

## ANALISE DE PADRÕES DE PAISAGENS PARA AVALIAR MUDANÇAS NAS ÁREAS MAIS ELEVADAS DA MANTIQUEIRA MERIDIONAL

LANDSCAPE PATTERN ANALYSIS TO ASSESS CHANGES IN THE HIGHEST  
AREAS OF MANTIQUEIRA MERIDIONAL

ANÁLISIS DE PATRONES DE PAISAJE PARA EVALUAR CAMBIOS EN LAS  
ZONAS MÁS ALTAS DE LA MANTIQUEIRA MERIDIONAL

**Luiz Henrique de Oliveira Santos**

Doutorando em Geografia pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (PPGEO/UERJ)  
Email: [luisserafina@hotmail.com](mailto:luisserafina@hotmail.com)  
Orcid: 0000-0002-0208-6931

**Leandro Andrei Beser de Deus**

Professor Associado do Instituto de Geografia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (IGEOG/UERJ) e no Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGEO/UERJ)  
Email: [leandrobeser@gmail.com](mailto:leandrobeser@gmail.com)  
Orcid: 0000-0002-5727-2897

**Antonio Soares da Silva**

Prof. Titular - Instituto de Geografia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro  
Email: [asoares.uerj@gmail.com](mailto:asoares.uerj@gmail.com)  
Orcid: 0000-0003-3537-5438

## Resumo

A Serra da Mantiqueira é um conjunto de elevações localizadas no sudeste do Brasil e que pode ser dividida em duas porções: a Meridional e a Setentrional. A parte mais elevada da Mantiqueira Meridional e marcada pela presença de afloramentos intrusivos que formam dois maciços alcalinos, o de Passa Quatro (MAPQ) e o de Itatiaia (MAI) que influenciam em diferentes paisagem devido a variação altimétrica. Apesar da proteção legal, estas áreas têm sofrido com incêndios que resultam em perda de biodiversidade e afetam a utilização pelo turismo. O presente trabalho tem como objetivo avaliar o comportamento dos fragmentos vegetacionais das partes mais elevadas da Mantiqueira Meridional, focando em um recorte que utiliza como referência o MAPQ e o MAI buscando entender o comportamento destes fragmentos vegetacionais perante os incêndios e aspectos da sazonalidade. Para chegar aos resultados, a investigação foi feita utilizando imagens do Landsat 5 e 8 de 2011 e 2021, processadas do Qgis e no módulo LCM no software IDRISI. A ferramenta *Landscape Pattern and Change Process Analysis*, permitiu criar três produtos cartográficos: área do fragmento (patch), entropia normalizada e Processo de mudança. Por fim, surgiu a hipótese de que a sazonalidade poderia interferir nos resultados, por isso, foram feitos NDVIs comparados com o índice KAPPA para quantificar a variação sazonal. Como resultado, a ferramenta *Landscape Pattern and Change Process Analysis* apresentou produtos eficientes para avaliar os processos de mudança dos fragmentos vegetacionais. Foi concluído que as áreas afetadas pelo incêndio de 2020 apresentar uma boa resposta de recuperação, mas, no nordeste da cena, há algumas áreas onde os Campos de Altitude estão passando por um processo de tensão.

**Palavras-chave:** Incêndio, IDRISI, entropia, Campos de Altitude, sazonalidade

## Abstract

The Serra da Mantiqueira is a group of elevations located in southeastern Brazil that can be divided into two portions: The Southern and the Northern. The highest part of the Southern Mantiqueira is marked by the presence of intrusive outcrops that form two alkaline massifs, the Passa Quatro (MAPQ) and the Itatiaia (MAI), which influence different landscapes due to altimetry variation. Despite legal protection, these areas have suffered from fires and the impact of these events results in loss of biodiversity and affects use by tourism. This study aims to evaluate the behavior of vegetation fragments in the highest parts of the Southern Mantiqueira, focusing on a section that uses the MAPQ and the MAI as reference, seeking to understand the behavior of this vegetation fragment in the face of fires and aspects of seasonality in this region. To obtain the results, the investigation was carried out using Landsat 5 and 8 images from 2011 and 2021, processed in Qgis and in the LCM module in the IDRISI software. The Landscape Pattern and Change Process Analysis tool allowed the creation of three cartographic products: Patch Area, Normalized Entropy and Change Process. Finally, the hypothesis arose that seasonality could interfere with the results, so NDVIs were compared with the KAPPA index to quantify the seasonal variation. As a result, the Landscape Pattern and Change Process Analysis tool presented efficient products to evaluate the processes of change of vegetation fragments. It was concluded that the areas affected by the 2020 fire presented a good recovery response, but in the northeast of the scene, there are some areas where the high-altitude fields are undergoing a process of tension.

**Keywords:** Forest fire, IDRISI, entropy, high altitude fields, seasonality.

## Resumen

La Serra da Mantiqueira es un conjunto de elevaciones ubicado en el sureste de Brasil, que se divide en dos porciones: la Sur y la Norte. La parte más alta de la Mantiqueira Sur se caracteriza por la presencia de afloramientos intrusivos que forman dos macizos alcalinos, el Passa Quatro (MAPQ) y el Itatiaia (MAI), que influyen en diferentes paisajes debido a la variación altimétrica. A pesar de su protección legal, estas áreas han sufrido incendios, cuyo impacto se traduce en pérdida de biodiversidad y afecta el uso turístico. Este estudio tiene como objetivo evaluar el comportamiento de los fragmentos de vegetación en las partes más altas de la Mantiqueira Sur, centrándose en una sección que utiliza el MAPQ y el MAI como referencias, buscando comprender el comportamiento de este fragmento de vegetación frente a los incendios y los aspectos de la estacionalidad en esta región. Para obtener los resultados, la investigación se realizó utilizando imágenes Landsat 5 y 8 de 2011 y 2021, procesadas en Qgis y en el módulo LCM del software IDRISI. La herramienta de Análisis de Patrones y Procesos de Cambio del Paisaje permitió la creación de tres productos cartográficos: Área de Parche, Entropía Normalizada y Proceso de Cambio. Finalmente, se planteó la hipótesis de que la estacionalidad podría interferir con los resultados, por lo que se compararon los NDVI con el índice KAPPA para cuantificar la variación estacional. Como resultado, la herramienta de Análisis de Patrones

y Procesos de Cambio del Paisaje presentó productos eficientes para evaluar los procesos de cambio de los fragmentos de vegetación. Se concluyó que las áreas afectadas por el incendio de 2020 presentaron una buena recuperación, pero en el noreste del escenario, existen algunas áreas donde los campos de gran altitud están experimentando un proceso de tensión.

**Palabras clave:** Incendio forestal, IDRISI, entropía, campos de gran altitud, estacionalidad.

## 1. Introdução

A Serra da Mantiqueira é um conjunto de elevações localizadas no sudeste do Brasil entre os estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro, São Paulo e Espírito Santo (Marques Neto, 2017; 2018). A região destaca-se pela presença de formas de estruturas físicas elevadas e declivosas em comparação ao relevo brasileiro. Pode ser dividida em duas porções: a meridional e a setentrional.

A parte mais elevada da Mantiqueira Meridional é marcada pela presença de afloramentos intrusivos que formam dois maciços alcalinos, o de Passa Quatro (MAPQ) e o de Itatiaia (MAI) (Chiessi, 2004). As altitudes nestas áreas variam de aproximadamente de 800 a 2.798,4 m, podendo destacar picos como: Pedra da Mina (2.798,4 m); o pico das Agulhas Negras (2.791,5 m); o Morro do Couto (2.680 m); a Pedra do Sino (2.670 m); e o pico dos Três Estados (2.665 m), respectivamente, 4º, 5º, 8º, 9º e 10º pontos mais elevados do Brasil (IBGE, 2012).

A variação de altitude destes maciços proporciona grande biodiversidade e diversas formas ecossistemas associados à Mata Atlântica, como os Campos de Altitude, florestas ombrófilas mistas e floresta estacional semidecidual. Esta variedade de ecossistemas, é protegida por Unidades de Conservação, destacando-se: a Área de Proteção Ambiental (APA) da Serra da Mantiqueira, Parque Nacional de Itatiaia (PNI) e Parque Estadual da Serra do Papagaio (PESP) além de algumas Reservas Particulares do Patrimônio Natural (RPPNs) (Santos, 2020; 2021).

Apesar da proteção legal, estas áreas têm sofrido com incêndios. O impacto destes eventos resulta em perda de biodiversidade e afeta a utilização pelo turismo. Já há estudo na região sobre o impacto do fogo (Aximoff e Rodrigues, 2011; Tomzhinski, 2012), principalmente no Parque Nacional de Itatiaia, primeiro Parque Nacional criado no Brasil e já consolidado como destino turístico. No início dos anos 2000, as áreas mais elevadas do MAPQ, começou a ser explorado pelo turismo, a Serra Fina. A exploração turística desta área se deu a descoberta da Pedra da Mina como o quarto ponto mais levado do Brasil popularizando a travessia Serra Fina, uma rota de demora em média quatro dias para ter realizada e que passa por vários dos pontos mais elevados do MAPQ. Consequentemente,

além dos vários impactos comuns, associados a utilização pelo turismo, a região começou a sofrer com incêndios como o de 2020 (Santos, 2024).

O presente trabalho tem como objetivo avaliar o comportamento dos fragmentos vegetacionais das partes mais elevadas da Mantiqueira Meridional, focando em um recorte que utiliza como referência o MAPQ e o MAI buscando entender o comportamento deste fragmento vegetacional perante os incêndios e buscando entender aspectos da sazonalidade nesta região.

Para chegar aos resultados, a investigação foi feita utilizando o software de geoprocessamento IDRISI, que tem, entre as várias funções, utilidade para modelagens ambientais através de um módulo chamado *Land Change Models* (LCM) (Mengue et al. 2018; Neves et al. 2019; Pereira et al. 2021; Bias-Fortes e Beser de Deus, 2022). Neste módulo, há uma ferramenta chamada *Landscape Pattern and Change Process Analysis* (painel de análise de padrões de paisagem) que permite criar produtos cartográficos como: área do fragmento (patch), entropia normalizada e painel de análise do processo de mudança de cenário. A ferramenta funciona através da comparação de duas cenas elaboradas a partir do processamento de imagens de satélite. No caso deste trabalho, são utilizadas imagens do Landsat 5 e 8.

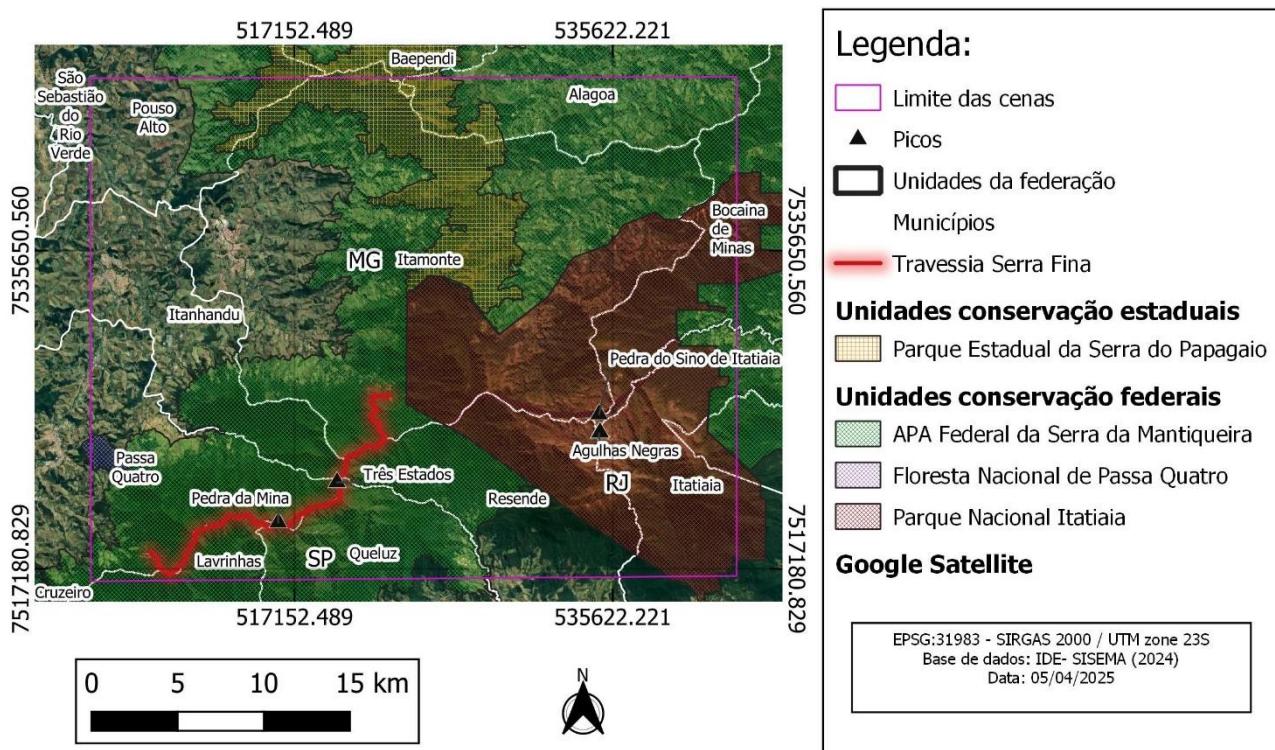
Este trabalho serve como complemento para atender resolução a CONAMA nº 423/2010 (CONAMA, 2010) que, em seu preâmbulo, “dispõe sobre parâmetros básicos para identificação e análise da vegetação primária e dos estágios sucessionais da vegetação secundária nos Campos de Altitude associados ou abrangidos pela Mata Atlântica” e integra um projeto maior que visa analisar os impactos do incêndio de 2020 na Serra Fina. A particularidade e exclusividade dos resultados aqui apresentados está nas propostas de análise das extensões do LCM.

## 2. Caracterização da área

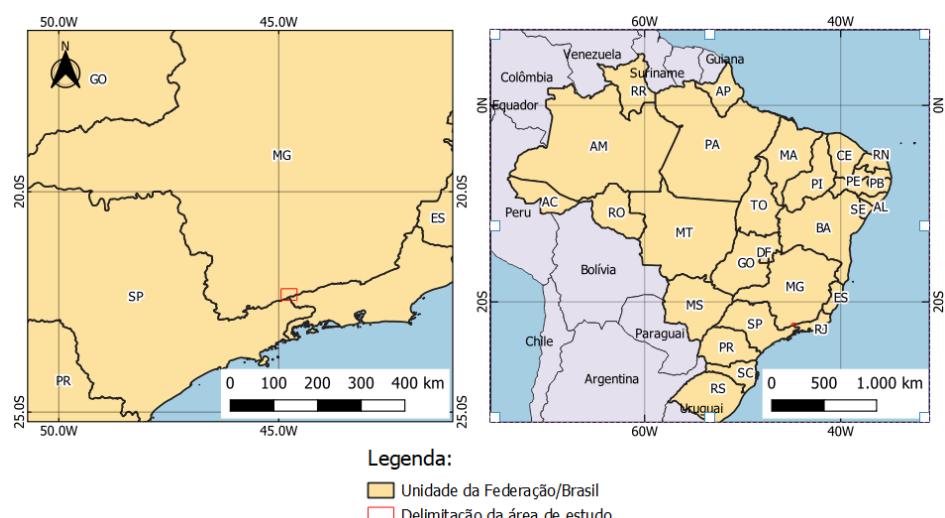
A Área de estudo é um recorte das áreas mais elevadas da Mantiqueira Meridional, abrangendo o MAPQ e o MAI. O primeiro maciço citado é cortado pela travessia Serra Fina, uma rota turística que demora geralmente quatro dias para ser realizada. Esta travessia se popularizou após novas medições no ano de 2000 apontarem a Pedra da Mina como o quarto ponto mais alto do Brasil. Houve um crescimento pela procura desta área que veio acompanhando de problemas como o excesso de visitantes principalmente nas áreas de acampamento, micro lixo, lixo de higiene pessoal e alguns incêndios. A utilização da área pelo turismo polarizou agentes de turismo pelo Brasil e moradores locais uma lógica de exploração comercial da área (Santos e Pinto, 2019; Santos, 2024). Apesar do foco central

do estudo ser a região da Serra Fina, o recorte foi estendido ao MAI que tem um histórico de incêndio e também a parte do Parque Estadual da Serra do Papagaio que assim, como Parque do Itatiaia, tem muitos fragmentos de Campos de Altitude.

A Figura 1 apresenta a área de estudo com o limite das cenas e apresenta as Unidade de Conservação presentes neste recorte. A Figura 2 apresenta a localização do recorte das cenas em relação as Unidades Federativas e o Brasil.



**Figura 2.** Área das cenas. Elaboração: Os autores (2023)



**Figura 2.** Localização do recorte de extensão das cenas em relação as unidades federativas.  
Elaboração: Os autores (2023)

A região deste recorte tem sofrido com incêndios (Aximoff e Rodrigues, 2011; Tomzhinski, 2012) principalmente nas áreas dos Campos de Altitude, como o que ocorreu no ano de 2020 em meio a pandemia da Covid19 e o que deixou a área fechada por dois anos afetando a utilização da área pelo turismo. Nos dias 16 e 28 de julho daquele ano, este incêndio atingiu parte do conjunto de picos e cristas da Serra Fina que está situada dentro da Zona de Conservação da APA da Mantiqueira (Brasil, 2018), queimando uma área de 547,59 ha (Massi *et al.*, 2021), sendo a maior parte de Campos de Altitude (Figura 3). Segundo Santos (2019; 2024), a área é muito utilizada por turistas e montanhistas e se tornou uma referência de travessia no movimento do montanhismo brasileiro, por isto, o evento causou uma grande comoção no meio do cenário brasileiro.



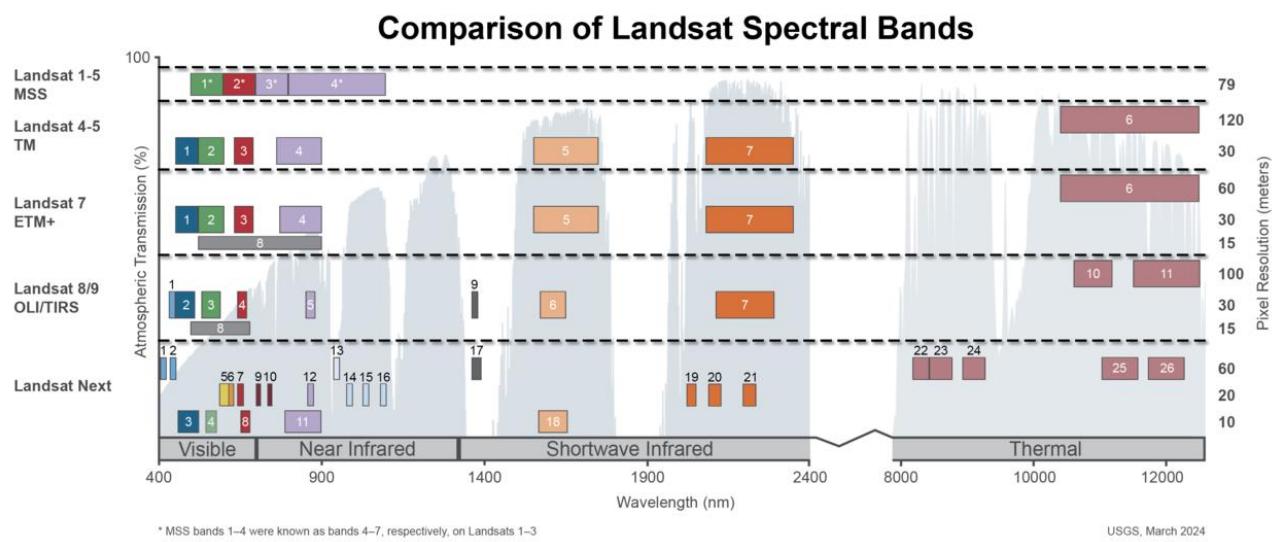
**Figura 3.** Vale queimado no incêndio de 2020. Elaboração: Os autores (2023)

### 3. Metodologia

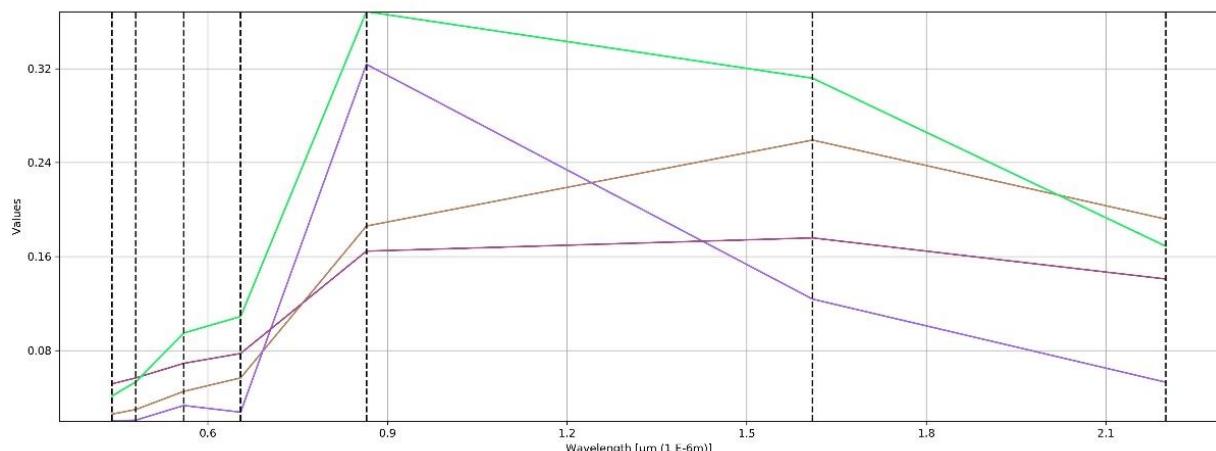
Para alcançar o objetivo deste trabalho, o estudo proposto utilizou o processamento de duas imagens de satélites do Landsat 5 e 8, disponíveis no site *Earth Explorer* do U.S. Geological Survey. O Landsat 5 utiliza o sensor TM (*Thematic Mapper*) com resolução espacial de 30 m, resolução temporal de 16 dias, área imageada de 185 km e resolução radiométrica de 8 bits. Já o Landsat 8 utiliza o sensor OLI (*Operational Land Imager*) com resolução espacial de 30 m, resolução temporal de 16 dias, área imageada de 185 km e resolução radiométrica de 12 bits. (USGS, 2024)

Os Landsat 5 e 8 produzem três bandas no infravermelho (Figura 4). Apesar de ter resolução de apenas 30 metros, foi identificado que nas bandas do infravermelho, há uma

maior distância numérica dos valores, o que proporciona uma leitura mais precisa do programa para o objetivo proposto (Figura 5).



**Figura 4.** Comparação das bandas espectrais do programa Landsat. (USGS, 2024)



**Figura 5.** Gráficos feito pela ferramenta Active Roi pointer no Qgis das respostas de 4 pontos aleatórios da Cena 1 exemplificando como as bandas do Infravermelho curto e médio apresentam maior diferença de valores.

As datas das imagens são de 07 de outubro de 2011 (cena 1 – T1) e 28 de junho de 2021 (cena 2 – T2). Foram utilizadas imagens do nível 1, coleção 2. A imagem da cena 1 foi escolhida por trazer vários focos de queimadas na região, principalmente, nas áreas de Campos de Altitude na Serra Fina e no Parque Estadual da Serra do Papagaio. Para a cena 2 foi utilizada a imagem mais próxima da data de um ano após o incêndio de 2020 e sem a presença de nuvens.

O processamento digital de imagens (PDI) foi realizado no software QGIS. A correção atmosférica utilizou o método DOS1 executado pelo *Semi-Automatic Classification Plugin* (SCP). Essa extensão faz o cálculo de correção da radiância, da refletância e da elevação

solar. Após a correção, as imagens foram reprojetadas do SRC EPSG:32623 - WGS 84 / UTM zone 23N – Projetado para SRC EPSG:31983 - SIRGAS 2000 / UTM zone 23S – Projetado, mais adequadas para a área de estudo.

Cada imagem foi empilhada em um conjunto de banda virtual (*virtual band set*) correspondentes com as bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 no Landsat 5 e 2, 3, 4, 5, 6 e 7 no Landsat 8, possibilitando a formação de composições com seis bandas similares em cada imagem. Em ambos os casos, as três primeiras bandas são de luz visível e as três últimas de infravermelho.

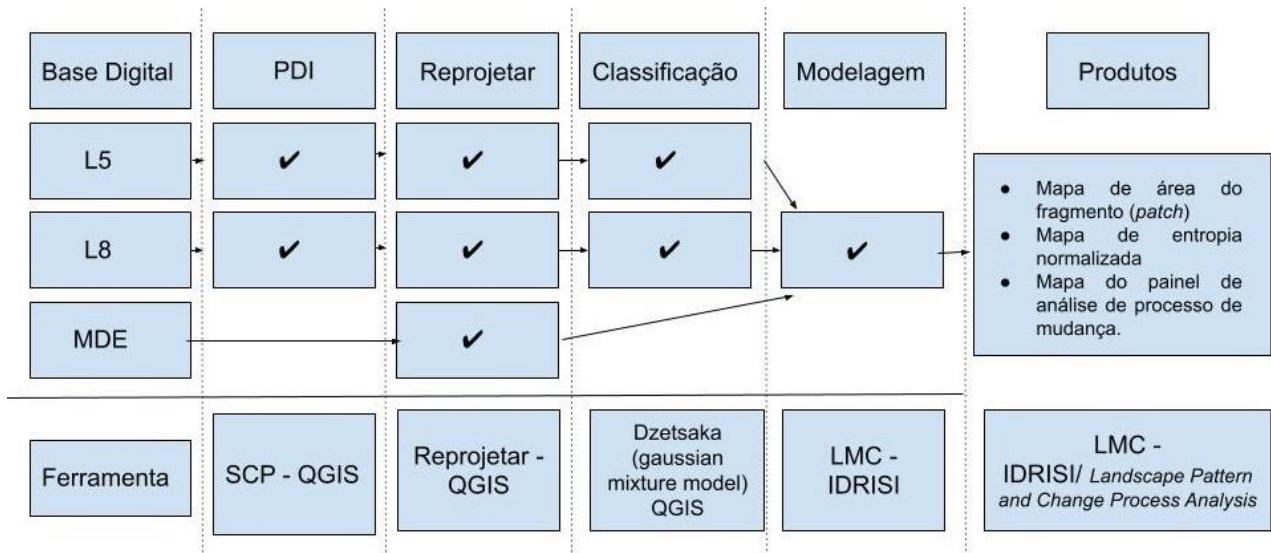
Para a classificação supervisionada foi necessário a criação de dois *shapefiles* de polígonos, um por cena, com fragmento das classes para realizar o treinamento do algoritmo. A delimitação dos polígonos foi feita com base nas composições realizadas. Para a classificação das cenas, foi utilizada a ferramenta de classificação supervisionada *Dzetsaka* que utiliza o *Gaussian Mixture Model*, que aplica um algoritmo de maximização de expectativa (EM).

Foram criadas 5 classes: áreas queimadas, florestas, Campos, pastagem e área agrícolas e áreas sem cobertura vegetal.

Depois da classificação das imagens elas foram recortadas no formato do polígono da cena para ficarem mais leves de processar e ter um parâmetro de borda alinhado. A ferramenta *r.report* do Grass permitiu calcular a área de cada classe em cada cena.

O passo seguinte foi transpor estes dados para o software IDRISI. No software, foi utilizado o módulo *Land Change Models* (LCM) para a criação de produtos com a ferramentas *Landscape Pattern and Change Process Analysis* (localizada na aba “Implicações”) que permitiu criar: um mapa de área do fragmento (patch) dos Campos de Altitude, um mapa de entropia normalizada e um mapa do painel de análise de processo de mudança. O IDRISI também pode utilizar um modelo digital de elevação (MDE) para considerar como parâmetro para a modelagem. No caso deste trabalho, foi utilizado um MDE TOPODATA (22S45\_ZN) (BRASIL, 2008).

A Figura 6 apresenta de forma resumida o procedimento metodológico para chegar aos resultados.



**Figura 6.** Procedimento metodológico para a obtenção dos resultados. Elaboração: Os autores (2023)

Após todo este processo, foi testada uma hipótese para avaliar a variação sazonal, realizando um estudo de ganho e perdas sobre um mapa de variações climáticas da região com base em dados do IBGE em uma escala 1:5.000.000. Também foi feita a *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) das duas cenas e uma comparação pelo índice Kappa para avaliar a concordância entre os dois NDVIs. O cálculo do NDVI é feito pela seguinte fórmula:

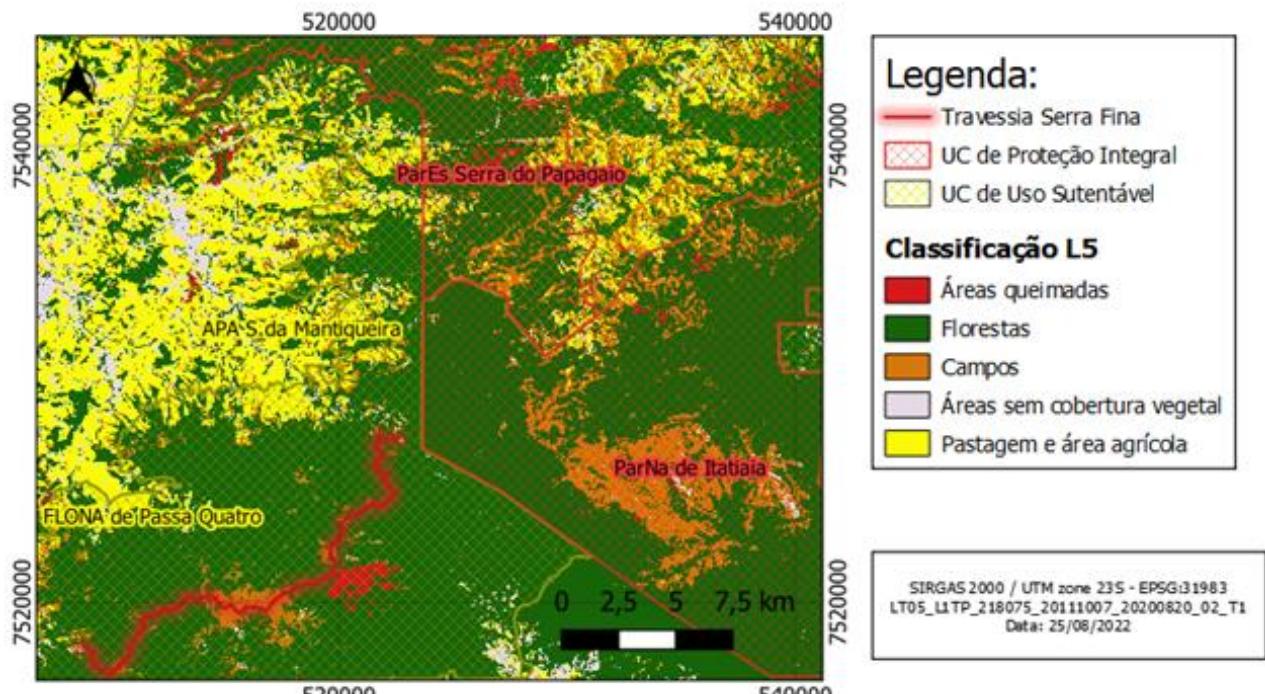
$$\text{NDVI} = (\text{NIR-Vermelho}) / (\text{NIR+Vermelho})$$

Onde NIR é o infravermelho curto e Vermelho é uma luz vermelha visível.

#### 4. Resultados e discussões

Os primeiros resultados são as classificações das cenas e o estabelecimento dos valores de respostas dos alvos selecionado para cada classe.

A primeira cena de 2011 (Figura 7) apresenta vários fragmentos de áreas queimadas. Destaque para o maior fragmento perto da trilha da Serra Fina. Esse fragmento chegou a abranger parte da trilha que dá acesso ao Pico dos Três Estados. Além deste, vários outros fragmentos foram visíveis no Parque Estadual da Serra do Papagaio, totalizando 18,455 km<sup>2</sup> em toda a cena 1 (tabela 1). A maior parte de área queimada nesta data está no domínio dos Campos de Altitude.



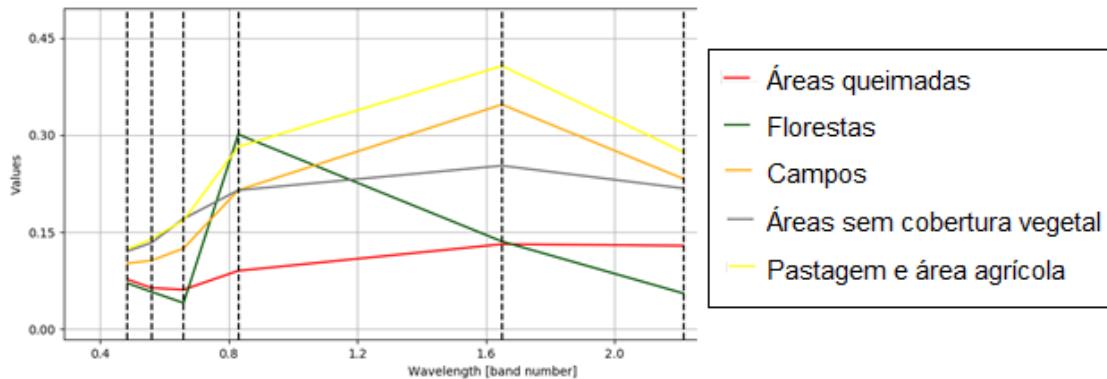
**Figura 7.** Classificação: Cena 1 - (T1). Elaboração: Os autores (2023)

**Tabela 1.** Área das classes em quilômetros da cena 1.

Classe	Área (Km <sup>2</sup> )
Áreas queimadas	18,45540
Florestas:	553,30110
Campos	200,59650
Sem cobertura vegetal	91,03860
Pastagem e área agrícolas	226,42920
Total	1089,82080

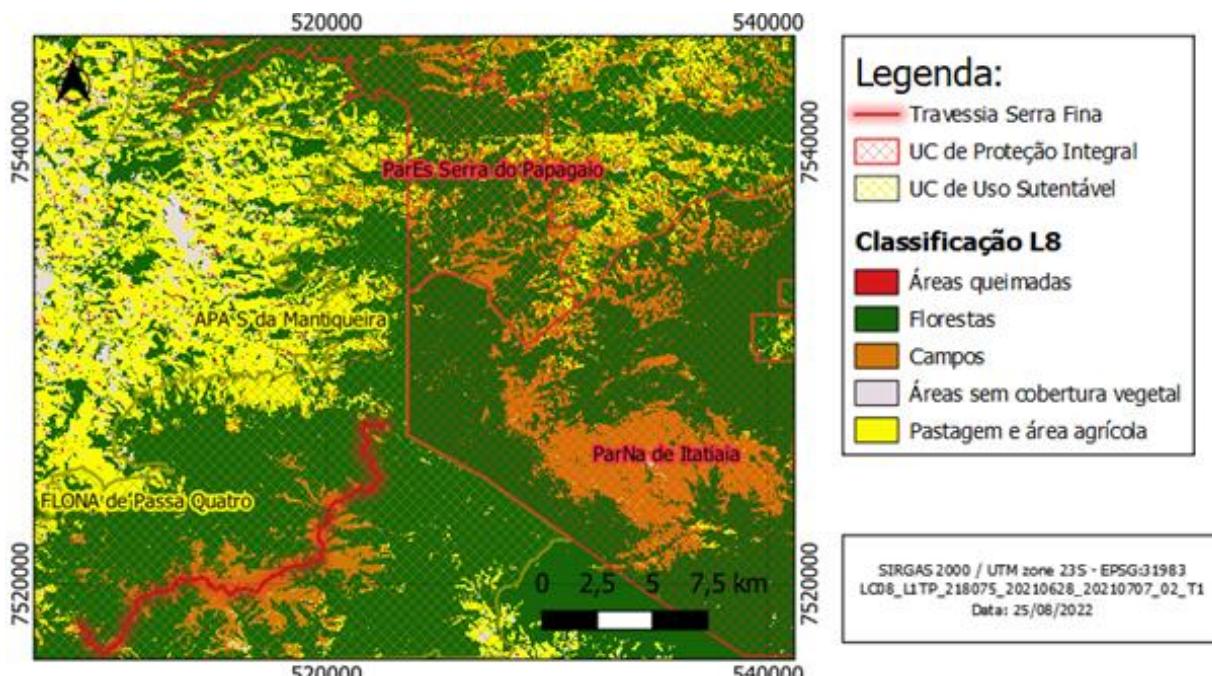
**Fonte:** Elaborada pelos autores (2023)

A Figura 8 apresenta como cada classe responde de forma aproximada em cada banda do Landsat. As linhas pontilhadas na vertical representam a faixa de comprimento de onda de cada uma das bandas. As áreas queimadas têm baixa resposta e destaque para a banda infravermelho médio que melhor apresentou a diferença das classes.



**Figura 8.** Resposta dos alvos classificados nas 6 bandas. Elaboração: Os autores (2023)

A segunda cena (Figura 9) apresenta fragmentos menores de áreas queimadas, localizadas perto de áreas urbanas e de áreas de agricultura e pastagem. Não é possível observar áreas queimadas nos Campos de Altitude. Na área do incêndio de 2020, na Serra Fina, não há registros de áreas queimadas um ano após o evento. A tabela 2 apresenta a área das classes. Na cena 2, houve redução significativa de áreas queimadas, apresentando o valor aproximado de 0,15 Km<sup>2</sup>. Comparado à cena anterior, o valor apresentado em 2021 é 120 vezes menor em relação às áreas queimadas de 2011.



**Figura 9.** Classificação: cena 2 - (T2). Elaboração: Os autores (2023)

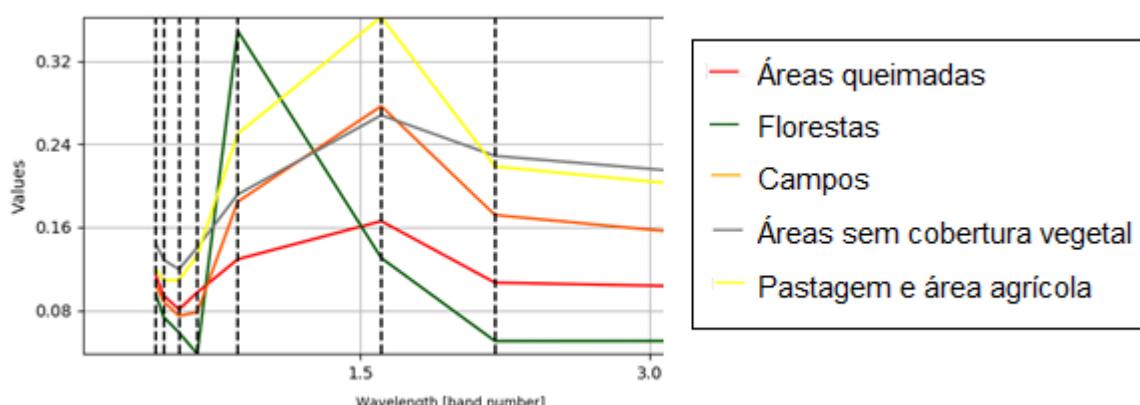
**Tabela 2 – Área das classes em quilômetros da cena 2.**

Classe	Área (Km <sup>2</sup> )
Áreas queimadas	0,15390
Florestas:	657,77220

Classe	Área (Km <sup>2</sup> )
Campos	88,34400
Sem cobertura vegetal	27,89460
Pastagem e área agrícolas	88,34400
Total	1089.82080

**Fonte:** Elaborada pelos autores (2023)

As amostras analisadas na cena 2 apresentaram o comportamento descrito na Figura 10. Da mesma forma, as áreas queimadas apresentaram valores baixos de refletância (ou indicando alta absorbância), e destaque novamente para a banda infravermelho médio que melhor discriminou os alvos das suas respectivas classes. A banda 1 do Landsat 8 e o azul costeiro que é pouco impactante no gráfico, sendo que, como proposto na metodologia, foram consideradas as bandas 2 a 7.



**Figura 10.** Resposta dos alvos classificados nas 6 bandas. As linhas pontilhadas na vertical representam o comprimento de onda das bandas. Elaboração: Os autores (2023)

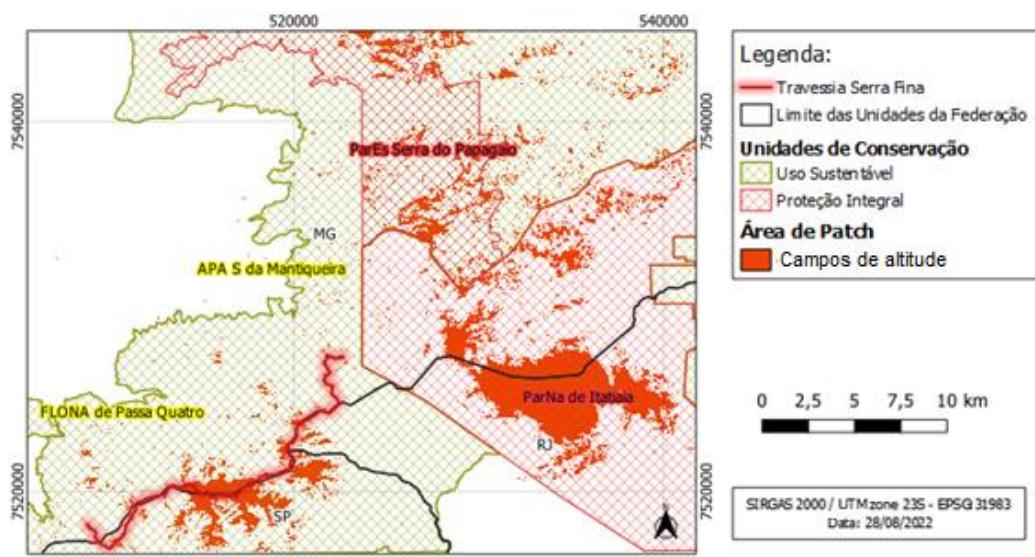
Após a obtenção destes resultados por fermentadas no Qgis, os próximos resultados foram obtidos pelo IDRISI utilizando painel de análise de padrões de paisagem.

#### *Painel de análise de padrões de paisagem*

A ferramenta painel de análise de padrões de paisagem permite analisar os padrões de qualquer mapa de cobertura do solo, incluindo ferramentas de previsão. Das funções disponíveis da ferramenta, foram utilizadas: a área de *patch*, a entropia normalizada e o painel de análise do processo de mudança de cenário.

A área de *patch* agrupa pixels adjacentes que têm a mesma categoria de cobertura do solo nos fragmentos (*patch*), calcula suas áreas e gera uma imagem em que cada pixel

expressa a área da mancha ao qual pertence. A Figura 11 representa os Campos de Altitude na cena 2.



**Figura 11.** Área dos Campos de Altitude em 2021. Elaboração: Os autores (2023)

Entropia normalizada é a medida de entropia de Shannon normalizada pela entropia máxima para o número de classes de cobertura do solo envolvidas. Outro termo comum para esta medida é a diversidade. É calculado sobre a vizinhança local de cada pixel, definido como 3x3, 5x5 ou 7x7 (área da vizinhança) vizinhança. No caso optou-se pelo 7x7 por apresentar um dado mais detalhado ao avaliar por considerar uma área maior. A fórmula utilizada para o processamento pelo IDRISI descrita nas informações sobre o programa é a seguinte:

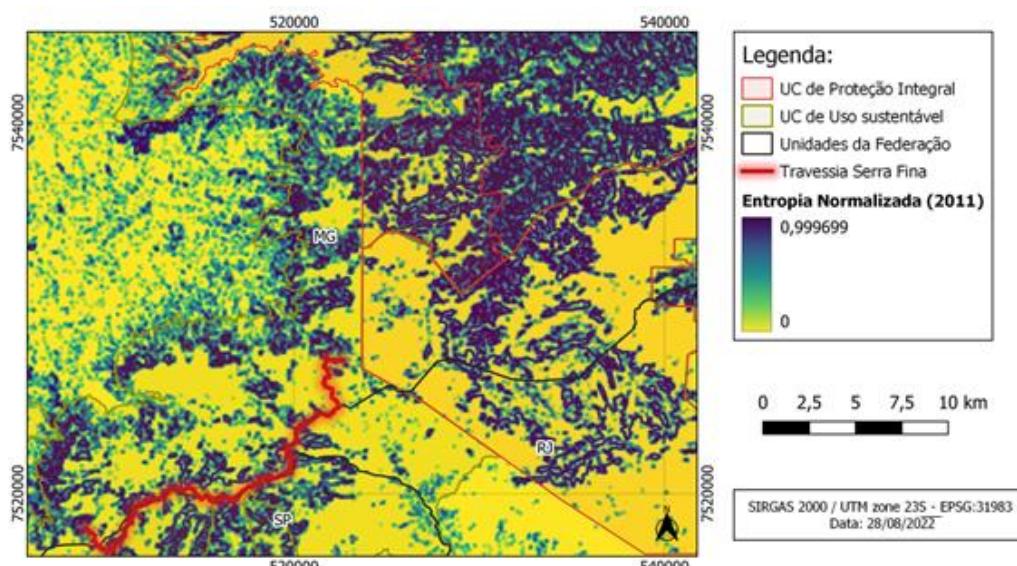
$$\left( \sum_{i=1}^k p_i + \ln(p_i) \right) / \ln(n)$$

Onde  $p$  é a proporção de cada classe dentro da vizinhança,  $\ln$  é o logaritmo natural,  $n$  é o número de classes,  $i$  é o índice para classes dentro da vizinhança e  $k$  é o número total de classes dentro da vizinhança. O resultado é um índice que varia de 0 a 1, onde 0 indica um caso em que a cobertura do solo é uniforme dentro da vizinhança e 1 indica o máximo diversidade possível de coberturas do solo dentro do bairro.

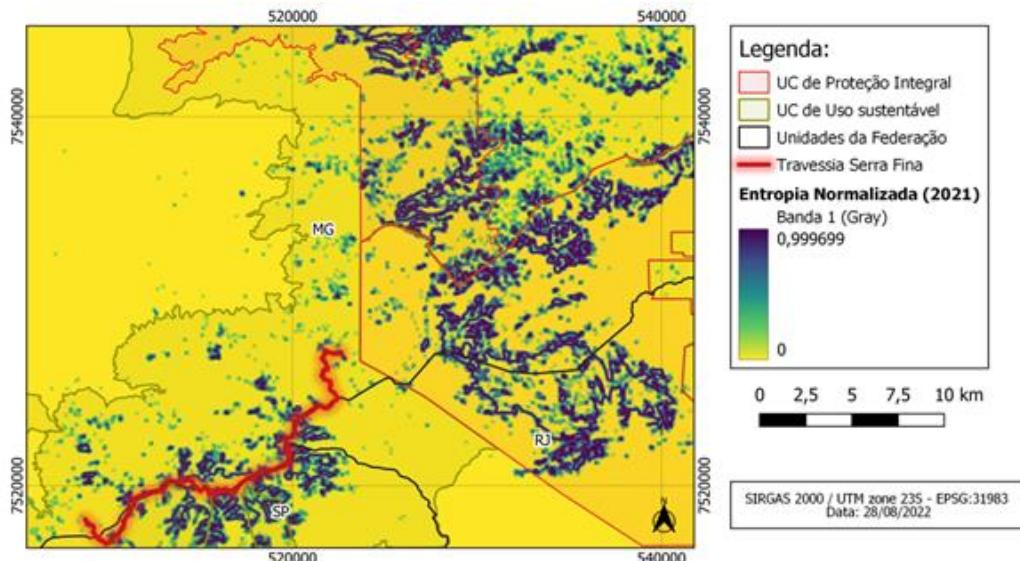
O índice de Shannon é utilizado em propostas que avaliam a variabilidade de espécimes dentro de um ecossistema através da amostragem de indivíduos em uma área (Furtado e Vieira 2020; Lima Neto *et al*, 2021) considerando dois aspectos essenciais na

determinação de seu índice: riqueza e uniformidade (Dewa, Buchori e Sejati, 2022). No caso deste artigo, a proposta consiste em considerar que uma grande variedade de pixel de classes diferentes com muita proximidade pode representar uma anomalia, pois não há uma continuidade nos fragmentos criando áreas recortadas e formando uma heterogeneidade ambiental fragmentada. A utilização desta ferramenta explica porque não foi usado nenhum filtro, pois poderia perder informações, além de que, a resolução espacial de 30 metros já é um tamanho apropriado para a área.

Na Figura 12 é possível verificar uma situação que caracteriza um nível de entropia elevado nas áreas dos Campos e nos limites das áreas de pastagem com as áreas de Campos. É importante destacar que, em ambas as classificações, o classificador utiliza *Gaussian Mixture Model*, que aplica um algoritmo de maximização de expectativa (EM) para ajustar modelos, o que deveria reduzir o nível de entropia. Já na Figura 13, a entropia está em uma situação menos ativa devido à expressiva redução de áreas queimadas que diminuiu a classe a níveis muito baixos. Essa variação também levantou a hipótese de influência da sazonalidade, o que será debatido mais adiante.



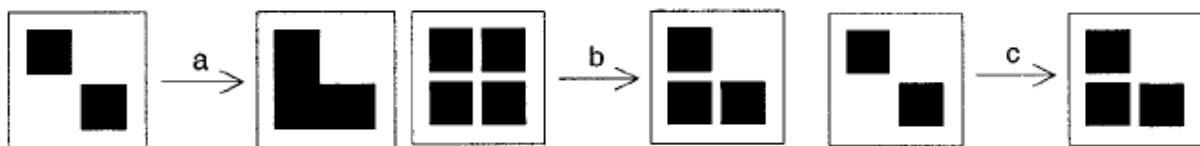
**Figura 12.** Entropia normalizada em 2011. Elaboração: Os autores (2023)



**Figura 13.** Entropia normalizada em 2021. Elaboração: Os autores (2023)

O painel de análise do processo de mudança de paisagem compara dois mapas de cobertura de solo e mede a natureza da mudança em andamento dentro de cada classe. Faz isso usando um algoritmo de árvore de decisão que compara o número de fragmentos (patch) de cobertura do solo presentes em cada classe entre os dois períodos de tempo às mudanças em suas áreas e perímetros. Os processos de transformação espacial são definidos para uma paisagem composta por apenas duas classes e de forma binária booleana: considera a unidade representada e a ausência dela (Bogaert et al, 2004).

O resultado é um mapa onde é possível categorizar em qual estado de mudança as classes estão experimentando. Das dez possíveis categorias de saída apenas as três seguintes se aplicam: *aggregation* (agregação), *attrition* (atrito) e *creation* (criação). A Figura 14 apresenta, de forma esquemática, como é o comportamento dos fragmentos (patch) para a avaliação.



**Figura 14.** Representação da mudança dos fragmentos. Fonte: adaptado de (J. Bogaert et al, 2004)

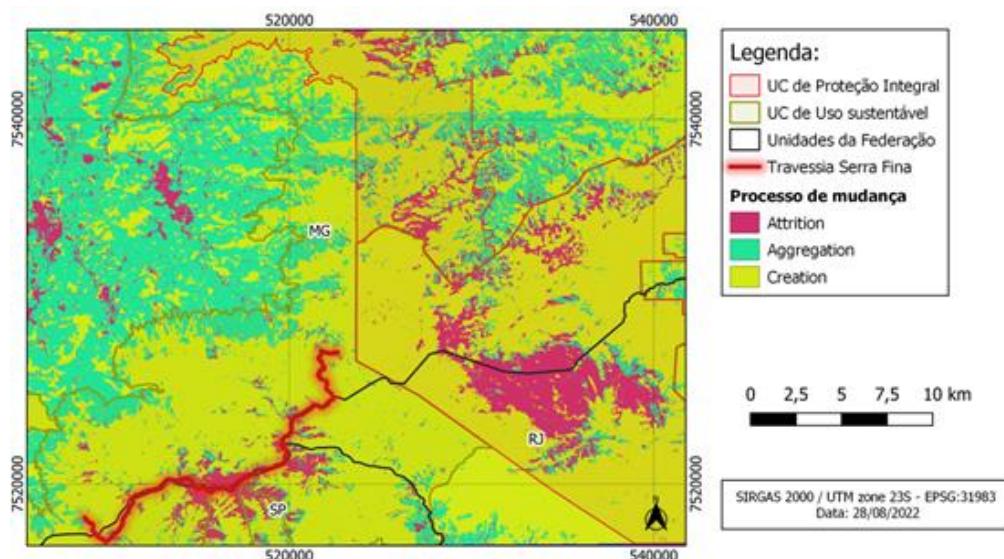
a) Agregação: o número de fragmentos (patch) está diminuindo, mas a área é constante ou crescente.

b) Atrito: o número de fragmentos (patch) e a área estão diminuindo.

c) Criação: o número de fragmentos (patch) e a área estão aumentando.

O mapa, referente à Figura 15, apresenta a aplicação na área e destaca que os Campos de Altitude estão em processo de atrito, ou seja, o número de fragmentos (patch) e

a área estão diminuindo. Por mais que as áreas de Campos de Altitude queimadas tenham se recuperado, no contexto geral, há uma redução da área ocasionada principalmente pela perda desta classe a nordeste da cena. As áreas sem cobertura vegetal também estão em atrito e as florestas em criação. Esse comportamento demonstra uma influência da sazonalidade que possibilita um adensamento da vegetação decidual sobre as outras classes. As áreas agrícolas e de pastagens estão em processo de agregação.

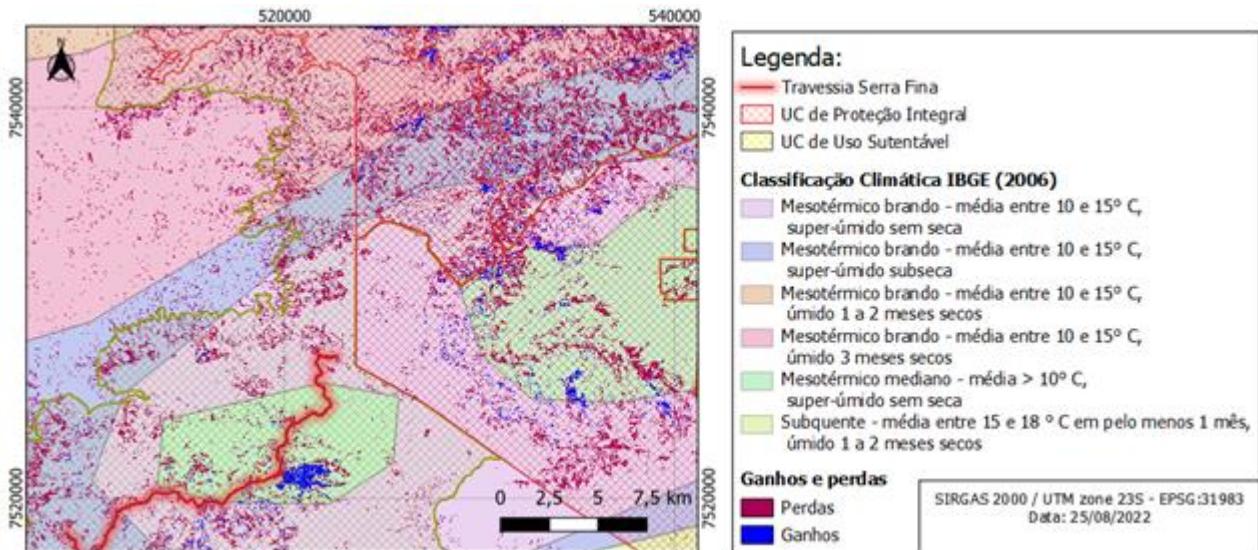


**Figura 15.** Mapa de análise do processo de mudança. Elaboração: Os autores (2023)

#### *Implicações sobre as variações climáticas*

O fato de os Campos de Altitude estarem em atrito mesmo após a recuperação das áreas queimadas criou alguns questionamentos sobre este motivo. O primeiro é se há uma variação climática que pode influenciar nesta vegetação.

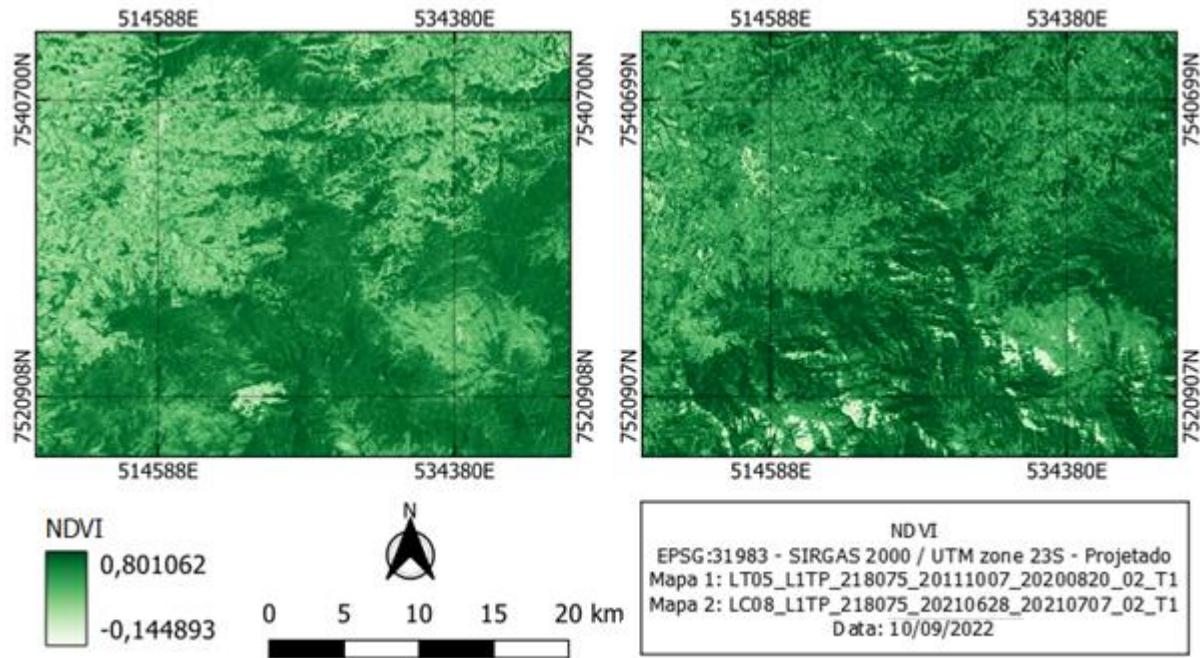
O clima da área de estudo é caracterizado como tropical de altitude (Sant'anna Neto, 2005,) onde há uma grande variação de aspectos climáticos devido à altimetria. O mapa da Figura 16 avalia os ganhos e perdas dos Campos de Altitude sobre as classes climáticas. Não foi possível identificar qualquer relação de ganho e perda com as características climáticas específicas. Destaque que a área de maior perda está no entorno do Parque Nacional de Itatiaia e do Parque Estadual da Serra do Papagaio.



**Figura 16.** Ganhos e perdas dos Campos sobre as variações climáticas da cena. Elaboração: Os autores (2023)

Outra proposta foi verificar a variação sazonal fazendo o NDVI das respectivas cenas. A proposta avaliou a variação da resposta da atividade fotossintética nos respectivos períodos para compreender a condição em cada cena. Para obter uma avaliação mais precisa, foi realizado um estudo sobre os índices pluviométricos no mês anterior a cada cena com base em dados do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia do Brasil). Na primeira cena, ocorreu uma precipitação de 34,4 mm no mês anterior à data do imageamento, sendo a maior a precipitação de 33,4 milímetro no dia 03 de outubro, 4 dias antes da cena. A segunda cena teve uma média de precipitação parecida no mês anterior com 33,6 mm de chuva, porém, a distribuição foi maior tendo o pico de chuva no dia 11 de junho com 10,6 mm 18 dias antes da cena. (INMET, 2022)

Os mapas de NDVI (Figura 17), apresentam tons de verde, onde o mais claro representa baixa atividade fotossintética e o mais escuro representa uma elevada atividade. Apesar das condições pluviométricas anteriores as cenas serem parecidas, esta variação está relacionada ao período em que as imagens foram produzidas. O clima tropical de altitude, com inverno seco e verão ameno, influencia diretamente na vegetação da região.



**Figura 17.** NDVI da Cena 1 a esquerda e da cena 2 a direita. Elaboração: Os autores (2023)

Na cena 1, do mês de outubro, a área analisada está no final do período de seca e início das chuvas. Na cena 2, cujo mês é julho, apresenta resultados mais elevados de atividade ainda devido à influência do período de chuva. Outro ponto chave é avaliar que no mês de julho, nas áreas agrícolas e de pastagem, há uma redução da vegetação também influenciada pelo período de seca.

Nas áreas florestais da cena 1, as áreas em altitudes mais baixas dominadas por florestas semideciduais apresentam uma atividade de fotossíntese menos visível, devido à perda de folhas das árvores. Há algumas manchas brancas ao sul do mapa da cena 2 representando baixa atividade de fotossíntese nesta área. Avaliando a resposta destes pixels observou-se um comportamento típico de água, como baixa reflectância no espectro visível e quase nula nas bandas do infravermelho. Como são áreas de encostas, estas representam um elevado índice de umidade nas vertentes ao sul.

Os dois NDVIs mostram uma variação entre a resposta das duas cenas. Apesar de não ser esta a utilização usual, foi feito o cálculo do índice Kappa para ver a variação de uma imagem para outra. A resposta foi um Kappa 0.371089 o que representa, de acordo com o proposto, um índice para quantificar a variação sazonal.

## 5. Considerações finais

Sobre os Campos de Altitude, a situação em relação às áreas queimadas na Serra Fina em 2011 e no incêndio de 2020 apresenta uma recuperação no nível de respostas das multibandas. Nesta área não houve alteração na área além do comportamento padrão de mudança das áreas no entorno dos fragmentos (*patch*). Por outro lado, as áreas de borda dos fragmentos (*patch*) de Campo analisados apresentaram um padrão preocupante, com zonas de tensão principalmente onde os Campos têm contato com áreas de pastagem na parte nordeste da cena.

Como explicado, a escolha da cena 1 levou em consideração a elevada quantidade de fragmentos de áreas queimadas e a cena 2 foi considerada por ser a mais próxima à data de um ano do incêndio. A classificação foi feita separadamente para cada cena, considerando fragmentos próprios a cada realidade espacial e temporal para a formação de dois arquivos vetoriais diferentes para embasar a classificação supervisionada. Desta forma, não interferiu em uma análise precisa de mudança de classes.

O painel de análise de padrões de paisagem apresenta grande potencial para análises de dados. Destaque para análise das três aplicações utilizadas neste trabalho: área de *patch*, entropia normalizada e o painel de análise do processo de mudança de cenário. A metodologia se mostrou eficiente para avaliar as áreas, mas há dificuldade em fazer a leitura dos resultados identificando o que são padrões anômalos e o que são efeitos da sazonalidade. É recomendado uma avaliação de aspectos climáticos para ajudar neste processo.

Um último destaque é a utilização do índice Kappa de uma forma não usual. Servindo como uma ferramenta de quantificação da diferença entre dois mapas de NDVI como forma de tentar representar um comportamento sazonal em uma área. Há uma sazonalidade que influencia e deve ser considerada nas avaliações. Uma proposta é refazer esta metodologia em um trabalho que vise apenas estudar esta sazonalidade utilizando duas imagens com seis meses de diferença, de preferências, próxima aos solstícios.

Este trabalho é uma avaliação de escala média que complementa diagnósticos futuros sobre o comportamento dos ecossistemas associados a essa paisagem. Como apresentado, há aspectos na Conama nº 423 que devem ser considerados além da avaliação em um sentido macro. Envolve uma tarefa multidisciplinar para avaliar os impactos em diferentes níveis e escalas.

## Referências

AXIMOFF, I.; RODRIGUES, R. de C. Histórico dos incêndios florestais no Parque Nacional do Itatiaia. **Ciência Florestal**, 21(1), p. 83-92. 2011. DOI: <https://doi.org/10.5902/198050982750>

BIAS-FORTES, G.; BESER de DEUS, L.A. Utilização do Land Change Modeler (LCM) como Ferramenta de Análise da Variação no Uso e Ocupação de Solo: Aplicação na APA da Serra de São José em Minas Gerais. **Caderno de Geografia**, v.32, n.69. 2022. <https://doi.org/10.5752/p.2318-2962.2022v32n.69p.1360>.

BRASIL. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). **Topodata**: banco de dados geomorfométricos do Brasil. Variáveis geomorfométricas locais. São José dos Campos, 2008. <http://www.dsr.inpe.br/topodata/>

**Plano de manejo e web Sig da APA da Serra da Mantiqueira:** Produto 4.3: Volume I – contextualização. Curitiba, 2018.

BOGAERT, J.; CEULEMANS, R.; SALVADOR-VAN EYSENRODE, D. Decision tree algorithm for detection of spatial processes in landscape transformation. **Environmental management**, v. 33, n. 1, p. 62–73, 2004. <https://doi.org/10.1007/s00267-003-0027-0>

CHIESI, C. M. **Tectônica cenozóica do Maciço Alcalino de Passa Quatro (SP-MG-RJ)**. 2004. Dissertação (Mestrado em Geologia Sedimentar) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004. doi:10.11606/D.44.2004.tde-10042014-161924. Acesso em: 2025-07-18.

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução Conama nº 423. 2010**. Dispõe sobre parâmetros básicos para identificação e análise da vegetação primária e dos estágios sucessionais da vegetação secundária nos Campos de Altitude associados ou abrangidos pela Mata Atlântica. Brasília, 2010. 10 p.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA DO BRASIL – INMET. **Banco de Dados Meteorológicos do INMET (2011 e 2021)**. Brasília. Acesso em 26 de maio de 2022. Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br/>

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE. **Mapa Brasil Climas**. Rio de Janeiro, IBGE. 2006. Escala 1:5.000.000.

**Anuário Estatístico do Brasil**, v.72. 2012. Recuperado em out. 10, 2019 de [https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/20/aeb\\_2012.pdf](https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/20/aeb_2012.pdf)

MASSI, K. et al. A construção de uma rede de apoio à conservação como resposta ao incêndio florestal da serra fina em 2020, APA da Serra da Mantiqueira. **Anais do Seminário Restaura Mantiqueira**, v. 1, n. 1. 2021.

MARQUES NETO, R. O Horst da Mantiqueira Meridional: proposta de compartimentação morfoestrutural para sua porção mineira. **Revista brasileira de Geomorfologia**, v. 18, p. 561-577, 2017.

\_\_\_\_\_. As regiões montanhosas e o planejamento de suas paisagens: proposta de zoneamento ambiental para a Mantiqueira meridional mineira. **Confins**, v. 35, 2018. DOI: <https://doi.org/10.4000/confins.130700>

MENGUE, V. P.; DA SILVA, T. S.; FONTANA, D. C.; SCOTTÁ, F. C. Detecção de mudanças espaciais relacionadas à expansão da fronteira agrícola no Bioma Pampa. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 70, n. 1, p. 40–70, 2018. <https://doi:10.14393/rbcv70n1-45189>.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. NASA. The LANDSAT Satellites: **Product LT05\_L1TP\_218075\_20111007\_20200820\_02\_T1**. 2011. Acesso em 26 de maio de 2020. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>

\_\_\_\_\_ The LANDSAT Satellites: Product LC08\_L1TP\_218075\_20210628\_20210707\_02\_T1. 2021. Acesso em 26 de maio de 2020. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov>

NEVES, L. V.; BESER DE DEUS, L. A.; OSCAR JÚNIOR, A. C. da S.; FERNANDES, M. do C. Mudanças de Uso e Cobertura da Terra e Áreas Suscetíveis à Inundação – Estudo de Caso do Município de Duque de Caxias/RJ. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 37, p. 30-43, 2019. <https://doi.org/10.11606/rdg.v37i0.149051>

PEREIRA, E. da S.; DEUS, L. A. B. de; RIBEIRO, M. F.; COSTA, V. C. da. Dinâmica de valorização do solo urbano próximo de unidades de conservação – estudo de caso do bairro de Campo Grande, município do Rio de Janeiro. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 41, n. 1, e169722, 2021. <https://doi.org/10.11606/eISSN.2236-2878.rdg.2021.169722>

SANTOS, L.H.O. **Pensamento geossistêmico e planejamento turístico:** uma proposta para o Circuito das Terras Altas da Mantiqueira, sudeste do Brasil. 2020. 199 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Programa de Pós-graduação em Geografia, Instituto de Ciências Humanas – ICH, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora. 2020. Recuperado de: <https://repositorio.ufjf.br/ispui/bitstream/ufjf/12387/1/luizhenriqueoliveirasantos.pdf>

\_\_\_\_\_. **As paisagens das Terras Altas da Mantiqueira:** Uma perspectiva local e geográfica. São Paulo: Editora Haikai. 2021.

\_\_\_\_\_. A instrumentalização da paisagem pelo turismo: O caso da Serra Fina–Sudeste do Brasil. **GOT: Revista de Geografia e Ordenamento do Território**, n. 27, 2024.

SANTOS, L. H. de O.; PINTO, V. P. dos S. Questões territoriais entre turistas de montanha e corredores de aventura na APA da Serra da Mantiqueira – Sudeste do Brasil. In: SEMINÁRIO BRASILEIRO SOBRE ÁREAS PROTEGIDAS E INCLUSÃO SOCIAL – SAPIS, 9.; ENCONTRO LATINO-AMERICANO SOBRE ÁREAS PROTEGIDAS E INCLUSÃO SOCIAL – ELAPIS, 4., 2019, Recife. **Anais ...** Recife: SAPIS/ELAPIS, 2019. p. 330–335.

SANT'ANNA NETO, J. L. Decálogo da climatologia do sudeste brasileiro. **Revista Brasileira de Climatologia**, Rio de Janeiro, v.1(1), p. 43-60.2005. DOI: <https://doi.org/10.5380/abclima.v1i1.25232>

TOMZHINSKI, G. W. **Análise Geoecológica dos Incêndios Florestais no Parque Nacional do Itatiaia.** 2012. 137 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2012. 137 p.

United States Geological Survey. USGS. **Spectral Bandpasses for all Landsat Sensors.** 2024. <https://www.usgs.gov/media/images/spectral-bandpasses-all-landsat-sensors>