

APLICAÇÃO DE TÉCNICAS ESTATÍSTICAS MULTIVARIADAS COMO SUBSÍDIO À COMPARTIMENTAÇÃO FÍSIOGRÁFICA

Application of multivariate statistical techniques as subsidy to physiographic compartmentalization

Mirley Ribeiro Moreira¹
Paulina Setti Riedel¹
Paulo Milton Barbosa Landim¹

¹ **UNESP - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"**

Instituto de Geociências e Ciências Exatas

Avenida 24-A nº1515 – 13506-900 – Rio Claro/SP

mirleyrm@gmail.com; psriedel@rc.unesp.br; plandim@rc.unesp.br

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 é usada como uma ferramenta importante na interpretação de formas do relevo, drenagem e de padrões da cobertura vegetal e de uso da terra. Com a aplicação de análises estatísticas multivariadas, como subsidiária na redução do caráter subjetivo da análise textural e da correspondência entre zonas homólogas, é possível favorecer a discriminação de elementos diferentes em uma imagem. Estes métodos podem ajudar encontrar um modelo que possibilite explicar mais satisfatoriamente a compartimentação e a relação de equivalência entre zonas que constituem texturas semelhantes.

Palavras chaves: Sensoriamento Remoto, Textura, Compartimentação, Análise de Agrupamento, Análise de correspondências múltiplas.

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 multivariate statistical analyses, it is possible to reduce the subjective character of textural analysis and correspondence between homologous zones, 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.

Key Words: Remote Sensing, Texture, Compartmentalization, Cluster Analysis, Multiple Correspondence Analysis.

1. INTRODUÇÃO

Ao se estudar, numa determinada área, as formas de relevo e os processos geomorfológicos que ali ocorrem, realiza-se um trabalho que visa entender uma situação presente. A evolução do relevo, porém, deve ser vista 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 (CUNHA e GUERRA, 1996).

O relevo é composto por uma grande heterogeneidade de formas, densidade, orientação etc., assumindo assim uma grande diversidade de

configurações na organização espacial do meio físico. Os estudos do meio físico baseados no relevo e drenagem podem ser realizados em escalas locais, ou regionais, dependendo dos objetivos pretendidos. Em escalas regionais, parte-se muitas vezes, para generalizações, que podem ser efetuadas através de compartimentações, onde o meio físico é separado em áreas homogêneas, a partir de determinados critérios.

A partir dessas compartimentações, podem ser realizadas análises sobre as propriedades, potencialidades e limitações dessas áreas. Essas análises normalmente se dão por meio da identificação dos elementos da paisagem através das formas de relevo e drenagem. Esta metodologia de trabalho foi empregada por Vedovello (1993) na região de Ubatuba, litoral do Estado de São Paulo, para a avaliação da potencialidade do terreno para a ocupação urbana, com a elaboração de uma carta geotécnica criada a partir de unidades homogêneas do terreno.

Na região de Curitiba, capital do Estado do Paraná, o mesmo procedimento de identificação de unidades homogêneas do terreno, com características distintas foi utilizada por Theodorovicz (1994) para a elaboração de um Atlas com informações básicas sobre o meio físico, fornecendo subsídios para o planejamento territorial.

A técnica de compartimentação de terrenos, associada à descrição dos compartimentos, pode ser empregada em diferentes tipos de trabalho, desde avaliação territorial para fins específicos, como para monitoramentos de diferentes características do meio físico, que utiliza, para este fim, imagens de sensoriamento remoto, sejam fotos aéreas ou imagens de satélite. Qualquer que seja o produto utilizado, a similaridade entre os diferentes compartimentos estabelecidos é de grande importância, por possibilitar a associação de áreas com as mesmas características, que devem receber a mesma denominação e estar sujeitas às mesmas potencialidades, fragilidades e limitações.

A associação ou equivalência entre compartimentos tem um caráter subjetivo, uma vez que se baseia na capacidade do fotointérprete em associá-los baseado em propriedades dos elementos de relevo e drenagem, como densidade, topia, forma de encostas, dos topos etc., responsáveis pelas diferentes texturas observadas nas imagens. Uma das formas de reduzir esta subjetividade pode ser a utilização da estatística multivariada onde são analisadas as influências dos diferentes critérios fotointerpretativos na separação dos compartimentos. A estatística multivariada apresenta diferentes métodos, entre os quais dois são avaliados neste artigo, a análise de agrupamento e a análise de correspondências múltiplas.

A análise de agrupamento é uma técnica que procura agrupar dados homogêneos representados por pontos num espaço n-dimensional em um número conveniente de grupos, relacionando-os através de coeficientes de similaridade ou de distância, enquanto a análise de correspondências múltiplas é um método que

permite usar variáveis qualitativas definidas para um conjunto de indivíduos, que no caso seriam os vários compartimentos, podendo estabelecer todas as possíveis correlações entre as variáveis quantitativas e qualitativas selecionadas (DAVIS, 1986; MANGABEIRA, 2002 e LANDIM, 2006).

A análise estatística associadas aos produtos de sensoriamento remoto pode apresentar um fator inovador para a realização da compartimentação do terreno e, desta forma, o objetivo geral deste trabalho é ao aplicá-las avaliar a sua utilização na avaliação de similaridade entre os vários compartimentos no município de Peruíbe, litoral do Estado de São Paulo.

1.1 Abordagem Textural

A imagem, como instrumento de trabalho deve ser entendida como uma estrutura fotográfica com várias tonalidades de cinza, organizada e/ou agrupadas entre si. Segundo Wang e He (1990), os tons 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 de cinza, são elementos básicos da interpretação e da extração de informações do terreno. A cor e a tonalidade, no entanto, segundo Novo (1991), não são os únicos atributos que um objeto imageado possui e nem todos se distinguem apenas pela cor, devendo ser considerados aspectos como a forma e a textura.

Haralick (1979) descreve que, para usar objetivamente os elementos de tonalidade e padrão textural, os mesmos precisam ser explicitamente definidos. Segundo o autor, tonalidade e a textura não são conceitos independentes, pois possuem uma relação intrínseca. 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 gradações 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 frequência espacial contida na imagem. O grau desta frequência determina tipos de textura como: rugosa, fina, suave, etc. Lillesand e Kiefer (1998) afirmam que a frequência espacial alta resultará em uma superfície fina, o que significa que os níveis de cinza nessa área sofrem uma mudança abrupta sobre o número relativamente grande de *pixels*. Áreas mais ásperas apresentam-se com uma baixa frequência espacial, ou seja, os níveis de cinza variam gradualmente sobre uma determinada área.

Por essas características, a textura é um importante fator para a percepção visual. Sabe-se, no entanto, que o processo de percepção visual, através do qual o ser humano detecta e analisa a informação espacial, não é bem conhecido.

1.2 Compartimentação Fisiográfica de Terrenos

A terminologia 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 das 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 e GUERRA, 2005).

Já o geomorfólogo Tricart (1966) 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) mostra 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. A evolução do relevo, portanto, 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. Enfim, a fisiografia, como pode ser visto, é basicamente a análise do meio físico.

As áreas quando compartimentadas possuem determinadas associações entre os elementos fisiográficos. Cada compartimento possui características e propriedades intrínsecas, portanto quando essas características são devidamente hierarquizadas, ou seja, bem definidas, dispõem-se de maneira simples e de fácil interpretação. Os compartimentos tornam-se alvos de estudos e de classificações geológicas e geotécnicas, já que cada área ou unidade é composta por uma característica fisiográfica definida.

Em linhas gerais, conforme Vedovello e Mattos (1998), a compartimentação de terrenos, chamada pelos autores de fisiográfica, consiste em dividir uma determinada região em áreas que apresentem internamente características fisiográficas homogêneas e que sejam distintas das áreas adjacentes.

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 apresentem internamente características fisiográficas homogêneas, que podem ser de natureza geológica, geomorfológica, pedológica, vegetacional, etc. Essa identificação dos

compartimentos fisiográficos abrange 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.

Os sensores remotos, tanto aéreos quanto orbitais, apresentam-se com grande potencial para a realização de compartimentações do meio físico. Estudos realizados por VENEZIANI e ANJOS (1982), THEODOROVICZ et al. (1994), baseados em SOARES e FIORI (1976) e VEDOVELLO (1993 e 2000), permitiram que o processo de compartimentação de terrenos, com auxílio de sensores remotos, fosse sistematizado de uma maneira clara e coerente.

1.3 Similaridade entre os compartimentos

A tarefa da fotointerpretação é identificar áreas e objetos em imagens ou fotografias determinando seu significado e cada área interpretada e, a posteriori, compartimentada possui suas particularidades texturais. No entanto mesmo após realizada uma compartimentação essas áreas podem possuir características homogêneas e por conseguinte propriedades que podem ser constantes de um terreno ao outro. Essa relação espacial dos compartimentos permitiria identificações e inferências específicas concernentes aos materiais superficiais ou aos tipos de rocha (RAY, 1963)

Através do reconhecimento das similaridades entre compartimentos, onde se verifica se há unidades com as mesmas características e que devem receber a mesma denominação, permite-se que as informações sejam sintetizadas, de forma a tornar mais eficiente o planejamento territorial.

1.4 Análise estatística multivariada

O desenvolvimento tecnológico amplia a capacidade em se obter informações de acontecimentos e fenômenos para posterior análise. Uma grande massa de informação deve ser processada antes de ser transformada em conhecimento. Portanto, cada vez mais são necessárias ferramentas estatísticas que apresentem uma visão mais global dos fenômenos (MOITA NETO, 2004).

A análise multivariada é a análise de observações de algumas correlações de variáveis coincidentes, para um determinado número de indivíduos. A mesma fornece um melhor entendimento das relações, da interdependência, e da importância relativa das características envolvidas, considerando a informação mais significativa no processo. Na análise multivariada, a pessoa está interessada na relação entre diversas variáveis simultaneamente, considerando a sua distribuição articulada e as várias distribuições marginais e condicionais que podem ser obtidas (KSHIRSAGAR, 1972).

Landim (2006) mostra que os métodos estatísticos multidimensionais aplicados na análise de dados geológicos facilitam a avaliação dessa imensa quantidade de dados gerada por equipamentos de laboratório e de campo. Para o autor a análise dos dados com técnicas estatísticas multivariadas torna-se, então, uma ferramenta fundamental para vários estudos. Dentre os métodos disponíveis podem ser aplicados, na análise de dados fisiográficos, a análise de agrupamentos e a análise de correspondências.

A *análise de agrupamento* é utilizada quando se deseja explorar as similaridades entre indivíduos (modo Q) ou entre variáveis (modo R) definindo-os em grupos, considerando simultaneamente, no primeiro caso, todas as variáveis observadas em cada indivíduo e, no segundo, todos os indivíduos nos quais foram feitas as mesmas medidas. Segundo esse método de classificação, procura-se agrupar dados homogêneos de itens representados por pontos num espaço n-dimensional, em um número conveniente de grupos, relacionando-os através de coeficientes de similaridade ou de distância. O objetivo central da análise de agrupamentos é a noção do grau de semelhança ou dessemelhança entre o N de observações ou objetos. Essas sucessivas operações de agrupamentos produzem uma árvore de agrupamento binária (*dendrograma*), cuja raiz é a classe que contém todas as observações. Dentro os métodos de aglomeração têm-se o *Unweighted pair-group average linkage*: que é um método que calcula a distância entre dois agrupamentos com a distância média entre todos os pares de objetos.

Ao se trabalhar com dados nominais do tipo presente - ausente se utiliza de uma técnica conhecida como "análise de correspondências", também entendida como análise de associações, que extrai resultados a partir da tabela de contingência, onde os valores originais são transformados, de modo a poder ser interpretados como probabilidades condicionais.

Análise de correspondências múltiplas (MCA) é uma extensão de análise de correspondências (CA), mas enquanto a CA é aplicada a uma tabela de contingência, a MCA é aplicada a uma tabela relacionada a dados qualitativos, sem haver a necessidade da conversão entre zero e um (XLSAT, 2007). A análise de correspondências múltiplas é utilizada para avaliar os dados como uma ordem de observações descritas através de algumas variáveis categóricas. Este método é apropriado para analisar dados matriciais representadas pelas linhas, onde normalmente estão as observações, e pelas colunas, que são categorias de variáveis categóricas, normalmente na forma de respostas para perguntas. Segundo Mangabeira (2002), a MCA é um método que permite usar variáveis qualitativas definidas para um conjunto

de indivíduos, podendo estabelecer todas as possíveis correlações entre as variáveis quantitativas e qualitativas selecionadas. A MCA consiste em obter uma tipologia de linhas e colunas e associá-las, finalizando em um estudo de semelhanças.

No contexto de análise de localização multidimensional, a exibição em duas dimensões pode ser interpretada como um mapa. As amostras que são plotadas juntas, com certo sentido, são consideradas semelhantes e as variáveis plotadas juntas são correlacionáveis. A exibição simultânea de amostras e variáveis permite que seja observado não só o agrupamento da amostra, mas também entender por que eles são agrupados (PINEDA-VARGAS, et al, 2001). Segundo interpretação gráfica de Mangabeira (2002), os resultados da MCA dispostos num sistema de eixos com coordenadas X e Y, configuram quadrantes, e sua interpretação basicamente é que quanto menor a distância entre os pontos, maior a semelhança entre as amostras.

2. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO

A área de estudo abrange os municípios de Itanhaém e Peruíbe, compreendida entre os paralelos 24° e 24°20' de latitude sul e entre os meridianos 46° e 46°45' de longitude oeste (Fig. 1). As vias de acesso são a BR-116 (Rodovia Régis Bittencourt), que se liga a SP-165 e a SP-055 (Rodovia Manoel da Nóbrega).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

Utilizou-se imagem obtida pelo sensor LANDSAT 7 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°. 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. Para a análise estatística multivariada foi utilizado o software XLSTAT 2007.

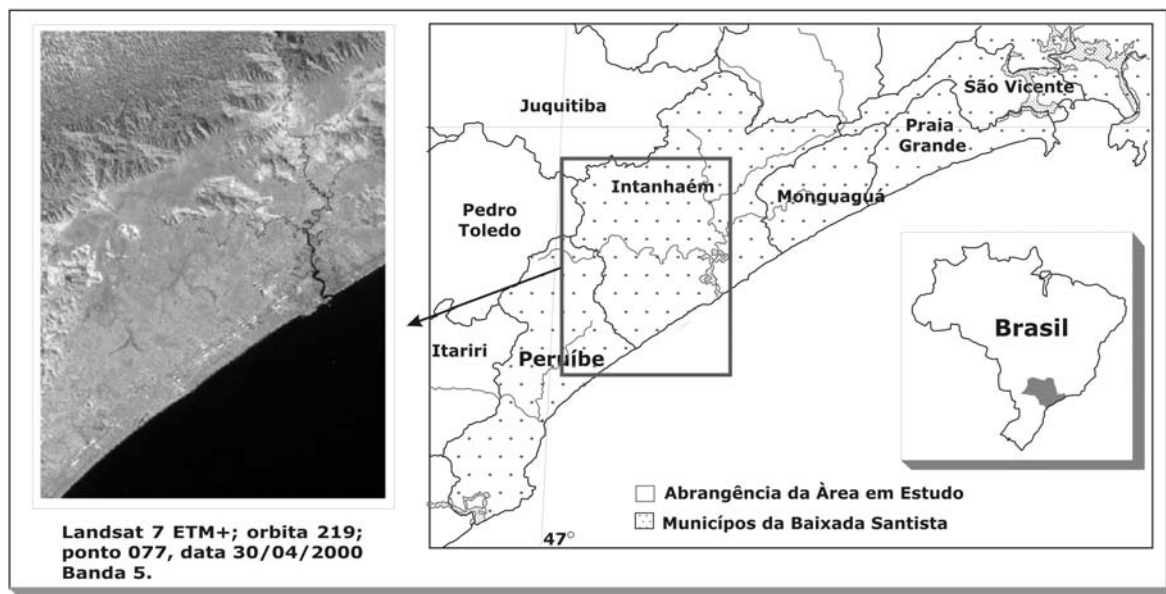


Fig. 1 – Localização da área em estudo

3.2- Metodologia

A metodologia foi organizada em duas seqüências de trabalho: na primeira realizou-se a compartimentação fisiográfica a partir da análise integrada dos elementos de relevo e drenagem observados na imagem, os quais refletem as características geológicas, geomorfológicas e pedológicas de cada compartimento (VEDOVELLO, 1993 e 2000 e THEODOROVICZ et al., 1994).

Inicialmente, a análise da imagem foi realizada visualmente, conforme metodologia de Soares e Fiori (1976), adaptada por Veneziani e Anjos (1982). Segundo esta metodologia, a interpretação é

baseada na análise dos elementos texturais de relevo e drenagem, pois estes elementos permitem separar feições com significado diferente ou associar feições com o mesmo significado, dado por condições naturais.

Alguns critérios fotointerpretativos foram obtidos da interpretação utilizada para a delimitação das unidades de relevo 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 1:500.000 (IPT, 1981b). Esses critérios estão descritos na Tabela 1 e buscam uma sistematização do trabalho de fotointerpretação.

TABELA 1 - CRITÉRIOS UTILIZADOS NA CARACTERIZAÇÃO DAS UNIDADES DE RELEVO

Critério	Conceito
Densidade de drenagem e de Relevo	Pode ser definida com a razão entre o número de elementos texturais de drenagem por unidade de área e que pode ser considerada como uma avaliação relativa. Diz respeito à quantidade de elementos texturais distinguíveis por área imageada e é utilizado para definir zonas homólogas.
Tropia	O critério baseia-se na análise da direção das lineações texturais de relevo e drenagem que podem ser reflexo da intersecção de planos de foliações com a superfície topográfica.
Forma de topos	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	Critério que se baseia essencialmente na análise do tamanho da textura do relevo definido pelos pares alternados "luz-sombra".

Fonte: (Adaptado de IPT, 1981)

Estas propriedades são fundamentais para a interpretação e delimitação de zonas homólogas, no caso os compartimentos, os quais são definidos pela composição dessas propriedades e de interesse à pesquisa.

As propriedades descritas para cada compartimento foram organizadas na forma de tabela,

para posterior tratamento. A Tabela 2 mostra um segmento da tabela original produzida, onde são descritos, como exemplo, cinco compartimentos da área de estudo.

TABELA 2 – CARACTERIZAÇÃO DOS COMPARTIMENTOS FISIAGRÁFICOS, SEGUNDO CRITÉRIOS FOTOINTERPRETATIVOS.

Áreas	Densidade de Drenagem /Relevo	Tropia	Forma dos topos	Tamanho das feições de relevo
1	alta	orientada	angulosos	médio
2	muito alta	fortemente orientada	angulosos	muito grande
3	média	fortemente orientada	arredondados	muito grande
4	baixa	pouco orientada	arredondados	pequeno
5	baixa	pouco orientada	arredondados	pequeno

Legenda: Para densidade de Drenagem e Relevo: MA (muito alta), A (alta), M (média), B (baixa), MB (muito baixa); **Tropia:** MO (Muito orientada); MDO (medianamente), PO (pouco orientado); NO (não orientado); **Forma de Topo:** AN (angulosos), AR (arredondados); **Tamanho das feições do relevo:** TG (grande); TM (médio), TP (pequeno), TMP (muito pequeno).

Para a análise de agrupamento, os dados originais que apresentam propriedades qualitativas, foram traduzidos para valores binários, onde o valor 1 significa a presença da propriedade e o valor 0

representa a ausência dela, conforme pode ser visto na Tabela 3 para os critérios fotointerpretativos da densidade de drenagem e relevo, tropia, forma de topos e tamanho das feições de relevo.

TABELA 3 – CRITÉRIOS FOTOINTERPRETATIVOS TRADUZIDOS NUMA ESCALA BINÁRIA.

ID	D(ma)	D(a)	D(m)	D(b)	Tr(mo)	Tr(mdo)	Tr(po)	Tr(ño)	F(an)	F(ar)	T(g)	T(m)	T(p)	T(mp)
1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0
2	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0
3	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0
4	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0
5	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0

Legenda: D = Densidade: (ma) muito alta, (a) alta, (m) média, (b) baixa); **Tr = Tropia:** (mo) muito orientada; (mdo) medianamente orientada; (po) pouco orientada, (ño) não orientada; **F = Forma de topo:** (an) angulosos; (ar) arredondados e **T=Tamanho das feições de relevo:** (g) grande; (m) médio; (p) pequeno; (mp) muito pequeno.

Após a geração da tabela de dados, a análise de agrupamento foi realizada utilizando-se o coeficiente de similaridade *Jaccard*, por ser um coeficiente binário que expressa o valor numérico de 0 e 1 e 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.

O resultado do processamento da análise de agrupamento são classificações hierárquicas, que

podem ser representadas por um diagrama bidimensional, conhecido como dendrograma, que ilustra de forma gráfica os diversos agrupamentos, através de linhas ligadas segundo os níveis de similaridade.

Em seguida aplicou-se aos mesmos dados a técnica MCA. Os resultados obtidos no processamento da análise das correspondências múltiplas são normalmente visualizados de forma gráfica no espaço bidimensional, onde as porcentagens ao longo de cada eixo representam a variabilidade presente nos dados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através da interpretação visual da imagem, seguindo critérios avaliados por Soares e Fiori (1976); Veneziani e Anjos (1982) e IPT (1981), verificaram-se diferentes características fisiográficas na área de estudo.

De uma forma geral, o relevo se distinguiu basicamente em escarpas festonadas, em morrotes baixos e morrotes em meia laranja, no relevo de morro, nas serras alongadas e na região da planície. As escarpas festonadas constituem um relevo de transição com intensa atuação dos processos de degradação. Na sua maioria, nota-se a presença de drenagem com densidade elevada e tropia fortemente orientada.

Os morrotes baixos e os morrotes em meia laranja sofrem ação contínua de processos denudacionais e devido a isso apresentam-se como um relevo ondulado, com topos arredondados. As formas de ambos são muito similares, porém 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 também 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, por sua vez, diferencia-se das

demais por sua morfologia plana, baixa densidade de drenagem e se distribui ao longo da costa marítima (Fig. 2).

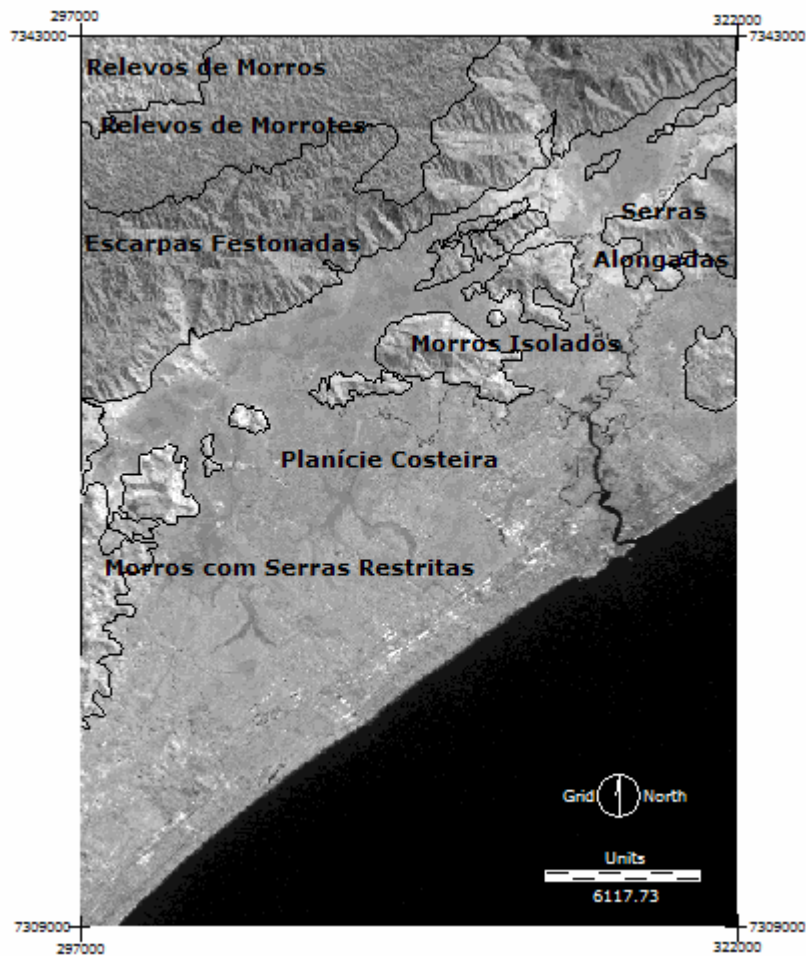


Fig. 2 – Divisão geomorfológica da área em estudo.

Dentro de cada um destas grandes áreas, procedeu-se à compartimentação detalhada, que consiste em dividir uma determinada região em áreas que apresentam internamente características fisiográficas homogêneas, que podem ser de natureza geológica, geomorfológica, pedológica, vegetal, etc., segundo Vedovello (1993 e 2000) e Theodorovicz et al. (1994). Nota-se que a partir da interpretação visual da imagem, realizada em tela, a área de estudo se

subdividiu em 89 compartimentos, de acordo com os critérios fotointerpretativos utilizados (Fig. 3).

Como ocorreu uma certa dificuldade em se avaliar a similaridade entre os vários compartimentos, após a compartimentação, procurou uma metodologia estatística capaz de analisar e avaliar a similaridade e/ou a correspondência dos compartimentos com os seus vizinhos.

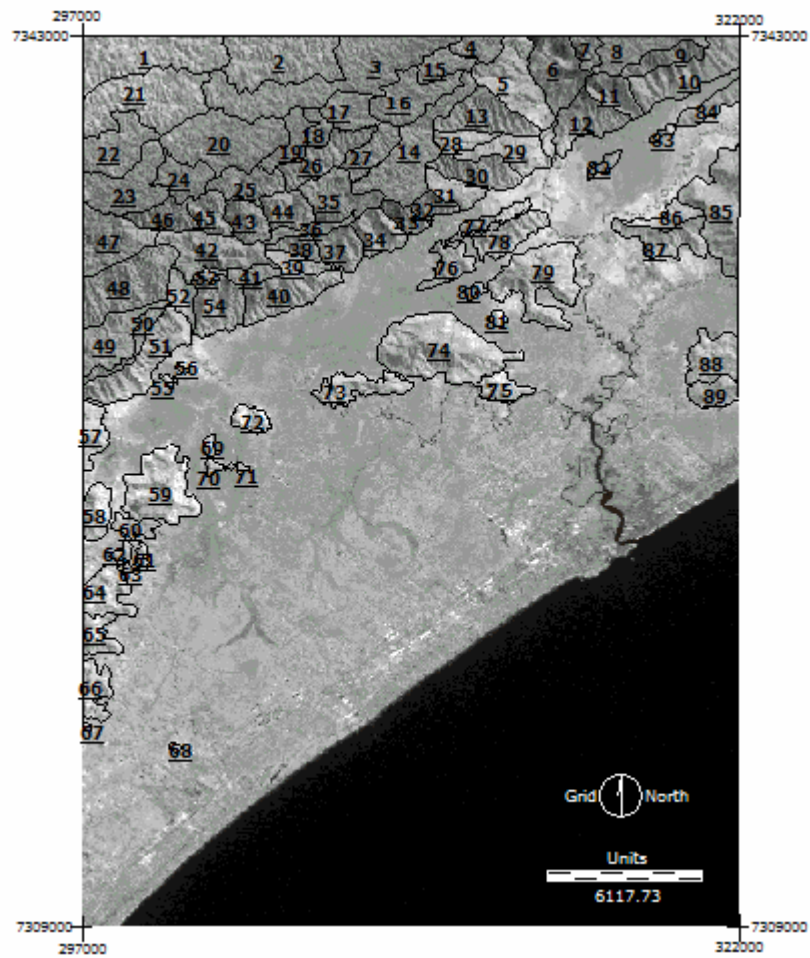


Fig. 3 – Compartimentos da área de estudo, obtidos pela interpretação visual

Analisando-se os resultados obtidos no processamento da análise de agrupamentos, percebe-se que existem dois grandes agrupamentos principais, os quais se subdividem em agrupamentos menores (Fig. 4). A escolha do procedimento de agrupamento a ser

adotado foi baseada na análise da matriz inicial de dados, conforme sugerido por Landim (2006). Optou-se pela utilização do agrupamento igualmente pareado (UPGM), com a utilização do coeficiente de *Jaccard*.

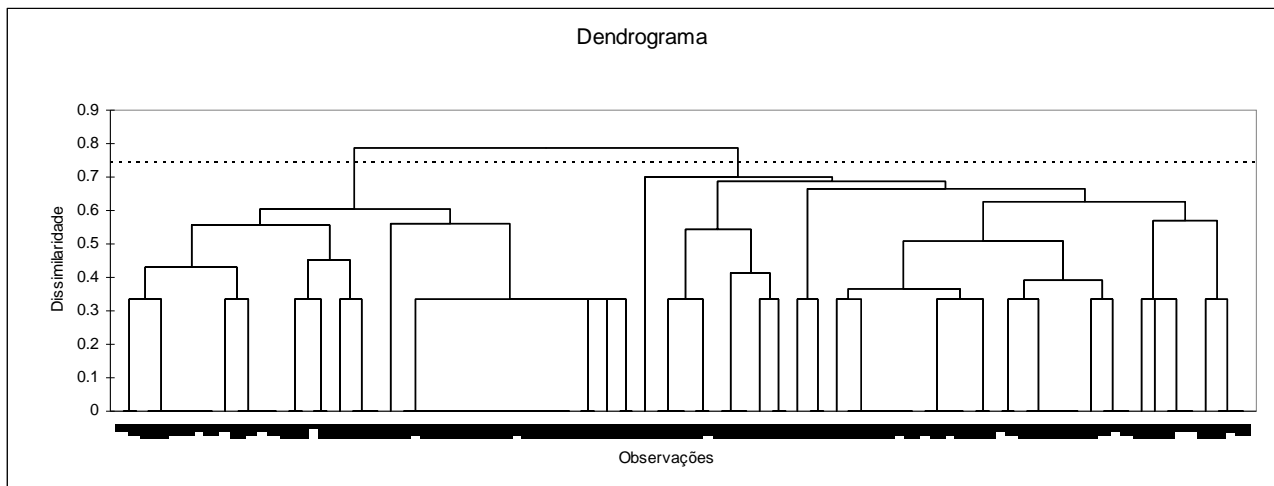


Fig. 4 - Dendrograma resultante do modo (UPGM), com a utilização do coeficiente de Jaccard

O agrupamento mais marcante é o classificado como relevo de morros e morrotes, lado esquerdo do dendrograma, que apresentou um total de 13 subgrupos:

- 1º subgrupo - 8 e 19
- 2º subgrupo - 3, 14, 15, 18, 23 e 24
- 3º subgrupo - 7 (isolado)
- 4º subgrupo - 4, 16, 17 e 27
- 5º subgrupo - 20 e 22
- 6º subgrupo - 1 e 47
- 7º subgrupo - 76 (isolado)
- 8º subgrupo - 83, 84 e 86
- 9º subgrupo - 88 (isolado)
- 10º subgrupo - 55, 56, 57, 60, 61, 62, 63, 64, 67, 68, 69, 70, 71 e 89.
- 11º subgrupo - 58 e 72
- 12º subgrupo - 36 (isolado)
- 13º subgrupo - 39 e 53

Realizando uma avaliação geral, a variável comum encontrada em todos os compartimentos da classificação foi a forma de topos arredondados. A tropia, por sua vez, foi uma variável responsável pela disposição de alguns subgrupos. O 1º e o 2º subgrupos apresentaram a tropia como não orientada; o 5º, 6º, 7º e 8º como medianamente orientados e o 9º, 10º, 11º, 12º e 13º como não orientados.

Analisado o 2º grupo, classificado como relevo de escarpas festonadas, lado direito do dendrograma, foram observados 21 subgrupos:

- 1º subgrupo - 50 (isolado)
- 2º subgrupo - 59, 65 e 66
- 3º subgrupo - 80 e 81
- 4º subgrupo - 28, 79 e 85
- 5º subgrupo - 75 (isolado)
- 6º subgrupo - 73 e 74
- 7º subgrupo - 77 (isolado)
- 8º subgrupo - 78 e 82
- 9º subgrupo - 42 (isolado)
- 10º subgrupo - 13, 25, 30, 40, 46 e 48.
- 11º subgrupo - 10, 33, 45 e 51.
- 12º subgrupo - 34 e 54

- 13º subgrupo - 9 e 12
- 14º subgrupo - 29, 32, 35, 37 e 38
- 15º subgrupo - 26 (isolado)
- 16º subgrupo - 2, 21 e 41
- 17º subgrupo - 49 (isolado)
- 18º subgrupo - 44 (isolado)
- 19º subgrupo - 5, 6 e 43
- 20º subgrupo - 87 (isolado)
- 21º subgrupo - 11, 31 e 52

No grupo de escarpas festonadas observa-se que o 1º, 2º, 3º, 5º, 7º e 8º subgrupos apresentaram as formas de topos como arredondados, o que não poderia ocorrer, mas avaliando-se as outras variáveis pode-se perceber a razão do agrupamento; os tamanhos das feições variam de médio a grande, características intrínsecas das escarpas festonadas. Quanto aos demais grupos, observa-se que a variável, formas angulosas dos topos, foi comum a todos os subgrupos.

É evidente a presença de compartimentos isolados, quando se analisa o dendrograma. Houve casos de áreas isoladas, como no grupo de relevo de morros e morrotes: 3º, 7º, 9º e 12º grupos e no grupo de escarpas festonadas: 1º, 5º, 7º, 9º, 15º, 17º, 18º e 20º.

Outro método estatístico utilizado para subsidiar a análise da similaridade entre os vários compartimentos da área de estudo foi a análise das correspondências (Fig. 5). Observa-se a distribuição dos dados num espaço bidimensional, onde há a distribuição simultânea tanto das amostras, representadas pelos compartimentos, como das variáveis utilizadas para descrevê-los. Esse diagrama de dispersão é de difícil interpretação visual, devido ao grande número de informações, pois tanto as amostras quanto as variáveis são plotadas em sobreposição, dificultando a análise. Desse modo foi efetuada a separação entre variáveis e amostras, com o propósito de propiciar uma melhor visualização, como pode ser visto nas Fig. 6 e Fig. 7.

Analisando-se as Figuras 6 e 7 conjuntamente, observa-se que as amostras distribuíram-se por

quadrantes distintos, de acordo com as variáveis que contribuíram para sua separação. Nota-se que, a princípio, os quadrantes apresentam dois grandes grupos: um representado pelo lado esquerdo e o outro pelo lado direito. Analisando-se os compartimentos traçados, conjuntamente com o mapa geomorfológico, pode-se identificar que esta divisão pode representar os dois relevos mais marcantes da área: o das escarpas festonadas e o relevo de morros e morrotes. Explicar esse agrupamento pelas grandes formas diferenciadas de relevo seria bem mais fácil. No entanto o objetivo é analisar compartimentos similares formadores de subgrupos.

O resultado do processamento da análise das correspondências é melhor avaliado por meio de quadrantes individuais, que proporcionam uma melhor avaliação dos agrupamentos formados.

No quadrante superior direito, correspondente às escarpas festonadas, são identificados 12 subgrupos, onde sete são isolados. Os subgrupos foram assim agrupados: **1º**- 2, 21 e 41, compartimentos agrupados por possuírem formas angulosas dos topos e tropia muito orientada; o **2º** subgrupo, corresponde aos compartimentos: 73 e 74; o **3º** subgrupo - 5, 6 e 43 e **4º** subgrupo: 10, 33, 45 e 51, agruparam-se por apresentarem densidade textural média, formas angulosas dos topos e tamanho grande de feições. No caso do **5º** subgrupo: 13, 25, 30, 40,46 e 48, os compartimentos tiveram em comum a alta densidade de feições, formas angulosas dos topos, tropia muito orientada e tamanho das feições grandes. Os compartimentos 26, 42, 44, 49, 50 apesar de isolados, apresentaram-se nesse quadrante por possuírem uma propriedade comum, que foi as formas angulosas dos topos, e os compartimentos 75 e 77 por apresentarem uma densidade textural média.

Analisando-se o quadrante inferior direito das Figuras 6 e 7, constatou-se 7 subgrupos distintos: **1º** - compartimentos 9 e 12, onde a densidade textural foi considerada alta, o **2º** subgrupo - compartimentos 28, 79 e 85 e **3º** - 11, 31 e 52, agrupados por possuírem formas angulosas dos topos. O **4º** subgrupo: 29, 32, 35, 37 e 38 e **5º** - 34 e 54, agrupados por possuírem tropia muito orientada e formas angulosas dos topos; o **6º** - 78 e 82, por possuírem a densidade média e a tropia muito orientada. O compartimento 87 ficou isolado dos demais, e se encontrou nesse quadrante devido ao topo anguloso.

Analisando-se o quadrante superior esquerdo na Figura 7, foram identificados 6 subgrupos, sendo eles: **1º** - 4, 16, 17 e 27; **2º** - 20 e 22 e **3º** - 3, 14, 15, 18, 23 e 24, agrupados devido à presença de densidade muito alta e tamanho pequeno das feições; **4º**- 83, 84 e 86, agrupados por possuírem tropia medianamente orientada, forma de topos arredondados e tamanho pequeno das feições. No **5º** subgrupo - 1 e 47, os compartimentos foram agrupados por possuírem em comum a densidade muito alta e a tropia pouco orientada. O compartimento 7, apesar de próximo a esses grupos, ficou isolado, porém apresentou duas características importantes encontradas nesse quadrante que foi a densidade muito alta e a tropia pouco orientada.

Avaliando os subgrupos formados no quadrante inferior esquerdo, constatou-se a presença de 9 subgrupos: **1º** - 80 e 81 e **2º** - 39 e 53, compartimentos agrupados por possuírem baixa densidade textural e forma de topos arredondados; o **3º** - 8 e 19, agrupados devido ao tamanho muito pequeno das feições. O **4º** - 72 e 58 e **5º**- 55, 56, 57, 60, 61, 62, 63, 64, 67, 68, 69, 70, 71 e 89, os compartimentos apresentaram as seguintes variáveis em comum: densidade textural baixa, tropia não orientada e formas de topos arredondados. Os compartimentos 36, 76 e 88 apesar de isolados, agruparam-se nesse quadrante devido às variáveis: tamanho pequeno das feições e baixa densidade textural,

Nota-se que várias amostras se aglomeraram devido à presença da tropia não orientada, tamanho muito pequeno das feições, densidade baixa e forma de 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 densidade textural baixa D(b), conforme Figura 7.

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

Primeiro Quadrante (Superior direito)

1º- 2, 21 e 41; **2º** - 73 e 74; **3º** - 5 6 e 43; **4º** - 10, 33, 45 e 51; **5º**- 13, 25, 30, 40,46 e 48; **6º** - 26; **7º** - 42; **8º** - 44; **9º** - 49 e **10º** - 50; **11º** - 75 e **12º** - 77.

Segundo Quadrante (Inferior direito)

1º - 9 e 12; **2º** - 28 79 e 85; **3º** - 11 31 e 52; **4º** - 29, 32, 35, 37 e 38; **5º** - 34 e 54; **6º** - 78 e 82 e **7º**-87

Terceiro Quadrante (Superior esquerdo)

1º - 4, 16, 17 e 27; **2º** - 20 e 22; **3º** - 3, 14, 15, 18, 23 e 24; **4º**- 83 84 e 86; **5º** - 1 e 47; **6º** - 7.

Quarto Quadrante (Inferior esquerdo)

1º - 80 e 81; **2º** - 39 e 53; **3º** - 8 e 19; **4º** - 72 e 58; **5º**- 55, 56, 57, 60, 61, 62, 63, 64, 67, 68, 69, 70, 71 e 89; **6º** - 36; **7º**- 76 e **8º** - 88.

Os resultados obtidos pelas duas análises estatísticas apresentaram vários agrupamentos de compartimentos. A análise das correspondências ou associações apresentou um total de 33 subgrupos, e a análise de agrupamentos, visualizada no dendrograma, apresentou 34 subgrupos. Cabe salientar que nesse total têm-se subgrupos correspondentes a compartimentos isolados, bem como subgrupos que agregam mais de dois compartimentos.

Diante desse resultado, foram realizados, para uma melhor visualização dos resultados, dois mapas temáticos (Fig. 8 e Fig. 9), que mostram claramente os subgrupos formados pelos dois métodos utilizados.

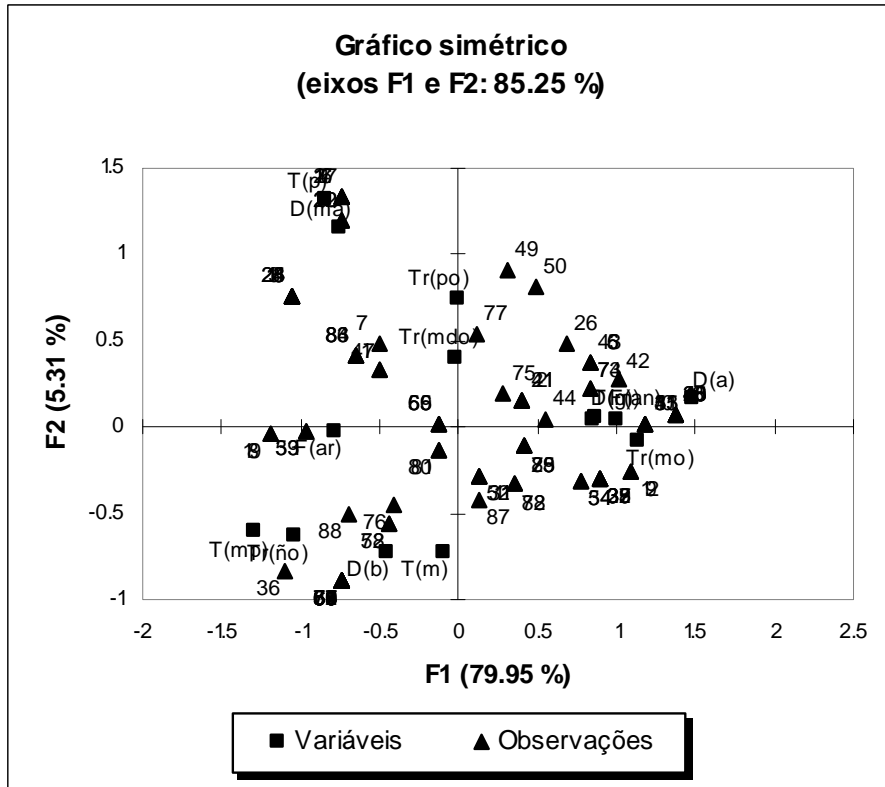


Fig. 5 - Análise as associações entre as variáveis e amostras (compartimentos)

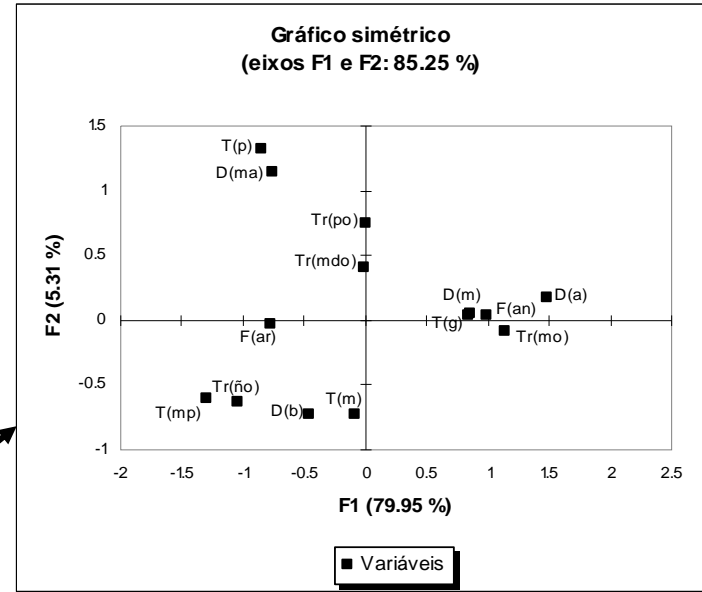


Fig. 6 - Análise das associações entre as variáveis

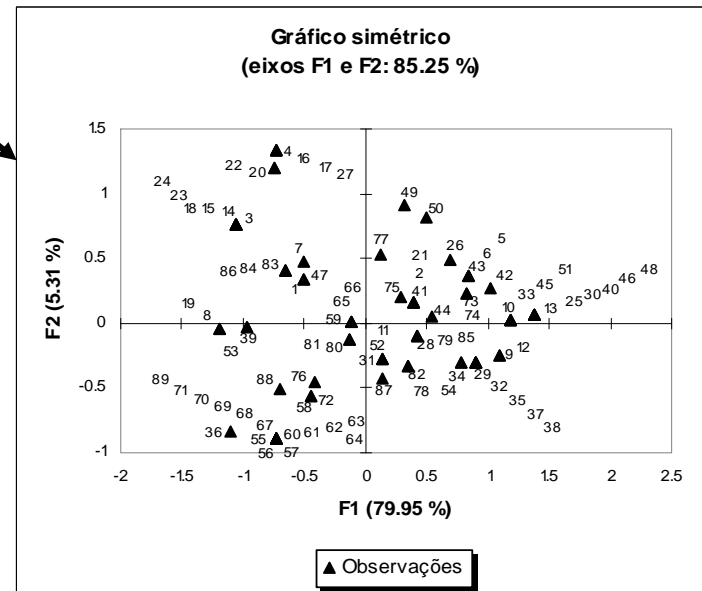


Fig. 7 - Análise das associações entre os compartimentos

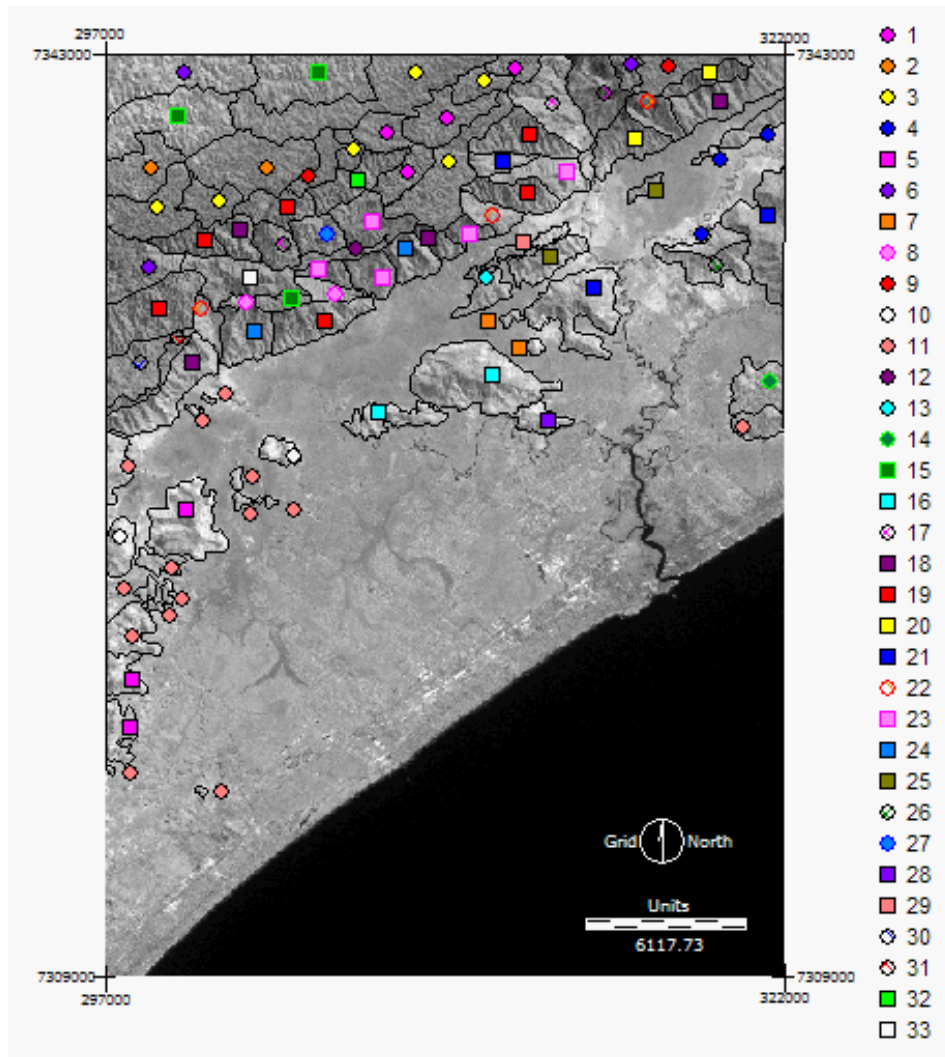


Fig. 8 – Mapa temático referente à análise das correspondências

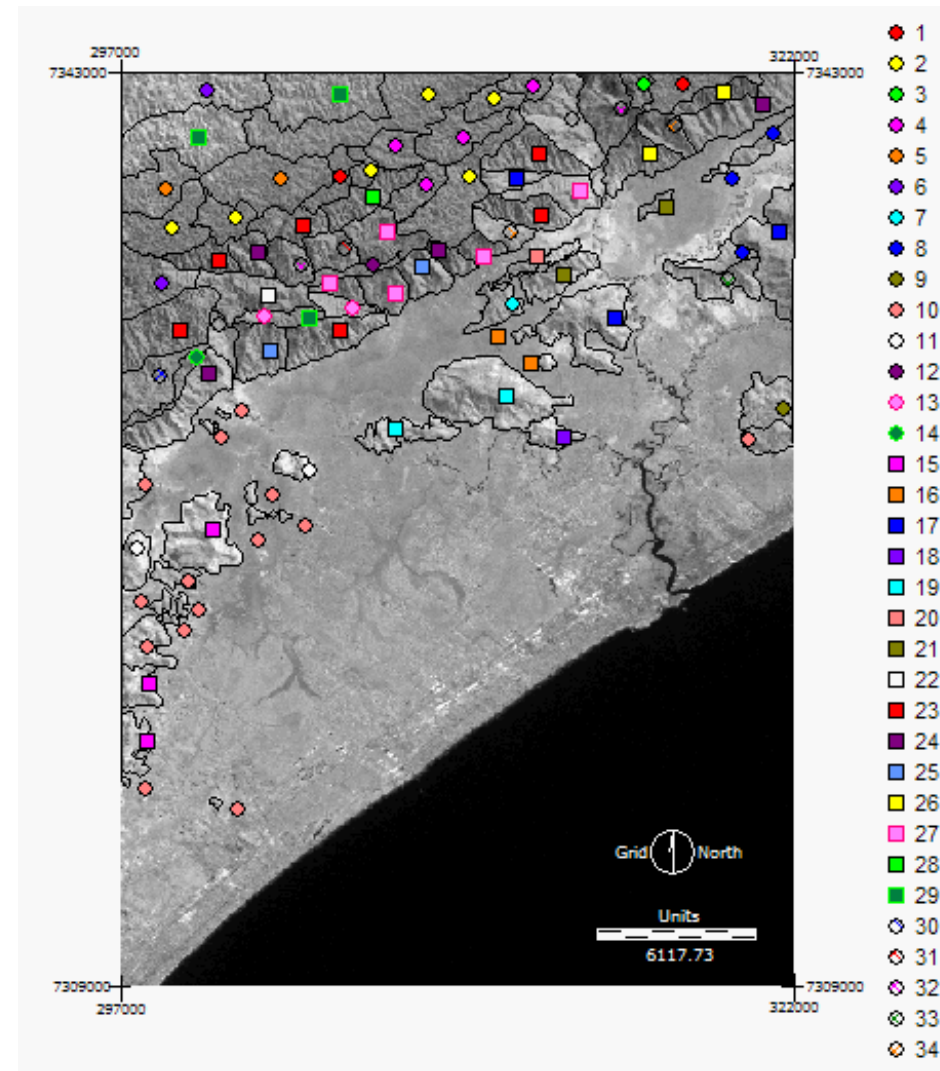


Fig. 9 – Mapa temático referente à análise de agrupamento

Os resultados obtidos a partir da interpretação convencional, com a análise visual de similaridade e equivalência convencionalmente efetuada pelos fotointérpretes possibilitaram a constituição de 28 subgrupos, conforme listados a seguir e expostos na Fig. 9:

- 1º subgrupo - 2 e 21
- 2º subgrupo - 3 e 8
- 3º subgrupo - 14, 19, 23 e 24
- 4º subgrupo - 15, 16, 18, 20 e 22
- 5º subgrupo - 26, 38 e 46
- 6º subgrupo - 29, 42 e 43
- 7º subgrupo - 12, 13, 30 e 32
- 8º subgrupo - 33 e 37
- 9º subgrupo - 40, 48 e 51
- 10º subgrupo - 9, 35, 41, 44, 45 e 50
- 11º subgrupo - 4, 7 e 27
- 12º subgrupo - 28, 31, 39, 52 e 53
- 13º subgrupo - 57, 58, 59, 73, 75 e 89
- 14º subgrupo - 74, 79 e 85
- 15º subgrupo - 76 e 78
- 16º subgrupo - 77, 82, 83 e 84
- 17º subgrupo - 55, 56, 69, 70, 71, 72, 61, 62, 63, 67, 68, 80 e 81
- 18º subgrupo - 60, 64, 65 e 66
- 19º subgrupo - 10, 34 e 54
- 20º subgrupo - 5 e 6
- 21º subgrupo - 11 (isolado)
- 22º subgrupo - 1, 47 e 49
- 23º subgrupo - 88 (isolado)
- 24º subgrupo - 86 (isolado)
- 25º subgrupo - 87 (isolado)
- 26º subgrupo - 25 (isolado)
- 27º subgrupo - 17 (isolado)
- 28º subgrupo - 36 (isolado)

Apesar de uma maior generalização dos métodos visuais de similaridade, demonstrada pelo menor número de agrupamentos obtido, observa-se que muitos dos resultados apresentados na análise multivariada coincidiram com a interpretação visual, como foi o caso dos compartimentos 36, 88 e 87 que, em ambas as análises, apresentaram-se como isolados; também pode-se observar o caso dos compartimentos 2 e 21, agrupados na estatística multivariada pelas características de topos angulosos e tropia muito orientada. Também coincidiram os subgrupos formados pelos compartimentos 5 e 6, agrupados na análise estatística multivariada por apresentarem densidade textural média, formas angulosas dos topos e tamanho grande de feições; 20 e 22, agrupados devido à presença de densidade muito alta e tamanho pequeno das feições. Os compartimentos 79 e 85 foram agrupados por possuírem a caracterização comum de formas angulosas dos topos; 23 e 24 devido à presença de densidade muito alta e tamanho pequeno das feições, dentre outros.

Os compartimentos 55, 56, 60, 61, 62, 63, 64, 69, 70 e 71, que se caracterizam geomorfologicamente como morros com serras restritas, agruparam-se

conforme já era esperado devido as suas características intrínsecas. Vale ressaltar que pela interpretação visual, foram incluídos outros compartimentos nesse grupo: 54, 65, 66, 72, 80 e 81. No entanto, a análise estatística refinou esse resultado, associando esses compartimentos a outros subgrupos com características mais similares.

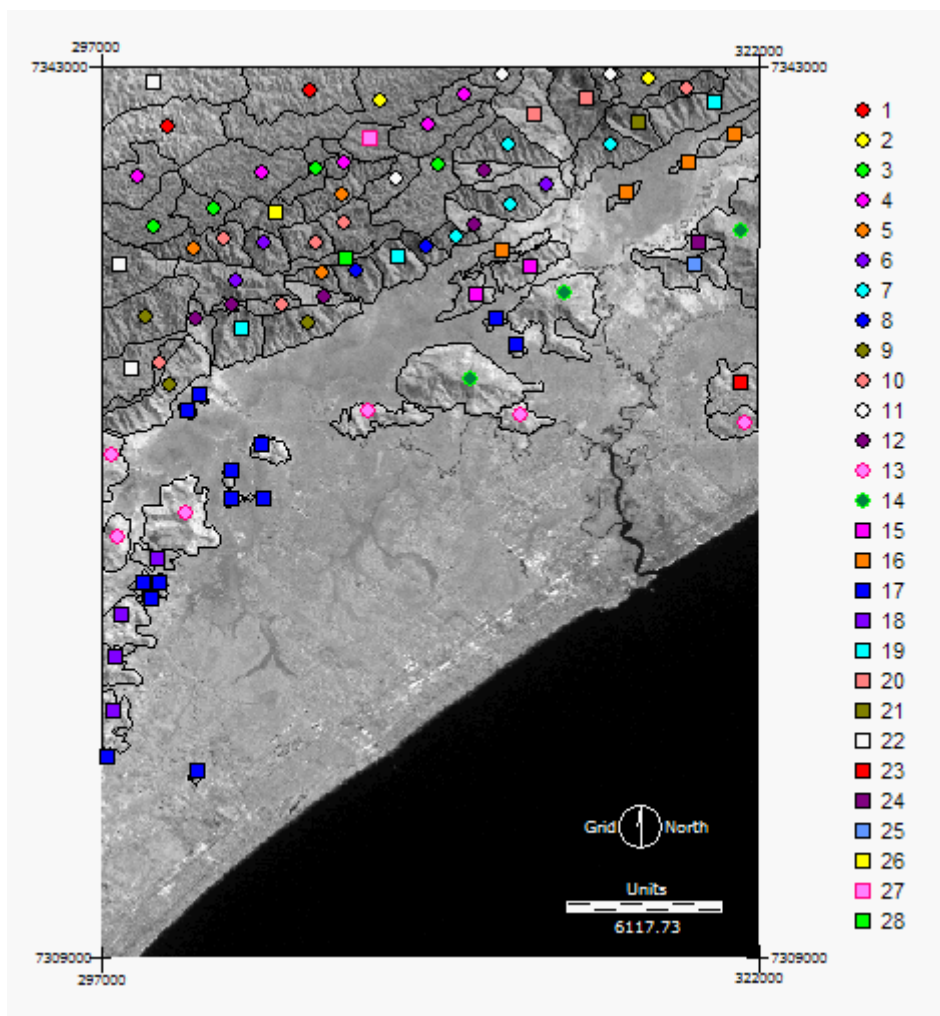


Fig. 9 – Mapa temático referente à interpretação visual

5. CONCLUSÃO

A tarefa de associação entre compartimentos apresenta-se com um caráter muito subjetivo para o fotointérprete, mas a aplicação da metodologia estatística multivariada permite que pequenos detalhes, antes despercebidos, sejam avaliados e estimados acarretando em resultados menos generalizados.

A abordagem da estatística multivariada gerou resultados interessantes, pois se mostrou mais eficiente na associação de compartimentos com as mesmas características. Notou-se uma maior generalização na análise efetuada pelo fotointérprete, utilizando os métodos visuais de análise da similaridade dos compartimentos, fato demonstrado pelo menor número de subgrupos configurados.

O método convencional de fotointerpretação apresenta grande potencial de discriminação de áreas. O resultado deste processo, aliado à utilização de técnicas estatísticas multivariadas como a análise de correspondências 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 inicial utilizado

na descrição das propriedades dos compartimentos, melhor será o produto quantitativo associado e, portanto, maior a precisão dos resultados.

Diante dos resultados obtidos, fica claro também que não é possível eliminar completamente a subjetividade da análise de similaridade entre compartimentos da imagem, mas sim minimizá-la com o auxílio de metodologia quantitativa como aqui apresentado.

AGRADECIMENTOS

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro concedido e a Darlene de Cássia Armbrust, pelo apoio técnico na manipulação dos softwares e editoração.

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).
- CUNHA, S. B. da e GUERRA, A. J. T.; **Geomorfologia: exercícios, técnicas e aplicações**. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 1996 pg.
- CHRISTOFOLETTI, A., Geografia Física, **Not. Geomorfológica**, Campinas, 11(22): 73-75. Dez. 1971.
- DAVIS, J. C. **Statistics and Data Analysis in Geology**. John Wiley and Sons, 2ª ed., 1986.
- EASTMAN, J. R., **Idrisi for Windows: Introdução e Exercícios Tutoriais**. Porto Alegre, UFRGS- Centro de Recursos Idrisi, 1999.
- GUERRA, A. T e GUERRA, A. J. T.; **Dicionário Geológico-Geomorfológico**. 4ª ed.; Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005, 625 p.
- HARALICK, R. Statistical and structural approaches to texture. **Proceedings of the IEEE**, 67(5): 786- 804, May, 1979.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo**. IPT, v. 1, São Paulo, 1981. Escala 1:500.000.
- KSHIRSAGAR, A.M.: **Multivariate analysis**. Marcel Dekker, Inc. New York; 1972; p. 534.
- LANDIM, P.M.B. Análise estatística espacial de dados geológicos multivariados. **DGA, IGCE, UNESP/Rio Claro, Lab. Geomatemática, Texto Didático 15, 158 pp. 2006. Disponível em <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textodi.html>>**.
- LILLESAND, T. M. & KIEFER, R. W., **Remote Sensing and image interpretation**. 3rd ed. Printed USA, 1998.
- MANGABEIRA, J. A. de C.; **Tipificação de produtores rurais apoiada em imagens de alta resolução espacial, geoprocessamento e estatística multivariada: uma proposta metodológica**. Dissertação de Mestrado em planejamento e desenvolvimento rural sustentável; Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP – SP, 2002, 134p.
- MOITA NETO, J.; Estatística Multivariada: uma visão didática-metodológica. **Crítica Revista de filosofia e ensino** (9 de maio de 2004). www.criticanarede.com/cien_estatistica.html. Acessada em 23 de junho de 2004.
- NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: princípios aplicações**. São Paulo: Edgard Blucher, 1991. 308p.
- PINEDA-VARGAS, C. A.; PROZESKY, V.M.; PRZYBYLOWICZ, W. J. e MAYER, J. E. Correspondence analysis evaluation of linear nutrient distribution in root tips of the tropical forage *Brachiaria brizantha*. **Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms**; Elsevier, 181; 2001; p. 493 – 498.
- RAY, R. G.; **Aerial photographs in geological interpretation and mapping**, U. S. Geological Survey, paper 373, Washington, U.S.A.; 1963, 88p.
- SOARES, P. C. e 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.
- 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. e 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. e HE, D. C. A new statistical approach for texture analysis. **Photogrammetric engineering & remote sensing**, 56(1), 1990. pg. 61 - 66.
- XLSTAT. Versão 2007; Licenciado para Paulo Milton Barbosa Landim - UNESP (www.xlstat.com/) info@xlstat.com