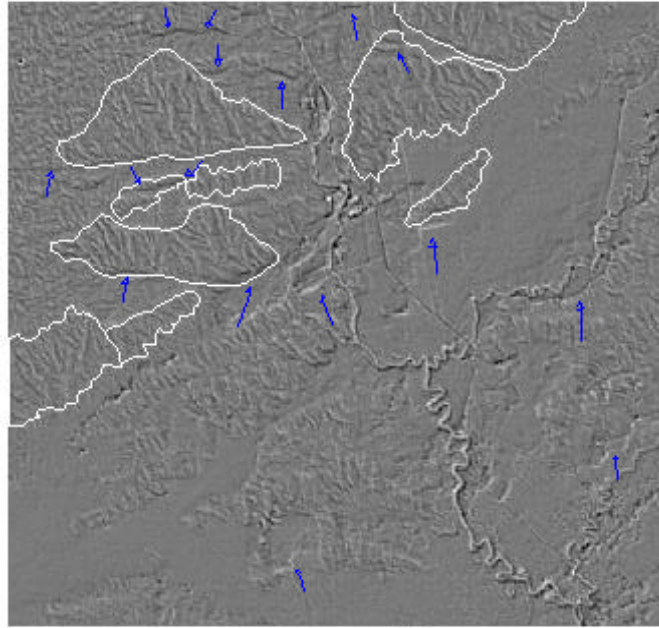
### Filtro direcional sudoeste



**Figura 31** - Imagem referente ao resultado do filtro direcional - orientação sudoeste

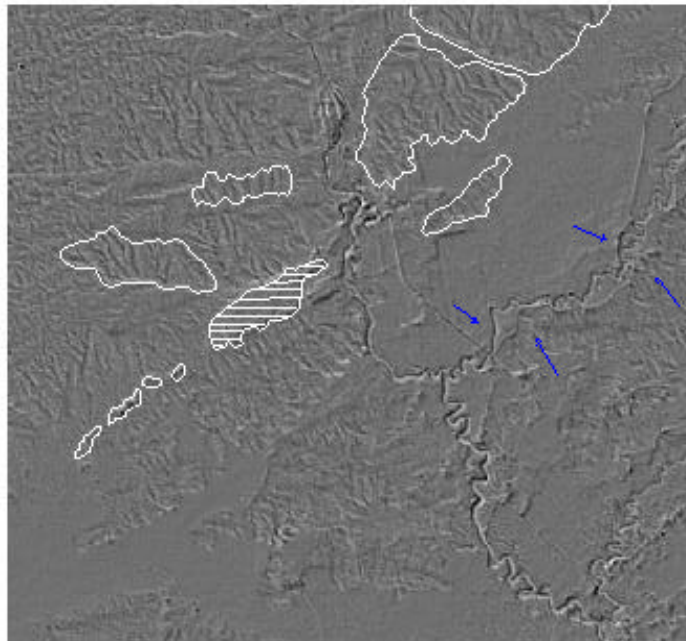


### Filtro direcional noroeste



**Figura 32-** Imagem referente ao resultado do filtro direcional - orientação noroeste

### Filtro direcional sudeste



**Figura 33** - Imagem referente ao resultado do filtro direcional - orientação sudeste

Avaliando-se os resultados obtidos, nota-se que cada um dos pares N-S; W-E; NW-SE; NE-SW; realça basicamente as mesmas feições, devido ao realce atuar perpendicularmente ao eixo hipotético da matriz que constitui o filtro.

Portanto, as imagens resultantes dos filtros são consideradas especulares, como pode ser visto na janela 3x3 dos filtros direcionais norte e sul, os pesos atribuídos retratam uma imagem obtida por pesos opostos.

1	1	1	
1	-2	1	Janela 3x3 - Filtro direcional norte (realçando as direções W-E)
-1	-1	-1	
			<b>* Eixo hipotético da matriz</b>
-1	-1	-1	
1	-2	1	Janela 3x3 - Filtro direcional sul (realçando as direções W-E)
1	1	1	

Percebe-se que os pares de filtros realizam inversões em seus pares alternados de luz-sombra. No caso do filtro sul, a sombra apresentou-se em baixo relevo e as áreas de luz se apresentaram em alto relevo. Já no filtro direcional norte há uma inversão, as áreas sombreadas apresentaram-se em alto relevo e as iluminadas em baixo relevo. Essa inversão de baixo e alto relevo provoca a discriminação diferenciada das feições, mas os resultados tornam-se ainda inerentes a cada direção.

Analisando os resultados adquiridos pelo processamento da filtragem, nota-se que o filtro direcional norte (Figura 26) apresentou-se com uma homogeneização dos tons de cinza na imagem. No entanto mesmo diante dessa homogeneização é possível discriminar algumas formas como são a planície e as escarpas.

O processo de compartimentação foi efetuado basicamente nas escarpas erosivas e em alguns morros isolados. A tropia se

mostrou altamente orientada nas direções NW-SE. A forma dos topos não foi identificada, devido a suavização da imagem, e diante dessa suavização que a planície costeira por apresentar uma textura lisa, foi facilmente identificada, quando deparada com o relevo de escarpas e morros.

No filtro com direção sul (Figura 27), notou-se que houve um leve realce em feições de direção W-E, apesar da orientação estar disposta na direção NW-SE (como é mostrado por pequenos traços ao longo da imagem), que é a direção preferencial do relevo da área. Este realce porém se torna mais expressivos com os filtros direcionais NE e SW, pois naturalmente eles irão realçar as orientações NW e SE, que são a orientação encontradas nas estruturas da imagem.

A tropia analisada como critério fotointerpretativo apresentou-se altamente orientada. Vale observar que a orientação sempre estará presente devido as orientações intrínsecas das escarpas. imagem. Ressalta-se que a compartimentação se restringiu basicamente nas escarpas erosivas e em alguns morros isolados na imagem.

Os filtros direcionais norte e sul, diante do eixo hipotético irão realçar as feições W-E, e o relevo que se encontrar nessa orientação será melhor realçado.

No filtro direcional Leste, as pequenas lineações de drenagem orientadas para NW ficaram mais delineadas, principalmente as próximas ao norte com o relevo de escarpas (Figura 28). O rio Itanhaém ficou bem realçado bem como seus afluentes; os traços azuis ao longo da imagem confirma a orientação da tropia NW - SE e as setas vermelhas identificam o

realce obtido nas estradas e caminhos presentes na imagem e uma área encontrada próximo ao Rio Itanhaém delimitada com um retângulo azul. A compartimentação se restringiu basicamente na escarpas erosivas, pois são poucas definições no sentido N-S que podem ser realçadas, no entanto apesar de uma certa dificuldade foi possível traçar alguns limites.

O processamento do filtro direcional oeste, produziu uma imagem homogênea sob os níveis de cinza, prejudicando assim a interpretação. A densidade textural na direção oeste diminuiu ao ponto de homogeneizar algumas áreas. A topografia teve seu realce com pequenos traços ao longo da imagem NW-SE. As áreas ao norte da imagem obtiveram um maior realce quando comparada com a região sul que ficou prejudicada para a interpretação. Pequenos trechos de rios e estradas que foram bem realçadas. A compartimentação somente foi possível nas escarpas erosivas, mesmo assim sem muita precisão. O critério de assimetria, apesar de não muito nítida, ainda se considerou como alta (Figura 29).

Os filtros direcionais oeste e leste, realçaram as direções N - S, devido a essas orientações a drenagem principal, seus afluentes, caminhos e estradas apresentaram-se expressivas ao longo da imagem.

O filtro direcional nordeste (Figura 30) apresentou facilidade na identificação das várias estruturas topográficas na imagem. O critério fotointerpretativo de topografia se mostrou fortemente orientada nas direções NW-SE, que é a direção principal de grande parte do relevo da área. Este resultado deve-se ao eixo hipotético dos filtros nordeste e sudoeste, que perpendicularmente realça as orientações NW-SE .

Na imagem a compartimentação foi realizada com uma certa facilidade, obteve-se poucos erros nos limites das áreas, caracterizando um filtro eficaz para a compartimentação de grande parte da área de estudo.

O filtro sudoeste possibilitou boa distinção da topografia, facilitando a identificação das áreas. As feições das estruturas topográficas apresentaram-se forte tropia na direção NW- SE e uma assimetria marcante.

Foi possível compartimentar algumas áreas de escarpas erosivas e morros isolados com bastante facilidade, no entanto a serra alongada e as elevações isoladas ao longo da imagem apresentaram-se um pouco complexas na sua compartimentação (Figura 31).

Os filtros direcionais nordeste e sudoeste mostraram-se bastante eficazes em sua compartimentação, isso devido ao fato da orientação das estruturas topográficas se encontrarem na direção NW e SE, que é a direção que são realçadas na imagem. Portanto seria necessário analisar primeiramente a orientação das feições topográficas contidas na imagem para após executar o processamento da filtragem espacial, para assim obter um melhor resultado.

O filtro noroeste não pode ser observado com clareza, devido a imagem se apresentar com pouca variação textural, ou seja homogênea. Por esse motivo critérios fotointerpretativos como a tropia foram afetados. Em uma análise fotointerpretativa pode-se verificar que as feições orientadas no sentido NE-SW ficaram mais realçadas, como por exemplo: os afluentes do rio Itanhaém e pequenas áreas indicadas por setas azuis ao longo da

imagem (Figura 32). Observou-se que a compartimentação foi realizada em pequenas áreas de escarpas festonadas que apresentaram a orientação NE - SW.

O processamento do filtro sudeste, assim como no filtro noroeste, apresentou uma baixa densidade de textura. Apesar da compartimentação ter sido prejudicada devido à homogeneização dos níveis de cinza, áreas de escarpas orientadas e morros isolados na direção NE e SW foram passíveis de delimitação.

Nas setas azuis traçadas na imagem, pode-se observar o realce das drenagens principais e secundárias, as estradas e caminhos. A topia mesmo de forma sutil, pode ser identificada através de algumas feições NW- SE (Figura 33). Houve um contraste muito grande em uma área relativamente média próximo ao Rio Itanhaém (polígono hachurado) que, quando analisada, verificou-se ser área de solo exposto.

Os filtros direcionais noroeste e sudeste irão realçar as direções NE e SW. As feições que se mostraram mais marcantes foram as drenagens principais e secundária juntamente com os caminhos e estradas.

Avaliando os resultados obtidos nota-se que na área encontram-se quatro formas de relevo: planície costeira, que identifica-se com uma superfície lisa e plana como pode ser visto em pequenas área próximas ao Rio Itanhaém. Os morros isolados que são encontrados ao longo da superfície lisa, a serra alongada que apresenta-se na parte direita da imagem entre os afluentes do Rio Itanhaém. As escarpas festonadas é expressiva em toda a imagem, apresentando-se áreas com pares alternados em baixo e alto relevo. O relevo de morro apresentam-

se mais prejudicado diante da fotointerpretação, pois devido ao processo de homogeneização de algumas áreas não foi passível de discriminá-las.

Em relação ao processamento de filtragem, qualquer que seja o filtro direcional, as escarpas festonadas devido a orientação intrínseca de seus anfiteatros, o critério fotointerpretativo da tropia será a direção NW e SE, salientando que em alguns filtros como NE, SW N e S serão melhor visualizados e em outros não tanto.

A planície costeira apresentou-se inalterada em todos os filtros devido a sua superfície lisa e a falta de heterogeneidade de brilho na imagem. Somente é realçado algumas estradas, caminhos e drenagens decorrente da orientação que as mesmas se encontram.

Os morros isolados por apresentarem um conjunto de vertentes ravinadas possibilitaram a utilização dos critérios fotointerpretativos: tropia e densidade textural com certa variação. Os filtros direcionais que responderam satisfatoriamente a discriminação dessas áreas foram NE e SW que realçaram as direções NW e SE onde se encontram a maioria dos morros isolados, e que é a direção preferencial do relevo existente na área de estudo.

Em uma pequena região localizada no canto superior esquerdo da área de estudo, ocorre o relevo de morrotes baixos, que obteve pouco realce com a aplicação dos diferentes filtros analisados. Observou-se com pequenas alterações na densidade textural que se apresentou com variações entre baixa a média. Em

relação aos demais critérios fotointerpretativos, não se notou nenhuma alteração coma a aplicação dos diversos filtros.

Entre os afluentes do Rio Itanhaém encontram-se a serra alongada, a qual obteve pouco resultados satisfatórios no processamento da filtragem direcional. Decorrente a uma falta de orientação na sua superfície, os filtros direcionais não foram eficazes em sua discriminação. Ressalta-se que apenas os filtros NW e SE responderam satisfatoriamente na discriminação deste alvo. Percebe-se que a forma dos topos, não pode ser identificada em quase nenhum filtro, isso devido a homogeneização dos níveis de cinza, que reduz significativamente os detalhes da imagem.

A seguir são apresentados de forma sucinta os critérios fotointerpretativos que puderam ser analisados a partir dos filtros direcionais.

**Tabela 11** - A resposta dos filtros segundo os critérios fotointerpretativos

Filtros Direcionais	Densidade de Drenagem	Densidade de Textura	Tropia	Forma dos topos	Orientação
Norte	Se restringiu mais nas encostas (Média)	Alta	Alta	*	W-E
Sul	Média	Média	Alta	*	W-E
Leste	Média	Média	Alta	*	N-S
Oeste	Suavização das escarpas( Média)	Média	Alta	*	N-S
Nordeste	Forte	Forte	Forte	*	NW-SE
Sudoeste	Forte	Forte	Forte	*	NW-SE
Noroeste	Baixa	Homogênea (Baixa)	Baixa	*	NE-SW
Sudeste	Complexa de ser visualizada(Baixa)	Baixa	Suavidade (Baixa)	*	NE-SW

\* Devido ao efeito de homogeneização causado pelos filtros, a forma de topos não pode ser caracterizada, pois todos apareceram aplainados.

Enfim os filtros direcionais nordeste e sudoeste foram considerados os mais satisfatórios no processo da



compartimentação na imagem, no entanto vale ressaltar que isso é decorrente da direcionalidade das morfoestruturas encontradas no relevo da área.

Nota-se que as filtragens aplicadas foram utilizadas para o realce de bordas e para os realces direcionais, no entanto o interesse a seguir se volta ao estudo das sombras, baseado nos trabalhos de VENEZIANI e ANJOS (1982), GILLES (2001) e CRÓSTA (1990).

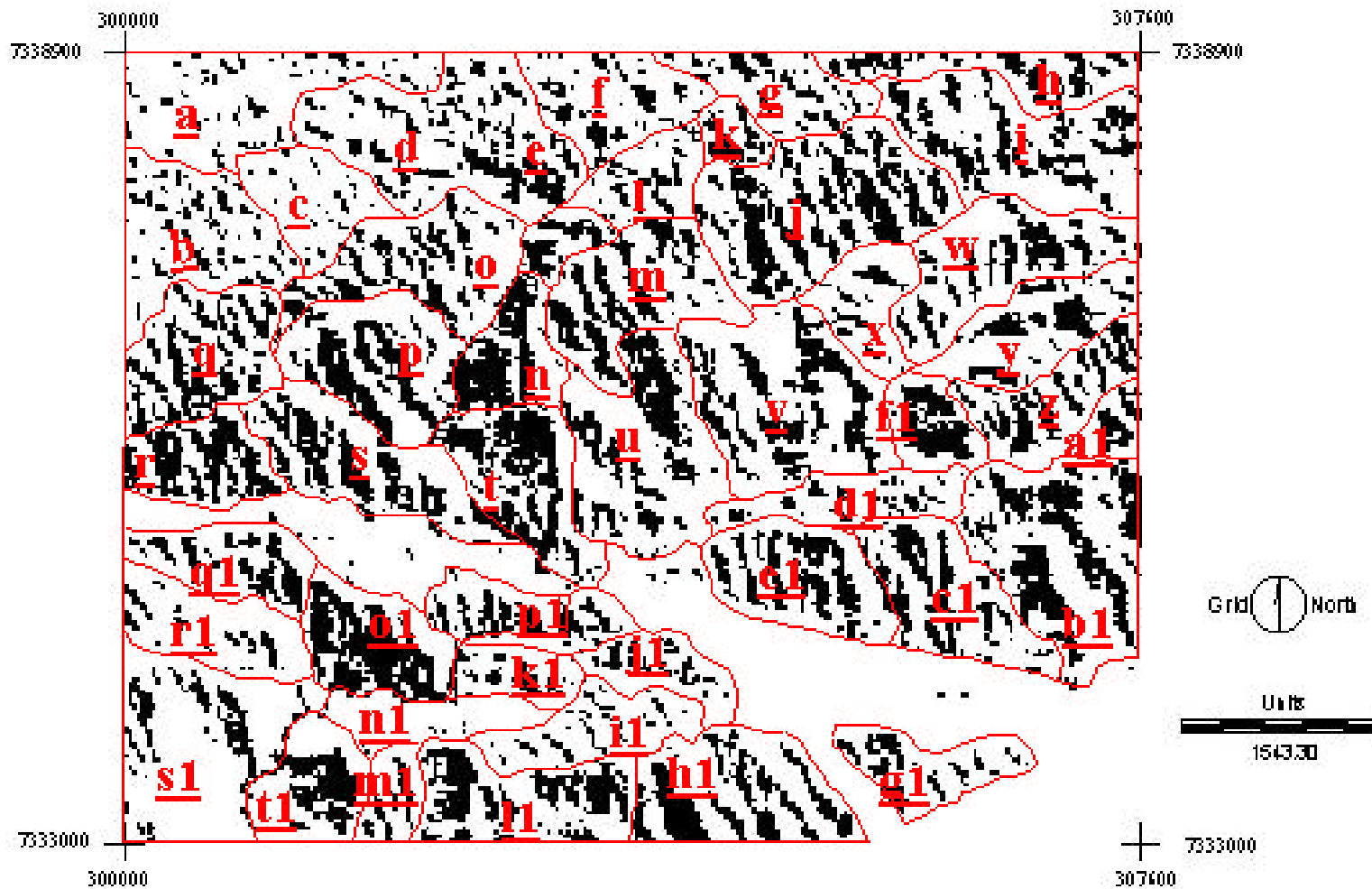
Segundo os autores acima citados, a sombra ocorre em função das rupturas de declive, que no instante da tomada da imagem proporciona o efeito de sombreamento que irá fornecer a idéia de morfologia do terreno. A proporção das sombras em uma imagem de sensoriamento remoto depende da combinação de dois fatores: 1º características topográficas da paisagem e 2º a posição solar (elevação solar e azimute) na hora da aquisição da imagem. O ângulo de iluminação sob o qual a imagem é adquirida afeta o sombreamento topográfico, particularmente em terreno acidentado. Baixos ângulos de iluminação aumentam o sombreamento topográfico, e conseqüentemente ocorre o aumento da textura observada na imagem, particularmente em áreas de terrenos mais acidentados.

É neste contexto que as sombras serão analisadas e avaliadas como um critério metodológico para a compartimentação fisiográfica.

Quando se analisa a quantidade de áreas de sombra simplesmente através de sua distribuição e geometria, fica claro que as sombras delineiam locais onde há uma maior densidade de elementos de relevo. Da mesma forma, a ausência de sombra

estaria relacionada à ocorrência de relevos mais planos, com densidade baixa ou até mesmo inexistente de elementos de relevo, como é o caso de uma área de planície.

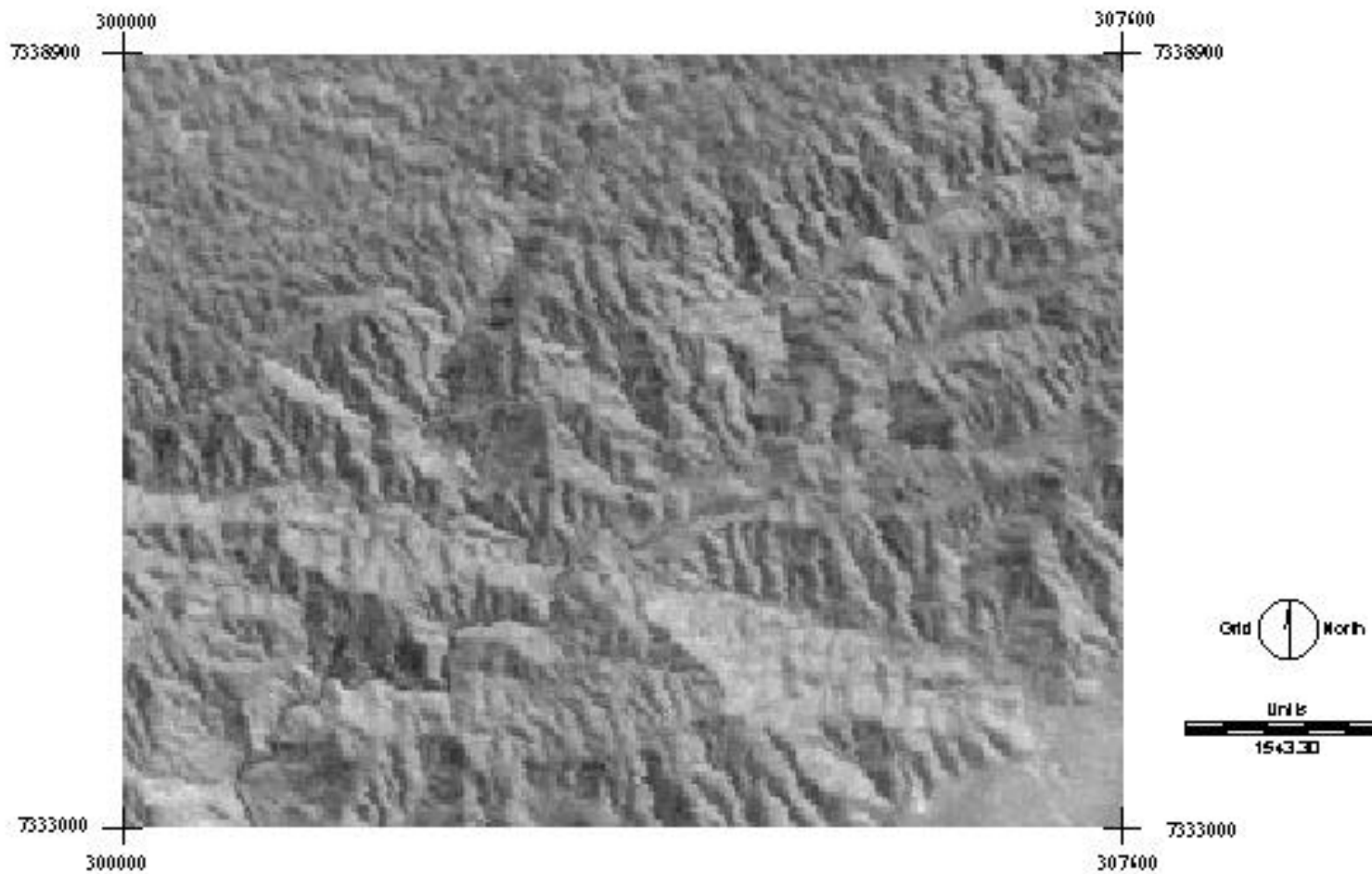
O método de reclassificação das sombras aplicado, foi um método comumente utilizado em processos de reclassificação, que permitiu que a imagem digital se apresentasse na forma binária. A Figura 34 ilustra a presença e a ausência das sombras na superfície topográfica. A partir desta imagem, fatores tais como: formas, orientação, tamanho, densidade das feições de sombra foram explorados e avaliados. Além desses critérios um fator que veio complementar essas informações foi o mapa altimétrico, gerado a partir das curvas de nível, extraídas das cartas topográficas.



**Figura 34** - Imagem reclassificada segundo valores de níveis de cinza sombreados e os compartimentos identificados pela distribuição e forma das sombras.

A área escolhida (Figura 35) mostra diferentes tipos de superfície topográfica como: relevo de escarpas, relevo de morros e morrotes e uma pequena parcela de planície costeira. Essa diferença de relevos é importante para a caracterização do comportamento das sombras, mas não fundamental para explicar os compartimentos traçados. Vale salientar que, o objetivo da análise das sombras não é a caracterização do terreno, como visto na realidade (formas de relevo), mas sim a separação de compartimentos, onde são constatadas diferenças de feições de sombras. Salienta-se que qualquer relação com a realidade do terreno pode conduzir a conclusões equivocadas, o que não seria interessante para o objetivo da pesquisa.

O mapa de altimétrico (Figura 36), gerado a partir das curvas de nível, foi outro critério que, quando avaliado, permitiu analisar locais com alta e baixa altitude e as respectivas variações altimétricas de dentro dos vários compartimentos do relevo, relacionando-as às feições de sombra. Áreas com altas variações altimétricas descrevem uma superfície topográfica com relevos mais acidentados, onde ocorre a perda gradual de altura em direção a base, que neste estudo é a planície costeira. Já em áreas de variação de altitude mínima, nota-se que o relevo pode sofrer uma ação contínua dos processos denudacionais. Estas variações altimétricas mostram as diferenças existentes em uma mesma superfície e possibilitam a descrição dos sistemas de relevo.



**Figura 35** - Imagem LANDSAT (banda 5 ), saturada na porcentagem de 0.5.

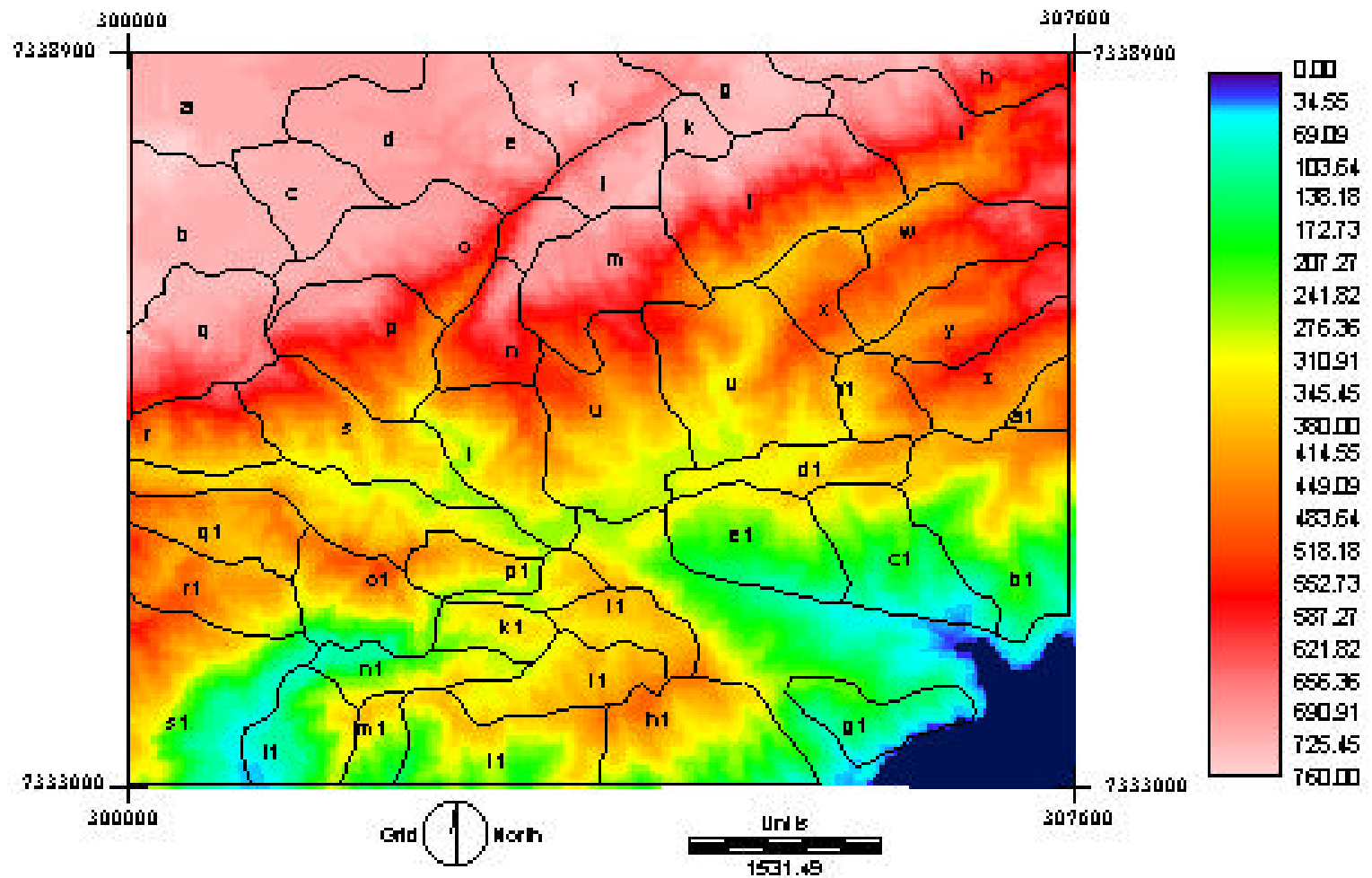


Figura 36 - Modelo de elevação digital.

Para uma análise sucinta das sombras foi gerado um quadro (Tabela 12) onde é avaliado cada compartimento, com os seguintes critérios: orientação das sombras, sua densidade e tamanho e variação altimétrica.

**Tabela 12** - Síntese da descrição dos compartimentos, baseada na análise das feições de sombras.

<b>Área</b>	<b>Descrição</b>
<b>a</b>	As sombras apresentaram-se com baixa densidade e sem nenhuma orientação, dispendo-se irregularmente na área. A altitude do compartimento varia de 700 a 740 metros.
<b>b</b>	Área com sombras de pequeno porte e com baixa densidade, dispostas irregularmente ao longo da área com uma leve orientação de SE-NW. Variação altimétrica de 720 a 740 metros.
<b>c</b>	Pequenas áreas de sombras, com densidade quase nula. Atitude de 720 metros.
<b>d</b>	Mostrou áreas contento sombras orientadas na direção SE-NW, a densidade foi baixa com praticamente duas sombras de tamanho grande. Sua altitude varia de 600 a 710 metros.
<b>e</b>	Densidade média de sombras, dispostas com uma orientação SE- NW. Na parte sul do compartimento as sombras ficaram muito densas em contraposição da parte norte, onde estas ficaram bastante dispersas ao longo do compartimento. A altitude é de 620 a 720 metros.
<b>f</b>	As sombras nesta área se apresentaram com tamanhos pequenos e com uma densidade média. Houve uma ligeira orientação de NW-SE e com variação altimétrica de 660 a 740 metros.
<b>g</b>	Nesta área encontrou-se uma média densidade de sombras por unidade de área. A orientação apresentou-se um pouco aleatória e o tamanho das feições medianas. Sua altitude é de 600 a 740 metros.
<b>h</b>	Pequena área com densidade média de sombras e sem orientações. Altitude variando de 480 a 720 metros.

<b>i</b>	Na área encontra-se uma densidade mediana, onde as sombras estão dispostas de forma irregular, com tamanhos variando de médio a pequeno. Altitude de 420 a 710 metros.
<b>j</b>	Área com forte densidade de sombras, apresentando tamanhos de feições relativamente grandes e uma orientação NW-SE . Variação altimétrica de 360 a 720 metros.
<b>k</b>	Apresenta-se uma pequena área com duas grandes sombras e sem nenhuma orientação. Altitude de 720 metros.
<b>l</b>	Área que se apresentou com baixa densidade de sombras e com orientação irregular. Altitude de 620 a 740 metros.
<b>m</b>	Sombras marcantes, com tamanho relativamente grande, cobrindo toda a área do compartimento. Orientação NW-SE e com altitude variando de 460 a 720 metros.
<b>n</b>	Área com alta densidade de sombras, apresentando feições de tamanho grande e densas, dificultando assim a orientação. Sua variação altimétrica foi de 400 a 700 metros.
<b>o</b>	Nesta área existe uma disposição irregular das sombras não apresentando uma orientação definida. Observou-se que o tamanho das sombras é pequeno e a sua densidade mediana, mostrando um relevo sem muitos contrastes e com uma elevação de 440 a 720 metros, conforme se constata no mapa topográfico.
<b>p</b>	Nota-se nesta área duas sombras bem marcantes com direção NW-SE, de tamanhos grandes e com densidade alta. Sua altitude variou de 300 a 700 metros.
<b>q</b>	Área com alta densidade de sombras e com uma orientação NW-SE. Variação altimétrica de 540 a 720 metros.
<b>r</b>	Forte densidade de sombras, o compartimento fica quase tomado pelas sombras com seu grande tamanho. Sua orientação foi de NW-SE e sua altitude de 340 a 640 metros.
<b>s</b>	A área se destacou com uma densidade média de sombras, com tamanho das feições de média a alto e com orientação de NW-SE. Sua altitude variou de 280 a 640.



<b>t</b>	Sombra bem marcante ao longo de toda área compartimentada. Forte densidade e com orientação não muito definida. A altitude se apresentou com 280 a 540 metros.
<b>u</b>	Área com sombras na parte superior bem marcantes havendo uma baixa de sombreamento ao sul. Orientação levemente para NW-SE e com variação altimétrica de 260 a 540 metros.
<b>v</b>	Área com alta densidade e tamanhos de feições de sombras grandes. Ausência de orientação e altitude de 300 a 560 metros.
<b>x</b>	Área com baixa densidade de feições de sombra, disposição aleatória das feições, e tamanhos pequenos. Altitude de 400 a 520 metros
<b>w</b>	Esta área apresentou-se com uma densidade média e feições variando de tamanho médio a pequeno e orientação N-S. Altitude 400 a 640 metros.
<b>y</b>	Destacou-se com áreas de densidade média e tamanhos irregulares. Sua orientação não foi definida diante da aleatoriedade das sombras. Altitude de 420 a 620 metros.
<b>z</b>	Densidade alta, com uma leve orientação de NW-SE e tamanho médio. Altitude de 380 a 620 metros.
<b>a1</b>	Pequena área na direção leste do mapa. Apresentou sombras de densidade média com orientação definida em NW-SE. Sua variação altimétrica foi de 400 a 480 metros.
<b>b1</b>	Neste compartimento as sombras apresentaram-se com tamanhos grandes, se estendendo-se de um lado a outro da área. Sua direção foi NW-SE e sua variação altimétrica foi de 80 a 460 metros.
<b>c1</b>	Área de densidade média e com tamanhos médios das feições de sombra de direção NW-SE. Altitude variando de 40 a 360 metros.
<b>d1</b>	Esta área se apresentou com pouquíssimas sombras, de tamanho pequeno. Por estar disposta aleatoriamente ao longo da área a direção não foi muito bem definida.
<b>e1</b>	Área com densidade alta de sombras, onde a disposição das mesmas apresentam-se na orientação N-S. Sua altitude

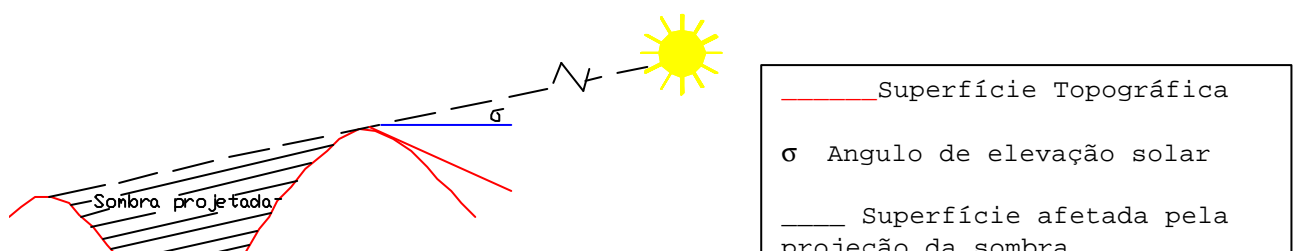
	apresentou-se com 80 a 300 metros
<b>f1</b>	Área com alta densidade mas sem tamanho e orientação definida. Altitude 200 e 420 metros.
<b>g1</b>	Neste compartimento as sombras apresentaram-se com densidade baixa e uma disposição NW-SE. Na parte leste da áreas as sombras se mostram mais amenas em comparação com a parte oeste. Sua variação altimétrica foi de 20 a 240 metros.
<b>h1</b>	Área com sombras grandes sendo alinhadas perpendicularmente à direção NW-SE e com uma densidade de média. A altitude foi de 160 a 480 metros.
<b>i1</b>	Neste compartimento pequenas sombras apresentaram-se com disposição irregular no compartimento, sua densidade foi bastante baixa e sua altitude variou de 280 a 460 metros.
<b>j1</b>	Área com baixa densidade de sombras, sem orientação definida e com variação altimétrica de 400 a 460 metros.
<b>k1</b>	Sombras pequenas com disposição irregular no compartimento, não possibilitando assim uma orientação definida. Sua altitude foi de 220 a 340 metros.
<b>l1</b>	Densidade alta neste compartimento, pelo fato das sombras estarem muito próximas não é possível definir uma orientação. Sua variação altimétrica foi de 180 a 380 metros.
<b>m1</b>	Pequena área com presença de sombras pequenas dispostas irregularmente e de densidade baixa. Altitude de 180 a 340 metros.
<b>n1</b>	A presença de sombras neste compartimento é praticamente nula, podendo considerar somente a variação altimétrica de 100 a 360 metros.
<b>o1</b>	Nesta área há uma disposição conjunta das sombras, delineando uma área de alta densidade, no entanto com uma fraca orientação. O tamanho das sombras não é muito distinguível, no entanto a variação de altitude foi de 100 a 520 metros.
<b>p1</b>	Apresentou-se com uma alta densidade, mas com uma forte orientação N-S e com feições de tamanhos médios. Sua altitude variou em 320 a 440 metros.

<b>q1</b>	Sombras dispostas levemente na orientação N-S, com densidade média e altitude de 480 a 340 metros.
<b>r1</b>	Compartimento com baixa densidade de sombras, dispostas irregularmente na área, sem uma orientação definida. Altitude de 200 a 500 metros.
<b>s1</b>	A área encontra-se uma disposição irregular das sombras com tamanhos pequenos e sem nenhuma orientação. A área variou com altitude de 40 a 540 metros.
<b>t1</b>	A sombra se apresentou agrupada, não havendo visão para uma orientação definida. Sua densidade é alta e sua altimetria é de 40 a 360 metros.

A imagem compartimentada produziu um total de 46 áreas, onde orientação permaneceu praticamente constante na direção NW - SE, que quando verificado na imagem original constatou-se que foi devido ao fato de uma grande área de escarpas se encontrarem instaladas sobre seqüências litológicas dobradas, ou seja, sobre rochas portadoras de orientação, tendo seu traçado geral disposto paralelamente às estruturas regionais (IPTb, 1989).

A densidade de feições de sombra e o seu tamanho, que está relacionado com a amplitude, variaram conforme esperado, devido à presença de diferentes formas de relevo e amplitudes. Áreas como a, b e c (Figura 34) apresentaram em sua avaliação, baixa densidade de feições de sombra e com pouca orientação, dispostas irregularmente na área. A variação altimétrica foi em média de 40 metros.

Avaliando os compartimentos r, s e t, notou-se uma alta densidade das feições de sombra com orientação quase constante na direção NW-SE e amplitudes topográficas variando em média de



360 metros; ressaltando que cada compartimento foi quase todo tomado pelas sombras. Já nas áreas s1, r1 e n1 (Figura 36), pode observar uma variação altimétrica alta com baixa presença de sombras. Esta discrepância pode ser explicada pela presença de áreas iluminadas, o que nos alerta para uma outra questão, a do sombreamento topográfico decorrente da variação topográfica da área. Conforme se pode observar na figura esquemática abaixo, há uma sombra projetada por uma obstrução topográfica, decorrente de uma posição definida da elevação solar e ângulo azimutal. Portanto, essa face iluminada pode projetar uma área com ausência de sombras.

**Figura 37** - Ilustração de uma sombra projetada em uma superfície topográfica ao longo do azimuth solar. Fonte: GILLES (2001).

Nota-se que em uma imagem binária sempre haverá pares alternados de luz (branco) e sombra (preto), no entanto em alguns tipos de relevo a presença de paredes iluminadas transcreve áreas sem sombras. Observando a Figura 34, nota-se que a imagem apresenta uma grande área branca com ausência de sombras, o que poderia levar a uma falsa interpretação de uma área plana, no entanto observando as Figura 35 e 36, observa-se que isso equivale a uma região de escarpas, onde existe uma grande área de face iluminada com variação altimétrica do primeiro compartimento de 340 metros e do segundo de 140 metros. Portanto, a interpretação precisa ser cuidadosa, pois a ausência de sombras nem sempre pode ser considerada como superfície plana e sim faces iluminadas na superfície.

Resultados similares podem também serem observados nas áreas g1 e h1 (Figura 34). Nota-se neste caso, que há uma área

em branco entre os dois compartimentos, o que não evidência um relevo plano e sim a incidência da iluminação solar em uma grande superfície topográfica a qual originou sombras posteriores, encontradas no compartimento h1.

Já compartimentos j, w, z, e1, h1 e g1 (Figura 34) apresentaram sombras bem delineadas com orientações definidas e bem discriminadas. As sombras normalmente se apresentam paralelas, evidenciando a presença de pares alternados de luz e sombra.

Os limites traçados pelos critérios das sombras forneceram resultados satisfatórios, os quais além de serem inéditos, possuem grande eficácia para o processo de compartimentação em superfícies topográficas. Entretanto, tal metodologia não pode ser aplicada isoladamente, mas sim em conjunto com a imagem original e com as técnicas convencionais de fotointerpretação. O método não pode ser usado como substituto, mais sim como fator de soma aos já existentes.

"Aquele que tentou e não conseguiu é superior  
àquele que nada tentou."  
Bud Wilkinson

## 6. Conclusões

O método convencional de fotointerpretação apresenta grande potencial de discriminação de áreas. O resultado deste processo, aliado à utilização de técnicas estatísticas multivariadas para subsidiar a análise de correspondência entre os compartimentos traçados foi bastante positivo. Os resultados obtidos foram muito satisfatórios, mas deve-se deixar claro que quanto maior for o detalhamento qualitativo utilizado na descrição das propriedades dos compartimentos, maior o quantitativo associado, e portanto, maior a precisão dos resultados.

Os resultados obtidos a partir dos algoritmos de textura, particularmente a variabilidade, mostraram-se inadequados ao que se havia esperado. As imagens tiveram uma perda muito grande na qualidade, devido à homogeneização dos níveis de cinza. Esse fato ocorrido, comprometeu a eficácia da compartimentação e a não viabilidade da aplicação dos algoritmos de textura na mesma.

Desta forma, a expectativa de se encontrar algoritmos que discriminassem melhor algumas regiões do que outras não foi satisfeita.

Os resultados obtidos com a utilização dos filtros direcionais mostraram que o realce obtido está diretamente ligado com a direção das feições de relevo existentes na imagem, o que era esperado. Assim, a resposta alcançada está diretamente relacionada à direção do filtro utilizado.

A aplicação dos filtros direcionais na imagem possibilitou resultados interessantes, pois permitiu ao fotointérprete

avaliar as várias direções em que uma mesma feição de relevo pode ser realçada. É necessário, porém, avaliar a área a ser trabalhada, de forma a permitir a escolha mais adequada do filtro para o que se deseja realçar.

A análise das sombras foi um método de interpretação interessante e sua aplicação para este estudo constituiu-se em uma técnica inovadora. Os resultados foram muito satisfatórios e contribuíram eficazmente no processo de compartimentação, realçando diferenças existentes e contribuindo até mesmo no processo de equivalência/correspondência entre os compartimentos traçados, principalmente para um fotointérprete iniciante.

A avaliação das sombras como critério fotointerpretativo, mostrou que, mesmo diante da subjetividade inerente à análise visual, a mesma tem grande potencial para contribuir na melhoria da qualidade dos resultados da compartimentação.

Diante dos resultados obtidos fica claro que a subjetividade não pode ser eliminada, talvez minimizada quando a fotointerpretação for associada aos procedimentos aqui avaliados.



"Mas eu desconfio que a única pessoa livre,  
realmente livre, é aquela que não tem medo  
do ridículo."

Luiz Fernando Veríssimo

## 7. Referências Bibliográficas

ANDRADE, V. M. B. de, Classificação de Imagens de alta resolução usando atributos de textura. (Dissertação de mestrado) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1989, (INPE - 4888-TDL/379).

BUITEN, H. J. and CLEVERS, G. P. W., Land observation by remote sensing: theory and applications, Amsterdam: Copyright OPA (Overseas Publishers Association), 2º ed, 1996, 275-286p.

BURATO, S. Imagens, 2002. Disponível em: <http://www.otica.kit/net>. Acesso em 15 de out.. 2002, 21:10hs.

CHRISTOFOLETTI, A., Geografia Física, Not. Geomorfológica, Campinas, 11(22): 73-75. Dez. 1971.

CRÓSTA, ALVARO P. Processamento Digital de imagens de sensoriamento remoto. Campinas, SP: IG- UNICAMP, 1992, 170p.

CURRAM, P. J. The Semivariogram in Remote Sensing: An Introduction. Remote Sensing of Environment 24(3), 1988, pg. 493 - 507.

CUNHA, S. B. da & GUERRA, A. J. T. Geomorfologia: exercícios, técnicas e aplicações. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 1996.

EASTMAN, J. R., Idrisi for windows: Introdução e Exercícios Tutoriais. Porto Alegre, UFRGS- Centro de Recursos Idrisi, 1999.

EVERITT, B. S. Cluster Analysis. London, 1993. Ed. Arnold.3.ed.

FIGUEIRAS, E. Q., Síntese de texturas utilizando modelos estatísticos espaciais, (Dissertação de mestrado) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2000, (INPE - 7499-TDI/714).

FILHO, E. F. do Ó; MASCARENHAS, N. D. A. e SONNEBURG, C. R. Classificação de imagens multiespectrais, através de características de textura., São José dos Campos, 1980 (INPE - 1734-RPE/134).

FRANZONI, A.M. B; LAPOLLI, É. M. E MATTOS, J. T.; O uso do Sensoriamento Remoto na caracterização do meio físico visando o estudo do sistema viário. IIIº Encontro Ibero-Americano de Unidades Ambientais ao Setor de Transportes, 1998. [http://200.180.38/ii encontro/autores/PIG/principal.htm](http://200.180.38/ii_encontro/autores/PIG/principal.htm).

GALO, M.L.B.T. Caracterização ambiental do parque estadual morro do diabo através de dados e técnicas de sensoriamento remoto: abordagens usando redes neurais artificiais. (Tese de Doutorado), Escola de Engenharia de São Carlos/USP 2000.

GILES P. T. , Remote Sensing and Cast Shadows in Mountainous Terrain. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 67, nº 7, July 2001.

GIANNINI, P. C. F. Sedimentação quartenária na planície costeira de Peruíbe-Itanhaém (SP), Universidade de São Paulo - Instituto de Geociências. 1987.

GUERRA, A. T. Dicionário Geológico-Geomorfológico, Rio de Janeiro: IBGE, 1975 4º ed. 439p.

HAMBURGER, D. S. Utilização de informações derivadas de características texturais de imagens orbitais na definição de classes de uso do solo urbano. São José dos Campos, Janeiro/1993, INPE.

HARALICK, R.; SHANMUGAM, K. E DINSTEIN, I. Textural features for image classification. IEEE Transactions on Systems man and cybernetics, 3 (6): 610 - 621, Nov. 1973.

HARALICK, R. Statistical and structural approaches to texture. Proceedings of the IEEE, 67(5): 786- 804, May, 1979.

HUDAK, A. T. & WESSMAN, C. A. Textural analysis of historical aerial photpgraphy to characterize woody plant encroachment in south african savanna. Remote Sensing of Environment. 66(3), Dec., 1998. pg. 317 - 330.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO  
(IPT). Mapa Geológico do Estado de São Paulo. IPT, v. 1, São  
Paulo, 1981a. Escala 1:500.000.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO  
(IPT). Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo. IPT, v. 1,  
São Paulo, 1981b. Escala 1:500.000.

JENSEN, J. R. Spectral and textural features to classify elusive  
land cover at the urban fringe. The professional Geographer.  
31(4), Nov. 1979. pg. 400 - 409.

JENSEN, L. M. Knowledge-based classification of an urban area  
using texture and context information in landsat-TM imagery.  
Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 56(6), Jun.1990.  
pg. 899 - 904.

JENSEN, J. R. Introductory digital image processing: a remote  
sensing perspective. 2ª ed. Ed. Prentice Hall, 1996.

JULESZ, B. Experiments in the Visual Perception of texture.  
Scientific American. Vol. 232, 1975.

KURKDJIAN, M. L. N. O. Homogeneous photographic texture: an  
instrument to identify different urban population segments.  
International Society for Photogrammetric and remote sensing,  
16<sup>th</sup> Congress, Vol. 27, part B7, commission VII. 1988. Pg. 324  
- 332.

LANDIM, P. M. B. **Geologia Quantitativa: Introdução à análise estatística de dados geológicos multivariados.** Rio Claro - SP, 2001.(Livro em CD-ROM).

LILLESAND, T. M. & KIEFER, R. W., **Remote Sensing and image interpretation.** 3<sup>rd</sup> ed. Printed USA, 1994.

MATTOS, J. E. Sensoriamento Remoto aplicado a mapeamentos geoambientais. Departamento de Geociências e Meio Ambiente; **Curso de treinamento;** Rio Claro, Set. 2001.

MENESES, P. R., ASSAD, E. D. e SANO, E. E., **Introdução ao processamento de imagens digitais de satélites de sensoriamento remoto.**, Brasília: Ed. Universidade de Brasília, 1991.

MURPHY, D. L., Estimating Neighborhood Variability with a Binary Comparison Matrix. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing,** 51(6), June.1985. pg. 667-674.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: princípios aplicações.** São Paulo: Edgard Blucher, 1991. 308p.

OLIVEIRA, J. B. de, CAMARGO, M. N. de, ROSSI, M. e FILHO, B. C.,  
Mapa pedológico do Estado de São Paulo. Escala 1:500.000,  
1999. Campinas: Instituto Agronomico.

ONGE, B. Topographic effects on the texture of hig-resolution  
forest-stand images measured by the semivariogram.  
Photogrammetric engineering & remote sensing, 65(8) Aug.  
1999. pg. 923 - 935.

PEREIRA, M. N.; KURKDJIAN, M. L. N. O E FORESTI, C. Cobertura e  
uso da terra através de sensoriamento remoto. São José dos  
Campos. Novembro/1989 (INPE-5032-MD/042)

PINEL, V. B. & ETCHEGORRY, J. P. G. Sensitivity of Texture of  
High Resolution Images of Forest to Biophysical and  
Acquisition Parameters. Remote Sensing of Environment. 65(1),  
Jul., 1998. pg. 61 - 85.

RICHARDS, J. A. Remote Sensing digital image analysis. New York:  
springer-verlag. 1994.

SABINS, F. F., Remote Sensing: principles and interpretation. 3.  
ed. 1997.

SETZER, J. Atlas Climático e ecológico do Estado de São Paulo.  
(CESP), São Paulo, 1966.

SCHOWENGERDT, R. A. , Techniques for Image Processing and Classification in Remote Sensing. Orlando, Academic Press, 1983.

SHIH, E. H. H. & SCHOWENGERDT, R. A. Classification of Arid Geomorphic Surfaces Using Landsat Spectral and Textural Features. Photogrammetric engineering & remote sensing, 49(3), 1983. pg. 337 - 347.

SHIRANITA, K.; MIYAJIMA, T. TAKIYAMA R. , Determination of meat quality by texture analysis. Pattern Recognition Letters, 19, 1998. pg. 1319-1324.

SOARES, P. C. & FIORI, A.P. Lógica e Sistemática na Análise e Interpretação de Fotografias Aéreas em Geologia. Notícia Geomorfológica, Campinas, v. 16, n32, p.g. 71-104, dez., 1976.

THEODOROVICZ, A., THEODOROVICZ, A. M. G., CANTARINO, S. C. Projeto Curitiba - Informações Básicas sobre o meio físico: subsídios para o planejamento territorial - Folha Curitiba 1:100.000, 1994, pg. 109.

TRICART, J., Principes et méthodes de la geomorphologie. Notícia Geomorfológica, ano VI, nº 11, pg 81 a 88. Campinas, Junho de 1966.

TURNER, M. G., Landscape ecology: The effect of pattern on process. Annual Review Ecology System. 20, 1989, p. 171-197.



VEDOVELLO, R. Zoneamento geotécnicos por sensoriamento remoto, para estudos de planejamento do meio físico - aplicação em expansão urbana. Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE, São José dos Campos, 1993.90p.

VEDOVELLO, R. Zoneamento geotécnicos aplicados à gestão ambiental, a partir de unidades básicas de compartimentação - UBCs. Dissertação de Doutorado em Geociências e Meio Ambiente, UNESP- Campus de Rio Claro, 2000, 154p.

VEDOVELLO R. e MATTOS, J. T. de, A utilização de Unidades Básicas de Compartimentação (UBCs) como base para a definição de Unidades Geotécnicas. Uma abordagem a partir do Sensoriamento Remoto. Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica. Florianópolis, 1998 (Artigo em CD-ROM).

VENEZIANI, P. & ANJOS, C. E. Metodologia de interpretação de dados de sensoriamento remoto e aplicação em geologia. São José dos Campos, INPE, 1982, (INPE-2227-MD/014).

WANG, L. & HE, D. C. A new statistical approach for texture analysis. Photogrammetric engineering & remote sensing, 56(1), 1990. pg. 61 - 66.

WOODCOCK, C. E. ; STRAHLER, A. H.; JUPP, D. L. B. The use of variograms in remote sensing: Real digital images. Remote Sensing of Environment. 25 (3): 325 - 348, 1988.

ZUQUETTE, L. V. e GANDOLFI, N., Mapeamento Geotécnico: uma proposta metodológica. Geociências, São Paulo , 9:35, 1990.