

# Delimitação de afloramentos de calcários da Formação Jandaíra utilizando dados LANDSAT 7/ETM<sup>+</sup>

Daniel Kim Ferreira<sup>1</sup>

Sebastião Milton Pinheiro da Silva<sup>2</sup>

## Resumo

Grande parte da atenção da comunidade científica brasileira pelas cavernas do Rio Grande do Norte se deve às estratégias adotadas pela Base Avançada Compartilhada do Centro de Conservação, Estudo e Manejo de Cavernas – CECAV no Rio Grande do Norte, que envolvem o uso de geotecnologias aplicadas à prospecção espeleológica. O presente trabalho constitui uma contribuição à delimitação de afloramentos de calcários da Formação Jandaíra em uma área situada no limite dos municípios de Caraúbas, Felipe Guerra e Governador Dixt-Sept Rosado, utilizando uma cena do satélite sensor LANDSAT 7/ETM<sup>+</sup>, e técnicas de classificação digital de imagens. Os resultados indicam uma boa relação entre a classificação executada em comparação aos dados obtidos em campo, revelando uma grande ocorrência de afloramentos desse tipo de rocha na área de estudos.

**Palavras-chave:** Processamento Digital de Imagens; Sensoriamento Remoto; Carste Potiguar.

## *Mapping outcrops of limestones of Jandaíra Formation with LANDSAT 7/ETM<sup>+</sup> DATA*

## Abstract

Much of the attention of the Brazilian scientific community for caves in Rio Grande do Norte is due to the strategies adopted by the Advanced Base Shared in NB Conservation Centre, Study and Management of Caves - CECAV, which involve the use of geotechnologies applied for speleological exploration. This work is a contribution to define limestone outcrops of Jandaíra Formation in an area located within the limits the municipalities of Caraúbas, Felipe Guerra and Governor Dixt-Sept. Rosado, using a scene of ETM+/LANDSAT 7 satellite sensor, and techniques of digital images classification. The result indicates good relationship between the classification performed and the data obtained in the field, revealing a large occurrence of outcrops of carbonate rocks in the study area.

**Key words:** Digital Image Processing; Remote Sensing; Potiguar Karst.

---

1 Bacharel em Geografia pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN. e-mail: dkfzero@hotmail.com

2 Professor Adjunto do Departamento de Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN. e-mail: smpsilva@cchla.ufrn.br

## Introdução

As cavernas são cavidades naturais com dimensões que permitem acesso ao ser humano (KARMANN, 2001). Apesar de esta definição abranger somente as cavidades acessíveis ao homem, elas podem, na verdade, apresentar diferentes tamanhos e formas, penetráveis por outras espécies animais.

Segundo Ford e Williams (2007), cavernas são componentes de um tipo de relevo denominado “carste”, e são encontradas em cerca de 10 a 15% da superfície terrestre. São as chamadas áreas cársticas, que geralmente ocorrem onde as litologias predominantes são rochas calcárias (carbonáticas), mais solúveis à ação da água. A palavra *karst*, aportuguesada para *carste*, é a forma germânica da palavra servo-croata *kras*, cujo significado original é terreno rochoso, desnudo, característico de uma região situada no nordeste da Itália e no noroeste da Eslovênia.

O principal processo atuante na gênese do relevo cárstico é o intemperismo químico, que provoca a dissolução química da rocha calcária, através dos tempos geológicos. O relevo cárstico também apresenta um conjunto de formas típicas, tais como dolinas (depressões fechadas), vales cegos, paredões, abrigos rochosos, lapiás (sulcos, ranhuras e canais de dissolução na rocha) e sumidouros (onde a drenagem superficial adentra para o meio subterrâneo). De acordo com Piló e Auler (2010), no relevo cárstico predomina uma rede de drenagem subterrânea, instalada segundo um sistema de condutos ou fendas alargadas na rocha, ou seja, através de galerias subterrâneas não visíveis na superfície.

No Brasil, estima-se que as áreas cársticas perfaçam cerca de 200 mil km<sup>2</sup>. Segundo Auler *et al.* (2001), calcula-se que o potencial espeleológico brasileiro seja superior a 100 mil cavernas, o maior na América do Sul. Segundo CECAV/ICMBio (2011a), até o momento, pouco mais de 9.000 cavernas encontram-se cadastradas em bancos de dados junto aos órgãos ambientais.

As áreas cársticas do Rio Grande do Norte continuam pobremente conhecidas. Entretanto, nos últimos anos, houve um aumento significativo nas pesquisas realizadas nas cavernas da região, tanto pelo CECAV (Centro de Estudo, Manejo e Conservação de Cavernas), como por pesquisadores de diversas instituições brasileiras. Segundo Cruz *et al.* (2010), essa situação é fruto da estratégia do CECAV de apoiar os pesquisadores e de divulgar os estudos realizados nos eventos científicos especializados, despertando, técnica e politicamente, as comunidades espeleológica e científica para o potencial espeleológico da região.

Com o emprego de novas metodologias de prospecção e de ferramentas e técnicas de geoprocessamento, o CECAV intensificou os trabalhos espeleológicos no estado, aumentando significativamente o número de cavernas cadastradas. Em 2000, eram conhecidas apenas 56 cavernas, mas no final de 2010 já constavam 563 cavidades registradas na Base de Dados do CECAV/RN (CRUZ *et al.*, 2010). Um ano depois, em 2011, já eram 594 cavidades registradas nesta mesma base de dados, colocando o Rio Grande do Norte em 7º lugar no número de cavidades conhecidas (CECAV/RN, 2011).

Em face da relevância do patrimônio espeleológico potiguar, que vem aumentando à medida que crescem os esforços de pesquisa na região, desenvolveu-se este trabalho como forma de contribuir para o conhecimento e para a continuidade das atividades prospectivas realizadas no estado.

Assim sendo, o presente trabalho tem como objetivo principal delimitar as ocorrências de rochas calcárias da Formação Jandaíra na área de estudos, com base em dados de sensoriamento remoto, para, com isto, subsidiar os trabalhos de prospecção de campo.

### **Caracterização da área de estudo**

A área de estudos compreende um retângulo de 12.421 hectares de área (Figura 01). Este retângulo é definido pelas coordenadas UTM 651.682,490 m E e 9.387.742,053 m N (vértice superior esquerdo) e 663.493,71 m E e 9.377.226,799 m N (vértice inferior direito), Zona 24M e Datum SIRGAS 2000. Está localizada às margens da RN-117, e por rodovias asfaltadas percorre-se 52 km até a cidade de Mossoró e 320 km até a cidade de Natal, capital do estado do Rio Grande do Norte. A maior porção da área está inserida na zona rural do município de Caraúbas, e o restante nas zonas rurais dos municípios de Felipe Guerra e de Governador Dixt-Sept Rosado (Figura 01).

Estes municípios integram a Mesorregião do Oeste Potiguar, que compreende a porção Oeste do Estado, e englobam, junto com o município de Apodi, a Microrregião da Chapada do Apodi (IDEMA, 2007).

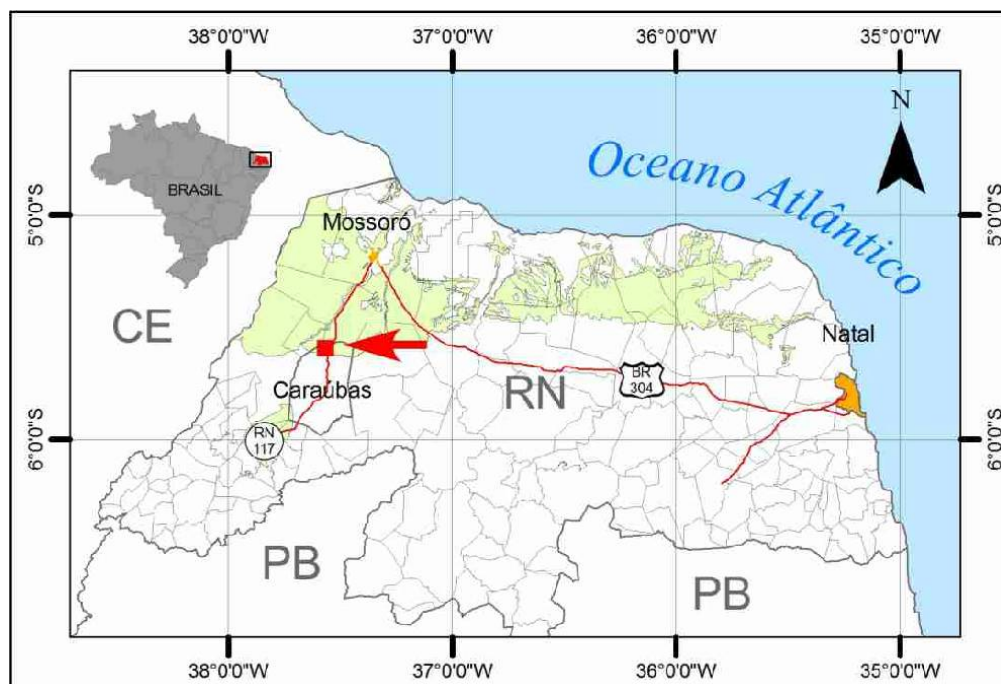


Figura 01 - Localização da área de estudos. Em verde é mostrada a área de ocorrência dos calcários da Formação Jandaíra, na parte emersa da Bacia Potiguar. FONTE: Angelim et al. (2006).

Em sua circunscrição, a área de estudos abriga as localidades rurais de Barra, Buraco de Onça, Casa de Pedra, Lajes, Livramento e Morada Nova (SUDENE, 1982; IDEMA, 2007).

Economicamente, a área se destaca pelas atividades da indústria petrolífera, representada por campos de exploração de petróleo situados na porção leste, às margens da RN-117, além de áreas de extração de calcário para a indústria ceramista local, e de pequenas áreas de monocultura localizadas na porção sul (IDEMA, 2007).

Segundo a classificação climática de Köppen, o clima da região é do tipo BSw'h', caracterizado por ser muito quente e semiárido, com a estação chuvosa no verão ou atrasando para o outono, nos meses de março a abril. As temperaturas anuais médias são 36,0°C de máxima, 27,7°C de médias e 21,0°C de mínimas, com precipitação média de 658,6 mm, e umidade relativa média anual de 70% (IDEMA, 2007).

A vegetação predominante na região é a caatinga hiperxerófila, típica do semiárido nordestino, que constitui uma vegetação de caráter mais seco, com abundância de cactáceas e plantas de porte mais baixo e espalhado. Entre outras espécies, destacam-se a jurema-preta, o mufumbo, o faveleiro, o marmeleiro, o xique-xique e o facheiro (IDEMA, 2007). Ainda estão presentes a caatinga arbustiva-arbórea, áreas de

caatinga antropizada e áreas de mata ciliar nas margens dos riachos do Meio e do Livramento.

Os solos predominantes na região são: Cambissolo eutrófico, de fertilidade média a alta, fase rochosa, textura arenosa, drenado, relevo plano e suavemente ondulado, localizado na porção Norte da área; Podzólico Vermelho Amarelo, Equivalente Eutrófico, de fertilidade média a alta, textura média, moderadamente drenada, relevo suavemente ondulado, localizado na porção Oeste da área (IDEMA, 2007).

Geologicamente, a área está inserida na Bacia Potiguar, de idade neocomiana, com sedimentos depositados durante uma fase *rift* (BERTANI *et al.* 1987). Esta bacia compreende toda a porção setentrional do Rio Grande do Norte, além de um trecho no Nordeste do Ceará. Projeta-se até alto mar, ocupando uma área total de cerca de 22.500 Km<sup>2</sup>.

As formações geológicas presentes na área de estudos são os calcários da Formação Jandaíra, que compreendem calcarenitos e calcilutitos bioclásticos e os arenitos da Formação Açú, de granulação média a grosseira, com intercalação de argilitos no sentido do topo. Ambas as formações estão reunidas no Grupo Apodi (ANGELIM *et al.*, 2006). Além destas, ainda ocorrem pequenos depósitos aluvionares nos cursos d'água do riacho do Livramento e riacho do Meio. Ambos os cursos d'água cortam a área de estudos na direção N-S, e são tributários da margem direita da bacia hidrográfica do Rio Apodi-Mossoró (SEMARH, 2006).

As unidades de relevo predominante são a Chapada do Apodi, caracterizada pelas terras planas ligeiramente elevadas, formadas por terrenos sedimentares, cortados pelos rios Apodi-Mossoró e Piranhas Açú, e a Depressão Sertaneja, que constitui terrenos baixos situados entre as partes altas do Planalto da Borborema e da Chapada do Apodi (IDEMA, 2008).

## **Materiais e métodos**

Para a elaboração do trabalho foi utilizada uma cena do satélite sensor LANDSAT 7 (*Land Remote Sensing Satellite 7*)/ETM<sup>+</sup> (*Enhanced Thematic Mapper Plus*), datada de agosto de 2001. O LANDSAT 7 foi lançado em 1999 e faz parte de um programa da Agência Espacial Americana, iniciado na década de 1960, para observação e imageamento dos recursos naturais terrestres (EMBRAPA, 2009). A longa duração do programa LANDSAT permitiu o imageamento contínuo da superfície terrestre para a quase totalidade do globo. Suas aplicações, hoje consagradas, permitiram avanços

significativos no âmbito das geociências. O sensor ETM<sup>+</sup> possui bandas espectrais na faixa do visível e do infravermelho, além de uma banda pancromática com maior resolução espacial, garantindo uma ampla gama de possibilidades de aplicações em estudos científicos (EMBRAPA, 2009). Na TABELA 01 são apresentadas as principais características do satélite-sensor LANDSAT 7/ETM<sup>+</sup>.

TABELA 01 - Características do Sensor LANDSAT 7/ETM<sup>+</sup>.

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Área Imageada	Resolução Radiométrica
ETM <sup>+</sup> (Enhanced Thematic Mapper Plus)	(B1)Azul	0,45-0,51	30m	16 dias	183 km x 183 km	8 bits
	(B2)Verde	0,52-0,61				
	(B3)Vermelho	0,63-0,69				
	(B4)Infravermelho Próximo	0,76-0,90				
	(B5) Infravermelho Médio	1,55-1,75	120m			
	(B6) Infravermelho Termal	10,4-12,5				
	(B7) Infravermelho Médio	2,09-2,35	30m			
	(B8) Pancromático	0,52-0,90	15m			

FONTE: Disponível em: <http://www.sat.cnpem.embrapa.br>. Acesso em 26 junho 2013.

Para fins de correção geométrica da imagem foi utilizada como base cartográfica, a carta SB.24 X-C-VI da SUDENE (SUDENE, 1982). Esta carta foi atualizada em 2002 pela Acquatools Consultoria Ltda, utilizando dados de outras instituições e de imagem do satélite LANDSAT7/ETM<sup>+</sup>, gentilmente cedidas pela SEMARH (Secretaria de Estado de Meio Ambiente e de Recursos Hídricos).

Para executar as correções, os realces e demais operações de PDI foi utilizado o *software* Spring 5.2.6 (CÂMARA et al. 1996), desenvolvido pela Divisão de Processamento de Imagens do Instituto de Pesquisas Espaciais (DPI/INPE). A coleta de dados em campo foi realizada utilizando aparelho receptor GPS (*Global Positioning System*) *Garmin 62s*, de precisão nominal de 3 a 6 metros de raio.

A interpretação de imagens de satélite envolve comumente a aplicação de várias técnicas e processos reunidos e conhecidos como Processamento Digital de Imagens (PDI). O PDI, segundo Meneses e Almeida (2009), consiste na "execução de operações



matemáticas dos dados, visando as suas transformações em imagens de melhor qualidade espectral e espacial, e que sejam mais apropriadas para uma determinada aplicação". Caberá, portanto, ao analista, com base em seu conhecimento e experiência adquiridos, fazer o devido uso da vasta gama de processamentos disponíveis que o auxiliarão em sua investigação.

Segundo Meneses & Almeida (2009), as principais operações que envolvem o PDI são: operações de pré-processamento, que envolvem a correção da imagem quanto a erros instrumentais, dos sensores, interferências da atmosfera e geometria de imageamento; as técnicas de Realce que envolve algoritmos com a finalidade de aumentar o contraste entre os elementos da cena e/ou quantificá-la a partir de parâmetros estatísticos para aperfeiçoar o processo de análise e, por fim, as técnicas de classificação, que tratam a imagem por meio de modelos estatísticos e probabilísticos, a fim de detectar padrões na cena a partir de classes, gerando um mapeamento temático dos elementos presentes na imagem.

Como adição às técnicas de classificação, Antunes & Lingnau (1997) e IBGE (2001) ressaltam a avaliação da classificação como parte importante do processo de classificação temática. Esta pode ser realizada visualmente, porém, para uma boa relação de controle entre o processo de seleção de áreas de treinamento e o resultado da classificação, recomenda-se a construção de uma matriz de confusão baseada em índices de acurácia do mapeamento, que se constituem de medidas de concordância, podendo ser utilizados índices como o de Concordância Total, Coeficiente de Concordância *Kappa* e Coeficiente de Concordância *Tau* (CÂMARA et al. 1996, ANTUNES & LINGNAU, 1997; IBGE, 2001).

## **Resultados e discussões**

A fim de alcançar os objetivos do trabalho, buscou-se uma rotina que favorecesse a interpretação de diferentes tipos de ambientes registrados na imagem, principalmente no tocante à discriminação dos afloramentos de calcários (Figura 02).

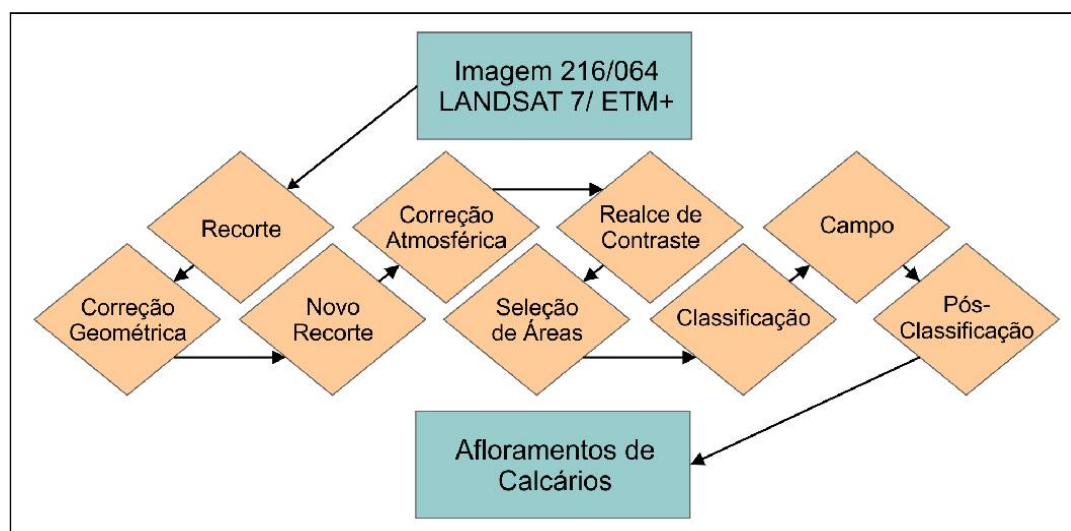


Figura 02 – Fluxograma do processamento digital de imagens.

Para realce de contraste, foram aplicados filtros histográficos, visando destacar o contraste entre os elementos presentes na imagem. Dentre as opções disponíveis, a que apresentou melhores resultados foi o realce de contraste linear, que consiste em aplicar uma transformação linear nos níveis de cinza da imagem. Esta operação de realce deixou a cena com características de brilho e cor bastante próximos da visão que se tem com a observação *in loco* (Figura 03).

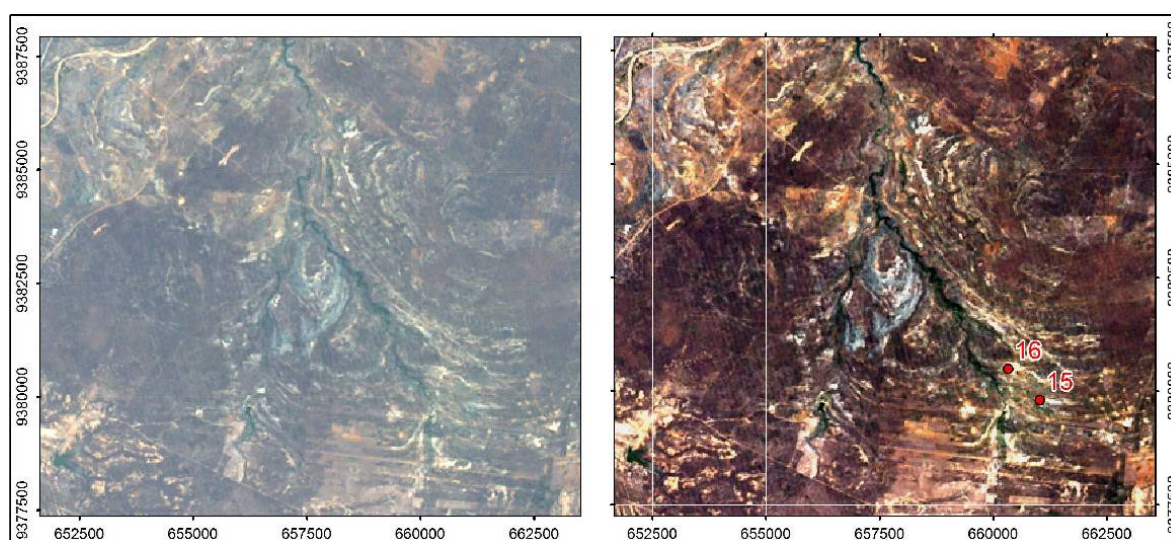


Figura 03 – A imagem da esquerda é uma composição colorida 3R-2G-1B, de recorte da cena do sensor LANDSAT 7/ETM<sup>+</sup>. A imagem da direita é a mesma composição colorida após a aplicação da correção atmosférica e de realces histográficos. Na imagem da direita são mostrados dois pontos (15 e 16) de coleta de dados em campo.



Após realizar os devidos ajustes na imagem foi, então, efetuada a análise exploratória de regiões para classificação. Esta etapa consiste em selecionar áreas que melhor representem as classes de mapeamento temático na imagem. As classes observadas encontram-se listadas na TABELA 02.

TABELA 02 - Classes observadas na área em estudo

Classe	Descrição da Classe
Afloramento de rochas calcárias, carbonáticas (1)	Exposição de material carbonático com limites geralmente bem definidos, com coloração branco/creme a cinza azulado.
Afloramento de rochas calcárias junto a solo exposto (2)	Exposição de material carbonático com presença de solo calcítico, com coloração branco/creme a cinza azulado.
Mata Ciliar (3)	Vegetação constituída de espécies de grande porte, geralmente às margens de rios e cursos d'água menores.
Pastagem (4)	Áreas Antropizadas, resultado de retirada de vegetação para implantação de culturas temporárias ou construções.
Solos de Aluvião (5)	Áreas de Solo exposto, localizado em leitos intermitentes de rios.
Corpos D'Água (6)	Presença de água, represada em lagos e açudes, ou ao longo do curso de rios.

Para a classificação foi utilizada a técnica de classificação por Máxima Verossimilhança - MAXVER (*Maximum Likelihood*), que considera a "ponderação das distâncias entre as médias dos valores dos *pixels* das classes, utilizando parâmetros estatísticos, e assumindo que todas as bandas têm distribuição normal, para calcular a probabilidade de um dado pixel pertencer a uma classe específica" (INPE, 2006). A imagem resultante da classificação pode ser vista na Figura 04. Ao final, foram discriminados vários afloramentos de rochas calcárias, ocupando uma porção considerável da área de estudos.

Foi observado o grau de acurácia das amostras, considerando um limiar de aceitação de 95%. O desempenho geral da classificação foi 88,21%, e a confusão média foi de 7,94%, o que significa dizer que houve, para as classes estabelecidas no presente estudo, baixo nível de confusão durante o processo de seleção de áreas de treinamento.

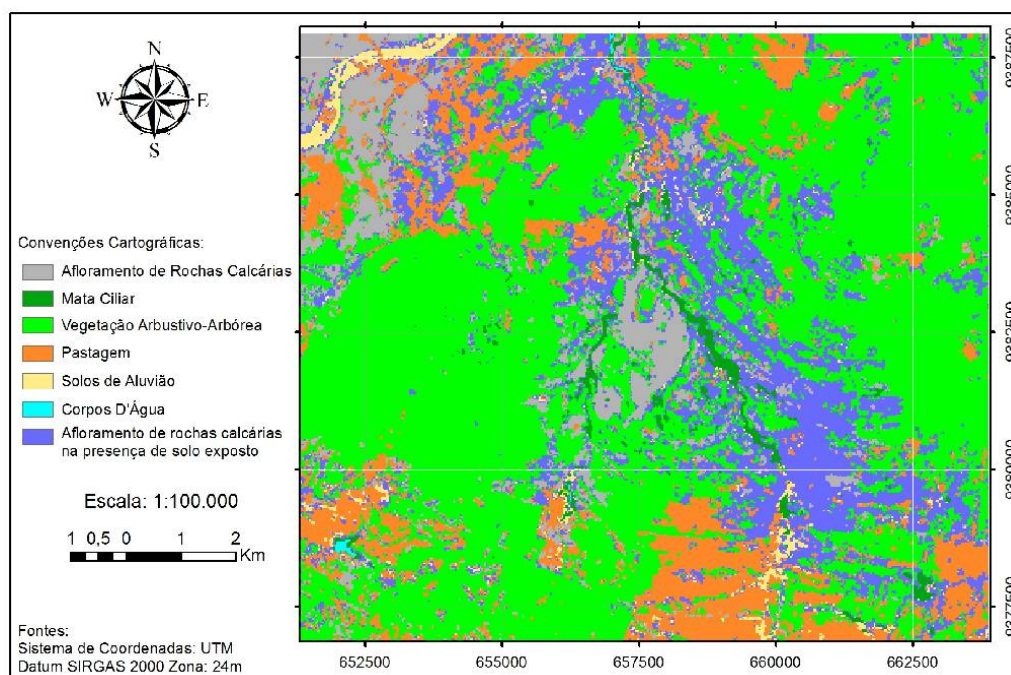


Figura 04 – Mapa resultante da classificação por máxima verossimilhança.

Para a classe "Afloramento de rocha calcária", a classificação teve um bom desempenho de 85,97%. A recorrente presença de espécies arbóreas em meio aos afloramentos não impede que estes tenham uma resposta espectral distinta, em termos de nível de cinza (Ponto 15 - Figura 03; Figura 05 B), como resultado da ampla distribuição areal da rocha calcária na superfície do terreno.

O desempenho da classe "Afloramento de rocha calcária na presença de solo exposto" foi de 69,32%. Estas áreas se caracterizam pela frequente mistura de solos, vegetação e rochas carbonáticas, fato que, em virtude da média resolução espacial de 30 metros da imagem LANDSAT/TM, acaba dificultando uma boa coleta de amostras de treinamento (Ponto 16, Figura 03; Figura 05 A).

O Coeficiente de Concordância *Tau* para a classificação foi de 86,25%. Este valor indica nível satisfatório de classificação dos elementos da área e evidencia uma boa relação entre a análise exploratória, as correções e realces aplicados à imagem, subsidiada pelas observações de campo.

Em seguida, aplicou-se à imagem classificada um filtro para homogeneizar áreas de pixels aparentemente fora de contexto (pós-classificação). Depois, fez-se a conversão da imagem no formato raster para o formato vetorial, com vistas a extrair as áreas de afloramentos de rochas carbonáticas e adicioná-las à base de dados do trabalho (Figura 06).

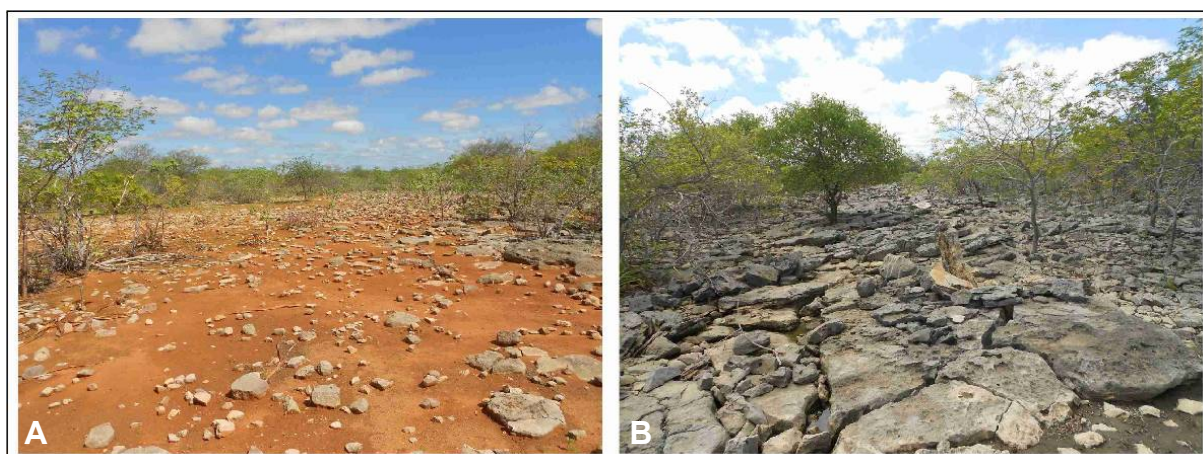


Figura 05 - (A) mostra solo parcialmente lateritizado, junto a afloramentos, blocos e fragmentos rolados de calcários nas imediações do ponto 16 da Figura 03; (B) afloramento em estágio menos intemperizado, bastante fraturado, na presença de espécies vegetais, correspondente ao ponto 15 da Figura 03.

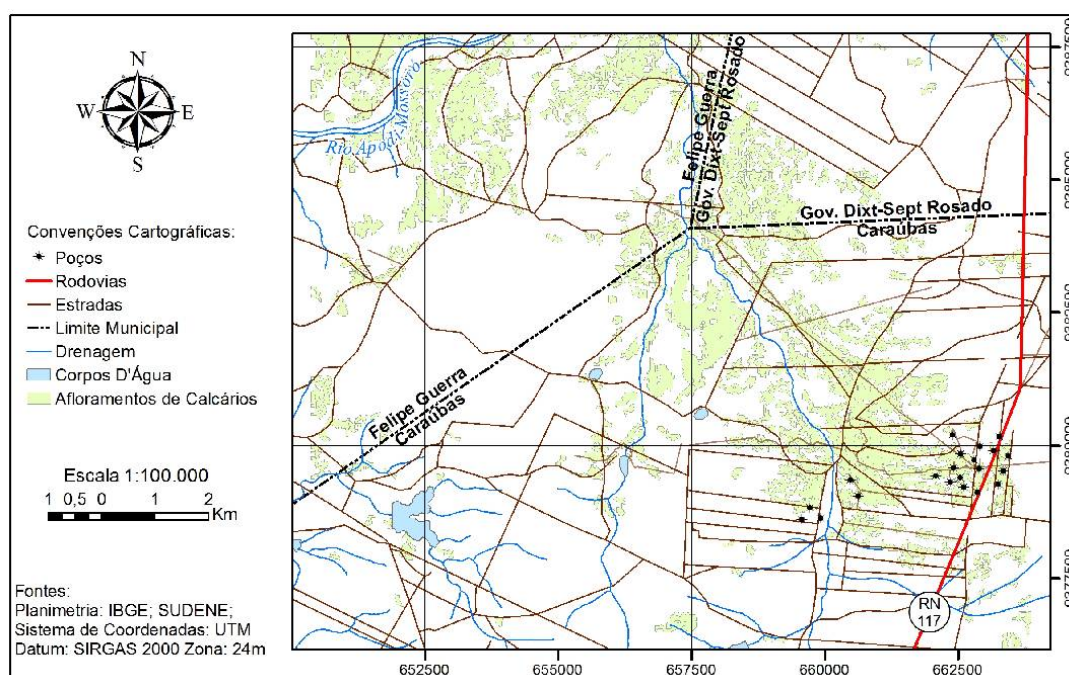


Figura 06 - Mapa com afloramentos de calcários resultantes da classificação da imagem LANDSAT.

## Conclusões

A imagem ETM+ apresentou bons resultados para trabalhos em escala regional e no limite da qualidade aceitável, para escala de maior detalhe. Muitos afloramentos só se tornaram perceptíveis após análise exploratória e tratamento da cena. Isto se deve à



média resolução espacial de 30 metros destas imagens. A discriminação de afloramentos de rochas carbonáticas em escalas médias continuará apresentando resultados satisfatórios, desde que a análise exploratória seja feita cuidadosamente.

No entanto, para escalas de maior detalhe e discriminação de alvos e objetos será necessário o uso de imagens de maior resolução espacial. A maior dificuldade encontrada foi na individualização e detalhamento de afloramento rochoso em meio a solos lateritizados, juntamente com vegetação de maior porte, mesclando e gerando localmente, na classificação, o efeito de *island theme* (*pixels* isolados).

## Referências

AULER, A.; RUBBIOLI, E.; BRANDI, R. **As grandes cavernas do Brasil**. Belo Horizonte, Grupo Bambuí de Pesquisas Espeleológicas, 228p, 2001.

ANGELIM, L. A. A.; ANGELIM, V. C.; NESI, J.R. 2006. Programa Geologia do Brasil – PLGB. Projeto Geologia e Recursos Minerais do Estado do Rio Grande do Norte. **Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Norte**. Escala. 01h50min. 000. Recife: CPRM/FAPERNA, 2006. 1mapa color.

ANTUNES, A. F. B.; LINGNAU, C. Uso dos Índices de Acurácia para Avaliação de Mapas temáticos obtidos por meios de classificação digital. **In: III Congresso e Feira para Usuário de geoprocessamento, 1997, Curitiba**. III Congresso e Feira para Usuário de geoprocessamento. Curitiba: Sagres, 1997.

BENTO, D. M. **Diversidade de invertebrados em cavernas calcárias do oeste potiguar: subsídios para a determinação de áreas prioritárias para conservação**. Dissertação de Mestrado em Ciências Biológicas, CB- UFRN. 160 p., 2011.

BERTANI, R. T.; NETO, A. F.A.; MATOS, R. M. D. **O habitat do petróleo e as perspectivas exploratórias da Bacia Potiguar emersa**. Boletim Geociências PETROBRAS. Rio de Janeiro, v.1(1): 41-49, maio/jul. 1987.

BERTANI, R. T.; COSTA, I. G.; MATOS, R.M.D. Evolução Tectono-Sedimentar, Estilo Estrutural e o Habitat do Petróleo na Bacia Potiguar. **In: Raja Gabaglia, G. P.; Milani, E. J. Origem e Evolução de Bacias Sedimentares**. Rio de Janeiro, PETROBRÁS. P. 291-310. 1990.

CÂMARA, Gilberto; SOUZA, Ricardo Cartaxo Modesto; FREITAS, Ubirajara Moura; GARRIDO, Juan; II, Fernando Mitsuo. **Spring: Integrating Remote Sensing and GIS by Object-Oriented Data Modelling**. Computers & Graphics, 20: (3) 395-403, May-June 1996.

CECAV/ICMBio - Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas. 2011a. **Base de Dados Geoespacializados de Cavidades Naturais Subterrâneas do CECAV**,

**situação em 01/01/2011.** Disponível em <[http://www.icmbio.gov.br/cecav/index.php?id\\_menu=228](http://www.icmbio.gov.br/cecav/index.php?id_menu=228)>. Acesso em 09 Fev. 2011a.

CECAV/RN. **Caracterização da Sensibilidade Ambiental e Mapeamento das Cavernas de Felipe Guerra e do Sítio Espeleológico da Furna Feia e Áreas Cársticas Adjacentes.** Relatório Técnico, Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas - Base Avançada Compartilhada no Rio Grande do Norte, 2011.

CRUZ, J.B.; BENTO, D. M.; BEZERRA, F. H. R.; FREITAS, J. I., CAMPOS, U. P., SANTOS, D. J. Diagnóstico Espeleológico do Rio Grande do Norte. **Revista Brasileira de Espeleologia** 01: 01-24, 2010.

FORD, D. C.; WILLIAMS, P. **Karst Hydrogeology and geomorphology.** London: J. Wiley. 601 p., 2007.

EMBRAPA. **Sistemas Orbitais de Monitoramento e Gestão Territorial.** Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2009. Disponível em: <<http://www.sat.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 29 jun. 2013.

IDEMA. **Anuário Estatístico do Rio Grande do Norte.** Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente do RN, 2007.

IBGE. **Introdução ao Processamento Digital de Imagens.** Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Divisão de Geociências do Nordeste. Rio de Janeiro, 2001.

INPE. **Tutorial de Geoprocessamento: Classificação de Imagens.** Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2006. Disponível em; <<http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/classific.html>> Acesso em 30 Jun. 2013.

KARMANN, Ivo. Ciclo da água: água subterrânea e sua ação geológica. In: TEIXEIRA, Wilson (Org.). **Decifrando a terra.** São Paulo: Oficina de Texto, 2001. p. 116-166.

MENESES, Paulo Roberto; ALMEIDA, Tatiane. Distorções e Correções dos Dados da Imagem. In: MENESES, Paulo Roberto; ALMEIDA, Tatiane (orgs.). **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto.** Universidade Federal Brasília, 2009.

PILÓ, L.B.; AULER, A. Introdução à Espeleologia. In: CECAV/ICMBio. **Apostila do I Curso de Espeleologia e Licenciamento Ambiental.** Brasília, DF, 177p., 2010.

SUDENE. **Carta Topográfica Apodi SB.24 X-C-VI.** Escala 1:100.000. SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE - Divisão de Recursos Naturais, 1982.

*Recebido em Maio de 2014.*

*Publicado em Junho de 2014.*