

Análise multi-temporal de imagens de satélite e NDVI em unidade de conservação

Mutli-temporal analysis of satellite and NDVI images in a conservation unit

Análisis multitemporal de imágenes de satélite y NDVI en unidad de conservación

Recebido: 02/03/2023 | Revisado: 16/03/2023 | Aceitado: 17/03/2023 | Publicado: 23/03/2023

Emanuelli Minatti

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5156-1674>
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil
E-mail: emanuelli.mgeo@gmail.com

Alisson André Ribeiro

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0478-977X>
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil
E-mail: alisson.ribeiro@ufms.br

César Claudio Cáceres Encina

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8061-9804>
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil
E-mail: alisson.ribeiro@ufms.br

Antonio Conceição Paranhos Filho

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9838-5337>
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil
E-mail: antonio.paranhos@pq.cnpq.br

Resumo

Este trabalho teve como objetivo principal analisar e levantar possíveis impactos humanos sobre a cobertura vegetal e a eficácia na conservação do Monumento Natural Morro de Santo Antônio (MONAT), localizado no Estado de Mato Grosso, por meio de sensoriamento remoto. A metodologia constituiu no cálculo do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) a partir de imagens de satélite Landsat 5 TM e Landsat 8 OLI processadas no sistema de informação geográfica livre QGIS. Os resultados obtidos com a análise do NDVI sugerem o aumento da vegetação de cerrados e de mata densa/Cerradão na Unidade de Conservação e na zona de amortecimento, onde as áreas de vegetação rasteiras tiveram grande diminuição. Houve uma pequena diminuição na classe solo exposto no topo do morro, na unidade de conservação. Com os resultados obtidos, foi possível notar que até o momento a unidade de conservação tem cumprido seu papel e tem sido eficaz na conservação da área determinada. Os resultados desta pesquisa poderão contribuir para identificar áreas de fragilidade ambiental relacionadas à vegetação, bem como facilitar a aplicação de técnicas de manejo adequadas à conservação ambiental do Monumento Natural Estadual Morro de Santo Antônio - MT.

Palavras-chave: Índices espectrais; Mudanças ambientais; Impactos ambientais; MONAT.

Abstract

This research aimed to analyze and evaluate possible anthropic impacts on the vegetal cover and conservation efficiency inside of the Morro de Santo Antônio Natural Monument (MONAT), located in the State of Mato Grosso, by remote sensing. The methodology consisted of calculating the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) from satellite images Landsat 5 TM and Landsat 8 OLI processed in the Geographic information system QGIS. The obtained results with NDVI analyses suggest the increase of Cerrado and dense forest/Cerradão also increased both in the UC and the Buffer Zone. There was a small reduction in the cover class of exposed soil at the top of the hill, in the Conservation Unit. With the results obtained, it is possible to see that so far the unit has performed its role and has been effective in conserving the given area. Therefore, the results of this research will contribute in indentifying áreas of environmental fragility related to vegetation, as well as facilitate the application of managing techniques adequate to the environmental conservation of the Monumento Natural Estadual Morro de Santo Antônio - MT.

Keywords: Spectral indexes; Environmental changes; Enviromental impacts; MONAT.

Resumen

El objetivo principal de este trabajo fue analizar y plantear posibles impactos humanos sobre la cobertura vegetal y la efectividad en la conservación del Monumento Natural Morro de Santo Antônio (MONAT), ubicado en el Estado de Mato Grosso, a través de sensores remotos. La metodología consistió en calcular el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) a partir de imágenes satelitales Landsat 5 TM y Landsat 8 OLI procesadas en el sistema de información geográfica gratuito QGIS. Los resultados obtenidos con el análisis NDVI sugieren un aumento de la vegetación de cerrado y bosque denso/Cerradão en la Unidad de Conservación y en la zona de amortiguamiento, donde las áreas de sotobosque tuvieron una gran disminución. Hubo una pequeña disminución en la clase de suelo expuesto en la cima de la colina, en la unidad de conservación. Con los resultados obtenidos se pudo notar que hasta el momento

la unidad de conservación ha cumplido su rol y ha sido eficaz en la conservación del área determinada. Los resultados de esta investigación pueden contribuir para identificar áreas de fragilidad ambiental relacionada con la vegetación, así como facilitar la aplicación de técnicas de gestión adecuadas para la conservación ambiental del Monumento Natural Estatal Morro de Santo Antônio - MT.

Palabras clave: Índices espectrales; Cambios ambientales; Impactos ambientales; MONAT.

1. Introdução

Os impactos ambientais, que por meio da resolução 001/86, foram definidos pelo CONAMA como alterações nas propriedades físicas, biológicas e químicas do ambiente, causadas por qualquer tipo de matéria ou ação resultante das atividades humanas, que direta ou indiretamente, afetam a saúde, bem-estar e segurança da população, as atividades socioeconômicas, estado estético e sanitário do meio ambiente, a biota e a qualidade dos recursos ambientais (Brasil, 1986).

Segundo a ABNT NBR ISO 14001:2015, os impactos ambientais podem ser definidos como quaisquer modificações no meio ambiente, benéficas ou prejudiciais, inteira ou parcialmente causadas pelos elementos das atividades, produtos ou serviços de uma organização (ABNT, 2015). Ou seja, os impactos ambientais não são necessariamente maléficos ao ambiente, são exemplos de impactos favoráveis à gestão de unidades de conservação, reflorestamento de áreas degradadas, os “negócios verdes” (reciclagem, produtos biodegradáveis etc.), entre outros, enquanto os impactos prejudiciais são aqueles relacionados à poluição das águas, poluição atmosférica, destruição de ecossistemas, entre outros (Gotardi et al., 2012).

Os impactos ambientais aumentaram significativamente, alterando ecossistemas e, em muitos casos, provocando a destruição deles. Por muitos anos os danos causados aos sistemas naturais foram colocados como um “mal necessário” para o desenvolvimento econômico, onde o desenvolvimento gradual e a responsabilidade socioambiental se confrontavam com os paradigmas de maximização do capital, o que vem ocasionando rupturas ecológicas e ameaçando a capacidade de suporte do planeta (Silva, 2006).

Uma das principais ações implementadas para a preservação de florestas e da biodiversidade, em nível mundial, é a criação de áreas protegidas (Bensuasan, 2006, Pinto, 2008). Entretanto, somente a existência desses espaços não garante que seus propósitos de preservação sejam de fato alcançados, fazendo-se necessárias outras ações que diminuam os impactos negativos causados nessas áreas, incluindo o monitoramento da condição de cobertura vegetal (Bilar; Pimentel; Cerqueira, 2018). Essas ações vêm sendo facilitadas com a utilização de imagens orbitais, permitindo a detecção dos mais diversos impactos ambientais causados pelas atividades humanas, auxiliando, dessa forma, na tomada de decisões no que diz respeito à preservação ambiental (Florenzano, 2011; Rodrigues et al., 2009).

A utilização do sensoriamento remoto em conjunto com a aplicação de índices de vegetação apresenta-se como instrumento de boa eficiência e eficácia para avaliação e monitoramento das condições de cobertura vegetal de uma região geográfica, por conta de sua precisão, praticidade, caráter multiespectral (Chagas, 2012; Ribeiro et al., 2016; Sallo et al., 2014) e custo-benefício.

Dessa forma, considerando a importância e necessidade de avaliação dos impactos ambientais, determinados instrumentos e técnicas de processamento são utilizados por possibilitarem a exploração de dados de sensores remotos, destacando-se o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), que permite a identificação da vegetação, bem como a sua distribuição espacial e seu desenvolvimento ao longo do tempo (Roseback; França; Florenzano, 2005; Encina, et al., 2021).

Os Monumentos Naturais pertencem a grupos de unidades de conservação de proteção integral, tendo como objetivo a preservação de sítios naturais raros, singulares ou de grande beleza cênica, segundo a LEI Nº 9.985, de 18 de julho de 2000 (Brasil, 2000). Podendo ser constituído de áreas públicas e privadas, desde que os objetivos da unidade em relação a utilização da terra e dos recursos naturais sejam compatibilizados pelos proprietários.

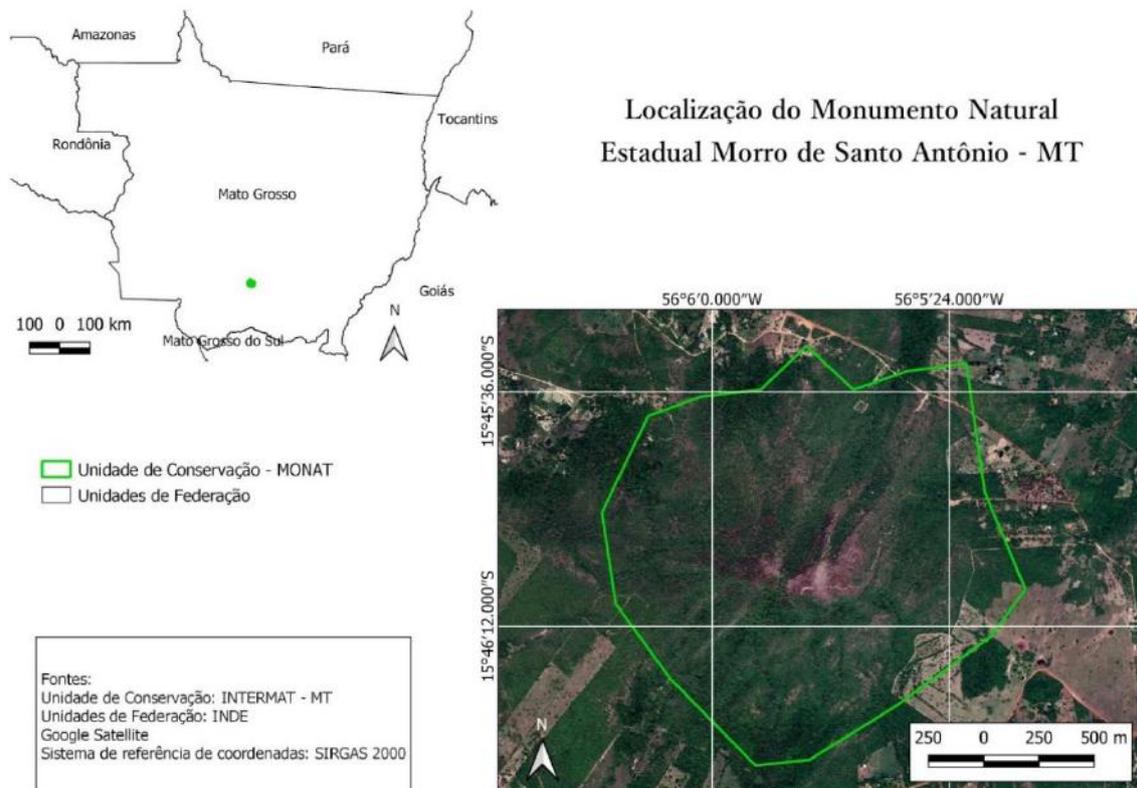
Segundo Eisenlohr et al. (2013) apesar da importância para conservação dos ecossistemas, ainda existe determinada dificuldade em encontrar registros sobre os impactos ecológicos do uso público das trilhas em áreas naturais no Brasil. Portanto, é de grande relevância compreender os impactos ambientais, tanto prejudiciais, quanto benéficos, buscando entender sua importância nos ecossistemas, bem como as ações a serem tomadas de forma a melhorar as condições de preservação.

A partir disso, esse estudo justifica-se pela importância de análises voltadas às interações entre a sociedade e a natureza, bem como os seus efeitos. O objetivo desta pesquisa foi analisar se as ações de conservação, determinadas pela lei de proteção ambiental, são eficazes na preservação da cobertura vegetal e identificação de possíveis efeitos de pressão antrópica sobre o Monumento Natural Estadual Morro de Santo Antônio.

2. Metodologia

O Monumento Natural Estadual Morro de Santo Antônio (Figura 1), área de estudo escolhida, localiza-se no Estado do Mato Grosso, estando em torno de 56,63% no Município de Cuiabá, correspondendo a uma área de 146,76 ha e 43,37% no Município de Santo Antônio do Leverger correspondendo a uma área de 112,38 ha. A região possui um grande potencial turístico por sua beleza e pelo mito da origem do povo indígena Bororó. Apesar de esse potencial encontrar-se pouco explorado por esse setor.

Figura 1 - Localização do Monumento Natural Morro de Santo Antônio, dividido pelos municípios de Cuiabá e Santo Antônio do Leverger, Estado do Mato Grosso.



Fonte: Minatti (2021).

O Monumento foi criado em 09 de junho de 2006 pela lei nº 8.504, com o objetivo básico de preservação de sítios naturais raros, singulares ou de grande beleza cênica, sendo categorizada como unidade de conservação pertencente ao grupo de proteção integral, perfazendo uma área de aproximadamente 258 ha encontrando-se dentro do bioma Pantanal (Brasil, 2000).

Segundo Guarim et al. (2000) o Monumento Natural Estadual Morro de Santo Antônio (MONAT) apresenta duas distintas fisionomias de Cerrado, Campo Cerrado, Cerradão e mata de Galeria. Nas aberturas formadas por enchentes, forma-se mata de galeria, enquanto nas escarpas ou vertentes, há mata de encosta, enquanto à medida que se sobe o morro, a composição florística torna-se mais rala, como campos de Cerrado.

O presente trabalho foi realizado no ambiente do QGIS, ferramenta de *software* livre e código-fonte aberto, sendo uma multiplataforma de sistema de informação geográfica que permite a visualização, edição e análise de dados georreferenciados (QGIS Development Team, 2020).

As imagens de satélite utilizadas encontram-se disponíveis gratuitamente no *site* do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS), sendo que para o presente trabalho foram utilizadas imagens da série de satélites Landsat 5 de sensor TM de 2005 (USGS, 2005) e Landsat 8, sensor OLI, referentes ao ano de 2020. (USGS, 2020). Para isso, utilizou-se o sistema global WRS (*Worldwide Reference System*), que cataloga os dados Landsat por números de caminho (*path*) e linha (*row*), sendo os satélites Landsat 1, 2 e 3 WRS-1, já para os satélites Landsat 4, 5, 7 e 8 WRS-2. O *path* e o *row* (WRS-2) da região do presente estudo correspondem a 226/071.

Todas as imagens analisadas são da coleção (*Collection*) 1, Nível (*Level*) 1. Para seleção das imagens utilizadas, inicialmente realizou-se uma análise voltada às condições de umidade e cobertura de nuvens, buscando imagens com melhores condições para análise, isso porque condições de umidade elevadas distorcem a quantificação da reflectância, resultando em valores equivocados.

Sendo assim, no *site* do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) analisou-se o Índice de Precipitação Padronizada (SPI), que consiste basicamente em associar um valor numérico único à variável precipitação, correspondendo ao número de desvios padrão que a precipitação cumulativa observada se aproxima da média climatológica, para uma variável aleatória com distribuição normal (INMET, 2021). Além disso, foram analisados dados de precipitações a partir de informações do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) e CPTEC (Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos), junto a outras plataformas de estudos climatológicos, observando assim a precipitação dos referidos meses e anos do presente estudo, junto com informações referentes às últimas chuvas registradas.

As informações pluviométricas apresentam grande importância para a análise e compreensão da distribuição da cobertura vegetal por meio do NDVI por possuírem uma relação direta com a atividade fotossintética (Barbosa, et al., 2017). Observadas as condições pluviométricas para os referidos anos do estudo é possível identificar que as imagens selecionadas não possuem distorções causadas pelas condições de umidade, ou seja, as imagens não se encontram prejudicadas para análise. O fator de pluviometria acaba saturando os valores de NDVI (vegetação mais exuberante), dificultando a separação das classes de vegetação, sendo esse o principal motivo de se utilizarem imagens de períodos de seca para as análises.

Para analisar as condições e alterações da vegetação na localidade escolhida, utilizou-se o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), que permite a coleta e a representação de dados de forma remota, ou seja, não é necessário o contato direto com a região estudada, segundo Lillesand et al. (2008), o NDVI tem como princípio a utilização de imagens geradas por sensores remotos para medir a intensidade da atividade clorofiliana, isso porque faz compensação de diferentes condições de iluminação, dentre outros fatores.

A vegetação reflete várias faixas do espectro eletromagnético (assinatura espectral), o NDVI é uma medida da saúde da planta com base na forma de refletância da luz nas faixas do infravermelho próximo e vermelho, ou seja, é utilizado por realçar a diferença da saúde da vegetação por conta das características espectrais sob condições de estresse e saúde. Quando uma planta está desidratada, doente, dentre outros fatores, ela absorve uma maior quantidade de luz infravermelha próxima, enquanto em plantas saudáveis essa luz é refletida. Dessa forma, segundo Barros, Farias & Marinho (2020) o NDVI resulta em um valor de saúde vegetal entre -1 e +1. Onde, valores entre -1 e 0 sugerem objetos inanimados ou mortos, valores entre 0 e 0,33 indicam

matéria vegetal insalubre, valores entre 0,33 e 0,66 indicam matéria vegetal moderadamente saudável, e valores entre 0,66 e 1 equivalem a plantas saudáveis (Figura 2).

Figura 2 - Valores de saúde vegetal a partir do cálculo de NDVI. 2020.



Fonte: Sentera (2020).

Na Figura 2 é possível observar os valores de saúde vegetal obtidos por meio do cálculo de NDVI, representado, de forma mais lúdica os relativos significados de cada valor obtido.

O NDVI, proposto por Rouse et al. (1973), a partir da normalização do Índice de Vegetação da Razão Simples para o intervalo de -1 a +1, que consiste na relação entre a bandas do infravermelho próximo e a vermelha (Ponzoni; Shimabukuro, 2012), é o índice de vegetação mais utilizado em estudos sobre vegetação, o que ressalta sua importância no presente estudo, visto que se torna indispensável para a avaliação dos impactos humanos na vegetação na região de estudo.

Segundo a proposta de Rouse et al. (1973), o NDVI é calculado pela relação:

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{R}) / (\text{NIR} + \text{R})$$

onde, NIR: Refletância da superfície na banda do infravermelho próximo;

R: Refletância da superfície na banda do vermelho.

Em sua grande maioria, as imagens de satélite obtidas através de sensoriamento remoto encontram-se separadas em diversas bandas, de acordo com o comprimento de onda de cada sensor. Sendo que a combinação das bandas depende do objetivo e das características da área e do estudo a ser realizado (Pamboukian, [20--]).

O processamento das imagens realizou-se inicialmente com a combinação das bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 para as imagens do satélite Landsat 5 e 1 a 7 para as imagens do satélite Landsat 8, em um arquivo raster, de forma que um único arquivo contenha as bandas necessárias para o cálculo do NDVI. Anteriormente ao cálculo do NDVI foram coletadas amostras das coberturas de solo (água, solo exposto, vegetação rasteira, cerrados, mata/cerradão) na composição RGB (*Red, Green e Blue* - Vermelho, Verde e Azul) de bandas 453, para o sensor TM do Landsat 5 e 564 para sensor OLI do Landsat 8, a composição de bandas difere numericamente devido à diferença da composição de bandas espectrais de cada sensor, porém, representam a mesma composição RGB, com as mesmas bandas, na mesma ordem. Após a coleta das amostras gerou-se o NDVI e seguindo os valores obtidos das amostras foram determinadas as faixas do mesmo para cada classe, ajustando os mesmos da melhor forma para que os mapas gerados sejam condizentes com a realidade.

Apesar de a Unidade de Conservação do Morro de Santo Antônio não apresentar (ou ainda não ter) plano de manejo, definiu-se uma zona de amortecimento de 5 km, que serviu como base para analisar os impactos na Unidade de Conservação,

considerando que essa zona, como o nome apresenta, tem como objetivo mitigar os impactos na mesma. Além disso, foram utilizadas imagens do Google Earth Pro (Google, 2021), realizando uma análise temporal das imagens registradas pelo aplicativo em comparação aos NDVIs gerados, buscando observar a veracidade dos mesmos. Além disso foram utilizadas as imagens na composição RGB NIR-SWIR1-R (453 pelo Landsat 5, sensor TM, e 564 pelo Landsat 8, sensor OLI) para a validação dos resultados.

3. Resultados e Discussão

Os resultados obtidos iniciaram com a busca das imagens para a geração dos NDVI's, sendo selecionadas imagens dos anos de 2005, do satélite Landsat 5 e 2020 do satélite Landsat 8, onde foram analisadas imagens no período de 01 de julho a 31 de outubro, totalizando 16 imagens, sendo que 8 apresentaram problemas relacionados a cobertura de nuvens, 4 relacionados a umidade e/ou precipitação e uma apresentou bandeamento. As linhas em verde na tabela representam as datas das imagens que não apresentaram problemas e foram selecionadas para o processamento (Tabela 1).

Tabela 1 - Imagens de satélite analisadas para os anos de 2005 e 2020.

ANO	DATA	PROBLEMA
2005	10.07	Cobertura de nuvens
	26.07	Bandeamento
	11.08	Adequada para uso
	27.08	Cobertura de nuvens
	12.09	Cobertura de nuvens
	28.09	Cobertura de nuvens
	14.10	Cobertura de nuvens
	30.10	Cobertura de nuvens
	03.07	Alta umidade
	19.07	Bandeamento
2020	04.08	Precipitação
	20.08	Cobertura de nuvens
	05.09	Adequada para uso
	21.09	Cobertura de nuvens
	07.10	Alta umidade
	23.10	Alta umidade

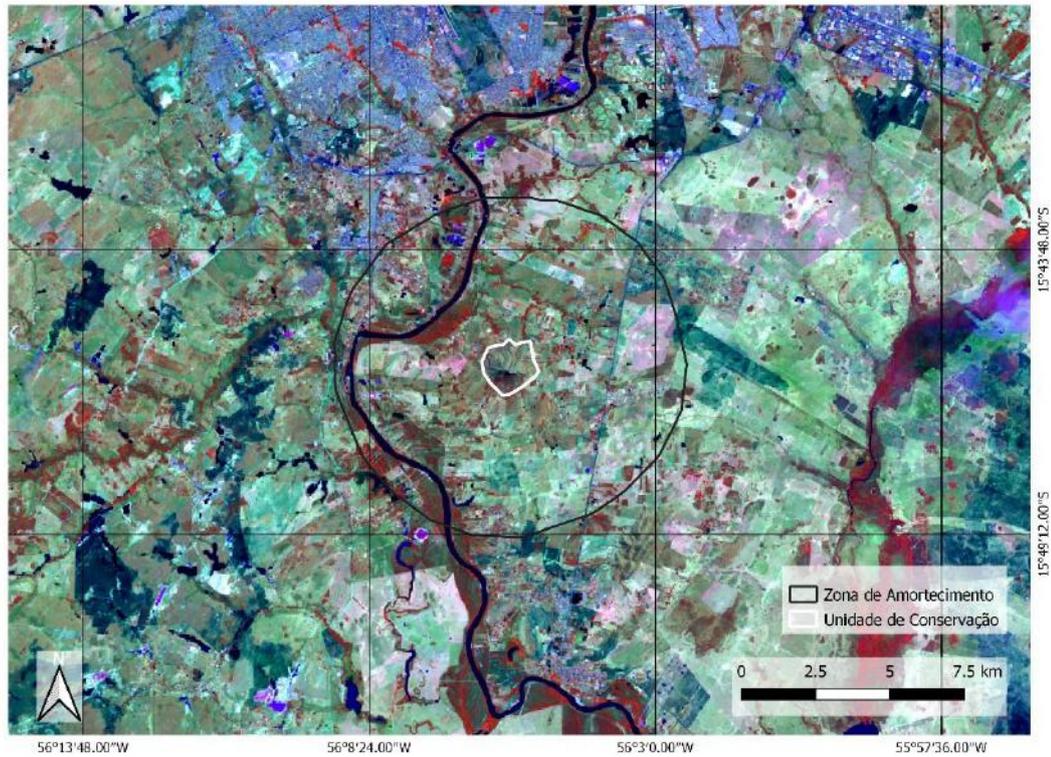
Fonte: Minatti (2021).

Segundo os valores do SPI para os anos de 2005 e 2020, considerando os meses de agosto e setembro dos determinados anos, os índices para a região mantiveram-se normais (-1 D,+1 D) para o ano de 2005 e extremamente seco (-1.5 D, -2.0 D) para o ano de 2020. No site do INPE, em Monitoramento Brasil, a partir de dados do CPTEC e do INPE, junto a outras plataformas de estudos climatológicos, a precipitação observada em milímetros (mm) não apresentou quantidades significativas para os dias selecionados das imagens de satélite, as quantidades registradas foram menores ou equivalentes a 2.0 mm. Os últimos registros de chuvas superiores a 2.0 mm, anteriores à datação das imagens, ocorreram no dia 29 de junho para o ano de 2006, com um registro de 10.1 - 20.0 mm e 15 de julho para o ano de 2020, com registro de 2.1 - 5.0 mm.

Segundo o Relatório técnico consolidado de clima para o Estado do Mato Grosso, o trimestre mais seco corresponde aos meses de junho, julho e agosto, concentrando totais de pluviosidade entre 20 e 80 mm. Dessa forma, no mês de agosto do ano de 2005 os dados de precipitação total encontram-se dentro ou abaixo do padrão observado, para o mês de setembro do ano de 2020 os dados de precipitação total também não ultrapassam os 80 mm. Nenhuma anomalia de precipitação positiva ocorreu ultrapassando a média anual para a data das imagens selecionadas (Santos, 2000).

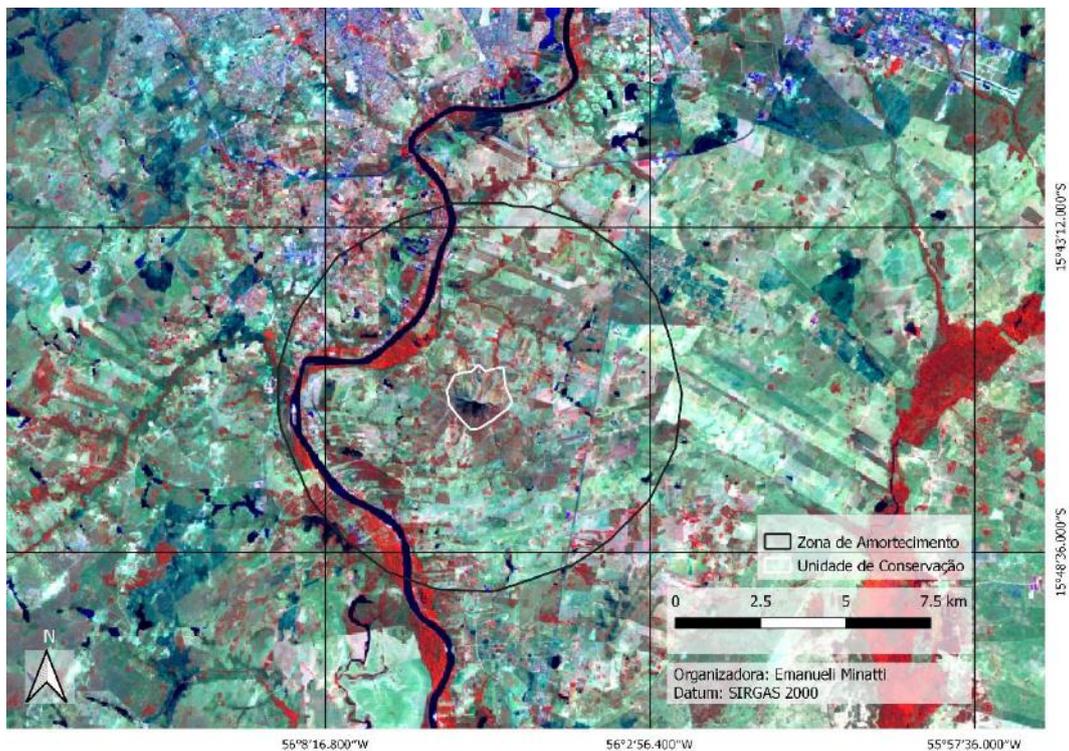
A partir das imagens selecionadas e do processamento das mesmas, geraram-se os seguintes mapas (Figura 3, Figura 4 e Figura 5):

Figura 3 - Composição de bandas RGB 564, Satélite Landsat 8, sensor OLI, Datum: SIRGAS 2000, utilizada para coleta das amostras de água, solo exposto, vegetação rasteira, cerrados e mata/cerradão.



Fonte: Minatti (2021).

Figura 4 - Composição de bandas RGB 453, Satélite Landsat 5, sensor TM, Datum: SIRGAS 2000, utilizada para coleta das amostras de água, solo exposto, vegetação rasteira, cerrados e mata/cerradão.



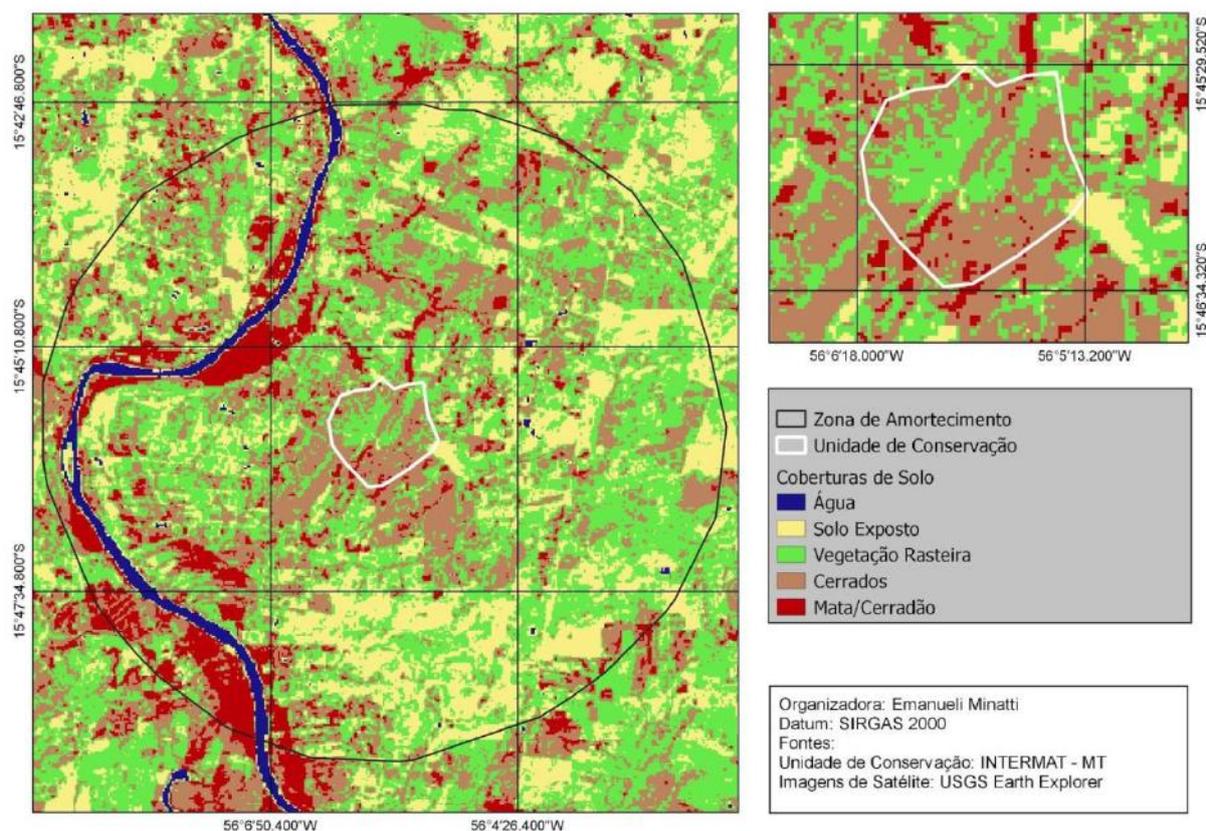
Fonte: Minatti (2021).

Nos mapas acima é importante observar as diferenciações entre os tipos de cobertura de solo, a composição utilizada se caracteriza por facilitar a leitura de diferentes amostras.

Os mapas (Figuras 3 e 4) apresentam um exemplo da composição de bandas utilizada para a coleta das amostras de água, solo exposto, vegetação rasteira, cerrados e mata/cerradão para o fatiamento do NDVI, nesse caso, a imagem apresentada é para o ano de 2020. Essa composição torna as diferentes coberturas de solo mais perceptíveis, de forma que a identificação das amostras se torna mais simples e visual. Como é o caso das matas, que devido a sua cor vermelha viva na composição 564 são de fácil observação. Regiões Urbanas com grande adensamento populacional, assim como corpos d'água, áreas de irrigação, entre outros, também são facilmente identificadas, pois se diferenciam bastante nessa composição de bandas.

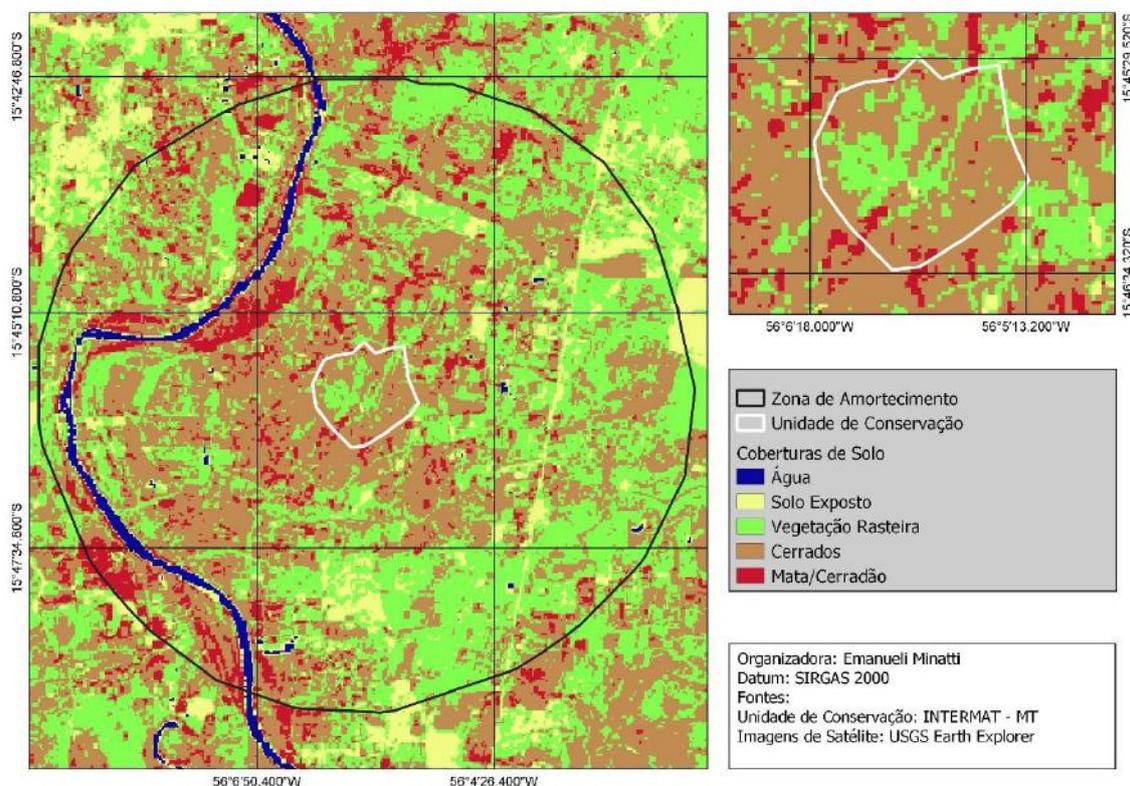
Nessa composição de bandas é ainda possível observar o grande aglomerado populacional nas proximidades da zona de amortecimento do Monumento, principalmente na região norte da figura, que pode ser identificada pela cor azul, mais claramente identificável, devido ao aumento do aglomerado, na Figura 3 (ano de 2020).

Figura 5 - Fatiamento do NDVI do Monumento Natural Estadual Morro de Santo Antônio análise de cobertura de solo para o ano de 2005.



Fonte: Minatti (2021).

Figura 6 - Fatiamento do NDVI do Monumento Natural Estadual Morro de Santo Antônio – MT para análise de cobertura de solo para o ano de 2020.



Fonte: Minatti (2021).

Para os mapas obtidos com o cálculo de NDVI (Figuras 5 e 6) é válido observar, tanto individualmente às diferentes características de cobertura do solo, quanto em comparação, a evolução da cobertura de solo entre o primeiro mapa (2005) e o segundo mapa (2020), principalmente no que diz respeito ao aumento da vegetação de cerrado.

Obtendo como resultados os mapas acima apresentados (Figuras 5 e 6) e realizando-se uma análise comparativa, é possível observar grande mudança da vegetação. Na imagem do ano de 2020 (Figura 6) é possível notar um aumento de cobertura de cerrados e uma diminuição da densidade de vegetação rasteira e de parcelas de solo exposto, tanto na área determinada da Unidade de Conservação como em grande parte da zona de amortecimento. Além disso, é notável o aumento de mata/cerradão na zona de amortecimento, muito próximas ao morro, porém essa mesma vegetação apresenta diminuição nas áreas em torno do rio ainda na zona de amortecimento.

A partir das estatísticas geradas para os NDVI's dos presentes anos relativos à contagem de pixels das coberturas de solo da unidade de conservação e da área de amortecimento, apresentaram-se diferenças significativas na porcentagem da vegetação (Tabela 2).

Figura 7 - Dados estatísticos relativos à cobertura de solo presente na unidade de Conservação e na zona de amortecimento para os anos de 2005 e 2020.

Cobertura de Solo (%)		Unidade de Conservação (Área Total em ha = 258 ha)			
Água			X		X
Solo Exposto			4,50%		0,25%
Vegetação Rasteira		2005	37,70%	2020	19,10%
Cerrado			50,40%		70,80%
Mata/Cerradão			7,40%		9,85%

		Zona de Amortecimento (Área Total em ha = 10.700 ha)			
Água			2,36%		2,02%
Solo Exposto			25,10%		4,46%
Vegetação Rasteira		2005	38,86%	2020	28,84%
Cerrado			23,47%		50,01%
Mata/Cerradão			10,21%		14,67%

Fonte: Autores (2021).

Na Figura acima é indispensável observar a evolução da vegetação, visto que, por meio das porcentagens obtidas é possível identificar aumento na vegetação de cerrado e cerradão, tanto na UC, quanto na zona de amortecimento, caracterizando que as ações de conservação estão gerando resultados favoráveis, não apenas pelo aumento acima citado, mas também pela diminuição de áreas de solo exposto que possuem grande vulnerabilidade.

Observando-se os dados obtidos, se confirma a diminuição de solo exposto dentro da unidade de conservação, equivalendo, em hectares, a uma diminuição de aproximadamente 11 ha, e principalmente dentro da zona de amortecimento, onde houve uma redução de aproximadamente 2.208 hectares de solo exposto. Com o auxílio das imagens de satélite do Google Earth (Google, 2021) foi possível visualizar que realmente houve um aumento nas áreas de cerrados na unidade de conservação, além de uma diminuição nas áreas de solo exposto, onde a área que apresenta maior quantidade de solo exposto encontra-se no topo do morro, tanto nas imagens de 2005 quanto de 2020, a trilha que leva ao topo também apresenta em ambas as imagens determinada concentração de vegetação rasteira.

Houve ainda, em ambas as áreas, a perda da vegetação rasteira de aproximadamente 48 ha na Unidade de Conservação e de 1.072 ha dentro da zona de amortecimento e em contrapartida um aumento da vegetação de cerrado, de respectivamente, 53 ha e 2.800 ha aproximadamente e um pequeno aumento de mata/cerradão, representando na UC um aumento de aprox. 6 ha e na zona de amortecimento de aprox. 477 ha.

A partir da observação e comparação das imagens e dos dados estatísticos obtidos para os anos determinados, é possível identificar a eficácia na conservação do MONAT, é possível também identificar áreas que necessitam de maior atenção por apresentarem uma baixa concentração de vegetação. Além disso, a partir de pesquisas realizadas nesse estudo, não foi encontrado nenhum plano de manejo para a área de estudo, o que é necessário para a manutenção da unidade de conservação e o cumprimento do manejo necessário e adequado, pontua-se aqui a necessidade do mesmo e a disponibilização para público.

A partir da geração do NDVI, buscando comprovar a veracidade dos valores obtidos, utilizou-se o Google Earth Pro (Google, 2021), que permite a observação de imagens de diferentes períodos, assim, seguindo os anos determinados, foram utilizadas imagens dos anos de 2005 e 2020, para comparação dos resultados (Figuras 7, 8, 9 e 10).

Figura 8 - MONAT no ano de 2005
(Google, 2021).



Figura 9 - MONAT no ano de 2020
(Google, 2021).



Fonte: Google (2021).

É válido observar as imagens correspondentes aos anos de 2005 e 2020 com olhar comparativo, buscando identificar as diferenças existentes entre as coberturas de solo de ambos os períodos. Por meio da comparação das imagens do MONAT é possível identificar a evolução da vegetação dentro da unidade de conservação, podendo ser observado visualmente por imagem de satélite o que foi obtido fazendo o uso do cálculo de NDVI.

Figura 10 - Zona de amortecimento do MONAT no ano de 2005 (Google, 2021).



Fonte: Google (2021).

Figura 11 - Zona de amortecimento do MONAT no ano de 2020 (Google, 2021).



Fonte: Google (2021).

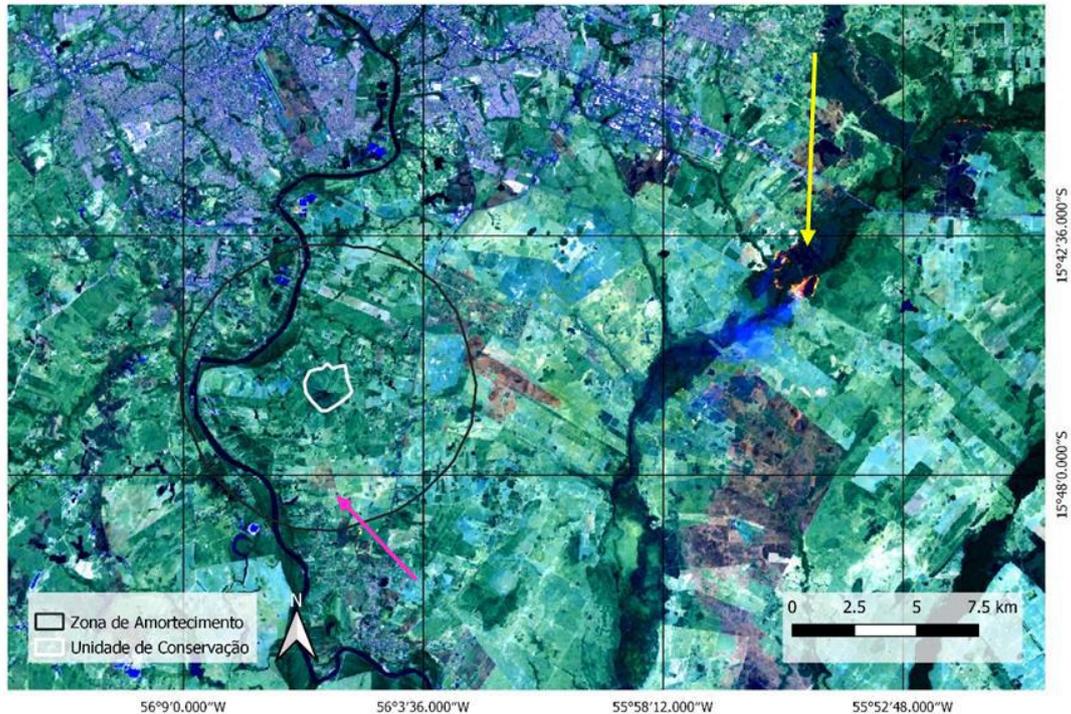
O mesmo se aplica à visualização das Figuras 10 e 11, é necessário buscar um olhar dinâmico e comparativo, procurando visualizar as evoluções na vegetação e cobertura do solo para os dois períodos definidos, visualizando também os resultados obtidos por meio do cálculo de NDVI.

Apesar de a grande maioria dos locais no MONAT que apresentavam pouca ou nenhuma cobertura de solo ainda estarem vulneráveis a intempéries ou que apresentaram pouca diferença na evolução da vegetação, é possível observar um aumento na vegetação (de cerrados, principalmente), o que prova a eficácia das medidas de conservação para o MONAT.

O ano de 2020 apresentou índices de precipitação considerados extremamente baixos, o que é de grande importância quando se diz respeito às queimadas. Segundo o Balanço dos Incêndios no Mato Grosso em 2020, até 16 de novembro o estado teve 8,5 milhões de hectares afetados, o que resulta numa área seis vezes maior que a cidade de Cuiabá (capital do Estado), sendo essa área correspondente a 9,4% do território estadual. Onde os meses mais críticos nos biomas Cerrado e Pantanal foram entre julho e setembro (Bernasconi, Silgueiro & Valdiones, 2020).

Na composição de bandas 764 (Figura 11) para o ano de 2020, utilizada para melhor identificar focos e cicatrizes de incêndios, é possível observar cicatrizes em diversos pontos da imagem, uma grande área afetada a leste (indicada pela seta amarela), fora da zona de amortecimento da Unidade de Conservação, que se concentra principalmente no canto superior direito da figura, mas compreende grande parte da região leste da figura, é também observável a presença de cicatrizes numa pequena área, a sul, na zona de amortecimento (indicado pela seta rosa), porém, para as datas apresentadas, não é possível observar cicatrizes ou focos de incêndios na Unidade de Conservação propriamente dita. É possível verificar pela seta amarela na Figura 11 as frentes de fogo e a direção da fumaça no sentido Leste-Oeste, em direção à UC.

Figura 12 - Amostras de cicatrizes de queimadas, indicados pela seta rosa, e frente de fogo, indicado pela seta amarela, na composição de bandas 764, do Satélite Landsat 8, sensor OLI. 2021.

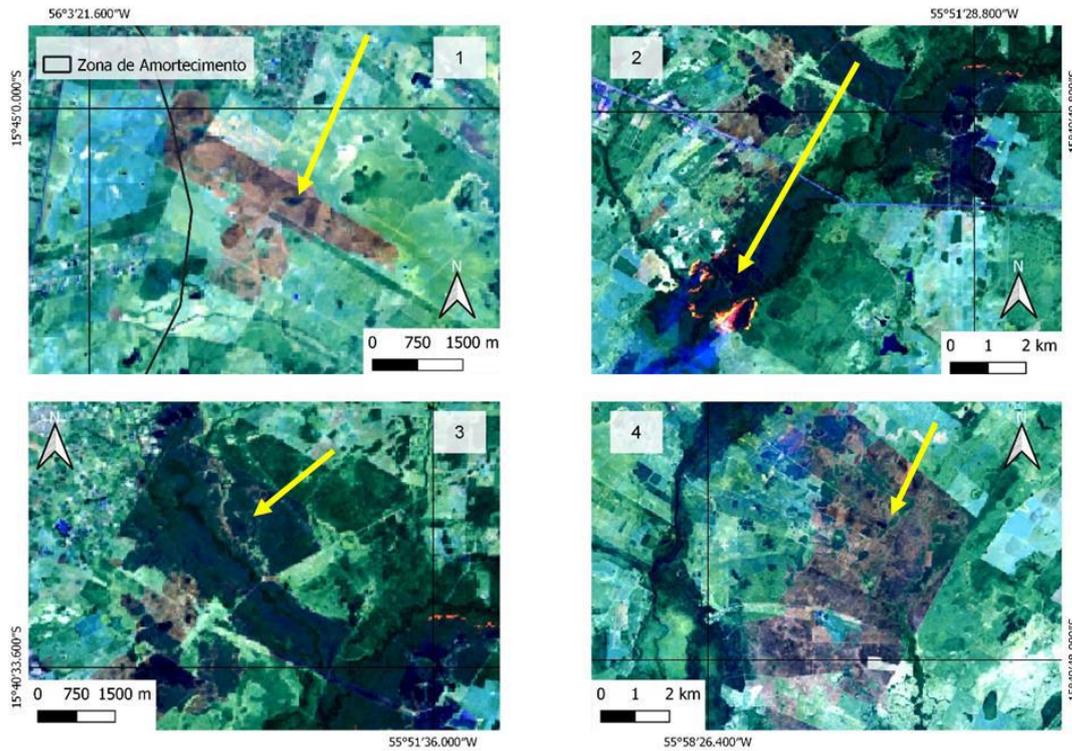


Fonte: Minatti, (2021).

Na Figura 12, é válido observar, além da diferença entre as coberturas vegetais na composição 564 e a composição 764, como frentes de fogo e cicatrizes de queimadas são de fácil identificação quando utilizada uma composição adequada.

As áreas mais escuras do mapa (Figura 12) indicam o trajeto afetado pelo fogo, ou seja, são cicatrizes de queimadas recentes (3), enquanto as áreas em tons mais roxos avermelhados (1 e 4) representam cicatrizes mais antigas, como é o caso da que se encontra próxima a zona de amortecimento (1). Além disso, é possível observar as frentes de fogo (2), que são as áreas alaranjadas na figura, a fumaça azulada próxima às frentes de fogo indicam a possível direção que o incêndio irá seguir (por conta da direção do vento), as áreas citadas em cada uma das observações são destacadas com setas amarelas, para melhor identificação.

Figura 13 - Amostras de cicatrizes de queimadas antigas em “1” e “4” frente de fogo em “2” e cicatriz de queimada recente em “3”, indicadas com as setas na composição de bandas 764, Satélite Landsat 8, sensor OLI, para o ano de 2020.



Fonte: Minatti, (2021).

Vale, para a figura acima, observar a diferenciação entre a temporalidade das queimadas e sua diferente caracterização na composição 764, principalmente relacionado à tonalidade.

Ainda segundo o Balanço de incêndios de Mato Grosso, as Unidades de Conservação registraram 9% do total de áreas queimadas no Estado, somando 806 mil hectares. Apesar de, no período estudado, a unidade de conservação não apresentar cicatrizes e/ou focos de queimadas, é necessário observar a importância das queimadas na perda da biodiversidade, o que afeta diretamente a conservação tanto da flora quanto da fauna das unidades de conservação, sendo um dos principais impactos ambientais identificados nos últimos anos (Bernasconi, Silgueiro & Valdiones, 2020).

Portanto, na grande maioria dos casos não se pode observar isoladamente apenas a unidade de conservação, pois impactos próximos a ela também são refletidos na mesma, tanto na vegetação quanto na fauna, por isso a importância e o cuidado não somente com as áreas delimitadas como de conservação ou preservação, mas com todo o conjunto de fatores físicos, químicos, biológicos e socioambientais envolvidos na conservação do ambiente.

4. Conclusão

Com os dados resultantes a partir da geração do NDVI e análise das imagens é possível identificar que a unidade de conservação se encontra num processo de conservação perceptível, visto que áreas de vegetação rasteira têm se convertido em áreas de cerrado, não somente na unidade de conservação, mas também na zona de amortecimento, além disso, muitas áreas de solo exposto também se transformaram em áreas de cerrado. Apesar de apresentar resultados positivos em relação à conservação da unidade, o processo é lento e precisa ser contínuo, onde os impactos humanos negativos sejam evitados o máximo possível, de forma que o processo prossiga em contínua evolução. As áreas de mata densa/Cerradão também aumentaram tanto na UC quanto na Zona de Amortecimento.

Portanto, faz-se necessário o acompanhamento contínuo das entidades responsáveis pela unidade de conservação, de forma organizada e coerente, principalmente devido a proximidade do aglomerado urbano e de fazendas, isso porque, possíveis impactos negativos podem ser gerados tanto relacionados a poluição por resíduos humanos e químicos, quanto pela perda de habitat de espécies locais, devendo-se buscar a preservação da biodiversidade, dos recursos hídricos e da qualidade de vida da população residente nas proximidades, gerando além da conservação da fauna e da flora, bem-estar e lazer.

Assim, para futuros trabalhos, vale ainda a possibilidade de buscar apresentar as ações de conservação que vem sendo tomadas, e do acompanhamento empírico da evolução da cobertura de solo, buscando trabalhar áreas de vulnerabilidade.

Agradecimentos

Ao CNPq pela concessão de Bolsa Produtividade em Pesquisa a Antonio Conceição Paranhos Filho (PQ-1D - CNPq Processo 304644/2022-6).

Também ao CNPq pela bolsa de PIBIC - Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica à Emanuelli Minatti.

Agradecemos também à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) pelo acesso ao Portal de Periódicos.

Agradecemos também à Fundação de Apoio ao Desenvolvimento de Ensino, Ciência e Tecnologia do MS - FUNDECT.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - UFMS/MEC – Brasil.

Referências

- ABNT NBR. (2015). ISO 14001: Sistemas de Gestão Ambiental Requisitos com orientação para uso. <https://fatecsenai.com.br/arquivos/14001-Sistemas-de-Gestao-Ambiental-Requisitos-com-orientacao-para-uso.pdf>
- Barbosa, A. H. da S., Carvalho, R. G. de, & Camacho, R. G. V. (2017). Aplicação do NDVI para a Análise da Distribuição Espacial da Cobertura Vegetal na Região Serrana de Martins e Portalegre – Estado do Rio Grande do Norte. *Revista do Departamento de Geografia*, 33, 128–43. <https://doi.org/10.11606/rdg.v33i0.128171>
- Barros, A. S., Farias, L. M. & Marinho, J. L. A. (2020). Aplicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) na Caracterização da Cobertura Vegetativa de Juazeiro Do Norte–CE. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 13(6), 2885-2895.
- Bensusan, N. R. (2006). *Conservação da biodiversidade em áreas protegidas*. Editora FGV.
- Bilar, A. B. C. (2018). *Ação da comunidade na preservação e utilização sustentável da vegetação de caatinga*. Tese (Doutorado). Programa de Desenvolvimento e Meio Ambiente. Universidade Federal de Pernambuco.
- Bilar, A. B. C., De Mendonça Pimentel, R. M. & Cerqueira, M. A. (2018). Monitoramento da cobertura vegetal através de índices biofísicos e gestão de áreas protegidas. *Geosul*, 33(68), 236-259. <https://doi.org/10.5007/2177-5230.2018v33n68p236>
- Brasil. (2000.) 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.
- Chagas, M. G. S. (2012). *Condição biológica da vegetação em ecossistemas costeiros e do Sertão do Pajeú em Pernambuco*. 123f. Tese (Doutorado) Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- Chaves, T. (2016). Uma análise dos principais impactos ambientais verificados no estado de Santa. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, 5, 611. <https://doi.org/10.19177/rgsa.v5e22016611-634>
- CONAMA. (1986). Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA N° 001, de 23 de janeiro de 1986. Ministério do Meio Ambiente. Publicado no Diário Oficial da União.
- Costa, D. T., Vaz, J. S., Lopes, J. S. F., & Gotardi, A. (2012). Grandes impactos ambientais no mundo. *Meio Ambiente e Sustentabilidade*, 1(1), 56–73.
- CPTEC/INPE. ([s.d.]). *Clima Monitoramento Brasil*. <https://clima1.cptec.inpe.br/monitoramentobrasil/pt>.
- Dallan N. G., Takata, R. T. (2019). Planejamento turístico do Monumento Natural Estadual Morro de Santo Antônio, no município de Santo Antônio do Leverger - MT. *InterEspaço: Revista de Geografia e Interdisciplinaridade*, 4(15), 156-169. <https://doi.org/10.18764/2446-6549.v4n15p156-169>
- Eisenlohr, P. V., Meyer, L., Miranda, P. L. S. De., Rezende, V. L., Sarmiento, C. D., Mota, T. J. R. de C., Garcia, L. C., & Melo, M. M. da R. F. de. (2013). Trilhas e seu papel ecológico: O que temos aprendido e quais as perspectivas para a restauração de ecossistemas? *Hoehnea*, 40, 407–418. <https://doi.org/10.1590/S2236-89062013000300002>

- Encina, C. C. C., Paranhos-Filho, A. C., Pessi, D. D., Miotto, C. L., Coimbra, D. S. F., Silva, N. M.; Chaves, J. R.; Gamarra, R. M., & Ribeiro, V. (2021). *Um olhar sobre a conservação do Pantanal*. Maringá, PR. Uniedusul Editora.
- Florenzano, T. G. (2011). Iniciação ao sensoriamento remoto. 3ª edição. São Paulo: Oficina de textos. p. 101.
- Foresti, C. (1987). *Avaliação e monitoramento ambiental da expansão urbana do setor oeste da área metropolitana de São Paulo: análise através de dados e técnicas de sensoriamento remoto*. Tese (Doutorado). São Paulo, USP, Departamento de Geografia.
- Google Earth Pro. (2021). Alphabet.
- Gotardi, A. et al.(2012). Grandes impactos ambientais no mundo. *Caderno Meio Ambiente e Sustentabilidade*, 1(1), 56-76.
- Guarim, V. L. M. S., Moraes, E. C. C., Prance, G. T., & Ratter, J. A. (2000). Inventory of a mesotrophic callisthene cerrado in the pantanal of Mato Grosso, Brazil. *Edinburgh Journal of Botany*, 57(3), 429–436. <https://doi.org/10.1017/S0960428600000408>
- ICV. (2020). Instituto Centro de Vida. Balanço de Incêndios em Mato Grosso do Sul em 2020. <https://www.icv.org.br/website/wp-content/uploads/2021/01/balancodosincendiosemmatogrossoem2020.pdf>.
- INMET. ([s.d.]). Instituto Nacional de Meteorologia. *SPI - Índice de Precipitação*. Instituto Nacional de Meteorologia. <https://portal.inmet.gov.br/servicos/spi-indice-de-precipitacao-padronizada>
- Jacinto, L. R. de C. (2003). *Geoprocessamento e sensoriamento remoto como ferramentas na gestão ambiental de Unidades de Conservação: O caso da Área de Proteção Ambiental (APA) do Capivari-Monos, São Paulo-SP*. Dissertação (Mestrado) Recursos Minerais e Hidrogeologia, Universidade de São Paulo. <https://doi.org/10.11606/D.44.2003.tde-14082003-230137>
- MONAT. ([s.d.]). Morro de Santo Antônio. *Unidades de Conservação no Brasil*. <https://uc.socioambiental.org/pt-br/arp/4870>.
- Neto, J. O. D. S., Vieira, L. D. F., Siqueira, L. E. L., & Oliveira, V. P. V. D. (2019). Aplicação do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) para análise da degradação ambiental nos municípios de Fortim, Aracati e Icapuí – Ceará, Brasil. *Revista GeoUECE*, 8 (14), 273–283.
- Nora, G. D., & Takata, R. T. (2019). Planejamento turístico do Monumento Natural Estadual Morro de Santo Antônio de Leverger - MT. *InterEspaço: Revista de Geografia e Interdisciplinaridade*, 156–169. <https://doi.org/10.18764/2446-6549.v4n15p156-169>
- Pamboukian, S. V. D. (20--). Composição de Bandas no QGIS. https://www.mackenzie.br/fileadmin/ARQUIVOS/Public/1-mackenzie/universidade/laboratorios/labgeo/Curso_QGIS3/1403_Composi%C3%A7%C3%A3o_de_Bandas_no_QGIS.pdf.
- Pinto, L. P. (2008). Unidades de conservação. *Revista Diversa UFMG*. 7(14).
- Ponzoni, F. J., Shimabukuro, Y. E. & Kuplich, T. M. (2012). *Sensoriamento remoto da vegetação*. Oficina de textos. (2º ed).
- QGIS. (2020). *Geographic Information System* (3.10.9). [Python, C++, QT]. QGIS Development Team.
- Ribeiro, E. P., Nóbrega, R. S., Filho, F. O. M. & Moreira, E. B. (2016). Estimativa dos índices de vegetação na detecção de mudanças ambientais na bacia hidrográfica do rio Pajeú. *Geosul*, v. 31, n. 62, p. 59–92. <https://doi.org/10.5007/2177-5230.2016v31n62p59>
- Roseback, R., França, A., França, S., & Florenzano, T. (2022). Análise comparativa dos dados NDVI obtidos de imagens CCD/CBERS-2 e TM/LANDSAT-5 em área urbana. *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. v. 12, n. 2005, pág. 1075-1082.
- Rodrigues, J. O., Andrade, E. M. De., Teixeira, A. dos S., e Silva, B. B. da. (2009). Sazonalidade de variáveis biofísicas em regiões semiáridas pelo emprego do sensoriamento remoto. *Engenharia Agrícola*, 29, 452–465. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162009000300012>
- Sallo, F. da S., França, M. S. de, M. D. M. De., Rodrigues, R., & Biudes, M. S. (2014). Estimativa de componentes do balanço de radiação em diferentes tipos de uso e cobertura do solo. *Revista Ambiente & Água*, 9, 347–358. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1273>
- Santos, M. V. dos. (2000). *Relatório técnico consolidado de clima para o estado de Mato Grosso Vol. 2/2 (Zoneamento sócio-econômico-ecológico: Diagnóstico sócio-econômico-ecológico do Estado de Mato Grosso e Assistência Técnica na formulação da 2ª aproximação)*. Cuiabá, MT. <http://www.dados.mt.gov.br/publicacoes/dsee/climatologia/rt/DSEE-CL-RT-002.pdf>.
- Sentera in. (2017). NDVI and Your Farm: Understanding NDVI for Plant Health Insights. <https://www.agriculture-xprt.com/news/ndvi-and-your-farm-understanding-ndvi-for-plant-health-insights-702065>.
- Silgeiro, V., Valdiones, A. P. & Bernasconi, P. (2020). Balanço dos incêndios em Mato Grosso em 2020. Instituto Centro de Vida.
- Silva, M. A., Medeiros, M. J. L. e M., Silva, P. K. S. & Silva, M. M. P. (2006). Impactos Ambientais causados em decorrência do rompimento da Barragem Camará no município de Alagoa Grande, PB. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, 6, 20–34.
- United States Geological Survey. (2005). Landsat TM C1 Level-1, LT05_L1TP_226071_20050811_20161124_01_T1, USGS, Earth Explorer, 11/08/2005.
- United States Geological Survey. (2020). Landsat OLI/TIRS C1 Level-1, LC08_L1TP_226071_20200905_20200917_01_T1, USGS, Earth Explorer, 05/09/2020.