

Detecção de formas cársticas a partir de classificação espectral e morfológica de imagens de sensoriamento remoto.

Fernando Antônio Rodrigues de Oliveira¹

Philippe Maillard²

¹CPRM – Gerência de Recursos Minerais

Av. Brasil, 1731 – Belo Horizonte – MG, Brasil

faroliva@newview.com.br

²UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais

Av. Antônio Carlos, 6627 - Belo Horizonte – MG, Brasil

philippe@csr.ufmg.br

Abstract This paper presents the development of a methodology for extracting karst formations from the use of two types of classification schemes: point-dependent spectral and morphological. The region of the São Francisco basin is presented along with the geological geomorphological context. Preliminary results show that the approach is valid and that further work in that direction is needed.

Keywords: Bayes' classification, image morphology, karst geology, object detection

1 Introdução

As rochas carbonáticas da região de Vazante-Paracatu estão associadas a importantes jazimentos de chumbo e zinco e são também bons aquíferos em função do desenvolvimento de estruturas cársticas (Sapucaia Jr., 1986). Essas rochas estão recobertas por sedimentos recentes detríticos, dificultando o seu reconhecimento no mapeamento geológico. Em algumas áreas, onde as estruturas subterrâneas são mais desenvolvidas, surgem as chamadas paisagens cársticas caracterizadas por feições típicas entre as quais ressaltamos as depressões denominadas *dolinas* que consistem em sumidouros que drenam a água superficial para a rede subterrânea. A presença de dolinas num contexto de rochas carbonáticas torna-as evidencia superficial aparente e clara da distribuição dessa litologia em subsuperfície consistindo num indicador indireto, também em certos casos, da direção de fraturas e zonas de fraqueza predominantes na massa carbonática. O uso de imagens orbitais de média resolução (Landsat TM) permitem a investigação voltada ao mapeamento geológico em grande áreas como é a área de ocorrência das rochas carbonáticas do Grupo Bambuí.

O trabalho visa apresentar os resultados parciais já obtidos na busca de uma metodologia que, utilizando técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto, auxilie na delimitação de domínios com predominância de rochas carbonáticas mascarados por coberturas indiferenciadas recentes, através da detecção de depressões topográficas de origem cárstica como evidencia indireta de sua ocorrência.

2 Abordagem do problema

Pela interpretação visual tradicional, dolinas são objetos envolvendo um certo número de elementos de foto interpretação: *forma*, *tamanho*, *estereoscopia*, *contexto*. Em particular, o elemento *contexto* implica no conhecimento prévio da região, do seu domínio geográfico e geológico. A *estereoscopia* não é disponível no contexto atual dos dados. Um fato marcante nesses elementos de interpretação visual é a ausência dos elementos *tom* e *cor*. De fato, dolinas, sendo formas de relevo e não objetos tangíveis, não possuem características superficiais específicas e, portanto, não poderiam ser extraídas pelas técnicas tradicionais de classificação espectral pixel-a-pixel (“point-dependent”) e nem por técnicas envolvendo a textura. Entretanto, sabendo que dolinas são depressões em um substrato de carbonatos, caracterizadas por um processo de formação conhecido e bem documentado, elaboramos a hipótese de que há uma quantidade limitada de coberturas vegetais, pedológicas e até hídricas que ocupam o seu fundo. As encostas são geralmente de declividade média a alta, onde a rocha aflora enquanto um tipo especial de argila de descalcificação avermelhada (resíduos de calcário) caracteriza os solos cobrindo o fundo da dolina (Derruau, 1974). Em nosso caso, as dolinas são frequentemente cobertas por sedimentos silto-argilosos de origem coluvial e aluvionar. Essas informações já permitem o uso de características espectrais para a detecção parcial dessas formações cársticas ou, pelo menos, a eliminação de grandes áreas do processo de interpretação.

Do lado morfológico, dolinas caracterizam-se por formas redondas ou ovaladas, de diâmetro variando de algumas dezenas a centenas de metros (Derruau, 1974). A **tabela 1** mostra estatísticas de alguns parâmetros morfológicos. Podemos então utilizar critérios tais como *área*, *arredondamento* e *alongamento* para classificar formas aparentadas a dolinas; no *processamento digital de imagem*, esses critérios são conhecidos como *atributos geométricos* das regiões resultantes de uma segmentação (Cocquerez, e Philipp, 1995). Se aceitamos a idéia de que, dolinas têm um comportamento espectral variável mas uniforme individualmente, podemos então empregar ferramentas de segmentação e de classificação para dividir a imagem em objetos uniformes dos quais elas fazem parte. A partir dessa segmentação, programas de análise morfológica de imagens possibilitam a eliminação de todos os objetos incompatíveis aos critérios de forma e tamanho das dolinas.

PARÂMETRO	Num.Dados_ Validos	Média	Mínimo	Máximo	Desvio_Padrão	Mediana
ÁREA (ha)	470	14,28	1,35	75,87	10,72	10,58
ELONGAÇÃO	470	1,68	1	4,9	0,54	1,55
ARREDONDAMENTO	470	0,78	0,29	1*	0,16	0,81

Tabela 1. Estatísticas básicas de parâmetros morfológicos da amostra de dolinas.

Seguindo esse raciocínio, desenvolvemos uma metodologia seqüencial baseada no princípio da eliminação progressiva. A **figura 1** ilustra suas principais etapas descritas abaixo.

1. Segmentação litológica e hipsométrica da região: o mapa geológico (digital) foi usado para criar uma primeira máscara onde somente as áreas de calcário foram preservadas. O modelo digital de elevação também serviu para eliminar todas as regiões abaixo de 570 metros.
2. Classificação espectral das superfícies associadas às dolinas: uma classificação não supervisionada permitiu a identificação razoável (teremos ainda que conferir a validade dessa

classificação a partir de dados de campo). As classes que não entram na categoria *possível fundo de dolinas* foram excluídas.

3. Classificação morfológica dos objetos: Nessa primeira fase do projeto utilizamos apenas o *arredondamento* definido como: $[4 \times \pi \times \text{área}] \div \text{perímetro}$ (Baxes, 1994, p. 157). Somente os objetos (manchas de mais de 10 pixels contíguos na imagem classificada da etapa 2) com um *arredondamento* superior a 0,6 foram escolhidos.
4. Classificação da área dos objetos: Nesta etapa, os objetos restantes foram analisados de acordo com a sua área e somente os objetos incluídos entre 3 e 20 hectares foram escolhidas (valores do tipo “outlier” foram excluídos).
5. Avaliação dos objetos candidatos a serem dolinas: Esta fase consiste a comparar os objetos escolhidos como fortes candidatos a serem dolinas com as amostras afim de construir uma matriz de confusão afim de calcular a proporção de dolinas não detectadas (erros de omissão) e de objetos detectados que não são dolinas (erros de comissão).

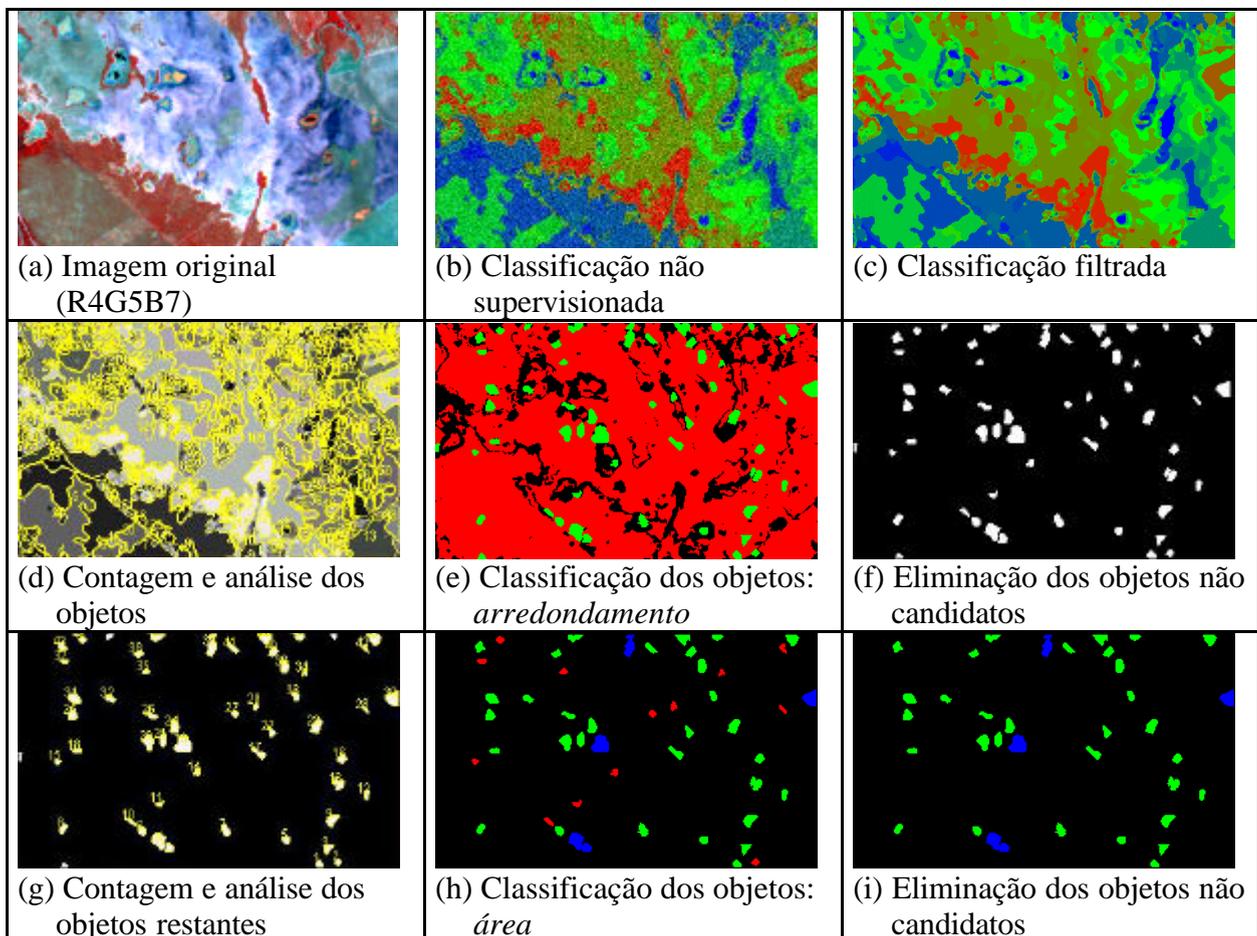


Figura 1. Ilustração do processo de detecção dos objetos candidatos a serem dolinas.

3 Futuras pesquisas

Desenvolvemos uma abordagem metodológica para a detecção de formas cársticas baseada num conjunto de técnicas de *processamento digital de imagem*: aplicação de máscaras (litológicas e hipsométricas), classificação espectral (supervisionada ou não); segmentação e classificação

morfológica e análise de erros. Os resultados preliminares indicam que a metodologia é válida e que aprimoramentos nos critérios de detecção (critérios morfológicos adicionais e consideração do contexto espacial) poderão aumentar o grau de sucesso.

Mais particularmente, não existe, por enquanto, um esquema simples de considerar o fato que dolinas são, muitas vezes, caracterizadas por uma sucessão de elementos estruturais (em termos visuais): o fundo e um ou dois anéis correspondendo às encostas.

Futuras pesquisas envolverão o aprimoramento das classificações morfológicas, desenvolvimento de um classificador contextual, atualização dos dados de campo sobre as formas cársticas e a detecção de outras formas cársticas.

4 Referências bibliográficas

Baxes, G.A. **Digital Image Processing**, Wiley, 1994.

Derruau, M. **Précis de Géomorphologie**. Masson et C^{ie} Éditeurs, Paris, 1974.

Cocquerez, J.P. e Philipp, S. (Eds.) **Analyse d'Images: filtrage et Segmentation**. Masson, Paris, 1995.

Sapucaia Jr, M. **Folha SE-23-V-D João Pinheiro Escala 1:250.000 - Projeto Mapas Metalogenéticos e de Previsão de Recursos Minerais**. Belo Horizonte: CPRM-Cia. de Pesquisa de Recursos Minerais, 1986,v.1,p.35.(Relatório).