



**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL  
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA**

**AVALIAÇÃO DA DINÂMICA TÊMPORO ESPACIAL DA VEGETAÇÃO NA  
APA SUL-RMBH UTILIZANDO GOOGLE EARTH ENGINE**

**Mateus Rocha Merched**

**Belo Horizonte**

**2021**

**Mateus Rocha Merched**

**AVALIAÇÃO DA DINÂMICA TÊMPORO ESPACIAL DA VEGETAÇÃO NA  
APA SUL-RMBH UTILIZANDO GOOGLE EARTH ENGINE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária

Orientador: Prof. Dsc. Carlos Wagner Gonçalves Andrade Coelho

**Belo Horizonte**

**2021**



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS DEPARTAMENTO DE  
CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

FOLHA DE APROVAÇÃO DE TCC

---

**MATEUS ROCHA MERCHED**

**AVALIAÇÃO DA DINÂMICA TÊMPORO ESPACIAL DA VEGETAÇÃO  
NA APA SUL-RMBH UTILIZANDO GOOGLE EARTH ENGINE**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista.

Aprovado em 13 de ABRIL de 2021

Banca examinadora:



Emitido em 14/04/2021

ATA Nº 11/2021 - DCTA (11.55.03)

(Nº do Protocolo: NÃO PROTOCOLADO)

*(Assinado digitalmente em 14/04/2021 14:15 )*

CARLOS WAGNER GONCALVES ANDRADE

COELHO

*PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO*

*DCTA (11.55.03)*

*Matrícula: 2145451*

*(Assinado digitalmente em 14/04/2021 14:36 )*

DANIEL BRIANEZI

*PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO*

*CEAMS (11.51.05)*

*Matrícula: 2160691*

*(Assinado digitalmente em 14/04/2021 23:06 )*

VANDEIR ROBSON DA SILVA MATIAS

*PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO*

*DGEO (11.55.13)*

*Matrícula: 1565121*

Para verificar a autenticidade deste documento entre em <https://sig.cefetmg.br/documentos/> informando seu número: **11**, ano: **2021**, tipo: **ATA**, data de emissão: **14/04/2021** e o código de verificação: **9ce693d22a**

## **AGRADECIMENTOS**

Como símbolo de fechamento de um grande ciclo de desenvolvimento profissional e acadêmico, esse trabalho teve a contribuição direta ou indireta de várias pessoas que me ajudaram a conquistar esse grande objetivo.

A minha mãe, pelo apoio fundamental, amor, incentivos e estímulo sempre contribuindo nas vitórias das etapas da vida. Ao meu pai, que sempre torceu por minhas conquistas.

A meus amigos e familiares por estarem comigo nos momentos de luta e momentos de glória. A minha companheira Luísa, pela compreensão, carinho e amor nos momentos de dificuldade que foram pilares muito importantes para continuar avançando e conseguir sucesso.

A diversos professores do CEFET que forneceram embasamento teórico e nortearam direções para que eu pudesse ser instigado para buscar cada vez mais o conhecimento. Em especial a meu orientador Carlos, pelas recomendações, direcionamentos e parceria para a execução desse trabalho.

Por fim, agradeço a todos que tiveram participação, mesmo que pequena nesse grande objetivo conquistado que é o de me tornar um engenheiro.

Há, agradeço também ao Arthur.

## RESUMO

MERCHED, M. R., **Avaliação da dinâmica Têmporo-espacial da vegetação na APA Sul-RMBH utilizando Google Earth Engine**. 2021. 60p. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2021.

A crescente ocupação antrópica nas cidades junto à intervenção nos recursos naturais faz com que sejam geradas pressões ao ambiente natural. Para reduzir esses impactos foram criadas áreas de preservação especial para que ocorra o uso sustentável de seus recursos, como a Área de Proteção Ambiental (APA). Em Minas Gerais, temos a APA Sul da Região Metropolitana de Belo Horizonte, que possui em sua extensão limite com treze municípios, sendo uma região de grande interesse à expansão urbana e de grande prioridade para conservação da biodiversidade. Visando verificar a dinâmica da vegetação que vem ocorrendo na região desde a sua criação em 2001, o trabalho propõe analisar a dinâmica vegetal por meio de técnicas de geoprocessamento, em especial do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), que foi processado e gerado através das imagens Landsat 7 e 8 no ambiente do Google Earth Engine (GEE), uma plataforma em nuvem que permite a análise de dados ambientais em escala global. Os dados de NDVI foram quantificados, analisados estatisticamente e mapeados para avaliar a condição das remanescentes de vegetação nos períodos estudados. Foi observado que o NDVI Global se comportou de modo crescente nos 20 anos de estudo na extensão total da região, variando sua média de 0,497 em 2000 a 0,570 em 2020. O padrão de crescimento do NDVI se repetiu para a maioria dos limites municipais pertencentes a APA. Ao classificar o NDVI, verificou-se um desenvolvimento da vegetação, com redução da classe de estágio inicial e aumento da classe de estágio avançado. Ao verificar a diferença de NDVI de 2020 para 2000, notou-se que a APA apresentou 95% de sua área classificada como sem alteração. Conclui-se que a plataforma do GEE é uma excelente ferramenta para execução de processamentos espaciais, assim como foi possível verificar de maneira satisfatória a dinâmica da vegetação na APA Sul através do NDVI.

Palavras-chaves: Vegetação. Geoprocessamento. Google Earth Engine. NDVI.

## ABSTRACT

MERCHED, M. R., **Evaluation of the spatial-temporal dynamics of vegetation in the APA Sul-RMBH using Google Earth Engine.** 2021.60p. Monography (Graduate in Environmental and Sanitary Engineering) – Department of Environmental Science and Technology, Federal Center of Technological Education of Minas Gerais, Belo Horizonte, 2021.

The growing anthropic occupation in cities and the interventions in natural resources cause great pressure on the environment. To reduce these impacts, special preservation areas were created so that the sustainable use of their resources can occur, such as the Environmental Protection Area (APA). In Minas Gerais, we have the APA Sul of Metropolitan Region of Belo Horizonte, which has a limit of thirteen municipalities, with a region of great interest for urban expansion and a high priority for biodiversity conservation. Aiming to verify the vegetation dynamics that has been occurring in the region since its creation in 2001, this work proposes to analyze the vegetation dynamics through geoprocessing techniques, in particular the normalized difference vegetation index (NDVI), which was processed and generated using Landsat 7 and 8 images in the Google Earth Engine (GEE), a cloud platform that allows the analysis of environmental data on a global scale. NDVI data were quantified, statistically analyzed, and mapped to assess the condition of the remaining vegetation in the studied periods. The NDVI Global increased in these 20 years of study in the total extension of the region, varying its average from 0,497 in 2000 to 0,570 in 2020. The growth pattern of NDVI was repeated for most of the municipal limits belonging to APA. When classifying the NDVI, there was a development of vegetation, with a reduction in the initial stage class and an increase in the advanced stage class. After a NDVI classification from 2020 to 2000, it was noted that the APA presented 95% of its area classified as unchanged. It is concluded that the GEE platform is an excellent tool for performing spatial processing, as well as it was possible to satisfactorily verify the vegetation dynamics in APA Sul through NDVI.

Keywords: Vegetation, Geoprocessing. Google Earth Engine. NDVI.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 - Resoluções Espacial e Temporal para Aplicações Diversas .....	19
Figura 3.2 – Representação da resolução espectral do sensor Multiespectral Landsat 8	20
Figura 3.3 - Comportamento espectral de diversos alvos .....	22
Figura 3.4 – NDVI medido ao sul da Bacia do Rio Traipu-AC entre 1999 e 2006 .....	26
Figura 3.5 - Ambiente Interativo de Desenvolvimento do Earth Engine.....	27
Figura 3.6 - Série temporal NDVI em áreas de Savana Amazônica e Floresta secundária através da plataforma GEE.....	28
Figura 4.1 – Mapa de Localização da Área de Proteção Permanente Sul da RMBH.....	29
Figura 5.1 - Mapa comparativo de NDVI para os anos de 2000, 2005, 2010, 2015 e 2020.....	36
Figura 5.2 – Mapa Classificação NDVI APA Sul RMBH – Ano 2000.....	45
Figura 5.3 – Mapa Classificação NDVI APA Sul RMBH – Ano 2005.....	46
Figura 5.4 - Mapa Classificação NDVI APA Sul RMBH – Ano 2010 .....	46
Figura 5.5 - Mapa Classificação NDVI APA Sul RMBH – Ano 2015 .....	47
Figura 5.6 - Mapa Classificação NDVI APA Sul RMBH – Ano 2020 .....	47
Figura 5.7 – Análise Local 1 .....	53
Figura 5.8 – Análise Local 2 .....	54
Figura 5.9 – Análise Local 3 .....	55
Figura 5.10 - Mapa Diferenças NDVI de 2000 a 2020 – APA Sul RMBH.....	56

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 5.1 - Distribuição dos dados de NDVI APA Sul RMBH .....	38
Gráfico 5.2 - Distribuição dos dados de NDVI - APA Sul RMBH – Brumadinho.....	41
Gráfico 5.3 - Distribuição dos dados de NDVI - APA Sul RMBH – Caeté .....	41
Gráfico 5.4 - Distribuição dos dados de NDVI - APA Sul RMBH – Raposos .....	42
Gráfico 5.5 - Distribuição dos dados de NDVI - APA Sul RMBH – Santa Bárbara .....	42
Gráfico 5.6 - Distribuição dos dados de NDVI APA Sul RMBH - Barão de Cocais.....	43
Gráfico 5.7 - Distribuição dos dados de NDVI APA Sul RMBH – Belo Horizonte.....	43
Gráfico 5.8 - Distribuição dos dados de NDVI APA Sul RMBH – Nova Lima.....	44
Gráfico 5.9 - Distribuição dos dados de NDVI APA Sul RMBH – Catas Altas.....	44
Gráfico 5.10 - NDVI Classificado - Tipologias APA Sul RMBH .....	49

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.2 - Diversas Fórmulas de índices de Vegetação comumente utilizados. ....	24
Tabela 4.1 - Lista de Municípios APA Sul RMBH e Área de Participação .....	30
Tabela 4.3 - Períodos para análise temporal.....	32
Tabela 4.4 – Classificação da Tipologia Vegetal conforme intervalo de NDVI.....	33
Tabela 5.1 - Estatísticas Globais NDVI APA SUL RMBH. ....	37
Tabela 5.2 - Estatísticas zonais NDVI APA Sul RMBH por MunicípioFonte: O autor.	39
Tabela 5.3 – NDVI Classificado - Tipologias APA Sul RMBH.....	48
Tabela 5.4 – NDVI Classificado - Tipologias APA Sul RMBH por Município.....	50
Tabela 5.5 - Desmatamento/ Regeneração APA Sul RMBH – 2000 a 2020.....	56

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 3.1 - Principais características do Landsat 7 e Landsat 8. ....	23
Quadro 4.2 - Avaliação de Qualidade dos atributos de banda e os valores das possibilidades de pixel para a Coleção Landsat 8. ....	31

## **LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS**

APA Sul RMBH – Área de Proteção Ambiental da região Metropolitana de Belo Horizonte

API - Application Programming Interface

ETM+ - Enhanced Thematic Mapper Plus

GEE – Google Earth Engine

IDE – Interactive Development Environment

NDVI - Normalized Difference Vegetation Index

PDI – Processamento Digital de Imagens

QA – Quality Assistentment

REM – Radiação Eletromagnética

RPPN - Reserva Particular do Patrimônio Natural

USGS - United States Geological Survey

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
2	OBJETIVOS.....	16
2.1	Objetivo Geral.....	16
2.2	Objetivos Específicos.....	16
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
3.1	Áreas de Proteção Ambiental.....	17
3.2	APA Sul-RMBH.....	17
3.3	Sensoriamento remoto.....	18
3.4	Tipos de Resolução.....	19
3.5	Radiação Eletromagnética.....	20
3.6	Interação do balanço de Energia com objetos na superfície Terrestre.....	21
3.7	Comportamento Espectral da Vegetação.....	21
3.8	Satélite Landsat 7.....	22
3.9	Satélite Landsat 8.....	22
3.10	Índices de vegetação.....	24
3.10.1	<i>Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)</i> .....	25
3.11	Google Earth Engine.....	26
4	METODOLOGIA.....	29
4.1	Área de Estudo.....	29
4.2	Processamento de dados na plataforma GEE.....	30
4.2.1	<i>Satélites e Imagens utilizados</i> .....	30
4.2.2	<i>Aplicação de Mediana</i> .....	30
4.2.3	<i>Correção de nuvens</i> .....	31
4.2.5	<i>Geração do NDVI</i> .....	32
4.2.6	<i>Exportação e Tratamento dos NDVIs</i> .....	32
4.3	Análise Quantitativa e Geração de Mapas.....	32
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	35
5.1	NDVI Global.....	35
6	CONCLUSÕES.....	58
7	PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS.....	59
8	REFERÊNCIAS.....	60
	APÊNDICES.....	63

## 1 INTRODUÇÃO

Com o crescimento acelerado das cidades, o homem passa a buscar novos espaços para sua instalação. Na RMBH - Região Metropolitana de Belo Horizonte não foi diferente e, com o intuito de preservar algumas áreas especiais foi criada a área de proteção ambiental (APA-SUL RMBH), com objetivo de ajudar a preservar parte das duas bacias hidrográficas da RMBH, Rio São Francisco e Rio Doce, que são responsáveis por 70% do abastecimento de água da RMBH. (IEF, 2020).

A Área de Proteção Ambiental Sul da Região Metropolitana de Belo Horizonte (APA SUL RMBH) intercepta total ou parcialmente 13 municípios de Minas Gerais: Barão de Cocais, Belo Horizonte, Brumadinho, Caeté, Catas Altas, Ibituripe, Itabirito, Mário Campos, Nova Lima, Raposos, Rio Acima e Santa Bárbara e Sarzedo. A área, com predomínio de vegetação de Mata Atlântica, é delimitada geograficamente visando a proteção dos elementos ecossistêmicos e seus recursos hídricos, que abastecem a população e ao desenvolvimento sustentável do local. Diante da importância dessa região, se faz necessário o monitoramento dessa área de interesse ambiental. (MINAS GERAIS, 2001).

As técnicas de Sensoriamento Remoto e de Sistemas de Informações Geográficas são ferramentas eficientes para monitoramento e análise de alterações ambientais, aliando praticidade e economia para análises de cunho ambiental (AMIRI et al., 2014). Dentre as várias técnicas utilizadas, destaca-se o uso dos índices de vegetação, que através de equações que envolvem faixas específicas do espectro eletromagnético, podem inferir a respeito da cobertura vegetal, sua densidade e qualidade. Como exemplo de índice de vegetação utilizado, temos o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), amplamente utilizado na agricultura, regiões florestais e na climatologia.

Para o tratamento dos dados espaciais existem diversas ferramentas de geoprocessamento. Uma área que vem se desenvolvendo é o armazenamento e processamento de dados em nuvem, que vem possibilitando grande poder de análise para informações geoespaciais. O Google Earth Engine é uma plataforma de catálogo de dados de imagens de satélite que possibilita a organização, disponibilização e análise de *petabytes* de imagens globais em alta performance. O processamento das imagens possui baixo custo computacional para o analista, podendo ser aplicado para a Terra em sua totalidade (GORELICK et al., 2017).

Espera-se nesse estudo, através de técnicas e ferramentas de Processamento Digital de Imagens, com auxílio do Google Earth Engine observar o comportamento das áreas vegetadas na APA Sul no decorrer dos anos em função do aumento do uso e ocupação do solo antrópico, promovendo interpretações acerca desta alteração. A análise proposta poderá enriquecer outros estudos relevantes nesse tema, permitindo que se faça melhores monitoramentos e estratégias conservacionistas de uso e ocupação do solo em regiões de relevância ambiental.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Avaliar as remanescentes de vegetação localizadas na APA Sul da RMBH através de uma análise têmporo-espacial dos últimos 20 anos, utilizando técnicas de sensoriamento remoto.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Utilizar técnicas de PDI – Processamento Digital de Imagens (NDVI) através da plataforma Google Earth Engine para identifica o da vegeta o no período de estudo;
- Verificar as mudanças na forma o florestal ao longo dos anos;
- Quantificar e analisar estatisticamente a área ao longo dos anos;
- Analisar os resultados pelos municípios que compõem a APA Sul;
- Analisar de forma pontual áreas da classifica o utilizada através de imagens de satélite;
- Avaliar áreas de desmatamento e regenera o ao longo do período de estudo.

### **3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Foi elaborado a revisão bibliográfica com o objetivo de permitir a compreensão dos conceitos necessários para o desenvolvimento do tema proposto.

#### **3.1 Áreas de Proteção Ambiental**

Segundo o Ministério de Meio Ambiente (2019), a Área de Proteção Ambiental (APA) pode ser composta tanto de terras públicas quanto privadas, na qual ela possui atributos de ordem natural e paisagísticos que contribuem para a população. Essas áreas apresentam como objetivo a proteção a biodiversidade, o uso sustentável dos recursos naturais além de gerir a ocupação do homem.

#### **3.2 APA Sul-RMBH**

A região da APA Sul-RMBH possui importante interesse mineral, em especial exploração de ferro e ouro, aliado a um alto potencial natural e cultural. Criada em 1994, sob decreto Estadual nº 35.624, a Área de Proteção Ambiental da Região Metropolitana de Belo Horizonte foi transformada em Unidade de Conservação. Houve alterações na legislação da Área de Proteção em 1996, até que em 2001 teve sua redação final através da Lei Estadual nº 13.960 (PEREIRA, 2016).

A Área de Proteção Ambiental Sul da Região Metropolitana de Belo Horizonte (APA Sul-RMBH) abrange municípios de Barão de Cocais, Belo Horizonte, Brumadinho, Caeté, Catas Altas, Ibirité, Itabirito, Mario Campos, Nova Lima, Raposos, Rio Acima, Santa Bárbara e Sarzedo. Com uma área aproximada de 1640 km<sup>2</sup>, a região da APA Sul tem vegetação predominantemente composta de Floresta Estacional Semidecídua e porções de campo e cerrado (SPÓSITO, T. C.; STEHMANN, J. R., 2006).

A APA possui grande parcela de sua extensão com alta prioridade para a conservação da biodiversidade, além de ter reconhecimento como patrimônio tombado pelo município de Rio Acima. Os conflitos ambientais mais relevantes estão ligados ao movimento de Preservação da Serra do Gandarela junto a seu potencial físico, biológico e cultural. Na disputa entre preservação ambiental e expansão urbana deste local há diversos interesses como a instalação de loteamentos fechados ao longo da BR-040, expansões minerárias e vários outros investimentos diversificados. Somado ao interesse da mineração, a Área de

Proteção é alvo de polêmica para a criação de um parque nacional dentro de seus limites (MONTE MÓR et al., 2014).

### **3.3 Sensoriamento remoto**

Sensoriamento remoto é a arte, ciência e conjunto de técnicas para se obter informações a respeito de objetos físicos e do ambiente através de registro, medição e interpretação de imagens e técnicas digitais, representações digitais dos padrões de energia sem tocar o objeto de estudo. Sensores remotos são basicamente estruturas que fazem a captação e registram a energia refletida ou emitida pelos elementos da superfície terrestre. Dependendo de suas características, eles podem ser instalados em plataformas terrestres, aéreas (balões, helicópteros e aviões) e orbitais (satélites artificiais) (FLORENZANO, 2011).

Existem os sensores naturais e artificiais. Os sensores naturais geralmente são mais limitados e não permitem a captação detalhada das informações. O olho humano é um sensor natural que enxerga somente a luz ou energia visível. Já os sensores remotos artificiais partem desde uma câmera fotográfica, que está presente no cotidiano da maioria da população, até os radares, que ficam em órbita e estão longe do contato da maioria. Esses nos permitem obter dados de regiões de energia invisível ao olho humano (FLORENZANO, 2011).

As câmeras fotográficas e de vídeo captam energia na região do visível e do infravermelho próximo. Nas câmeras fotográficas, o filme funciona como o sensor que capta e registra a energia proveniente de um objeto ou área. O sensor eletrônico multiespectral TM, do satélite Landsat-5, por exemplo, é um sistema de varredura que capta dados em faixas do visível e do infravermelho. Os sensores do tipo radar, por produzirem uma fonte de energia própria na região de micro-ondas, podem obter imagens tanto durante o dia como à noite e em qualquer condição meteorológica. Essa é a principal vantagem dos radares em relação aos sensores óticos que dependem da luz do sol, como as câmaras. Para o radar artificial, construído pelo homem, o princípio de funcionamento é o mesmo do radar natural de um morcego, porém ao invés de um sonar os radares contam com sensores multiespectrais, fornecendo dados da Terra, a partir do espaço, por exemplo. O Landsat 8 é um exemplo de satélite com sensores multiespectrais (MENESES, 2012; FLORENZANO, 2011).

### 3.4 Tipos de Resolução

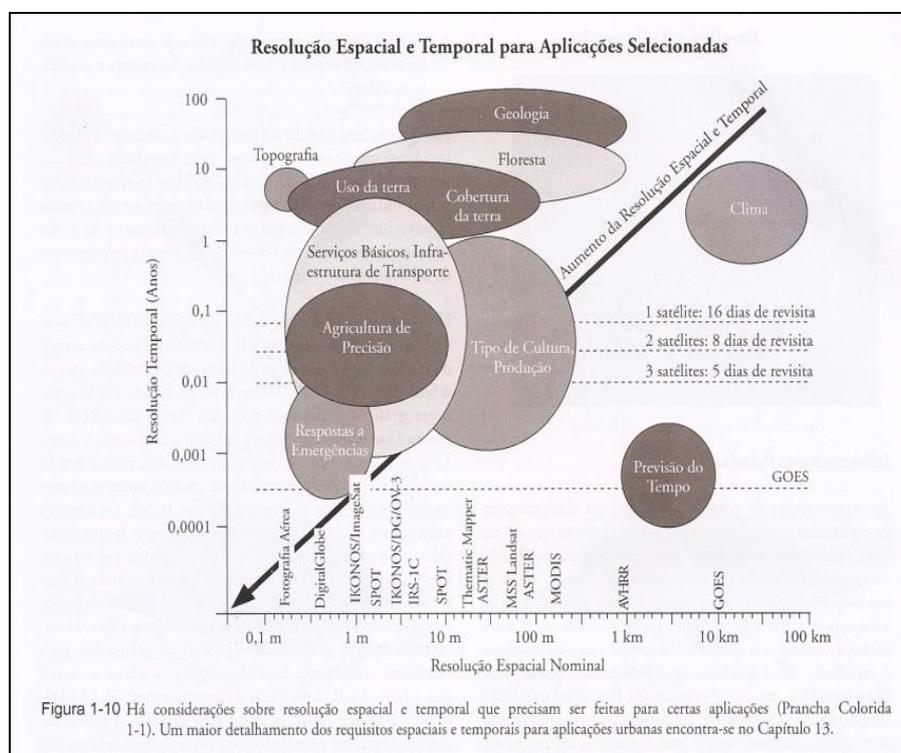
#### 3.4.1 Resolução Espacial

Resolução medida em ângulo ou linha entre dois objetos determinada por sensoriamento remoto. Como exemplo de resolução espacial temos as bandas RGB do Landsat 8 com 30 x 30m e do *QuickBird* com resolução Espacial de 61 x 61 cm para sua banda pancromática (JENSEN, 2011). Desse modo, quanto menor for a resolução espacial, menor o nível de detalhe da imagem.

#### 3.4.2 Resolução Temporal

Resolução ligada a frequência que uma determinada área é registrada pelo sensor. O registro de várias feições do mesmo alvo em períodos distintos é de grande valia para identificar processos e fazer projeções e antevisão de cenários. Em geral, quanto maior a resolução temporal, menor a resolução espacial em função do tamanho da área coberta pelo satélite, sendo necessário avaliar as melhores aplicações para cada caso. A Figura 3.1 a seguir representa a variação de resolução espacial e temporal a diversas aplicações (JENSEN, 2011).

**Figura 3.1** - Resoluções Espacial e Temporal para Aplicações Diversas

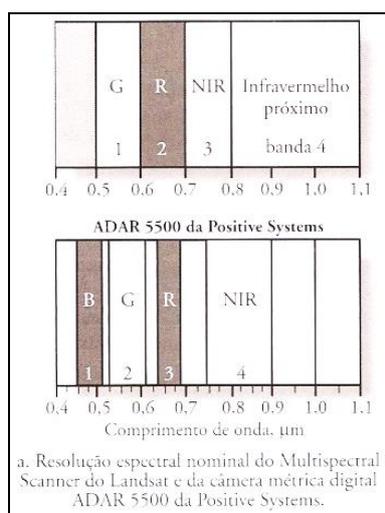


Fonte: Jensen (2011).

### 3.4.3 Resolução Espectral

Refere-se ao tamanho e espectro (delimitação) de intervalos de bandas de comprimentos de ondas distintos, ou seja, ao espectro eletromagnético. Sensores remotos como os satélites Landsat são sensíveis a essas variações eletromagnéticas. Abaixo na Figura 3.2 temos a representação da resolução espectral nominal do Multispectral Scanner do satélite Landsat 8 através da câmera métrica ADAR 5500 (JENSEN, 2011).

**Figura 3.2** – Representação da resolução espectral do sensor Multispectral Landsat 8



Fonte: Jensen (2011).

### 3.4.4 Resolução Radiométrica

Mede a sensibilidade dos detectores e a diferenças na intensidade do sinal emitido no balanço do fluxo de energia, representado na forma de tons. Essa sensibilidade é representada em bits, na qual, por exemplo, uma precisão de 6 bits representa valores de  $2^6$  abrangendo valores de 0 a 63, enquanto uma precisão de novos sistemas de 12 bits ( $2^{12}$ ) apresentaria valores de 0 a 4096. Quanto maior a resolução radiométrica, maior a probabilidade de que os objetos avaliados tenham maior precisão pelo sensor (JENSEN, 2011).

## 3.5 Radiação Eletromagnética

A radiação consiste na propagação de energia de um ponto a outro, no espaço ou em meio natural em determinada velocidade. A Radiação Eletromagnética é gerada pela oscilação dos campos elétrico e magnético, independentes das cargas elétricas na qual se propaga na velocidade da luz. É comumente utilizada para extrair informações de objetos em técnicas de sensoriamento remoto (MENESES, 2019).

### 3.6 Interação do balanço de Energia com objetos na superfície Terrestre

A Energia eletromagnética quando incide sobre um alvo na Terra pode se manifestar basicamente em reflexão, absorção e transmissão, com as respectivas propriedades radiométricas: reflectância, absorbância e transmitância. Segue abaixo alguns conceitos importantes em relação ao balanço de energia de acordo com Gonçalves (1999):

**Energia radiante:** Indica a energia total radiante para todas as direções por unidade de tempo.

**Irradiância:** Apresenta o fluxo radiante incidente sobre determinada área.

**Radiância:** Variável que descreve o que é medido pelo sensor, sendo caracterizada por Intensidade radiante por unidade de área por fonte projetada numa direção específica.

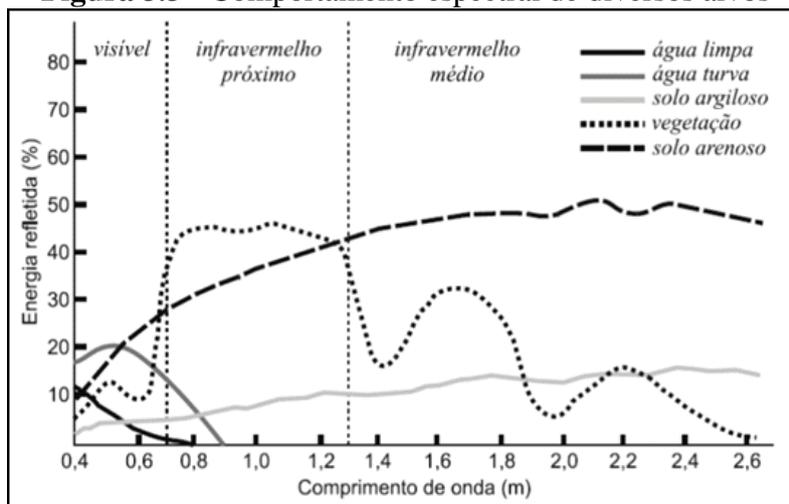
**Reflectância:** Variável adimensional que representa a divisão entre o fluxo refletido e o fluxo radiante incidente em uma superfície. Representa a porção de energia incidente que é refletida.

**Absorbância:** Variável adimensional determinada pela Razão entre o fluxo radiante absorvido e o fluxo radiante incidente em uma superfície. Representa a porção de energia incidente que é absorvida.

**Transmitância:** Variável adimensional que indica a fração de luz incidente que é transmitida a um objeto.

### 3.7 Comportamento Espectral da Vegetação

Segundo Florenzano (2002), o comportamento espectral de um objeto é a intensidade com que cada alvo reflete a radiação eletromagnética em diversos comprimentos de onda. Na Figura 3.3 abaixo temos o comportamento espectral de alguns tipos de objetos:

**Figura 3.3** - Comportamento espectral de diversos alvos

Fonte: Adaptado de Florenzano (2011).

A vegetação apresenta a folha como constituinte mais importante no processo envolvendo o sensoriamento remoto. A estrutura foliar terá diferentes comportamentos espectrais em função de sua composição, estrutura e morfologia. Na região do visível, a energia é absorvida seletivamente pela clorofila para a geração de fotossíntese, enquanto na região do infravermelho próximo a folha possui alta reflexão de radiação eletromagnética (REM), sendo baixa sua absorção de água nessa faixa. Como a folha é o principal elemento representativo da vegetação, o seu conjunto, representado pelos dosséis, apresenta comportamento semelhante da REM (PONZONI, 2002).

### 3.8 Satélite Landsat 7

O Satélite Landsat 7 de propriedade dos EUA foi lançado em abril de 1999, possuindo versatilidade e eficiência das versões anteriores. Possui o sensor ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper Plus*) que ampliou as possibilidades de uso, com resolução da banda infravermelho termal de 60m. Em 2003, o sensor apresentou problemas durante sua operação, sendo necessárias correções prévias na acurácia e calibração dos pixels (INPE, [2020]).

### 3.9 Satélite Landsat 8

O satélite norte americano Landsat 8 teve início de sua operação em fevereiro de 2013, transmitindo imagens em março do mesmo ano. Sua órbita possui a altitude de 705km e tem o *United States Geological Survey* (USGS) como responsável por extrair, armazenar e processar as imagens geográficas (SANTOS, 2014). As principais características do Landsat 7 e 8 estão listadas abaixo na Tabela 3.1:

**Quadro 3.1** - Principais características do Landsat 7 e Landsat 8.

Satélite	LANDSAT 7	LANDSAT 8
Lançamento	15/04/1999	11/02/2013
Local de Lançamento	Vandenberg Air Force Base	NASA Kennedy Space Center (KSC)
Veículo Lançador	Delta-II	Atlas-V 401
Situação Atual	Ativo (Interrompeu recepção no Brasil em 31/05/2003)	Ativo
Órbita	Polar, helios-síncrona	Circular
Altitude	705 km	705 km
Inclinação	98,2°	98,2°
Tempo de Duração da Órbita	98,9 min	99 min
Horário de Passagem	10:00 AM	1:40 PM
Período de Revisita	16 dias	16 dias
Tempo de vida projetado	5 anos	5 anos
Instrumentos Sensores	ETM+	OLI e TIRS

Fonte: EMBRAPA (2021).

O Landsat 8 apresenta um total de 11 bandas espectrais, com seus respectivos comprimentos de onda e resolução espacial apresentados a seguir na Tabela 3.2. (USGS, [2021])

**Tabela 3.1** - Bandas Espectrais Landsat 8

Bandas Espectrais	Nome das bandas	Comprimento de onda ( $\mu\text{m}$ )	Resolução Espacial (m)
LI1	Costeira / aerosol	0,43 – 0,45	30
OLI2	Azul	0,45 – 0,51	30
OLI3	Verde	0,53 – 0,59	30
OLI4	Vermelho	0,64 – 0,67	30
OLI5	Infravermelho próximo (Near InfraRed - NIR)	0,85 – 0,88	30
OLI6	Infravermelho de ondas curtas (Short Wave InfraRed - SWIR1)	1,57 – 1,65	30
OLI7	Infravermelho de ondas curtas (Short Wave InfraRed - SWIR2)	2,11 – 2,29	30
OLI8	Pancromática	0,50 – 0,68	15
OLI9	Cirrus	1,36 – 1,38	30
TIRS10	Infravermelho termal (Termal InfraRed Sensor - TIRS1)	10,60 – 11,19	100
IRS11	Infravermelho termal (Termal InfraRed Sensor – TIRS2)	11,50 – 12,51	100

Fonte: Adaptado de USGS (2013).

### 3.10 Índices de vegetação

Os índices de vegetação são relações matemáticas que relacionam a refletância das regiões do vermelho e do infravermelho. Eles são ferramentas importantes no que se refere a avaliação da vegetação de um ambiente, através de parâmetros como a biomassa, índice de área foliar, percentual de cobertura verde, entre outros. A energia refletida da vegetação através dessas regiões do espectro eletromagnético correlaciona com a fotossíntese do vegetal e a sua estrutura (SOLANO, 2010).

Segundo Gaolong (2014), existem diversos índices de vegetação (IV) que podem ser utilizados através da coleta de dados remotos desenvolvidos no monitoramento da Vegetação da Terra. Vários índices foram criados a fim de minimizar os efeitos de perturbações extraídas da imagem, como interferências atmosféricas e do solo exposto. Alguns exemplos de índices de vegetação podem ser verificados a seguir na Tabela 3.2.

**Tabela 1.2 - Diversas Fórmulas de índices de Vegetação comumente utilizados.**

Índice de Vegetação	Fórmula
Simple ratio (SR)	$SR = NIR/R$
Normalized difference vegetation index (NDVI)	$NDVI = (NIR-R)/(NIR+R)$
Perpendicular vegetation index (PVI)	$PVI = (NIR-aR-b)/(a^2+1)^{1/2}$
Soil adjusted vegetation index (SAVI)	$SAVI = (NIR-R)/(NIR+R+L)(1+L)$
Weighted difference vegetation index (WDVI)	$WDVI = NIR-aR$
Transformed soil adjusted vegetation index (TSAVI)	$TSAVI = a(NIR-aR-b)/(R+a(NIR-b)+X(1+a^2))$
Modified soil adjusted vegetation index (MSAVI)	$MSAVI = (2NIR+1-((2NIR+1)^2-8(NIR-R))^{1/2})/2$
Optimized soil adjusted vegetation index (OSAVI)	$OSAVI = (NIR-R)/(NIR+R+Y)$
Generalized soil adjusted vegetation index (GESAVI)	$GESAVI = (NIR-aR-b)/(R+Z)$
Atmospherically resistant vegetation index (ARVI)	$ARVI = (NIR-RB)/(NIR+RB), RB = R-c(B-R)$
Modified normalized difference vegetation index (MNDVI)	$MNDVI = NDVI_6(SWIR_{max}-SWIR)/(SWIR_{max}-SWIR_{min})$
Enhanced vegetation index (EVI)	$EVI=2.56((NIR-R)/(NIR+6R+27.5B+1))$
Reduced simple ratio (RSR)	$RSR = SR_6(SWIR_{max}-SWIR)/(SWIR_{max}-SWIR_{min})$
Moisture adjusted vegetation index (MAVI)	$MAVI = (NIR-R)/(NIR+R+SWIR)$

Nota: B, R, NIR e SWIR são respectivamente as reflectâncias no azul, vermelho, infravermelho próximo e infravermelho de onda curta respectivamente.

Fonte: Adaptado de Gaolong (2014).

### 3.10.1 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

Dentre os diversos índices de vegetação apresentados, temos um índice amplamente utilizado no estudo de vegetações densas junto a análise sazonais e fenológica, o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*). O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada normaliza o SR (*Simple Ratio*) em valores que variam de -1 a 1. Ele tem sua representação algébrica apresentada na Equação 1 (RIBEIRO, 2016).

$$NDVI = \frac{(NIR - R)}{(NIR + R)} \quad (1)$$

Na qual:

NIR: reflectância no infravermelho

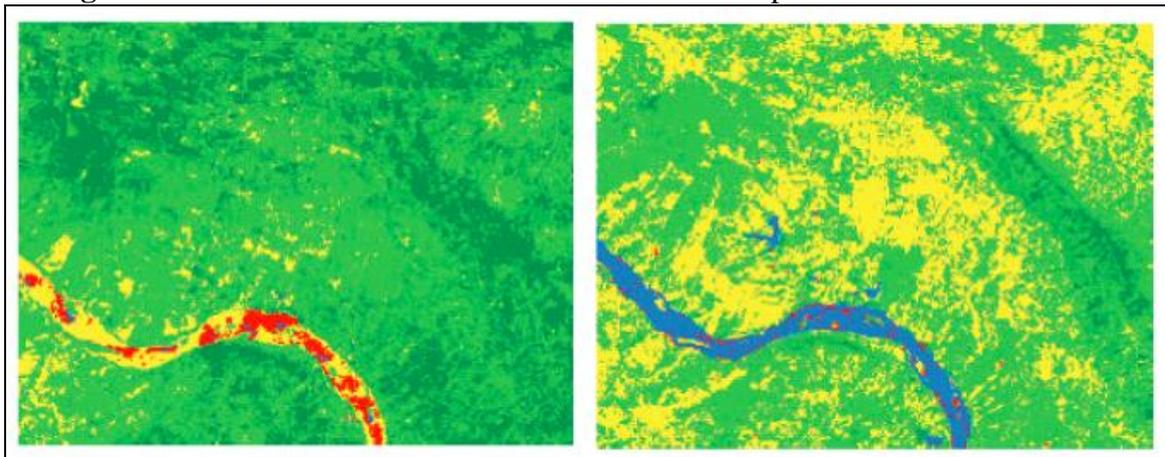
R: reflectância no vermelho

Segundo Jensen (2011), o NDVI é um índice de vegetação importante por permitir o monitoramento da atividade da vegetação em mudanças sazonais e interanuais. Além disso sua construção aritmética permite redução de muitas formas de ruídos de imagens presentes em múltiplas bandas de imagens de datas variadas. Apesar dessas vantagens, esse índice pode ter interferência da trajetória atmosférica além de ser muito sensível a variações de substrato sob os dosséis.

Este índice é sensível a cobertura da vegetação e suas condições, na qual valores próximos a 1 indicam maior cobertura vegetal e valores negativos estão associados a água ou superfícies antropizadas (SANTOS, 2019).

Novas et al. (2008) demonstram a aplicabilidade na utilização do NDVI para evolução da área de cobertura vegetal no período de 1999 a 2006 para a bacia do rio Traipu. A Figura 3.4 demonstra o comparativo das regiões ao longo do tempo, na qual a cobertura vegetal densa se tornou menos intensa, sendo um indicativo de intervenções para agricultura.

**Figura 3.4** – NDVI medido ao sul da Bacia do Rio Traipu-AC entre 1999 e 2006



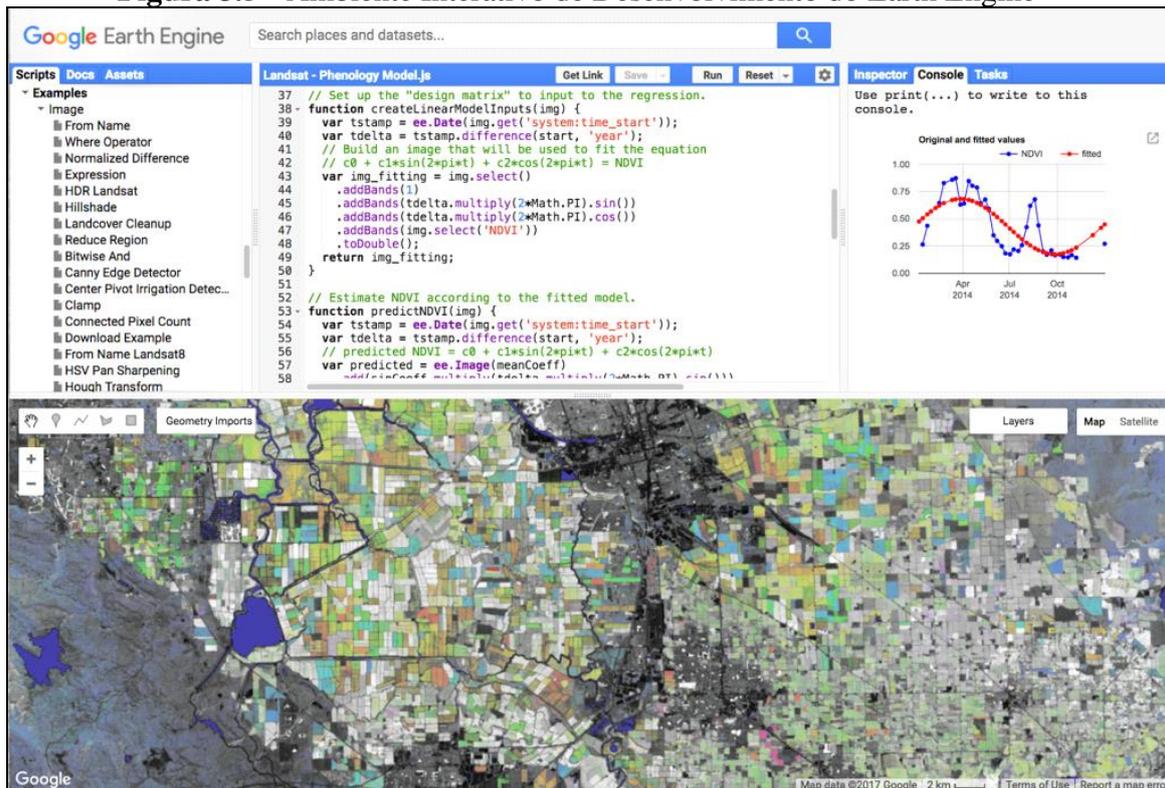
Fonte: Novas (2008).

### 3.11 Google Earth Engine

O Google Earth Engine (<https://earthengine.google.com>) é uma plataforma da Google em nuvem que possibilita a análise de dados ambientais em larga escala. Dentre suas aplicações possibilitamos o estudo de gestão hídrica, monitoramento climático, proteção ambiental, desastres, entre diversas outras áreas (GORELICK et al, 2017).

A plataforma tem potencial de análise multi-petabyte, com alta performance e serviço computacional controlado através de uma API (Interface de Aplicação a Programação) em *Javascript* e a um IDE (Ambiente Interativo de desenvolvimento) representado na Figura 3.5, permitindo agilidade na geração e visualização de resultados (GORELICK et al, 2017).

**Figura 3.5 - Ambiente Interativo de Desenvolvimento do Earth Engine**



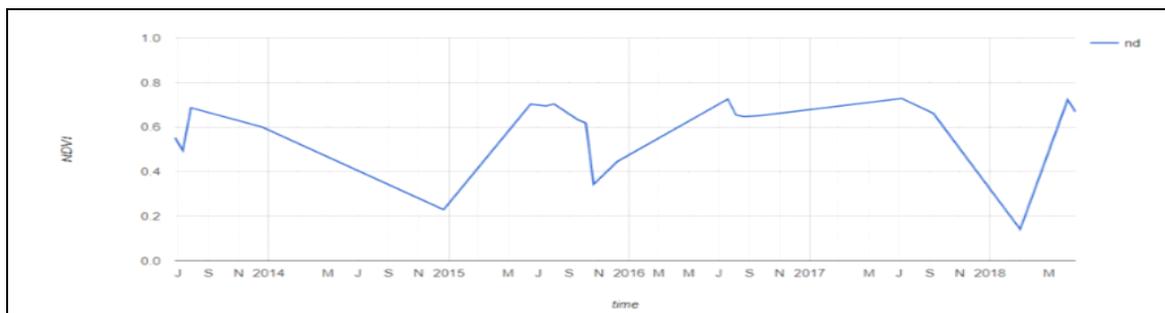
Fonte: Gorelick et al. (2017)

Diante das vastas possibilidades a serem empregadas na plataforma do Earth Engine destacam-se a utilização na análise de vegetação em grandes escalas. Becker et al. (2019), ao mapear o uso e cobertura do solo com utilização da mediana das bandas do Landsat 8 e de diversos índices de vegetação, apresentou grandes resultados no agregar de classes de ocupação de interesse, proporcionando rápida visualização de resultados do uso do solo.

A ferramenta também esteve presente em estudos com NDVI para cafeicultura, na qual através do desenvolvimento de uma rotina no Earth Engine pode-se observar a variação do índice de vegetação em uma área onde houve retirada de um cafezal (SANTOS, 2019).

Em maior escala, Cavalcante, Almeida e Bandeira (2020) realizaram o monitoramento da vegetação e temperatura superficial da Savana Amazônica, no município de Vigia – PA. Através da plataforma do GEE foi possível verificar a conservação de boa parte da vegetação local (Figura 3.6), e desse modo, reforçar a importância da ferramenta como auxiliar no planejamento de áreas de savana e floresta secundária.

**Figura 3.6** - Série temporal NDVI em áreas de Savana Amazônica e Floresta secundária através da plataforma GEE



Fonte: Cavalcante, Almeida e Bandeira (2020)

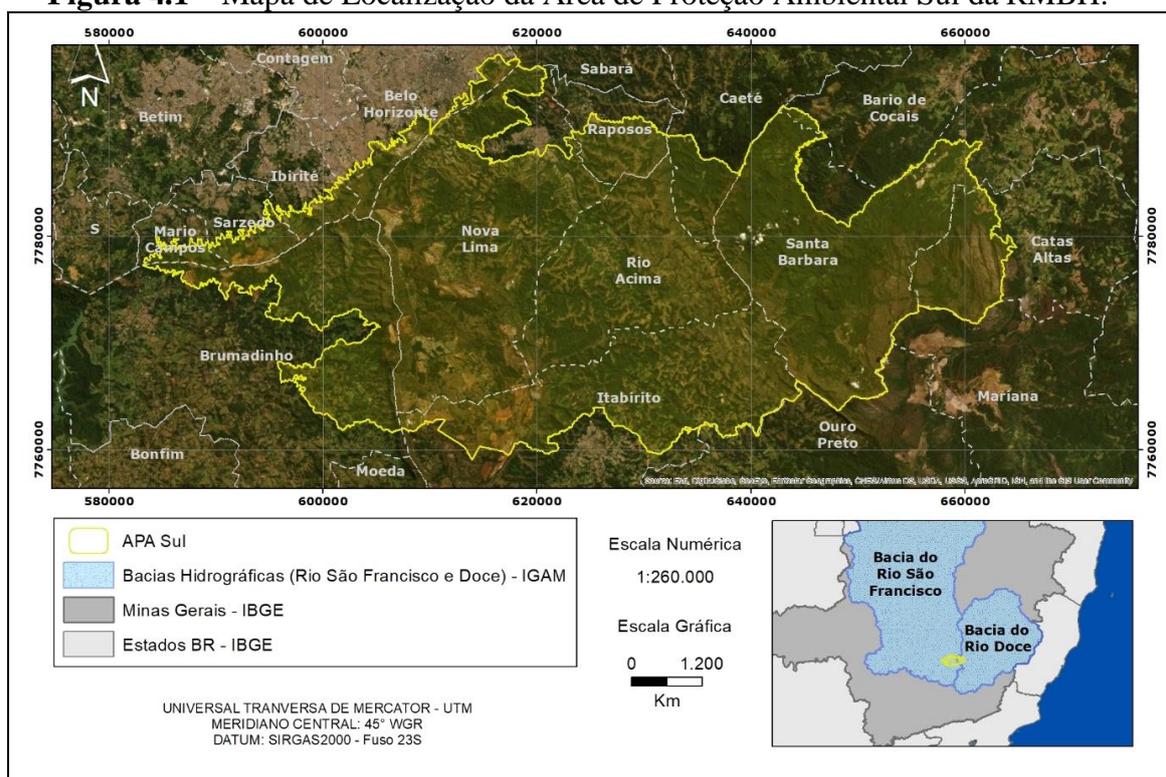
Em um estudo de desmatamento internacional, Schmid (2017) utilizou a ferramenta em nuvem da Google em coleções de imagens Landsat 5 e Landsat 8 no desenvolvimento do Índice de Diferença de Vegetação Normalizada em três Reservas da Biosfera da Alemanha. No estudo, através de análises temporais, percebeu-se o crescimento de NDVI de 1984 a 1990, enquanto a partir de 2013 observou-se um declínio até 2016, reforçando importante papel do sensoriamento remoto no monitoramento de florestas.

## 4 METODOLOGIA

### 4.1 Área de Estudo

A APA Sul está presente em duas grandes bacias hidrográficas: Bacia do Rio São Francisco e Bacia do Rio Doce (IEF, 2020), na qual se fazem presentes 13 municípios do Estado de Minas Gerais. Na Figura 4.1 apresenta um mapa da localização da APA Sul RMBH.

**Figura 4.1 – Mapa de Localização da Área de Proteção Ambiental Sul da RMBH.**



Fonte: O autor.

O limite em estudo da APA Estadual Sul RMBH foi extraído do portal IDE-SISEMA delimitada pelo acordo com os Decretos Decreto 35624/94, Decreto 37812/96 e Lei Estadual 13.960/01, abrangendo a área total de 164365,07 ha (SISEMA, [2021]). A Área de Proteção contempla os seguintes municípios sua respectiva área de participação na APA como mostra a Tabela 4.1 a seguir:

**Tabela 4.1** - Lista de Municípios APA Sul RMBH e Área de Participação

<b>Município</b>	<b>Área total Município (ha)</b>	<b>Área Presente na APA Sul RMBH (ha)</b>	<b>% APA/ Município</b>
Barão de Cocais	34043,6	369,8	1,1%
Belo Horizonte	33119,3	3589,3	10,8%
Brumadinho	64168,2	17900,8	27,9%
Caeté	54223,1	3960,6	7,3%
Catas Altas	24001,5	7440,0	31,0%
Ibirité	7264,9	1843,4	25,4%
Itabirito	54346,1	26022,8	47,9%
Mário Campos	3536,7	1200,8	34,0%
Nova Lima	42839,1	39214,4	91,5%
Raposos	7185,3	3968,1	55,2%
Rio Acima	22769,3	22769,3	100,0%
Santa Bárbara	68516,9	33846,1	49,4%
Sarzedo	6168,2	2239,6	36,3%

Fonte: O autor

## 4.2 Processamento de dados na plataforma GEE

A geração do NDVI e o processamento de imagens realizados na API do Google Earth Engine foram desenvolvidos em um script em *javascript* (Apêndice 1) segmentado pelas seguintes etapas:

### 4.2.1 Satélites e Imagens utilizados

Optou-se por utilizar os Satélites Landsat 7 e Landsat 8, com as respectivas coleções de imagens: *USGS Landsat 7 Collection 1 Tier 1 TOA Reflectance* e *USGS Landsat 8 Collection 1 Tier 1 TOA Reflectance*, presentes no acervo do Google Earth Engine. Essas coleções já possuem correções radiométricas ocasionadas pela reflectância do topo da atmosfera.

### 4.2.2 Aplicação de Mediana

A mediana da composição das imagens (*.median*) foi realizada para reduzir ruídos provocados pela união de imagens na geração do mosaico final, representado por toda a região da Área de Proteção. Ao optar pela escolha da mediana no lugar da média remove-se valores extremos de cada pixel que eventualmente poderiam ocorrer por contaminação por nuvens ou falhas identificadas pelo sensor. Desse modo, o valor de pixel existente de alguma das imagens presentes no período selecionado é mantido no mosaico de imagens pretendido (GANEM, 2017).

É importante ressaltar que quanto maior o período de análise, maior a possibilidade de evitar a ocorrência de falha na imagem resultante.

#### 4.2.3 Correção de nuvens

A Avaliação de Qualidade (QA – *Quality Assessment*) da coleção Landsat disponibiliza informações úteis para otimizar o valor dos pixels de um indicador de nível de condições específicas nos dados Landsat (USGS, 2021). O valor de cada pixel otimizará determinada característica da imagem de acordo com o objetivo conforme mostra a Tabela 4.2 a seguir para o Landsat 8:

**Quadro 4.2** - Avaliação de Qualidade dos atributos de banda e os valores das possibilidades de pixel para a Coleção Landsat 8.

Landsat 8 OLI/TIRS Collection 1 Level-1 Quality Assessment Band Attribute and Pixel Value Possibilities	
Attribute	Pixel Value
Fill	1
Terrain Occlusion	2, 2722
Clear	2720, 2724, 2728, 2732
Radiometric Saturation - 1-2 bands	2724, 2756, 2804, 2980, 3012, 3748, 3780, 6820, 6852, 6900, 7076, 7108, 7844, 7876
Radiometric Saturation - 3-4 bands	2728, 2760, 2808, 2984, 3016, 3752, 3784, 6824, 6856, 6904, 7080, 7112, 7848, 7880
Radiometric Saturation - 5+ bands	2732, 2764, 2812, 2988, 3020, 3756, 3788, 6828, 6860, 6908, 7084, 7116, 7852, 7884
Cloud	2800, 2804, 2808, 2812, 6896, 6900, 6904, 6908
Cloud Confidence - Low	2720, 2722, 2724, 2728, 2732, 2976, 2980, 2984, 2988, 3744, 3748, 3752, 3756, 6816, 6820, 6824, 6828, 7072, 7076, 7080, 7084, 7840, 7844, 7848, 7852
Cloud Confidence - Medium	2752, 2756, 2760, 2764, 3008, 3012, 3016, 3020, 3776, 3780, 3784, 3788, 6848, 6852, 6856, 6860, 7104, 7108, 7112, 7116, 7872, 7876, 7880, 7884
Cloud Confidence - High	2800, 2804, 2808, 2812, 6896, 6900, 6904, 6908
Cloud Shadow - High	2976, 2980, 2984, 2988, 3008, 3012, 3016, 3020, 7072, 7076, 7080, 7084, 7104, 7108, 7112, 7116
Snow/Ice - High	3744, 3748, 3752, 3756, 3776, 3780, 3784, 3788, 7840, 7844, 7848, 7852, 7872, 7876, 7880, 7884
Cirrus Confidence - Low	2720, 2722, 2724, 2728, 2732, 2752, 2756, 2760, 2764, 2800, 2804, 2808, 2812, 2976, 2980, 2984, 2988, 3008, 3012, 3016, 3020, 3744, 3748, 3752, 3756, 3780, 3784, 3788
Cirrus Confidence - High	6816, 6820, 6824, 6828, 6848, 6852, 6856, 6860, 6896, 6900, 6904, 6908, 7072, 7076, 7080, 7084, 7104, 7108, 7112, 7116, 7840, 7844, 7848, 7852, 7872, 7876, 7880, 7884

Fonte: USGS (2021)

Para o tratamento das imagens utilizou-se o atributo limpo (“*Clear*”) para eliminar as nuvens das coleções Landsat 7 e Landsat 8, com os respectivos valores de 672 e 2720 utilizados para criar uma máscara (*.updateMask*) nas coleções de imagens selecionadas, retirando pixels com presença de nuvens no processo.

#### 4.2.4 Delimitação Temporal

Posterior a esse tratamento, utilizou-se o filtro temporal (*.filterDate*) para a delimitação do mosaico de imagens compreendidas em cada período. Utilizando o comando do GEE “*size*” foi possível verificar a quantidade de imagens presentes em cada coleção de acordo com a faixa temporal escolhida. Os períodos em estudo estão apresentados na Tabela 4.3, sendo analisadas imagens da APA Sul RMBH no espectro temporal de 20 anos:

**Tabela 4.2** - Períodos para análise temporal

Período	Data	Coleção Utilizada	Número Imagens utilizadas para compor a Mediana
2000	01/01/2000 a 31/12/2000	Landsat 7	26
2005	01/01/2005 a 31/12/2005	Landsat 7	22
2010	01/01/2010 a 31/12/2010	Landsat 7	36
2015	01/01/2015 a 31/12/2015	Landsat 8	41
2020	01/01/2020 a 31/12/2020	Landsat 8	34

Fonte: O autor.

#### 4.2.5 Geração do NDVI

Através da utilização das bandas espectrais 4 e 5 para o satélite Landsat 8 e as bandas 3 e 4 do Landsat 7, optou-se pela escolha do cálculo do Índice NDVI proposto por Rouse (1973), em função de sua importância em análises sazonais.

#### 4.2.6 Exportação e Tratamento dos NDVIs

Através do cálculo do NDVI obteve-se os valores que foram exportados em formato raster (*tiff*) para a geração de mapas e cálculos em softwares de geoprocessamento (ArcGis e Qgis).

### 4.3 Análise Quantitativa e Geração de Mapas

#### 4.3.1 NDVI

O raster de NDVI de cada período da APA Sul foi analisado estatisticamente assim como as áreas de remanescentes vegetais. Foram geradas estatísticas referentes aos valores globais de NDVI em cada período e em cada município que possui interseção com área de estudo.

### 4.3.2 NDVI Classificado

Conforme Mallmann, Prado e Pereira Filho (2015) valores superiores a 0,2 do NDVI indicam a presença de vegetação, na qual o estágio de desenvolvimento vegetal foi classificado de acordo com Tabela 4.4. Valores inferiores a 0,2 do NDVI foram classificados sem vegetação.

**Tabela 4.3** – Classificação da Tipologia Vegetal conforme intervalo de NDVI.

<b>Classes</b>	<b>Idade</b>	<b>Intervalos</b>
Floresta Madura	>70 anos	NDVI > 0,8
Estágio Avançado	50 a 60 anos	0,7 < NDVI < 0,8
Estágio Médio	15 a 35 anos	0,5 < NDVI < 0,7
Estágio Inicial	<10 anos	0,2 < NDVI < 0,5
Sem Vegetação	-	NDVI < 0,2

Fonte: Adaptado de Mallmann, Prado e Pereira Filho (2015)

A tipologia de estágio inicial de vegetação é caracterizada por predomínio de arbustos abaixo do dossel florestal com árvores espaçadas, com idade inferior a 10 anos. Em estágio médio, já temos uma transição entre o porte arbustivo e o arbóreo, com sub-bosque bastante concentrado. Já no estágio avançado, temos a dominância de espécies arbóreas de grande variação do diâmetro, apresentando um dossel bastante adensado. Por fim, a floresta madura, também representada como Floresta Primária, possui estágio de desenvolvimento de Multi-idades, com idade superior a 70 anos. (MALLMANN, PRADO e PEREIRA FILHO, 2015).

As feições das tipologias foram classificadas e vetorizadas a partir das faixas de NDVI, quantificando em hectares a área para cada período no intervalo de 5 em 5 anos.

Os resultados obtidos foram categorizados, classificados, e mapeados nos softwares de geoprocessamento *ArcGIS 10.6* e *Qgis 3.4.13*. Em seguida, foram analisados em relação aos limites municipais da APA Sul-RMBH associados as variações temporais, com o objetivo de tentar compreender a dinâmica têmporo-espacial das remanescentes de vegetação presentes no local de estudo.

### 4.3.3 Análises Locais

Para verificar a classificação proposta por Mallmann, Prado e Pereira Filho (2015) aplicadas a APA Sul RMBH, foram escolhidos alguns locais para realizar a análise locais das tipologias ao longo da área de estudo. Para isso utilizou-se o banco de satélite presente no ArcMap (Basemap) com imagens *Maxar* em alta resolução dos anos de 2019 e 2020 junto a classificação do NDVI do ano de 2020 gerada para verificar a adequação de sua modelagem.

### 4.3.4 Áreas desmatadas x regeneradas

Visando verificar a diferença do NDVI de 2000 para 2020, utilizou a metodologia proposta por Soares (2013) para verificar áreas desmatadas e regeneradas, sendo um dos indicadores de mudanças ocorridas durante o período estudado. A técnica utilizada para o Parque Nacional da Serra do Cipó tem a sua álgebra a seguir na fórmula 2:

$$\text{DIFERENÇA} = \text{NDVI 2020} - \text{NDVI 2000} \quad (2)$$

O resultado da diferença do índice de 2020 pelo de 2000 gerou uma imagem em tons de cinza que foi reclassificada de acordo com a seguinte equação:

$$\text{Limites Classificação} = X \mp 2 * \text{dvpad} \quad (3)$$

Na qual:

*X*: Média do raster Diferença

2: Constante

*dvpad*: desvio padrão do Raster Diferença

As classes foram delimitadas e quantificadas de acordo com os valores resultantes, delimitando áreas desmatadas, sem alteração e em regeneração.

Áreas com índice dos valores próximos a média até o limite definido pelo desvio padrão irão indicar regiões onde se teve pouca alteração do uso e ocupação do solo, enquanto valores além do desvio padrão vão representar mudanças significativas. (SOARES, 2013).

## **5 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

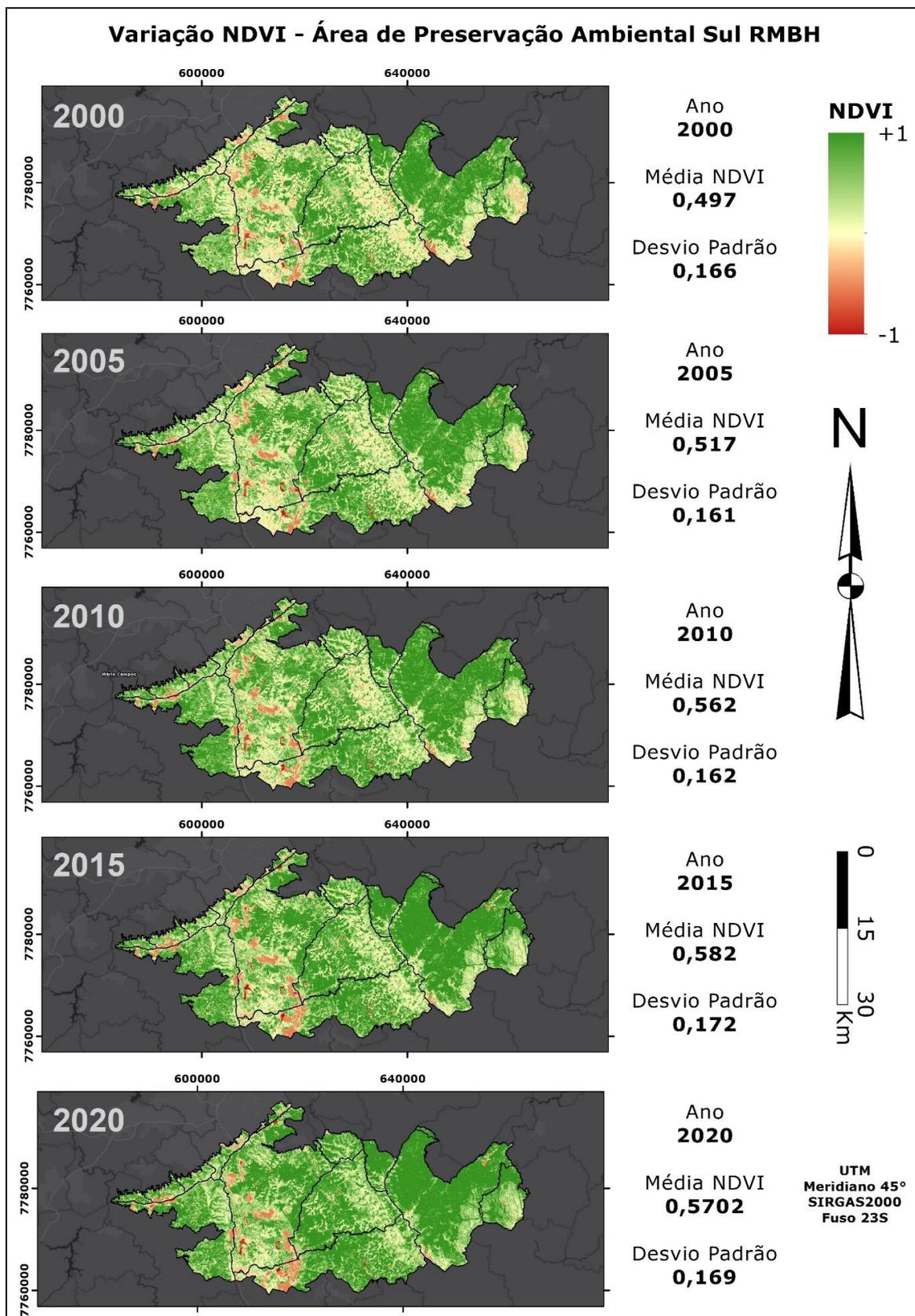
Os resultados apresentados a seguir foram separados em seis itens para compreender melhor a dinâmica da vegetação nesse trabalho.

### **5.1 NDVI Global**

Os objetos do globo terrestre ao utilizarem o sensoriamento remoto como ferramenta, são representados em assinaturas espectrais de acordo com o padrão de reflectância. A utilização de índices de vegetação em análises temporais pode permitir o estudo do padrão espectro temporal das regiões de interesse (BECKER et al., 2019).

Desse modo, ao considerar o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada para os períodos de 2000, 2005, 2010, 2015 e 2020 foi possível verificar a dinâmica da vegetação nesse espectro temporal, conforme observado na Figura 5.1. No mapa é possível observar, representado em vermelho, regiões não ou pouco vegetadas, ao passo que regiões com tonalidade mais forte em verde tendem a representar vegetação mais densa.

**Figura 5.1** - Mapa comparativo de NDVI para os anos de 2000, 2005, 2010, 2015 e 2020



Fonte: O autor.

Em análise visual, é perceptível o aumento dos valores de NDVI em especial na porção leste da APA, representada pelos municípios de Caeté e Santa Bárbara. Já as áreas não vegetadas tiveram poucas alterações visualmente, essas em sua maioria localizadas em Nova Lima e parte de Itabirito em função de atividades minerárias.

Através da ferramenta “Estatísticas da Camada Raster” presente no acervo do Qgis, foram extraídos os dados de média, mediana, desvio padrão, mínimo, máximo e amplitude de NDVI para cada ano de estudo conforme apresentado na Tabela 5.1.

**Tabela 5.1** - Estatísticas Globais NDVI APA SUL RMBH.

<b>Ano</b>	<b>Média</b>	<b>Mediana</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Amplitude</b>
<b>2000</b>	0,497	0,512	0,166	-0,578	0,850	1,427
<b>2005</b>	0,517	0,539	0,162	-0,524	0,854	1,378
<b>2010</b>	0,532	0,562	0,162	-0,553	0,862	1,415
<b>2015</b>	0,550	0,582	0,172	-0,629	0,862	1,492
<b>2020</b>	0,570	0,609	0,169	-0,615	0,875	1,490

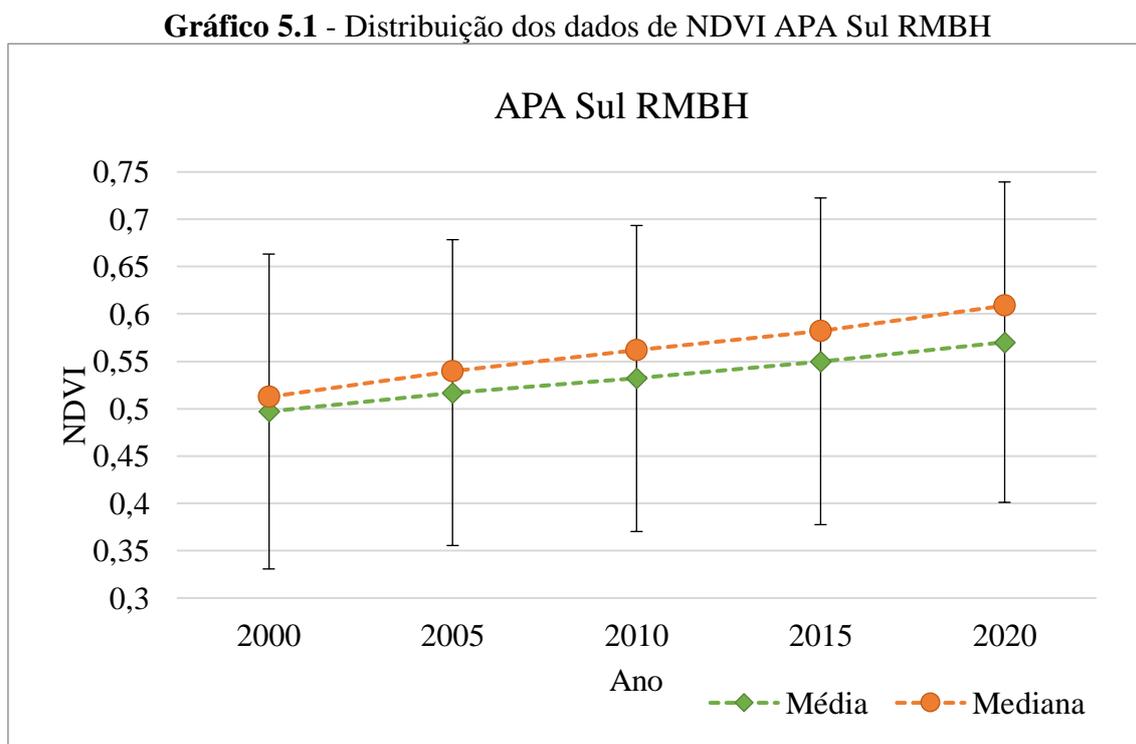
Fonte: O autor.

A área de estudo obteve valores médios de NDVI de 0,497 em 2000, com crescimento dos valores até 0,570 em 2020. A mediana do índice de vegetação também obteve comportamento crescente nos períodos. O desvio padrão associado à média do índice de vegetação ao longo dos anos esteve entre 0,162 a 0,172 nos 5 períodos estudados. De acordo com Becker et al. (2019), o desvio padrão é uma variável que representa o quão dispersos estão os dados da média, utilizada para diferenciar o comportamento espectral dos alvos temporalmente. Já a mediana contribui para individualizar alvos que possuem valores de desvio padrão próximos.

A amplitude de valores de NDVI pelos pixels do raster foi menor em 2005 com 1,378, e maior em 2020 com 1,490. A região da APA Sul RMBH apresentou valores extremos de NDVI no município de Santa Bárbara, com o mínimo de -0,629 representado por uma massa d'água em 2015 e de 0,875 em região de mata no centro do limite geográfico da cidade.

Para representar melhor a dinâmica do NDVI, gerou-se um gráfico que demonstra o NDVI em comportamento crescente ao longo dos anos, que pode ser verificado visualmente no Gráfico 5.1 pela média e mediana.

O Gráfico 5.1 apresenta o crescimento do NDVI na APA Sul, através dos valores de média e mediana.



Fonte: O autor.

## 5.2 NDVI por município

A região da APA Sul, em função de sua grande abrangência geográfica teve sua análise do NDVI dividida em seus municípios participantes, gerando assim suas estatísticas zonais, conforme apresentado na Tabela 5.2 abaixo:

**Tabela 5.2** - Estatísticas zonais NDVI APA Sul RMBH por Município

Município	Ano	Média	Mediana	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	Amplitude
Barão de Cocais	2000	0,622	0,640	0,087	0,163	0,794	0,631
	2005	0,603	0,629	0,097	0,160	0,758	0,598
	2010	0,638	0,653	0,084	0,182	0,792	0,609
	2015	0,678	0,703	0,081	-0,221	0,811	1,032
	2020	0,701	0,720	0,071	0,051	0,810	0,759
Belo Horizonte	2000	0,383	0,370	0,158	-0,222	0,747	0,969
	2005	0,431	0,430	0,155	-0,180	0,768	0,948
	2010	0,455	0,465	0,156	-0,092	0,760	0,851
	2015	0,453	0,453	0,169	-0,278	0,795	1,073
	2020	0,480	0,485	0,167	-0,382	0,803	1,185
Brumadinho	2000	0,488	0,500	0,144	-0,391	0,763	1,154
	2005	0,518	0,541	0,140	-0,425	0,784	1,209
	2010	0,550	0,580	0,144	-0,379	0,825	1,204
	2015	0,546	0,571	0,148	-0,518	0,793	1,312
	2020	0,553	0,575	0,148	-0,565	0,810	1,375
Caeté	2000	0,582	0,634	0,140	0,069	0,820	0,751
	2005	0,599	0,646	0,134	0,029	0,839	0,810
	2010	0,612	0,655	0,128	0,033	0,862	0,829
	2015	0,641	0,689	0,125	-0,155	0,845	1,000
	2020	0,660	0,710	0,118	-0,166	0,832	0,998
Catas Altas	2000	0,483	0,478	0,159	-0,114	0,786	0,900
	2005	0,516	0,518	0,146	-0,072	0,854	0,926
	2010	0,525	0,528	0,147	-0,088	0,827	0,915
	2015	0,565	0,566	0,142	-0,330	0,821	1,151
	2020	0,581	0,590	0,141	-0,346	0,870	1,216
Ibirité	2000	0,433	0,418	0,134	-0,021	0,795	0,817
	2005	0,470	0,463	0,129	-0,440	0,778	1,219
	2010	0,501	0,503	0,127	-0,376	0,793	1,169
	2015	0,491	0,480	0,137	0,007	0,802	0,795
	2020	0,520	0,517	0,135	-0,417	0,796	1,213
Itabirito	2000	0,477	0,478	0,169	-0,578	0,811	1,389
	2005	0,489	0,502	0,172	-0,496	0,812	1,308
	2010	0,511	0,531	0,168	-0,515	0,823	1,338
	2015	0,523	0,550	0,188	-0,628	0,862	1,490
	2020	0,540	0,577	0,190	-0,615	0,815	1,429

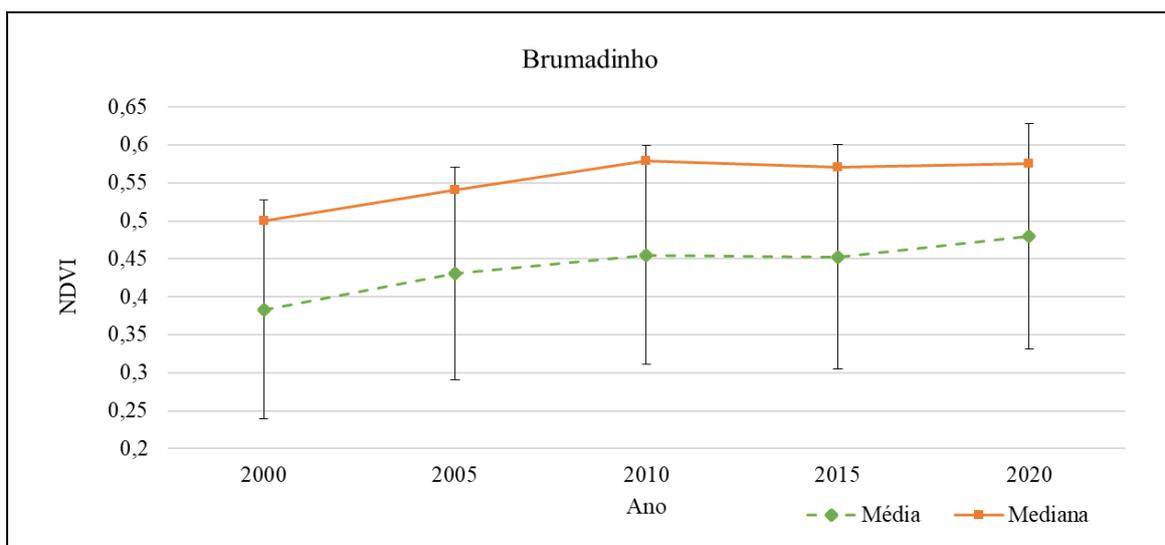
Fonte: O autor.

**Tabela 5.2** – Estatísticas zonais NDVI - Municípios APA Sul RMBH

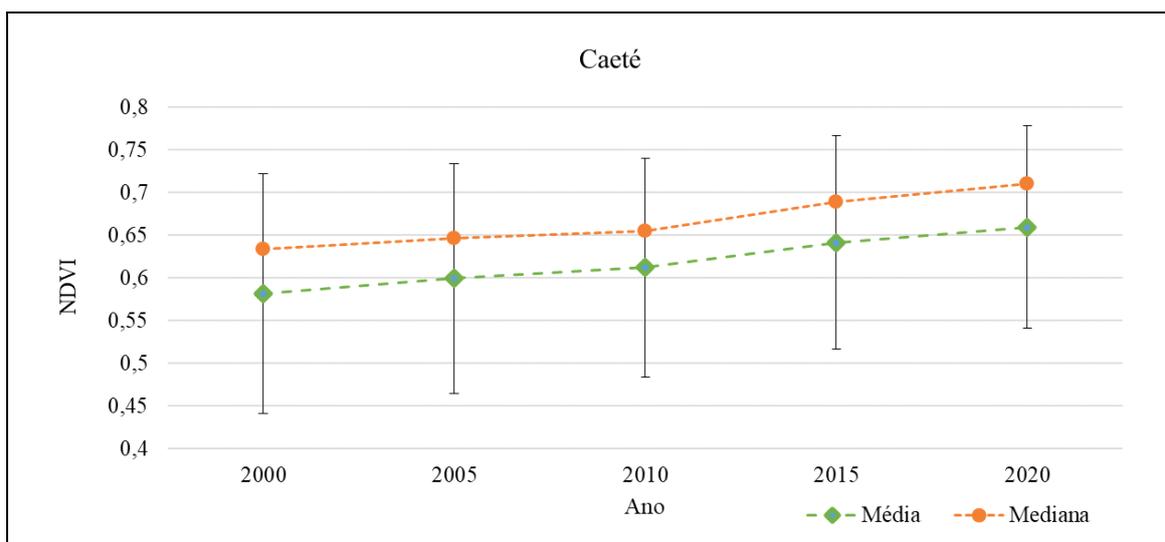
Município	Ano	Média	Mediana	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	Amplitude
Mário Campos	2000	0,511	0,520	0,113	-0,003	0,769	0,773
	2005	0,544	0,559	0,113	0,006	0,760	0,755
	2010	0,563	0,581	0,109	0,018	0,768	0,751
	2015	0,562	0,587	0,116	-0,061	0,763	0,824
	2020	0,580	0,600	0,120	-0,017	0,795	0,812
Nova Lima	2000	0,454	0,452	0,176	-0,440	0,811	1,252
	2005	0,476	0,484	0,177	-0,524	0,819	1,343
	2010	0,480	0,497	0,177	-0,470	0,829	1,299
	2015	0,499	0,519	0,194	-0,622	0,844	1,466
	2020	0,520	0,548	0,193	-0,612	0,837	1,449
Raposos	2000	0,493	0,485	0,126	-0,101	0,765	0,866
	2005	0,491	0,484	0,121	0,036	0,764	0,728
	2010	0,521	0,524	0,123	0,024	0,759	0,735
	2015	0,540	0,544	0,132	-0,259	0,780	1,039
	2020	0,589	0,600	0,117	-0,189	0,783	0,971
Rio Acima	2000	0,494	0,495	0,154	-0,374	0,786	1,160
	2005	0,511	0,516	0,146	-0,506	0,789	1,295
	2010	0,522	0,536	0,147	-0,553	0,791	1,344
	2015	0,551	0,568	0,148	-0,614	0,807	1,421
	2020	0,580	0,606	0,138	-0,531	0,814	1,345
Santa Bárbara	2000	0,578	0,633	0,148	-0,496	0,850	1,346
	2005	0,596	0,643	0,135	-0,489	0,846	1,335
	2010	0,608	0,656	0,134	-0,460	0,853	1,313
	2015	0,636	0,691	0,134	-0,629	0,862	1,492
	2020	0,653	0,702	0,125	-0,567	0,875	1,443
Sarzedo	2000	0,464	0,470	0,164	-0,083	0,743	0,827
	2005	0,486	0,506	0,162	-0,199	0,786	0,985
	2010	0,503	0,542	0,177	-0,354	0,776	1,131
	2015	0,466	0,508	0,192	-0,543	0,792	1,335
	2020	0,498	0,541	0,202	-0,510	0,797	1,307

Fonte: O autor.

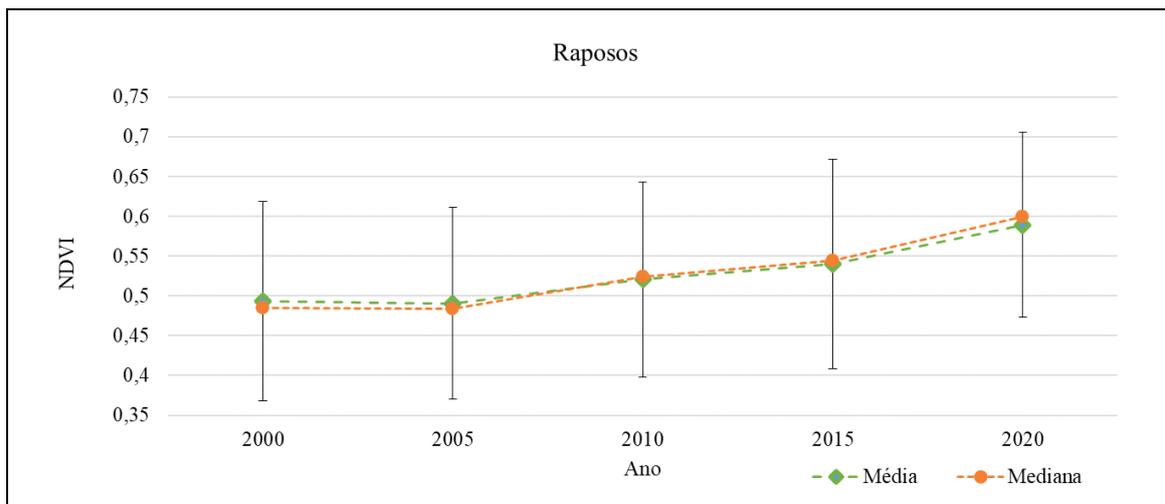
Parte das estatísticas dos municípios serão comentadas a seguir com gráficos. Os municípios, de modo geral, obtiveram crescimento do NDVI entre 2000 e 2020, conforme exemplificado nos Gráficos 5.2 a 5.5 para os municípios de Brumadinho, Caeté e Raposos e Santa Bárbara.

**Gráfico 5.2** - Distribuição dos dados de NDVI - APA Sul RMBH – Brumadinho

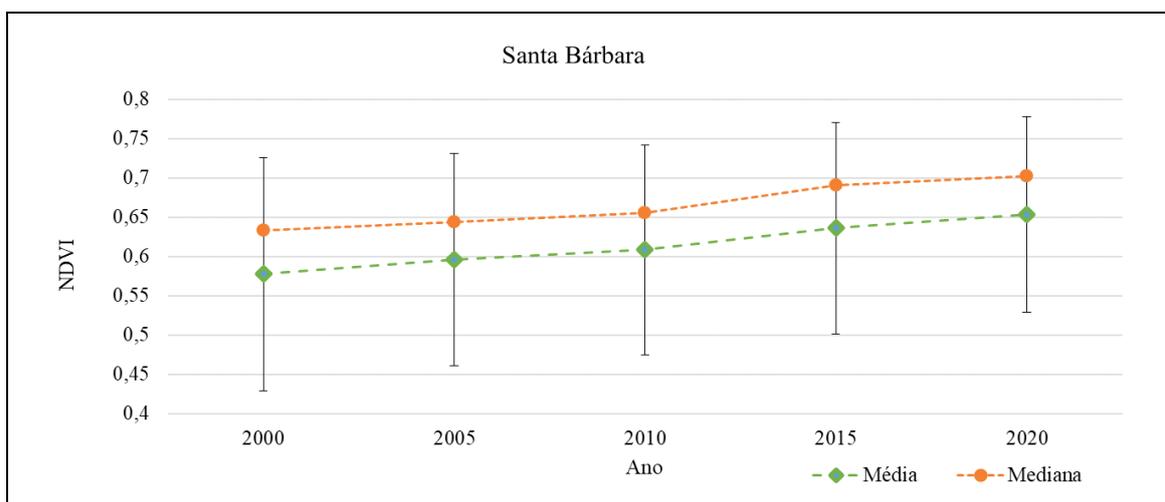
Fonte: O autor

**Gráfico 5.3** - Distribuição dos dados de NDVI - APA Sul RMBH – Caeté

Fonte: O autor

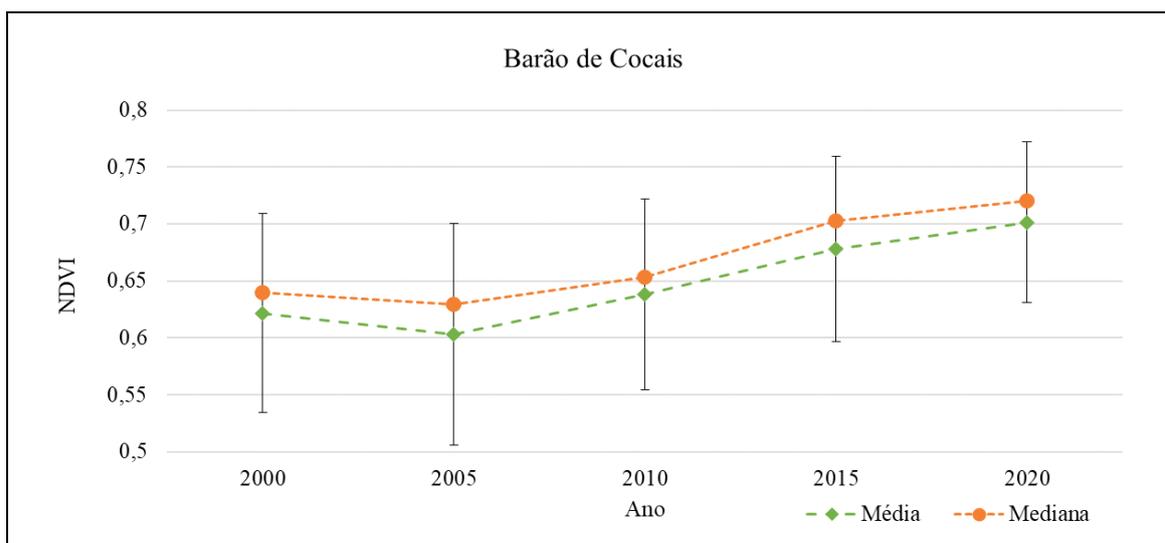
**Gráfico 5.4 - Distribuição dos dados de NDVI - APA Sul RMBH – Raposos**

Fonte: O autor

**Gráfico 5.5 - Distribuição dos dados de NDVI - APA Sul RMBH – Santa Bárbara**

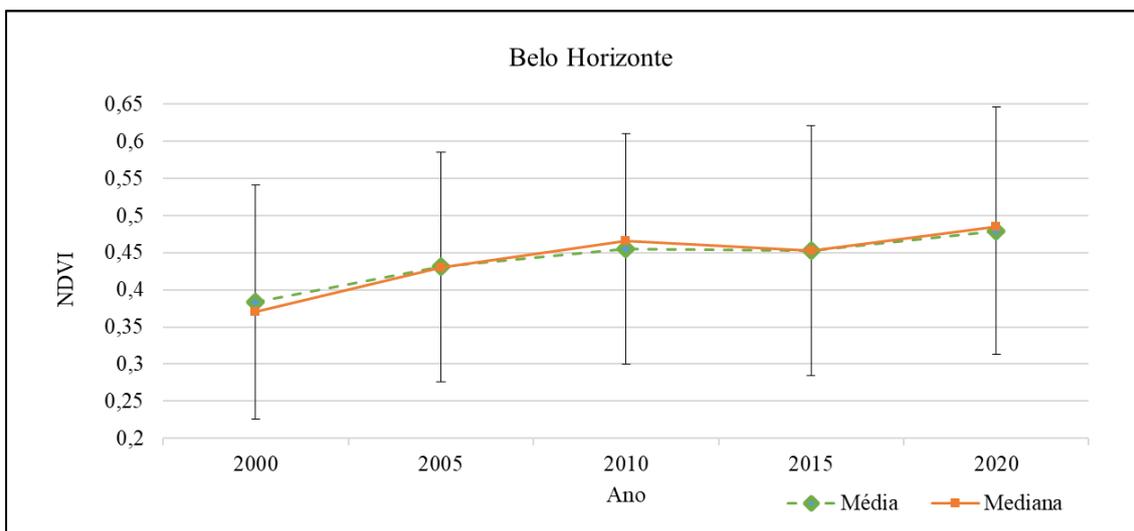
Fonte: O autor

O município de Barão de Cocais (Gráfico 5.6) apresentou em média os maiores valores de NDVI, alcançando o valor de 0,701 em 2020. Outro valor de destaque foram o desvio padrão mais baixo entre todos os municípios, variando de 0,071 a 0,097. Isso se dá pelo fato da área de interseção da APA com o município ser a menor entre os demais limites (369,8 ha) e estar localizada predominantemente em região de mata, reduzindo consideravelmente a dispersão dos dados.

**Gráfico 5.6** - Distribuição dos dados de NDVI APA Sul RMBH - Barão de Cocais

Fonte: O autor

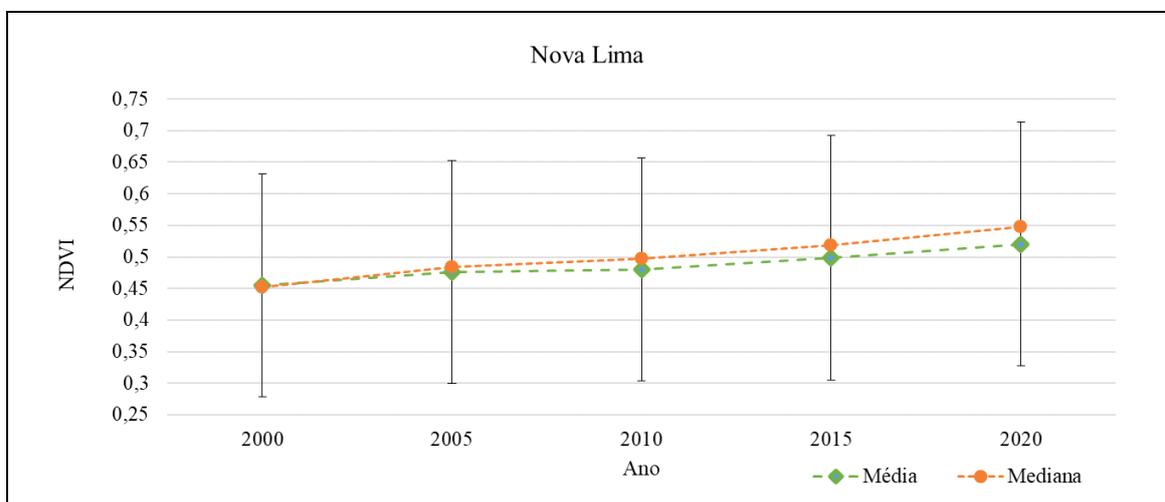
Já os menores valores médios de NDVI encontrados estão presentes no município de Belo Horizonte, com 0,383 em 2000 e 0,480 em 2020. Apesar da relativa pequena área da APA presente no município (3589,3 ha), ela possui bastante interferência com a grande intervenção da Capital, contribuindo para a redução do Índice em estudo conforme apresentado no Gráfico 5.7.

**Gráfico 5.7** - Distribuição dos dados de NDVI APA Sul RMBH – Belo Horizonte

Fonte: O autor

O município de Nova Lima (Gráfico 5.8), que possui mais de 90% de sua área presente na APA, obteve altos valores de dispersão, o que pode ser explicado pelo alto contraste pela presença de áreas vegetadas e grande atividade minerária no município.

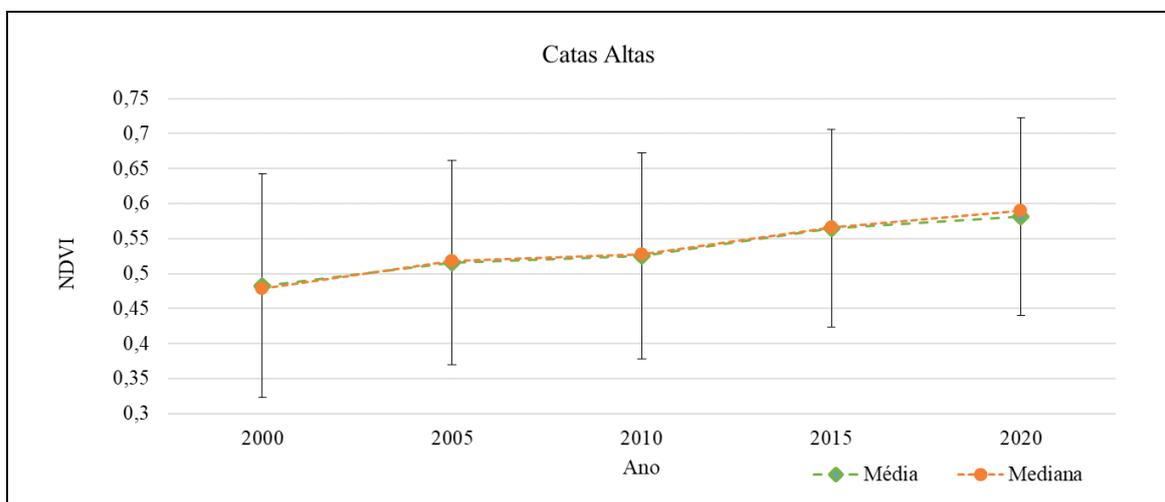
**Gráfico 5.8** - Distribuição dos dados de NDVI APA Sul RMBH – Nova Lima



Fonte: O autor

Dentre todos os municípios, Catas Altas foi o que apresentou maior variação de NDVI Médio entre 2000 a 2020, com diferença de 0,099 como mostra o Gráfico 5.9 a seguir:

**Gráfico 5.9** - Distribuição dos dados de NDVI APA Sul RMBH – Catas Altas

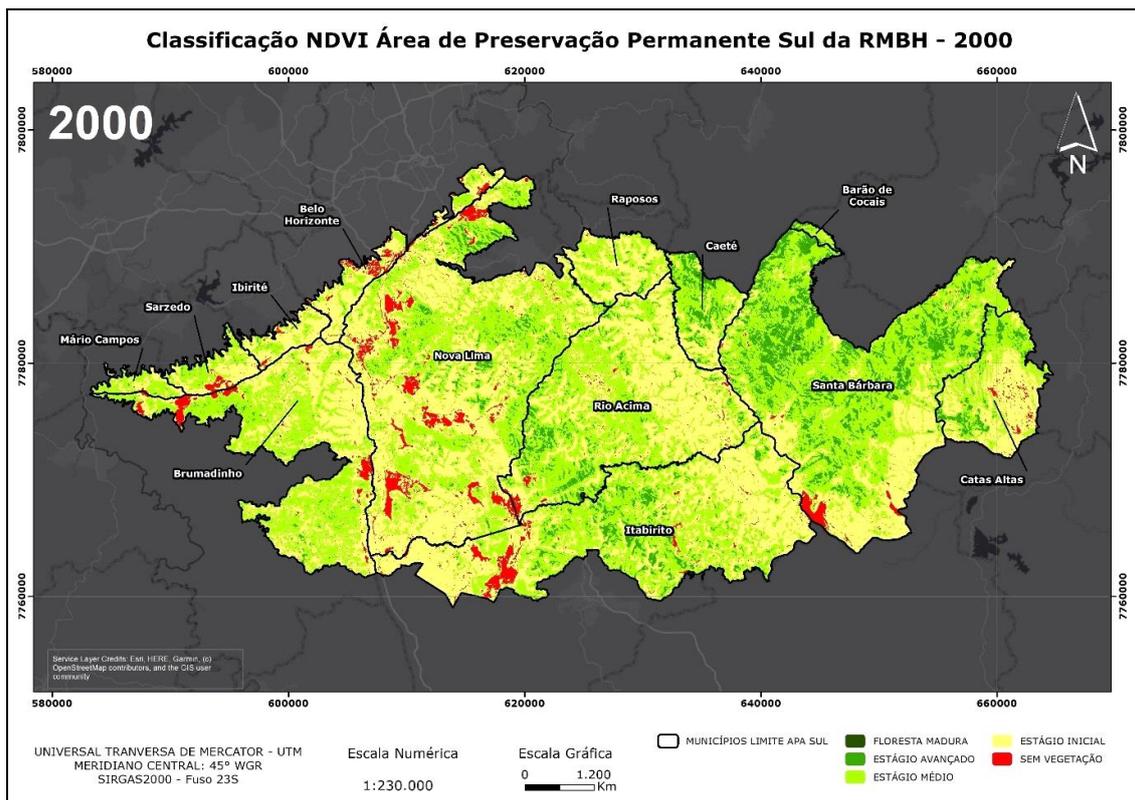


Fonte: O autor

### 5.3 NDVI Classificado APA Sul RMBH

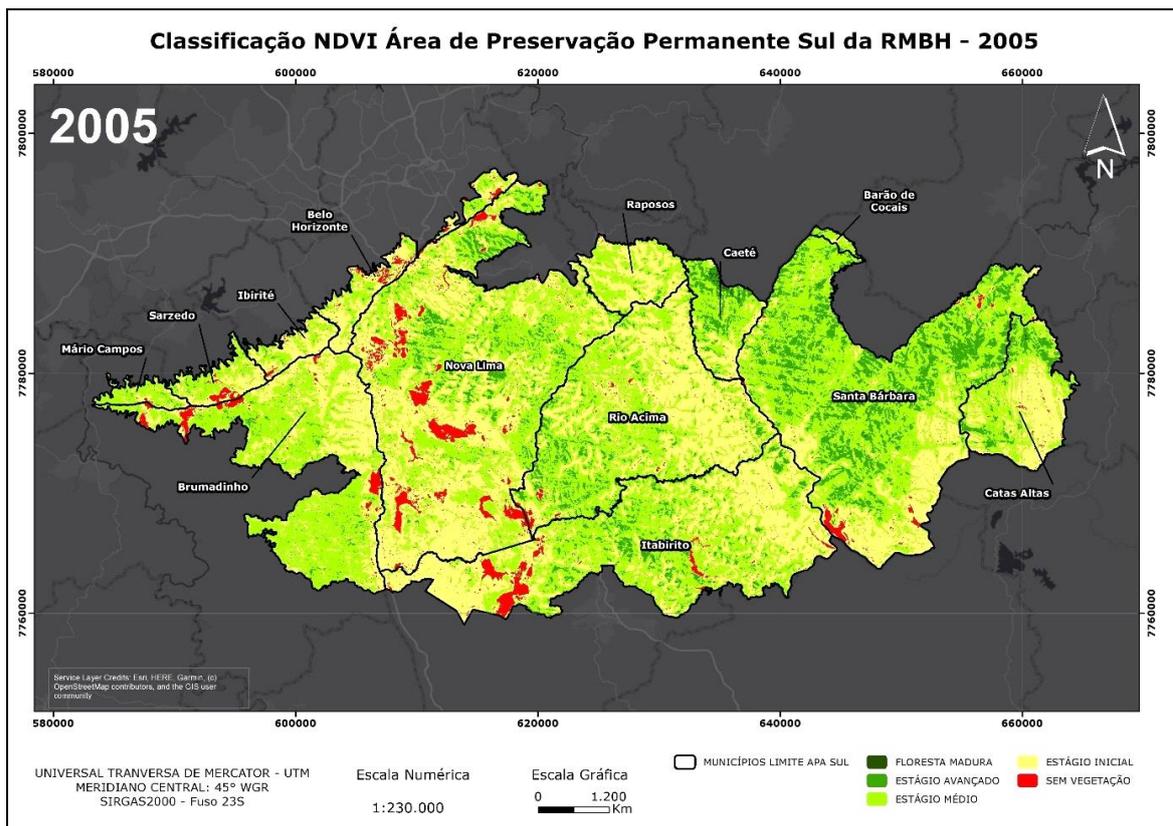
Para estimar a área vegetada na região, foi feita a classificação do NDVI conforme adaptado de Mallmann, Prado e Pereira Filho (2015) e mapeadas a dinâmica dessas feições ao longo dos anos na APA Sul RMBH conforme apresentado na sequência de Figuras 5.2, 5.3, 5.4, 5.5 e 5.6.

**Figura 5.2 – Mapa Classificação NDVI APA Sul RMBH – Ano 2000**



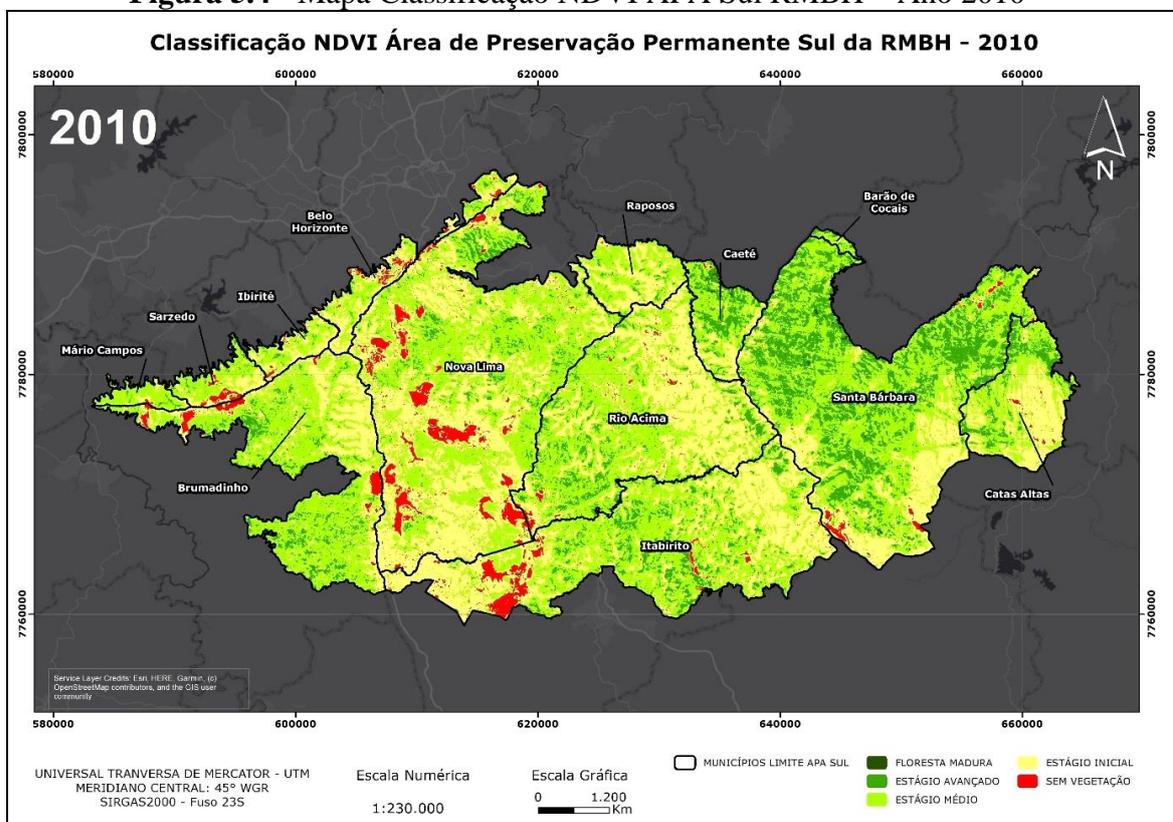
Fonte: O autor.

**Figura 5.3 – Mapa Classificação NDVI APA Sul RMBH – Ano 2005**



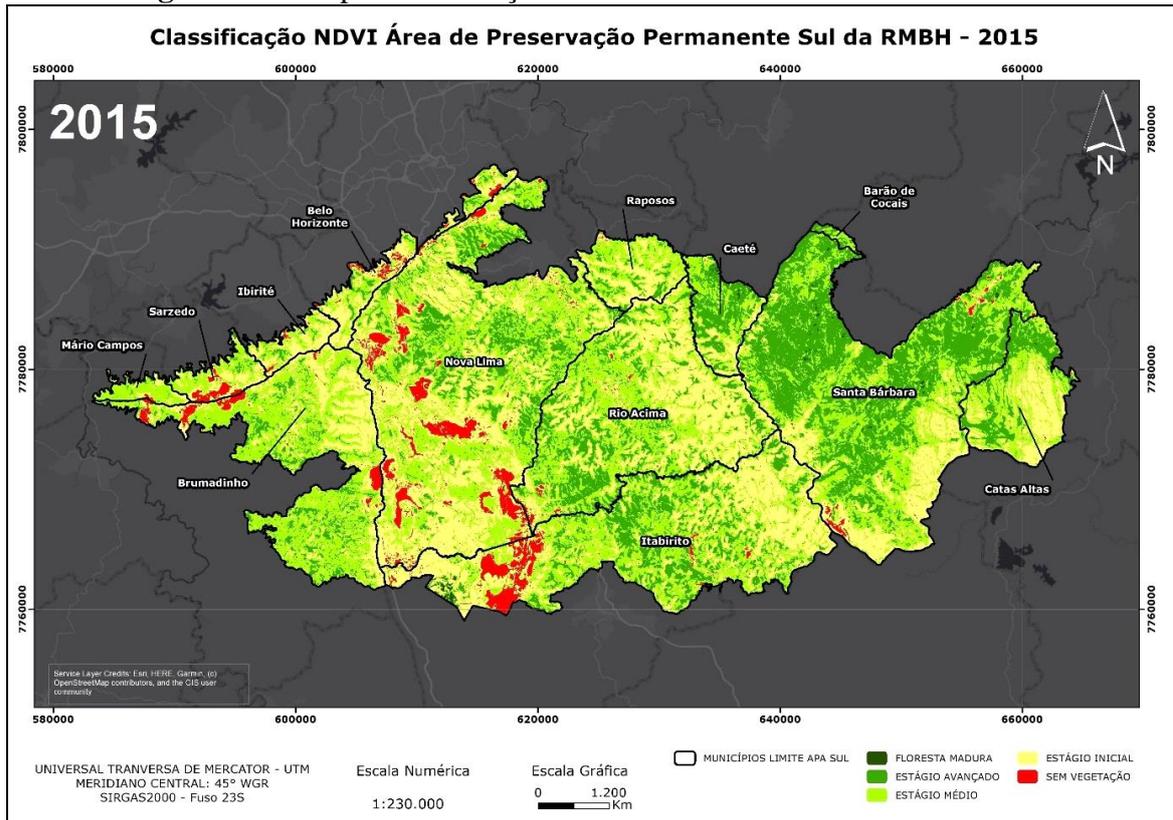
Fonte: O autor.

**Figura 5.4 - Mapa Classificação NDVI APA Sul RMBH – Ano 2010**



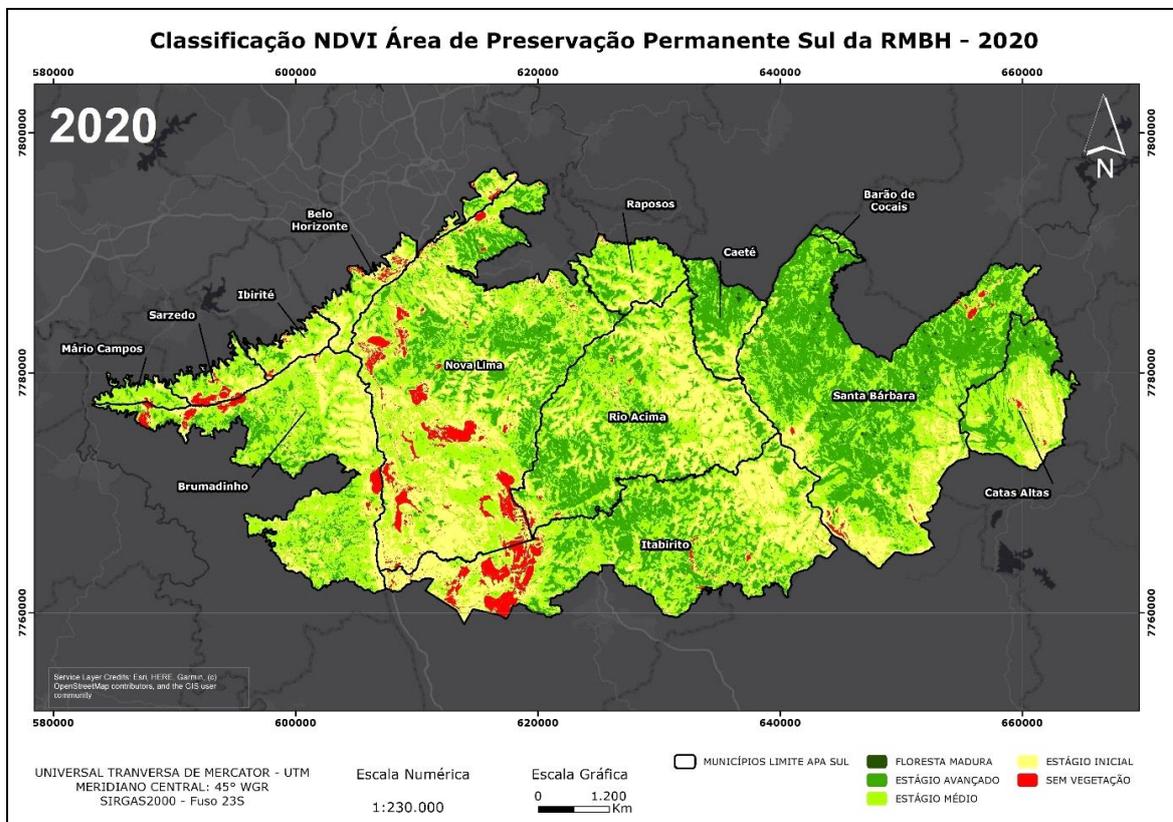
Fonte: O autor

**Figura 5.5 - Mapa Classificação NDVI APA Sul RMBH – Ano 2015**



Fonte: O autor.

**Figura 5.6 - Mapa Classificação NDVI APA Sul RMBH – Ano 2020**



Fonte: O autor.

Através dos mapas acima é possível observar de modo geral o aumento da classe de estágio avançado ao longo dos períodos. Também é notória a tipologia sem vegetação, encontrada na APA, que corresponde predominantemente a corpos hídricos e intervenções antrópicas como a mineração através de verificação por imagens de satélite. Já a classe de floresta madura teve representação muito baixa, conforme observado junto às estatísticas apresentadas na Tabela 5.4, não alcançando nem 1% em área total.

**Tabela 5.3 – NDVI Classificado - Tipologias APA Sul RMBH**

Classe	2000		2005		2010		2015		2020	
	ha	%								
Sem vegetação	5702,0	3,5%	5021,7	3,1%	5383,4	3,3%	5861,7	3,6%	5809,6	3,5%
Estágio Inicial	73326,9	44,6%	65839,2	40,1%	58743,3	35,7%	53791,9	32,7%	45165,7	27,5%
Estágio Médio	72662,2	44,2%	78038,1	47,5%	80203,5	48,8%	66810,7	40,6%	66587,1	40,5%
Estágio Avançado	12644,5	7,7%	15373,4	9,4%	19905,1	12,1%	37618,4	22,9%	46534,2	28,3%
Floresta Madura	27,6	0,0%	91,0	0,1%	128,0	0,1%	280,9	0,2%	267,5	0,2%

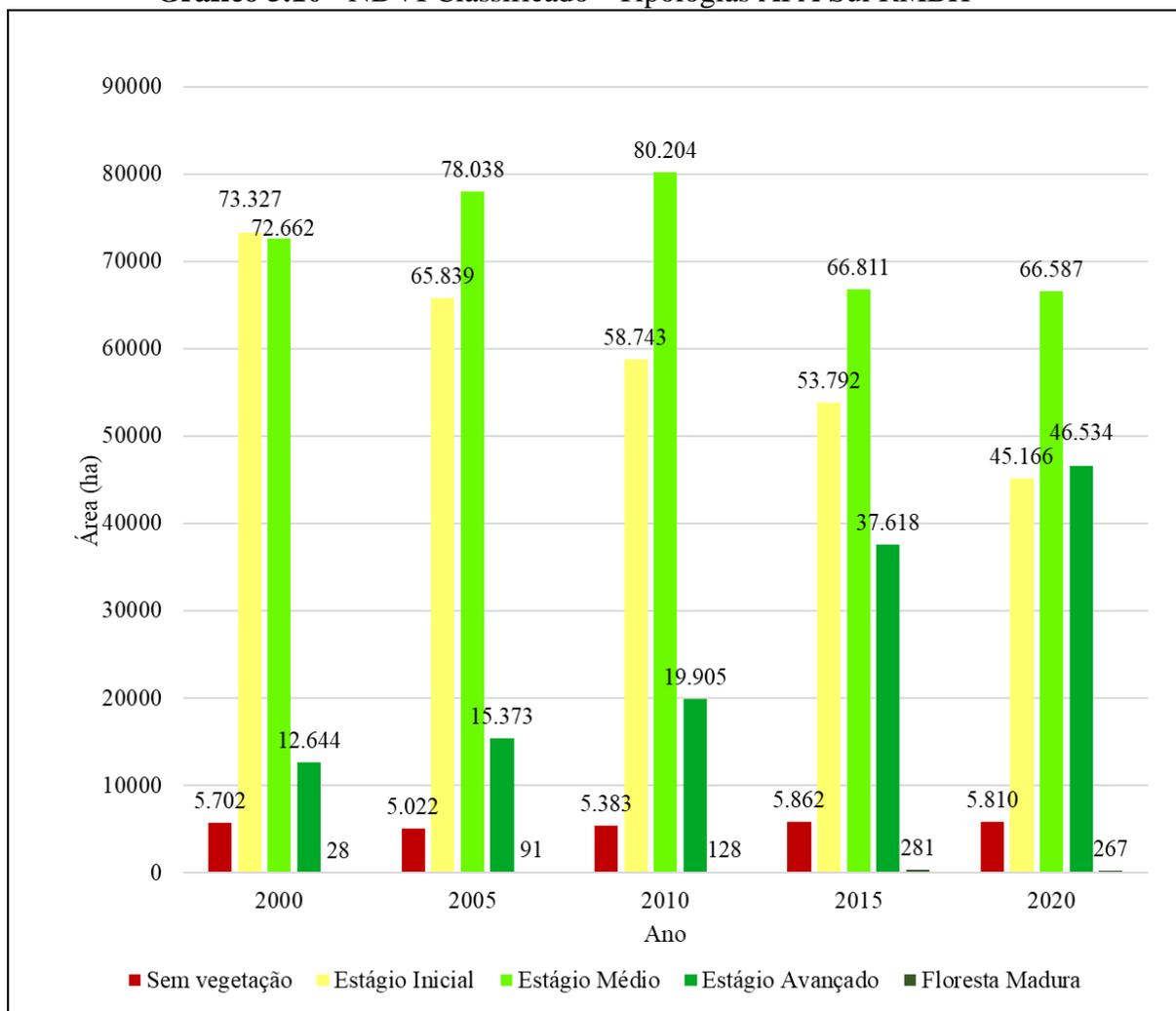
Fonte: O autor.

Em todos os períodos estudados notou-se a que a classe “Sem vegetação”, representada por corpos hídricos e atividades intervencionistas como mineração, representou sempre a quarta posição em área dentre as tipologias, não superando os 4% em área em relação aos períodos estudados, indo contra a tendência de redução da vegetação em função do aumento das interferências antrópicas na região. As áreas de floresta madura, segundo o classificador não apresentaram percentuais superiores a 0,2% da área da APA Sul, representando a classe de menor área em todo espectro temporal estudado.

As tipologias de maior representatividade no ano de 2000 foram a vegetação de estágio inicial e de estágio médio, com 44,61% e 44,21% da área estudada. Já em 2005 iniciou-se um aumento em área do estágio médio (47,48%) e redução do estágio inicial (40,06%). O ano de 2010 e 2015 manteve-se a queda do estágio inicial e aumento do estágio avançado, este alcançando área correspondente a 22,89% em 2015. No último período de estudo, no ano 2020, temos a classe de estágio avançado (28,31%) superando a classe de estágio inicial (27,48%).

O comportamento da vegetação segundo o classificador utilizado é mais bem ilustrado a seguir através do Gráfico 5.10 que ocorre o aumento da classe de estágio avançado com concomitante redução da classe de estágio inicial. Essa transição de estágio pode sugerir um desenvolvimento da vegetação na Área de Preservação nas últimas duas décadas, na qual estaria indicando um predomínio de espécies de grande porte em função de espécies arbustivas.

**Gráfico 5.10 - NDVI Classificado - Tipologias APA Sul RMBH**



Fonte: O autor.

De modo geral houve um aumento das tipologias de estágio avançado e redução de estágio inicial, representando possivelmente um desenvolvimento fenológico por parte da vegetação na APA Sul RMBH. Fenologia é o estudo de padrões recorrentes de crescimento e desenvolvimento vegetal, assim como sua interação com o clima. (HENEGBRY, G. M., & DE BEURS, K. M., 2013).

#### 5.4 NDVI Classificado por Município

Assim como foi feito com o índice de vegetação, também se segmentou a análise das tipologias nos municípios que compõe a APA Sul RMBH, apresentando seus resultados em área na Tabela 5.5 abaixo:

**Tabela 5.4** – NDVI Classificado - Tipologias APA Sul RMBH por Município

Município	Ano	Estágio Inicial	Estágio Médio	Estágio Avançado	Floresta Madura	Sem vegetação
Barão de Cocais	2000	39,8	251,0	78,9		0,1
	2005	58,2	264,5	47,0		0,1
	2010	23,0	252,1	94,5		0,2
	2015	7,1	170,2	191,6	0,4	0,5
	2020	3,2	132,9	232,4	0,7	0,6
Belo Horizonte	2000	2340,7	782,8	24,9		440,9
	2005	2147,4	1074,5	65,3		301,8
	2010	1880,8	1325,0	94,7		288,7
	2015	1906,6	1077,9	282,6		322,2
	2020	1671,2	1288,3	367,6	0,1	262,1
Brumadinho	2000	8223,2	8730,3	239,1		707,8
	2005	6403,4	10464,8	411,2		621,0
	2010	4971,0	10709,9	1647,0	1,2	571,3
	2015	5235,6	9954,8	2080,8		629,2
	2020	5209,1	9451,8	2675,2	0,3	564,2
Caeté	2000	1089,1	2060,4	793,2	9,8	8,1
	2005	941,5	2087,6	865,0	57,8	8,7
	2010	829,5	1976,7	1100,0	42,7	11,7
	2015	664,6	1494,9	1758,9	36,1	6,1
	2020	569,2	1157,1	2192,7	39,9	1,7
Catas Altas	2000	3806,9	2836,6	601,4		195,0
	2005	3365,2	3177,6	827,1	8,9	61,1
	2010	3225,8	3093,1	1049,3	3,3	68,4
	2015	2654,6	2876,5	1890,7	2,8	15,4
	2020	2136,1	3159,1	2031,8	36,8	76,1
Ibirité	2000	1258,4	493,4	21,0		70,5
	2005	1092,0	669,9	35,1		46,4
	2010	857,0	874,7	65,2		46,5
	2015	990,8	657,4	142,6	0,1	52,5
	2020	762,4	840,3	192,7		48,0
Itabirito	2000	12956,0	10615,8	1574,9	0,1	875,6
	2005	11932,6	11433,9	1686,6	0,1	969,6
	2010	10472,4	12132,0	2335,2	5,4	1077,6
	2015	9563,5	9958,0	4984,4	103,4	1413,5
	2020	7935,4	10164,2	6296,9	1,8	1624,5

Fonte: O autor.

**Tabela 5.4** – NDVI Classificado - Tipologias APA Sul RMBH

Município	Ano	Estágio Inicial	Estágio Médio	Estágio Avançado	Floresta Madura	Sem vegetação
Mário Campos	2000	503,2	673,4	8,9		15,2
	2005	327,9	823,6	29,0		20,3
	2010	235,1	892,9	51,7		21,1
	2015	252,8	859,1	63,5		25,3
	2020	222,9	806,9	147,2		23,9
Nova Lima	2000	20225,3	15072,1	1478,8	0,4	2437,6
	2005	18562,5	16060,3	2343,9	0,9	2246,6
	2010	17325,2	17541,1	1835,5	0,6	2511,8
	2015	15536,2	15324,2	5637,6	9,0	2707,3
	2020	13463,5	15548,4	7651,6	10,8	2539,9
Raposos	2000	2122,6	1728,4	107,9		9,1
	2005	2147,8	1740,3	72,9		7,2
	2010	1734,6	2071,6	153,5		8,3
	2015	1532,9	1924,0	498,4		12,7
	2020	924,4	2141,1	892,8		9,8
Rio Acima	2000	11232,8	9863,1	1384,8		288,6
	2005	10608,9	10402,0	1543,7		214,7
	2010	9787,7	10946,7	1775,7		259,3
	2015	8695,6	9337,6	4572,9	0,1	163,1
	2020	7190,6	9114,8	6334,6	1,5	127,8
Santa Bárbara	2000	8424,9	18616,9	6282,8	17,3	504,1
	2005	7330,2	18732,3	7394,7	23,3	365,5
	2010	6693,9	17183,2	9573,8	74,8	320,1
	2015	5974,4	12141,4	15383,6	129,1	217,5
	2020	4436,6	11747,4	17234,4	175,7	251,9
Sarzedo	2000	1104,1	938,1	47,9		149,4
	2005	921,7	1106,9	52,0		158,9
	2010	707,3	1204,6	129,1		198,4
	2015	777,3	1034,8	130,9		296,5
	2020	641,0	1034,8	284,3		279,3

Fonte: O autor.

Dentre a vasta gama de resultados ofertados na tabela acima, destaca-se o não aparecimento da classe de floresta madura nas áreas limites da APA dos municípios de Mário Campos, Raposos e Sarzedo.

O Município de Itabirito foi o que apresentou maior aumento de áreas não vegetadas, quase dobrando sua área “sem vegetação” no espectro de 20 anos, aumentando de 875,6 ha a 1624,5 ha, o que pode ser explicado pela intensa atividade minerária na região. Outro município que teve aumento de áreas não vegetadas foi o de Nova Lima, com acréscimo de 102,3 ha.

Pode-se verificar que a parcela da Área de Proteção presente no município de Barão de Cocais (369,8 ha), apresentou quase que predominantemente as classes de vegetação estágio médio e estágio avançado.

Em todas os municípios observou-se tanto o aumento em área de 2000 a 2020 da tipologia de estágio médio quanto a redução da classe de estágio inicial, apresentando comportamento similar aos dados absolutos das tipologias na APA Sul em toda sua extensão.

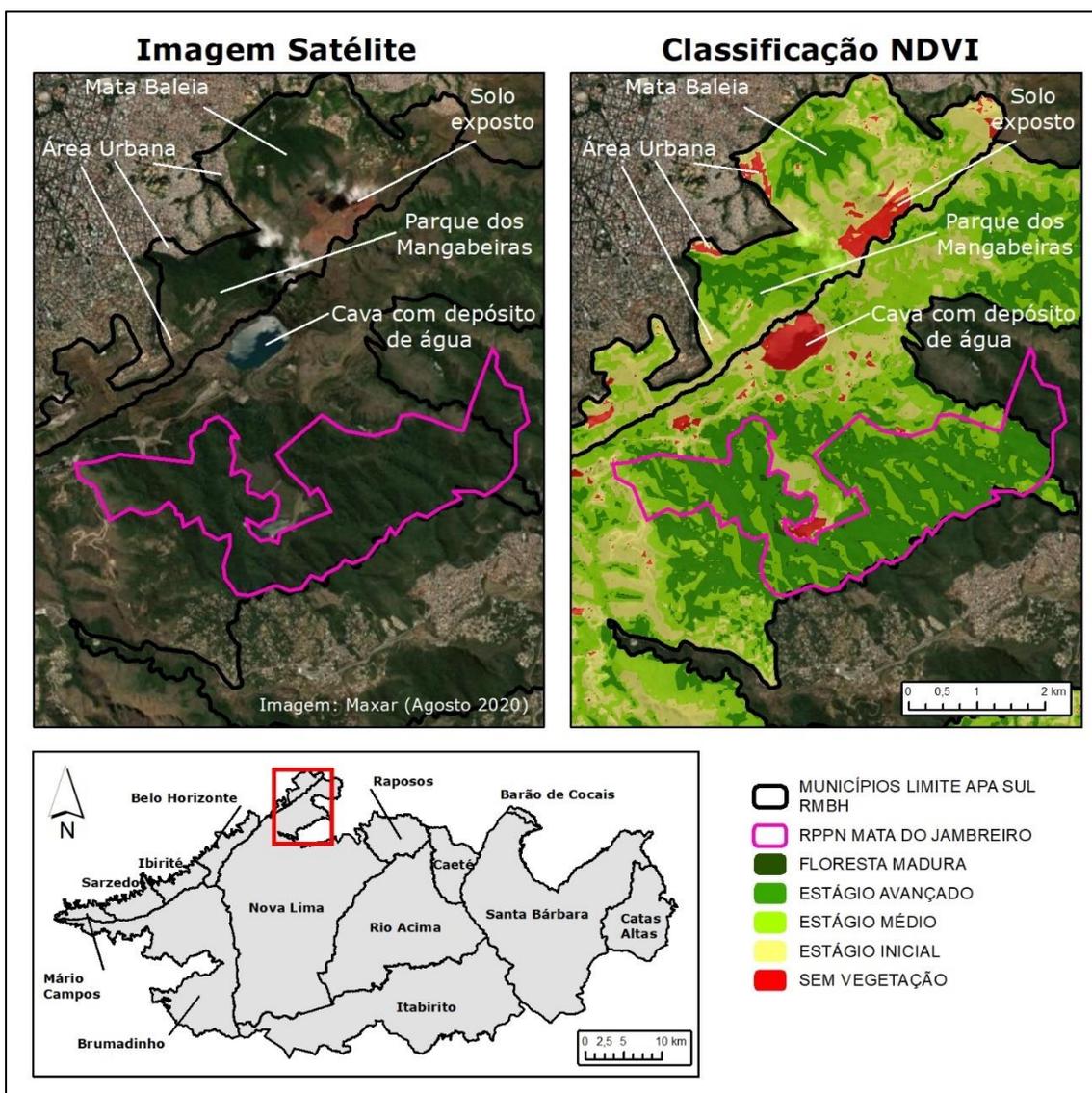
O município de Santa Bárbara foi o que apresentou maiores quantidades das tipologias estágio avançado e floresta madura dentre todos os demais limites, apresentando respectivamente um aumento de 10951,6 e 158,4 ha nas classes vegetais de maior estrutura e desenvolvimento.

Segundo Soares (2013) a paisagem é modificada com o tempo, em função de grandes alterações na dinâmica da paisagem. Acompanhar regiões de alto valor ao meio ambiente é importante para descrição, compreensão e tomadas de decisão futuras frente as alterações nessas áreas de interesse ecológico. Diante disso, o sensoriamento remoto tem papel de destaque, inclusive na análise de remanescentes vegetais presentes nesses locais.

## **5.5 Análise Locais**

A primeira região a ser analisada é ilustrada na Figura 5.7, compreendendo os limites de divisas entre Belo Horizonte e Nova Lima. É observado como o classificador adaptou-se bem a deposição de água proveniente da inativação da cava da Mina de águas Claras em Nova Lima, sendo classificada como área não vegetada. Percebe-se também, através da imagem de satélite que a região de solo exposto se comportou bem, em coloração vermelha.

**Figura 5.7 – Análise Locais 1**



Fonte: O autor.

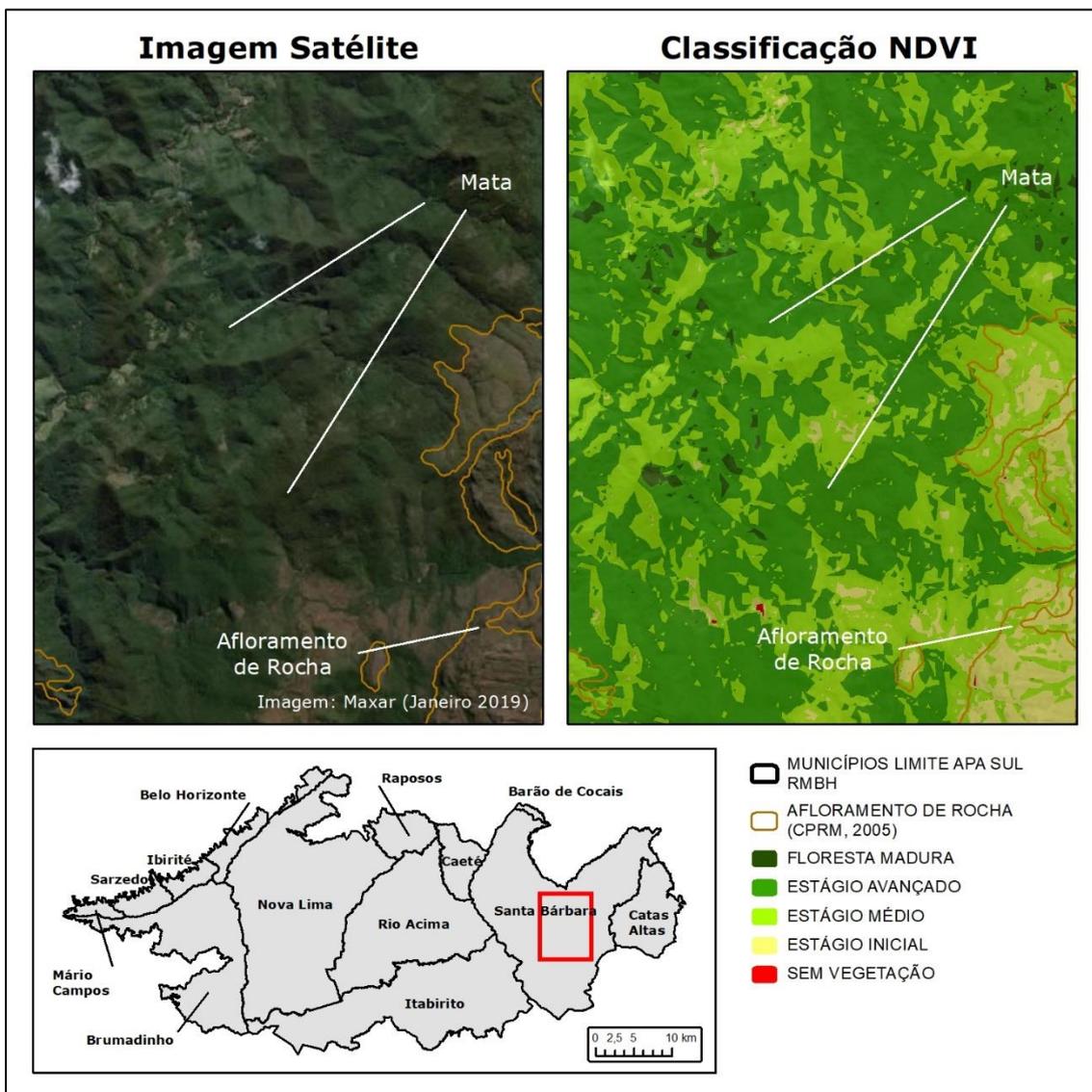
Ao sul da região na Cava, temos a RPPN (Reserva Particular do Patrimônio Natural) da Mata do Jambreiro em limite rosa, localizada em Nova Lima. Através de análise visual, verificamos que seus limites se classificam em dominância nas classes vegetação de estágio médio e estágio avançado, com pequenos fragmentos da tipologia de Floresta Madura na área de proteção.

Nota-se que áreas urbanas apresentaram as classes sem vegetação e estágio inicial. A classificação de estágio inicial para esses aglomerados pode estar associada a resolução de 30m dos sensores do satélite Landsat junto a proximidade de áreas verdes, como o

Parque dos Mangabeiras e a Mata da Baleia, que por estar em limite a essas áreas poderia influenciar no NDVI.

A seguir é apresentado na figura 5.8 a análise local de região central do município de Santa Bárbara.

**Figura 5.8** – Análise Locais 2



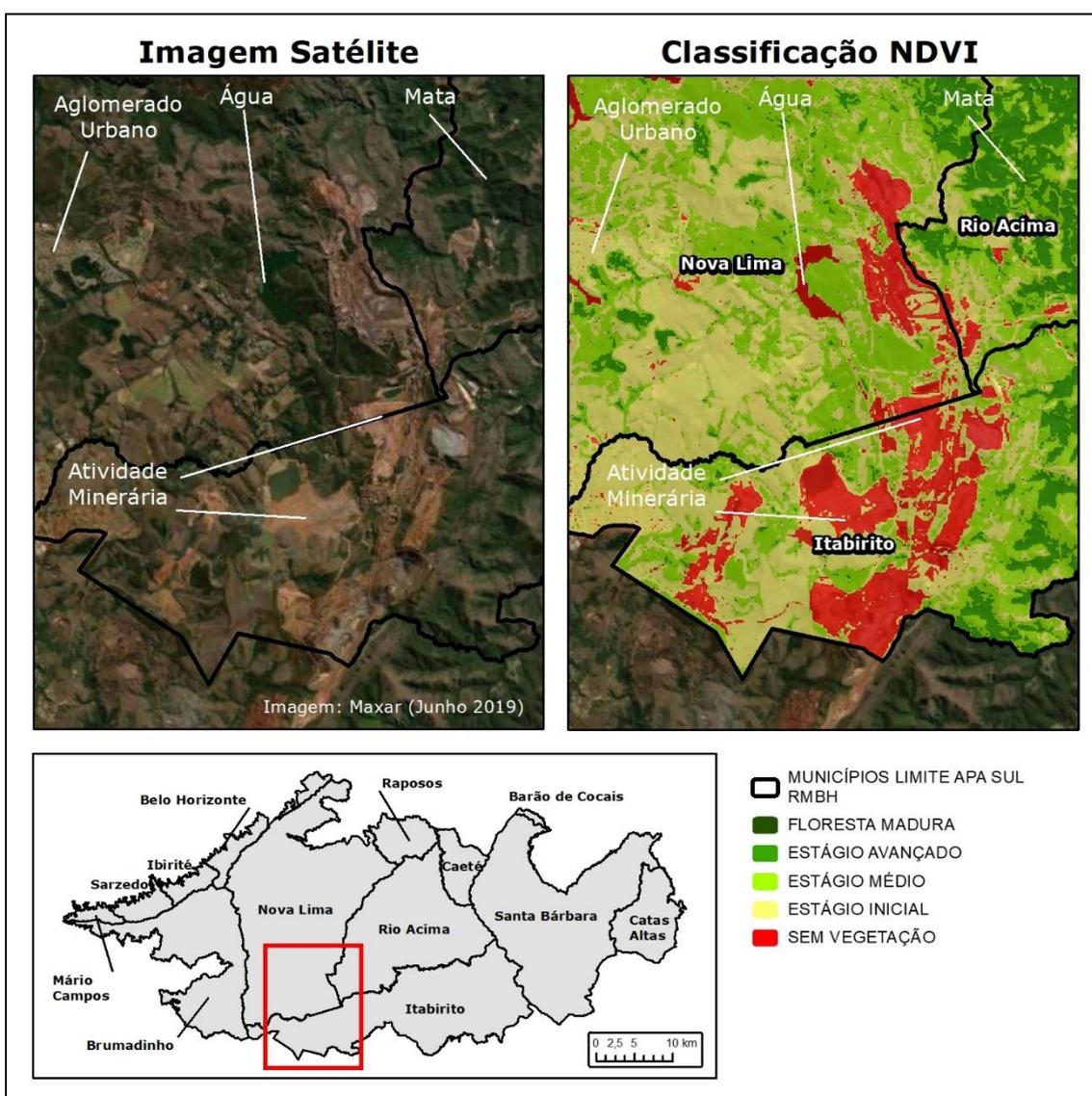
Fonte: O autor.

A área observada em imagem de satélite, mostra uma região de mata mais densa e de tonalidade verde mais forte. O classificador de NDVI gerou um predomínio das classes de estágio avançado e estágio médio, com alguns fragmentos de pixels classificados em Floresta Madura na região.

A leste da imagem, há alguns afloramentos rochosos que podem ser confirmados de acordo com poligonais do estudo levantado por CPRM (2005). Nessas feições a classificação variou entre estágio inicial e estágio médio, mostrando um menor desenvolvimento vegetal nessas regiões.

Em uma das regiões da APA Sul com maior presença da classe sem vegetação (Figura 5.8), presente nas divisas dos municípios de Nova Lima, Rio Acima e Itabirito temos a representação da classe mostrando áreas como água e intensa atividade minerária, conforme observado em imagem de satélite de junho de 2019.

**Figura 5.9 – Análise Local 3**



Fonte: O autor.

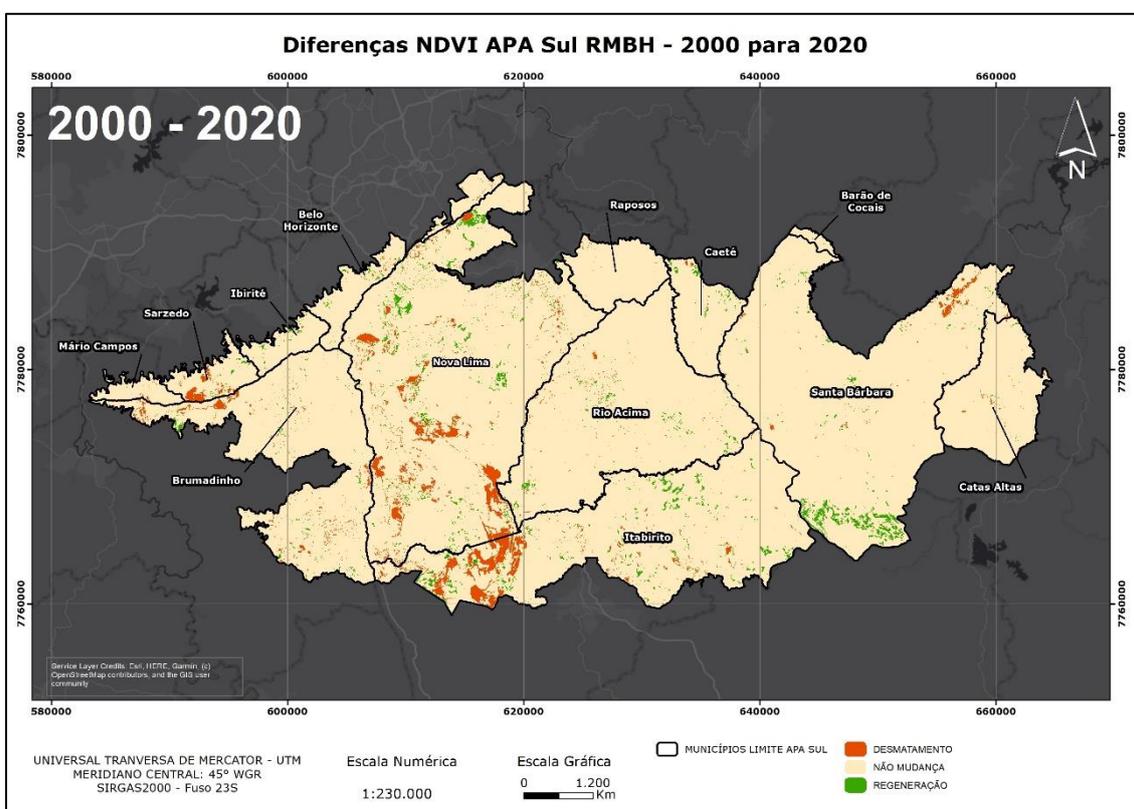
Nessa região também observamos a leste, em Rio Acima alguns fragmentos de mata classificados com predominância do estágio avançado. Enquanto na porção oeste da

figura, em Nova Lima temos um aglomerado urbano classificado em sua maioria em estágio inicial, reforçando a necessidade de melhor refinamento do classificador de NDVI para algumas regiões.

## 5.6 Desmatamento x Regeneração

Uma das maneiras de avaliar a dinâmica da vegetação é tentar estimar áreas onde houve regeneração e desmatamento conforme aplicado por Soares (2013). Segue abaixo o mapa produto dessa metodologia aplicado a APA Sul RMBH (Figura 5.9).

**Figura 5.10** - Mapa Diferenças NDVI de 2000 a 2020 – APA Sul RMBH.



Fonte: O autor

A tabela 5.6 a seguir mostra os resultados quantitativos produzidos por esse método:

**Tabela 5.5** - Desmatamento/ Regeneração APA Sul RMBH – 2000 a 2020

Classe	Area (ha)	
<b>Desmatamento</b>	4677	2,8%
<b>Sem alteração</b>	157347	95,3%
<b>Regeneração</b>	3111	1,9%
<b>Total</b>	165136	100,0%

Fonte: O autor

Segundo a metodologia proposta para avaliar mudanças em uma paisagem, temos um ponto de atenção nas áreas de desmatamento, ocorrendo em 2,8% da área, já áreas em regeneração alcançaram 1,9% da área total, quase que compensando a possível retirada vegetal.

Com 95,3% da área classificada sem alteração em relação a dinâmica vegetal, podemos indicar que a APA Sul RMBH vem sendo eficiente na preservação de suas áreas naturais de acordo com essa avaliação, reforçando a importância da legislação ambiental e dos movimentos de preservação para a manutenção dos patrimônios naturais.

## 6 CONCLUSÕES

A utilização da Plataforma GEE possibilitou a aquisição do NDVI de forma ágil, percorrendo as diversas etapas de processamento, demonstrando seu alto potencial para execução de modelagens ambientais.

O NDVI da APA Sul teve comportamento crescente no período estudado, tendo sua média variando de 0,497 a 0,570, assim como sua mediana de 0,512 a 0,609 sugerindo indiretamente um comportamento de conservação das remanescentes.

O classificador de NDVI utilizado se adequou predominantemente bem, como a classe “sem vegetação”, orientada em áreas de solo exposto, mineração e corpos hídricos. Em relação a vegetação, as classes de estágio médio e avançado foram representadas predominantemente por regiões de mata adensada.

Ao verificar a média, mediana e desvio padrão do índice de vegetação dos municípios integrantes da área de estudo, foi possível observar o comportamento indireto do uso do solo nessas regiões da APA. Em função de sua grande extensão, a análise discretizada por municípios ajuda a entender a dinâmica das tipologias em cada região.

Em análise por delimitação dos municípios, Itabirito apresentou o maior aumento de áreas não vegetadas na APA, quase dobrando essa classe nos 20 anos. Já o município de Santa Bárbara foi o que apresentou maior desenvolvimento das tipologias de estágio avançado e floresta madura dentre todos os outros municípios.

Ao quantificar as classes no período de 20 anos, houve um aumento progressivo da classe de estágio avançado e redução de estágio inicial, indicando um aumento do desenvolvimento vegetal. As áreas sem vegetação na APA como um todo, aumentaram pouco na faixa de 20 anos, porém há regiões que merecem atenção, como Itabirito, que dobrou essa classe nas duas décadas.

Ao realizar a diferença do NDVI na APA Sul percebeu-se que houve mais de 95% de áreas sem alteração no período entre 2000 a 2020, indicando uma possível eficiência da Área de Proteção na conservação de suas áreas naturais.

A utilização do NDVI, junto a sua classificação orientou positivamente na análise do comportamento têmporo-espacial das remanescentes na APA Sul.

## **7 PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS**

Os dados levantados preliminarmente nesse estudo podem servir de alicerce para futuros estudos nessa região em relação a uso e ocupação do solo.

A classificação poderia ser refinada mediante coleta de amostras dos objetos de uso do solo junto a utilização de imagens de melhor resolução espectral para aumentar a precisão e detalhamento dos dados.

Visitas em campo na APA SUL também poderiam ajudar a validar a tipologia vegetal com menos erros de classificação junto ao NDVI.

A utilização de outros índices pode permitir refinamentos e outras análises em relação à vegetação, como cálculo de biomassa, evapotranspiração, assim como correlações com outras variáveis ambientais.

## 8 REFERÊNCIAS

AMIRI F., RAHDARI V., NAJAFABADI S. M., PRADHAN B., TABA-TABAEI T. Multitemporal Landsat images based on eco-environmental change analysis in and around Chah Nimeh reservoir, Balochestan. **Environment Earth Sci.** Iran, 2014.

BECKER, W. R.; CAON, I. L.; CATTANI, C. E. V.; Erivelto Mercante et al. Mediana e desvio padrão do perfil espectro-temporal de NDVI como parâmetros de classificação. In: anais do XIX simpósio brasileiro de sensoriamento remoto, 2019, Santos. **Anais eletrônicos.** São José dos Campos, INPE, 2019.

BECKER, W. R.; CARVALHO, L. E.; JOHANN, J. A.; SILVA, L. C. A.; PALUDO, A.; RICHETTI, J.; RAMBO, E. M. Google Earth Engine como instrumento de classificação uso e cobertura do solo no município de Cascavel, Paraná, Brasil. **Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. São José dos Campos: INPE.** 2019.

CAVALCANTE, J. C.; ALMEIDA, C. A.; BANDEIRA C. T. Análise de NDVI e Temperatura da Superfície Terrestre utilizando a Plataforma do Google Earth Engine em Área de Savana Amazônica e Floresta Secundária, no Município de Vigia – Pa. **Revista De Geociências Do Nordeste,** 2020.

CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Projeto APA Sul RMBH: **estudos do meio físico, pedologia.** Belo Horizonte: CPRM/EMBRAPA/SEMAD, 53p , 2005.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 2021. Disponível em <<https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento/missoes/landsat>>. Acesso: 27 de fev. de 2021.

FLORENZANO, T. G. Imagens de Satélite para estudos ambientais. São Paulo: **Oficina de textos,** 2002.

FLORENZANO, T. G. Iniciação em sensoriamento remoto. 3.ed. São Paulo: **Oficina de Textos,** 2011.

GANEM, K. A. **Classificação da cobertura do solo na Caatinga a partir de imagens do Landsat-8 e da ferramenta Google Earth Engine: uma comparação entre dados com e sem correção atmosférica.** 202 f., Dissertação (Mestrado em Geociências Aplicadas). Universidade de Brasília, Brasília, 2017.

GAOLONG Z.; WEIMIN J.; CHEN J. M.; YIBO, L. A Novel Moisture Adjusted Vegetation Index (MAVI) to Reduce Background Reflectance and Topographical Effects on LAI Retrieval. **University of New England, Australia,** 2014.

GONÇALVES, L. L. **Influência da Umidade do Solo na Resposta espectral do Solo Exposto Via Espectrorradiometria de Campo;** 1999; 121 f; Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Brasília, Brasília. 1999.

GORELICK, N.; HANCHER, M.; DIXON, M.; ILYUSHCHENKO, S.; THAU, D.; MOORE, R. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. **Remote Sensing of Environment,** v. 202, p. 18–27, 2017.

HENEGBRY, Geoffrey M. DE BEURS, Kirsten M.; Spatio-temporal statistical methods for modelling land surface phenology. In: **Phenological research**. Springer, Dordrecht, 2010. p. 177-208.

IEF. Instituto Estadual de Florestas. APA SUL RMBH. **Portal Meio Ambiente**, MG, 2020. Disponível em: < <http://www.ief.mg.gov.br/areas-protegidas/apa-sul-rmbh>> Acesso em: 22 de abr. de 2021.

INPE. Instituto Nacional De Pesquisas Espaciais. **Landsat**. Disponível em: "<http://www.dgi.inpe.br/documentacao/satelites/landsat>". Acesso em: 25 fev. 2021.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos: Editora Parenteses, 2011.

MALLMANN, C. L.; PRADO, D. A.; PEREIRA FILHO, W. Índice de vegetação por diferença normalizada para caracterização da dinâmica florestal no parque estadual Quarta Colônia, estado do Rio Grande do Sul - Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, n. 5, p.1454-1469, dez. 2015.

MENESES, A. R. et al. Introdução ao Processamento de Imagens e Sensoriamento Remoto. **Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico**. Brasília, 2012.

MENESES, P. R.; DE ALMEIDA, T.; BAPTISTA, G. M. M. **Reflectância dos materiais terrestres**. Oficina de Textos, 2019.

MINAS GERAIS. Lei n. 13.960, de 26 de julho de 2001. Dispõe sobre a criação da Área de Proteção Ambiental Sul da Região Metropolitana de Belo Horizonte – APA Sul RMBH. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Belo Horizonte, 2001.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Cadastro Nacional de UCs – Glossário**. 2019. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/areas-protegidas/cadastro-nacional-de-ucs/glossario.html>>. Acesso em: 12 de mai. 2019.

MONTE MÓR, R. L. M.; COSTA, H. S. M. ; COSTA, G. M. ; FARIA, D. M. C. P. ; SANTOS, F. B. T. ; VELLOSO, R. C. ; TONUCCI FILHO, J. B. M. ; FERRARI, J. ; PINHEIRO, J. M. ; MELO, M. G. P. ; ZSCHABER, R. Produto 3 - **Avaliação dos Marcos Normativos e Projetos Estruturantes Federais, Estaduais e Municipais Referentes ao Ordenamento Territorial da RMBH**. 2014.

NOVAS, M. F. B.; CRUZ, P. P. N.; SILVA, R.; DI PACE, F. T. Análise da Variação dos índices de Vegetação Estimados por Sensoriamento Remoto em Dois Períodos ao Sul da Bacia do Rio Traipu-AL. II **Simpósio Brasileiro de Ciências e Tecnologia da Geoinformação**, Recife, 2008.

PEREIRA E. O.; RUCHKYS, U. A. **Quantificação e análise da geodiversidade aplicada ao geoturismo na área de proteção ambiental sul da região metropolitana de Belo Horizonte, Minas Gerais**. Ra'e Ga, Curitiba, v.37, p.207 - 226, 2016.

PONZONI, F. J. **Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação: Diagnosticando a Mata Atlântica**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE. São José dos Campos, 2002.

RIBEIRO, G. A.; SILVA, J. N. C., SILVA, J. B. Adjusted Vegetation Index to Solo (SAVI): state of the art and its potential. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v.9, 2016.

ROUSE, J.W; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: **Proceedings of the third erts symposium**, SP-351 Goddard Space Flight Center, Washington: NASA, 1973.

SANTOS, A. R. et al. Sensoriamento Remoto no ArcGis 10.2.2 passo a passo: **Processamento de Imagens Orbitais–Volume 1**. Alegre. 107 p., 2014.

SANTOS. 2019. O Semiárido Brasileiro e suas Especificidades. Data: 5-Ago-2019. Livro digital. Atena Editora Ponta Grossa, PR, 2019.

SCHMID, J. N. **Using Google Earth Engine for Landsat NDVI time series analysis to indicate the present status of forest stands**. Georgia August-Universität Göttinge. Basel, Suíça. 2017.

SISEMA. Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Belo Horizonte: **IDE-SISEMA**, 2021.

SOARES, G. R. **Análise temporal da cobertura vegetal do Parque Nacional Da Serra Do Cipó (MG) utilizando a técnica de NDVI**. Belo Horizonte, Dez. Vol.13, nº13, 2013.

SOLANO, R.; DIDAN, K.; JACOBSON, A.; HUETE, A. MODIS Vegetation Index User's Guide (MOD13 Series) Version 2.0, Vegetation Index and Phenology Lab., **Universidade do Arizona**, 2010.

SPÓSITO, T. C.; STEHMANN, J. R. Heterogeneidade florística e estrutural de remanescentes florestais da Área de Proteção Ambiental ao Sul da Região Metropolitana de Belo Horizonte (APA Sul-RMBH), Minas Gerais, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, 2006.

USGS. United States Geological Survey. **Landsat Collection 1 Level-1 Quality Assessment Band**. Disponível em: <[https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/landsat-collection-1-level-1-quality-assessment-band?qt-science\\_support\\_page\\_related\\_con=0#qt-science\\_support\\_page\\_related\\_con](https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/landsat-collection-1-level-1-quality-assessment-band?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con)>. Acesso em: 22 de fev. de 2021.

USGS. United States Geological Survey. **Using the USGS Landsat 8 Product. 2013**. Disponível em: <[http://landsat.usgs.gov/Landsat8\\_Using\\_Product.php](http://landsat.usgs.gov/Landsat8_Using_Product.php)>. Acesso em: 08 de abr. 2019.

## APÊNDICES

### APÊNDICE 1 - SCRIPT PROCESSAMENTO E EXPORTAÇÃO DE NDVI – GOOGLE EARTH ENGINE

```
//Centraliza o mapa na coordenada especificada
Map.setCenter(-43.84497, -20.0, 11);

//1. SATÉLITES E IMAGENS UTILIZADOS
var L7 = ee.ImageCollection('LANDSAT/LE07/C01/T1_TOA') //Coleção de
Imagens Landsat 7
print("O número Total de imagens L7 no ACERVO é:",(L7.size())) //Número de
imagens da coleção Landsat 7
var L8 = ee.ImageCollection('LANDSAT/LC08/C01/T1_TOA') //Coleção de
Imagens Landsat 8
print("O número Total de imagens L8 no ACERVO é:",(L8.size())) //Número de
imagens da coleção Landsat 8

//CORREÇÃO DE NUVENS
//Aplica Máscara de nuvens para otimizar o terreno limpo
var CloudMask7 = function(img){
  return img.updateMask(img.select('BQA').eq(672))}
L7 = L7.map(CloudMask7)
var CloudMask8 = function(img){
  return img.updateMask(img.select('BQA').eq(2720))}
L8 = L8.map(CloudMask8)

//2. DELIMITAÇÃO DE FILTROS
L7 = L7.filterBounds(APASul)
L7 = L7.filterDate('2000-01-01','2000-12-31') //Filtro pela data definida
var imgMediana_L7 = L7.median() //Retorna a Mediana do conjunto de imagens
Landsat 7
imgMediana_L7 = imgMediana_L7.clip(APASul) //Clip da imagem pela APA Sul
Map.addLayer(imgMediana_L7, {}, 'Mediana Landsat7')
L8 = L8.filterBounds(APASul)
L8 = L8.filterDate('2020-01-01','2020-12-31') //Filtro pela data definida
```

```

var imgMediana_L8 = L8.median()           //Retorna a Mediana do conjunto de imagens
Landsat 8

imgMediana_L8 = imgMediana_L8.clip(APASul) //Clip da imagem pela APA Sul
Map.addLayer(imgMediana_L8, {}, 'Mediana Landsat8')

// CÁLCULO DE NDVI
var NDVI_L8 = imgMediana_L8.expression('(a-b)/(b+a)', {
  'b': imgMediana_L8.select('B4'),
  'a': imgMediana_L8.select('B5')})
NDVI_L8 = NDVI_L8.clip(APASul)
Map.addLayer(NDVI_L8, {}, 'NDVI L8')
var NDVI_L7 = imgMediana_L7.expression('(a-b)/(b+a)', {
  'b': imgMediana_L7.select('B3'),
  'a': imgMediana_L7.select('B4')})
NDVI_L7 = NDVI_L7.clip(APASul)
Map.addLayer(NDVI_L7, {}, "NDVI L7");

// EXPORTAÇÃO DO NDVI
Export.image.toDrive({                       //Exporta a imagem para o Google Drive
  image: NDVI_L7,
  description: 'NDVI_L7_2000',
  scale: 30,
  region: APASul,
  maxPixels: 1e13
})
Export.image.toDrive({                       //Exporta a imagem para o Google Drive
  image: NDVI_L8,
  description: 'NDVI_L8_2020',
  scale: 30,
  region: APASul,
  maxPixels: 1e13
})

```