

## MAPEAMENTO FITOGEOGRÁFICO DAS UNIDADES DE CONSERVAÇÃO DO PERUAÇU UTILIZANDO DADOS DO SENSOR ETM DE LANDSAT: UMA ABORDAGEM MULTIESPECTRAL E TEXTURAL

MARÍLIA FERREIRA GOMES<sup>1</sup>  
PHILIPPE MAILLARD<sup>1</sup>

<sup>1</sup> IGC – Universidade Federal de Minas Gerais  
Av. Antônio Carlos, 6627 – 31210-900 – Belo Horizonte – MG, Brasil  
mariliafgomes@yahoo.com, philippe@ufmg.br

**Abstract.** Protected areas of the Peruaçu Valley (Northern Minas Gerais, Brazil) lack adequate mapping which is of utmost importance for establishing a proper management plan. LANDSAT ETM data offers a panchromatic band with increased resolution that could offer better possibilities both for visual interpretation and computer-based classification. In the latter case the increase in ground resolution could mean an increase in intra-class variance and yield poorer results. The panchromatic band is also being tested for its texture content that could improve classification results. Results are presented for a variety of classification schemes using combinations of multispectral, panchromatic and textural data. Results suggest that increase in ground resolution of band eight is still too small to bring improvement from texture analysis but that some improvement were achieved in a purely multispectral classification (with 30m spectral bands). Two maps have been prepared and are presented. Results also suggest that field strategies have a definite impact on performance specially when texture is considered.

**Keywords:** textural classification, multispectral classification, phytogeographical mapping, protected areas.

### 1. Introdução

Nos últimos dois anos, o número de unidades de conservação (Ucs) ampliou-se consideravelmente<sup>1</sup>. A trajetória de degradação acelerada dos ecossistemas e a elevada biodiversidade que esses englobam constituem justificativas suficientes para seu estudo.

Em Minas Gerais, até novembro 2002 (IBAMA, 2002), as unidades de conservação federais correspondiam a: 5 Parques nacionais, 4 Apas, 3 Florestas nacionais e uma estação ecológica. Apesar dos esforços empreendidos na criação das Ucs, muitas ainda são carentes de informações básicas, que subsidiem a elaboração dos Planos de Gestão e Manejo, bem como de pesquisas gerais (as pontuais predominam) que visem sua caracterização e mapeamento.

O Vale do rio Peruaçu, afluente da margem esquerda do rio São Francisco, localiza-se no norte de Minas Gerais, abrangendo parte dos municípios de Januária, Itacarambi, São João das Missões, Cônego Marinho e Bonito de Minas. Devido a sua importância arqueológica e espeleológica, o Vale conta com três Unidades de Conservação (UCs) contempladas neste projeto: a Área de Proteção Ambiental Cavernas do Peruaçu, o Parque Estadual Veredas do Peruaçu e o Parque Nacional Cavernas do Peruaçu<sup>2</sup> (**Figura 1**).

A Fundação Biodiversitas aponta o Vale do Peruaçu como detentor de importância biológica extrema e precisando de mais pesquisa (Costa *et al.*, 1998). Destacam-se ainda a sua beleza natural e sua grande importância arqueológica, em função de inúmeros sítios, tanto de pinturas rupestres, de habitação como de lascamento (Prous, 1997).

---

<sup>1</sup> O total de unidades de proteção integral (de uso indireto) equivale a 2,61% do território nacional e 5,52% de unidades de uso sustentável (de uso direto). "A soma dessas categorias totaliza 8,13% do território nacional, valor um pouco superestimado, isso devido ao fato de que muitas áreas de proteção ambiental (APAs) incluem, na sua extensão, uma ou mais unidades de conservação (UC), de uso indireto" (Ibama 2002).

<sup>2</sup> Respectivamente Decreto 98182, de 26/09/1989, com 155910 ha; Decreto 36070 de 27/09/1994, com aproximadamente 99128 ha; e Decreto s/n, de 21/09/1999, com 56800ha.



### 3. Metodologia

**3.1. Dados** - A imagem do satélite Landsat 7 ETM, da WRS 219/70 de 08 de setembro de 2001 possui excelente qualidade e foi utilizada como base para a classificação da vegetação e para a produção do mapa fitogeográfico. A imagem foi adquirida na primavera, período muito seco na região, permitindo a diferenciação entre a vegetação perene-fólia e sub- ou caducifólia.

Um trabalho de campo cobrindo da nascente do rio Peruaçu até o encontro com o Rio São Francisco foi realizado em outubro de 2001. Ele buscou caracterizar porções do Vale, recolher Pontos de Controle (PC), definir as classes de interesse e contribuir na correção geométrica.

As ortofotocartas 217803 a 807, 213377, 78, 87, 96 e 97, do ano de 1987, gentilmente cedidas pelo Grupo Bambuí de Pesquisas Espeleológicas, foram utilizadas para conferência temática. Os mapas topográficos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), na escala de 1:100.000 serviram principalmente para a correção geométrica da imagem e extração da maior parte dos PC. As coordenadas com o contorno das UCs, foram obtidas do site do IBAMA (2002). Os mapas geomorfológicos (Piló, 1997) e de vegetação (IEF, 1994) contribuíram para a interpretação inicial.

**3.2. Pré-processamento** - A imagem Landsat foi corrigida geometricamente com uma função linear de primeiro grau através da utilização dos PCs. Os PCs obtidos dos mapas topográficos foram adotados para a correção preliminar e os PC registrados no trabalho de campo visaram o ajuste final da imagem (erros de mapeamento e de escala). Os resíduos médios da correção geométrica da imagem foram muito baixos, sempre inferiores a 10m, ou seja, dentro do pixel.

As pressuposições implícitas na análise e aquisição dos dados de sensoriamento remoto foram que os efeitos atmosféricos e outros fatores (calibração, etc.) afetando a aquisição da imagem eram negligenciáveis, resultando em uma boa resposta espectral do sensor (Duggin e Robinove, 1990).

A insuficiência na quantidade de dados de campo para a definição das áreas de treinamento e teste conduziu a uma abordagem “econômica”. Os dados de campo foram utilizados no auxílio da interpretação visual da imagem para escolha de áreas de treinamento, reservando-os, que são dados confiáveis, para a verificação do sucesso da classificação. Afim de aumentar a amostra, outras áreas de teste baseadas em conhecimentos confiáveis foram também acrescentadas sem, portanto, ter sido visitadas diretamente pelos autores. No total, cerca de 6.000 pixels (150 ha) divididas em 23 classes iniciais formam estas áreas.

A banda oito (8) integrada aos dados de campo e aos dados pré-existentes apoiou o mapeamento dos principais elementos cartográficos de localização: estradas asfaltadas e de terra, o curso do rio Peruaçu, as áreas urbanas e as áreas utilizadas para a agropecuária.

**3.3. Feições de textura** - Dados de textura já provaram permitir sozinhos uma boa diferenciação de classes de cobertura do solo (St-Onge e Cavayas, 1995; Maillard, 2001) ou então, em conjunto com bandas espectrais, aprimorar os resultados de classificações automáticas ou semi-automáticas (Zhang, 2001; Ferro and Warner, 2002). Mas, a grande maioria desses estudos contou com dados de alta resolução espacial onde a textura provoca uma grande variação intra-classes que tende a piorar resultados de classificações puramente espectrais (Anys e He, 1995). Dados de resolução espacial média (30m a 100m) mostram texturas indefinidas e manifestam-se mais por uma variação intra-classes (muitas vezes indesejável) sem necessariamente ter um padrão observável (*e.g.* regularidade, orientação).

Podemos especular que a banda 8 (resolução de 15 metros) traga o aprimoramento na localização de elementos na interpretação visual e portanto elaborarmos hipóteses e questões sobre outras possibilidades:

- permite um aprimoramento posicional de classificações por computador?

- permite um aprimoramento do número de classes de classificações por computador?
- permite um aprimoramento do número de classes na interpretação visual?

Podemos ainda supor que essa banda traga novas possibilidades em termos de textura reconhecível e que, empregada de maneira judiciosa, contribua na melhoria de classificações por computador. Neste contexto estipulamos que as novas informações texturais podem ser armazenadas em feições e melhorar resultados das classificações. Porém, a banda oito possui uma resolução de apenas 15 metros sendo relativamente grosseira em termos de textura.

Entre os inúmeros métodos de análise de textura, um dos mais estabelecidos, as feições extraídas das matriz de co-ocorrência desenvolvida por Haralick *et al.* (1973), é de fácil implantação e de boa performance. Este método é especialmente eficiente para situações de classes de textura muito diferentes (Maillard, 2001). Assim, se o método das matrizes de co-ocorrência traz aprimoramento aos testes de classificações, outros métodos, mais complexos e mais potentes (*e.g.* método das *wavelets*) ampliarão esta possibilidade.

Para definir os intervalos adotados no cálculo da matrizes de co-ocorrência foi empregado o método do (semi-) variograma (Jupp *et al.*, 1989; Xia e Clarke, 1997) que mostra o comportamento da variância entre pixels de acordo com a distância. Na **figura 2** observamos os variogramas para cinco classes de vegetação identificadas nas UCs do Peruaçu e uma classe de ocupação urbana. As variações para a classe urbana são muito superiores e anisotrópicas. Dentre as classes de vegetação, o variograma da caatinga de maior variação, reflete a sua estrutura aberta e irregular. Dois valores de distância sobressaem: a distância de dois (2) pixels, determina a primeira quebra em pelo menos quatro das seis curvas, para ambas orientações e de quatro (4) pixels para várias quebras secundárias.

As matrizes de co-ocorrências foram calculadas para os dois intervalos de distância a partir de uma janela de sete (7) pixels de lado, para o intervalo de dois (2), e de nove (9) pixels para o intervalo de quatro (4), fornecendo uma amostra de pelo menos 25 pares para cada matriz. Apenas três das 14 medidas propostas por Haralick foram usadas, baseadas em resultados de pesquisas anteriores (Haralick, 1979; Dikshit, 1996; Maillard, 2001): o *contraste* (Con), o *momento inverso de diferença* (IDM) e a *correlação* (Cor).

Duas feições de textura foram geradas para cada intervalo e cada medida totalizando seis feições: uma primeira representando a média do intervalo de distância nas quatro orientações (0, 45, 90 e 135°) e a segunda, o desvio padrão das mesmas.

A inspeção visual dessas feições revelou que elas tendem a criar um efeito de borda importante, o que poderá aumentar o erro de certas classes. Somente a feição *correlação* não parece ser muito afetada por este efeito. Certas classes de textura mais rugosas (*e.g.* áreas urbanas, afloramentos rochosos) ficaram mais homogêneas comprovando a eficiência da análise de textura nestes casos.

**3.4. Esquemas de classificação** - Aplicou-se o sistema Universal de Veloso (Veloso *et al.*, 1991) para a classificação da vegetação<sup>3</sup>, por tentar adaptar as denominações regionais da vegetação brasileira a um sistema universal de classificação da vegetação. O nível I do sistema Anderson (Anderson *et al.*, 1976) que divide as classes de uso do solo em níveis (do nível I geral, aos níveis subsequentes mais específico) foi utilizado para a demais classes de uso do solo que serviu de fundo para o mapa de vegetação.

Vários esquemas de classificação da imagem foram testados afim de determinar a contribuição de cada um dos três tipos de dados: multiespectral, pancromático e de feições de textura (extraídos da banda pancromática).

No total, quatro diferentes tipos de classificações foram realizadas: multiespectral; textural; multiespectral e pancromática; multiespectral, pancromática e textural. Nesta última

---

<sup>3</sup> Neste sistema são considerados o clima, a estrutura fisionômica, os solos, o comportamento das plantas e o relevo

categoria, várias combinações foram testadas na tentativa de encontrar uma que fornecesse os melhores resultados<sup>4</sup>, conforme abaixo:

- Multiespectral, pancromática e doze feições texturais (intervalos de 2 e 4) (**mx px tx2 e 4**)
- Multiespectral, pancromática e seis feições texturais (intervalo de 2) (**mx px tx2**)
- Multiespectral e as três feições de média das texturas do intervalo de 2 (**mx média tx2**)
- Multiespectral e a feição de média de correlação do intervalo 2 (**mx média cor2**)

O desempenho das classificações foi avaliado através das áreas testes mencionadas acima que foram utilizadas para calcular as matrizes de confusão e os fatores *kappa* estimados ( $\hat{k}$ ).

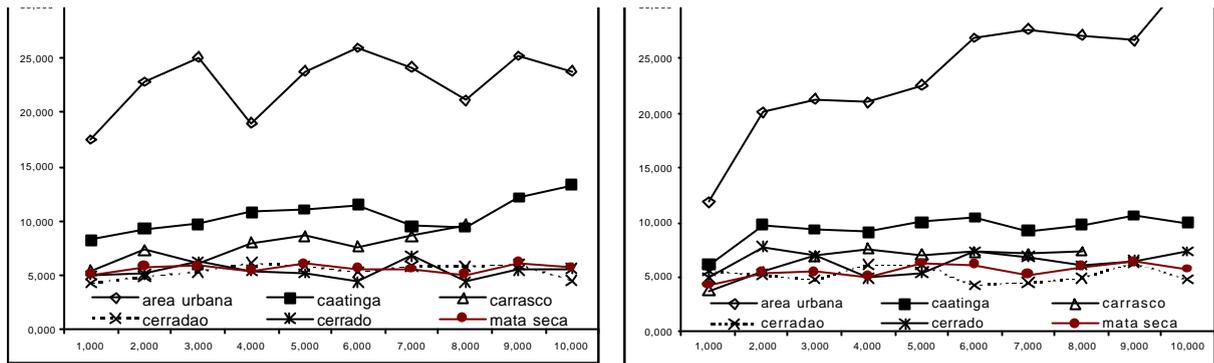


Figura 2 – Variogramas direcionais (0° e 90° respectivamente) de cinco classes de vegetação e uma classe de uso do solo.

#### 4. Resultados e Discussão

Para identificação de determinados tipos de uso do solo, a textura contribuiu muito, mas não suficientemente, como no caso das áreas urbanas. Estas possuíam uma grande variância intra-classe, e eram, muitas vezes, confundidas com outros tipos de uso do solo, mais freqüentemente como solo exposto. A classe *área urbana* foi conseqüentemente transformada em *solo exposto* e as áreas urbanas foram interpretadas visualmente.

A **tabela 1** ilustra os resultados obtidos para todas as combinações de classificação, exclusive a exclusivamente de feições de textura, porque os resultados obtidos foram muito inferiores às demais classificações.

Na média geral, os resultados iniciais foram relativamente baixos (**tabela 1**), com fatores  $\hat{k}$  variando de 61% a 65%. Algumas causas podem ser apontadas para explicar o baixo sucesso: 1) a não-proporcionalidade das amostras em relação às áreas efetivamente ocupada pelas classes; 2) a grande quantidade de classes de vegetação *a priori* semelhantes (especialmente no período seco) ; 3) a maioria dos dados de campo foi coletada nas imediações das estradas, podendo ter sofrido efeitos de borda nas amostras e prejudicar sua “pureza”. Por ser baseada em uma janela, a textura gera um efeito de borda duplo no caso de elementos lineares (as estradas), afetando justamente as áreas mais propícias a serem amostradas. Esta observação também é válida para as áreas de transição entre classes muito diferentes (espectralmente) de uso do solo.

A classificação multiespectral e pancromática obteve a maior taxa de sucesso ( $\hat{k}=65,42\%$ ), enquanto a classificação mista (**mx px tx2 e 4**) obteve a menor taxa. Porém, dado o tamanho da amostra, estas diferenças são pouco significativas.

Apesar desses resultados, devemos lembrar que muitas classes de vegetação foram selecionadas, aumentando as chances de confusão entre elas. A probabilidade de semelhança espectral de certas classes é relativamente alta como no caso de *capoeira de cerrado*, *cerrado* e *cerradão*; ou *veredas* e *mata ciliar*. À luz dessas observações, fizemos uma reclassificação

<sup>4</sup> Baseados em testes não reportados aqui.

de duas classes mais problemáticas: *capoeira de cerrado* e *capoeira de caatinga* que foram agregadas às classes *cerrado* e *caatinga* respectivamente. Os valores de média geral de  $\bar{k}$  após a reclassificação (penúltima linha da **tabela 1**) mostram que esta operação aumentou as taxas de  $\bar{k}$  de 8 a 10% em todos os casos. Por fim a aplicação de um operador focal de *maioria* (usualmente chamado de filtro de moda) elevou os últimos resultados de 2 a 4%, ilustrando a importância do efeito de borda e de variância intra-classe.

**Tabela 1** - Valores de *kappa* estimados para cada categoria e para classificações envolvendo bandas multiespectrais e pancromática, feições texturais ou combinações dos três tipos.

Classes		mx	mx px	mx px tx2	mx px tx2e4	mx média tx2	mx média cor2
Veredas	3	0,6078	0,9421	0,6279	0,6149	0,5854	0,6203
Sombra	4	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Mata ciliar	5	0,4818	0,7175	0,6014	0,5820	0,6080	0,5096
Mata indiferenciada	6	0,5959	0,2576	0,6046	0,6048	0,6201	0,6595
Capoeira de mata seca	7	categoria sem dados de campo confiáveis					
Mata seca	8	0,3275	0,4329	0,4417	0,5122	0,4340	0,3829
Vegetação queimada	10	0,9830	1,0000	0,4811	0,4312	0,6483	0,9217
Cerrado	12	0,6293	0,6368	0,6724	0,6910	0,6630	0,6049
Água turva	13	1,0000	0,9787	1,0000	0,9851	1,0000	1,0000
Área urbana	14	categoria mesclada com a classe "Solo exposto"					
Cerradão	15	0,9217	0,7074	0,6369	0,5969	0,7176	0,7774
Capoeira de cerrado	16	0,4618	0,5538	0,4310	0,2483	0,4127	0,4669
Pasto	17	categoria mesclada com a classe "Área cultivada"					
Capoeira de caatinga	18	0,5457	0,6897	0,3801	0,3195	0,4219	0,5295
Caatinga	19	0,2530	0,3435	0,2104	0,1942	0,1808	0,3193
Rocha exposta	20	0,9702	1,0000	0,9938	0,9963	0,9888	0,9838
Água limpa	21	0,5094	0,7501	0,6516	0,6966	0,6813	0,5199
Área cultivada	22	0,9181	0,5168	0,9825	0,9792	0,9760	0,9264
Solo exposto	23	0,5674	0,9715	0,6571	0,6653	0,6264	0,6128
<b>Média geral</b>		<b>0,6463</b>	<b>0,6542</b>	<b>0,6418</b>	<b>0,6113</b>	<b>0,6430</b>	<b>0,6497</b>
<b>- após reclassificação</b>		<b>0,7426</b>	<b>0,7469</b>	<b>0,7215</b>	<b>0,6915</b>	<b>0,7271</b>	<b>0,7448</b>
<b>- após reclassificação e filtragem</b>		<b>0,7753</b>	<b>0,7791</b>	<b>0,7397</b>	<b>0,7195</b>	<b>0,7428</b>	<b>0,7778</b>

**Legenda:** branco: nenhum padrão pode ser definido; cian: a banda 8 e as bandas de textura melhoraram os resultados; amarelo: a banda 8 piorou os resultados e as bandas de textura os melhoraram; vermelho: as bandas de textura pioraram os resultados; cor-de-rosa: a banda 8 melhorou os resultados; verde: as bandas de textura melhoraram os resultados (é o caso das áreas urbanas, mas a taxa de erro continuou alta e a classe foi mesclada com "Solo exposto"). **Símbolos:** mx: multiespectral; px: pancromático (banda 8); txN: feição de textura com espaçamento de n pixels; média: omissão das feições de desvio padrão; cor: feição de correlação.

Os resultados ( $\bar{k}$ ) das classes individualmente são também instrutivos. A coluna de classes da **tabela 1** foi codificada com cores para várias situações de relação entre as performances das classificações. As classes mata ciliar, mata seca, solo exposto e água limpa, caracterizadas por texturas lisas, melhoraram com a banda pancromática e as feições de textura, por possuírem pequena variância intra-classe. No caso das classes cerradão e capoeira de caatinga, as feições de textura pioraram os resultados, provavelmente por apresentarem uma textura mais rugosa ou pelas áreas de teste serem próximas às estradas (efeito de borda). As classes mata indiferenciada e área cultivada apontaram melhorias com o acréscimo da textura, mas pioraram com o acréscimo da banda pancromática. Estas duas classes caracterizam-se por uma alta variância espectral intra-classe, mas uma textura relativamente homogênea. A banda 8 melhorou os resultados para as classes veredas e caatinga, sem que tenhamos dados suficientes para propor uma explicação plausível. Finalmente, a classe área urbana foi agregada à classe de solo exposto por sua semelhança espectral e sua baixa taxa de sucesso, essa última foi aumentada pela adição da textura.

Em 9 classes, a banda 8 melhorou a taxa de sucesso da classificação, por ser a única com

resolução espacial de 15m, oferecendo maior precisão de localização e menor quantidade de pixels mistos. No entanto, ela aumenta a variância intra-classe, piorando o sucesso de algumas classes, especialmente aquelas de textura mais rugosa.

Um total de 19 classes foi obtido com a utilização dos dois sistemas propostos. Algumas classes de vegetação, não foram incluídas na classificação supervisionada devido à semelhança espectral com outras classes, p.ex. o caso do carrasco e das florestas alagadas. A **tabela 2** expõe a conversão entre a nomenclatura regional e o sistema de classificação universal adotado.

**Tabela 2** – Classes de vegetação com nome regional e adaptadas ao sistema de Veloso *et al.* (1991).

Nome Regional	Classe Adaptada	Nome Regional	Classe Adaptada
Campo cerrado	Savana Arborizada	Mata seca	Floresta Estacional Decidual
Cerradao	Savana Florestada	Mata ciliar	Vegetação com influência fluvial
Caatinga	Savana Estépica Arborizada	Veredas	Vegetação com influência fluvial
Carrasco	Savana Estépica Arborizada	Capoeira	Vegetação de sucessão natural

Dois mapas de vegetação foram confeccionados (**figura 3**), a partir dos melhores resultados obtidos das classificações. Optamos por manter todas as classes de capoeira por sua importância na identificação das áreas de interferência antrópica, mas aplicamos um operador de maioria (5x5 pixels), a título de generalização cartográfica. Dados de interpretação visual da imagem foram incorporados, contendo principalmente classes de uso do solo.

## 5. Considerações Finais

A existência de classes com alta variância intra-classe, levou à confusão de classes, diminuindo o sucesso da classificação. Algumas deficiências constatadas poderiam ser substancialmente reduzidas com dados coletados com maior disponibilidade de recursos durante os trabalhos de campo, principalmente em relação ao tempo de permanência e à maior sistematização da metodologia de amostras.

Os resultados referentes ao uso de feições de textura sugerem que o acréscimo de resolução trazido pela banda oito (de 30 para 15m) não é suficiente para aumentar significativamente os resultados de classificações por computador no contexto fitogeográfico. Se, para certas classes, uma certa melhoria pôde ser observada, outras parecem sofrer recuo. Portanto, o acréscimo da capacidade de interpretação visual é significativo, especialmente para definir o traçado das estradas secundárias. Mesmo no contexto da classificação puramente multiespectral, a banda oito trouxe aprimoramentos.

Os resultados das classificações podem ser considerados satisfatórios, expondo uma caracterização e mapeamento atualizados da vegetação das Unidades de Conservação do Vale do Peruaçu. Tais resultados têm um caráter preliminar e deverão ser conferidos com um segundo campo previsto em 2003.

Estamos iniciando uma nova fase da pesquisa afim de avaliar o sucesso das classificações, considerando não apenas os resultados absolutos mas também o custo do erro de confusão entre as classes. O erro entre classes muito próximas conceitualmente (*e.g.* cerrado e cerradao, diversos tipos de capoeira) é menos impactante do que erros entre classes de uso do solo e deveria ser considerado no cálculo do erro.

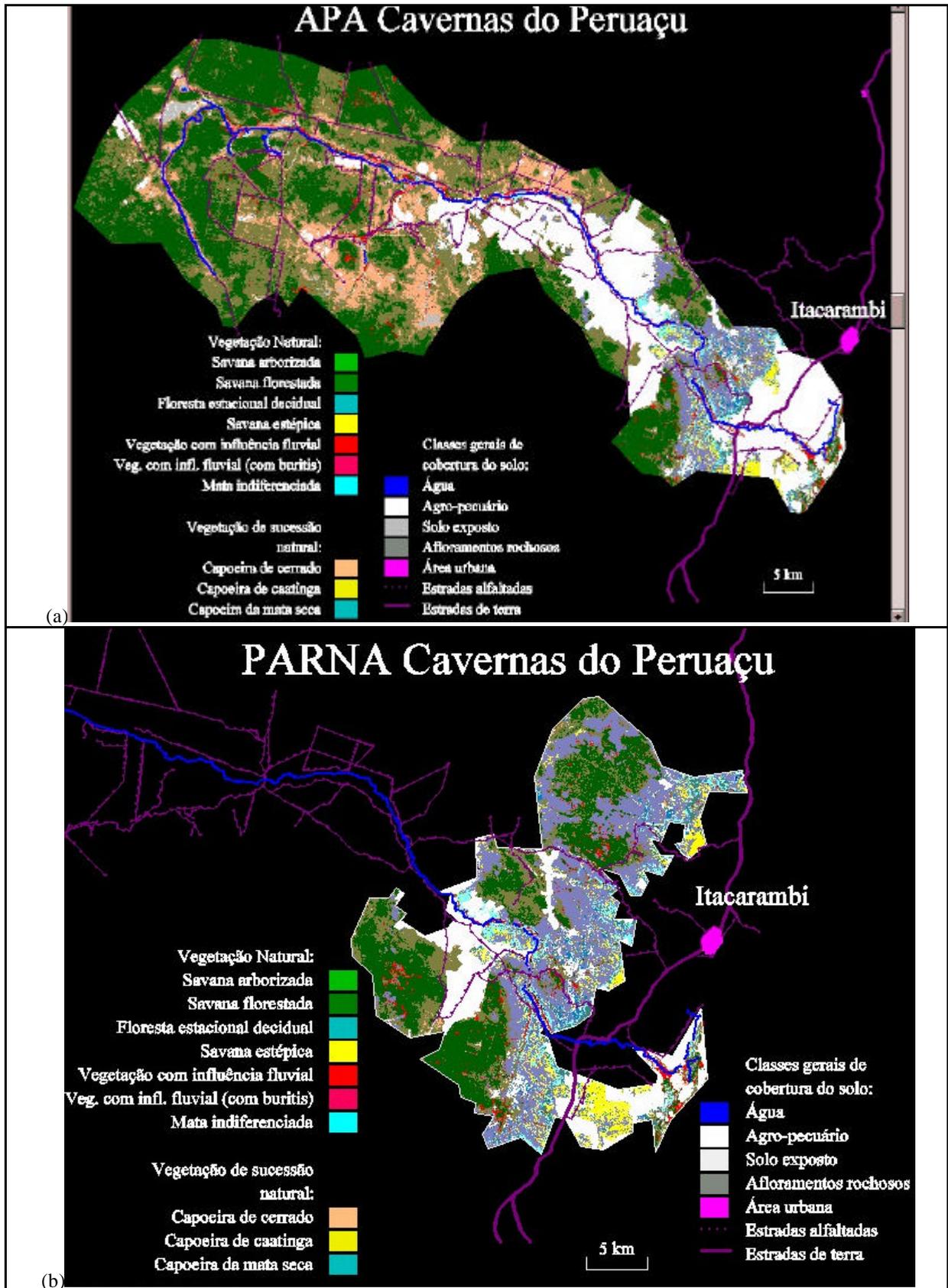


Figura 3 – Mapas das Ucs obtidos a partir das classificações da imagem. (a) APA cavernas do Peruaçu, (b) Parna cavernas do Peruaçu.

## 6. Referências Bibliográficas

- ANDERSON, J.R., E.E. HARDY, J.T. ROACH, e R.E. WITMER. A Land Use and Land Cover Classification System for Use with Remote Sensor Data, *U.S. Geological Survey*, Professional paper 964, 28 p. , 1976.
- ANYS, H. e D.-C. HE, Approche multipolarisation et texturale pour la reconnaissance des cultures à l'aide de données radar aéroporté, *Canadian Journal of Remote Sensing*, vol. 21, n. 2), p.138-157, 1995.
- COSTA, C. R. *et al.* (org.). Biodiversidade em Minas Gerais - um atlas para sua conservação, Belo Horizonte: Fundação Biodiversitas, 1998, p. 94 p.
- DIKSHIT, O., Textural classification for ecological research using ATM images, *International Journal of Remote Sensing*, vol. 17, n. 5, p. 887-915, 1996.
- DUGGIN, M.J. e ROBINOVE, C.J. *Assumptions implicit in remote sensing data acquisition and analysis. International Journal Remote Sensing*, vol. 11, n. 10, p. 1669-1694, 1990.
- FERRO, C.J.S. e WARNER,T.A. Scale and texture in digital image classification, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, vol. 68, n. 1, p. 51-63, 2002.
- HARALICK, R.M., Statistical and structural approaches to texture, *Proceeding of the IEEE Trans. Systems, Man and Cybernetics*, vol. 67, p. 786-804, 1979.
- HARALICK, R.M., K. SHANMUGAN, e I. DINSTEN, Texture feature for image classification, *IEEE Trans. Systems, Man and Cybernetics*, vol. SMC-3, p. 610-621, 1973.
- IBAMA, Home page do Ibama (<http://www.ibama.gov.br/~ascom/artigo4.htm>). 9/10/2002.
- IBGE – Instituto Brasileiro Geografia e Estatística, Carta do Brasil, IBGE, 1977.
- IEF – Instituto Estadual de Floresta, Mapa de cobertura vegetal e uso do solo do estado de Minas Gerais, Belo Horizonte, IEF, 1994.
- JUPP, D.L.B., A.H. STRAHLER, AND C.E. WOODCOCK, Autocorrelation and regularization in digital images, II: Simple image models, *IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 27, p. 247-258, 1989.
- MAILLARD, P. *Texture in High Resolution Digital Images of the Earth*. Tese de Doutorado- Department of Geographical sciences and Planning, University of Queensland, Brisbane, Austrália, 2001, 348p.
- PÁDUA, M.T.J. Sistema brasileiro de unidades de conservação: de onde viemos e para onde vamos? *Congresso brasileiro de unidades de conservação*. Curitiba: IAP, Unilivre, Rede nacional pró-uniidade de conservação, 15 à 23 de novembro, vol. 2, p. 214-36, 1997.
- PILÓ, L.B. *Caracterização Regional do Carste do Vale do Rio Peruaçu*. O Carste, vol. 9, p. 72-78, 1997.
- PROUS, A. RIBEIRO, L. org. *Arquivos do Museu de História Natural. Tomo I*. Universidade Federal de Minas Gerais, Volume XVII / XVIII, 1996/ 1997.
- ST-ONGE, B.A. e CAVAYAS, F. Estimating forest stand structure from high resolution imagery using the directional variogram. *International Journal of Remote Sensing*, vol. 16 (11), p. 1999-2021, 1995.
- VELOSO, H.P., et al. *Classificação da Vegetação Brasileira Adaptada a um Sistema Universal*. Rio de Janeiro: FIBGE, 1991.
- XIA, Z.G. E K.C. CLARKE. Approaches to scaling of geo-spatial data. *Scale in Remote Sensing and GIS* (D.A. Quattrochi and M.F. Goodchild, editors), CRC Press, Lewis Publishers, p. 309-360, 1997.
- ZHANG, Y. Texture-integrated classification of urban treed areas in high-resolution color-infrared imagery, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 67, n. 12, p.1359-1365, 2001.