

TÉCNICAS DE PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGEM PARA MAPEAMENTO GEOLÓGICO NO PARQUE NACIONAL DA SERRA DA BODOQUENA/MS

Aline Vargas de Moraes¹
Elisângela Martins de Carvalho²

RESUMO

O estudo emprega técnicas de processamento digital de imagens (PDI) e sensoriamento remoto para analisar a geologia do Parque Nacional da Serra da Bodoquena, visando identificar áreas de calcário exposto. Utilizando imagens do satélite Landsat 8 e técnicas como aumento de contraste e índice de vegetação (NDVI), o mapeamento destaca possíveis áreas calcárias. A Serra da Bodoquena, formada por calcários, apresenta relevos cársticos, como lapiás, influenciados pela interação das rochas carbonáticas com a água. O Parque é dividido em dois fragmentos norte e sul, e apresentam diferenças de exposição calcária devido a eventos tectônicos. A metodologia incluiu o ajuste de projeção e o recorte da geologia, bem como análise espectral nas bandas SWIR do Landsat 8. Os resultados destacam áreas potenciais de calcário, essenciais para pesquisas in loco, considerando a fragilidade ambiental. Salientando que o mapeamento dos calcários é importante para a compreensão dos padrões de dissolução e da evolução do ambiente cárstico da Serra da Bodoquena.

Palavras – chave: PDI, lapias, Parque Nacional da Serra da Bodoquena.

Abstract

The study employs digital image processing (DIP) techniques and remote sensing to analyze the geology of the Serra da Bodoquena National Park, aiming to identify areas of exposed limestone. Using Landsat 8 satellite images and techniques such as contrast enhancement and the normalized difference vegetation index (NDVI), the mapping highlights potential limestone areas. The Serra da Bodoquena, formed by limestone, features karstic reliefs, such as lapiaz, influenced by the interaction of carbonate rocks with water. The park is divided into two fragments, north and south, exhibiting differences in limestone exposure due to tectonic events. The methodology included projection adjustment, geology clipping, and spectral analysis in the Landsat 8 SWIR bands. The results emphasize potential limestone areas, crucial for on-site research, considering environmental fragility. It is noteworthy that limestone mapping is important for understanding dissolution patterns and the evolution of the karstic environment in the Serra da Bodoquena.

Keywords: DIP, lapiaz, Serra da Bodoquena National Park.

INTRODUÇÃO

O processamento digital de imagens (PDI) abrange um conjunto de técnicas que facilitam o reconhecimento e a extração de informações de imagens brutas obtidas por

¹Mestranda do Curso de geografia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, aline.vargas@ufms.br;

²Professora do Curso de geografia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, elisangela.carvalho@ufms.br.

sensoriamento remoto. Este processo pode melhorar a qualidade visual da imagem e fornecer suporte para a interpretação de elementos da superfície terrestre (CROÓSTA, 1992).

Utilizando imagens coletadas por meio de sensoriamento remoto junto ao PDI, podem ser destacados diversos elementos da superfície terrestre como rochas, solo, vegetação, corpos d'água, etc. Cada um desses elementos possui uma resposta espectral diferente, o que permite a análise comportamental da refletância e radiância do alvo a ser estudado (MENESES; ALMEIDA; BAPTISTA, 2019).

A análise da superfície terrestre por meio de imagens de satélite é importante, pois os sensores possuem diferentes bandas espectrais, incluindo o espectro visível, infravermelho e infravermelho de ondas curtas. Estas diferentes bandas de ondas permitem observações detalhadas da superfície terrestre e dos seus componentes (MIRANDA et al., 2016).

A combinação de imagens de sensoriamento remoto e processamento digital de imagens (PDI) fornecem informações de alta resolução que podem ser aplicadas em muitos campos, como planejamento urbano e ambiental, gestão do uso da terra e prevenção de desastres naturais.

A falta de produção de informações detalhadas do meio físico podem comprometer os recursos naturais. Muitas vezes, essas áreas são utilizadas de forma inadequada, sem o devido conhecimento das fragilidades e das leis de conservação, o que pode resultar em desequilíbrios ambientais.

Neste contexto, esse estudo tem o objetivo de contribuir para a compreensão do ambiente natural, especificamente da geologia do Parque Nacional da Serra Bodoquena. Para isso, serão aplicadas técnicas de processamento digital de imagens em imagens do sensor OLI do satélite Landsat 8.

O mapeamento visa à identificação de possíveis áreas de calcário exposto por meio da análise do comportamento espectral e que podem indicar a formação de lapiás que será conferida em uma posterior visita in loco.

Devido à constante visitação, são essenciais as pesquisas sobre o meio físico, o que contribuirá para a tomada de decisões sobre o uso e para o monitoramento de áreas com fragilidades naturais.

O Parque Nacional da Serra da Bodoquena (PNSBq) localiza-se no estado de Mato Grosso do Sul, é dividido em dois fragmentos (norte e sul) possuindo uma área total de 76.481 hectares e abrange os municípios de Bodoquena, Bonito e Jardim (Figura 1).

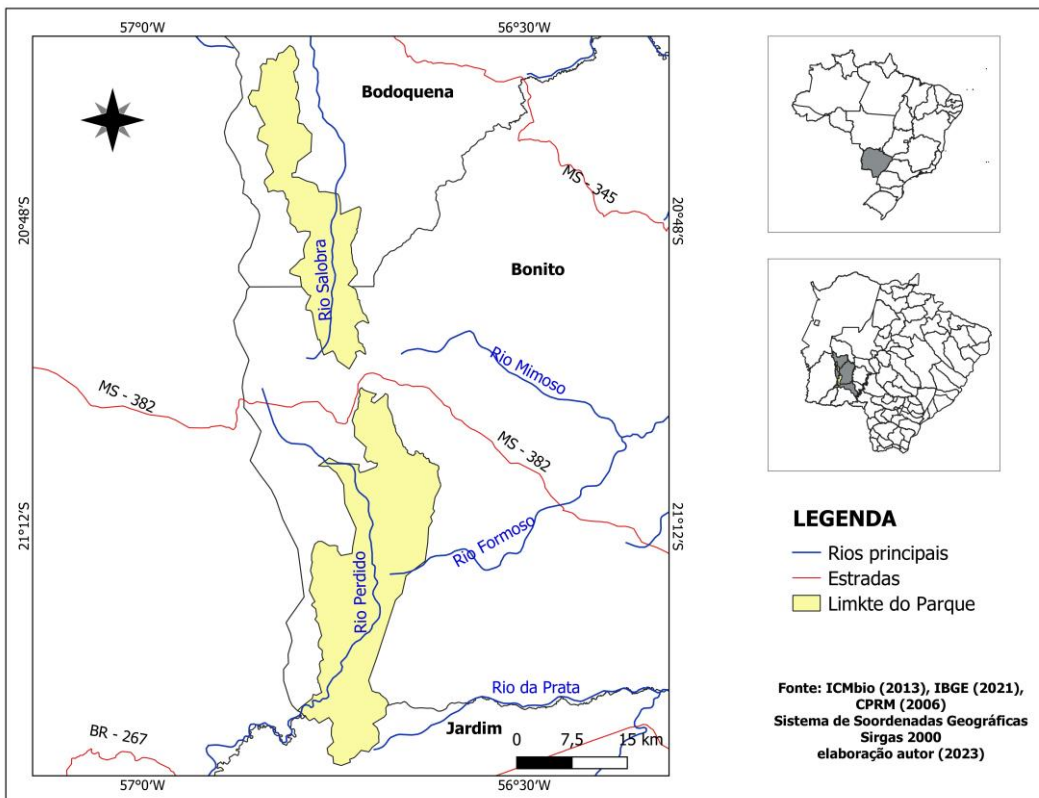


Figura 1 - Mapa de localização do Parque Nacional da Serra da Bodoquena.

Marques (2022, p.36) destaca que “O Parque Nacional da Serra da Bodoquena foi a primeira unidade de conservação de proteção integral criada após a aprovação da Lei Federal nº 9.985/2000, a qual criou o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC)”.

O SNUC tem como finalidade a proteção e preservação da diversidade biológica, dos ecossistemas naturais e dos recursos naturais, bem como o desenvolvimento de atividades de educação ambiental, pesquisa científica e turismo ecológico, entre outros objetivos (Lei Federal nº 9.985/2000).

GEOLOGIA DA ÁREA DE ESTUDO

A Serra da Bodoquena é um longo divisor de águas, sua extensão é de 200 quilômetros com largura de 65 quilômetros e compreende litologias calcárias formando um estreito planalto carbonático (Unidade geomorfológica Planalto da Bodoquena).

A origem da Serra da Bodoquena pode ser explicada pela movimentação de massas continentais. Segundo Boggiani; Sallun Filho; Karmann; Gesicki (2008) há aproximadamente 580 a 540 milhões de anos, houve deposição de carbonatos no período Neoproterozóico, após



ISSO, O supercontinente Rodinia se dividiu e abriu um oceano. Os autores ainda descrevem que:

Por volta de 520-530 milhões de anos atrás, as massas continentais, antes separadas, passaram-se a se aproximar e os sedimentos anteriormente depositados foram intensamente dobrados e onde era um oceano formou-se elevada cadeia de montanhas (Faixa de Dobramentos Paraguai) com as rochas carbonáticas ficando expostas e sujeitas à erosão até os tempos atuais (BOGGIANI; SALLUN FILHO; KARMANN; GESICKI, 2008 p. 10).

Essa Faixa de Dobramentos Paraguai que aflora na região é denominada de Serra da Bodoquena de acordo com Campanha et al., (2011, p. 80):

Situa-se na borda sul do Cráton Amazônico e a leste do bloco cratônico do Rio Apa, formando um arco com a convexidade voltada para os núcleos cratônicos, tem comprimento aproximado de 1.000 km e caracteriza-se por intensa deformação linear polifásica, longos falhamentos inversos e/ou empurrão. Encontra-se exposta em duas grandes regiões, a porção setentrional, em Mato Grosso, e a porção meridional, aflorante na Serra da Bodoquena e maciço de Urucum (Corumbá), em Mato Grosso do Sul.

Após a exposição desse estreito planalto carbonático, o trabalho das águas tanto da chuva quanto dos rios locais, ajudou a moldar a paisagem, pois as principais rochas carbonáticas que formam o planalto (calcários e dolomitos) são dissolvidas devido à reação química entre o ácido carbônico e o carbonato de cálcio, originando relevos cársticos incluindo cavernas, lapiás, tufas, sumidouros, ressurgências e outras feições (BRASIL, 1982).

Como visto, a drenagem local tem grande influência na geologia e conseqüentemente no tipo de relevo encontrado. Sallun Filho; Boggiani; Karmann (2004) destacam que o fragmento sul da Serra da Bodoquena (área de abrangência do Rio Perdido) apresenta relevo predominantemente cárstico com presença de aquíferos e relevo suave em comparação ao fragmento norte (abrangência do Rio Salobra) que apresenta características mais fluviais e formações de escarpas íngremes e estreitas.

A área abrange quatro principais classes geológicas de acordo com a classificação adotada pela CPRM (2006), sendo elas: Depósitos Aluvionares, Formação Xaraiés, Formação Bocaina e Formação Cerradinho (Figura 2). A porcentagem de área ocupada por cada classe está disposta na tabela 1.

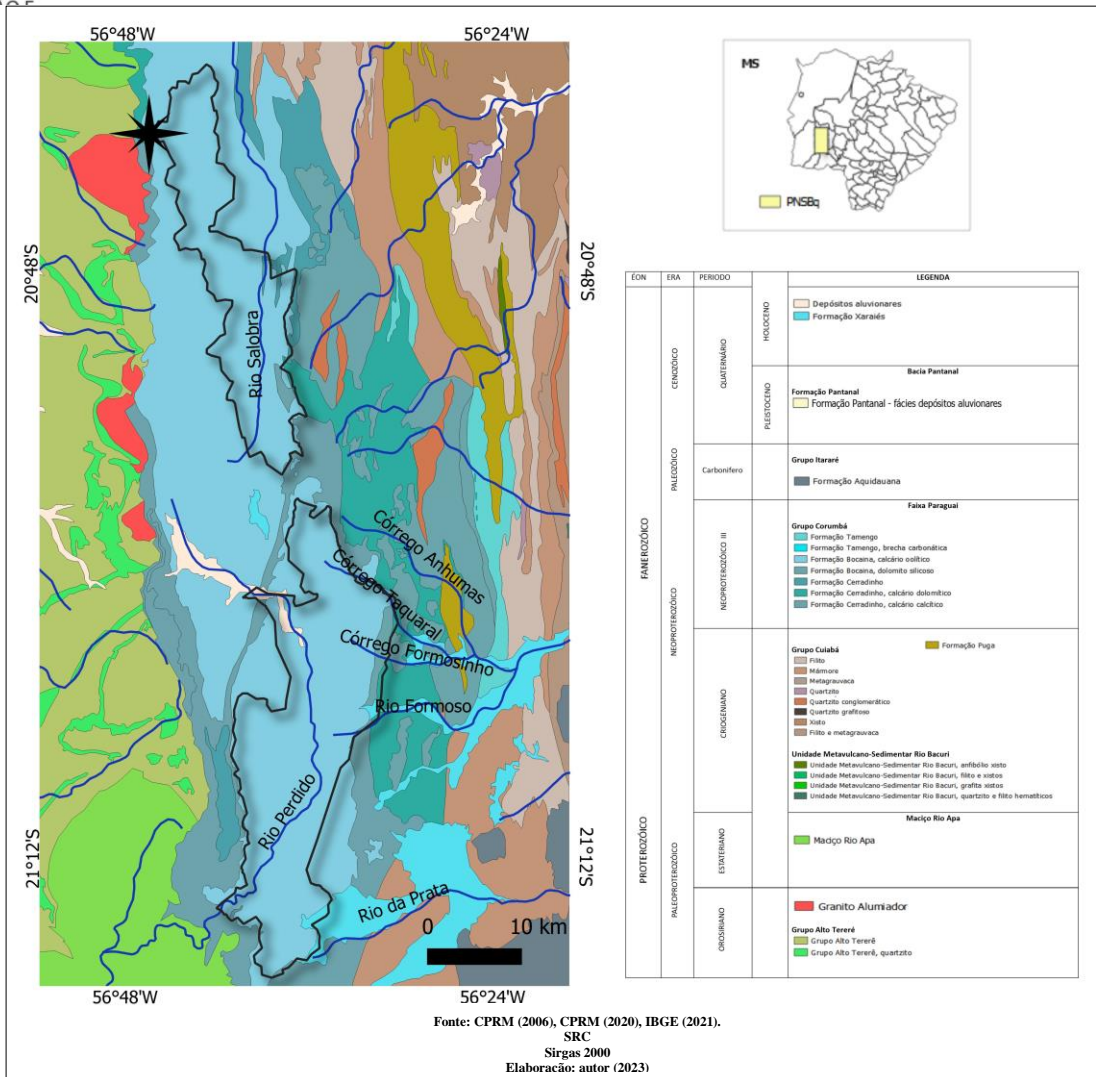


Figura 2 - Geologia do Parque Nacional da Serra da Bodoquena e de seu entorno

A formação geológica marcante no Parque é a **Formação Bocaina** com 95% de área ocupada (tabela 1), apresenta rochas sedimentares, calcários oolíticos de norte a sul e dolomitos silicosos em pequena quantidade na porção oriental do fragmento norte e na porção nordeste do fragmento sul (Figura 2).

Tabela 1 - Geologia do PNSBq

Geologia	Área km ²	Porcentagem de área ocupada
Depósitos Aluvionares	7	0,91
Formação Xaraiés	7	0,91
Formação Bocaina	737	95,8 %
Formação Cerradinho	18	2,3%
TOTAL	769	100%

Elaborado a partir dos dados da CPRM (2006)

A segunda formação que compreende litologias calcárias é a **Formação Cerradinho** ocupa 2,3% da área (tabela 1), é constituída principalmente por calcários calcíticos e dolomíticos localizados nas bordas de ambos os fragmentos. A CPRM (2020) destaca que os

dolomitos que ocorrem nas bordas da Serra da Bodoquena são cinza claros, maciços, em lâminas ou delgadas camadas alternadas ritmicamente com os calcários podendo apresentar raramente estromatólitos em ambas as rochas.

A **Formação Xaraiés**, com 0,91% de área ocupada (tabela 1), abrange a porção sul recebendo grande influência do Rio da Prata e porção sudeste entre o Rio Formoso e o Córrego Formosinho, ambos se localizam no fragmento sul (Figura 2). Essa formação é constituída de tufas calcária, conglomerados calcíferos compostos por seixos e matações de composição variada (CPRM, 2006).

A formação mais recente no PNSBq são as de **Depósitos aluvionares**, também ocupando 0,91% da área, é composta predominantemente por areias, subordinadamente cascalho e lentes silto-argilosas (CPRM, 2020). Esses depósitos são influenciados pela drenagem, principalmente a do Rio Perdido como pode ser observado na figura 2.

METODOLOGIA

O presente trabalho se deu por meio das etapas dispostas no fluxograma metodológico a baixo (Figura 3).



Figura 3 - Fluxograma Metodológico

As leituras bibliográficas a cerca dos limites e histórico do PNSBq envolveu pesquisas nos encartes do Plano de Manejo (2013) e Marques (2022) e leituras sobre os aspectos geológicos da serra da Bodoquena trazidos por autores que realizam estudos sobre, como Brasil (1982), Sallun Filho; Boggiani; Karmann (2004), CPRM (2006), Campanha et al., (2008), CPRM (2020) e para o breve referencial teórico optou-se por leituras que tragam a

discussão sobre mapeamento espectral e comportamento espectral de rochas calcárias, visto que a área delimitada é expressivamente marcada por esse tipo de rocha.

A aquisição de produtos e dados foi realizada por meio do download dos *shapefiles* da geologia do Estado de Mato Grosso do Sul na escala de 1:100000 (CPRM, 2006), limite do Parque (ICMbio, 2013) para recorte da geologia; download das Imagens para a área de estudo do sensor OLI do satélite Landsat 8 (resolução de 30m) na data de 26 de agosto de 2022, correspondentes a duas cenas, sendo elas a órbita/ponto 226_074 e 226_075 e baixadas gratuitamente do site United States Geological Survey - USGS Earth Explorer (<https://earthexplorer.usgs.gov/>).

Para o pré - processamento e processamento dos vetores e imagens foi utilizado o software QGIS na versão 3.22.16. Na fase de processamento dos vetores foi importado os dados da geologia do estado do MS, limite do Parque, realizado os ajustes da projeção e por fim o recorte (Figura 2). Optou-se por um retângulo envolvente maior por questões visuais. Foi ajustado também a simbologia, estilo e legenda para as cores padrão da CPRM.

Para o processamento das imagens foi utilizado algumas técnicas do PDI propostas por Crósta (1992), como o aumento de contraste, aritmética entre bandas, composição colorida e filtragem. As técnicas foram aplicadas buscando melhor qualidade visual e fotointerpretação, sendo realizado o Mosaico entre as duas cenas após tratamento. O satélite Landsat 8 possui 11 bandas das quais 3 foram selecionadas para a composição colorida (R7G6B4), pois possuem intervalos espectrais que auxiliam na determinação de rochas carbonáticas.

O cálculo do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) também foi aplicado para auxiliar, visto que a vegetação do Parque influencia na determinação das áreas expostas. Esse índice é de grande importância para evitar confusões no resultado final. O cálculo é dado pela seguinte equação:

$$NDVI = \frac{IV - VM}{IV + VM}$$

Após a geração do NDVI, foi aplicado o filtro Gaussiano para diminuir a frequência da imagem e suavizar áreas que não são totalmente recobertas pela vegetação.

A composição colorida que melhor se adequou ao objetivo foi a R7G6B4, essa combinação de bandas 7 (SWIR 2), 6 (SWIR 1) e 4 (Vermelho), é utilizada para produzir uma imagem colorida que destaca diferentes características na paisagem com base nas respostas espectrais dos materiais presentes, por exemplo, a vegetação é representada em tons de verde claro e escuro, os solos e minerais aparecem em diferentes tons, o que sugere que a

combinação é sensível a variações na composição desses alvos e a água é representada em azul escuro ou preto.

Essa combinação analisado juntamente do NDVI, destacou tons marrons para áreas com maior indicativo de calcário exposto; e por meio do plugin Semi-Automatic Classification (SCP), foi possível criar entradas de treinamento e assinaturas espectrais dos pontos específicos e posteriormente foi analisado o gráfico de reflectância desses pontos.

REFERENCIAL TEÓRICO

MAPEAMENTO ESPECTRAL

O sensoriamento remoto e a tecnologia de mapeamento evoluíram ao longo da história, desde as primeiras ideias de voar até o desenvolvimento de satélites e câmeras que permitiram a observação da Terra (BAPTISTA, 2021).

Os dados de sensoriamento remoto podem ser utilizados em diversas áreas de estudos, como na geologia, geomorfologia, clima, vegetação, planejamento e gestão, entre outras áreas. Novo; Ponzoni (2001) ressaltam que os tipos de dados de sensoriamento remoto a serem coletados dependem da natureza da informação desejada, assim como das características dos objetos ou fenômenos que estão sendo estudados.

Cada alvo da superfície terrestre apresenta um comportamento espectral, ou seja, esses alvos reagem de maneira única à radiação eletromagnética incidente com base em suas composições químicas e físicas (SOUZA, 2017).

Por essa radiação eletromagnética acontece a transferência de energia através do espaço (ondas) que ao interagir com os objetos da superfície terrestre, diversas podem ser as possibilidades da interação, uma delas é a reflectância que é a fração de fluxo que incide sobre o alvo sendo desviado para a origem, assim, Rosa (2007, p. 41) vai dizer que o comportamento espectral “pode ser definido como sendo a media da reflectância do alvo ao longo de espectro eletromagnético”.

A radiação eletromagnética (REM) pode ser compreendida como uma onda que se propaga, caracterizada pelo comprimento de onda e pela frequência que, ao interagir com a matéria pode ser absorvida, refletida ou transmitida (SOUZA, 2017).

Quartaroli; Vicente; Araújo (2014, p.63) destacam que:

“... a geração da radiação eletromagnética acontece quando uma carga elétrica é acelerada, criando uma perturbação que se propaga pelo espaço e possui duas propriedades, o comprimento de onda e a frequência. O comprimento de onda é a distância de um pico de onda ao outro, enquanto a



frequência é medida pelo número das ondas que passam por um ponto fixo em um segundo. Quanto maior for o comprimento de onda da radiação, menor será sua frequência ...”.

A densidade do fluxo radiante que incide em uma superfície é chamada de irradiância.

Os sensores remotos medem a reflectância, que é a fração da REM refletida por uma superfície em relação à irradiância incidente nessa superfície. A REM é dividida em diferentes faixas espectrais, como o visível e o infravermelho, e a intensidade que é refletida pelos objetos depende de suas propriedades físicas e químicas (NOVO; PONZONI, 2001).

Assim, o mapeamento espectral utilizado em sensoriamento remoto para coletar informações sobre alvos ou áreas baseia-se em seu comportamento espectral em diferentes comprimentos de onda do espectro eletromagnético (NALETO, 2018). A resolução espectral oferece benefícios, como a identificação de materiais e características, o mapeamento detalhado de áreas extensas e o monitoramento de mudanças na superfície terrestre.

O espectro eletromagnético possui os intervalos de comprimentos de onda mais conhecidas pelo homem como a faixa de luz visível da radiação solar (MENESES; ALMEIDA et al., 2012).

Ainda de acordo com Meneses; Almeida (2012, p. 18) essa faixa é definida como:

Aquela que o olho humano é capaz de detectar. O intervalo espectral da luz visível foi decomposto pela primeira vez em 1766 por Isaac Newton, atravessando a luz branca por um prisma de vidro (dispersão) e emergindo do lado oposto do prisma em raios de luz coloridos. Cada raio colorido tem o seu específico comprimento de onda. A inclinação de cada raio, ao emergir da outra face do prisma, é devido à relação entre o comprimento da onda e o índice de refração do prisma (vidro). Essa experiência se repete toda vez que no céu vemos a formação de um arco-íris, provocado pela dispersão da luz pelas gotas de água, num dia chuvoso.

Nessa divisão há também outras faixas muito conhecidas como o infravermelho próximo, infravermelho de ondas curtas, infravermelho médio, infravermelho termal e micro-ondas.

Infravermelho próximo é a faixa onde ocorrem bandas de absorção que podem afetar a passagem da radiação; infravermelho de ondas curtas é a região espectral muito usada para estudos de rochas e minerais, é útil para detectar minerais que sofreram alterações devido à atividade hidrotermal; infravermelho médio é a faixa que possui uso limitado no sensoriamento remoto por emitirem pouca radiação e é mais relevante para aplicações que envolvem a detecção de fontes de calor, como vulcões e incêndios; infravermelho termal é a faixa é usada para detectar radiação térmica emitida por objetos com base em sua temperatura superficial e as micro-ondas que possuem comprimentos de onda muito longos e são usadas



em sensores ativos, como radares sendo aplicadas na observação da Terra em condições atmosféricas desfavoráveis (MENESES et., 2012).

Através das imagens de satélite é possível identificar visualmente alvos da superfície terrestre. Quartaroli; Vicente; Araújo (2014) colocam que essa identificação pode ser realizada por meio da análise de padrões como cor, textura e forma. Os autores ainda reforçam a importância de conhecer os comportamentos espectrais nas diferentes bandas que compõe a imagem, pois certos alvos podem apresentar comportamentos iguais na mesma banda e em outra não, isso dependerá da reflectância de cada alvo.

Os espectros de reflectância ajudam os intérpretes a escolher as bandas espectrais do sensor que são mais adequadas para detectar e distinguir os objetos na área de estudo. Isso garante uma melhor interpretação das imagens de sensoriamento remoto (SOUZA, 2017)

Portanto, mapeamento espectral pode fornecer informações sobre a superfície terrestre com base em como os alvos ou objetos interagem com a radiação eletromagnética em diferentes partes do espectro, permitindo o monitoramento de processos naturais, gestão de recursos, planejamento urbano e decisões que ajudam em diferentes áreas, desde agricultura e meio ambiente até geologia e infraestrutura.

COMPORTAMENTO ESPECTRAL DE ROCHAS CALCÁRIAS

Os calcários são rochas sedimentares carbonáticas de origem química formados por minerais como calcita e dolomita. A faixa do espectro que auxilia no mapeamento dessas rochas é a banda do infravermelho de ondas curtas (SWIR).

Os sensores remotos capturam o comportamento espectral do calcário analisando as características das faixas espectrais refletidas pela superfície da terra e identificando padrões espectrais que indicam a presença desse mineral.

De acordo com Meneses; Almeida; Baptista (2019) as rochas calcárias mostram uma banda de absorção em torno de 2.335 nm. A reflectância nessa faixa é devido às características dos minerais que compõem os calcários, bem como à textura da rocha. A calcita, por exemplo, na faixa do SWIR, apresenta banda de absorção. Essa banda de absorção é causada pela presença do íon CO_3^{2-} na estrutura da calcita. A intensidade e a posição dessa banda de absorção na região do SWIR são marcadores que auxiliam a identificar presença de calcita em uma rocha. Quando a calcita está presente em quantidades significativas, a banda de absorção em 2.335 nm fica visível no espectro (MULLER, 2021).



No entanto, se a formação calcária tiver dolomita em sua composição, um mineral que frequentemente ocorre em associação com a calcita, a banda de absorção é um pouco deslocada para cerca de 2.325 nm devido à presença de carbonatos de cálcio e magnésio na dolomita. Esse deslocamento espectral é uma característica distintiva que permite diferenciar calcários de dolomitos, duas classes de rochas carbonáticas frequentemente encontradas na geologia (MENESES; ALMEIDA; BAPTISTA, 2019)

Quando se analisa uma imagem de satélite em conjunto com outros dados, é possível indicar áreas com rochas calcárias, no entanto, isso só poderá ser comprovado com posterior visita in loco.

Costa et al., (2015) destaca ainda que uma característica muito importante ao tentar identificar áreas de exposições carbonáticas é direção preferencial NE que essas rochas possuem, sugerindo um controle estrutural.

Portanto, o comportamento espectral dos calcários na faixa do SWIR por meio do sensoriamento remoto e da fotointerpreção da imagem pode ser usado para mapear e monitorar depósitos de calcário, identificar áreas propícias à exploração mineral, avaliar impactos ambientais e monitorar ambientes cársticos.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os pontos determinados como indicativo de calcário exposto foi em maior área no fragmento norte, de acordo com Filho, Karmann e Boggiani (2004) os dois fragmentos ou blocos são formados por calcário calcíticos, porém o bloco norte sofreu maior soerguimento tectônico formando rios mais entalhados em canyons. Os autores consideram que cada um dos blocos possuem características contrastantes e opostas.

O soerguimento tectônico no fragmento norte da Serra pode ser um dos fatores para uma maior área de exposição dos calcários que compõem o relevo. Como o objetivo era detectar esses calcários, optou-se pelo auxílio do NDVI com filtro (Figura 3a) para indicar áreas menos vegetadas e, posteriormente, analisar as mesmas áreas na composição colorida (Figura 3b).

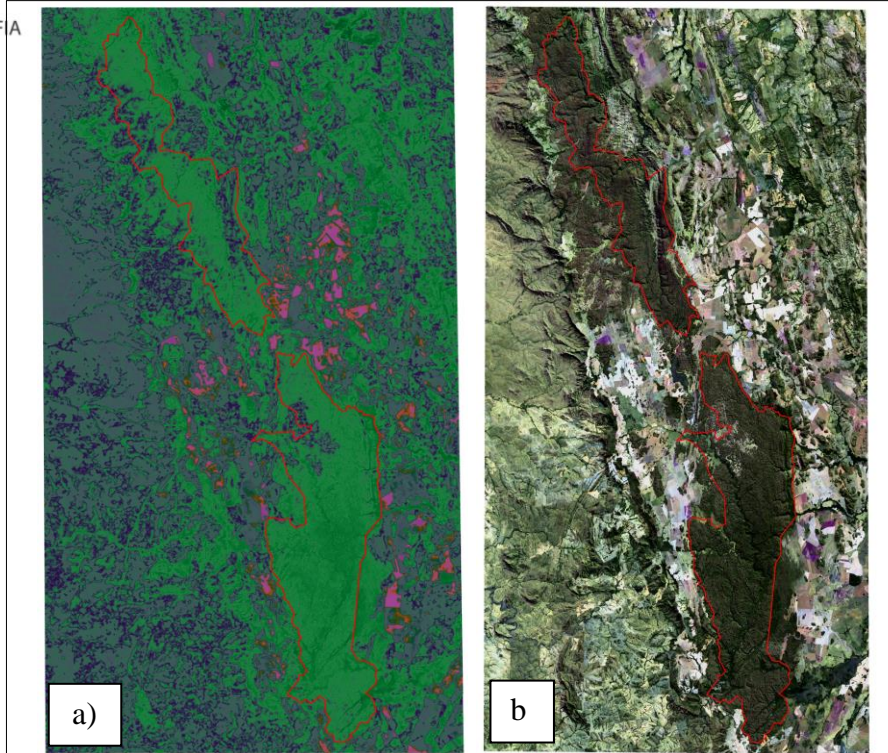


Figura 4 - a) NDVI com o filtro Gaussiano. b) Composição colorida R7G6B4.

Para melhor visualização, na figura 4 é mostrado através dos círculos, os pontos de interesse e notam-se as características de cor e textura que os diferenciam dos demais alvos na imagem. Fato também que nem todas as áreas em tons de azul escuro e cinza no NDVI representam indicativo de possível exposição calcária, o que pode indicar exposição são como essas áreas vão se comportar analisando a reflectância nas bandas da composição feita.

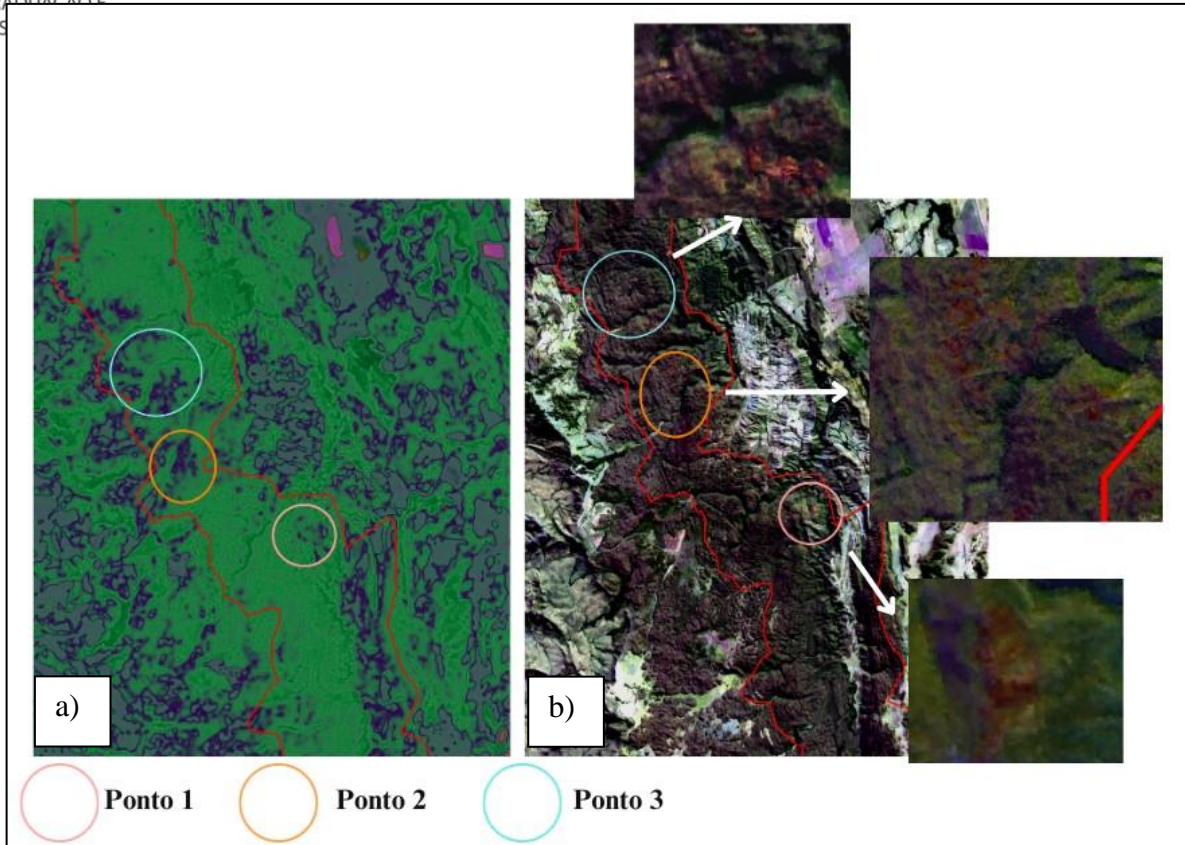


Figura 5 - a) pontos de interesse utilizando o NDVI com filtro. b) Pontos de interesse na composição colorida.

Assim, obteve-se um comportamento espectral indicando a possível presença do calcário, que possui uma reflectância nas bandas do infravermelho de ondas curtas, devido à sua composição química e estrutura cristalina que podem ser detectados pelas bandas selecionadas (R7G6B4).

A banda 7 corresponde ao infravermelho de ondas curtas 2 (SWIR 2) e captura informações na faixa de comprimento de onda de 2,11 a 2,300 μm , a banda 6 corresponde ao infravermelho de ondas curtas 1 (SWIR 1) com comprimentos de onda de aproximadamente 1,57 a 1,75 μm e a banda 4 corresponde vermelho com comprimentos de onda de aproximadamente 0,64 a 0,67 μm .

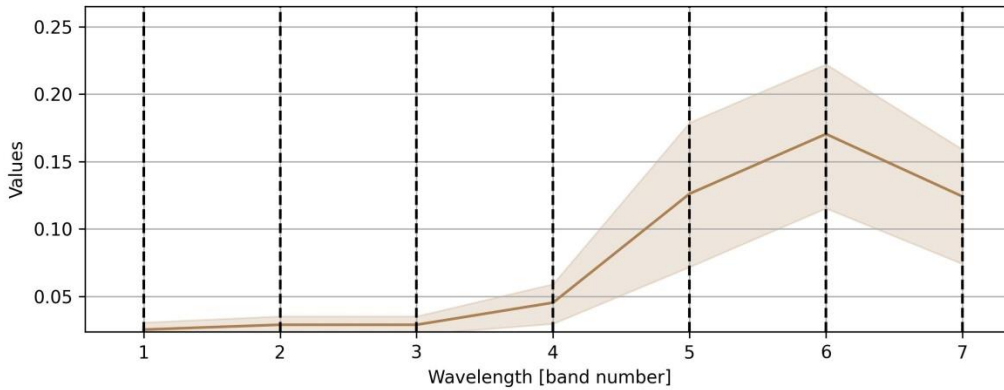
Após a análise conjunta das imagens e criação das entradas de treinamento e assinaturas espectrais, foi analisado o gráfico de refletância das áreas de possível calcário exposto. Para o primeiro ponto indicativo obteve-se os seguintes valores de reflectancia mínimo e máximo nas respectivas bandas (Tabela 2) bem como o comportamento da assinatura espectral no gráfico 1.

Tabela 2 – Valores mínimo e máximo da reflectância.



Valores Mínimo/máximo					
Banda 7		Banda 6		Banda 4	
Min	Máx	Min	Máx	Min	Máx
0.07400964	0.15901141	0.115343735	0.22226465	0.029632624	0.05908154

Gráfico 1 - Comportamento espectral da entrada de treinamento e assinatura espectral do primeiro ponto indicativo de calcário.

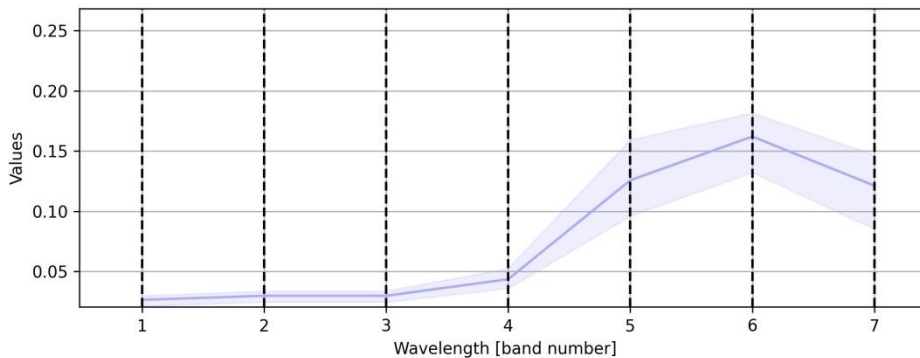


Para o segundo ponto indicativo de calcário obteve-se os valores mínimo e máximo de reflectância (Tabela 3) e o comportamento da assinatura espectral no gráfico 2.

Tabela 3 - Valores mínimo e máximo de reflectância.

Valores Mínimo/máximo					
Banda 7		Banda 6		Banda 4	
Min	Máx	Min	Máx	Min	Máx
0.08526707	0.14680229	0.13233905	0.18163903	0.03604992	0.052609842

Gráfico 2 - Comportamento espectral da entrada de treinamento e assinatura espectral do segundo ponto indicativo de calcário.

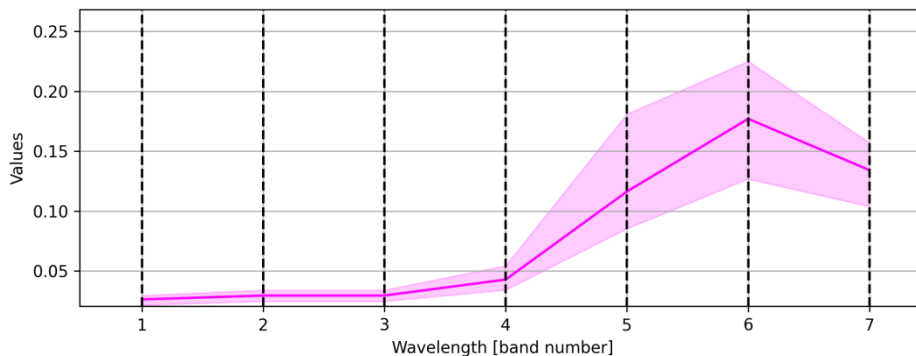


Para o terceiro e último ponto obteve-se os valores mínimo e máximo de reflectância (Tabela 4) e o comportamento da assinatura espectral no gráfico 3.

Tabela 4 - Valores mínimo e máximo de reflectância.

Valores Mínimo/máximo					
Banda 7		Banda 6		Banda 4	
Min	Máx	Min	Máx	Min	Máx
0.10386631	0.157108	0.12695494	0.2249839	0.034336835	0.054404516

Gráfico 3 - Comportamento espectral da entrada de treinamento e assinatura espectral do terceiro ponto indicativo de calcário.



Nota-se que os valores máximos da banda 7 nos pontos são relativamente próximos, indicando uma consistência na reflectância, porém ao analisar todos os valores mínimos e máximos percebe-se também uma variabilidade desses valores que podem sugerir diferentes composições de minerais, mas nesse caso, não é a mais sensível à calcita.

Já a banda 6, mostra-se mais sensível à presença de minerais como a calcita, especialmente em regiões com variações significativas na composição mineral como foi o caso dos 3 pontos, todos mostraram valores maiores na banda 6.

Por último, analisando os valores e os gráficos para a banda 4 a reflectância é geralmente mais baixa para os 3 pontos selecionados. Isso indica uma menor quantidade de vegetação ou pode também indicar presença de minerais associados a depósitos de calcário.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As imagens de sensoriamento remoto são ferramentas indispensáveis para o estudo do meio físico. Além disso, por meio da aplicação de técnicas, é possível melhorar a qualidade da imagem destacando o alvo de interesse e os resultados gerados podem auxiliar no planejamento e uso sustentável dos recursos naturais disponíveis. Nos estudos geológicos, as



imagens tratadas podem fornecer características do relevo, composição das rochas, análise da fragilidade das rochas, condicionamento dos rios e vegetação, entre outras características que auxiliam no entendimento da dinâmica da crosta terrestre.

A metodologia aplicada para o objetivo proposto se mostrou satisfatória, possibilitando o mapeamento das possíveis áreas de interesse sendo essencial para nortear as pesquisas in loco, salientando que o estudo sobre os lapiás é importante para a compreensão dos padrões de dissolução dos calcários e da evolução do ambiente cárstico da Serra da Bodoquena.

Por meio da análise conjunta dos materiais bibliográficos e do próprio meio físico do parque, é importante considerar a fragilidade natural do ambiente, visto que as rochas calcárias são mais suscetíveis às ações do intemperismo. Logo, compreender essa fragilidade possibilita o desenvolvimento de técnicas de manejo e conservação adequadas para o local.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001 e ao Programa de Pós Graduação da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul / Campus de Aquidauana.

REFERÊNCIAS

BAPTISTA, Gustavo. Fundamentos de Sensoriamento Remoto. |Ebook| Laboratório de Produção Digital, Copyright ©Prof. Gustavo Baptista, 2021. Disponível em: https://figshare.com/articles/book/Fundamentos_de_Sensoriamento_Remoto/15087123, acesso em 4 de novembro de 2023.

BRASIL. Geologia e recursos minerais das folhas Rio Perdido SF. 21-X-A-IV e Vila Campão SF.21-X-C-I: Escala 1:100.000: Estado de Mato Grosso do Sul. **Nota explicativa**. São Paulo, CPRM, 2020.

BRASIL. Geologia e recursos minerais do estado de Mato Grosso do Sul. Esc. 1:1.000.000. Ministério de Minas E Energia, Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral CPRM – Serviço Geológico Do Brasil. |Livro| Campo Grande 2006.

BRASIL. **LEI N 9.985, DE 18 DE JULHO DE 2000**. Regulamenta o art. 225, § 1o, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19985.htm. Acesso em 07 de agosto de 2023.

BRASIL. Projeto RADAMBRASIL Folha SF 21 Campo Grande; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Ministério das Minas e Energia Secretaria Geral [livro] Rio de Janeiro, 1982. 416 p.

COSTA, Marina Marques Dalla; HANNA, Marina Dias; ALMEIDA, Tati de; DANTAS, Elton Luiz; MATOS, Débora Rabelo. Processamento de imagem Landsat para determinação de regiões de favorabilidade para ocorrência de mineralização de zinco e chumbo na região de Vazante-Paracatu – MG. **Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, João Pessoa-PB, Brasil, 25 a 29 de abril de 2015, INPE

CRÓSTA, Alvaro Pentead. Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto. - ed. **Revista - Campinas**, SP: IG/UNICAMP, 1992.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE – ICMBio. **Parque Nacional da Serra da Bodoquena Plano de Manejo**. Brasília – abril – 2013. Disponível em <<https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/unidade-de-conservacao/unidades-de-biomas/cerrado/lista-de-ucs/parna-da-serra-da-bodoquena>>. Acesso em 12/ março. 2023.

MARQUES, Fernanda Cano De Andrade. Dinâmicas Territoriais e a Fragilidade Ambiental do Parque Nacional da Serra da Bodoquena e de sua Zona de Influência, Mato Grosso do Sul, Brasil [recurso eletrônico] -- 2022. Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>. Acesso em 07 de agosto de 2023.

MENESES, Paulo Roberto; ALMEIDA, Tati de; BAPTISTA, Gustavo Macedo de Mello. Reflectância dos materiais terrestres : análise e interpretação. [Livro] São Paulo: **Oficina de Textos**, 2019.

MENESES, Paulo Roberto; ALMEIDA, Tati de; ROSA, Antonio Nuno de Castro Santa; SANO, Edson Eyji; SOUZA, Edilson Bias de; BAPTISTA, Gustavo Macedo de Mello; BRITES, Ricardo Seixas. Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto. [Livro] Universidade de Brasília - CNPq. Brasília, 2012.

MIRANDA, Mateus de Paula; PONTES, Marcos Paulo; MORAIS, Pedro Ângelo Silva de; UCHOA, Elenilton Bezerra; DUARTE, Cynthia Romariz; SOUTO, Michael Vandesteem Silva. Emprego de técnicas de processamento digital em imagens landsat 8 para mapeamento geológico. **Revista de geologia**, Vol. 29, n 1, 79-80, 2016.

MULLER, Marianni. **Formulação de um novo índice espectral para identificação de rochas carbonáticas**. Dissertação (Mestrado) Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós Graduação em Computação Aplicada, São Leopoldo, 2021.

NOVO, Evlyn Márcia Leão de Moraes; PONZONI, Flávio Jorge. Introdução ao Sensoriamento Remoto. [Livro] INPE. São José dos Campos, 2001.

QUARTAROLI, Carlos Fernando; VICENTE, Luiz Eduardo; ARAUJO, Luciana Spinelli de. Sensoriamento Remoto. Capítulo de livro p. 61 – 79, **In Geotecnologias e geoinformação**. Brasília, DF: Embrapa, 2014.



ROSA, Roberto. Introdução ao Sensoriamento Remoto. Uberlândia: **EDUFU**, 2007.

SAULLUN FILHO, Wiliam; KARMANN. Ivo; BOGGIANI, Paulo. César. Paisagens Cársticas da Serra da Bodoquena (MS). **In book: Geologia do continente Sul-americano Chapter: XXV**, 2004.

SOUZA, Diêgo Patric Castro de. **Integração de Dados Espectrais de Imagens do Sensor Aster e Dados Aerogamaespectométricos no Mapeamento de Unidades Neoproterozoicas da Sub-Bacia de Campinas, Bahia**. Dissertação de Mestrado – Univeridade Federal da Bahia. Instituto de Geocências, 2017.