

Análise de imagens Landsat 8 e imageamento por drone para pesquisa mineral de rochas carbonáticas no município de Independência.

Analysis of Landsat 8 images and drone imaging for mineral exploration of carbonate rocks in the municipality of Independência.

Thiago Gomes Sousa^{1*}
Francisco Diones Oliveira Silva^{2**}

RESUMO

Este trabalho consiste na análise de imagens de satélite do tipo Landsat 8 e de imagens via drone com o objetivo de pesquisar rochas carbonáticas existentes em uma área específica da cidade de Independência — CE, que se estende por 130 hectares. Para o tratamento das imagens, foram aplicados métodos para aprimorar a imagem de satélite, utilizando o programa QGIS, com a técnica RGB (RED, GREEN, BLUE) e Razão de Bandas, que visam reduzir as reflectâncias atmosféricas e discriminar os erros espectrais, melhorando a identificação de corpos mineralógicos e suas litologias. Os métodos empregados apresentaram bons resultados, identificando os erros e evidenciando a presença dos corpos carbonáticos nas imagens tratadas com as bandas 642 e 42/52/56, que se mostraram as mais adequadas para esses resultados, assim como para os corpos de outras litologias encontradas nas proximidades dos corpos carbonáticos. Como comprovação da existência, as imagens de drone evidenciam os corpos carbonáticos, demonstrando suas feições cársticas.

Palavras-chave: razão de bandas; satélite; corpos carbonáticos.

ABSTRACT

This work consists of analyzing Landsat 8 satellite images and drone images with the objective of researching carbonate rocks in a specific area of the city of Independência — CE, which extends over 130 hectares. For image processing, methods were applied to enhance the satellite image using the QGIS program, employing the RGB (RED, GREEN, BLUE) technique and Band Ratio, aimed at reducing atmospheric reflectances and discriminating spectral errors, thereby improving the identification of mineralogical bodies and their lithologies. The methods used yielded good results, identifying errors and highlighting the presence of carbonate bodies in the processed images with bands 642 and 42/52/56, which proved to be the most suitable for these results, as well as for other lithological bodies found near the carbonate bodies. As proof of their existence, the drone images highlight the carbonate bodies, demonstrating their karst features.

Keywords: band ratio; satellite; carbonate bodies.

Data de Submissão: 14/03/2025.

Data de aprovação: 14/03/2025.

^{1*} Graduando em Engenharia de Minas pela Universidade Federal do Ceará, thiagoadm108@gmail.com.

^{2**}Professor magistério superior, Universidade Federal do Ceará - Campus Crateús.

1 INTRODUÇÃO

Os solos das regiões tropicais e subtropicais são geralmente ácidos, apresentando baixo teor de Cálcio (Ca) e alto índice de Alumínio (Al) em sua composição, o que gera uma deficiência de nutrientes e resulta na indisponibilidade dos principais elementos que contribuem para o fortalecimento e crescimento de plantios e vegetações nessas áreas. Esses elementos incluem N, P, K, Mg, S e Mo (Rodrighero et al., 2015).

Visando uma solução para essa adversidade, são adotadas medidas e técnicas naturais utilizadas como corretivos da acidez do solo, sendo o calcário dolomítico um dos mais eficazes na sua neutralização.

O calcário, uma rocha sedimentar cuja principal constituição mineralógica é a calcita (CaCO_3), é classificado como uma rocha carbonática, encontrada na natureza nas formas calcítica e dolomítica. A principal diferença entre elas reside nas porcentagens de óxido de magnésio (MgO): o dolomítico contém entre 12% e 25% de óxido de magnésio, enquanto o calcítico apresenta valores abaixo de 5% para MgO.

A área de estudo está situada na região oeste do estado do Ceará, a cerca de 350 km da capital, Fortaleza. O clima predominante é semiárido, e a vegetação principal é a caatinga. Na cidade de Independência, localiza-se um empreendimento mineiro chamado Mineração Santa Maria (MSM), que explora o calcário dolomítico.

Para a realização deste trabalho, cujo objetivo é o estudo de processamentos digitais de imagens de satélites por meio do sensoriamento remoto, utilizando composições de cores e razão de banda nos sensores OLI do Landsat 8, juntamente com trabalho de campo, para realçar rochas carbonáticas na área de estudo, com o intuito de comprovar a presença do mineral nessas regiões, através da integração de dados geológicos e imagens multiespectrais.

De acordo com Leite et al. (2012), as imagens obtidas por técnicas de sensoriamento remoto são processadas por meio do Processamento Digital de Imagem (PDI), cuja finalidade é facilitar as análises e interpretações das imagens, proporcionando assim uma melhoria no entendimento do usuário.

Segundo Crósta (1999), as imagens digitais são compostas por um conjunto discreto de elementos denominados pixels, distribuídos ao longo de uma grade regular. Essas imagens são representadas por uma matriz ou por uma função bidimensional discreta e não negativa, assumindo valores não nulos apenas em um conjunto finito de pontos. Ele ainda afirma que cada pixel possui valores numéricos que representam um nível de luminosidade ou refletância média de regiões do espectro eletromagnético. Esses valores são graficamente representados pelo nível de cinza, variando entre o branco e o preto.

Para Crósta (1999), o autor descreve a razão de bandas como uma divisão de imagens, cujo princípio de suas operações aritméticas é a divisão dos pixels entre duas bandas, com o objetivo de realçar intensamente as diferenças espectrais de um par de bandas, considerando os extremos branco e preto da distribuição de níveis de cinza que representam as maiores diferenças em reflectância entre as duas bandas em questão.

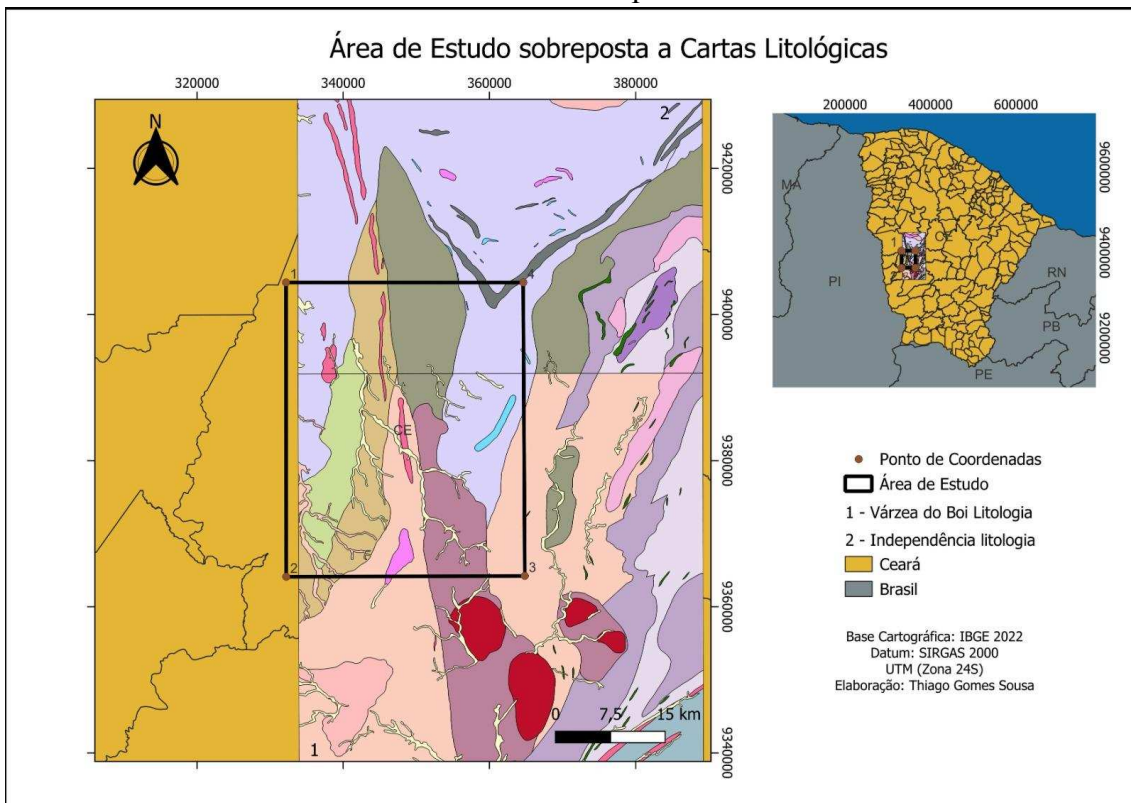
A razão de bandas espectrais utilizada em operações de processamento digital de imagens tende a identificar porções mineralógicas, através das bandas a serem divididas e selecionadas de forma a cobrir máximos e mínimos das curvas espectrais,

possibilitando, nas combinações em pares de razões, o realce das assinaturas espectrais dos diferentes materiais (CROSTA, 1993).

O tipo de drone utilizado para imageamento foi o DRONE DJI MINI 3 PRO, segundo a fabricante DJI sua lente, FOV: 82,1°, com formato equivalente a 24 mm, uma abertura de f/1,7, com foco de 1 m a ∞. Seu modo fotografia de 48 MP, resultando em imagens com o formato JPEG/DNG (RAW).

Cabe ressaltar que, como parte dos estudos geológicos, a cartografia de unidades litológicas foi utilizada para embasar a litologia do local de estudo, considerando os parâmetros das rochas e minerais a serem encontrados na região delimitada, dentre os quais os grupos e seus complexos são descritos: unidade Várzea do Boi e unidade Independência, incluindo o complexo Canindé do Ceará, o complexo Tamboril - Santa Quitéria e os Dioritos Tauá. Abaixo, seguem as imagens das duas cartas geológicas utilizadas no estudo, que estão em uma escala de 1:100.000. O site utilizado para download das imagens abaixo é o CPRM - GeoSGB.

Figura 01: Mapa representativo da área de estudo sobre as folhas litológicas Várzea do Boi e Independência..



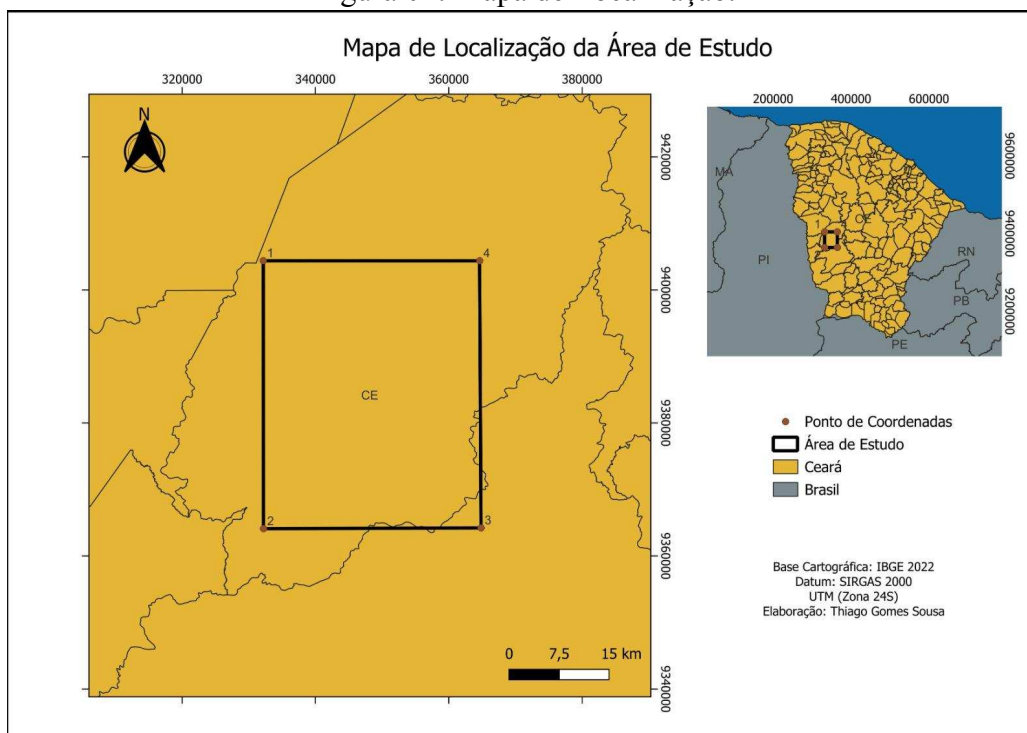
Fonte: CPRM - GeoSGB, 2011

2 ÁREA DE ESTUDO

A área localiza-se no centro-oeste do estado do Ceará, com predominância no município de Independência, porém com ênfase nos corpos carbonáticos situados a cerca de 30 km da sede. Essa área pertence à empresa Mineração Santa Maria (MSM), localizada no distrito de Iapi. O empreendimento mineiro explora o calcário dolomítico e, atualmente, a empresa está em atividade. Vale ressaltar que o estudo abrange não apenas a área de propriedade da empresa, mas também regiões vizinhas.

A imagem abaixo ilustra o polígono da área estudada, que totaliza 130 hectares. Os pontos de coordenadas que delimitam a poligonal estão descritos na tabela 01:

Figura 02: Mapa de Localização.



Fonte: Autor (2024).

Tabela 01: Pontos que delimitam a área de estudo.

Coordenadas dos Pontos X e Y (UTM)			
Ponto 1 - Sup. Esquerdo		Ponto 4 - Sup. Direito	
x	y	x	y
332103,05	9404506,79	364620,26	9404506,79
Ponto 2 - Inf. Esquerdo		Ponto 3 - Inf. Direito	
x	y	x	y
332103,05	9363979,82	364620,26	9363979,82

Fonte: Autor 2025

2.1 Geologia da Área

Localizada no município de Independência, a área estudada está inserida na província estrutural da Borborema (PB), entre os lineamentos transbrasileiros e Senador Pompeu, no DTCC – Domínio Tectônico Ceará Central. Este domínio é composto por quatro unidades lito-tectônicas principais, tendo em seu núcleo arqueano (Tróia-Pedra e Branca-Mombaça), seu embasamento gnáissico paleoproterozoico, rochas supra-cristais neoproterozoicas e complexos granito-migmatíticos e granitoides de idade neoproterozoica, representados pelo batólito Santa Quitéria, batólito Quixadá-Quixeramobim e núcleo granítico-migmatítico de Maranguape (CASTRO, 2005).

3. METODOLOGIA

O estudo baseia-se no processamento de imagens via satélite, caracterizando o sensoriamento remoto, tratando as imagens e reduzindo quaisquer interferências espaciais e temporais, com a finalidade de identificar corpos litológicos, com ênfase nos corpos carbonáticos. Em seguida, as imagens produzidas foram interpretadas utilizando o software QGIS 3.18. As imagens de satélite utilizadas foram obtidas do portal USGS, empregando o satélite do tipo Landsat 8, com a cena 218/064 do dia 29/11/2023, para compor as bandas de imagens criadas, tratando-as de forma individual, banda por banda.

As imagens geradas por satélites cobrem uma vasta área; assim, foi delimitada uma poligonal com um total de 130 hectares. A definição dessa região provém do empreendimento mineiro localizado no município de Independência, cujo principal minério é o calcário dolomítico. O objetivo é determinar os corpos litológicos próximos à mineradora e a extensão dos corpos carbonáticos na região.

Para o tratamento das imagens, foram utilizadas técnicas de melhoramento do tipo SCP (SemiAutomatic Classification Plugin), cujo princípio é a correção dos efeitos atmosféricos nas imagens de satélites (NUNES, 2019).

Com a aplicação da técnica nas imagens, resultam os seguintes processos: nas correções atmosféricas, eliminando a dispersão da radiação e aprimorando a qualidade e clareza, tornando as análises das rochas mais visíveis. Na melhoria da reflectância, cria-se uma maior nitidez. Além disso, o módulo SCP manipula as imagens, criando camadas de raster virtual do tipo “band set”, um recorte das bandas a partir de uma área vasta para uma área menor, proporcionando uma melhoria no processamento das imagens.

Outra técnica utilizada para melhorar o contraste é a de estiramento, cujo processo consiste em estender os valores dos números digitais entre os mínimos e máximos, facilitando a observação das litologias. A técnica utiliza composições coloridas do tipo Red, Green, Blue (RGB) e razões de bandas, permitindo a distinção da litologia e o entendimento das zonas de alteração. As bandas utilizadas nas composições RGB foram 652, 742 e 642 do Landsat 8. Para compor as imagens de razões de bandas, foram utilizadas as razões 4/1, 4/6 e 5/6 para formar uma imagem, e as razões 6/5, 6/2 e 5/8 para criar outra imagem.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As imagens projetadas do Landsat 8, sobrepostas a imagens dos mapas cartográficos, ilustram cada litologia das unidades em seus complexos inseridos. Cabe ressaltar que as imagens foram tratadas com composições RGB e razões de bandas, com o intuito de reduzir as interferências atmosféricas e melhorar a resolução, aprimorando as cores e brilhos existentes nas feições da superfície.

4.1. Composições RGB

Com a utilização do software QGIS e da técnica de composição colorida, foi possível criar imagens das bandas espectrais em cores ternárias RGB (vermelho, verde e azul), utilizando as bandas 652, 742 e 642 do Landsat 8, proporcionando um aprimoramento das imagens, reduzindo os erros atmosféricos e os efeitos das nuvens, com a finalidade de identificar os corpos presentes na litologia da região.

As imagens ilustram diferentes tipos de corpos presentes na litologia, com ênfase nos corpos carbonáticos, que se caracterizam por uma coloração mais escura, apresentando tons que variam do preto ao cinza e ao verde.

Os valores que representam as respostas espectrais dos corpos carbonáticos mostram elevações em cores mais escuras (em tons de preto) em suas partes mais altas, enquanto nas partes mais baixas, observam-se tons mais esverdeados.

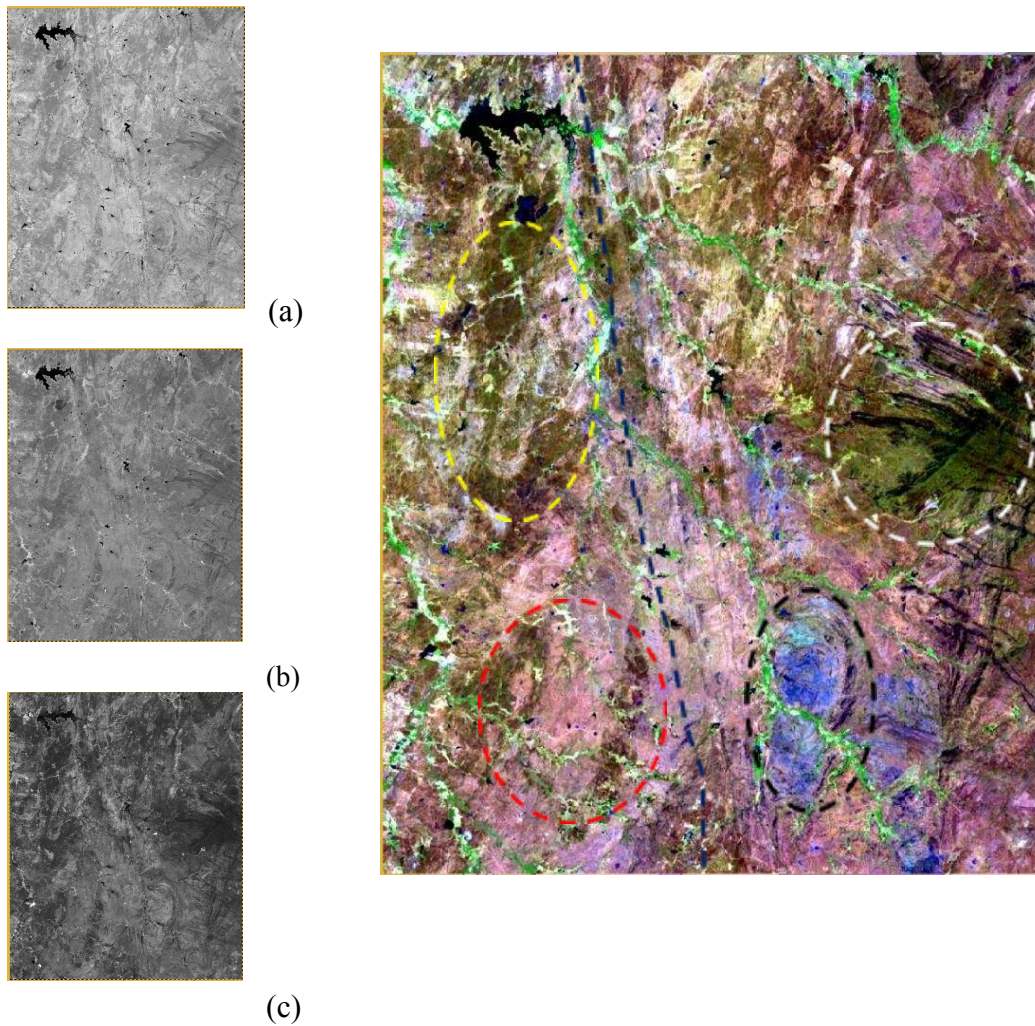
Para facilitar a identificação da presença dos corpos carbonáticos, em relação às suas cores e feições litológicas, as características descritas acima foram analisadas em 3 imagens nas bandas ternárias, utilizando a técnica de composição colorida RGB.

A figura 3 exibe a composição 652, onde, no círculo branco, são ilustrados em cores que vão do verde escuro ao preto, os corpos carbonáticos na região. Suas zonas de diques se estendem na direção noroeste a sudeste, pertencendo ao complexo Canindé do Ceará, que contém paragneisses granadíferos de granulação fina a grossa, rochas calciossilicáticas e ca-metacarbonatos. Mais abaixo, em tons azul-violetas, circulado na cor preta, encontra-se o complexo dioritos Tauá, uma associação magmática diorítica a granodiorítica com tonalitos subordinados, localmente gradando para gabros.

O tracejado em azul, que se estende de norte a sul da imagem, representa a zona de cisalhamento transcorrente sinistral. No círculo em vermelho, as cores em salmão caracterizam o complexo Tamboril - Santa Quitéria, composto por rochas do tipo quartzo-feldspáticas de composição granítica, granodiorítica, quartzo monzonítica e quartzo sienítica. Por fim, no tracejado em amarelo, está o complexo Canindé do Ceará, que apresenta cores verdes escuras e uma tonalidade salmão, caracterizando paragneisses granadíferos migmatizados, silimanita-muscovita, biotita, xisto com andaluzita, gnaisses de cianita-granada-biotita e xisto de quartzo-plagioclásio-biotita, quartzitos sericíticos, metacalcário e lentes de metabásicas (retroeclogitos) e leptinitos, com um metamorfismo nas fácies de anfibolito médio a alto e eclogito, tendo como prováveis protólitos pelitos, semipelitos, grauvacas, arcósios, calcários e arenitos. Por fim, a coloração mais esverdeada indica a presença de ortogneisses estromáticos, dobrados, ptigmáticos e rompidos. Localmente, associam-se a leucogneisses,

metaultramáficas e pegmatitos, além de horizontes de paragnaisses granadíferos, (CAVALCANTI - 2015).

Figura 03: Conjunto de imagens para formação da composição 652, em (a) banda 6, em (b) banda 5 e em (c) banda 2.

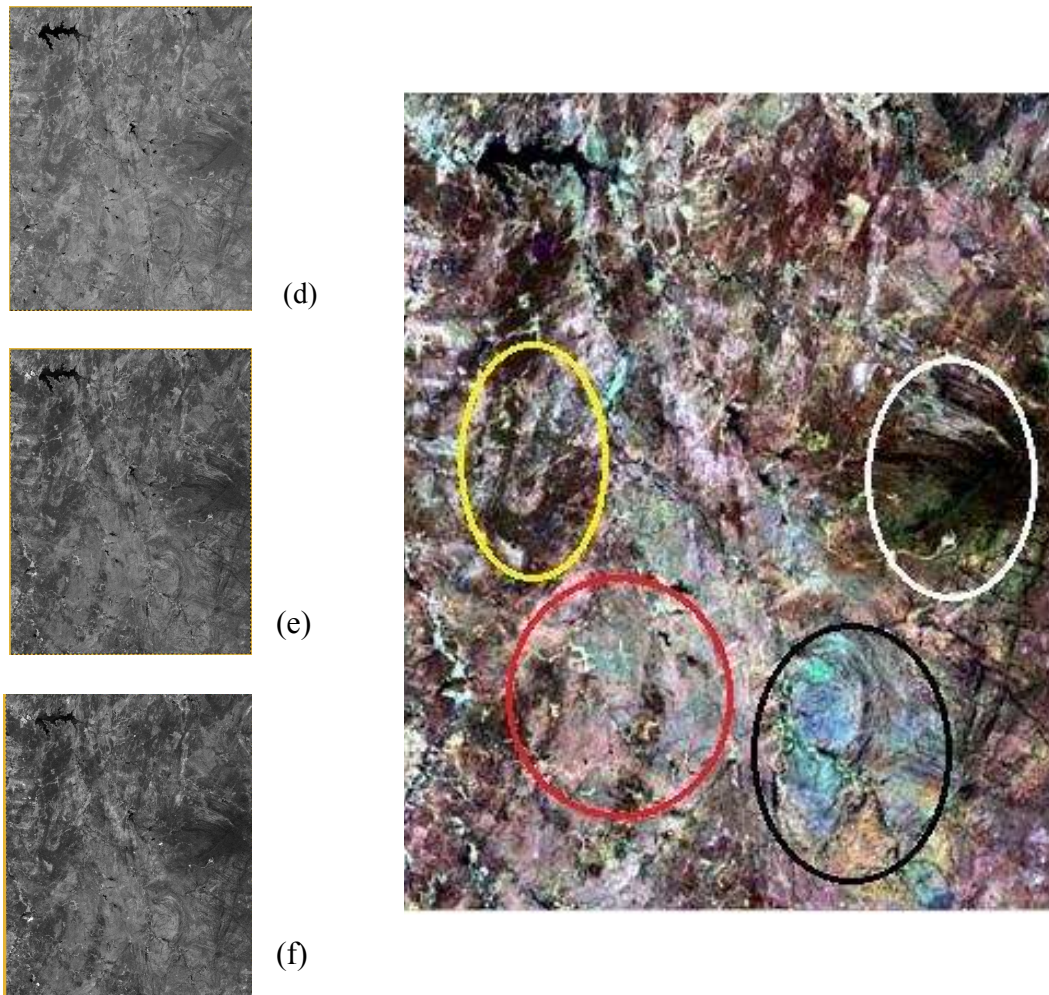


Fonte: Autor 2025.

A figura 4, com a composição das bandas espectrais 742, apresenta uma imagem com tons mais escuros na região onde predominam as rochas carbonáticas, cujas feições e traços são menos detalhados do que na figura 1. No círculo preto, está a formação dioritos Tauá, com tonalidades azuis representando a associação magmática diorítica a granodiorítica, com tonalitos subordinados, localmente gradando para gabros. Essa formação é circulado em vermelho e é bem visível nas duas imagens (1 e 2). A coloração salmão descreve a unidade Complexo Tamboril - Santa Quitéria, sendo o grupo determinante os diatexitos, rochas quartzo-feldspáticas de composição granítica, granodiorítica, quartzo monzonítica e quartzo sienítica, com enclaves de ortognaisses, anfíbolitos e rochas cálcio-silicáticas, apresentando estruturas nebulíticas e falhas.

Localmente, ocorrem metatexitos e granitos na forma de diques. No círculo amarelo, a composição de cores mais escuras e um rosa salmão representa o complexo Canindé, com predominância de paragnaisses do tipo granatíferos migmatizados, contendo biotita, xisto, quartzo e ortognaisses, com uma composição granodiorítica, (CAVALCANTI - 2015).

Figura 04: Conjunto de imagens para formação da composição 742, em (d) banda 7, em (e) banda 4 e em (f) banda 2.

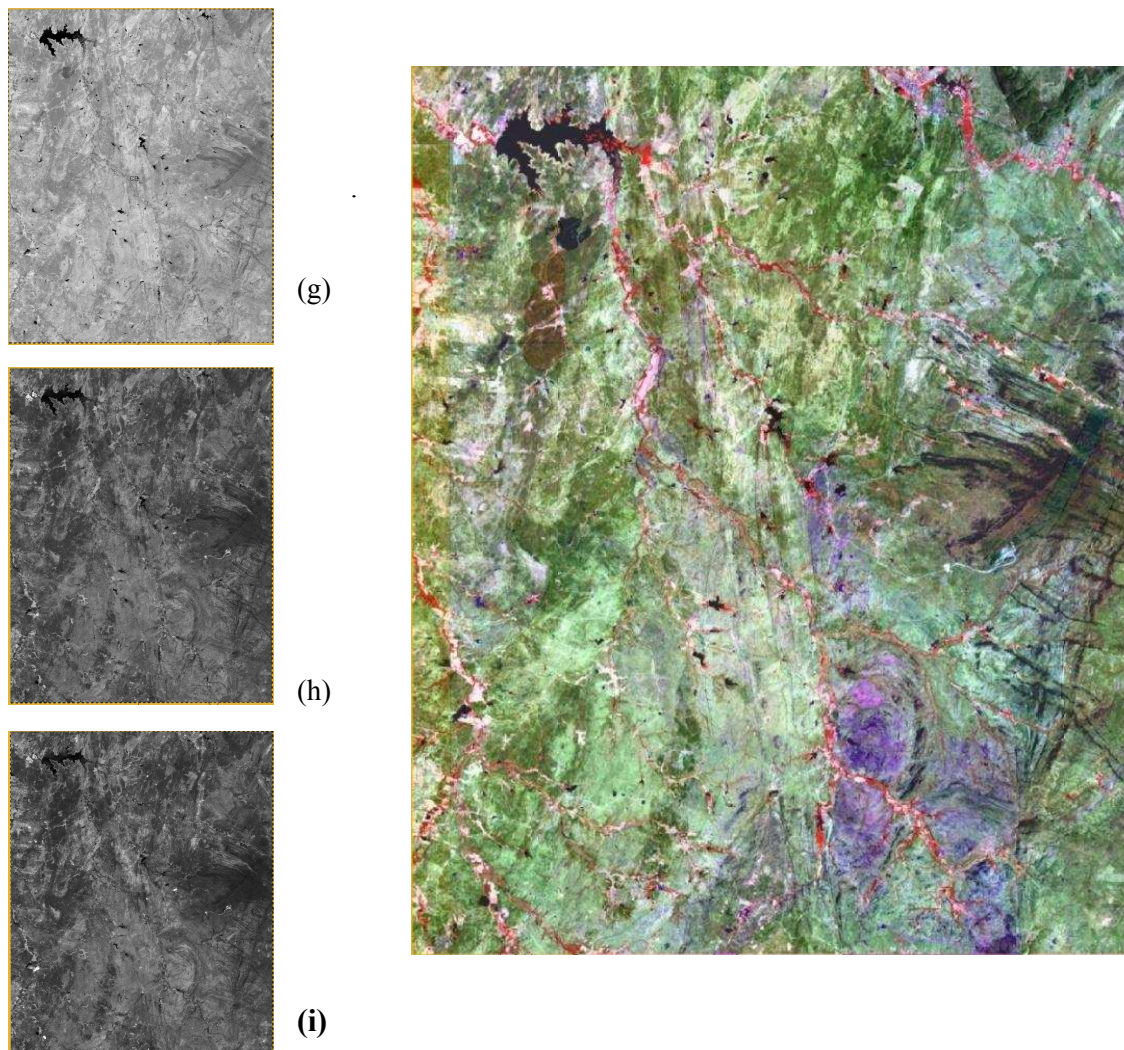


Fonte: Autor 2025

A formação da figura 5 ocorreu pela banda 642, cuja coloração não se assemelha às imagens anteriores. Contudo, no complexo do Canindé, Ceará, onde as feições carbonáticas estão presentes, manteve a coloração escura, caracterizando a presença dos corpos carbonáticos naquela região. Esse complexo exhibe a formação de paragnaisses, com rochas calciossilicáticas, anfibolitos, gonditos, formações manganésíferas bandadas, pegmatitos com muscovita, granada e turmalina, além de horizontes de ortognaisses cinzentos e ca-metacarbonatos. Na região da unidade Dioritos Tauá, a coloração é violeta, enquanto o Complexo Tamboril - Santa Quitéria apresenta uma coloração verde clara, unidade que destaca os diatexitos, com rochas na composição de quartzo-feldspáticas, quartzo monzonítica e quartzo sienítica. No complexo Canindé do

Ceará, a coloração verde predomina na área circulada, onde sua formação já foi descrita nas imagens anteriores, com predominância em paragnaisses e ortognaisses, (CAVALCANTI - 2015).

Figura 05: Bandas do landsat 8, para composição da imagem 642, em (g) banda 6, em (h) banda 4, em (i) banda 2.



Fonte: Autor 2025.

4.2. Razão de Banda

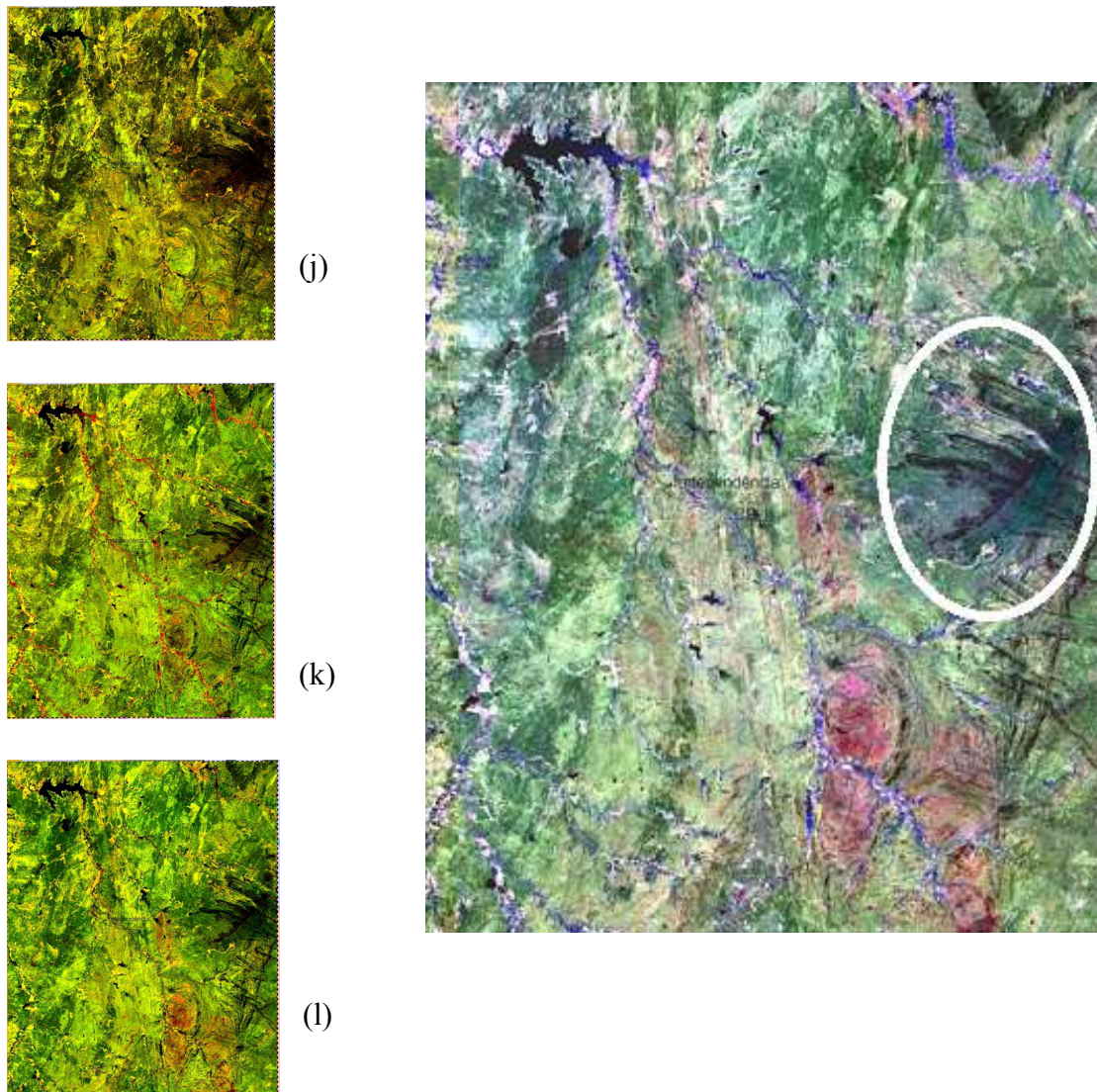
A razão de banda, consiste em realçar os alvos, eliminando diferentes materiais da superfície, analisando as características das curvas espectrais, onde os alvos adotados são posicionados em seus gradientes de reflectância ou de sua emissividade, ao longo do intervalo do espectro eletromagnético adotado, SORA (2018).

Segundo SESTINI (1999), a observação do comportamento espectral dos alvos de interesse, para o método de razão, da-se pela seleção das bandas visando seus valores

de máximos e mínimos de reflectância, a fim de expressar os gradientes da curva espectral dos objetos de interesse, assim, aprimorando o realce dos alvos.

Como forma de compor a imagem pelo método de razão de bandas, a primeira composição se deu pelas bandas 42/46/56, razões que discriminam a presença de concentrações anômalas de óxidos e hidróxidos de ferro.

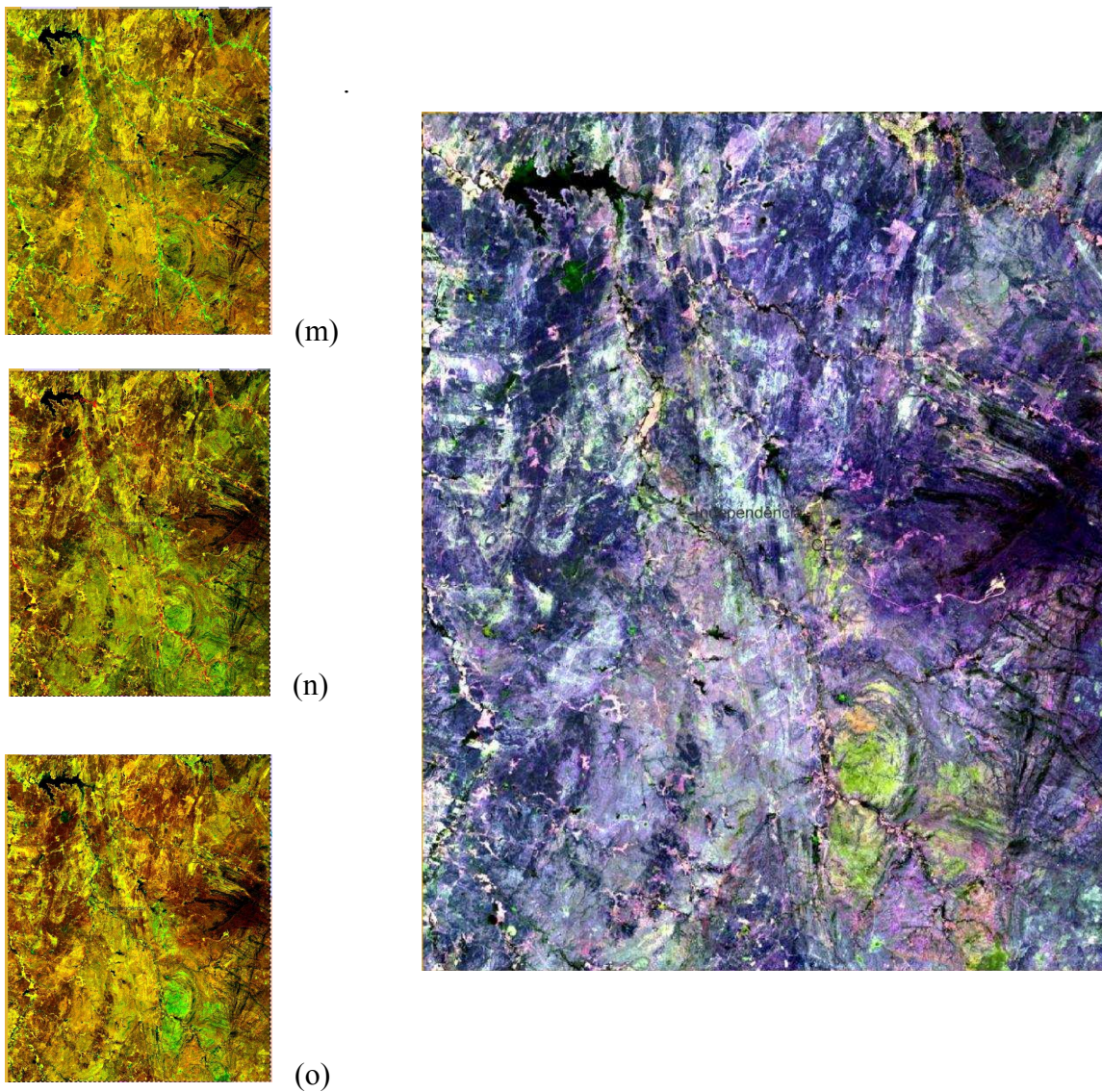
Figura 06: As bandas para composição das razões, em (j) bandas 4/2 , (k) bandas 4/6 e (l) bandas 5/6.



Fonte: Autor 2025.

A figura 06 na razão de banda 42/52/56 apresenta uma melhoria em relação às imagens do tipo RGB, cuja precisão é mais evidente na região dos carbonatos, circundada em branco, onde os corpos se estendem e sua forma é visível, revelando os traços da presença dos carbonatos.

Figura 07: As bandas para composição das razões, em (m) bandas 6/5, em (n) bandas 6/2 e em (o) bandas 5/8.



Fonte: Autor 2025.

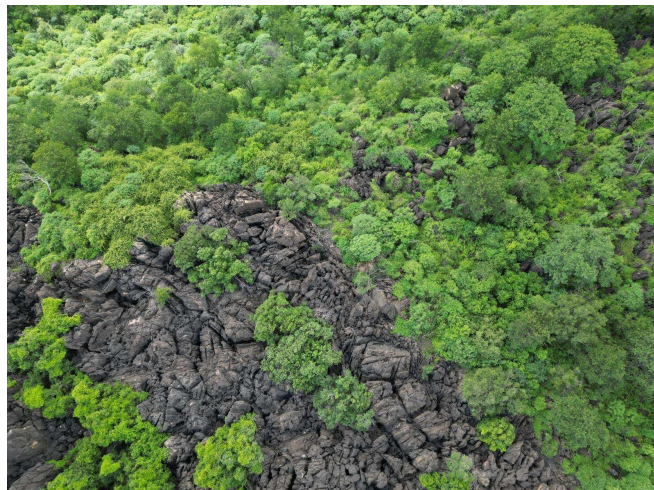
A figura 7, razão de bandas 65/62/5/8, não apresenta a mesma clareza e realces que a imagem 06, no entanto, é possível identificar a localização dos corpos carbonáticos na

imagem, devido à sua coloração mais escura. Contudo, seus realces em relação a outros corpos litológicos não se destacam, resultando em informações limitadas sobre a presença ou existência daquele corpo mineralógico.

4.3. Imagens aéreas

As imagens aéreas confirmam a presença dos carbonatos na região mencionada dentro da área de estudo, onde se destacam os relevos cársticos, com suas cores predominantemente pretas. Esses corpos carbonáticos se estendem por uma vasta área na região; as imagens foram capturadas nas proximidades do empreendimento mineiro Mineração Santa Maria. Assim, o estudo em campo corroborou a existência dos corpos carbonáticos.

Figuras 08, 09 e 10: Imagens aéreas dos corpos carbonáticos.



Fonte: Mineração Santa Maria (MSM).

5. CONCLUSÃO

Os métodos utilizados apresentaram bons resultados, com todas as imagens exibindo boa qualidade em relação à interferência atmosférica para a identificação dos corpos carbonáticos. Todas as imagens mostraram cores escuras, como preto e verde puxado para o cinza. Entre as imagens apresentadas em RGB, a que melhor destacou os corpos carbonáticos, com maior clareza e realces, foi a figura 5, utilizando as bandas 642, que apresentou melhores destaques em comparação às outras figuras que usaram o mesmo método. Em relação à imagem obtida pela técnica de razão de banda, a que apresentou melhores realces e qualidade de linhas e traços na formação do corpo carbonático foi a figura 06, com razões de 42/52/56, demonstrando resultados superiores, a técnica mostrou-se eficaz para a identificação de corpos carbonáticos.

Portanto, o uso de imagens de satélite na realização de pesquisas minerais demonstrou bons resultados, uma vez que as observações em campo confirmaram as deduções sobre a existência dos corpos carbonáticos. Dito isso, é viável realizar estudos de pesquisa mineral por meio das técnicas utilizadas, permitindo assim a identificação de corpos carbonáticos nas imagens geradas.

AGRADECIMENTOS

O autor agradece ao Higor geólogo da empresa Mineração Santa Maria (MSM) por disponibilizar as imagens aéreas de drone.

A UFC, por toda a minha graduação.

Ao meu orientador por todo esforço e dedicação na minha orientação.

TRABALHOS FUTUROS

Tratamentos de imagens com outras técnicas, como por exemplo, Aster, Análise de Componente Principal (ACP) para melhores definições e resoluções de imagens.

REFERÊNCIAS

CARVALHO, Antonia Elvira Gomes de Araújo. **Avaliação de aspectos quantitativos e qualitativos acerca do abastecimento de água na zona urbana do município de Independência-CE.** 2022.

CAVALCANTI, José Adilson Dias. **GEOLOGIA E RECURSOS MINERAIS DA FOLHA VÁRZEA DO BOI.** MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM, 2015.

CASTRO, Neivaldo Araujo de. **Evolução geológica proterozóica da região entre Madalena e Taparuaba, domínio tectônico Ceará Central (Província Borborema).** 2005

- CROSTA, Alvaro Pentead. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. UNICAMP/Instituto de Geociências, 1999.
- CROSTA, Á. P. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. São Paulo: Rev.Campinas, 1993.
- Especificações drone DJI Mini 3 Pro. *Suporte para o DJI Mini 3 Pro*. Disponível em: <https://www.dji.com/br/support/product/mini-3-pro>. Acesso em: 12 fev. 2025.
- GUPTA, R. P., Tiwari, R. K., Saini, V., & Srivastava, N. **A simplified approach for interpreting principal component images** (2013).
- LEITE, A. C. de S.; SENA, F. T. N. de S.; SANTIAGO NETO, B. J. **Técnicas de sensoriamento remoto na análise temporal para a gestão territorial do município de Timon - MA**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO, 4. 2012, Recife; UFPE, 2012.
- NUNES, Breno Yuri Costa et al. **Correção atmosférica de imagens do sensor WFI do CBERS-4 através do método dark object subtraction (DOS)**. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, v. 19, p. 935-938, 2019.
- RODRIGHERO, Maik Barbosa; BARTH, Gabriel; CAIRES, Eduardo Fávero. **Aplicação superficial de calcário com diferentes teores de magnésio e granulometrias em sistema plantio direto**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 2015.
- SARTORIO, Leticia Figueiredo et al. **Análise Comparativa Entre o Uso de Bandas Espectrais e o Uso da Análise de Componentes Principais (ACP) na Classificação de Uso e Cobertura da Terra**. Revista Brasileira de Cartografia, v. 75, 2023.
- SORA, António Mussaona et al. **INTEGRAÇÃO DE IMAGENS SATÉLITES PARA IDENTIFICAÇÃO DE ALTERAÇÕES NA SUÍTE CARBONATÍTICA DE XILUVO-NHAMATANDA**. Revista EDUCAmazônia - Educação Sociedade e Meio Ambiente, Humaitá. p 251 - 263. 2018.
- SESTINI, M.F. **Variáveis geomorfológicas no estudo de deslizamentos em Caraguatatuba – SP utilizando imagens TM-LANDSAT e SIG**. Dissertação (Mestrado), INPE, São José dos Campos, 1999.
- UCHÔA, Elenilton Bezerra; CASTRO, Neivaldo Araújo. **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 de município de independência–ce**. 2011.