



## Processamento Digital de Imagens: Análise em Componentes Principais – ACP (Técnica de Crósta) e Razão de Bandas Landsat – TM para Realçar Mármore e/ou Minerais Carbonáticos do Município de Independência – CE

Elenilton Bezerra Uchôa<sup>a</sup> & Neivaldo Araújo Castro<sup>b</sup>

*Recebido em 14 de março de 2011 / Aceito em 19 de setembro de 2011*

### Resumo

O clima na região de Independência é árido/semi-árido com pobre cobertura vegetal. Estas características são favoráveis para uso de sensores remotos em geologia. A área está contida na Província Borborema (PB), no domínio Ceará Central, na qual é composto por paragnaisses, mármore e diques de composição riolítica, dacítica, traquítica, granítica e diorítica. Foram utilizados as bandas do sensor TM do Landsat 5 para realização deste trabalho, para isto foram feitos processamentos digitais de imagens de satélites, Análise em Componentes Principais – ACP (Técnica de Crósta) e Razão de Bandas, juntamente com trabalhos de campo, com o intuito de realçar rochas carbonáticas. Materiais carbonáticos foram realçados na 3ª CP que tem uma forte contribuição da banda TM7 (0.78) e na razão de bandas (TM5/TM7) / (TM7). Trabalhos de campo confirmaram estes resultados. ACP e Razão de Bandas espectrais integrados a trabalhos de campo podem ser utilizados para realce de áreas carbonáticas a nível regional.

Palavras-chave: mármore dolomítico, mapeamento geológico, processamento de imagens, exploração mineral.

### Abstract

*The climate of the region of Independência is arid/semi-arid with poor vegetation cover. These characteristics are favorable to works of remote sensing for geology. The area is contained in the Borborema Province (BP), in the center of Ceará, which is composed of metamorphic rocks (marls and gnaiss) of origin sedimentary and igneous rocks in the dykes form of riolitic, dacitic, traquitic, granitic and dioritic compositions. The bands of the visible, Near Infrared (VNIR) and Short Wave Infrared (SWIR) of the Thematic Mapper (TM) sensor of the Landsat-5 was utilized in this work. Used in this paper as Digital Image Processing (DIP), Principal Component Analysis – PCA and Ratio Bands for enhances minerals and/or carbonatic rocks, which was confront with data of field. The carbonates areas were enhanced in the PC 3 as this has higher loading of band TM7 (0.78) and ratio bands (TM5/TM7) / TM7 gives areas with bright pixels to carbonatic materials. The field work confirmed these results. Therefore, PCA and division spectral bands aided with data of field can be used for enhance areas rich in carbonate materials.*

*Keywords: dolomitic marl, geological mapping, image processing, mineral exploration.*

<sup>a</sup> Discente da Universidade Federal do Ceará – UFC Caixa Postal 128181 - 60455-780 - Fortaleza - Ce, Brasil. E-mail: elenilton22@yahoo.com.br, <sup>b</sup> Docente da Universidade Federal do Ceará – UFC. E-mail: neivaldoac@ufc.br

## 1. Introdução

A área de estudo encontra-se inserida na região centro-sudoeste do estado do Ceará a uma distância de 350 km da capital Fortaleza, no município de Independência, onde se encontra uma mina de extração de mármore dolomítico, atualmente em atividade (Fig. 1). O clima atuante na região é o semi-árido, e a vegetação predominante é a caatinga, com árvores caducifólias.

Aspectos fisiográficos favoráveis como estes citados, aliados às características geológicas e tipologia das mineralizações fazem com que uma região seja um bom local para o desenvolvimento de trabalhos de Sensoriamento Remoto voltados à Geologia (Ducart *et al.*, 2005).

Esta área abrange rochas metamórficas paraderivadas (mármore e gnaisses) dominando sobre as ortoderivadas. Possui rochas ígneas intrusivas na forma de diques e plútons de composições variadas, (Almeida *et al.*, 1977; 1981). O DTCC comporta basicamente o núcleo arqueano de Tróia-Pedra Branca-Mombaça, embasamento gnaissico paleoproterozóico, rochas supra-crustais neoproterozóicas, complexos granito-migmatíticos e granitóides de idade neoproterozóica, bem diferenciados na porção central deste domínio tectônico (Castro, 2004). Há na área de estudo, um enxame de diques de composição geralmente riolítica, espessura que variam de 1 a 70 m e apresentando uma direção predominantemente N 110°. Não há auréolas termais significantes associadas a estes corpos intrusivos (Almeida, 1987).

O quinto satélite da série Landsat (Landsat 5), que é usado neste trabalho, passou a contar com o sensor *Thematic Mapper* – TM, operando em 7 faixas espectrais, 3 na região do visível (TM1, TM2 e TM3) e 4 no infravermelho (TM4, TM5, TM6 e TM7). Com exceção à banda termal que possui uma resolução espacial de 120 m, todas as outras bandas têm 30 m o tamanho do pixel.

Uma das principais funções da Análise em Componentes Principais – ACP é determinar a extensão de correlação existente entre duas ou mais bandas e, através de uma transformação matemática, removê-la, ou seja, diminuir o armazenamento de dados (Crósta, 1993).

Com isso o principal foco da ACP é remover a redundância nos dados multiespectrais. Esta técnica vem sendo amplamente utilizada para mapeamento de feições de alteração hidrotermal em províncias metalogenéticas (Abrams *et al.*, 1983); (Kaufman, 1988); (Loughlin, 1991); (Bennett *et al.*, 1993); (Tangestani & Moore, 2001, 2002).

A razão entre bandas espectrais é a operação mais comum em processamento digital de imagens, na qual é bastante utilizada para identificar concentrações minerais, porque se as bandas a serem divididas forem selecionadas de forma a cobrir máximos e mínimos da curva espectral, elas podem ser combinadas em pares de razões, para realçar aspectos das assinaturas espectrais dos diferentes materiais (Crósta, 1993).

## 2. Geologia da Área

Geologicamente a região em questão está localizada na província estrutural da borborema (PB), entre os lineamentos transbrasilianos e Senador Pompeu, no DTCC. Este domínio é composto por quatro unidades litotectônicas maiores, o núcleo arqueano Tróia-Pedra Branca-Mombaça, embasamento gnaissico paleoproterozóico, rochas supra-crustais neoproterozóicas e complexos granito-migmatítico e granitóides de idade neoproterozóica representados pelo batólito Santa Quitéria, batólito Quixadá-Quixeramobim e núcleo granítico-migmatítico de Maranguape, (Castro, 2004).

Um enxame de corpos intrusivos na forma de diques está presente na área. São diques predominantemente diferenciados, subparalelos e com direção média de N 110°. Possuem como composições predominantes, dacíticas, riódacíticas, traquíticas, riolíticas, andesíticas, dioríticas (mais raras), lamprofíricas e microgranitos com uma espessura variada, entre 1 e 70 m. Pelo fato destes corpos serem relativamente pouco espessos, não são responsáveis por auréolas de metamorfismo significativas, (Almeida, 1987) e (Cavalcante *et al.*, 2003).

Há um zoneamento metamórfico inverso em rochas paraderivadas presentes no trecho entre Ematuba e Independência. Tal gradiente é marcado

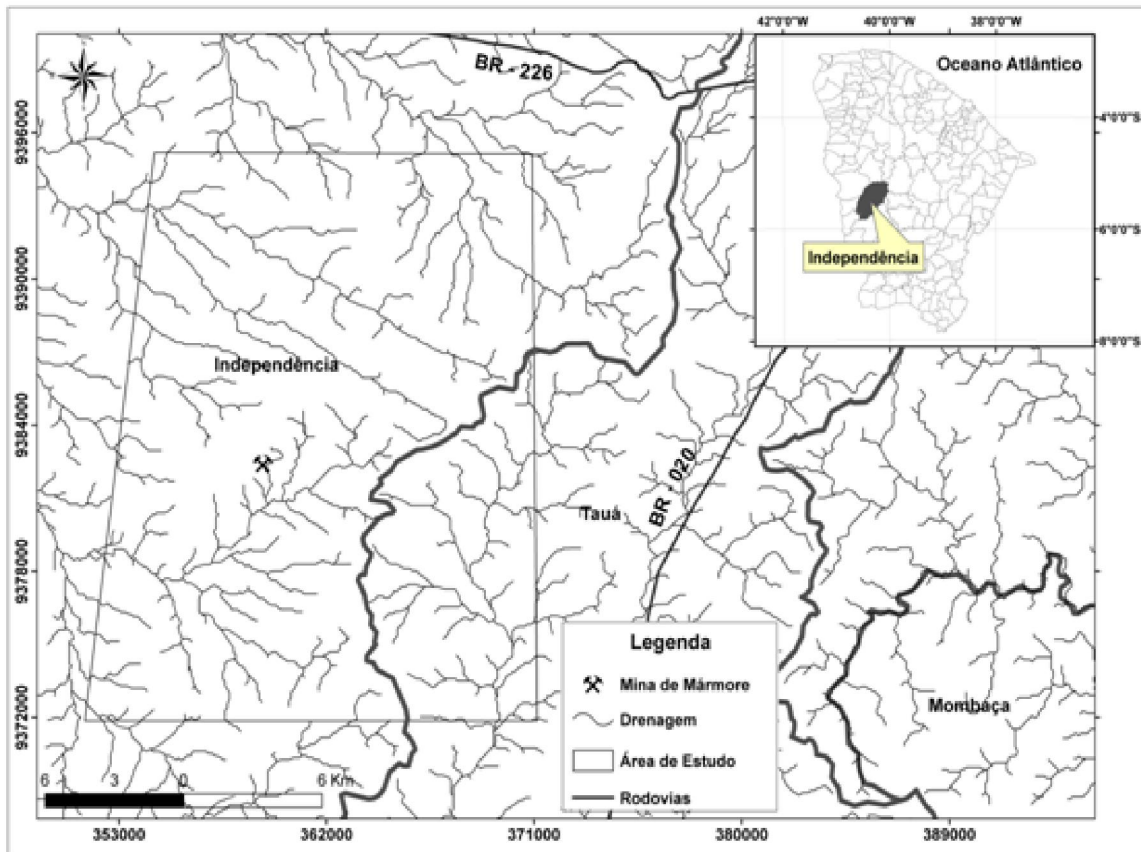


Fig. 1. Mapa de localização mostrando a área de estudo, rede de drenagem, vias de acesso e a mina de extração de mármore dolomítico de Independência.

pela passagem sucessiva das isógradas da estauroлита (aproximadamente 15 km a Sul da cidade de Independência), da cianita e da cianita + silimanita chegando a atingir a isógrada da anatexia (silimanita + k-feldspatos) próximo à cidade de Ematuba, (Arthaud *et al.*, 1988).

O complexo Ceará, onde grande parte da área está inserido, é composto por paragneisses em níveis distintos de metamorfismo, incluindo ortogneisses ácidos e rochas metabásicas representadas por metagabros, anfíbolitos com ou sem granada e gnaisses de composição diorítica, associados ou não a enderbitos, metagabros e metaultramáficas serpentinizadas e xistificadas, lentes de quartzitos, metacalcários (calcíticos e dolomíticos), que são alvos de estudo, rochas calcissilicáticas, formações ferríferas e ferromagnesíferas, além de metaultramáficas, granulitos máficos, enderbitos e granitóides neoproterozóicos, cinzentos e rosados, gnaissificados ou não e, em parte facoidais. Na porção sudeste observa-se paragneisses e micaxistos

cianíticos, paragneisses e migmatitos apresentando lentes de anfíbolitos e metabasaltos, metagabros, metaultramáficas, metacalcários, micaxistos, gonditos e formações ferríferas, na qual fazem parte do complexo Cruzeta. A sw da área observa-se o complexo Tauá que é composto essencialmente por rochas híbridas de composições dioríticas, granodioríticas e graníticas, apresentando também algumas ocorrências de diques. (Cavalcante *et al.*, 2003). As principais litologias da região estudada são mostradas no mapa geológico da figura 2.

### 3. Métodos Aplicados

Com base na curval espectral de minerais carbonáticos (calcita e dolomita) (figura 3), (Gaffey, 1987) que ocorrem na área de estudo, foram feitas Análise em Componentes Principais – ACP, para o uso da técnica de Crósta e Razão nas bandas Landsat – TM, além de etapa de campo ao entorno da mina (Mineração Santa Maria – MSM), com objetivo de realçar minerais carbonáticos e dar suporte à mina de mármore dolomítico (MSM), no

que diz respeito à localização de possíveis alvos de rochas calcárias.

Foi utilizado um recorte da cena Landsat de órbita 217, ponto 064 que data de 18/08/2007. Nota-se que foi escolhida uma cena no período de estiagem, para que os alvos não fossem mascarados

com a vegetação, que geralmente é mais exuberante no primeiro semestre do ano, decorrente do período chuvoso no estado do Ceará. Para realização dos processamentos das imagens foi utilizado o *software* ENVI versão 4.5.

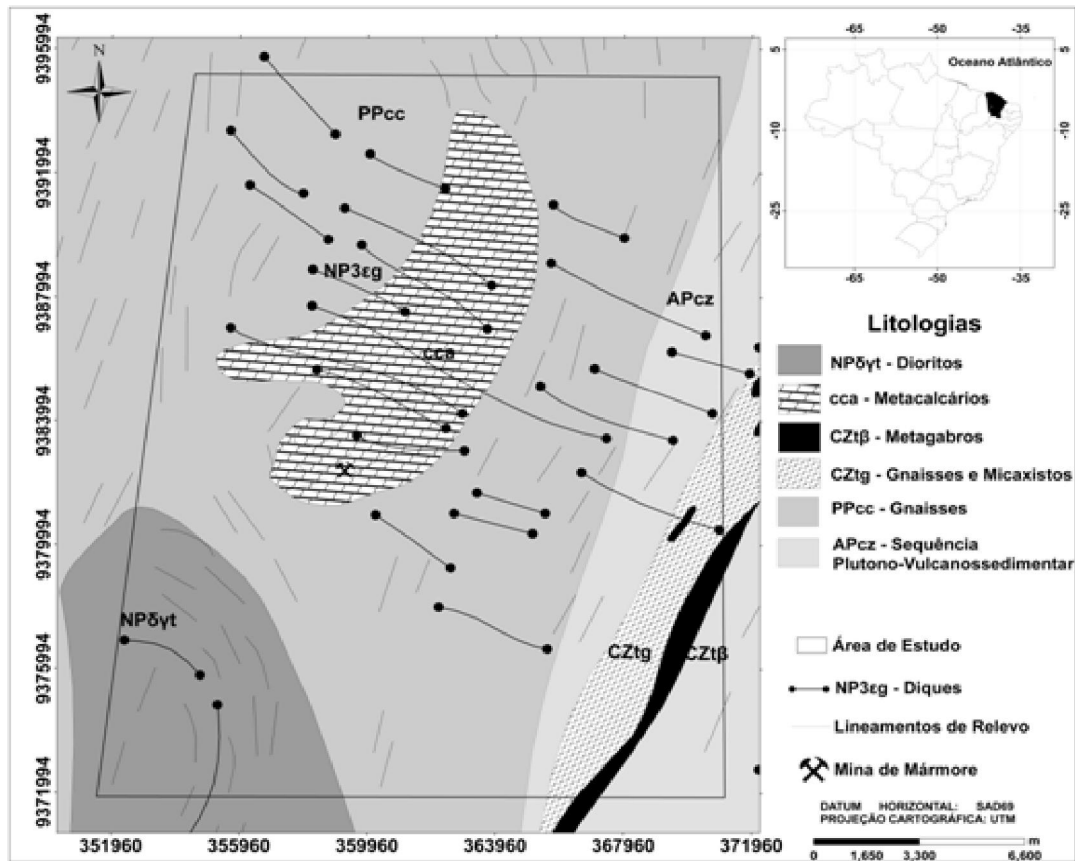


Fig. 2. Mapa geológico da área de estudo ressaltando as principais litologias e o enxame de diques de direção N 110°. Fonte: (Cavalcante et al., 2003).

### 3.1. Análise em Componentes Principais – ACP (Técnica de Crósta)

Este tipo de processamento vem sendo bastante utilizado para diversos fins, como: geologia, radar, geoquímica ou geofísica, em conjunto com imagens multiespectrais. O presente trabalho tem como foco para este processamento, selecionar as Componentes Principais, através dos *eigenvalues* e *eigenvectors* que guardem a informação para materiais carbonáticos, ou seja, com base no comportamento espectral destes minerais e faixas das bandas TM.

Os auto-valores ou do inglês *eigenvalues*, representam nada mais do que o comprimento dos eixos das Componentes Principais de uma imagem

e sua medida é dada em unidades de variância.

Associados a cada auto-valor estão os auto-vetores ou *eigenvectors*, que indicam as direções dos eixos das CPs. Os auto-vetores mostram o que cada banda original contribui para uma determinada CP, em uma combinação aditiva e linear (Crósta, 1993), que é mostrada abaixo:

$$CP1 = (B_1 \times e_{1,1}) + (B_2 \times e_{1,2}) + \dots + (B_n \times e_{1,n})$$

$$CPN = (B_1 \times e_{n,1}) + (B_2 \times e_{n,2}) + \dots + (B_n \times e_{n,n})$$

Onde  $CP1, \dots, CPN$  são as Componentes Principais,  $B_1, \dots, B_n$  são as bandas originais e os coeficientes  $e_{1,1}, \dots, e_{1,n} / e_{n,1}, \dots, e_{n,n}$  são os auto-vetores.

Vale ressaltar que o embasamento matemático e estatístico de Componentes Principais é muito mais complexo e foge um pouco do propósito do trabalho.

Serão escolhidas aquelas componentes que contenham as informações das bandas que trazem feições peculiares destes materiais, que são mais bem visualizados nos espectros da Figura 3.

Foram gerados duas ACP em dois conjuntos, com 3 bandas cada. Por isso, cada ACP gerou 3 Componentes Principais – CPs. A 1ª ACP foi gerada através das bandas (TM1, TM3 e TM4) e a 2ª com as bandas (TM3, TM5 e TM7). A escolha dessas bandas foi baseada na curva espectral dos materiais de interesse. Após o processamento analisou-se os dados estatísticos gerados (Tabelas 1 e 2), de forma a escolher a(s) CP(s) que trazem a informação dos carbonatos (Técnica de Crósta), através da análise espectral dos mesmos (Fig. 3).

(Ranjbar *et al.*, 2003) utilizaram a Técnica de Crósta para identificar zonas de alteração hidrotermal, através da curva espectral de minerais hidratados secundários (alunita, caulinita, illita e Montmorilonita), e zonas ricas em óxidos de ferro, com o propósito de localizar depósitos minerais associados a estas feições.

Portanto, as estatísticas Componentes Principais *eigenvectors* e os *eigenvalues* foram calculados, para o presente trabalho.

### 3.2. Razão de Bandas

Utilizaram Razão de bandas do infravermelho de ondas curtas (SWIR) para identificar e diferenciar litologias, já que muitos minerais formadores de rochas apresentam picos de absorção e reflectância característicos das regiões do espectro eletromagnético (Sultan *et al.*, 1987) & (Yamaguchi, 1987).

Antes de se realizar um quociente de bandas é necessário corrigir o espalhamento atmosférico (*atmospheric scattering*). Caso o contrário os resultados podem ser comprometidos e não representarem os materiais de interesse. Para correção do espalhamento atmosférico foi utilizada a técnica denominada de subtração de pixel escuro (*Dark Subtraction*), que se baseia na subtração de

um valor de cinza que representaria o efeito de espalhamento, determinado para cada banda isolada.

Foi elaborada a razão  $(TM5/TM7) / (TM7)$ , já que, a banda 5 do SWIR possui uma alta refletância (80%) e na faixa da banda 7, também do SWIR, calcita e dolomita possuem uma forte absorção. Dividindo-se uma porção com alta reflectância de uma baixa, produz uma imagem com altos valores (pixels claros) para os materiais listados, isto é, dividindo um número alto de um número baixo, o resultado é um número alto.

Os resultados obtidos pelos métodos adotados (ACP e Razão) foram devidamente confrontados com dados adquiridos em campo, com o objetivo de verificar a veracidade dos processamentos realizados sobre as imagens.

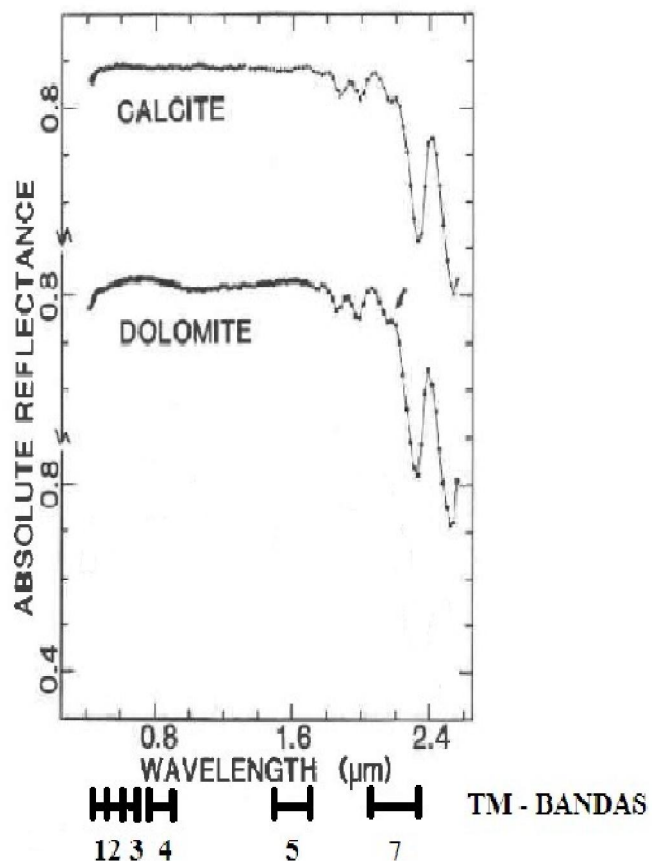


Fig. 3. Curvas espectrais de minerais carbonáticos com faixas das bandas refletidas do sensor Landsat – TM. Espectros deslocados verticalmente. Fonte: (Gaffey, 1987).

Tab. 1. *Mostrando as estatísticas básicas geradas pela ACP.*

	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Pad.
Banda 1	0	255.0	85.0	30.3
Banda 3	0	201.0	51.0	20.4
Banda 4	0	163.0	54.1	20.8
Banda 3	0	201.0	51.0	20.4
Banda 5	0	255.0	122.4	47.0
Banda 7	0	174.0	60.6	24.6

Tab. 2. *Posições em  $\mu\text{m}$  de algumas bandas de absorção de calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) e dolomita [ $\text{MgCa}(\text{CO}_3)_2$ ].*

Mineral	Banda 1	Banda 2	Banda 3	Banda 4	Banda 5	Banda 6	Banda 7
Calcita	2.535 $\mu\text{m}$	2.333 $\mu\text{m}$	2.261 $\mu\text{m}$	2.167 $\mu\text{m}$	1.991 $\mu\text{m}$	1.876 $\mu\text{m}$	1.763 $\mu\text{m}$
Dolomita	2.516 $\mu\text{m}$	2.319 $\mu\text{m}$	2.244 $\mu\text{m}$	2.165 $\mu\text{m}$	1.979 $\mu\text{m}$	1.862 $\mu\text{m}$	1.740 $\mu\text{m}$

Fonte: (Gaffey, 1987)

#### 4. Resultados e Discussão

A primeira Componente Principal (CP 1) das duas ACPs possuem cerca de 98 % da variância das bandas de cada conjunto. É nesta CP onde é observado o albedo e o sombreamento topográfico. A informação para minerais específicos dificilmente é individualizada na 1ª CP, porque esta possui uma combinação de todas as bandas, o que acarreta na não observação de feições peculiares, como de alguns minerais, que normalmente vão ser concentrados nas últimas CPs.

A vegetação é realçada na CP 2 do primeiro conjunto de bandas (Tab. 3.a), porque esta componente possui uma forte contribuição negativa (-0.79) da banda TM4 (VNIR), no entanto seria realçada em tons escuros, devido o sinal negativo. A CP 3 do segundo conjunto de bandas (Tab. 3.b) tem contribuição de (0.78) da banda TM7 (SWIR), por isso poderia realçar minerais de alteração hidrotermal em pixels escuros. Óxidos de ferros seriam supostamente individualizados (em pixels claros) na CP 3 da tabela 3.b, já que esta possui (0.58) da banda 3 (Ranjbar *et al.*, 2003).

No intervalo (2.0 – 2.5  $\mu\text{m}$ ), do infravermelho de ondas curtas (SWIR), minerais carbonáticos apresentam feições de absorção características, que são originadas de *overtone combination tones*, decorrente de excitações dos modos fundamentais do ânion bivalente  $\text{CO}_3^{2-}$  (Gaffey, 1987).

Para mais informações sobre as feições do espectro eletromagnético dos minerais carbonáticos (calcita, dolomita, magnesita siderita e etc) ler os trabalhos de (Hunt & Salisbury, 1971). Estes minerais, além de outras, têm uma forte banda de absorção na região da banda TM7 (Fig.3), representado na tabela 2 abaixo pela banda de absorção 2.

A CP 3 do segundo conjunto (Tab. 3.b) é a componente que possui a maior contribuição positiva da banda 7 (0.78), onde os minerais carbonáticos estudados têm feições de absorção (Tab. 2). A imagem gerada pela CP 3 neste processamento é a melhor CP para realçar carbonatos, no entanto, neste caso seria realçado em tons escuros.

Escolheu-se a composição RGB de CP 233 (CP2 da Tab. 3.a – CP3 da Tab. 3.b – CP3 da Tab. 3.a), com base nos *eigenvectors* mostrados na tabela 3, com o intuito de individualizar o quanto possível, a informação de interesse do trabalho, no entanto sabe-se que isto é uma tarefa complicada porque há muitos materiais superficiais com características espectrais semelhantes, o que acarreta no realce de feições indesejadas.

Minerais portadores do ânion  $\text{CO}_3^{2-}$  foram detectados pelo quociente (TM5/TM7) / (TM7). Esta divisão produz altos valores para minerais carbonáticos e para os diques da região, representado por pixels claros (Fig. 4). Esta imagem gerada pela razão de bandas trouxe bons resultados



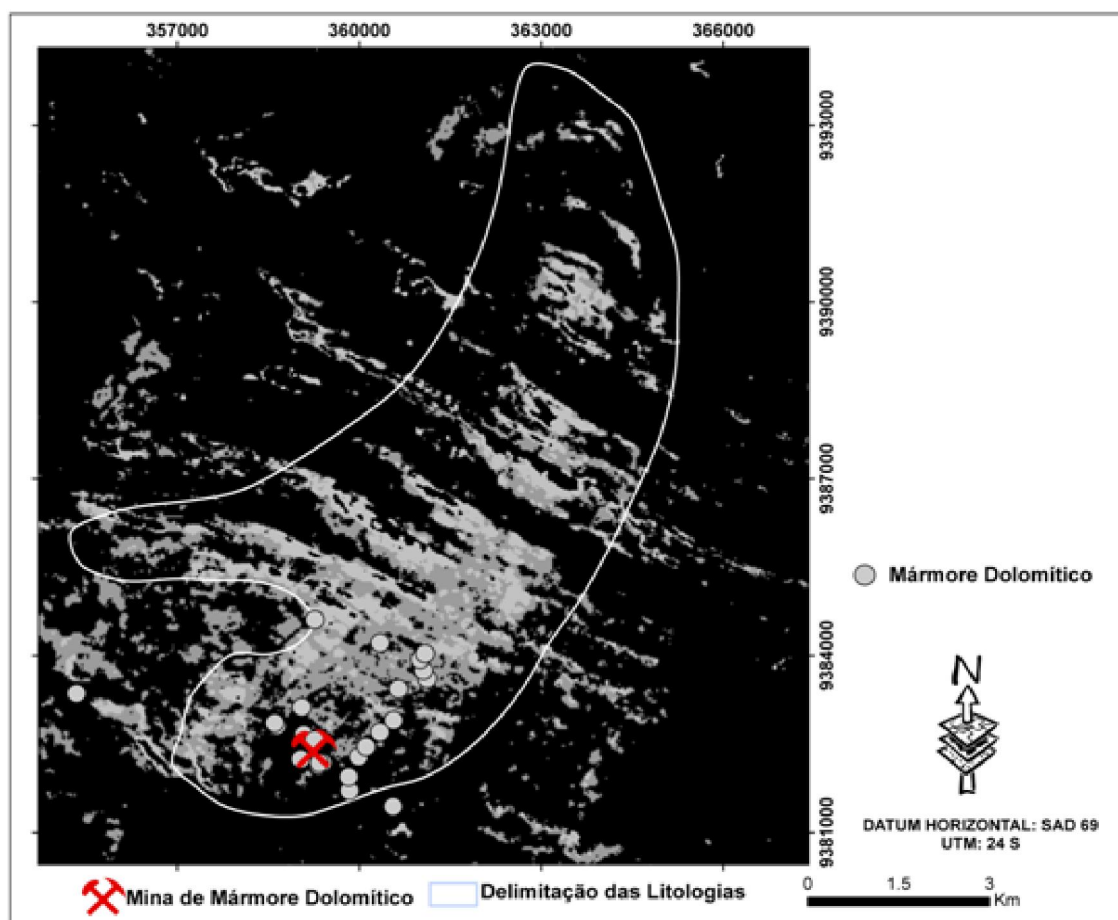
Tab. 3. Mostra a contribuição de cada banda para as CPs que foram geradas (eigenvectors).

a)	CP 1	CP 2	CP 3
TM1	0.58	0.58	0.58
TM3	0.79	-0.22	-0.57
TM4	0.20	-0.79	0.58

b)	CP 1	CP 2	CP 3
TM3	0.57	0.58	0.58
TM5	0.80	-0.54	-0.26
TM7	-0.16	-0.61	0.78

Fig. 4. Divisão Landsat – TM (18/08/2007),  $(TM5/TM7) / (TM7)$ . Ressalta carbonatos e os diques. Mostra também as principais litologias observadas em campo e o polígono de metacalcários.



## 5. Conclusões e Sugestões

O uso de imagens de satélite em estágios anteriores à exploração mineral tem sido muito útil para as empresas que exploram estes bens. Utilizou-se as bandas do Landsat - TM para individualizar áreas ricas em materiais carbonáticos no município de Independência - Ce. Foram aplicadas técnicas de ACP (Técnica de Crósta) e Razão de Bandas espectrais, além de análise de campo.

*Revista de Geologia, Vol. 24 (1), 2011*

Os carbonatos foram realçados na CP3 do segundo conjunto de ACP gerada e no quociente  $(TM5/TM7) / TM7$ , mas estes métodos realçaram algumas feições indesejadas, o que reflete a baixa resolução espectral do sensor usado. Porém, observações de campo confirmaram as deduções para materiais carbonáticos, levantadas pelos processamentos realizados. Sugere-se aqui, o uso de sensores remotos com melhores resoluções espectrais, como o ASTER, para obtenção de melhores resultados.

Portanto, ACP e Razão de Bandas integrado a trabalhos de campo, apesar das limitações, são técnicas que podem ser utilizadas a nível regional para realçar materiais carbonáticos.

### Agradecimentos

Os autores almejam agradecer a Universidade Federal do Ceará – UFC, departamento de geologia e a Mineração Santa Maria – MSM pelo apoio logístico de campo.

### Referências Bibliográficas

- Abrams, M. J., Brown, L., Lepley, R., Sadowiski, P. Remote Sensing for Porphyry Copper Deposits in Southern Arizona. *Economic Geology*, v.78, p. 591-604, 1983.
- Almeida, A. R. de. Petrologia da Província Sub-vulcânica de Tauá e Independência – CE. 1987. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Geociências), Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 1987.
- Almeida, F. F. M.; Hasui, Y.; Brito Neves, B.B.; Fuck, R., 1977. **Províncias Estruturais Brasileiras**. In: VIII Simp. Geol. Nordeste, Campina Grande, Atas, p. 363-391.
- Almeida, F. F. M.; Hasui, Y.; Brito Neves, B.B.; Fuck, R. 1981. **Brazilian Structural Province**. *Earth Sci. Rev.*, 7: 1-29.
- Arthaud, M. H.; Hartmann, M. B.; Tagliani, T. R. m. metamorfismo Inverso na Porção Centro-Leste da Folha de Independência – CE. Suas Implicações Estruturais e Estratigráficas. *Revista de Geologia*, Fortaleza, v. 1, n. 1, p. 41-44, 1988.
- Bennett, S. A., Atkinson, W. W., Kruse, F. A. Use of Thematic Mapper Imagery to Identify Mineralization in The Santa Teresa District, Sonora, México. *International Geology Review*: v. 35, p. 1009-1029, 1993.
- Castro, N. A. Evolução Geológica Proterozóica da Região entre Madalena e Taperuaba Domínio Tectônico Ceará Central (Província Borborema). 2004. 221p. Tese (Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2004.
- Cavalcante, J. C. et al. Atlas Digital de Geologia e Recursos Minerais do Ceará. Fortaleza. 2003.
- Crósta, Á. P. 1993. *Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto*. São Paulo: Rev.Campinas, 1993. p.
- Ducart, D. F. ; Crósta, Á. P & Souza Filho, C. R. 2005. Mapeamento de Alteração Hidrotermal no Distrito Los Menucos, Argentina, por Meio de Imagens Multiespectrais ASTER. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 4057-4064.
- Gaffey, S. J. Spectral Reflectance of Carbonate Minerals in the Visible and Near Infrared (0.35-2.55  $\mu\text{m}$ ): Calcite, Aragonite and Dolomite. *American Mineralogist*, v. 71, p. 151-162, 1987.
- Hunt, G.R. & Salisbury, J. W. Visible and Near-Infrared Spectra of Minerals and Rocks: II. Carbonates. *Modern Geology*, Amsterdam, v.2, p.23-30, 1971.
- Kaufman, H. Mineral Exploration Along the Agaba-Levant Structure by Use of TM-Data Concepts, Processing and Results. *International Journal of Remote Sensing*, v. 9, p. 1630-1658, 1988.
- Loughlin, W. P. Principal Component Analysis for Alteration Mapping. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v. 57, p. 1163-1169, 1991.
- Ranjbar, H., Honarmand, M., Moezifar, Z. Application of the Crosta Technique for Porphyry Copper Alteration Mapping, Using ETM+ Data in the Southern Part of the Iranian Volcanic Sedimentary Belt. *Journal of Asian Earth Sciences*, v. 24, p. 237-243, 2003.
- Sultan, M., Arvidson, R.E., Sturchio, N.C. & Guiness, E.A. Lithological Mapping in Arid Region with Landsat Thematic Mapper Data: Meatiq Dome, Egypt. *Geological Society American Bulletin*, v.99, p.748-762, 1987.
- Tangestani, M. H., Moore, F. Comparison of Three principal Component Analysis Techniques to Porphyry Copper Alteration Mapping: A Case Study, Meiduk Area, Kerman, Iran. *Canadian Journal of Remote Sensing*, v. 27, p. 176-181, 2001.
- Tangestani, M. H., Moore, F. Porphyry Copper Alteration Mapping in Meiduk Area, Iran. *International Journal of Remote Sensing*, v. 23, p. 4815-4825, 2002.
- Yamaguchi, Y. Possible Techniques for Lithologic Discrimination Using the Short Wavelength Infrared Bands of the Japanese ERS-1. 1987.



