



INSTITUTO FEDERAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE PERNAMBUCO

Campus Recife

Departamento de Ambiente, Saúde e Segurança

Tecnologia em Gestão Ambiental

ERIC BEM DOS SANTOS

**ANÁLISE ESPECTRAL DA MATA ATLÂNTICA POR MEIO DE ESTUDO  
FITOGEOGRÁFICO DOS ECOSISTEMAS DE FLORESTA OMBRÓFILA DENSA,  
MANGUE E RESTINGA NA ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DE  
GUADALUPE, PERNAMBUCO - BR**

Recife

2020

ERIC BEM DOS SANTOS

**ANÁLISE ESPECTRAL DA MATA ATLÂNTICA POR MEIO DE ESTUDO  
FITOGEOGRÁFICO DOS ECOSISTEMAS DE FLORESTA OMBRÓFILA DENSA,  
MANGUE E RESTINGA NA ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DE  
GUADALUPE, PERNAMBUCO - BR**

Monografia apresentada como requisito final do Trabalho de Conclusão do Curso Superior de Tecnologia em Gestão Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco, para obtenção do título de Tecnólogo em Gestão Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Hernande Pereira da Silva

Recife

2020

S237a Santos, Eric Bem dos.

2020 Análise Espectral da Mata Atlântica por meio de Estudo Fitogeográfico dos Ecossistemas de Floresta Ombrófila Densa, Mangue e Restinga na Área de Proteção Ambiental de Guadalupe, Pernambuco - BR / Eric Bem dos Santos. – Recife: O Autor, 2020.

107f. il. Color.

TCC (Curso Superior Tecnológico em Gestão Ambiental) – Instituto Federal de Pernambuco, Departamento de Ambiente, Saúde e Segurança - DASS, 2020.

Inclui Referências e Apêndices

Orientador: Prof. Dr. Hernande Pereira da Silva

1. Gray Levels. 2. Remote Sensing. 3. Pixel reading. 4. Vegetation Index I. Título. II. Silva, Hernande Pereira da (orientador). III. Instituto Federal de Pernambuco.

CDD 577.4

**ANÁLISE ESPECTRAL DA MATA ATLÂNTICA POR MEIO DE ESTUDO  
FITOGEOGRÁFICO DOS ECOSSISTEMAS DE FLORESTA OMBRÓFILA DENSA,  
MANGUE E RESTINGA NA ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DE  
GUADALUPE, PERNAMBUCO – BR**

Trabalho aprovado. Recife, 29 / 12 / 2020.

---

Prof. Dr. Hernande Pereira da Silva (Orientador)

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE)

---

Prof. Dr. José Severino Bento (Avaliador Interno)

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE)

---

MSc. Rayanna Barroso de Oliveira Alves (Avaliadora Externa)

Instituto para Redução de Riscos e Desastres de Pernambuco (IRR-D-PE/UFRPE)

Recife

2020

Dedico este Trabalho de Conclusão de Curso a Deus, Pai Todo Poderoso - criador do céu e da terra - e a Jesus Cristo, seu filho e Nosso Senhor, concebido pelo poder do Espírito Santo.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço fundamentalmente a Deus pela proteção, pelas lições e pelos dons que me concedeu nesta existência e foram de grande importância na realização deste Trabalho de Conclusão de Curso.

Agradeço também aos meus pais, Davison Vera Cruz dos Santos e Maria Elisangela Bem dos Santos, por serem exemplos de pessoas batalhadoras e honestas e também por sempre me incentivarem e acreditarem que eu seria capaz de superar os obstáculos que a vida me apresentou, sendo eles os pilares de minha formação humana.

Venho por meio desta também agradecer especialmente a minha avó Nilceia Gomes Vera Cruz, por sempre cuidar de mim, dedicando amor e carinho da forma mais pura e sincera. Inegavelmente uma mulher extraordinariamente especial em sua essência. Uma segunda mãe que Deus colocou em minha vida.

De mesmo modo, agradeço a minha irmã Maria Cecília Bem dos Santos, por todo carinho, paciência e amor.

Sou enormemente grato a minha tia Edjane Barbosa Bem pelas suas lições, exemplos e companheirismo. Sem dúvida um exemplo como pessoa e profissional. Analogamente agradeço ao admirável Júlio Freire.

Sou também extremamente grato aos meus avós Adilson Pereira dos Santos, Maria José Barbosa Bem e Antônio Albuquerque Bem, pessoas grandiosas em essência.

A meu amigo Mylton Pontes, o irmão que ganhei como presente de Deus, agradeço enormemente. Mylton Pontes é uma grande fonte de inspiração e talento, um verdadeiro exemplo de nobreza, honestidade, amizade e companheirismo. Um exemplo de amigo e irmão.

Agradeço a minha amada companheira Eurídice Eurico de Oliveira, por todo carinho, paciência e dedicação. Inegavelmente uma pessoa especial, dotada de talento e amor grandiosos, que Deus colocou em meu caminho.

Agradeço a meu orientador, Prof. Dr. Hernande Pereira da Silva, não apenas por sempre estar presente para indicar a direção correta nas questões profissionais e científicas mas também por ser um grande companheiro que me acolhe e ajuda nas horas necessárias. Hernande Pereira da Silva não é apenas um exemplo de grande profissional, mas é também um exemplo de pessoa honesta, dedicada e respeitosa.

Sou também extremamente grato a Prof(a). Dra. Eugenia de Paula Benicio Cordeiro, uma pessoa de espírito virtuoso e avançado. Muito mais que uma professora e orientadora na monitoria, Eugenia de Paula Benicio Cordeiro, é uma pessoa que transmite paz, proteção e conhecimento a todos em seu âmbito.

Agradeço ao Prof. Dr. Jones Oliveira de Albuquerque pelo apoio na pesquisa e confiança profissional depositada em mim. Jones Oliveira de Albuquerque é um profissional extremamente dedicado, um exemplo de cientista e pesquisador.

Agradeço à Divisão de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco, Campus Recife, e seus funcionários, em especial a Márcio José da Silva por seu profissionalismo e extrema dedicação na administração dos Projetos de Pesquisa e concessão de bolsas.

Venho também agradecer ao Núcleo de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto da Universidade Federal Rural de Pernambuco pela acolhida profissional e grande fonte de aprendizado. De mesmo modo, agradeço a Rayanna Barroso e Luiz Carlos pelos trabalhos prestados e pelo grande companheirismo profissional.

Agradeço à Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) pelo apoio material e financeiro no desenvolvimento da presente pesquisa.

Por último, mas não menos importante, quero agradecer ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco, sobretudo ao Curso de Tecnologia em Gestão Ambiental e todo o seu corpo docente. De mesmo modo agradeço à coordenadora Renata Maria Caminha.

*“O mundo mudou. Eu sinto isso na água. Eu sinto isso na terra. Eu farejo isso no ar.  
Muito do que existiu já se perdeu, pois não há mais ninguém vivo que se lembre.”*

*Galadriel* - Senhora da Floresta Dourada de Lothlórien (O Senhor dos Anéis: A Sociedade do Anel, 2001)



## RESUMO

A criação da APA de Guadalupe teve o objetivo proteger os ecossistemas naturais e promover o desenvolvimento sustentável. Todavia, mesmo com a Decreto Estadual formalizando esses objetivos os ecossistemas do Bioma Mata Atlântica presentes no local sofreram sérios danos pelas ações antrópicas. Para estudo desses ecossistemas a fitogeografia foi um excelente canal de conexão entre as geotecnologias e em especial à análise espectral, possibilitando estudar a localização e o tipo de vegetação na extensão da Unidade de Conservação. Nessa perspectiva, o trabalho utilizou o Estudo Fitogeográfico e a Leitura de Pixel para construir mapas, gráficos e tabelas que poderão ser ferramentas para manejo e conservação da APA de Guadalupe e de outras unidades de conservação, no presente e futuro. Os resultados do Estudo Fitogeográfico mostraram que a Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas possui 2.927ha de área, o Mangue 2.134ha e a Restinga 1.259ha, que corresponde na área total preservada, em termos percentuais a 46%, 34% e 20% - respectivamente. No entanto essa área preservada corresponde apenas a aproximadamente 14% da extensão da APA e a área antropizada infelizmente já representa 86%, ocupando 38.399ha. Os resultados da Análise Espectral permitiram indicar que na identificação da Floresta Ombrófila Densa a melhor combinação específica é a Penetração Atmosférica (PA) em seu Pixel (PI)  $\alpha$ . O Mangue por sua vez pode ser melhor identificado no Infravermelho de Vegetação (IVV) - Variando de 150 a 220 Níveis de Cinza (NC) - no PI  $\alpha$  e também nos PI  $\beta$  e PI  $\gamma$  variando em valores muito próximos aos 50NC. No que se refere a restinga estima-se que a mesma possa ser identificada de forma precisa em *Agriculture* (AG), sobretudo no PI  $\gamma$ , e também em *Enhanced Vegetation Index* (EVI) e *Normalized Difference Water Index* (NDWI), em todos seus Pixels. Os principais agentes degradativos dos ecossistemas naturais são o avanço da cultura canavieira e a expansão imobiliária mostrando-se de extrema necessidade políticas públicas que estudem e monitorem as áreas ainda preservadas.

Palavras-chave: Gray Levels. Remote Sensing. Pixel reading. Vegetation Index.

## ABSTRACT

The creation of the Guadeloupe EPA aimed to protect natural ecosystems and promote sustainable development. However, even with the State Decree formalizing these objectives, the ecosystems of the Atlantic Forest Biome present on site suffered serious data by anthropic actions. For the study of these ecosystems, phytogeography was an excellent channel of connection between geotechnologies and especially spectral analysis, allowing to study the location and type of vegetation in the extension of the Conservation Unit. From this perspective, the work used the Phytogeographic Study and Pixel Reading to construct maps, graphs and tables that may be tools for the management and conservation of the Guadeloupe APA and other conservation units, in the present and future. The results of the Phytogeographic Study showed that the Dense Earthland Anthropophilous Forest has 2,927ha of area, Mangrove 2,134ha and Restinga 1,259ha, which corresponds in the total preserved area, in percentage terms to 46%, 34% and 20% - respectively. However, this preserved area corresponds only to approximately 14% of the length of the APA and the anthropic area unfortunately already represents 86%, occupying 38,399ha. The results of the Spectral Analysis allowed to indicate that in the identification of the Dense Ombrófila Forest the best specific combination is Atmospheric Penetration (PA) in its Pixel (PI)  $\alpha$ . Mangue in turn can be better identified in the Vegetation Infra-red (IVV) - Ranging from 150 to 220 NC - in the pi  $\alpha$  and also in pi  $\beta$  and PI  $\gamma$  varying in values very close to 50NC. Regarding restinga it is estimated that it can be identified accurately in GA, especially in pi  $\gamma$ , and also in Normalized Difference Water Index (EVI) and Normalized Difference Water Index (NDWI), in all its Pixels. The main degrading agents of natural ecosystems are the advancement of sugarcane culture and the expansion of real estate, showing an extreme need for public policies that study and monitor the areas still preserved.

Keywords: Phytogeography. Remote Sensing. Pixel reading. Mangrove. Restinga. Dense Ombrophilous Forest.

## LISTA DE FIGURAS

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Figura 1 - Mapa dos Principais Biomas Brasileiros segundo o IBGE .....</b>  | <b>22</b> |
| <b>Figura 2 - Áreas de Floresta Ombrófila de Terras Baixas na Reserva Biológica de Saltinho .....</b>  | <b>25</b> |
| <b>Figura 3 - Áreas de Mangue da Área de Proteção Ambiental de Guadalupe .....</b>   | <b>26</b> |
| <b>Figura 4 - Área de Restinga da Área de Proteção Ambiental de Guadalupe.....</b>   | <b>27</b> |
| <b>Figura 5 - Sensoriamento Remoto e seus elementos fundamentais: a fonte de radiação eletromagnética, a atmosfera, o alvo e o sensor. ....</b>          | <b>30</b> |
| <b>Figura 6 - Radiação Eletromagnética (REM). ....</b>   | <b>31</b> |
| <b>Figura 7 - Corte transversal de uma folha.....</b>  | <b>35</b> |
| <b>Figura 8 - Fluxograma da metodologia utilizada e dos processos realizados...40</b>  |           |
| <b>Figura 9 - Mapa de Localização da Área de Proteção Ambiental de Guadalupe, Pernambuco – BR .....</b>  | <b>42</b> |
| <b>Figura 10 - Espectro Visível RGB.....</b>   | <b>46</b> |
| <b>Figura 11 – Composição colorida (RGB) das imagens utilizadas para os anos de 1984, 1990, 1992, 2001, 2006, 2011 e 2016 na análise espectral.....</b>  | <b>47</b> |
| <b>Figura 12 - Imagens de composição falsa cor (IVV) utilizadas para os anos de 1984, 1990, 1992, 2001, 2006, 2011 e 2016 na análise espectral.....</b>  | <b>48</b> |
| <b>Figura 13 – Índice de vegetação (NDVI) das imagens utilizadas para os anos de 1984, 1990, 1992, 2001, 2006, 2011 e 2016 na análise espectral.....</b> | <b>50</b> |
| <b>Figura 14 - Índice de vegetação (SAVI) das imagens utilizadas para os anos de 1984, 1990, 1992, 2001, 2006, 2011 e 2016 na análise espectral.....</b> | <b>51</b> |
| <b>Figura 15 - Índice de vegetação (EVI) das imagens utilizadas para os anos de 1984, 1990, 1992, 2001, 2006, 2011 e 2016 na análise espectral.....</b>  | <b>53</b> |
| <b>Figura 16 - Índice de vegetação (NDWI) das imagens utilizadas para os anos de 1984, 1990, 1992, 2001, 2006, 2011 e 2016 na análise espectral.....</b> | <b>54</b> |
| <b>Figura 17 - Imagens de composição falsa cor (PA) utilizadas para os anos de 1984, 1990, 1992, 2001, 2006, 2011 e 2016 na análise espectral.....</b>   | <b>56</b> |
| <b>Figura 18 - Índice de vegetação (PI) das imagens utilizadas para os anos de 1984, 1990, 1992, 2001, 2006, 2011 e 2016 na análise espectral.....</b>   | <b>57</b> |
| <b>Figura 19 - Imagens de composição falsa cor (GA) utilizadas para os anos de 1984, 1990, 1992, 2001, 2006, 2011 e 2016 na análise espectral.....</b>   | <b>59</b> |
| <b>Figura 20 -Processos e Erros na Leitura de Pixel. ....</b>  | <b>61</b> |
| <b>Figura 21 - Principais Ecossistemas Vetorizados na APA de Guadalupe, Pernambuco – BR (2019) .....</b>   | <b>64</b> |
| <b>Figura 22 – Áreas de Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas (Lat - 8.7235242 S / Long -35.1807206 W).....</b>                                      | <b>65</b> |
| <b>Figura 23 - Áreas de Mangue ( Lat -8.727534 S / Long -35.097883 W) .....</b>  | <b>66</b> |
| <b>Figura 24 - Áreas de Restinga (Lat -8.744657 S / Long -35.094113 W).....</b>  | <b>67</b> |
| <b>Figura 25- Área e Percentual dos Ecossistemas de Mata Atlântica na APA de Guadalupe.....</b>  | <b>68</b> |
| <b>Figura 26 - Área dos Ecossistemas de Mata Atlântica em Relação a Área Antropizada na APA de Guadalupe .....</b>                                       | <b>69</b> |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Figura 27 - Percentual de Mata Atlântica em Relação a Área Antropizada na APA de Guadalupe .....</b> | <b>70</b> |
| <b>Figura 28 - Percentual dos Ecossistemas em Relação a Área Antropizada na APA de Guadalupe .....</b>  | <b>70</b> |
| <b>Figura 29 - Métricas do Efeito de Borda de 50m em Floresta Ombrófila Densa - 2019 .....</b>          | <b>71</b> |
| <b>Figura 30 - Métricas do Efeito de Borda de 100m em Floresta Ombrófila Densa - 2019 .....</b>         | <b>72</b> |

## **LISTA DE TABELAS**

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Tabela 1 - Às três principais funcionalidades das folhas.....</b>                          | <b>34</b> |
| <b>Tabela 2 - Principais características e aplicações das bandas do satélite Landsat.....</b> | <b>37</b> |
| <b>Tabela 3 - Características dos sensores dos satélites da série Landsat .....</b>           | <b>38</b> |
| <b>Tabela 4 - Padrões utilizados na análise espectral por Leitura de Pixel .....</b>          | <b>60</b> |

## LISTA DE GRÁFICOS

|   |    |
|---|----|
| Gráfico 1 - Análise espectral da Floresta Ombrófila de Terras Baixas nas imagens RGB em níveis de cinza (NC).....   | 73 |
| Gráfico 2 - Análise espectral da Restinga nas imagens RGB em níveis de cinza (NC).....                              | 74 |
| Gráfico 3 - Análise espectral do Mangue nas imagens RGB em níveis de cinza (NC).....                                | 74 |
| Gráfico 4 - Análise espectral da Floresta Ombrófila de Terras Baixas nas imagens IVV em níveis de cinza (NC).....   | 75 |
| Gráfico 5 - Análise espectral da Restinga nas imagens IVV em níveis de cinza (NC).....                              | 75 |
| Gráfico 6 - Análise espectral do Mangue nas imagens IVV em níveis de cinza (NC).....                                | 75 |
| Gráfico 7 - Análise espectral da Floresta Ombrófila de Terras Baixas nas imagens NDVI em níveis de cinza (NC).....  | 76 |
| Gráfico 8 - Análise espectral da Restinga nas imagens NDVI em níveis de cinza (NC).....                             | 76 |
| Gráfico 9 - Análise espectral do Mangue nas imagens NDVI em níveis de cinza (NC).....                               | 77 |
| Gráfico 10 - Análise espectral da Floresta Ombrófila de Terras Baixas nas imagens SAVI em níveis de cinza (NC)..... | 77 |
| Gráfico 11 - Análise espectral da Restinga nas imagens SAVI em níveis de cinza (NC).....                            | 78 |
| Gráfico 12 - Análise espectral do Mangue nas imagens SAVI em níveis de cinza (NC).....                              | 78 |
| Gráfico 13 - Análise espectral da Floresta Ombrófila de Terras Baixas nas imagens EVI em níveis de cinza (NC).....  | 79 |
| Gráfico 14 - Análise espectral da Restinga nas imagens EVI em níveis de cinza (NC).....                             | 79 |
| Gráfico 15 - Análise espectral do Mangue nas imagens EVI em níveis de cinza (NC).....                               | 79 |
| Gráfico 16 - Análise espectral da Floresta Ombrófila de Terras Baixas nas imagens NDWI em níveis de cinza (NC)..... | 80 |
| Gráfico 17 - Análise espectral da Restinga nas imagens NDWI.....  | 80 |
| Gráfico 18 - Análise espectral do Mangue nas imagens NDWI em níveis de cinza (NC).....                              | 81 |
| Gráfico 19 - Análise espectral da Floresta Ombrófila de Terras Baixas nas imagens PA em níveis de cinza (NC).....   | 81 |
| Gráfico 20 - Análise espectral da Restinga nas imagens PA em níveis de cinza (NC).....                              | 82 |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Gráfico 21 - Análise espectral do Mangue nas imagens PA em níveis de cinza (NC).....</b>                               | <b>82</b> |
| <b>Gráfico 22 - Análise espectral da Floresta Ombrófila de Terras Baixas nas imagens PI em níveis de cinza (NC) .....</b> | <b>83</b> |
| <b>Gráfico 23 - Análise espectral da Restinga nas imagens PI em níveis de cinza (NC).....</b>                             | <b>83</b> |
| <b>Gráfico 24 - Análise espectral do Mangue nas imagens PI em níveis de cinza (NC).....</b>                               | <b>84</b> |
| <b>Gráfico 25 - Análise espectral da Floresta Ombrófila de Terras Baixas nas imagens AG em níveis de cinza (NC) .....</b> | <b>84</b> |
| <b>Gráfico 26 - Análise espectral da Restinga nas imagens AG em níveis de cinza (NC).....</b>                             | <b>85</b> |
| <b>Gráfico 27 - Análise espectral do Mangue nas imagens AG em níveis de cinza (NC).....</b>                               | <b>85</b> |

## LISTA DE ABREVIATURAS

AG – Agriculture

DAP - Diâmetro à Altura do Peito

EOS - Earth Observing System

EV – Enhanced Vegetation Index

FACEPE – Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco

IFPE – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco

IVV – Infravermelho de Cor ou Infravermelho de Vegetação

NC – Níveis de Cinza

NDVI – Normalized Difference Vegetation Index

NDWI – Normalized Difference Water Index

PA – Penetração Atmosférica

PI – Index Stack

PI ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ) – Pixel

QGis – Quantum GIS

REM – Radiação Eletromagnética

RGB – Cor Natural

SAVI – Vegetation Index Soil-Adjusted

UFRPE – Universidade Federal Rural de Pernambuco



## SUMÁRIO

|  |    |
|--|----|
| 1 INTRODUÇÃO   | 19 |
| 1.1 Objetivo Geral   | 20 |
| <b>1.1.1 Objetivos Específicos</b>                                   | 20 |
| 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA  | 21 |
| 2.1 O Bioma Mata Atlântica e o Estudo de seus Ecossistemas           | 21 |
| <b>2.1.1 Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas</b>               | 24 |
| <b>2.1.2 Manguezal</b>   | 25 |
| <b>2.1.3 Restinga</b>  | 27 |
| <b>2.1.4 A Mata Atlântica no Estado de Pernambuco</b>                | 28 |
| <b>2.1.5 A Fitogeografia</b>   | 29 |
| 2.2 Sensoriamento Remoto   | 29 |
| <b>2.2.1 Espectro Eletromagnético</b>                                | 30 |
| <b>2.2.2 Assinatura Espectral</b>                                    | 31 |
| <i>2.2.2.1 Comportamento Espectral da Vegetação</i>                  | 32 |
| <i>2.2.2.2 A Funcionalidade das Folhas</i>                           | 33 |
| <b>2.2.3 A Técnica do Geoprocessamento</b>                           | 35 |
| 3 METODOLOGIA  | 40 |
| 3.1 Pesquisa Bibliográfica   | 41 |
| <b>3.1.1 Área de Proteção Ambiental de Guadalupe</b>                 | 41 |
| 3.2 Aquisição de Imagens   | 43 |
| <b>3.2.1 Imagens de Alta Resolução</b>                               | 43 |
| <b>3.2.2 Imagens Pré-processadas</b>                                 | 43 |
| <i>3.2.2.1 Satélites Landsat</i>                                     | 36 |
| 3.3 Georreferenciamento das Imagens                                  | 44 |
| 3.4 Tratamento das imagens   | 44 |
| 3.5 Estudo Fitogeográfico  | 44 |
| 3.6 Geoprocessamento   | 45 |
| <b>3.6.1 Índices de Vegetação e Combinações de Bandas Utilizadas</b> | 45 |
| <i>3.6.1.1 Cor Natural (RGB)</i>                                     | 45 |

|  |     |
|--|-----|
| 3.6.1.2 <i>Infravermelho de Cor ou Infravermelho de Vegetação (IVV)</i>                    | 47  |
| 3.6.1.3 <i>Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)</i>                               | 48  |
| 3.6.1.4 <i>Vegetation Index Soil-Adjusted (SAVI)</i>                                       | 50  |
| 3.6.1.5 <i>Enhanced Vegetation Index (EVI)</i>   | 52  |
| 3.6.1.6 <i>Normalized Difference Water Index (NDWI)</i>                                    | 53  |
| 3.6.1.7 <i>Penetração Atmosférica (PA)</i>   | 55  |
| 3.6.1.8 <i>Index Stack (PI)</i>  | 56  |
| 3.6.1.9 <i>Agriculture (AG)</i>  | 58  |
| <b>3.6.2 Análise Espectral por Leitura de Pixel</b>  | 59  |
| 3.6.2.1 <i>Parâmetros e processos utilizados na Análise Espectral por Leitura de Pixel</i> | 59  |
| 3.7 <i>Elaboração de mapas temáticos, tabelas e gráficos</i>                               | 61  |
| <b>3.7.1 Software Spring</b>   | 62  |
| 4 <b>RESULTADOS e Discussões</b>   | 63  |
| 4.1 <i>Estudo Fitogeográfico dos Ecossistemas</i>  | 63  |
| 4.2 <i>Análise Espectral dos Ecossistemas</i>  | 72  |
| <b>4.2.1 Resultados: Cor Natural (RGB)</b>   | 73  |
| <b>4.2.2 Resultados: Infravermelho de Vegetação (IVV)</b>                                  | 74  |
| <b>4.2.3 Resultados: Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)</b>                     | 76  |
| <b>4.2.4 Resultados: Vegetation Index Soil-Adjusted (SAVI)</b>                             | 77  |
| <b>4.2.5 Resultados: Enhanced Vegetation Index (EVI)</b>                                   | 78  |
| <b>4.2.6 Resultados: Normalized Difference Water Index (NDWI)</b>                          | 80  |
| <b>4.2.7 Resultados: Penetração Atmosférica (PA)</b>                                       | 81  |
| <b>4.2.8 Resultados: Index Stack (PI)</b>  | 82  |
| <b>4.2.9 Resultados: Agriculture (AG)</b>  | 84  |
| 5 <b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>  | 86  |
| REFERENCIAS  | 86  |
| APÊNDICE I   | 92  |
| APÊNDICE II  | 100 |

## 1 INTRODUÇÃO

Este Trabalho de Conclusão de Curso teve como área de estudo à Área de Proteção Ambiental (APA) de Guadalupe no Litoral Sul do Estado de Pernambuco. A criação da APA de Guadalupe se deu através do Decreto Estadual de número 19.635, em 13 de março de 1997, e tem como objetivo conservar e proteger os sistemas naturais essenciais à biodiversidade, bem como proteger os ecossistemas naturais e promover o desenvolvimento sustentável.

Todavia, mesmo com a institucionalização desses objetivos os ecossistemas do Bioma Mata Atlântica, sobretudo os ecossistemas de floresta ombrófila densa, mangue e restinga sofreram sérios danos pelas ações antrópicas, corroborado pelo negligenciamento de sua proteção por parte das autoridades competentes.

O que acontece com a APA de Guadalupe não é um fato histórico novo nem isolado, a fragmentação da Mata Atlântica vem desde o período colonial, sobretudo no litoral brasileiro, e representa um fator limitante para sobrevivência de uma série de espécies e para manutenção da biodiversidade e dos ecossistemas. No entanto, mesmo nessas circunstâncias, a Mata Atlântica possui uma grande capacidade de resiliência e existe fragmentos de seus ecossistemas que foram preservados. Um exemplo desses fragmentos de ecossistemas preservado são os encontrados no Oeste da APA de Guadalupe e que são nosso objeto de estudo sob a ótica da fitogeografia em conjunto com a análise espectral.

Uma ferramenta indispensável na junção da análise espectral com a biogeografia local, a fitogeografia é tida, por pesquisadores renomados das ciências botânicas como Rizzini, como um verdadeiro conjunto integrado de disciplinas botânicas que prezam por uma sequência natural, a qual toma como ponto de partida um conhecimento aprofundado da taxonomia e engloba uma série de setores científicos, como as geociências - por exemplo.

Vale lembrar que a importância do reconhecimento do tipo de vegetação de uma determinada localidade resulta não apenas do histórico particular de evolução e migração das espécies que compõem a formação vegetal mais também da adaptação dessas espécies às condições climáticas e às interações biológicas locais, permitindo uma melhor proteção e conservação desses ecossistemas. Nessa

perspectiva, é de fundamental importância utilizar geotecnologias como a análise espectral para diferenciar e caracterizar espectralmente esses ecossistemas, afim de construir: mapas, gráficos e tabelas que forneçam ferramentas para conservação da APA de Guadalupe e de outras unidades de conservação, no presente e futuro. Com essa prerrogativa, o presente Trabalho de conclusão de curso teve os tópicos a baixo como objetivo geral e objetivos específicos:

## 1.1 Objetivo Geral

Análise espectral da Mata Atlântica por meio de estudo fitogeográfico dos ecossistemas de Floresta Ombrófila Densa, Mangue e Restinga na Área de Proteção Ambiental de Guadalupe.

### **1.1.1 Objetivos Específicos**

- Realizar uma revisão de literatura dos temas e assuntos pertinentes à pesquisa, de modo a fundamentar de forma teórica e metodológica a pesquisa desenvolvida;
- Executar um estudo fitogeográfico dos principais ecossistemas da Mata Atlântica encontrados na Área de Proteção Ambiental de Guadalupe;
- Identificar os melhores índices e combinações a serem utilizados na identificação dos principais ecossistemas da Mata Atlântica encontrados na Área de Proteção Ambiental de Guadalupe;
- Desenvolver mapas, gráficos, e tabelas que traduzam os dados do estudo fitogeográfico bem como da análise espectral a partir de imagens;

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 O Bioma Mata Atlântica e o Estudo de seus Ecossistemas

Bioma é definido como um conjunto de vida constituído pelo agrupamento de tipos de vegetação contíguos e identificáveis em escala regional, com condições geológicas e climáticas similares além de seu histórico compartilhado de mudanças, o que resulta em uma diversidade biológica própria (IBGE, 2004). Apresentado pelo IBGE (2004), o Mapa de Vegetação do Brasil, reconstitui a provável situação da vegetação na época do descobrimento, representando cartograficamente a abrangência dos seis biomas continentais brasileiros (Amazônia, Cerrado, Caatinga, Mata Atlântica, Pantanal) (Figura 1).

Conforme explicito no Decreto Federal 750/93 é considerado Floresta Atlântica as formações florestais e ecossistemas associados inseridos no domínio Mata Atlântica, com as seguintes delimitações fixadas pelo Mapa de Vegetação do Brasil do IBGE: Floresta Ombrófila Densa Atlântica, Floresta Ombrófila Mista, Floresta Ombrófila Aberta, Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas, Floresta Estacional Semidecidual, Floresta Estacional Decidual, manguezais, restingas, campos de altitude, brejos interioranos e encaves florestais do Nordeste. Segundo Rizzini (1979) para distinguir bem uma formação vegetal é preciso levar em conta os aspectos estruturais (fisionômico) e florístico (composicional) sem deixar de lado as características e aspectos do hábitat.

**Figura 1 - Mapa dos Principais Biomas Brasileiros segundo o IBGE**

**Mapa dos Principais Biomas Brasileiros Segundo o IBGE**



Fonte: IBGE (2004)

Entretanto, nem sempre há informações claras e seguras sobre muitas regiões do território nacional, gerando dúvida na atribuição de categorias. A Floresta Atlântica está presente tanto na região litorânea como nos planaltos e serras do interior do Rio Grande do Norte ao Rio Grande do Sul, ao longo de toda costa brasileira. A sua área central está nas grandes Serras do Mar e da Mantiqueira, abrangendo os Estados de São Paulo, Minas Gerais, Rio de Janeiro e Espírito do Santo (RIZZINI, 1997). No Nordeste Oriental, a Floresta Atlântica ocupa as restingas e, principalmente, a formação dos Tabuleiros Costeiros, desde o Rio Grande do Norte até Alagoas. Cabe ressaltar que no sul de Pernambuco e em Alagoas, reveste também as costas das serras baixas próximas à costa.

No cenário colocado por Leitão Filho (1987), a cobertura da Floresta Atlântica era quase contínua, encobrindo a faixa litorânea de largura variável, indo do Ceará até Santa Catarina. Outrossim, Silva (1980) e Ogawa et al. (1990) fala que esta floresta se estendia pelo litoral desde o Rio Grande do Norte até o Rio Grande do Sul. Por sua vez o IBGE (1994) coloca que além da costa brasileira, a Floresta Atlântica penetrava no interior do país, cobrindo quase a totalidade dos estados do Espírito Santo, Rio de Janeiro, São Paulo, Paraná e Santa Catarina, além de partes dos estados de Minas Gerais, Rio Grande do Sul e Mato Grosso do Sul. Nessa

perspectiva, a Floresta Atlântica apresenta uma variedade de formações, e engloba um diversificado conjunto de ecossistemas florestais com estruturas e composições florísticas bastantes diferenciadas, acompanhando as características climáticas e geográficas.

É fato que nos locais onde há a presença dessa floresta, existem grandes distinções e especificações edáficas e geológicas, sendo o elemento comum: a exposição aos ventos úmidos que sopram do Oceano Atlântico (RIZZINI, 1997).

A Mata Atlântica engloba vários ecossistemas florestais, com perfis não florestais. Em virtude disso ocorre associada aos ecossistemas costeiros de mangues, nas enseadas, foz de grandes rios, baías e lagunas de influência de marés; às restingas, nas baixadas arenosas do litoral; às florestas mistas com araucárias, no Paraná e em Santa Catarina; e aos campos de altitude e rupestres, localizados em altitudes acima de 900 m. Em função da latitude, longitude, relevo e clima, apresenta variações nas formações vegetais sem perder, no entanto, certa homogeneidade florística (BARBOSA; THOMAS, 2002).

Nesse sentido, fica explícito que a elevada biodiversidade da Floresta Atlântica é consequência das variações ambientais do bioma. Tal fator é corroborado pela variação é sua extensão em latitude, que abrange 38°. Agregado a isso, as variações altitudinais constituem outro importante fator que contribui para a ocorrência de alta diversidade biológica, dado que as matas se estendem do nível do mar à uma altitude de 1.800 metros. Além disso, as matas do interior diferem consideravelmente das matas do litoral, proporcionando uma maior variedade de habitats e nichos. Estes fatores em conjunto resultam numa diversidade única de paisagens, que abrigam extraordinária biodiversidade (CEPF, 2001).

Outrossim, historicamente, foi a primeira floresta a receber ações de colonização, visto que dela saiu a primeira riqueza a ser explorada pelos colonizadores. Desde a época várias atividades se desenvolveram no seu território. O resultado de todos os ciclos econômicos pelos quais a Floresta Atlântica passou foi a perda quase total das florestas originais e a contínua devastação e fragmentação dos remanescentes florestais existentes, o que coloca a Floresta Atlântica em péssima posição de destaque, como um dos conjuntos de ecossistemas mais ameaçados de extinção do mundo.

No entanto, apesar do intenso desmatamento e a conseqüente fragmentação, a Mata Atlântica, junto com seus ecossistemas é extremamente vasta em biodiversidade, abrigando uma proporção elevada das espécies brasileiras, com consideráveis níveis de endemismo. Estima-se que existam cerca de 250 espécies de mamíferos (55 endêmicas), 340 de anfíbios (90 endêmicas), 1.023 de aves (188 endêmicas), e cerca de 20.000 espécies de árvores, metade das quais são endêmicas (CEPF, 2001).

### ***2.1.1 Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas***

Por ser uma floresta ombrófila densa, essa formação possui uma floresta bem desenvolvida com elementos dominantes configurando um dossel denso e homogêneo com uma altura que varia de 20 a 25 metros. Nas áreas próximas às encostas, onde o solo se encontra profundo e rico em matéria orgânica conseqüente de deslizamentos, a floresta está ainda mais desenvolvida, com ocorrência de árvores grandes de 40 metros de altura e 3 m de DAP (IBGE, 1992).

Tendo em vista o histórico do crescimento de grande parte das cidades brasileira e de estarem localizadas em áreas planas litorâneas, essas formações florestais foram extremamente fragmentadas e ocupadas desde o início da colonização. Hodiernamente, os poucos remanescentes que resistiram ainda sofrem intensa pressão antrópica pela expansão das cidades costeiras, caça e exploração excessiva de recursos florestais.



**Figura 2 - Áreas de Floresta Ombrófila de Terras Baixas na Reserva Biológica de Saltinho**



Fonte: Autor (2020)

### ***2.1.2 Manguezal***

Os manguezais são ecossistemas costeiros tropicais jovens, ocorrem em terrenos baixos e planos e regiões estuarinas, deltas, às margens de lagoas, ao longo de rios e nas suas desembocaduras, orlas de baías e canais naturais, estendendo-se até onde ocorre o fluxo da maré, e nunca estando exposto à ação direta das ondas (GOMES 2002).

O escoamento dos rios é altamente represado ou escoado pela maré, em consequência são criadas zonas de água salobra periodicamente calmas. Nestes locais a força branda da maré e a velocidade baixa da corrente, proporcionam uma grande deposição de sedimento fino e matéria orgânica, que dão origem a um ambiente bem particular, caracterizado por uma constante conquista de novas áreas

devido ao acúmulo de grandes massas de sedimentos e detritos trazidos pelos rios e mar (GOMES 2002, ROSSI; MATOS 1992, BDT 2005).

Estendem-se por toda a costa brasileira, correspondendo à cerca de 6800 km em regiões protegidas da ação direta das ondas, porém banhadas pelas marés, e seu maior desenvolvimento pode ser observado nas áreas onde o relevo topográfico é suave e a amplitude das marés é alta, embora apresentem interrupções, principalmente, nas regiões de litoral rochoso (VANNUCCII, 1999).

Os manguezais não se restringem à orla marítima, podendo penetrar vários quilômetros no continente, seguindo o curso dos rios, cujas águas se misturam com o mar durante as marés cheias. Por serem áreas de difícil utilização pelo homem, devido a suas características peculiares de solo e vegetação, os manguezais adquiriram a reputação de “terras inúteis” (GOMES 2002).

**Figura 3 - Áreas de Manguê da Área de Proteção Ambiental de Guadalupe**



Fonte: Autor (2020)

### 2.1.3 Restinga

Variações no nível do mar ocorridas no Holoceno ocasionaram a formação de vastas planícies sedimentares arenosas ao longo da costa brasileira. Pode-se dizer que o litoral ficou sujeito, no decorrer do Holoceno, à submersão até 5100 anos atrás e em seguida, à emersão. Com a redução do nível do mar ocorreram grandes aportes de areia das plataformas próximas na direção da praia (IBGE, 1992).

Este material foi parcial ou totalmente retomado pelas correntes de deriva litorânea e transportado até que aparecesse um obstáculo ou uma armadilha que bloqueasse o transporte (geralmente as desembocaduras fluviais). Formaram-se então as planícies arenosas, constituídas pela sucessão de cristas arenosas e cavas (GOMES, 1995).

A palavra “restinga” pode ser usada tanto para designar vários tipos de depósitos litorâneos quanto para outras feições costeiras. Segundo Rizzini (1979), esta palavra é empregada com três sentidos no campo da Botânica: 1) para designar todas as formações vegetais que cobrem as areias holocênicas desde o oceano; 2) para designar a paisagem; 3) muito frequente para indicar a vegetação lenhosa e densa da parte interna, plana.

**Figura 4 - Área de Restinga da Área de Proteção Ambiental de Guadalupe**



Fonte: Autor (2020)

#### **2.1.4 A Mata Atlântica no Estado de Pernambuco**

Logo quando iniciado o processo de povoamento o início da Zona da Mata de Pernambuco, a monocultura canavieira se desenvolveu a base de grandes áreas desmatadas. Por sua vez, com o andamento da produção do açúcar, a passagem dos engenhos às usinas, no final do século XIX e início do XX, ocorreu um avanço ainda mais intenso sobre as formações florestais nativas, visto que, a maior capacidade de produção exigia um maior fornecimento de cana. Registra-se também nesse período o desenvolvimento do transporte ferroviário que não só promoveu novos desmatamentos para dar lugar às ferrovias como demandou o fornecimento de madeira para geração de energia (CPRH, n.d).

No que se refere as formas de florestas presentes na Mata Atlântica na Zona Litoral-Mata de Pernambuco, apresentam-se como fragmentos pequenos e isolados, encontrando-se remanescentes correspondentes às seguintes regiões fitoecológicas, *sensu* IBGE (1992): Floresta Ombrófila das Terras Baixas e Submontana e Floresta Estacional Semidecidual das Terras Baixas e Submontana.

Diferenciam-se as subclasses de formação Ombrófila e Estacional em função do clima (relação pluviometria x temperatura) e da conseqüente adaptação das plantas ao déficit hídrico dos solos. Já quanto à formação propriamente dita é determinada pelo tipo de ambiente (forma de relevo) (IBGE, 1992). Restingas e manguezais são classificados por IBGE (1992) como Formações Pioneiras com influência marinha (restinga) e fluviomarina (manguezais).

No Litoral Sul, onde se localiza a APA de Guadalupe, mais especificamente a Microrregião da Mata Meridional, onde se encontram os municípios de Sirinhaém, Rio Formoso, Tamandaré e Barreiros, dominavam as florestas ombrófilas, que infelizmente com o avanço da antropização foram reduzidas a fragmentos em áreas de acesso mais difícil, onde a topografia impediu o avanço da cana, além das formações pioneiras litorâneas.

Através de estudos realizados da vegetação e flora da APA de Guadalupe indicou-se a presença de remanescentes de vegetação natural com elevada riqueza biológica, encontrando 252 espécies vegetais de 95 famílias em fragmentos de floresta ombrófila, restinga e mangue (CPRH, n.d).

### **2.1.5 A Fitogeografia**

Troppmair (1976) define a fitogeografia como um ramo da ciência geográfica ou da biogeografia que é a ciência que visa estudar e compreender a distribuição dos seres vivos de modo a relaciona-las as condições climáticas e frequentes adaptações.

Sob o histórico desse ramo científico, Martins (1985) lembrou que o anseio pela área da biogeografia não é um fato muito recente. Aristóteles, famoso filósofo grego, é considerado um dos pioneiros neste ramo ao fazer uma classificação zoológica além de estudar a fauna e a flora na região do Mar Mediterrâneo. Também merece destaque a figura de Plínio, que escreveu o tratado “História Natural”.

Na perspectiva de Rizzini (1997) a fitogeografia é um conjunto integrado de disciplinas botânicas que constituem uma sequência natural, a qual toma como ponto de partida um conhecimento aprofundado da taxonomia e engloba outros setores científicos, como: a morfologia, a fisiologia, a climatologia e a pedologia.

A importância do reconhecimento do tipo de vegetação de uma determinada localidade se explica pelo fato deste resultar não apenas do histórico particular de evolução e migração das espécies que compõem a formação vegetal, como também da adaptação dessas espécies às condições climáticas e às interações biológicas locais.

Uma circunstância a ser ponderada remete ao fato da ocupação do solo pelas diferentes formações vegetais de uma região não se dá por acaso, ou seja, cada ser vivo tem um habitat ao qual está adaptado, onde o indivíduo encontra tudo para a sua nutrição e a espécie encontra elementos para a sua reprodução, perpetuando-se assim no tempo e no espaço (MARTINS, 1985).

## **2.2 Sensoriamento Remoto**

Muito além de uma simples ciência, o Sensoriamento Remoto deve ser entendido como um conjunto de tecnologias e atividades que permite a obtenção de informações dos objetos que compõem a superfície terrestre sem a necessidade de contato direto com os mesmos. Estas atividades envolvem a detecção, aquisição e

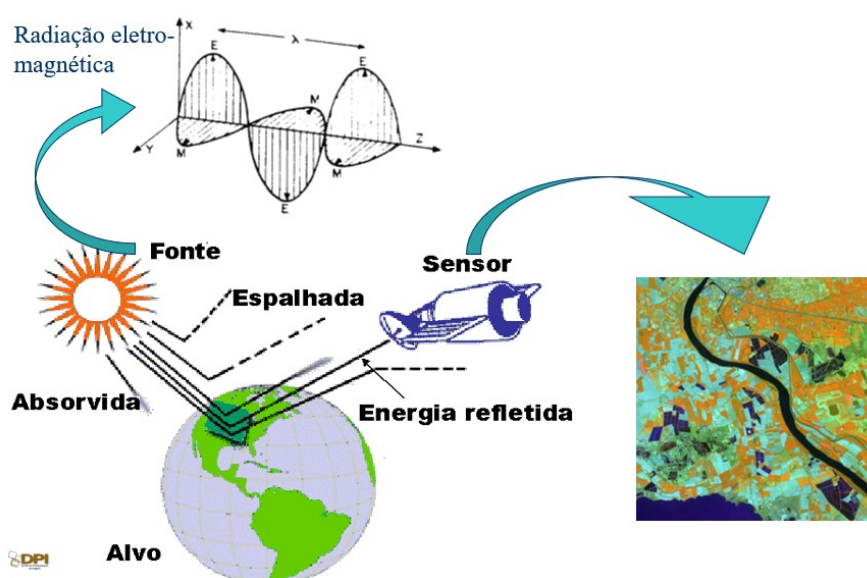
análise (interpretação e extração de informações) da energia eletromagnética emitida ou refletida pelos objetos terrestres e registradas por sensores remotos.

### 2.2.1 Espectro Eletromagnético

Para o completo entendimento do Sensoriamento como uma ciência, é fundamental saber que há regiões do Espectro Eletromagnético (EEM) onde a atmosfera quase não afeta a energia eletromagnética, isto é, a atmosfera é “transparente” à REM proveniente do Sol ou da superfície terrestre. Estas regiões são conhecidas como janelas atmosféricas. Nestas regiões são colocados os detectores de REM, e, portanto onde é realizado o sensoriamento remoto dos objetos terrestres (Steffen e Moraes, 1993).

As técnicas de sensoriamento remoto envolvem quatro elementos fundamentais: a fonte de radiação eletromagnética, a atmosfera, o alvo e o sensor como é mostrado a seguir (Figura 5).

**Figura 5 - Sensoriamento Remoto e seus elementos fundamentais: a fonte de radiação eletromagnética, a atmosfera, o alvo e o sensor.**

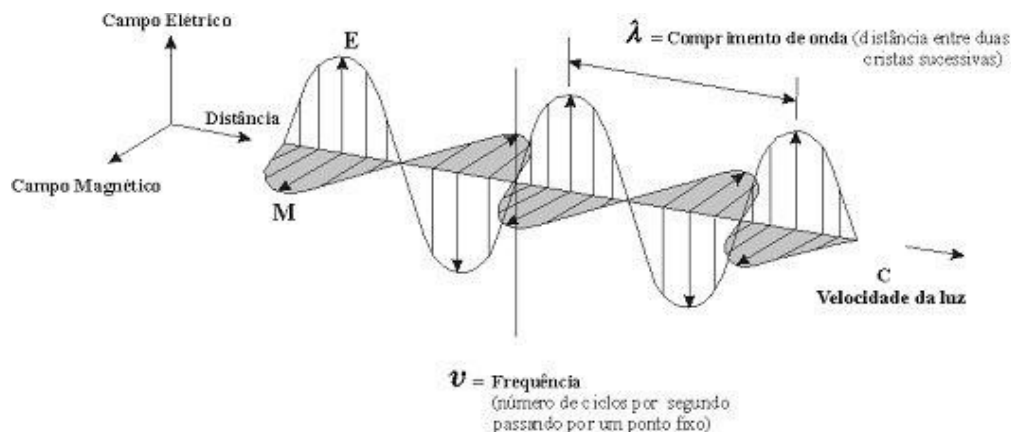


Fonte: adaptado Lillesand; Kiefer (2000)

Nessa pesquisa e na grande maioria é utilizado sistemas sensores passivos onde a principal fonte de radiação é o sol, cuja energia radiante está distribuída ao longo de um espectro eletromagnético (EEM). Através da atmosfera propaga-se a

radiação eletromagnética – REM (Figura 6), sofrendo modificações na sua intensidade e distribuição espectral.

**Figura 6 - Radiação Eletromagnética (REM).**



Fonte: adaptado Lillesand; Kiefer (2000).

### **2.2.2 Assinatura Espectral**

Uma circunstância a ser ponderada é que a assinatura espectral de um alvo pode ser definida como um aglomerado dos valores sucessivos da reflectância do objeto ao longo do EEM, também conhecido como a assinatura espectral do alvo. Desse modo a assinatura espectral do objeto define as feições deste, sendo que a forma, a intensidade e a localização de cada banda de absorção é que caracterizam o objeto (Steffen e Moraes, 1993).

Os alvos interagem de maneira diferenciada espectralmente com a energia eletromagnética incidente, pois os objetos apresentam diferentes propriedades físico-químicas e biológicas, ou seja, é fato que os diferentes ecossistemas terão um comportamento diferenciado entre eles. Estas diferentes interações é que possibilitam a distinção e o reconhecimento dos diversos objetos terrestres sensoriados remotamente, pois são reconhecidos devido à variação da porcentagem de energia refletida em cada comprimento de onda (Steffen e Moraes, 1996).

### 2.2.2.1 Comportamento Espectral da Vegetação

Segundo Rosendo (2005) desde a descoberta de que os vegetais extraem da radiação eletromagnética (REM) emitida pelo Sol parte da energia que necessitam para viver, a interação entre essa radiação e a vegetação passou a ser estudada detalhadamente. Assim, o sensoriamento remoto é a tecnologia que mais contribuiu e ainda vêm contribuindo e estimulando o avanço nos conhecimentos de como a vegetação processa essa radiação eletromagnética.

O Comportamento Espectral da Vegetação é frequentemente utilizado para representar as características de reflectância da REM, pelas folhas, plantas individuais e conjunto de plantas.

Conforme Ponzoni (2001), a “aparência” da cobertura vegetal em determinado produto de Sensoriamento Remoto é proveniente de um processo complexo que envolve muitos parâmetros e fatores ambientais. O que é efetivamente medido por um sensor remotamente situado, oriundo de determinada vegetação, não pode ser explicado somente pelas características intrínsecas dessa vegetação, inclui também a interferência de vários outros parâmetros e fatores tais como:

- A fonte de radiação, que inclui a irradiância espectral, a localização do ângulo zenital e azimutal solar;
- A atmosfera, caracterizada por uma série de propriedades e parâmetros, incluindo as concentrações espacialmente dependentes e as propriedades seletivas de absorção e de espalhamento dos diversos comprimentos de onda por parte dos constituintes da atmosfera, como vapor d' água, ozônio, aerossóis etc.;
- As características do dossel se dão por várias propriedades e parâmetros ópticos (reflectância e transmitância), estruturais (formas geométricas e posicionamento dos componentes da vegetação, como folhas, galhos, frutos, flores etc.), geometria da planta e parâmetros ambientais (temperatura, umidade relativa, velocidade do vento e precipitação);
- O solo, que também é caracterizado por uma série de propriedades e parâmetros tais como reflectância, absortância, rugosidade superficial, textura e umidade.



Logo, a vegetação é talvez o alvo mais complexo do Sensoriamento Remoto (EPIPHANIO et al., 1996); apresentando variadas propriedades de reflexão foliar em uma mesma planta, múltiplos componentes refletoras, não uniformidade de estrutura inter e intraplantas, além de assentar-se sobre um substrato constituído de solo ou restos vegetais que, por sua vez, apresentam propriedades de reflexão própria, contribuindo no processo de medição para a modulação das propriedades de reflexão da vegetação.

Cabe ressaltar que o modo como uma planta ou comunidade de plantas é vista, seja pelo olho humano ou por um sensor multiespectral, depende fundamentalmente da interação dessa planta ou comunidade de plantas com a radiação (MOREIRA e ASSUNÇÃO, 1984).

Desse modo, as características que ocorrem nos espectros de reflectância, transmitância e absortância de uma folha são ocasionadas notadamente pelos pigmentos, pela estrutura e pela água em solução.

Segundo Moreira e Assunção (1984), a folha, sem dúvida, merece destaque especial dentre os componentes da planta, pois é nela que se realiza a fotossíntese. Toda a organização da folha (sua forma, posição, estrutura etc.) está adaptada para melhor aproveitamento dos raios solares, do ar e da água, necessários à realização do processo de fotossíntese.

#### *2.2.2.2 A Funcionalidade das Folhas*

Em grande parte das unidades vegetais, as folhas desempenham funções de extrema importância, porque são basicamente nelas que se processam todas as reações fotoquímicas para a síntese dos carboidratos, além de outras reações vitais para a vida da planta (MOREIRA, 2003).

As folhas exercem três principais funcionalidades (Tabela 1):

**Tabela 1 - Às três principais funcionalidades das folhas.**

| <b>Funcionalidade</b> | <b>Processo ou Ação</b>   |
|-----------------------|---|
| Respiração            | por esse processo, a planta absorve oxigênio do ar e elimina gás carbônico – a respiração ocorre tanto durante o dia como durante a noite.  |
| Transpiração          | é processo de eliminação de vapor d'água realizado, por meio dos estômatos (orifícios encontrados na superfície das folhas, pelos quais ocorrem as principais trocas gasosas entre a planta e a atmosfera).   |
| Fotossíntese          | processo pelo qual as plantas verdes produzem carboidratos (açúcares) a partir da água (absorvida pelo sistema radicular) e do gás carbônico (CO <sub>2</sub> ) absorvido da atmosfera, mediado pela radiação fotossinteticamente ativa, ou seja, radiação solar de comprimento de onda entre 4,0 e 7,0 $\mu\text{m}$ . |

Fonte: Autor (2020)

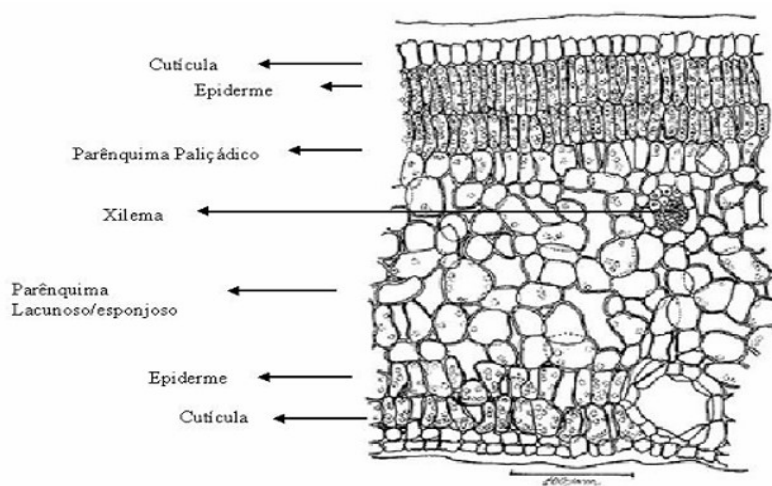
Uma circunstância a ser ponderada é que em virtude da necessidade da folha captar o máximo de radiação solar, observa-se uma predominância da área foliar quando comparada com outros órgãos da planta. Tal predominância é tão marcante que normalmente a área dos outros órgãos vegetais, em contato com a radiação solar, é desprezada, pressupõe-se assim a necessidade de estudar a folha e sua estrutura quando se deseja conhecer a interação das plantas e conseqüentemente dos ecossistemas e biomas com a radiação eletromagnética (MOREIRA e ASSUNÇÃO, 1984).

Estima-se que aproximadamente 50% do total da radiação solar que chega à superfície terrestre incide sobre plantas, uma parte dessa radiação é absorvida pelos pigmentos contidos na folha (MOREIRA, 2003), favorecendo o processo de fotossíntese entre outros.

Uma segunda parte é refletida pelas folhas (fenômeno denominado reflexão). A terceira fração sofre o processo de transmissão por meio das camadas das folhas

que compõem a copa e daquelas que constituem a folha (cutícula, parênquima lacunoso etc. - Figura 7).

**Figura 7 - Corte transversal de uma folha.**



Fonte: Moreira (2003)

### **2.2.3 A Técnica do Geoprocessamento**

Um mecanismo que cada vez mais é usada com sucesso no controle, descrição e monitoramento ambiental é o geoprocessamento. Conforme Silva (2003), geoprocessamento constitui qualquer tipo de processamento de dados georreferenciados. Desse modo, engloba técnicas e conceitos de cartografia, sensoriamento remoto, e Sistema de Informações Geográficas (SIG).

De maneira análoga, pode-se dizer que as tecnologias do geoprocessamento são ferramentas que manipulam objetos (ou feições geográficas) e seus atributos (ou registros que compõem um banco de dados) por meio de seu relacionamento espacial (VEIGA; SILVA, 2004).

Levando em consideração a importância e uso cotidiano do geoprocessamento Silva (2003) sugere que trabalhos que englobem estudos da esfera descritiva tenham suas áreas de estudo georreferenciadas, permitindo maior precisão na localização geográfica e, que essa prática, seja consolidada e incorporada ao meio científico, de forma que em algum momento os indexadores

possam utilizar coordenadas geográficas ao invés de nomenclaturas no sistema de buscas.

O Geoprocessamento, como conceito, tem sua evolução intimamente ligada ao crescimento da utilização de suas técnicas e métodos. É notório que a classificação de ambientes segundo suas múltiplas características, o planejamento e a gestão de ambientes são campos técnico-científicos beneficiados pelo uso do Geoprocessamento.

Outra definição para Geoprocessamento, mais amplo e pragmática, pode ser definida: um conjunto de conceitos, metodologias e técnicas que, trabalhadas sobre bases de dados georreferenciados, por computação, proporciona a geração de análises e sínteses que englobam, conjugadamente, as propriedades intrínsecas e geotopológicas de eventos e entidades identificados, criando informação relevante para apoio à decisão quanto aos recursos ambientais.

Conforme essa definição estão explicitados alguns aspectos como o uso maciço de múltiplas bases de dados georreferenciadas, indispensável para a identificação de relações geotopológicas; os métodos computacionais, que estão inclusos no termo “geoprocessamento”, permitem varreduras seletivas e conjugadas de matrizes de dados, definidoras de incidências territoriais comuns de inúmeras variáveis.

#### **2.2.4 Satélites Landsat**

A Altitude média dos satélites Landsat é 705 km fazendo uma órbita quase polar de 98,2 graus e heliossincronia em 98 minutos, realizando aproximadamente 14 revoluções por dia. Conforme Silva (2009) nas Tabelas 2 e 3 a seguir são apresentadas as principais características e aplicações das bandas do satélite Landsat:

**Tabela 2 - Principais características e aplicações das bandas do satélite Landsat**

| Intervalo espectral ( $\mu\text{m}$ ) | Principais características e aplicações  |
|---------------------------------------|--|
| (0,45<br>0,52)                        | Apresenta grande penetração em corpos de água, com elevada transparência, permitindo estudos batimétricos. Sofre absorção pela clorofila e pigmentos fotossintéticos auxiliares (carotenóides). Apresenta sensibilidade a plumas de fumaça oriundas de queimadas ou atividade industrial. Pode apresentar atenuação pela atmosfera.  |
| (0,52<br>0,60)                        | Apresenta grande sensibilidade à presença de sedimentos em suspensão, possibilitando sua análise em termos de quantidade e qualidade. Boa penetração em corpos de água.  |
| (0,63<br>0,69)                        | A vegetação verde, densa e uniforme, apresenta grande absorção, ficando escura, permitindo bom contraste entre as áreas ocupadas com vegetação (ex.: solo exposto, estradas e áreas urbanas). Apresenta bom contraste entre diferentes tipos de cobertura vegetal (ex.: campo, cerrado e floresta). Permite análise da variação litológica em regiões com pouca cobertura vegetal.   |
| (0,76<br>0,90)                        | Os corpos de água absorvem muita energia nesta banda e ficam escuros, permitindo o mapeamento da rede de drenagem e delineamento de corpos de água. A vegetação verde, densa e uniforme, reflete muita energia nesta banda, aparecendo bem clara nas imagens. Apresenta sensibilidade à rugosidade da copa das florestas (dossel florestal). Apresenta sensibilidade à morfologia do terreno, permitindo a obtenção de informações sobre Geomorfologia, Solos e Geologia. Serve para análise e mapeamento de feições geológicas e estruturais. |
| (1,55<br>1,75)                        | Apresenta sensibilidade ao teor de umidade das plantas, servindo para observar estresse na vegetação, causado por desequilíbrio hídrico. Esta banda sofre perturbações em caso de ocorrer excesso de chuva antes da obtenção da cena pelo satélite.  |
| (10,4<br>12,5)                        | Apresenta sensibilidade aos fenômenos relativos aos contrastes térmicos, servindo para detectar propriedades termais de rochas, solos, vegetação e água.   |
| (2,08<br>2,35)                        | Apresenta sensibilidade à morfologia do terreno, permitindo obter informações sobre Geomorfologia, Solos e Geologia. Esta banda serve para identificar minerais com íons hidroxilas. Potencialmente favorável à discriminação de produtos de alteração hidrotermal.  |

Fonte: Silva (2009)

**Tabela 3 - Características dos sensores dos satélites da série Landsat**

| <b>Características dos principais Instrumentos Sensores do satélite LANDSAT</b> |                          |                            |                           |                           |                       |
|---|--------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------|
| <b>Sensor</b>   | <b>Bandas Espectrais</b> | <b>Resolução Espectral</b> | <b>Resolução Espacial</b> | <b>Resolução Temporal</b> | <b>Faixa Imageada</b> |
| <b>MSS</b>  | 4                        | 0,5 - 0,6 um               |                           |                           |                       |
|   | 5                        | 0,6 - 0,7 um               | 80m                       |                           |                       |
|   | 6                        | 0,7 - 0,8 um               |                           | 18 dias                   | 185 km                |
|   | 7                        | 0,8 - 1,1 um               |                           |                           |                       |
|   | 8                        |                            |                           |                           |                       |
| <b>TM</b>   | 1                        | 0,45 - 0,52 um             |                           |                           |                       |
|   | 2                        | 0,50 - 0,60 um             |                           |                           |                       |
|   | 3                        | 0,63 - 0,69 um             | 30m                       |                           |                       |
|   | 4                        | 0,76 - 0,90 um             |                           | 16 dias                   | 185 km                |
|   | 5                        | 1,55 - 1,75 um             |                           |                           |                       |
|   | 6                        | 10,4 - 12,5 um             | 120m                      |                           |                       |
|   | 7                        | 2,08 - 2,35 um             | 30m                       |                           |                       |
| <b>ETM+</b>   | 1                        | 0,45 - 0,52 um             |                           |                           |                       |
|   | 2                        | 0,50 - 0,60 um             |                           |                           |                       |
|   | 3                        | 0,63 - 0,69 um             | 30m                       |                           |                       |
|   | 4                        | 0,76 - 0,90 um             |                           | 16 dias                   | 185 km                |
|   | 5                        | 1,55 - 1,75 um             |                           |                           |                       |
|   | 6                        | 10,4 - 12,5 um             | 60m                       |                           |                       |
|   | 7                        | 2,08 - 2,35 um             | 30m                       |                           |                       |
|   | 8                        | 0,50 - 0,90 um             | 15m                       |                           |                       |

Fonte: Silva (2009)

#### 2.2.4.1 Landsat 5

Através do foguete Delta 3920<sup>o</sup>, foi feito o lançamento em 1<sup>o</sup> de março de 1984 da Base da Força Aérea de Vandenberg, Califórnia - Estados Unidos o quinto satélite do Programa Landsat da NASA, o satélite Landsat 5 (INPE, 2014). Foram utilizadas imagens do Landsat5 para análise espectral, na presente pesquisa, dos anos de 1984, 1990, 1992, 2006 e 2011, ou seja, é o satélite da linha Landsat que teve mais imagens analisadas no trabalho.

O desativamento do satélite foi anunciado em 21 de dezembro de 2012, o USGS esclareceu que o Landsat 5 seria desativado nos meses seguintes em virtude do fracasso de um dos giroscópios do satélite. Dessa maneira, em 5 de junho 2013, o satélite foi desativado (INPE, 2014).

#### *2.2.4.2 Landsat 7*

Assim como o Landsat 5, o satélite artificial norte-americano de pesquisas terrestres o Landsat 7 é proveniente de uma cooperação entre a NASA e o USGS, sendo, as duas, agências de pesquisa do governo norte-americano. A presente pesquisa utilizou apenas uma imagem do satélite Landsat 7 para realização da análise espectral do ano 2001.

O Landsat 7 foi mandado a órbita, pelo foguete Delta II 7920 em 15 de abril de 1999, na Base da força aérea de Vandenberg, situada no oeste do estado da Califórnia, Estados Unidos (INPE, 2014).

#### *2.2.4.3 Landsat 8*

Além dos dois satélites anteriormente citados, Landsat 5 e Landsat 7, o Landsat 8 também foi utilizado nesta pesquisa, sendo mais preciso para análise espectral do ano de 2016 (ano mais recente de análise). Sendo esse, um satélite estadunidense de observação da Terra assim como os demais de sua linha, é o oitavo da sucessão de satélites do Programa Landsat e o sétimo a chegar de forma correta à órbita terrestre. Tendo sido lançado em 11 de fevereiro do ano de 2013 (INPE, 2014).

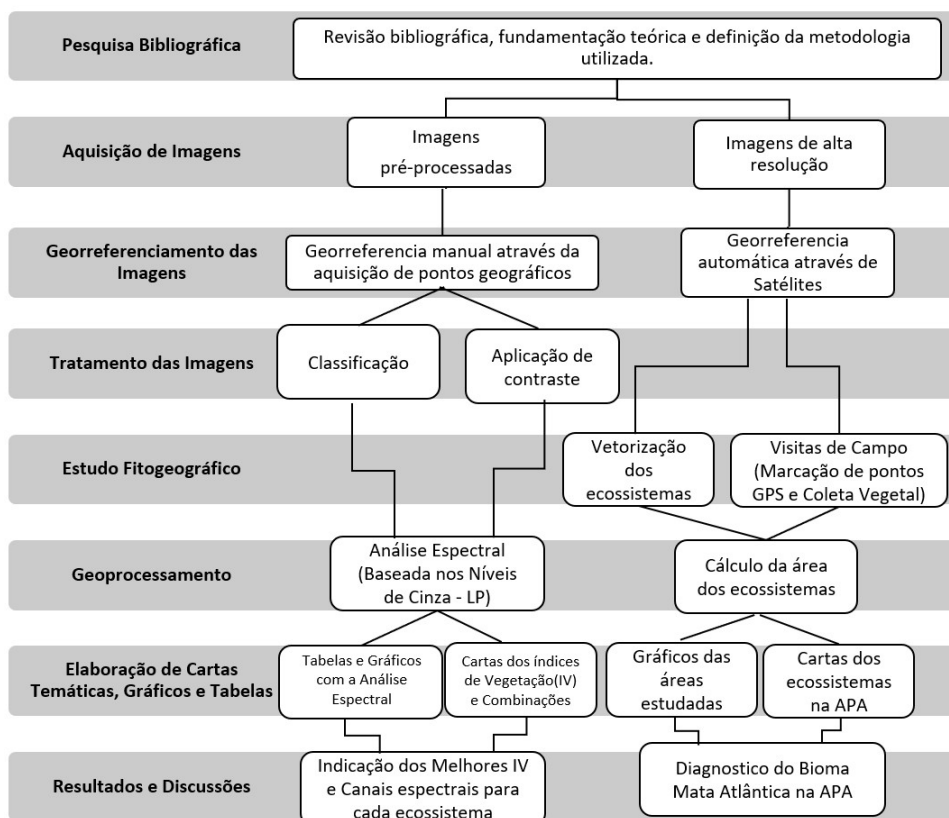
### 3 METODOLOGIA

No desenvolvimento do presente Trabalho de Conclusão de Curso foram utilizadas pesquisas bibliográficas e de campo. A pesquisa bibliográfica baseou-se em publicações científicas da área do Sensoriamento Remoto e da Botânica.

Grande parte dos processos laboratoriais de estudo foi desenvolvido no Núcleo de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto (GEOSERE) da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) e também no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE).

Ademais, no que se refere ao fomento desta pesquisa, são responsáveis a Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) e o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE). Os procedimentos metodológicos ficam de forma resumida mais facilmente explicáveis no fluxograma abaixo:

**Figura 8 - Fluxograma da metodologia utilizada e dos processos realizados.**



Fonte: Autor (2020)



### 3.1 Pesquisa Bibliográfica

Foi realizado o levantamento bibliográfico e documental sobre Sensoriamento Remoto, e seus subtópicos que são de grande importância para o completo entendimento dos processos realizados no presente trabalho, e também sobre o Bioma Mata Atlântica e seus ecossistemas presentes na Área de Proteção Ambiental de Guadalupe.

#### ***3.1.1 Caracterização da Área de Estudo: Área de Proteção Ambiental de Guadalupe***

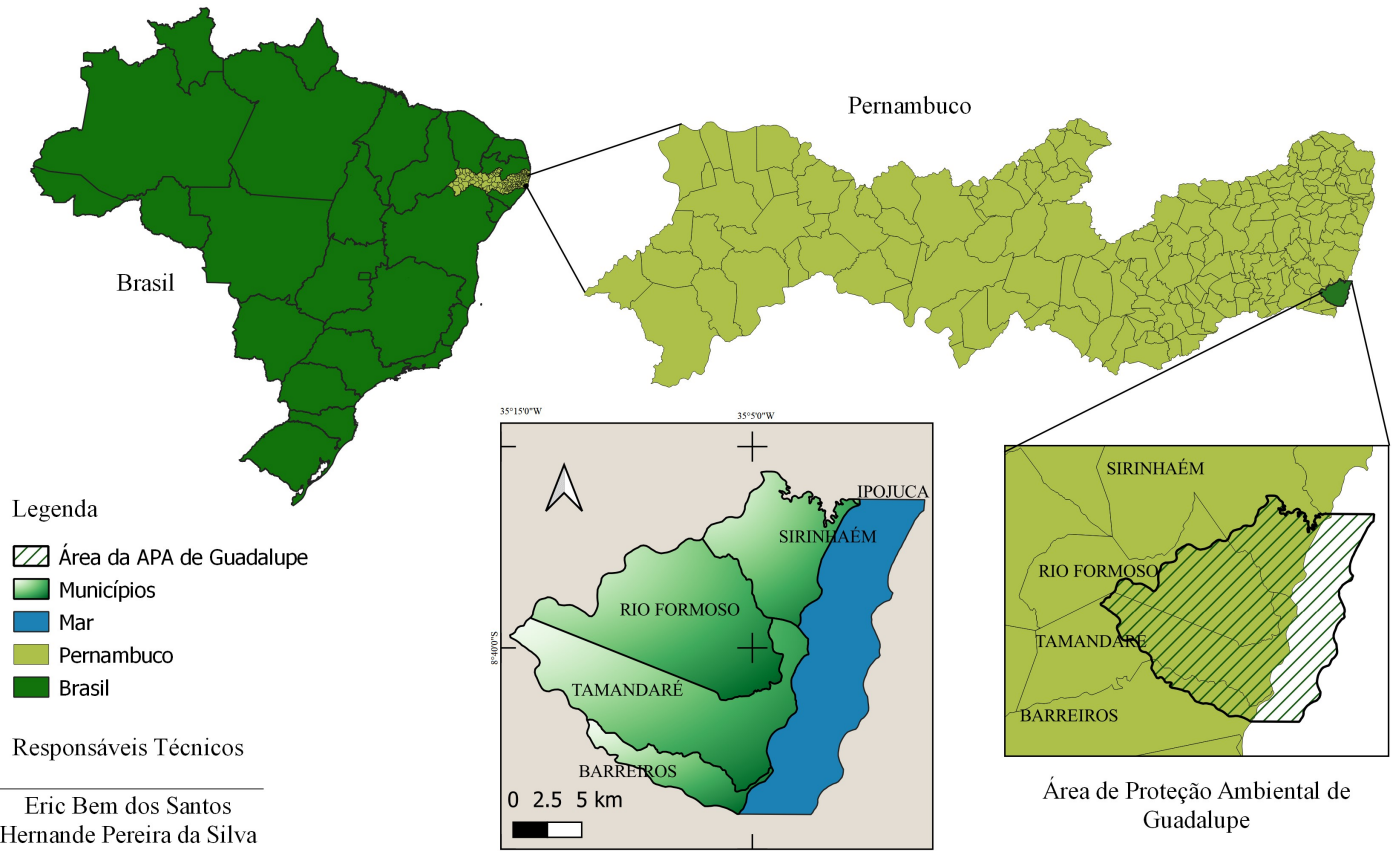
No que se refere ao local do estudo do presente trabalho, ou seja, à Área de Proteção Ambiental de Guadalupe, que se localiza no litoral sul do Estado de Pernambuco - Brasil, e que não foi escolhida por acaso, como fica evidente nos tópicos da fundamentação.

Criada sob Decreto Estadual de número 19.635, em 13 de março de 1997, a Área de Proteção Ambiental de Guadalupe é localizada nos municípios de Sirinhaém, Rio Formoso, Tamandaré e Barreiros - Figura 9. Abrange uma área total de 44.799ha (quarenta e quatro mil, setecentos e noventa e nove hectares). Existe uma parte de seu território que se encontra em área continental, correspondente a 32.135ha, e um outro trecho correspondente à três milhas náuticas no Oceano Atlântico - 12.664ha.

Uma circunstância a ser ponderada é que a APA teve como objetivo principal, em sua criação a proteção e conservação dos sistemas naturais essenciais à biodiversidade, especialmente os recursos hídricos, visando a melhoria da qualidade de vida da população local, a proteção dos ecossistemas e o desenvolvimento sustentável (art. 2º do Decreto Estadual Nº 19.635).

Figura 9 - Mapa de Localização da Área de Proteção Ambiental de Guadalupe, Pernambuco – BR

### Mapa de Localização da APA de Guadalupe



Fonte: Autor (2020)

## 3.2 Aquisição de Imagens

As imagens utilizadas, tanto para fazer a análise espectral quanto para realizar as vetorizações dos ecossistemas, foram adquiridas e selecionadas no Núcleo de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto - GEOSERE, localizado no Departamento de Engenharia Agrícola - DEAgri da Universidade Federal Rural de Pernambuco.

### **3.2.1 Imagens de Alta Resolução**

Para uma minuciosa vetorização (indicação poligonal dos ecossistemas objetos de estudo), parte do estudo fitogeográfico, fez-se necessário utilizar a ferramenta Bing que é uma extensão online presente no Quantum GIS (QGIS), mais também presente em outros programas de geoprocessamento, que permite através da compilação de uma série de bancos de dados de imageamento fornecer imagem de alta resolução das áreas estudadas sem custo. Os satélites utilizados para compor seu banco de dados não são publicamente divulgados.

### **3.2.2 Imagens Pré-processadas**

Foi utilizado imagens da linha de satélites Landsat - especificamente os satélites Landsat5, Landsat7 e Landsat8 – adquiridas de forma gratuita através do site Earth Observing System (EOS) - Land Viewer. Os anos das imagens adquiridas foram: 1984, 1990, 1992, 2001, 2006, 2011 e 2016. Este banco de dados permite à aquisição de imagens pré-processadas, ou seja, imagens que vem com às bandas ou canais espectrais já compilados em um único arquivo visto que as imagens não vem georreferenciadas, e também a aplicação de classificação e contraste, haja vista que a paleta de cores do EOS - Land Viewer não é compatível com a paleta de cores processada pelo software Spring (local onde foi feito a análise espectral por leitura de pixel).

Ademais é fundamental discriminar a linha de satélites Landsat e os satélites utilizados, para que desse modo fique evidente todas suas características e

atribuições técnicas que por sua vez são as características das imagens adquiridas e utilizadas na análise espectral.

### 3.3 Georreferenciamento das Imagens

As imagens de alta resolução da ferramenta Bing, não necessitaram de um georreferenciamento manual, haja vista que tal mecanismo é online de forma que não apenas suas imagens como também seus dados geográficos estão conectados aos sistemas de georreferenciamento da rede. Por sua vez, as imagens pré-processadas adquiridas no site EOS - Land Viewer foram georreferenciadas através do Sistema de Projeção Cartográfica UTM, Datum SIRGAS 2000 de forma manual através da ferramenta de georreferenciamento do software Spring.

### 3.4 Tratamento das imagens

Nas imagens de alta resolução do Bing não foi necessário aplicar nenhuma forma de tratamento. Por sua vez algumas imagens pré-processadas, adquiridas no EOS – Land Viewer, necessitaram de tratamento. Em todas as imagens RGB dos anos analisados precisou da aplicação de contraste para melhoramento na visualização dos alvos representados, sobretudo para visualização no mapa. Além das imagens RGB, as combinações: *Enhanced Vegetation Index* (EVI) e *Normalized Difference Water Index* (NDWI) necessitaram da aplicação de contraste em virtude do fato de que sem esse processo alguns alvos teriam um visual extremamente parecidos. Para a combinação *Index Stack* (ou Pilha de Índices) foi necessário aplicar uma classificação em virtude do fato da paleta de cores deste índice não ser compatível com a paleta de cores presente no Software Spring.

### 3.5 Estudo Fitogeográfico

O estudo fitogeográfico teve início com a vetorização das imagens do Bing. Na vetorização foi destacado os fragmentos de floresta ombrófila densa, mangue e restinga. Após a visualização e vetorização foi feita uma série de visitas de

campo, permitindo a aquisição de 27 pontos GPS coletados. EM seguida foi construído mapas da APA de Guadalupe e seus ecossistemas, caracterizando assim um estudo fitogeográfico da área estudada.

### 3.6 Geoprocessamento

No presente trabalho foi utilizado uma série de tecnologias e ferramentas do geoprocessamento. Estão entre essas ferramentas: os índices de vegetação e combinações de bandas; georreferenciamento das imagens; a coleta de pontos GPS e a própria leitura de pixel que personifica a análise espectral realizada no presente trabalho. Nos subtópicos abaixo é abordado tais tecnologias, suas ferramentas, processos e detalhes técnicos como às imagens dos índices de vegetação utilizados.

#### **3.6.1 Combinações de Bandas Utilizadas e Índices de Vegetação**

Para fins metodológicos é importante descrever as combinações e índices de vegetação utilizados na presente pesquisa. Vale também mostrar as imagens “puras” e pré-processadas adquiridas para uso na pesquisa.

##### *3.6.1.1 Cor Natural (RGB)*

Vermelho, verde e azul popularmente chamado de combinação ‘RGB’ em virtude dos respectivos nomes em inglês: red, green e blue é também chamada de Cor Natural porque corresponde a combinação vista pelo olho humano. A combinação em questão é usada para caracterização de solos, cobertura vegetal, corpos de água e além disso é usado para estudos urbanos. A Cor Natural tem sua leitura entre 0,4 e 0,7 ( $\mu\text{m}$ ) no espectro eletromagnético como é mostrado na Figura 18, (LANDVIEW, 2019).

Sua combinação para os Satélites Landsat5, Landsat7 e Landsat8 é respectivamente:

$$RGB = (B3 + B2 + B1)$$

Em que:

B1 - Se refere a Banda 1 do Satélite Landsat 5 ou 7

B2 - Se refere a Banda 2 do Satélite Landsat 5 ou 7

B3 - Se refere a Banda 3 do Satélite Landsat 5 ou 7

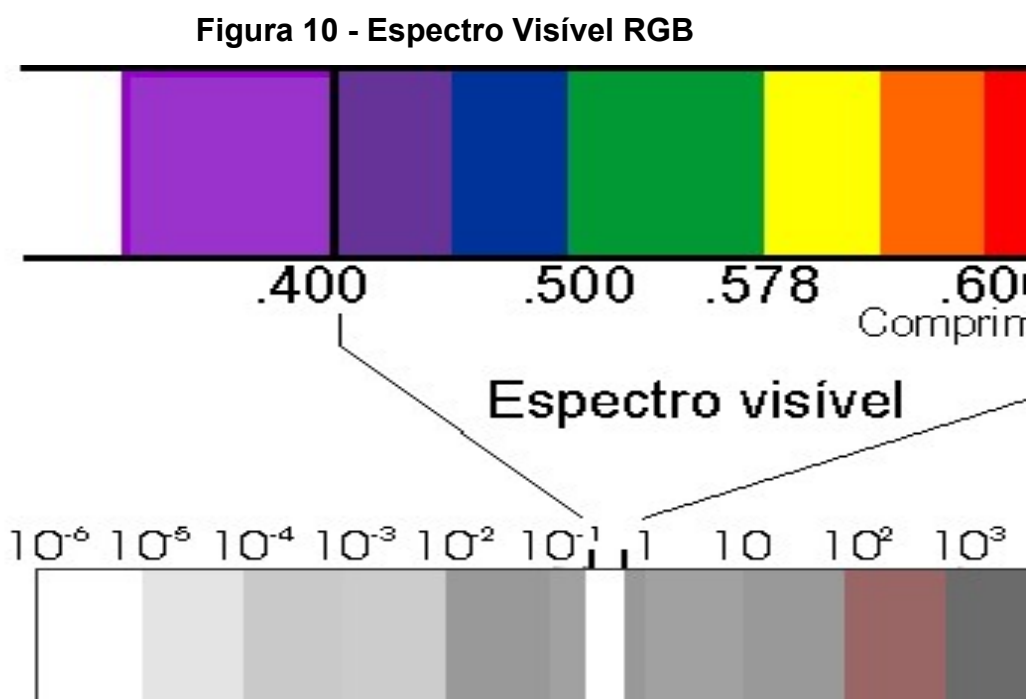
$$RGB = (B4 + B3 + B2)$$

Em que:

B2 - Se refere a Banda 2 do Satélite Landsat 8

B3 - Se refere a Banda 3 do Satélite Landsat 8

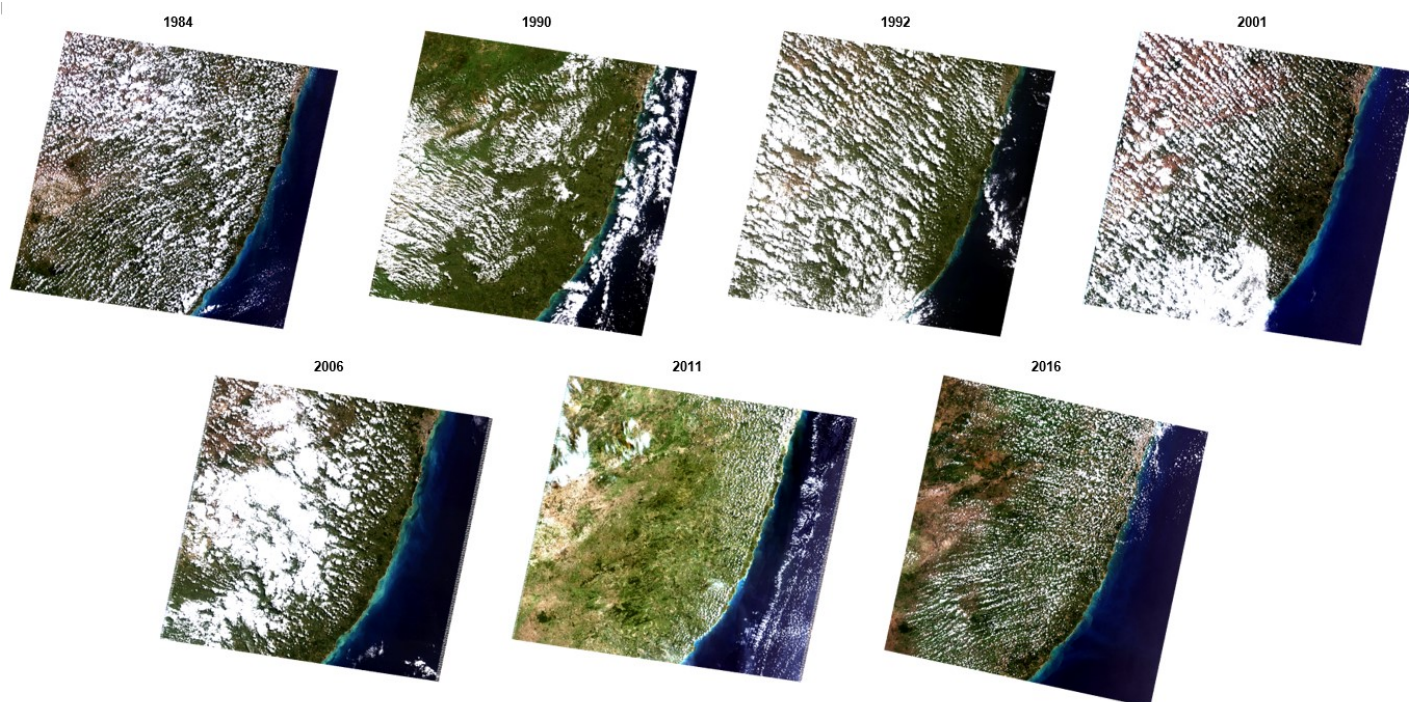
B4 - Se refere a Banda 4 do Satélite Landsat 8



Fonte: Silva (2009)

Foram processadas no Spring e utilizadas as seguintes imagens a seguir, em RGB, após terem sido adquiridas através do EOS - Land Viewer:

**Figura 11 – Composição colorida (RGB) das imagens utilizadas para os anos de 1984, 1990, 1992, 2001, 2006, 2011 e 2016 na análise espectral.**



Fonte: Autor (2020)

### 3.6.1.2 Infravermelho de Cor ou Infravermelho de Vegetação (IVV)

O Infravermelho de Cor ou Infravermelho de Vegetação (IVV) é uma composição de falsa cor onde a vegetação aparece em vermelho, áreas urbanas ciano e solos em castanho escuro ou claro. É uma combinação de bandas muito popular e útil para estudos de vegetação, monitoramento de drenagem, padrões de solo e acompanhamento do crescimento de colheitas (LANDVIEW, 2019).

Sua combinação para os Satélites Landsat5, Landsat7 e Landsat8 é respectivamente:

$$IVV = (B4 + B3 + B2)$$

Em que:

B2 - Se refere a Banda 2 do Satélite Landsat 5 ou 7

B3 - Se refere a Banda 3 do Satélite Landsat 5 ou 7

B4 - Se refere a Banda 4 do Satélite Landsat 5 ou 7

$$IVV = (B5 + B4 + B3)$$

Em que:

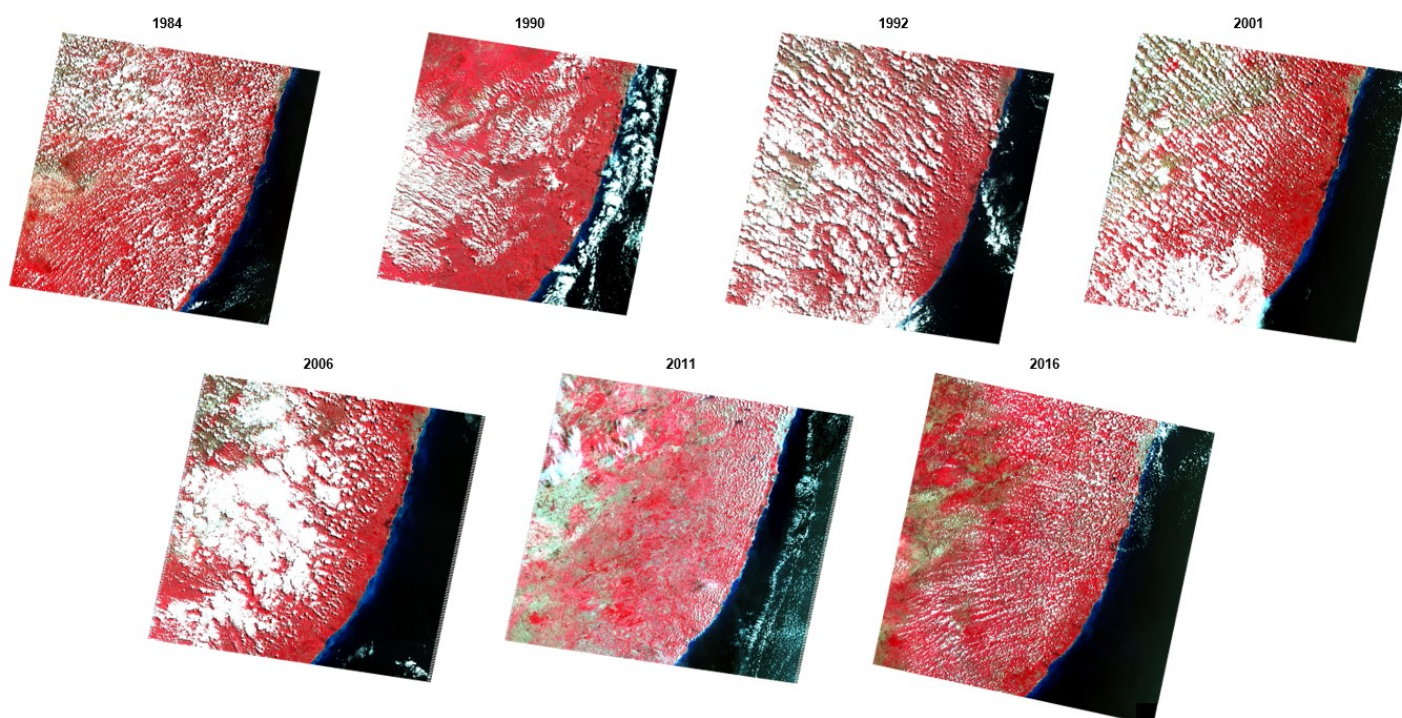
B3 - Se refere a Banda 3 do Satélite Landsat 8

B4 - Se refere a Banda 4 do Satélite Landsat 8

B5 - Se refere a Banda 5 do Satélite Landsat 8

Após terem sido adquiridas através do EOS - Land Viewer, foram processadas e utilizadas as seguintes imagens a seguir:

**Figura 12 - Imagens de composição falsa cor (IVV) utilizadas para os anos de 1984, 1990, 1992, 2001, 2006, 2011 e 2016 na análise espectral.**



Fonte: Autor (2020)

### 3.6.1.3 Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

O *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), que em português significa Índice de Vegetação de Diferença Normalizada é utilizado em diversas aplicações



como no monitoramento de lavouras, detecção de efeitos da seca, infestação de pragas, estimativas de produtividade, modelagem hidrológica e monitoramento de cobertura vegetal natural. Nesse índice a cobertura vegetal tende a ter tonalidade verde e os demais alvos variam de amarelo à vermelho intenso (LANDVIEW, 2019).

Sua combinação para os Satélites Landsat5, Landsat7 e Landsat8 é respectivamente:

$$NDVI = \frac{(B4 - B3)}{(B4 + B3)}$$

Em que:

B3 - Se refere a Banda 3 do Satélite Landsat 5 ou 7

B4 - Se refere a Banda 4 do Satélite Landsat 5 ou 7

$$NDVI = \frac{(B5 - B4)}{(B5 + B4)}$$

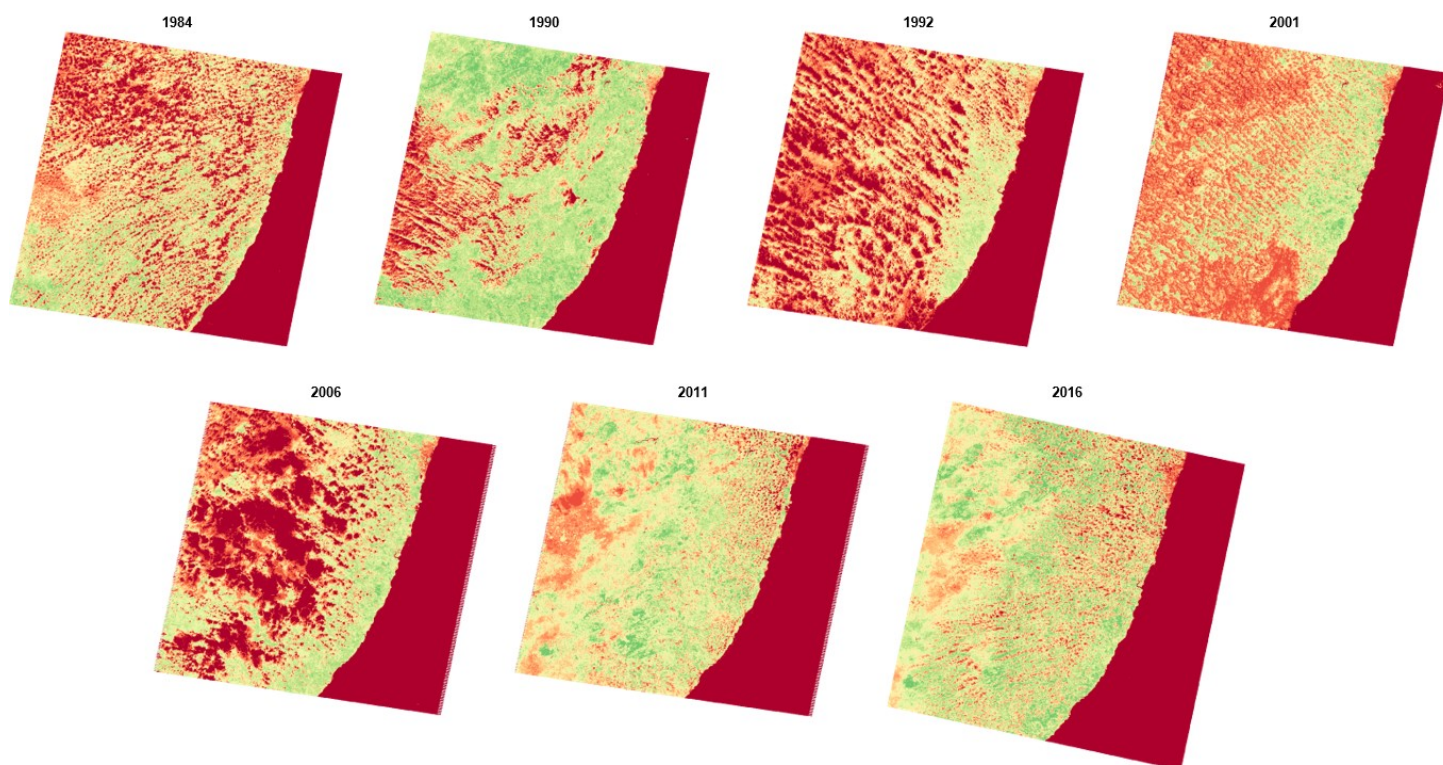
Em que:

B4 - Se refere a Banda 4 do Satélite Landsat 8

B5 - Se refere a Banda 5 do Satélite Landsat 8

Após terem sido adquiridas através do EOS - Land Viewer, foram processadas e utilizadas as seguintes imagens a seguir:

**Figura 13 – Índice de vegetação (NDVI) das imagens utilizadas para os anos de 1984, 1990, 1992, 2001, 2006, 2011 e 2016 na análise espectral.**



Fonte: Autor (2020)

#### 3.6.1.4 Vegetation Index Soil-Adjusted (SAVI)

*Vegetation Index Soil-Adjusted (SAVI)* ou simplesmente Índice de Vegetação Ajustado do Solo é um índice de vegetação que tenta minimizar a influência da luminosidade do solo usando um fator de correção de luminosidade. É frequentemente usado em áreas desérticas onde a cobertura vegetativa é insignificante (LANDVIEW, 2019).

Sua combinação para os Satélites Landsat5, Landsat7 e Landsat8 é respectivamente:

$$SAVI = 1,5 * \frac{(B4 - B3)}{(B4 + B3 + 0,5)}$$

Em que:

B3 - Se refere a Banda 3 do Satélite Landsat 5 ou 7

B4 - Se refere a Banda 4 do Satélite Landsat 5 ou 7

$$SAVI = 1,5 * \frac{(B5 - B4)}{(B5 + B4 + 0,5)}$$

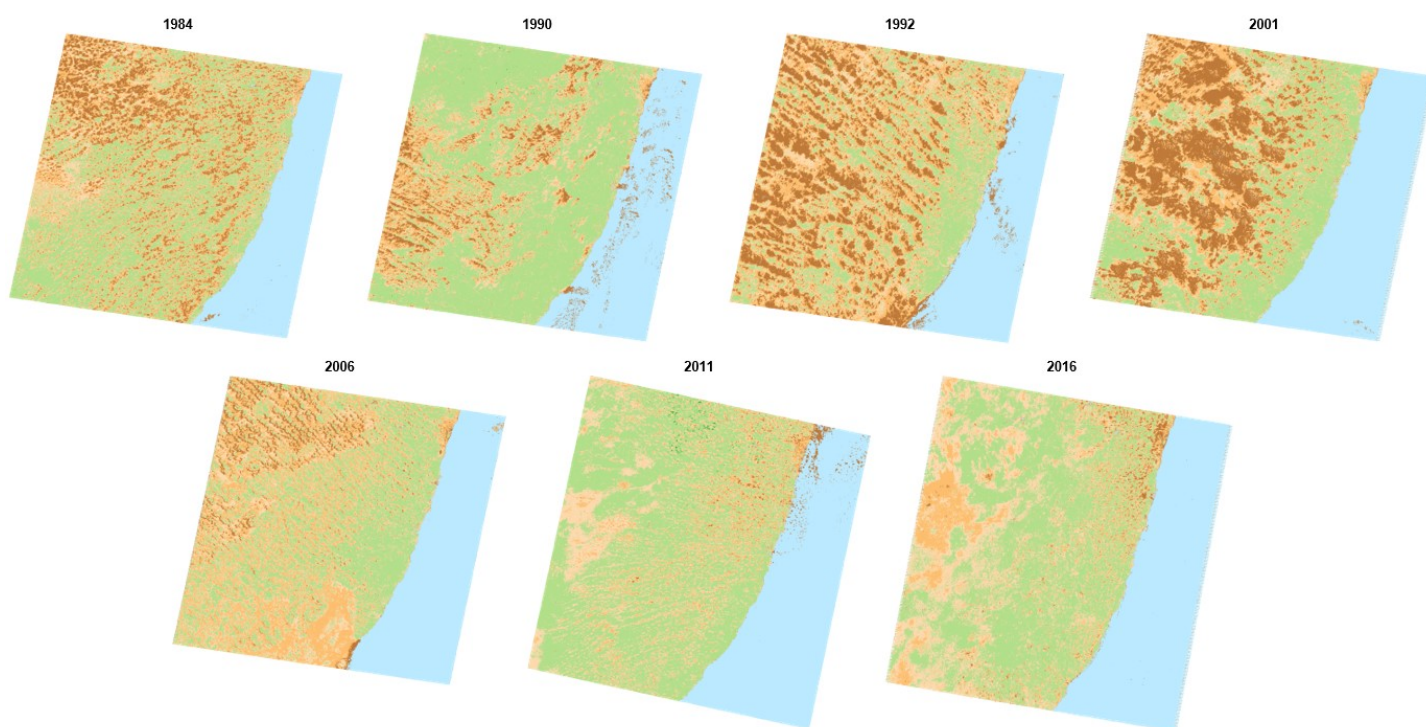
Em que:

B4 - Se refere a Banda 4 do Satélite Landsat 8

B5 - Se refere a Banda 5 do Satélite Landsat 8

Após terem sido adquiridas através do EOS - Land Viewer, foram processadas e utilizadas as seguintes imagens a seguir:

**Figura 14 - Índice de vegetação (SAVI) das imagens utilizadas para os anos de 1984, 1990, 1992, 2001, 2006, 2011 e 2016 na análise espectral.**



Fonte: Autor (2020)

### 3.6.1.5 Enhanced Vegetation Index (EVI)

O *Enhanced Vegetation Index* (EVI) ou simplesmente Índice de Vegetação Melhorado, é um índice de vegetação 'otimizado' de modo a dar destaque a vegetação, tendo melhor sensibilidade em regiões de alta biomassa.

Sua combinação para os Satélites Landsat5, Landsat7 e Landsat8 é respectivamente:

$$EVI = 2,5 * \left( \frac{(B4 - B3)}{(B4 + 6 * B3 - 7,5 * B1) + 1} \right)$$

Em que:

B1 - Se refere a Banda 1 do Satélite Landsat 5 ou 7

B3 - Se refere a Banda 3 do Satélite Landsat 5 ou 7

B4 - Se refere a Banda 4 do Satélite Landsat 5 ou 7

$$EVI = 2,5 * \left( \frac{(B5 - B4)}{(B5 + 6 * B4 - 7,5 * B2) + 1} \right)$$

Em que:

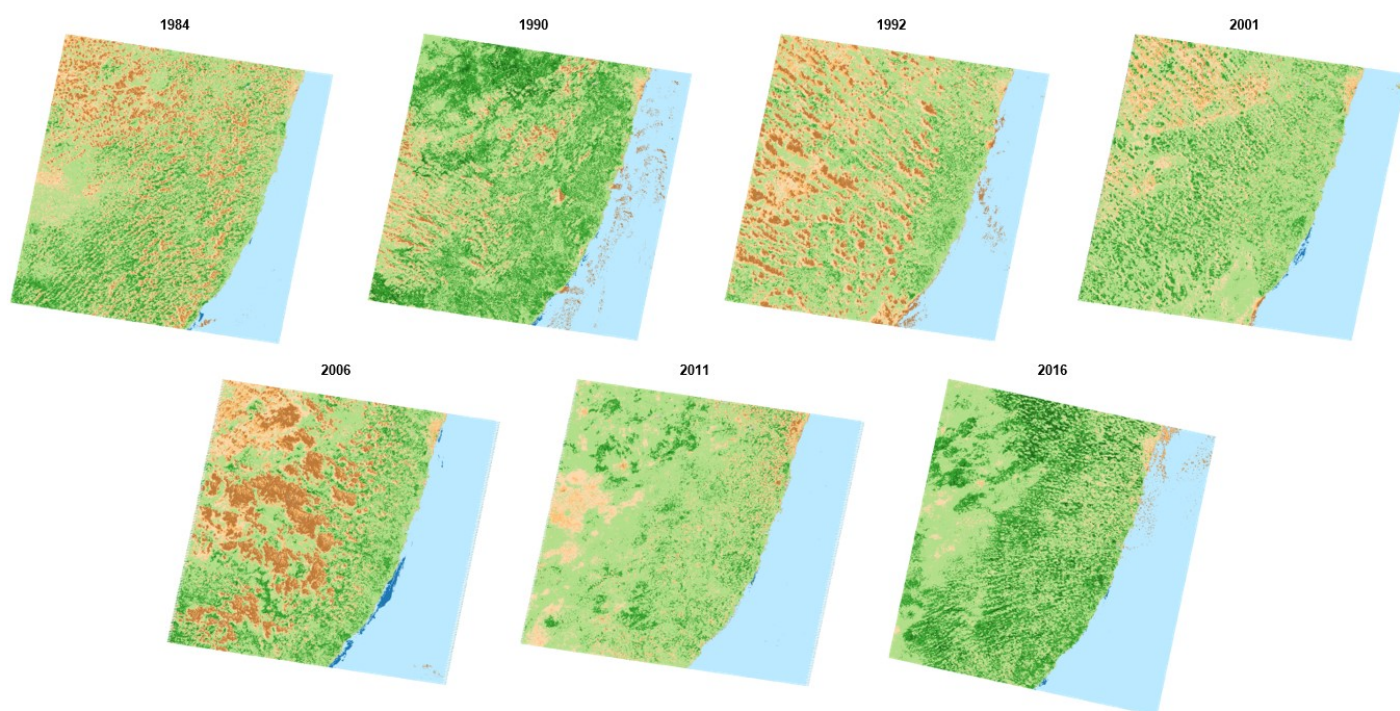
B2 - Se refere a Banda 2 do Satélite Landsat 8

B4 - Se refere a Banda 4 do Satélite Landsat 8

B5 - Se refere a Banda 5 do Satélite Landsat 8

Após terem sido adquiridas através do EOS - Land Viewer, foram processadas e utilizadas as seguintes imagens a seguir:

**Figura 15 - Índice de vegetação (EVI) das imagens utilizadas para os anos de 1984, 1990, 1992, 2001, 2006, 2011 e 2016 na análise espectral.**



Fonte: Autor (2020)

### 3.6.1.6 Normalized Difference Water Index (NDWI)

O NDWI, *Normalized Difference Water Index*, em português: Índice de Umidade por Diferença Normalizada faz com que o uso de radiação próxima ao infravermelha reflita a luz verde visível. O NDWI é usado por pesquisadores para estimativas de corpos aquáticos, para aferir o grau de turbulência, entre outros aspectos dos corpos hídricos e outros elementos com água (LANDVIEW, 2019).

Sua combinação para os Satélites Landsat5, Landsat7 e Landsat8 é respectivamente:

$$NDWI = \frac{(B2 - B4)}{(B2 + B4)}$$

Em que:

B2 - Se refere a Banda 2 do Satélite Landsat 5 ou 7

B4 - Se refere a Banda 4 do Satélite Landsat 5 ou 7

$$NDWI = \frac{(B3 - B5)}{(B3 + B5)}$$

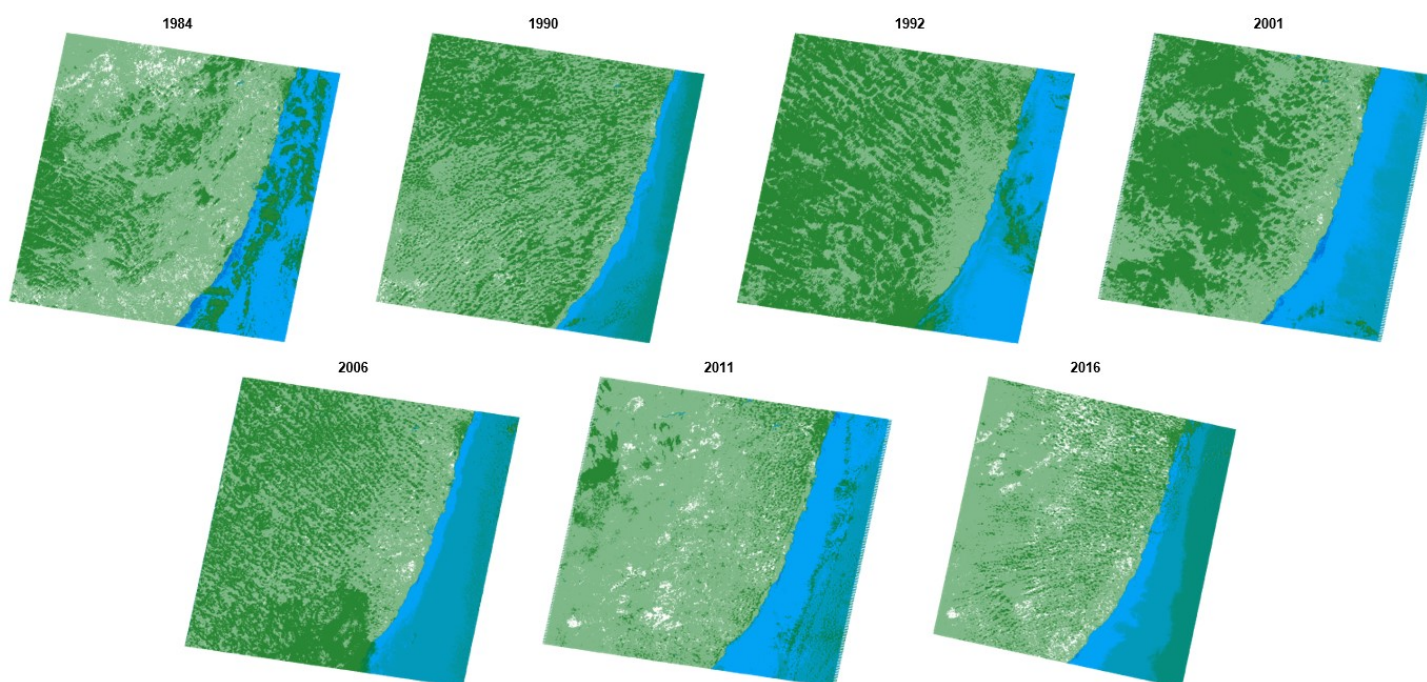
Em que:

B3 - Se refere a Banda 3 do Satélite Landsat 8

B5 - Se refere a Banda 5 do Satélite Landsat 8

Após terem sido adquiridas através do EOS - Land Viewer, foram processadas e utilizadas as seguintes imagens a seguir:

**Figura 16 - Índice de vegetação (NDWI) das imagens utilizadas para os anos de 1984, 1990, 1992, 2001, 2006, 2011 e 2016 na análise espectral.**



Fonte: Autor (2020)

### 3.6.1.7 Penetração Atmosférica (PA)

Esta combinação tem como principal objetivo exaltar os alvos com a melhor penetração atmosférica, podendo ser usada para caracterizar a humidade nos solos, na vegetação e em outros alvos que possuam uma considerável reflectância (LANDVIEW, 2019). Sua combinação para os Satélites Landsat5, Landsat7 e Landsat8 é respectivamente:

$$PA = (B7 + B5 + B4)$$

B4 - Se refere a Banda 4 do Satélite Landsat 5 ou 7

B5 - Se refere a Banda 5 do Satélite Landsat 5 ou 7

B7 - Se refere a Banda 7 do Satélite Landsat 5 ou 7

$$PA = (B7 + B6 + B5)$$

Em que:

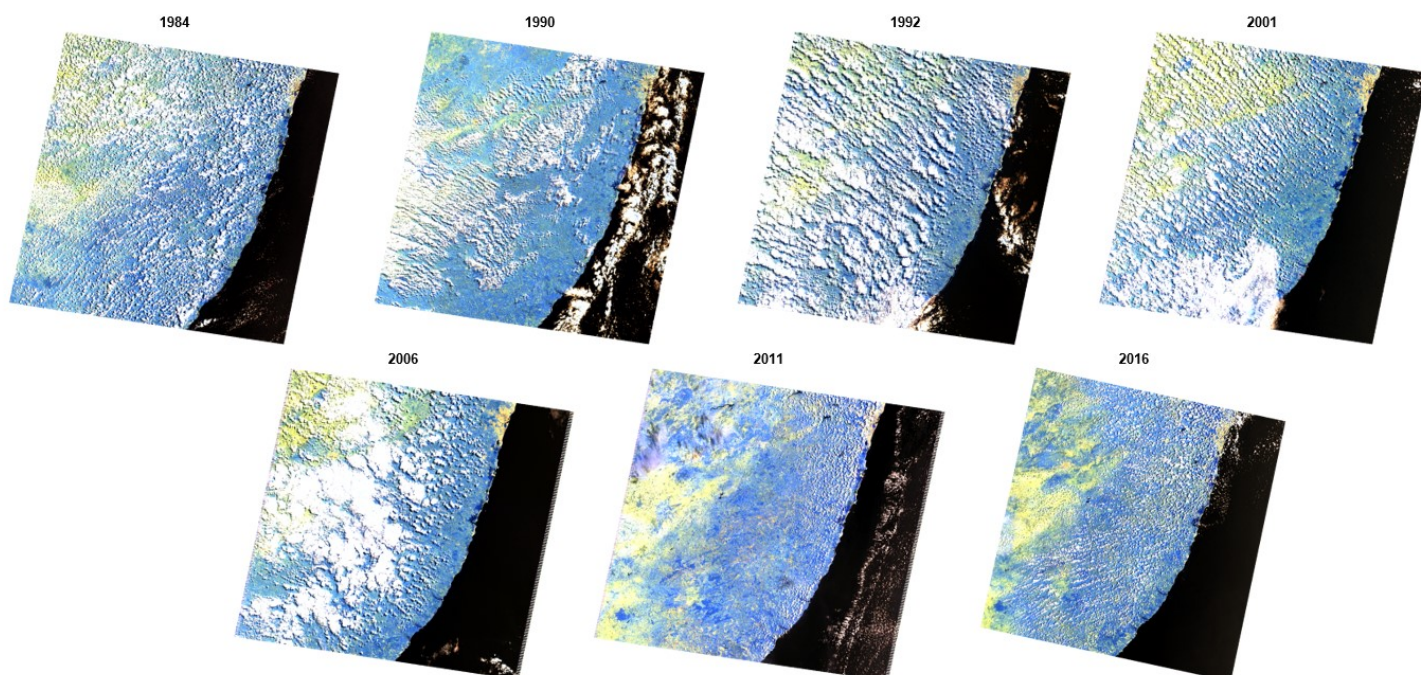
B5 - Se refere a Banda 5 do Satélite Landsat 8

B6 - Se refere a Banda 6 do Satélite Landsat 8

B7 - Se refere a Banda 7 do Satélite Landsat 8

Após terem sido adquiridas através do EOS - Land Viewer, foram processadas e utilizadas as seguintes imagens a seguir:

**Figura 17 - Imagens de composição falsa cor (PA) utilizadas para os anos de 1984, 1990, 1992, 2001, 2006, 2011 e 2016 na análise espectral.**



Fonte: Autor (2020)

### 3.6.1.8 Index Stack (PI)

A popularmente chamada Pilha de Índices, ou *Index Stack*, é um índice que junta várias características da paisagem. Esse índice diferencia uma série de alvos de acordo com sua leitura espectral. Uma circunstância a ser ponderada é que as nuvens surgem como uma mistura de púrpura e magenta, e assim esse índice não é suficientes para diferenciar nuvens de água (LANDVIEW, 2019).

Sua combinação para os Satélites Landsat5, Landsat7 e Landsat8 é respectivamente:

$$PI = \left( \frac{(B2 - B5)}{(B2 + B5)} + \frac{(B4 - B3)}{(B4 + B3)} + \frac{(B2 - B4)}{(B2 + B4)} \right)$$

Em que:

B2 - Se refere a Banda 2 do Satélite Landsat 5 ou 7

B3 - Se refere a Banda 3 do Satélite Landsat 5 ou 7

B4 - Se refere a Banda 4 do Satélite Landsat 5 ou 7



B5 - Se refere a Banda 5 do Satélite Landsat 5 ou 7

$$PI = \left( \frac{(B3 - B6)}{(B3 + B6)} + \frac{(B5 - B4)}{(B5 + B4)} + \frac{(B3 - B5)}{(B3 + B5)} \right)$$

Em que:

B3 - Se refere a Banda 3 do Satélite Landsat 8

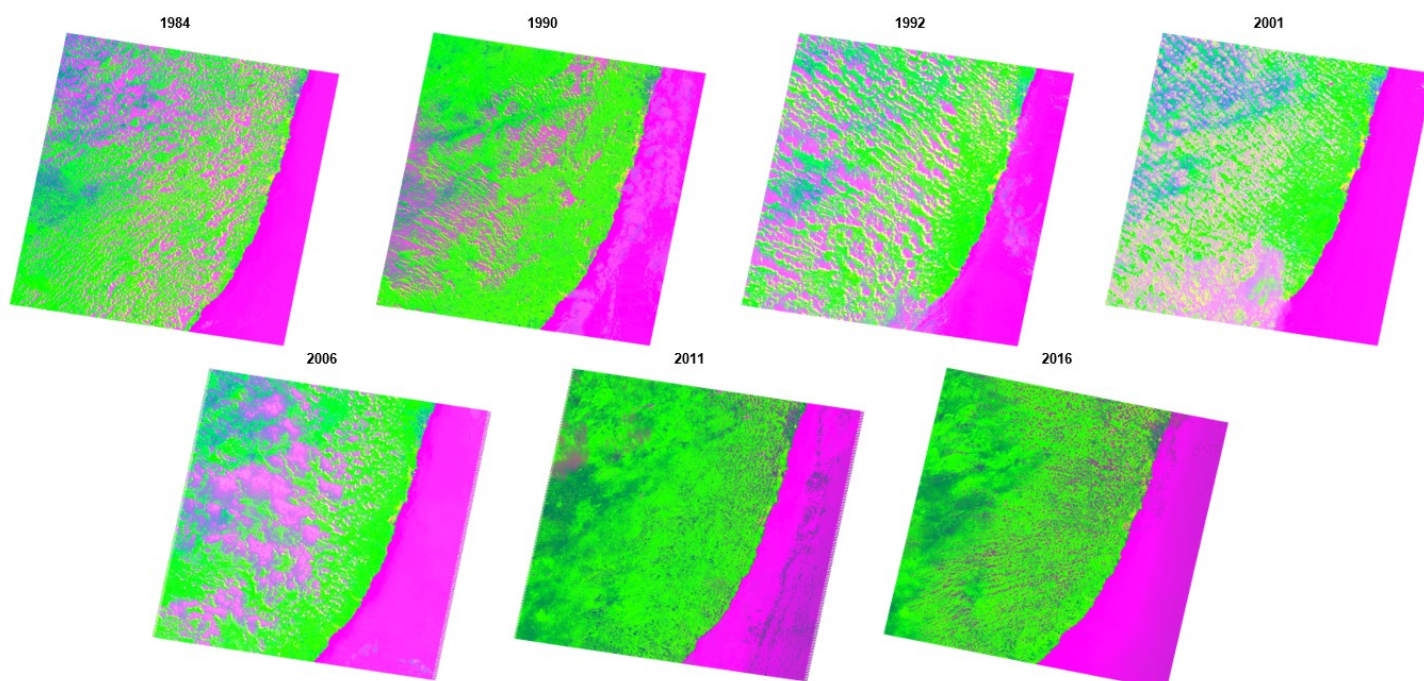
B4 - Se refere a Banda 4 do Satélite Landsat 8

B5 - Se refere a Banda 5 do Satélite Landsat 8

B6 - Se refere a Banda 6 do Satélite Landsat 8

Após terem sido adquiridas através do EOS - Land Viewer, foram processadas e utilizadas as seguintes imagens a seguir:

**Figura 18 - Índice de vegetação (PI) das imagens utilizadas para os anos de 1984, 1990, 1992, 2001, 2006, 2011 e 2016 na análise espectral.**



Fonte: Autor (2020)

### 3.6.1.9 Agriculture (AG)

Esta combinação de bandas é extremamente utilizada para monitorar colheitas agrícolas. Na imagem, verde representa uma vegetação vigorosa e saudável enquanto que vegetação não agrícola como árvores aparecem em verde escuro, por sua vez as vegetações pobre e áreas sem vegetação são castanho (LANDVIEW, 2019).

$$AG = SWIR1 + NIR + B1$$

$$AG = SWIR1 + NIR + B1$$

$$AG = SWIR1 + NIR + B2$$

Em que:

B1 - Se refere a Banda 2 da Linha de Satélites Landsat

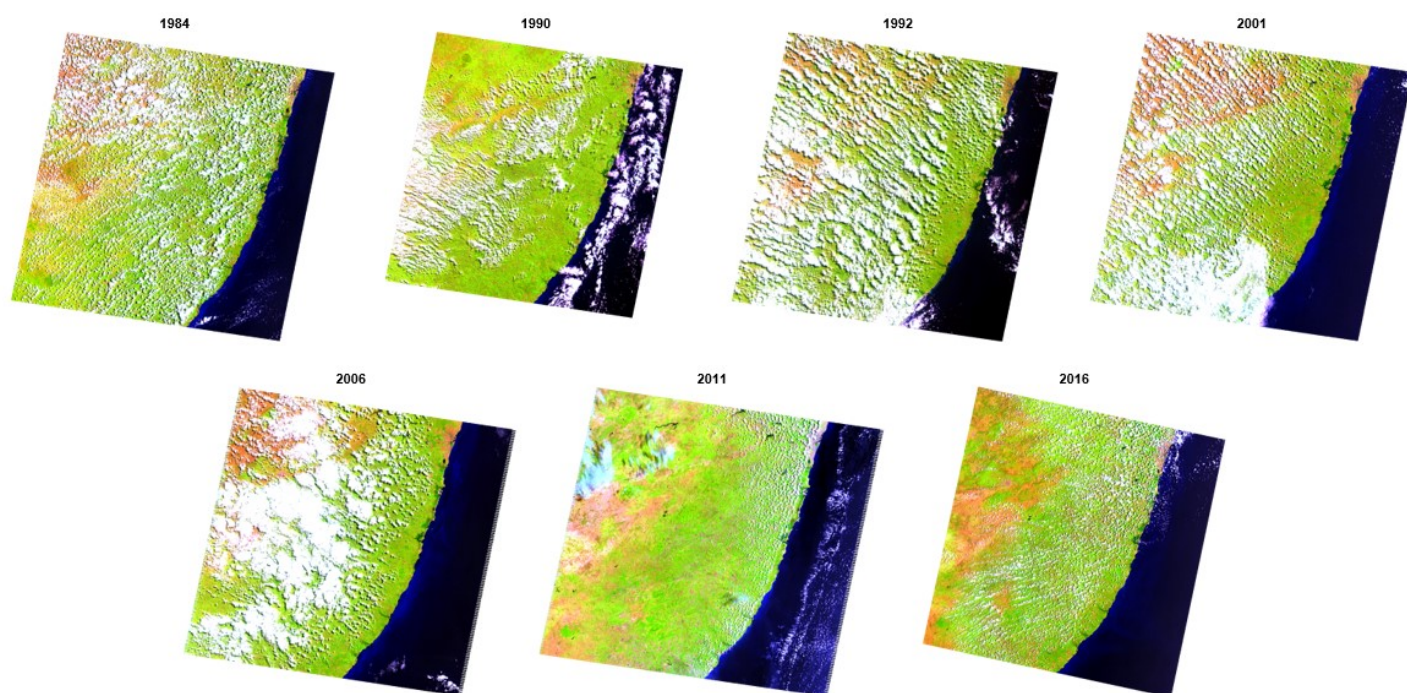
B2 - Se refere a Banda 3 da Linha de Satélites Landsat

NIR- Se refere a combinação infravermelho (uma espécie de aperfeiçoamento da B4) da Linha de Satélites Landsat, ou seja (B4+B3+B5) no satélite Landsat 5 e 7 ou (B5+B4+B3) no satélite Landsat 8.

SWIR1- Se refere a Banda SWIR1 (uma espécie de aperfeiçoamento da B5) da Linha de Satélites Landsat, tal banda é sensível a umidade dos alvos terrestres.

Após terem sido adquiridas através do EOS - Land Viewer, foram processadas e utilizadas as seguintes imagens a seguir:

**Figura 19 - Imagens de composição falsa cor (GA) utilizadas para os anos de 1984, 1990, 1992, 2001, 2006, 2011 e 2016 na análise espectral.**



Fonte: Autor (2020)

### ***3.6.2 Análise Espectral por Leitura de Pixel***

A análise espectral por leitura de pixel, utilizada na presente pesquisa, permite saber quais os valores dos níveis de cinza de um determinado pixel e de seus vizinhos. Tal leitura espectral do nível de cinza de uma banda é importante não apenas para compreensão do comportamento espectral de um determinado alvo, mais também sendo útil para verificação dos valores de pixels mais claros ou mais escuros, diferenciando os valores de uma feição (MELO et al., 2018). Ademais, tal técnica permite estudos do comportamento espectral dos alvos nas diferentes bandas espectrais.

#### ***3.6.2.1 Parâmetros e processos utilizados na Análise Espectral por Leitura de Pixel***

Utilizando o software de geoprocessamento Spring foi possível fazer a análise espectral por Leitura dos pixels da(s) banda(s) usada(s). Para ser utilizada, a ferramenta de Leitura de Pixel, deve-se primeiro criar um projeto seguindo todos os

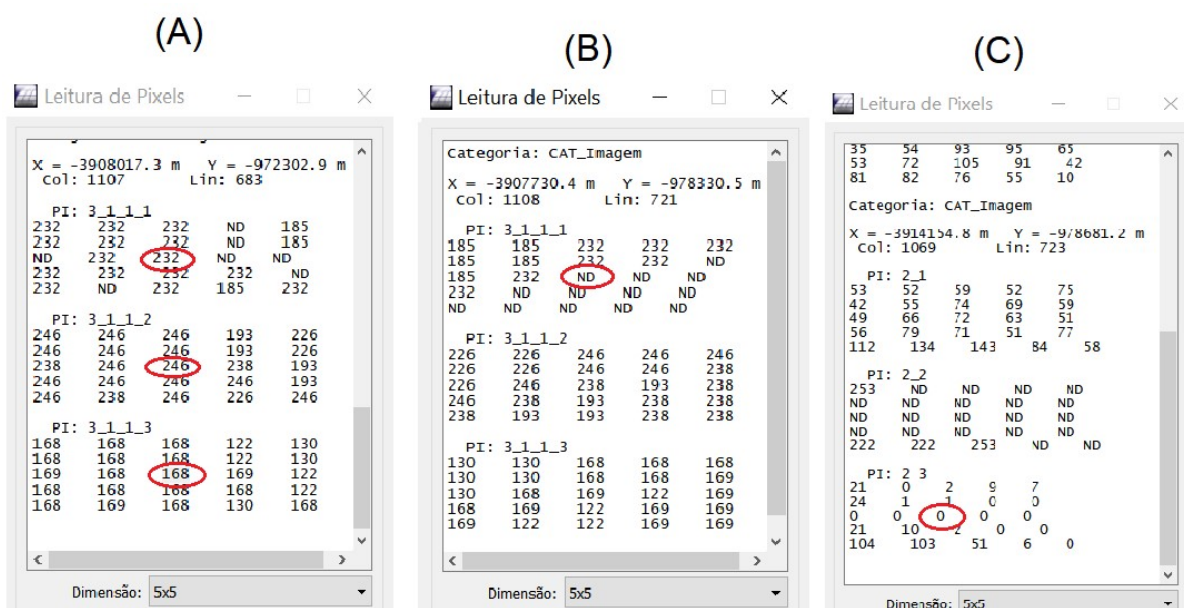
dados e sistemas geográficos adequados ao uso objetivo; criar um modelo de dados na categoria imagem e também as classes temáticas dos pontos a serem alvo; selecionar os arquivos da Categoria Imagem, corrigir e ajustar seus dados geográfico, e assim habilitar as ferramentas da mesma. Por fim, clica-se em Imagem e depois em Leitura de Pixels. Os padrões da análise espectral foram fundamentados em autores da área e no estudo fitogeográfico, confirme a tabela a baixo:

**Tabela 4 - Padrões utilizados na análise espectral por Leitura de Pixel**

| <b>Parâmetro</b>   | <b>Padrão/Medida Utilizada</b>   | <b>Fundamentação</b>   |
|--|--|--|
| Dimensões da Amostra de Pixel – As dimensões de uma amostra na leitura de pixel do Spring podem variar entre: 3x3, 5x5, 7x7 e 21x21. | 5x5 – Mais adequado para análise espectral de imagens da linha de satélites Landsat.<br><br>(Figura 20 [A])  | MELO et al., 2018  |
| Local/Ponto analisado na amostra de pixel por ecossistema.   | Foram escolhidos pontos onde sua localização fosse o máximo centralizada dentro do fragmento ecossistemas para evitar inerência de respostas espectrais de alvos antrópicos. | BANON; BARRERA, 1998.<br><br>NASCIMENTO, P. H. O. et al., 2014   |
| Quantidade de pontos por ecossistema.  | Foi escolhido um ponto de análise para cada ecossistema. Valendo ressaltar que cada um dos pontos responde a uma área de 30x30 metros quadrados, ou seja 900 metro.          | NASCIMENTO, P. H. O. et al., 2014<br><br>CANDEIAS, A. L. B, 1997 |
| Periodicidade das Imagens  | Foi analisado um total de 7 anos, num espaço temporal de 32 anos.  | MELO et al., 2018  |
| Conduas em erros padrões.  | Quando a resposta Espectral é 0 (Zero): nessa ocasião é posto nos dados o número 0. exemplo. (Figura 20 (C))   | MELO et al., 2018  |
|  | Quando a resposta espectral é ND: significa que o software por algum motivo não captou nenhuma resposta. Na Tabela de resultado é representado pelo ND. (Figura 20 (B))      |  |

Fonte: Autor (2020)

**Figura 20 -Processos e Erros na Leitura de Pixel.**



Fonte: Autor (2020)

### 3.7 Elaboração de mapas temáticos, tabelas e gráficos

Nesta etapa final foi elaborado através do Estudo Fitogeográfico e do Geoprocessamento (vetorização dos ecossistemas) o mapa dos ecossistemas presentes na APA de Guadalupe para o ano de 2019. Através desse mapa foi possível calcular a área(ha) dos alvos estudados, tornando possível um diagnóstico do Bioma Mata Atlântica e seus ecossistemas preservados na área, gerando inclusive gráficos que ilustraram de forma quantitativa esse diagnóstico.

Em um segundo momento, por meio da análise espectral foi possível organizar de forma tabular, seguindo a metodologia de Costa e Silva (1993), os resultados obtidos da leitura de pixel. Desse modo, foi construído uma série de gráficos referentes aos índices de vegetação dos ecossistemas estudados, seguindo parâmetros e estrutura de Schimidlin (1994).

### **3.7.1 Software Spring**

O Spring é um software brasileiro para Sistemas de Informações Geográficas (SIG) que teve seu berço no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), uma das principais instituições de pesquisa do Brasil. O software faz parte de um projeto da Divisão de Processamento de Imagens (DPI) do INPE com a participação de outras entidades que contribuíram para o desenvolvimento de seu código e também apoiando financeiramente.

O nome do programa vem de Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas e tem entre seus principais objetivos construir um sistema de informações geográficas para aplicações em Agricultura, Floresta, Gestão Ambiental, Geografia, Geologia, Planejamento Urbano e Regional, tornar-se amplamente acessível para a comunidade brasileira. Sendo um SIG de rápido aprendizado, fornece um ambiente unificado de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto para aplicações urbanas e ambientais.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este trabalho tem seus principais resultados divididos em duas partes: primeiro o Estudo Fitogeográfico dos Ecossistemas, trazendo um Diagnóstico do Bioma Mata Atlântica e seus principais ecossistemas na Área de Proteção Ambiental de Guadalupe; a segunda parte dos resultados traz uma Análise Espectral dos ecossistemas a partir do Estudo Fitogeográfico executado.

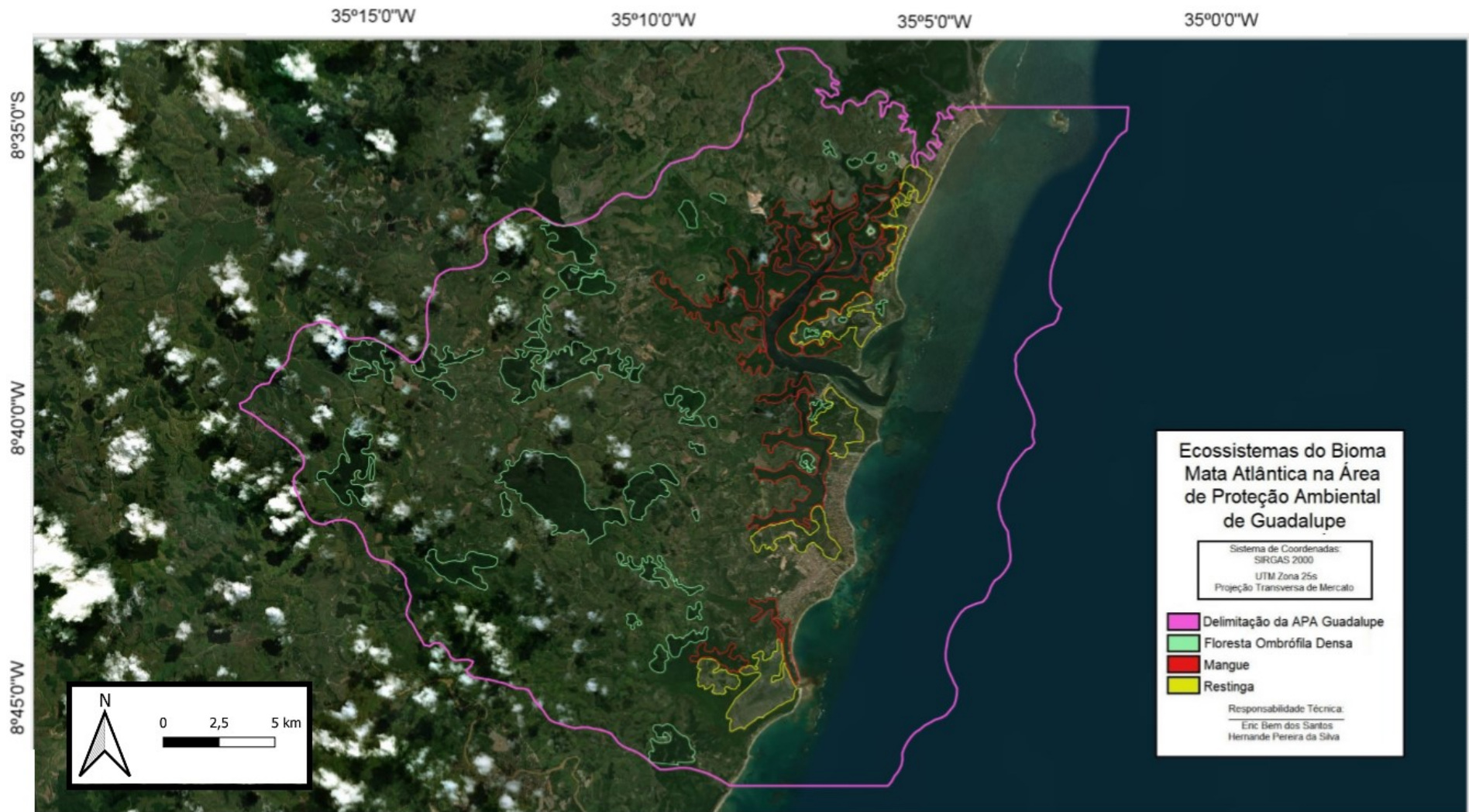
O mapeamento dos ecossistemas e a geração dos gráficos no Estudo Fitogeográfico, bem como a geração dos gráficos na Análise Espectral tem a função de trazer o estado de conservação, distribuição e melhores índices de vegetação para estudo dos ecossistemas como também visa subsidiar o desenvolvimento de políticas de controle do desmatamento, subsidiando materiais e técnicas para auxílio na tomada de decisão e formulação dessas políticas.

### 4.1 Estudo Fitogeográfico dos Ecossistemas

A APA de Guadalupe tem entre seus principais fundamentos a conservação e proteção aos sistemas naturais essenciais à biodiversidade, bem como a proteção dos ecossistemas naturais e promoção do desenvolvimento sustentável. Contudo, como veremos nos resultados aqui presentes, mesmo com a institucionalização desses objetivos os ecossistemas do Bioma Mata Atlântica, em especial os ecossistemas de floresta ombrófila densa, mangue e restinga sofreram uma série de danos pelas ações antrópicas em conjunto ao negligenciamento de sua proteção por parte das autoridades.

Como parte do estudo fitogeográfico, foi vetorizado os principais ecossistemas presentes na APE em termos espaciais de área, de modo que essa vetorização teve como resultado o mapa representado na Figura 21, mostrando que ainda existe alguns fragmentos de Mata Atlântica preservados na APA, destacando-se os ecossistemas de Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas, de Mangue e de Restinga. Após essa vetorização foi realizado as visitas de campo (Figura 22, 23, 24) e por fim o cálculo da área dos ecossistemas, de modo que a Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas possui 2927ha de área, o Mangue 2134ha e a Restinga 1259ha, como pode ser visto na Figura 25 (A).

Figura 21 - Principais Ecossistemas Vetorizados na APA de Guadalupe, Pernambuco – BR (2019)



Fonte: Autor (2020)



**Figura 22 – Áreas de Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas (Lat - 8.7235242 S / Long -35.1807206 W)**



Fonte: Autor (2020)

Figura 23 - Áreas de Mangue ( Lat -8.727534 S / Long -35.097883 W)



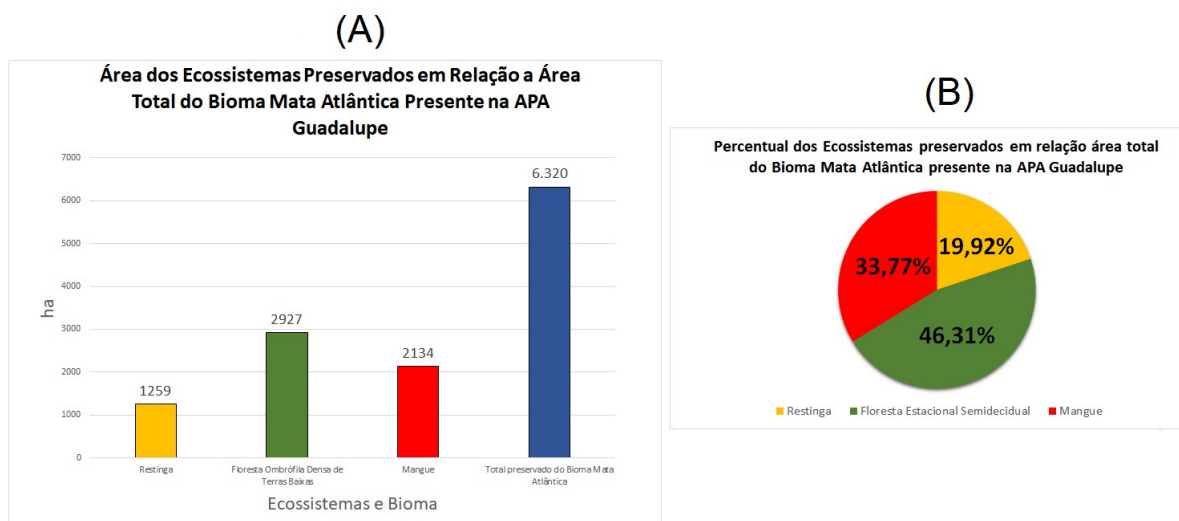
Fonte: Autor (2020)

**Figura 24 - Áreas de Restinga (Lat -8.744657 S / Long -35.094113 W)**



Fonte: Autor (2020)

**Figura 25- Área e Percentual dos Ecossistemas de Mata Atlântica na APA de Guadalupe**



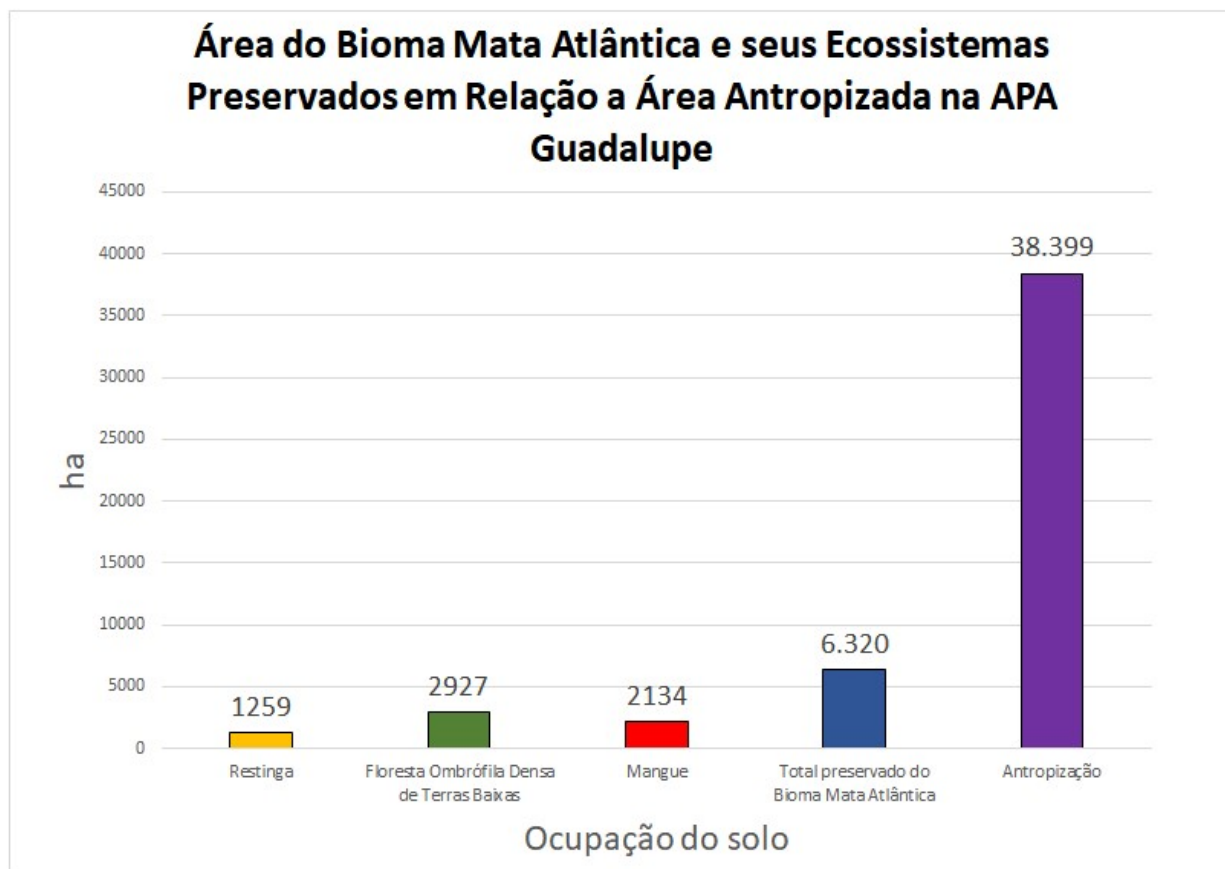
Fonte: Autor (2020)

Conforme a Figura 25 (B) a área dos ecossistemas preservados, em termos percentuais, corresponde a 46,31% Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas, 33,77% Mangue e 19,92% de Restinga. Uma circunstância a ser ponderada é que a predominância da Floresta Ombrófila Densa pode estar associada ao fato de seus fragmentos estarem mais presentes no interior da APA e, ou seja, um pouco mais distante das especulações imobiliárias do litoral em relação aos demais ecossistemas. Além disso, a predominância da Floresta Ombrófila Densa entre os ecossistemas preservados pode ter ligação com a existência da Reserva Biológica Saltinho, criada pelo Decreto Federal nº 88.744, de 21 de setembro de 1983, que consegue preservar de forma rígida sua conservação, visto que a mesma é uma Unidade de Proteção Integral e tem sua fiscalização feita pelo ICM Bio.

O Mangue e a Restinga se encontram mais impactados pela antropização por estarem mais próximo ao litoral, onde a atividade imobiliária é mais intensa, de modo que o número de residências cresce de forma contínua e de maneira acentuada. Chama atenção o fato da Restinga estar com apenas 1259ha de área (Figura 25 (A)), desse tanto a maioria está no entorno da Sede da Unidade de Conservação.

Levando em consideração que a APA possui uma área total de 44.799ha e apenas 6320ha de seu território é de Mata Atlântica preservada fica perceptível que a maioria da APA infelizmente já se encontra antropizada. Conforme pode ser proporcionalizado na Figura 26 o território antropizado já ocupa 38399ha.

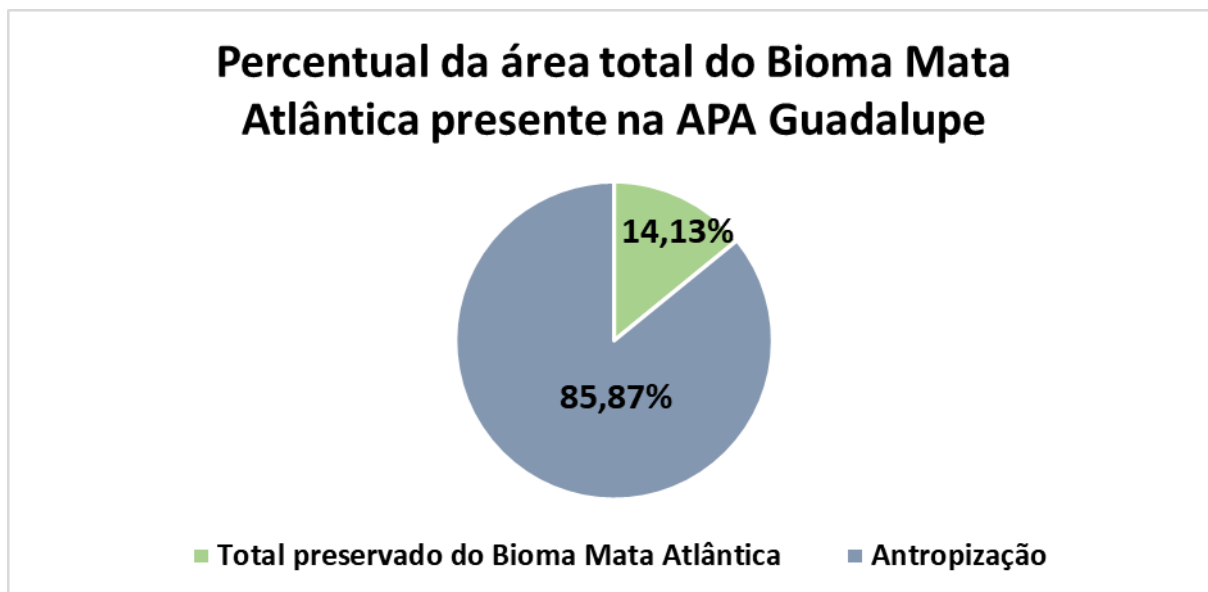
**Figura 26 - Área dos Ecossistemas de Mata Atlântica em Relação a Área Antropizada na APA de Guadalupe**



Fonte: Autor (2020)

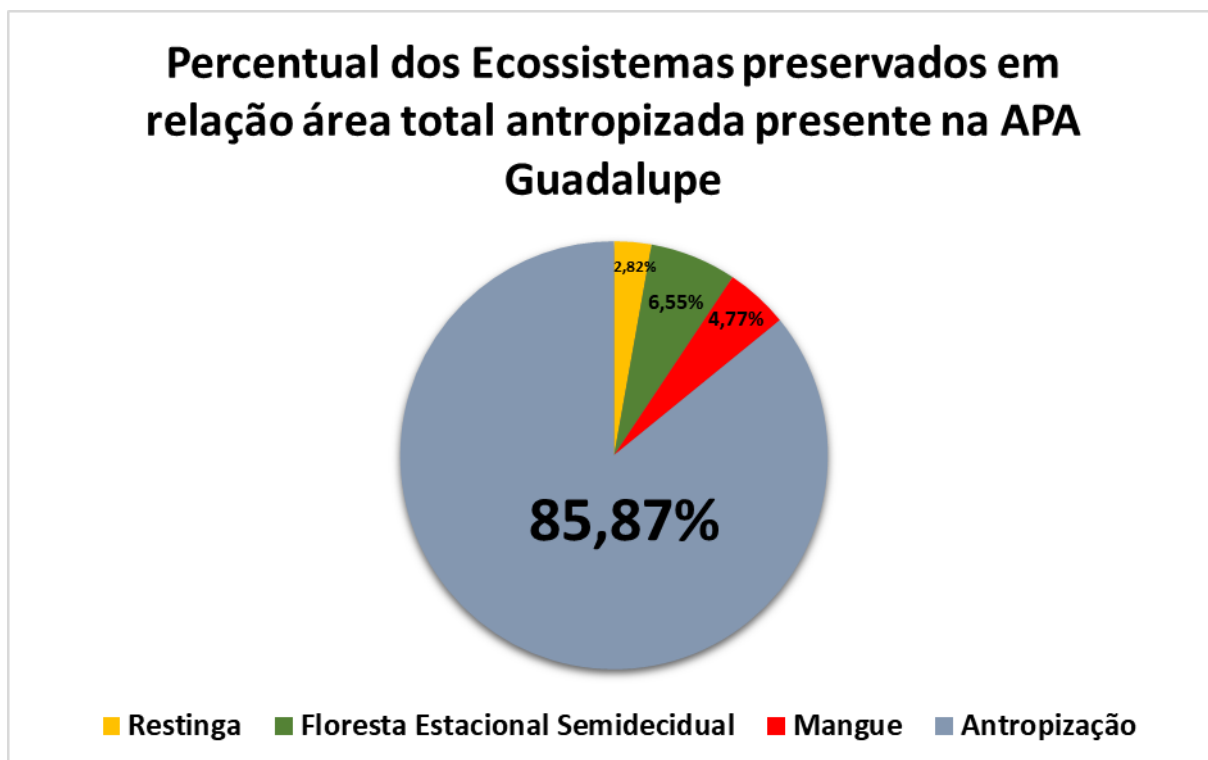
Com uma área ocupada de 38399ha, a antropização já representa 85,87% da área total da APA, conforme Figura 27, desse percentual é evidente que em maioria se tornou antropizado através da cultura canavieira, mas que hoje tem como principal inimigo a especulação imobiliária, conforme pode ser visto em seu plano de maneja (CPRH, n.d.). No que se refere a especulação imobiliária, vale lembrar que ela hoje é a maior responsável pela destruição dos ecossistemas ainda preservados, muito em virtude de sua expansão na área mais costeira da UC. Em virtude dessa expansão se percebe que os ecossistemas de Mangue e Restinga possuem as menores áreas conforme já visto anteriormente e na Figura 28.

**Figura 27 - Percentual de Mata Atlântica em Relação a Área Antropizada na APA de Guadalupe**



Fonte: Autor (2020)

**Figura 28 - Percentual dos Ecossistemas em Relação a Área Antropizada na APA de Guadalupe**



Fonte: Autor (2020)

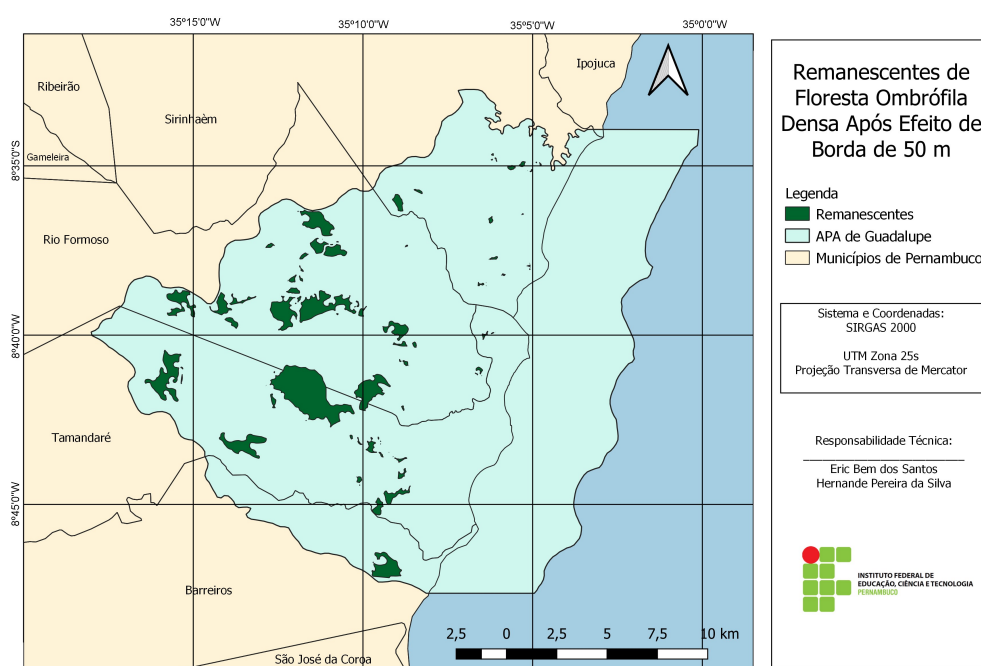
#### 4.1.1 Métricas do Efeito de Borda em Floresta Ombrófila Densa

Seguindo a metodologia de DANTAS et al. (2017) foi projetado um cenário referente as métricas da paisagem dos remanescentes de Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas sobre efeito de borda de 50 e 100 metros. A aplicação desses cenários se deu no software Qgis, por meio do buffer, trabalhado na vetorização dos ecossistemas para o ano de 2019.

Os cenários calculados mostraram que com a consolidação do efeito de borda de 50m, 2 fragmentos de Floresta Ombrófila Densa estram sem núcleo e aproximadamente 1368,68ha, da área total, estarão sofrendo distúrbios ecológicos diretos do efeito de borda. Essa área representa 46,76% das áreas total do ecossistema de Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas.

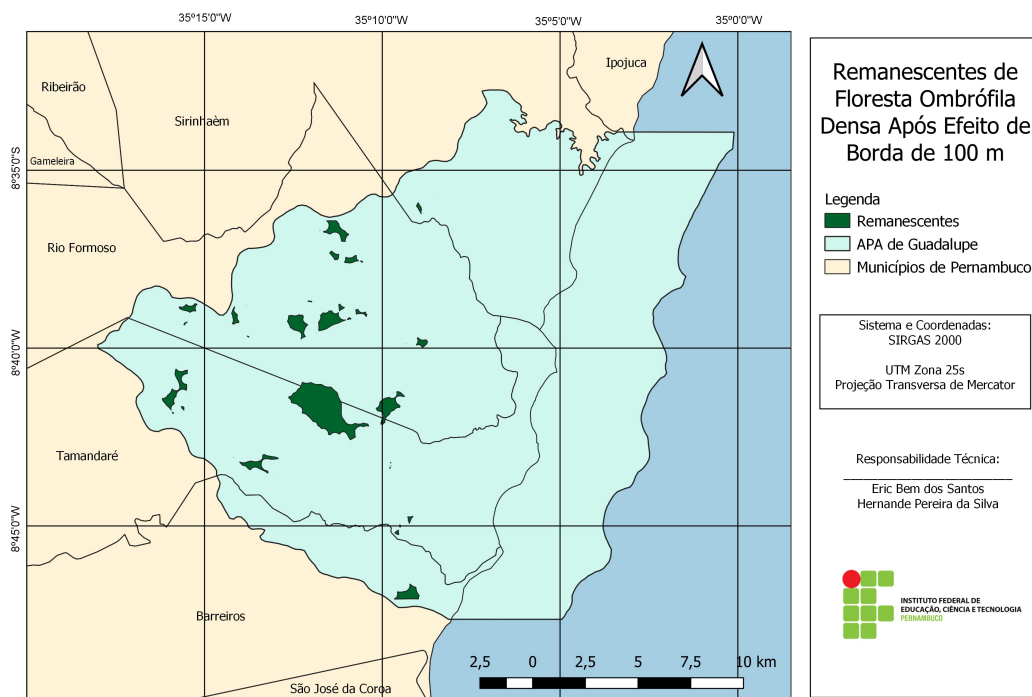
Com um cenário de efeito de borda em 100m os valores ficam ainda mais preocupantes. O cenário aponta para o desaparecimento de aproximadamente 25 núcleos dos remanescentes de Floresta Ombrófila Densa. Aproximadamente 1673,09ha, da área total, estará sofrendo distúrbios ecológicos diretos do efeito de borda, ou seja, 57,16% do ecossistema no ano de 2019.

**Figura 29 - Métricas do Efeito de Borda de 50m em Floresta Ombrófila Densa - 2019**



Fonte: Autor (2020)

**Figura 30 - Métricas do Efeito de Borda de 100m em Floresta Ombrófila Densa - 2019**



Fonte: Autor (2020)

#### 4.2 Análise Espectral dos Ecossistemas

Através do software Spring foi possível fazer a análise espectral das combinações e índices de vegetação estudados que podem ser vistos na forma de carta-imagem no APÊNDICE I, no entanto para que esses dados fossem detalhadamente interpretados de forma quantitativa (em Níveis de Cinza - NC) foram passados para planilhas do Excel de modo que o registro de seus dados ficam mais explícitos, essas planilhas estão presentes no APÊNDICE II onde é possível ter acesso não apenas aos dados quantitativos da análise espectral como também é possível ter acesso as coordenadas geográficas (Lat e Long) e coordenadas digitais (Col e Lin) da amostra.

A partir da leitura de pixel e dessas planilhas de dados (APÊNDICE II) foi possível realizar a construção de gráficos para cada um dos ecossistemas em cada uma das combinações e índices, configurando-se a análise espectral por completo, como mostrado nos tópicos a seguir. Os valores apresentados, por esse processo,

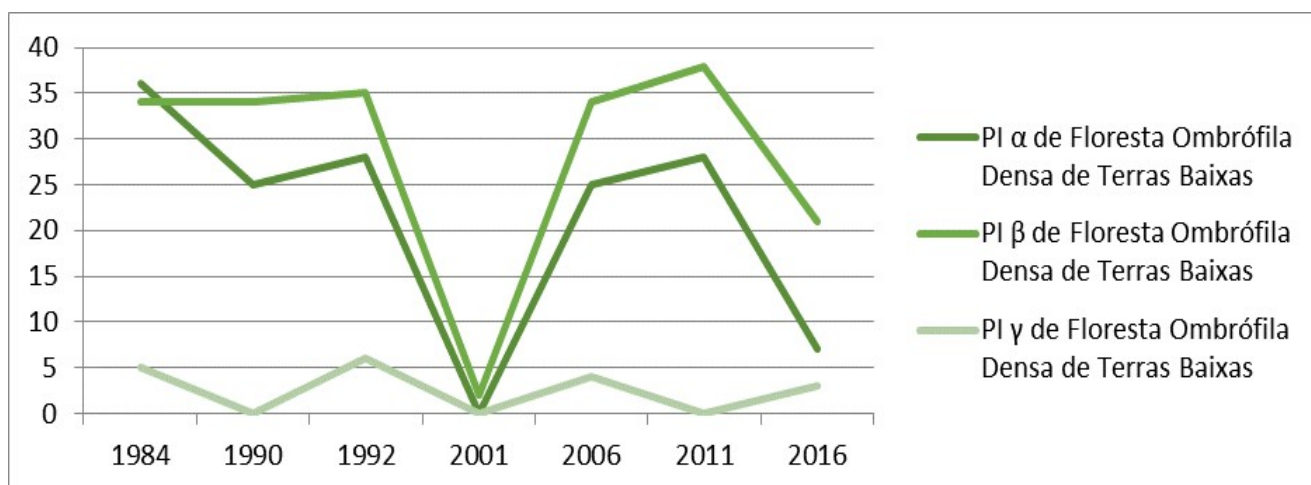


correspondem aos pixels presentes na imagem original, independentemente da escala de visualização da imagem na tela (MELO et al., 2018).

#### 4.2.1 Resultados: Cor Natural (RGB)

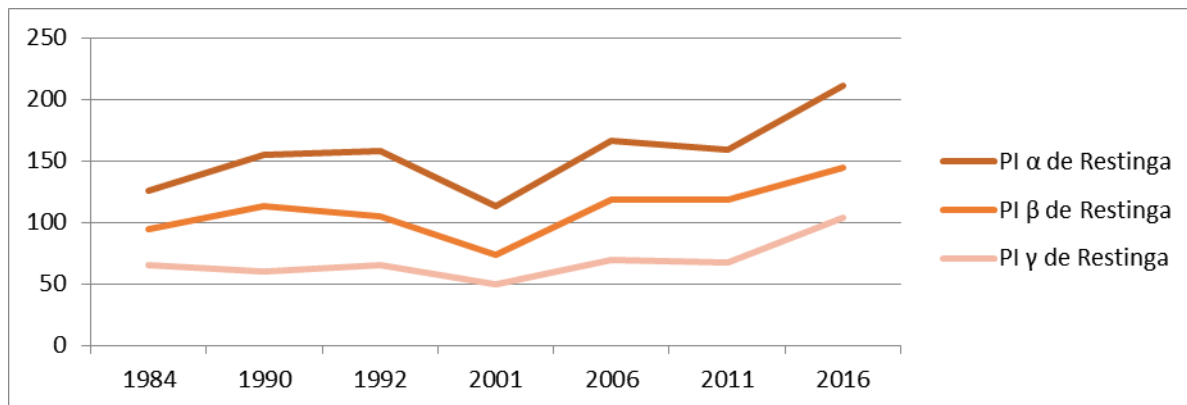
Na combinação 'RGB' ou chamada de Cor Natural os resultados mostram que os ecossistemas estudados não foram facilmente identificados mostrando uma variação em termos de nível de cinza sobretudo nos ecossistemas de mangue e mata atlântica, onde houve forte variações em especial no ano de 2001, onde os dados para a mata atlântica chegaram a 0, entre uma média de 35 para o Pixel(PI)  $\beta$ , 25 para o PI  $\alpha$  e 5 para PI  $\gamma$ . No mangue por sua vez, existiu forte variação em uma série de anos em destaque 1992, 2006, 2011 e 2016 onde todos os pixes mostraram-se não seguirem um padrão conciso. Na restinga tivemos a menor variação para a combinação RGB, mesmo assim se mostrando não precisa.

**Gráfico 1 - Análise espectral da Floresta Ombrófila de Terras Baixas nas imagens RGB em níveis de cinza (NC)**



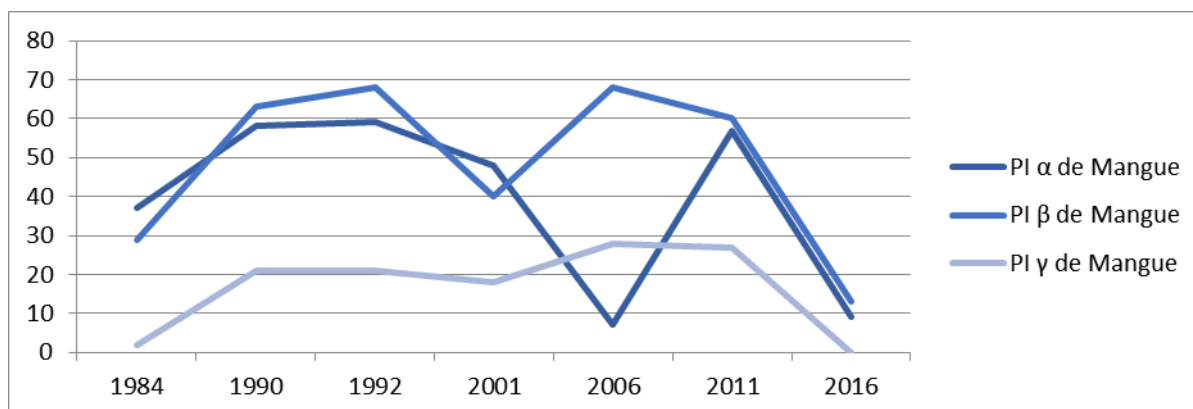
Fonte: Autor (2020)

**Gráfico 2 - Análise espectral da Restinga nas imagens RGB em níveis de cinza (NC)**



Fonte: Autor (2020)

**Gráfico 3 - Análise espectral do Mangue nas imagens RGB em níveis de cinza (NC)**



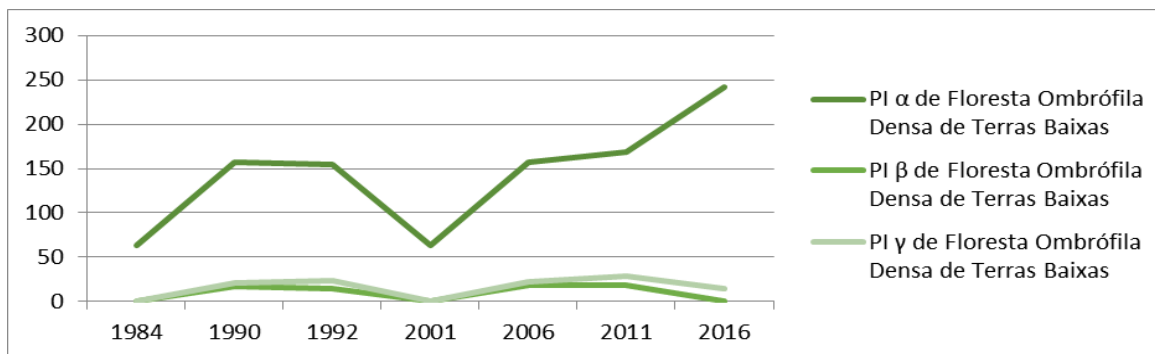
Fonte: Autor (2020)

#### **4.2.2 Resultados: Infravermelho de Vegetação (IVV)**

Os resultados do Infravermelho de Vegetação (IVV) mostraram-se extremamente promissores na identificação dos ecossistemas de Mangue e Restinga. Uma circunstância a ser ponderada é que essa identificação do Mangue, mostrou-se em formato da assinatura espectral (variando de 150 a 220 NC) no PI  $\alpha$  e também nos PI  $\beta$  e PI  $\gamma$  variando em valores muito próximos ao 50NC; no que se refere a Restinga essa assinatura foi mais acentuada no PI  $\alpha$  possuindo uma

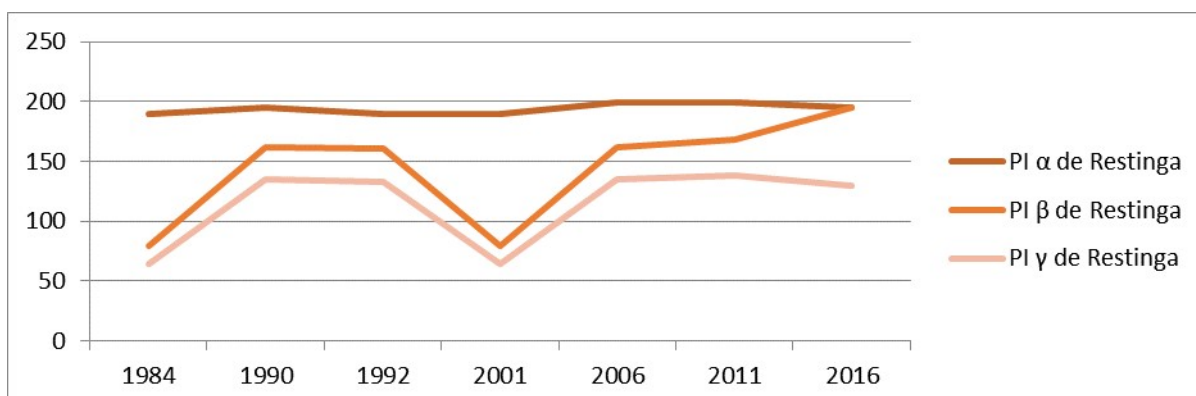
constante próxima aos 200NC. A Floresta Ombrófila Densa não foi facilmente identificada no IVV.

**Gráfico 4 - Análise espectral da Floresta Ombrófila de Terras Baixas nas imagens IVV em níveis de cinza (NC)**



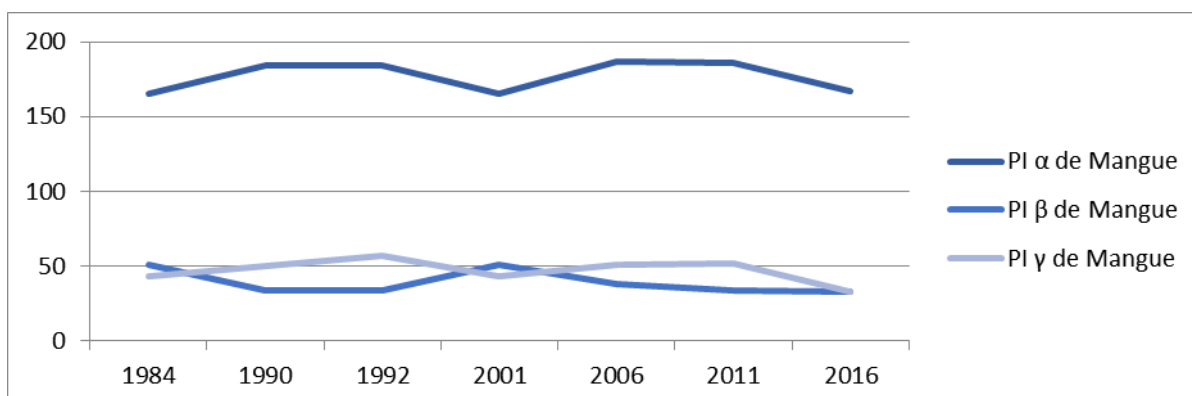
Fonte: Autor (2020)

**Gráfico 5 - Análise espectral da Restinga nas imagens IVV em níveis de cinza (NC)**



Fonte: Autor (2020)

**Gráfico 6 - Análise espectral do Mangue nas imagens IVV em níveis de cinza (NC)**

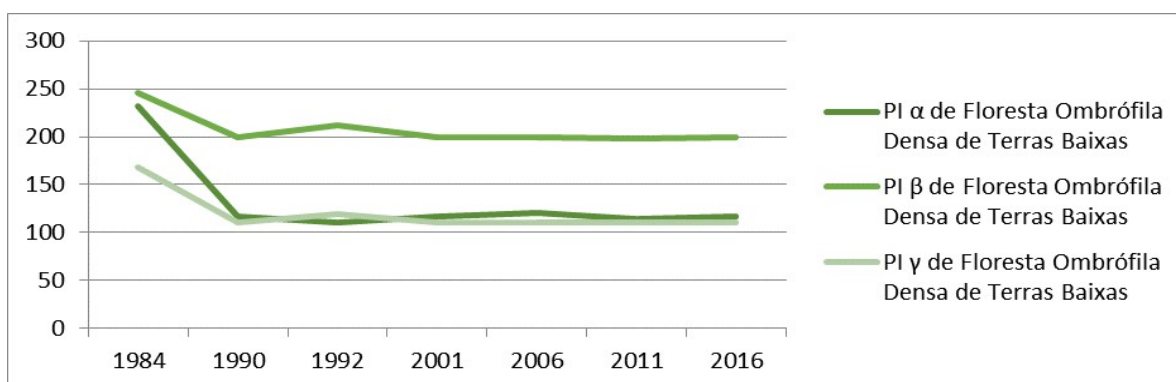


Fonte: Autor (2020)

#### 4.2.3 Resultados: Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

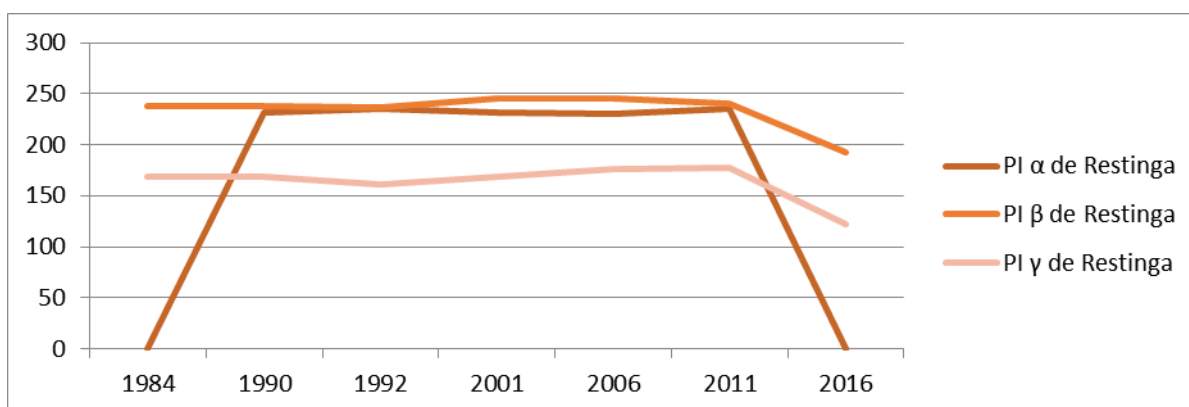
No *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), assim como no IVV percebemos um forte potencial de identificação dos ecossistemas de Mangue e Floresta Ombrófila Densa. No gráfico de Floresta Ombrófila Densa percebemos uma forte estabilidade dos Pixels  $\alpha$  (entre 100 e 150),  $\beta$  (na faixa dos 200NC), e  $\gamma$  (entre 100 e 150) – com exceção do ano de 1984, um outlier. No Mangue o gráfico mostra-se estável entre 150 e 250, de forma que em todos os três PI os Níveis de NC não ultrapassaram esses valores. A restinga por sua vez não se mostrou facilmente identificável no NDVI.

**Gráfico 7 - Análise espectral da Floresta Ombrófila de Terras Baixas nas imagens NDVI em níveis de cinza (NC)**



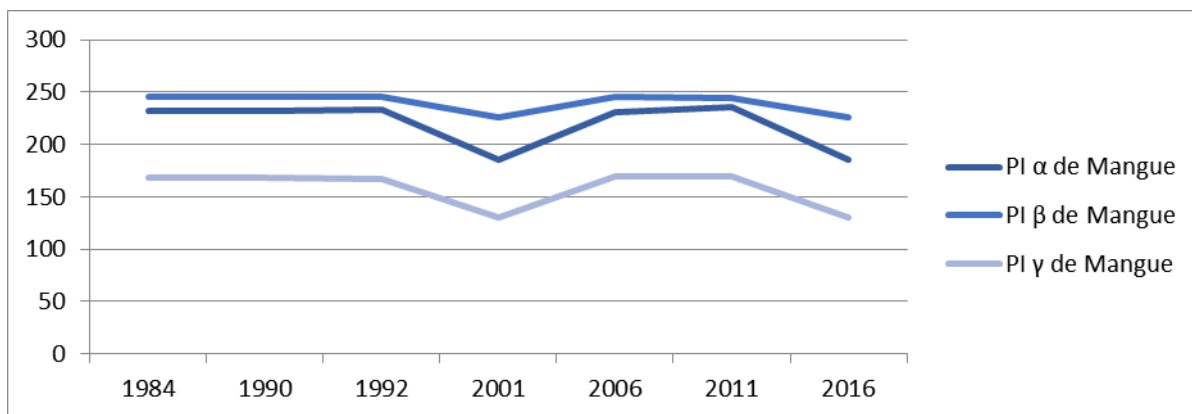
Fonte: Autor (2020)

**Gráfico 8 - Análise espectral da Restinga nas imagens NDVI em níveis de cinza (NC)**



Fonte: Autor (2020)

**Gráfico 9 - Análise espectral do Mangue nas imagens NDVI em níveis de cinza (NC)**

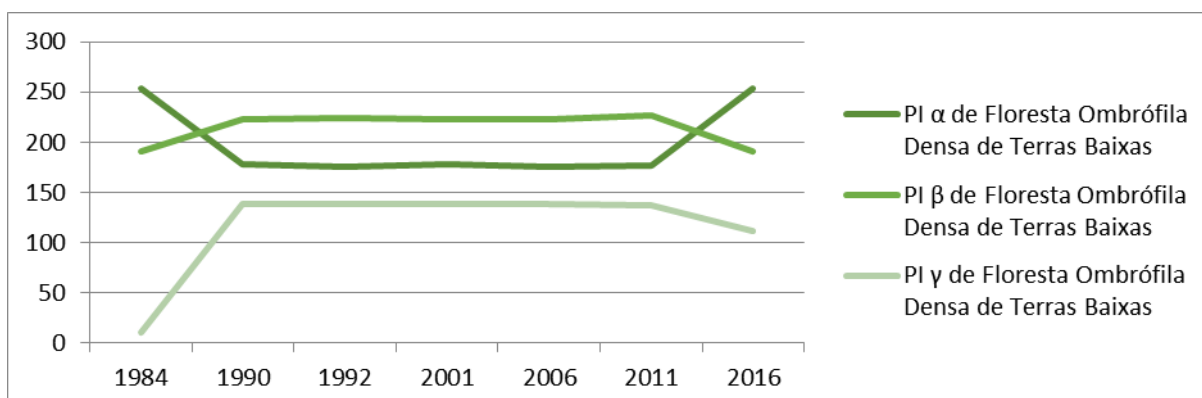


Fonte: Autor (2020)

#### **4.2.4 Resultados: Vegetation Index Soil-Adjusted (SAVI)**

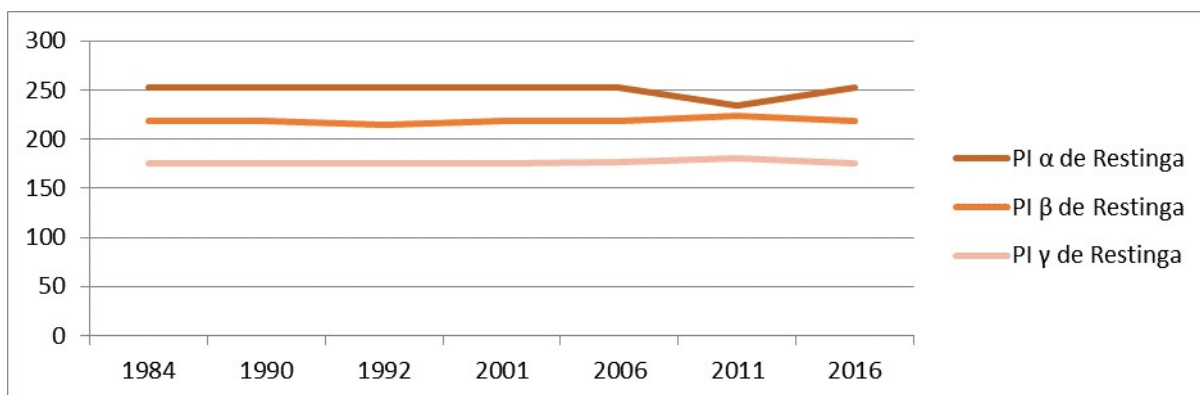
No *Vegetation Index Soil-Adjusted (SAVI)* a Floresta Ombrófila Densa não se mostrou estável nos resultados gráficos, bem o Mangue que a pesar de ter tido uma menor variabilidade nos resultados do que a Floresta Ombrófila Densa também se mostrou instável. No entanto a Restinga se mostrou estável em todos seus Pixels analisados. Desse modo podemos destacar que o SAVI está entre os melhores índices para identificar os ecossistemas de restinga.

**Gráfico 10 - Análise espectral da Floresta Ombrófila de Terras Baixas nas imagens SAVI em níveis de cinza (NC)**



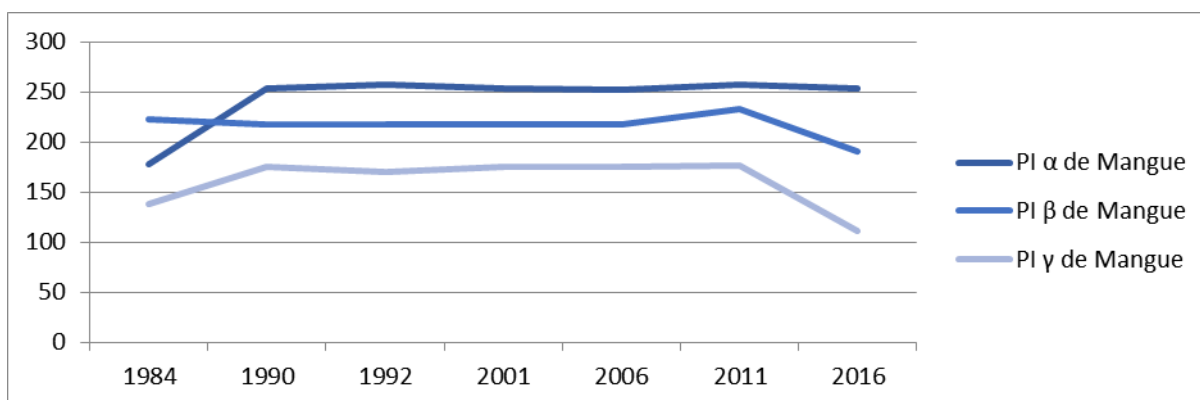
Fonte: Autor (2020)

**Gráfico 11 - Análise espectral da Restinga nas imagens SAVI em níveis de cinza (NC)**



Fonte: Autor (2020)

**Gráfico 12 - Análise espectral do Mangue nas imagens SAVI em níveis de cinza (NC)**

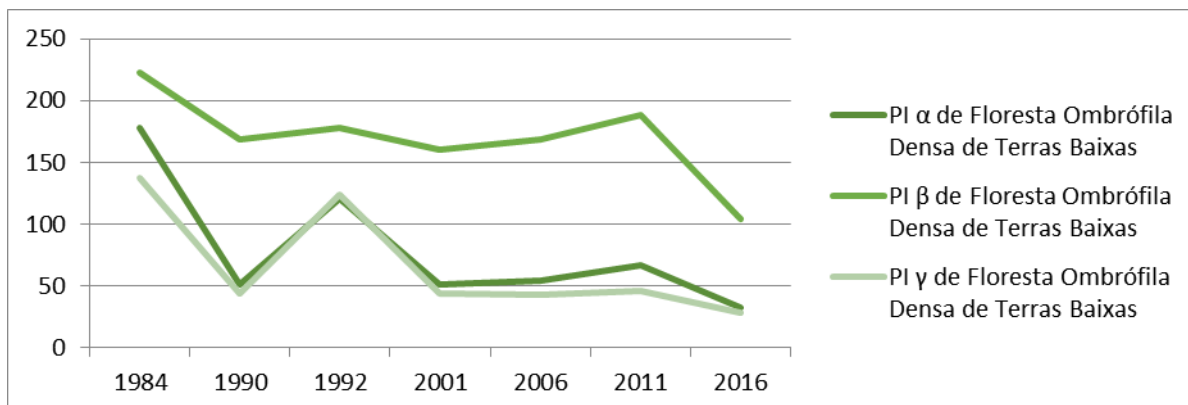


Fonte: Autor (2020)

#### **4.2.5 Resultados: Enhanced Vegetation Index (EVI)**

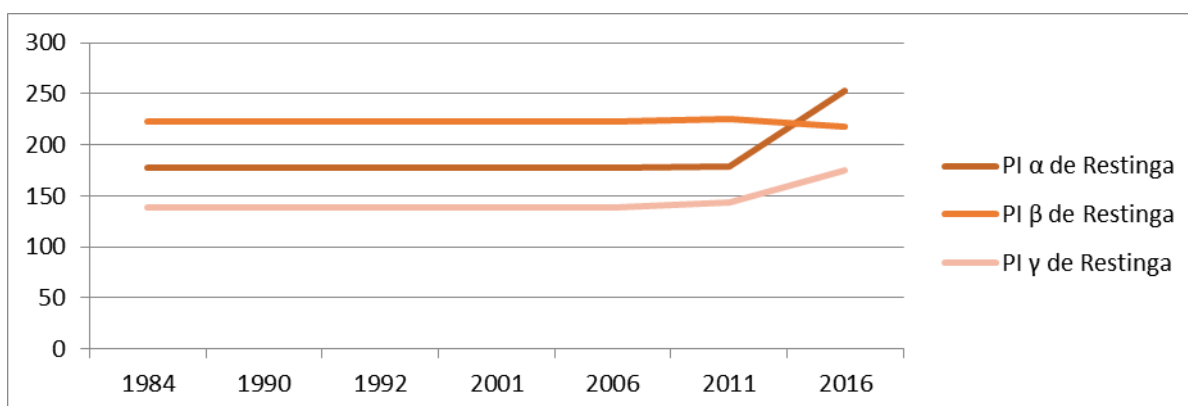
Assim como no SAVI, no *Enhanced Vegetation Index* (EVI) a Floresta Ombrófila Densa e o Mangue não se mostraram estáveis, ambos mostram variabilidades muito acentuadas nos diferentes anos. No entanto a Restinga se mostrou estável, sofrendo algumas variações no ano de 2016, ou seja, com a imagem do Landsat 8. Mesmo assim, podemos destacar que o EVI está entre os melhores índices para identificar os ecossistemas de restinga.

**Gráfico 13 - Análise espectral da Floresta Ombrófila de Terras Baixas nas imagens EVI em níveis de cinza (NC)**



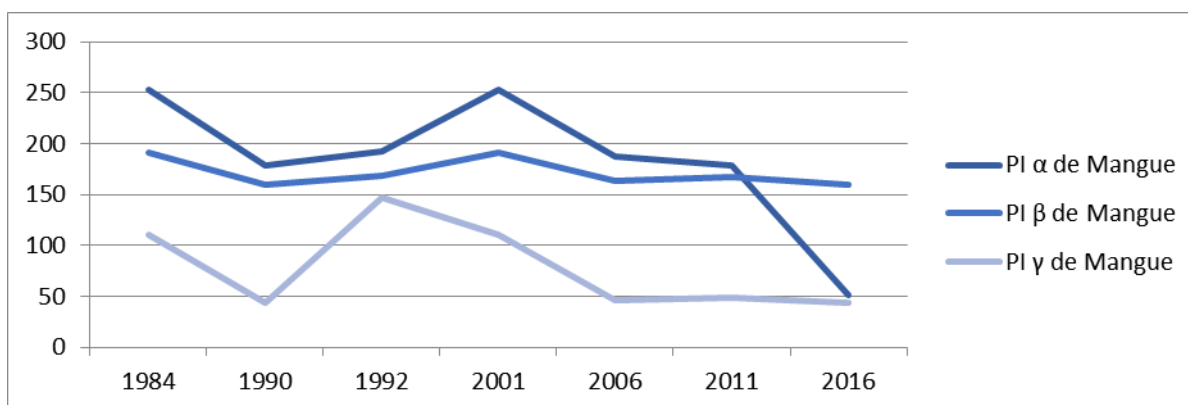
Fonte: Autor (2020)

**Gráfico 14 - Análise espectral da Restinga nas imagens EVI em níveis de cinza (NC)**



Fonte: Autor (2020)

**Gráfico 15 - Análise espectral do Mangue nas imagens EVI em níveis de cinza (NC)**

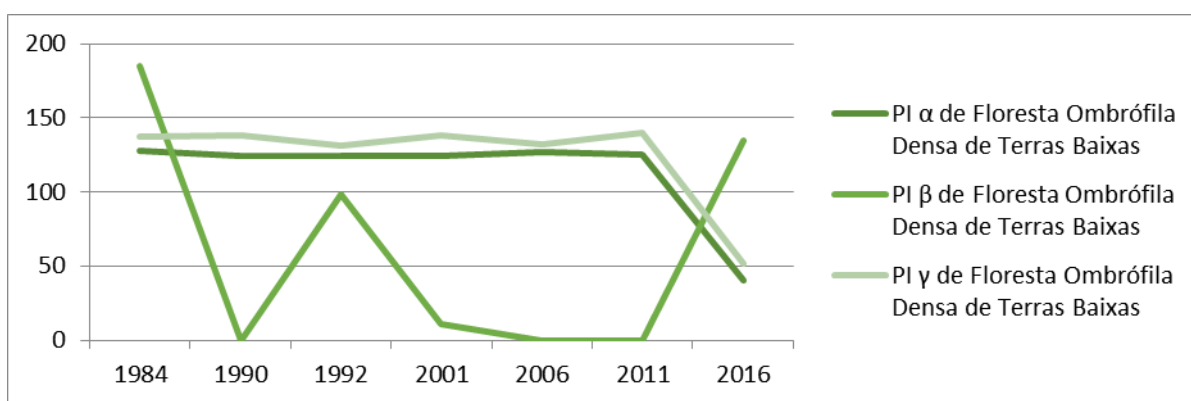


Fonte: Autor (2020)

#### 4.2.6 Resultados: Normalized Difference Water Index (NDWI)

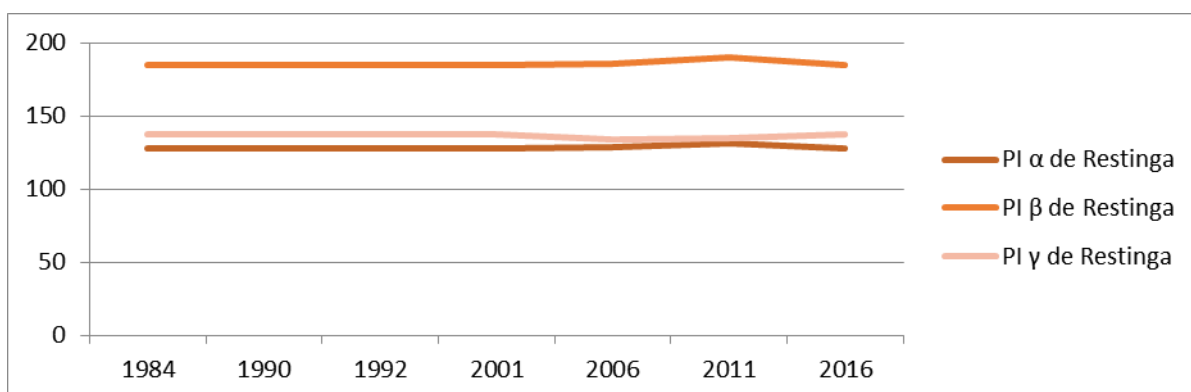
No *Normalized Difference Water Index* o Mangue e a Restinga se mostraram consideravelmente estáveis, sobretudo nos Pixels  $\alpha$  e  $\gamma$ . Ambos, no entanto mostraram variações no ano de 2016 com a imagem do Landsat 8, no caso da Restinga uma variação mais leve do que a ocorrida no Mangue. A Floresta Ombrófila Densa por sua vez não mostrou estabilidade, efetuando acentuadas variações.

**Gráfico 16 - Análise espectral da Floresta Ombrófila de Terras Baixas nas imagens NDWI em níveis de cinza (NC)**



Fonte: Autor (2020)

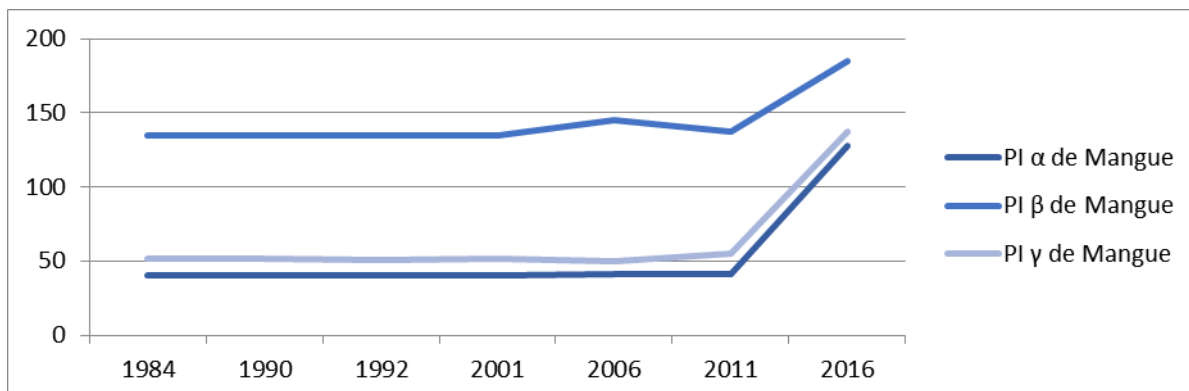
**Gráfico 17 - Análise espectral da Restinga nas imagens NDWI**



Fonte: Autor (2020)



**Gráfico 18 - Análise espectral do Mangue nas imagens NDWI em níveis de cinza (NC)**

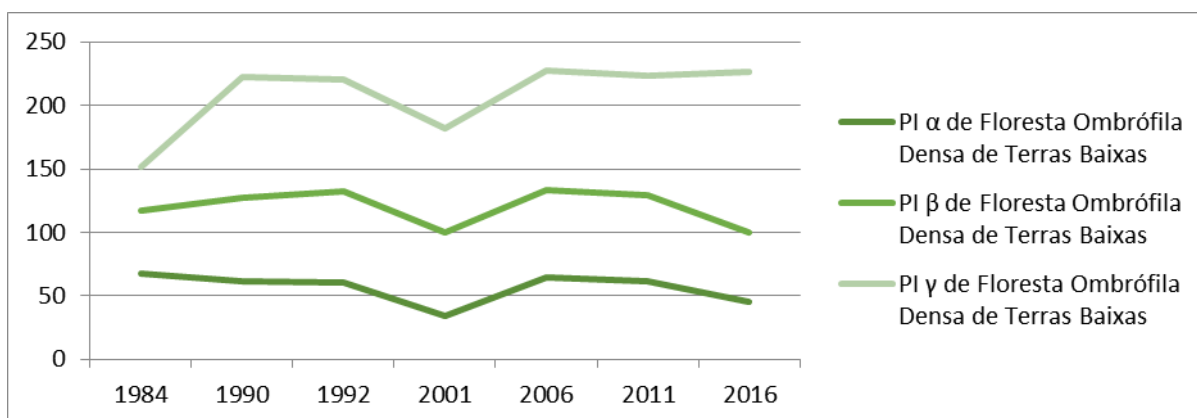


Fonte: Autor (2020)

#### **4.2.7 Resultados: Penetração Atmosférica (PA)**

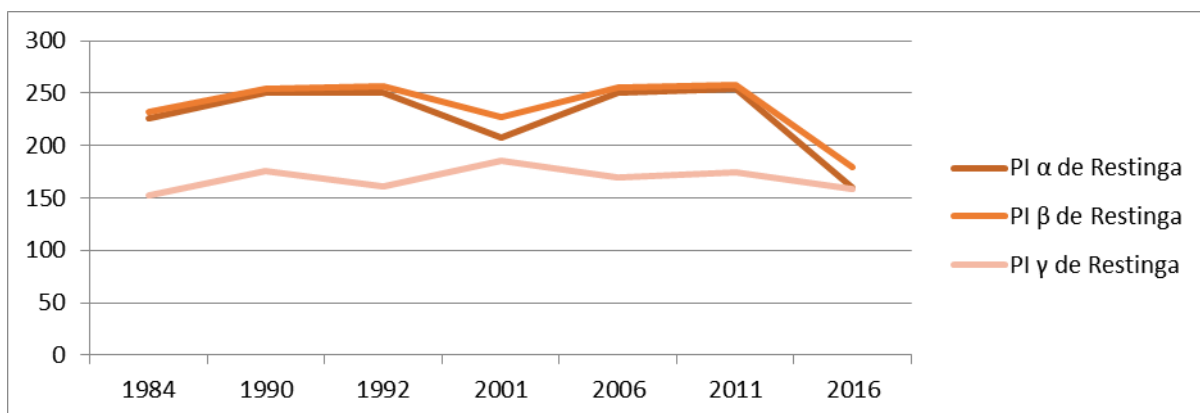
Na Penetração Atmosférica, a Floresta Ombrófila Densa mostrou-se consideravelmente estável em especial o Pixel  $\alpha$  que se mostrou sempre muito próximo da linha dos 50NC em todos os anos, até mesmo em 2016 - imagens do Landsat 8. Podemos destacar também que o Mangue e a Restinga se mostraram instáveis, mostraram variação nos anos de 1984, 2001 e 2016.

**Gráfico 19 - Análise espectral da Floresta Ombrófila de Terras Baixas nas imagens PA em níveis de cinza (NC)**



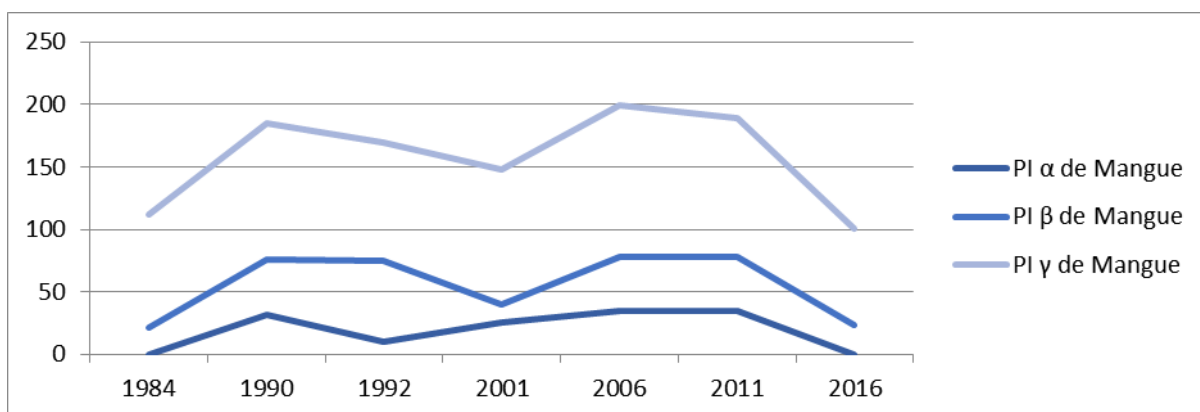
Fonte: Autor (2020)

**Gráfico 20 - Análise espectral da Restinga nas imagens PA em níveis de cinza (NC)**



Fonte: Autor (2020)

**Gráfico 21 - Análise espectral do Mangue nas imagens PA em níveis de cinza (NC)**

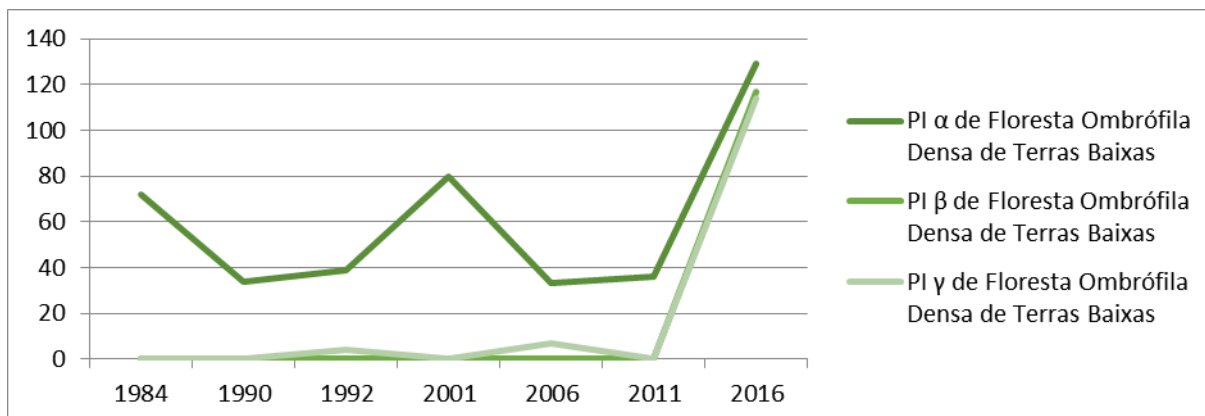


Fonte: Autor (2020)

#### **4.2.8 Resultados: Index Stack (PI)**

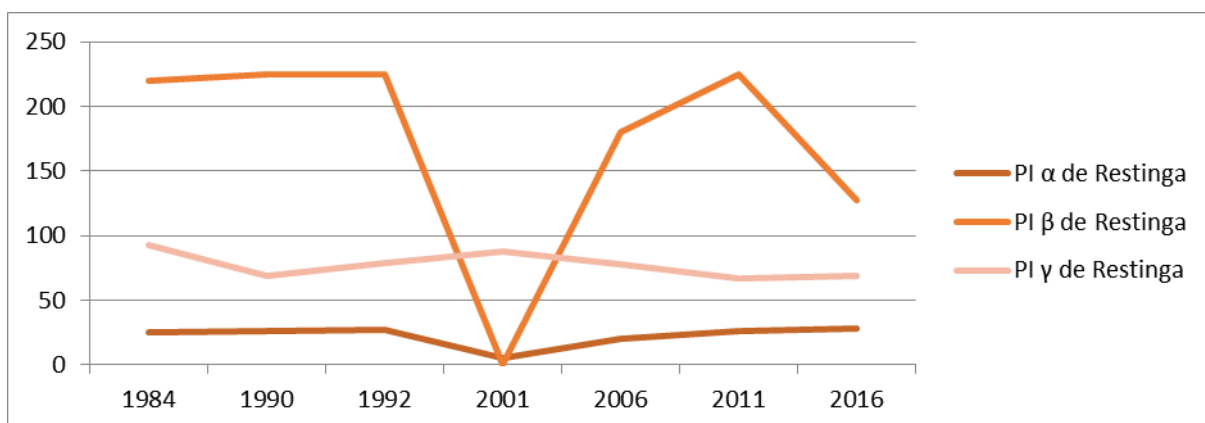
No *Index Stack*, todos os ecossistemas estudados não foram facilmente identificados, não formulando uma identidade espectral, ou seja, variando nos anos e conseqüentemente nas imagens dos Satélites utilizados.

**Gráfico 22 - Análise espectral da Floresta Ombrófila de Terras Baixas nas imagens PI em níveis de cinza (NC)**



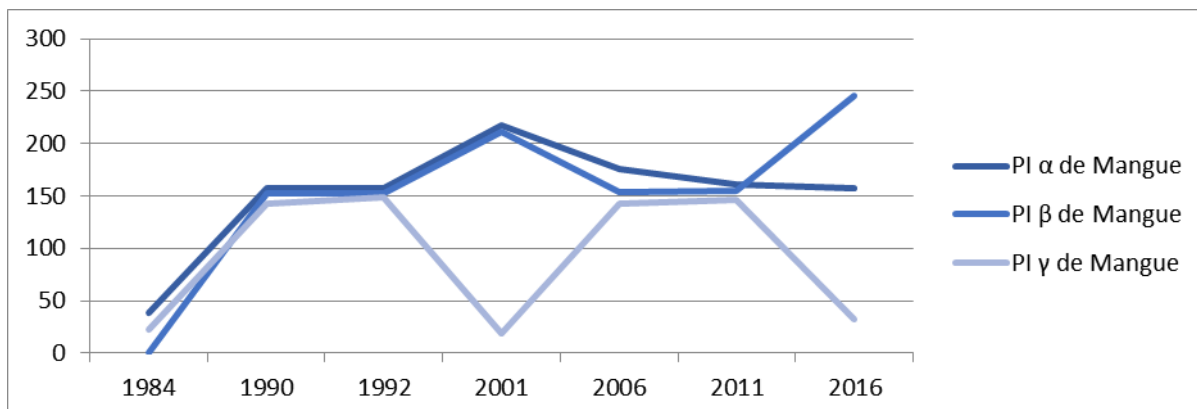
Fonte: Autor (2020)

**Gráfico 23 - Análise espectral da Restinga nas imagens PI em níveis de cinza (NC)**



Fonte: Autor (2020)

**Gráfico 24 - Análise espectral do Mangue nas imagens PI em níveis de cinza (NC)**

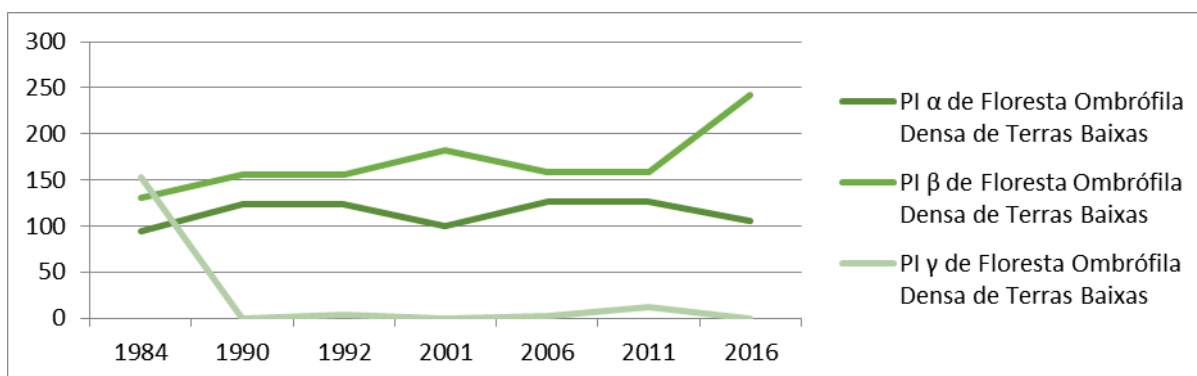


Fonte: Autor (2020)

#### 4.2.9 Resultados: Agriculture (AG)

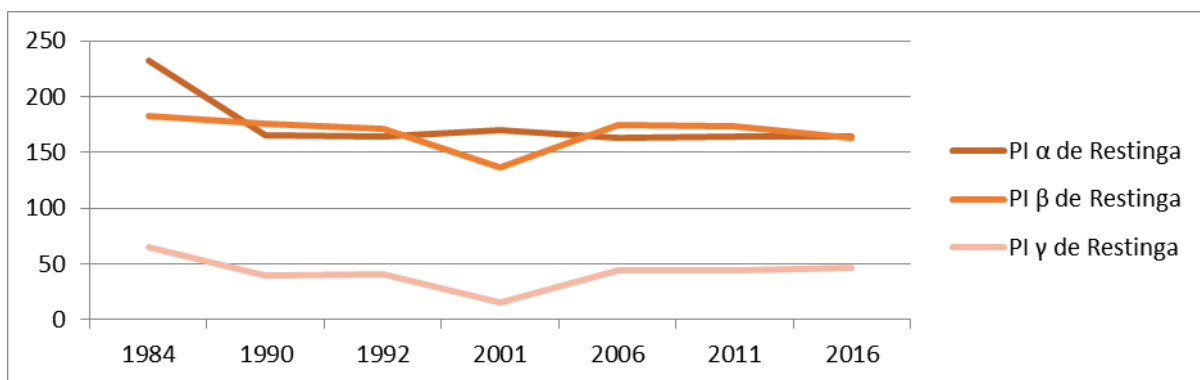
Em *Agriculture* (AG) a Floresta Ombrófila Densa não se mostrou facilmente identificável, variando sobretudo nos anos de 1984, 2001 e 2016. Além disso, o PI  $\gamma$  teve grande parte de seus dados invalidados pelo software, estagnando seus valores próximo a zero nos anos de 1990 a 2016. Assim como o PI da Floresta Ombrófila Densa o PI  $\gamma$  do Mangue também teve seus valores próximos zero. Na Restinga o comportamento espectral se mostrou estável e de potencial identificação, sobretudo os PI  $\gamma$ .

**Gráfico 25 - Análise espectral da Floresta Ombrófila de Terras Baixas nas imagens AG em níveis de cinza (NC)**



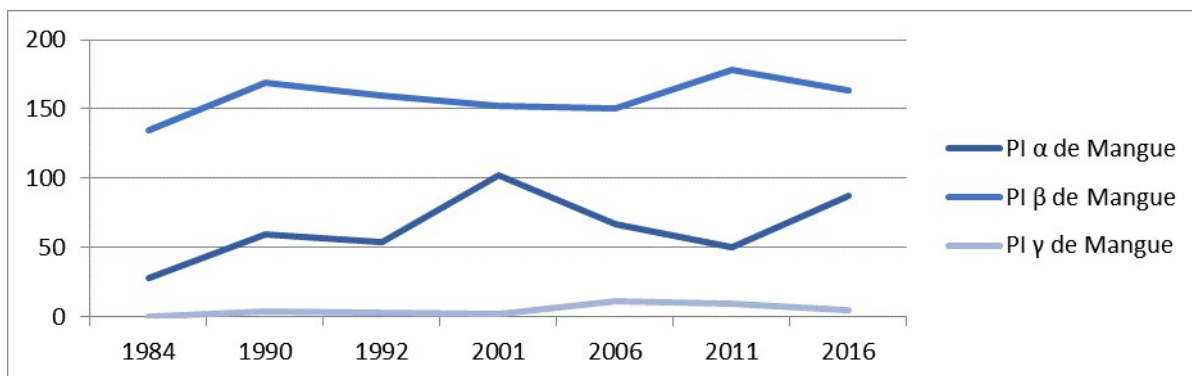
Fonte: Autor (2020)

**Gráfico 26 - Análise espectral da Restinga nas imagens AG em níveis de cinza (NC)**



Fonte: Autor (2020)

**Gráfico 27 - Análise espectral do Mangue nas imagens AG em níveis de cinza (NC)**



Fonte: Autor (2020)

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho permite afirmar que na identificação da Floresta Ombrófila Densa a melhor combinação é a PA (Pixel  $\alpha$ ), mas também podemos citar a NDVI como uma boa combinação.

O Mangue por sua vez pode ser melhor identificado no IVV (Variando de 150 a 220 NC) no PI  $\alpha$  e também nos PI  $\beta$  e PI  $\gamma$  variando em valores muito próximos aos 50NC. Ainda no mangue também podemos citar o NDWI como um bom índice.

No que se refere a restinga estima-se que a mesma possa ser identificada em AG e EVI, mas é no SAVI, sobretudo no PI  $\gamma$ , que é mais facilmente identificável, sendo o NDWI também extremamente preciso no PI  $\beta$ .

Muito além disso, o desenvolvimento do presente estudo permitiu perceber que infelizmente não é apenas institucionalizando uma unidade de conservação que vai fazer-se a preservação de seus ecossistemas, mas é sim de extrema necessidade políticas públicas que visem o estudo das áreas ainda preservadas para que assim seja possível uma posterior recuperação das áreas degradadas, bem como políticas de monitoramento das áreas preservadas para que as mesmas conservem sua integridade de modo que não haja uma diminuição e sim um aumento em termos especiais e conseqüentemente biológicos.

No estudo de caso, foi possível diagnosticar a situação da APA de Guadalupe, onde as áreas antropizadas são maioria em sua extensão territorial. Por meio da vetorização e visitas de campo foi possível observar que muito da degradação ocorrida na Floresta Ombrófila Densa que se localiza mais ao Oeste da Unidade tem como principal causa a cultura canavieira. Por sua vez o Mangue e a Restinga, localizados nas áreas litorâneas da APA, tem como seu principal agente degradativo a expansão imobiliária.

Nessa perspectiva recomenda-se ao conselho diretor da APA bem como todos os atores (Poder Público, Iniciativa Privada e Sociedade Civil) a integração de um sistema de monitoramento e fiscalização ao seu plano de manejo. Por questões de segurança, mão de obra e econômicas esse sistema poderia ter seus fundamentos na análise espectral dos ecossistemas, visto que assim como grande

parte dos SIG poupam parte do trabalho de campo e expõe menos os agentes e não tem custos elevados.

A análise espectral também poderia se fazer presente na construção de um zoneamento a nível municipal, permitindo a identificação dos ecossistemas preservados e diferentes atores do espaço geográfico de cada município. Permitindo assim um planejamento e contingenciamento, sobretudo da expansão imobiliária sob os ecossistemas preservados.

Recomenda-se ainda que as ações desse monitoramento sejam realizadas utilizando imagens dos Satélites Landsat que são adquiridas de forma gratuita e possuem resolução adequada. O geoprocessamento poderia ser realizado no software Spring e Qgis por terem licença livre e processamento leve.

## REFERÊNCIAS

- ADAIME, R. R. Estrutura, produção e transporte em um manguezal. **Ecosistemas**, São Paulo, v. 1, p. 80-99, 1987.
- AGUIAR L. W., MARTAU, L., SOARES, Z. F., et al. Estudo preliminar da flora e vegetação de morros graníticos da Região da Grande Porto Alegre, RS, Brasil. **Iheringia**, Porto Alegre, v. 34, p. 3-38, 1986.
- ALMEIDA, A. L.; ARAÚJO, D.S.D. Comunidades vegetais do cordão arenoso externo da Reserva Ecológica Estadual de Jacarepiá, Saquarema. **O Ecologia Brasiliensis**, Rio de Janeiro, v. 3, p. 47-63, 1997.
- ANDRADE, M. A. B. Contribuição ao conhecimento da ecologia das plantas das dunas do Estado de São Paulo. **Boletim da Botânica**, São Paulo, v.22, p. 3-170, 1967.
- ANDRADE-LIMA, D. Atlas Nacional do Brasil. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)**, Rio de Janeiro, v. 1. p. 77-84, 1966.
- ARAÚJO, D. S. D.; MACIEL, N.C. Os manguezais do recôncavo da baía de Guanabara. **Editora da Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente (FEEMA)**, Rio de Janeiro, n. 79, v. 1, p. 1-106, 1979.
- ASSIS, A. M.; PEREIRA, O. J.; THOMAZ, L. D. Fitossociologia de uma floresta de restinga no Parque Estadual Paulo César Vinha, município de Guarapari (ES). **Revista Brasileira de Botânica**, Rio de Janeiro, v. 27, p. 349-361, 2004.
- ASSIS, A. M.; THOMAZ, L. D.; PEREIRA, O. J. Florística de um trecho de floresta de restinga no município de Guarapari, Espírito Santo, Brasil. **Acta Botânica Brasilica**, Rio de Janeiro, v. 18, p. 191-201, 2004.
- ASSUMPÇÃO, J.; NASCIMENTO, M. T. Estrutura e composição florística de quatro formações vegetais de restinga no Complexo Lagunar Grussaí/Iquipari, São João da Barra, RJ, Brasil. **Acta Botânica Brasilica**, Rio de Janeiro, v. 14, p. 301-315, 2000.
- BANON, G. J. F.; BARRERA, J. Bases da Morfologia Matemática para análise de imagens binárias. **Editora do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)**, São José dos Campos, v. 2, p. 11-125, 1998.
- BIGARELLA, J. J.; BECKER, R. D.; SANTOS, G. F. Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais. **Editora da Universidade Federal de Santa Catarina**, Florianópolis, v. 1, p. 1-425, 1994.
- BURBANCK, M. P., PHILLIPS, D.L. Evidence of plants succession on granite outcrops of the Geórgia Piedmont. **American Midland Naturalist**, Atlanta, v. 109, p. 94-104, 1983.
- BURBANCK, M. P., PLATT, R.B. Granite outcrop communities of the Piedmont plateau. **Georgia Ecology**, Atlanta, v. 45, n. 2, p. 292-306, 1964.
- CANDEIAS, A. L. B. **Aplicação da Morfologia Matemática à análise de imagens de sensoriamento remoto**. Tese de Doutorado - Instituto Nacional de Pesquisas Aplicadas, São José dos Campos, p. 1-228, 1997.
- COSTA, L. G. S. Manguezal: ecossistema entre a terra e o mar. **Caribbean**



- Ecological Research**, São Paulo, v. 1, p.31-34, 1995.
- COUTINHO, L. M. Contribuição ao conhecimento da Ecologia da Mata Pluvial Tropical. **Boletim da Botânica**, São Paulo, v. 18, p. 3-219, 1962.
- CPRH. **Diagnóstico Sócio Ambiental APA Guadalupe** – Litoral Sul de Pernambuco - Brasil. Companhia Pernambucana do Meio Ambiente de Pernambuco, Recife, v. 1, p. 1-128, 1998.
- CPRH. **Diagnóstico Sócio Ambiental APA Guadalupe** – Litoral Sul de Pernambuco - Brasil. Companhia Pernambucana do Meio Ambiente de Pernambuco, Recife, v. 2, p. 1-234, 2011.
- DAUBENMIRE, R. F. Plant communities: A text book of plant synecology. **Harper & How**, New York, v. 1, p. 1-300, 1968.
- DIEGUES, A C. Conservação e desenvolvimento sustentado de ecossistemas litorâneos no Brasil, **Simpósio Sobre Ecossistemas da Costa Sul e Sudeste Brasileira**. São Paulo, v.1, p.196-243, 1987.
- DOMINGUES, A. J. P. Aspectos Físicos do Meio-Norte e do Nordeste. In: Paisagens do Brasil. **Conselho Nacional de Geografia-Brasil**, Rio de Janeiro, v. 2, p. 1-266, 1962.
- EITEN, G. Classificação da vegetação do Brasil. **Coordenação Editorial do CNPq**, Brasília, v1. p. 1-305, 1983.
- EIPPHANIO, J. C. N.; GLERIANI, J. M.; FORMAGGIO, A. R.; RUDORFF, B. F. T. Índices de vegetação no sensoriamento remoto da cultura do feijão. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 31, n. 6, p. 445-454, 1996.
- FARIA, G. M. **A flora e a fauna apícola de um ecossistema de Campo rupestre, Serra do Cipó - MG**. Tese de Doutorado - Universidade Estadual de Rio Claro, São Paulo. p. 1-117, 1994.
- FERNANDES, A. J.; PERIA, L.C.S. Manguezal: ecossistema entre a terra e o mar. **Caribbean Ecological Research**, São Paulo, v. 1, p.13-15, 1995
- GIULIETTI, A. M. **Flora: diversidade, distribuição geográfica e endemismos**. Monografia - Universidade de São Paulo, p. 1-13, 1994.
- GOMES, J. B. V. **Caracterização, gene e uso de solos de três sítios de restinga sob diferentes coberturas vegetais no Estado do Rio de Janeiro**. Tese de Doutorado - Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, p. 1-158, 1995.
- GOMES, F. H. **Caracterização de solos de manguezais e de restinga no município de Ilhéus, Bahia**. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, p. 1-96, 2001.
- GRASSO, M.; TOGNELLA, M. M. P. Valor ecológico e sócio econômico. **Caribbean Ecological Research**, São Paulo, p. 43-48, 1995.
- HANDRO, W.; CAMPOS, J. F. B. M.; OLIVEIRA, J. M. Sobre a anatomia foliar de algumas compostas dos campos rupestres. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 22, p. 107-126, 1970.
- HUECK, K. O mapeamento fitogeográfico e sua importância prática para silvicultura. **Anuário Brasileiro de Economia Florestal**, São Paulo, v. 8, p. 90-96, 1995.
- KINDEL, A.; BARBOSA, P.; GARAY, I. Características Húmicas como Diagnóstico

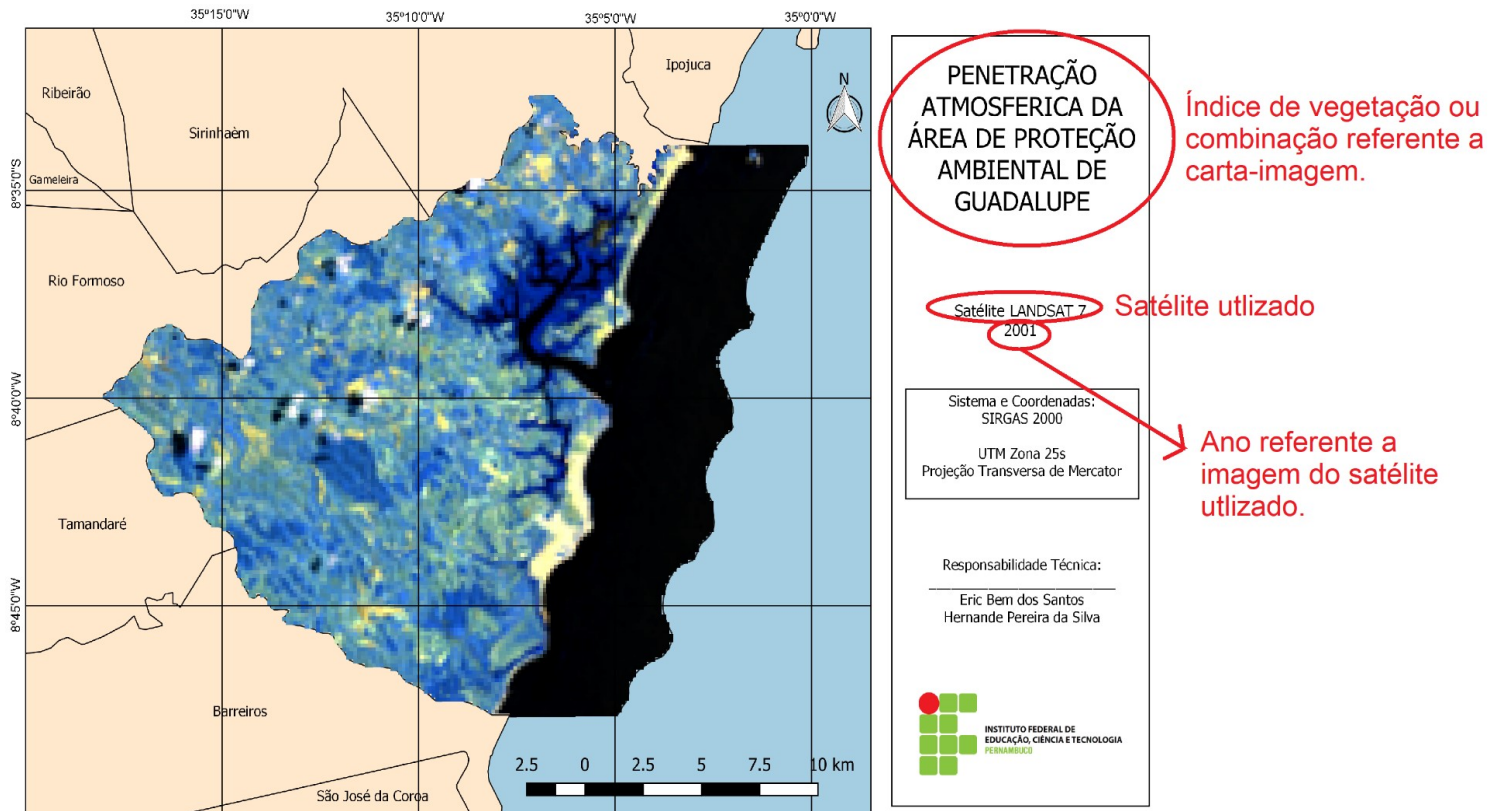
- Funcional de Mata de Capoeira na Região de Floresta Atlântica de Tabuleiro. Resumo Expandido - **XXV CONGRESSO BRASILEIRO DE CIENCIA DO SOLO**, Viçosa, v. 4, p. 910-912, 1995.
- LANDVIEW. **Download satellite imagery**. Disponível em: [https:// eos.com /landviewer/?lat=-7.92270&lng=-34.91560&z=11](https://eos.com/landviewer/?lat=-7.92270&lng=-34.91560&z=11). Acesso em: 14 de julho. 2019.
- LEINZ, V.; ESTANISLAU, S. A. Geologia geral. **Companhia Editora Nacional**, v. 1, p. 1-397, 1978.
- LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W. Remote Sensing and Image Interpretation. **Second Edition**, New York, v. 1, p. 23-44, 1987.
- MAGALHÃES, G. M. Características de alguns tipos florísticos de Minas Gerais. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, n. 38, p. 59-70, 1966.
- MAIO, C. R. Geomorfologia do Brasil: fotos e comentários. Rio de Janeiro. **IBGE**, v. 2, p. 1-210, 1980.
- MEIRELLES, S.T.; PIVELLO, V.R.; JOLY, C.A. The vegetation of granite rock outcrops in Rio de Janeiro, Brazil. **Environmental Conservation**, v. 1, n. 26, p. 10-20, 1999.
- MELO, D. H. C. T. B.; SANTOS, B. C. S. E.; SILVA, F. M. ; OLIVEIRA, S. S. Processamento Digital de Imagens (SPRING). **ResearchGate**, Salvador, v. 1, p. 1-14, 2018.
- NASCIMENTO, P. H. O.; MOURA, C. J. M.; CANDEIAS, A. L. B.; TAVARES JUNIOR, J. R.; SILVA, E. A. Extração de bordas por morfologia matemática e por canny: uma comparação. **Anais do V Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação**, Recife, p. 1-7, 2014.
- NOVO, E. M. L. M. Sensoriamento remoto: princípios e aplicações. **Edgard Blücher**, São Paulo, v. 1, p. 1-283, 1992.
- PAGANO, S. N.; LEITÃO FILHO, H. F.; SHERPHERD, G. J. Estudo Fitossociológico em mata mesófila semidecídua no Município de Rio Claro. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 10, p. 49-61, 1987.
- PEIXOTO, A. L.; PEREIRA, O. J.; SIMONELLI, M. Plano de Manejo para uso da Reserva Florestal de Linhares - flora e vegetação. **Cepemar Consultoria em Meio Ambiente Ltda (CEPEMAR)**, Linhares, v. 5, p. 1-38, 1998.
- RIZZINI, C. T. Preliminares acerca das formações vegetais e do reflorestamento no Brasil central. **Serviço de Informação Agrícola**, Rio de Janeiro, v. 1, p. 1-79, 1962.
- RIZZINI, C. T. Nota prévia sobre a divisão fitogeográfica (florístico-sociológica) do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, v. 25, n. 1, p. 3-64, 1963.
- SAFFORD, H. D.; MARTINELLI, G. Southeast Brazil. **Inselbergs: Biotic diversity**, Springer, v. 1, p. 339-389, 2000.
- SILVA, H. P. **Mapeamento das áreas sob risco de desertificação no semiárido de Pernambuco a partir de imagens de satélites**. Tese de Doutorado - Universidade Federal Rural de Pernambuco, p. 1-173, 2009.
- SILVA, J. S. **Análise multivariada em zoneamento para planejamento**

- ambiental. Estudo de caso:** Bacia Hidrográfica do Rio Taquari MS/M. Tese de Doutorado - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, p. 1-307, 2003.
- SILVA, A. F.; SHEPHERD, G. J. Comparação florística entre algumas matas brasileiras utilizando análise de grupamento. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 9, p. 81-86, 1996.
- SILVA, L. F. Classes de solos de tabuleiro do sudeste da Bahia. **Agrotropica**, v. 3, n. 2, p. 101 – 108, 1991.
- STEFFEN, C. A.; MORAES, E. C. Radiometria Espectral. **Anais do VII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Curitiba, v. 1, p. 10-14, 1993.
- STONER, E. R. et al. Discriminação espectral de Latossolos do Planalto Central brasileiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.26, p.1599-1606, 1991.
- TAVARES, S.; Paiva, F. A. F.; TAVARES, E. J. S.; NEVES, M.A.; LIMA, J. L. S. Inventário florestal de Alagoas. III. **Estudo preliminar da Mata do Varrela, município Barra de São Miguel**, Recife, v. 1, n. 3, p. 1-348, 1969.
- VASCONCELOS, M. R. **Composição e estrutura da Mata do Buraquinho - João Pessoa, PB**. Tese de Mestrado - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, p. 1-215, 1996.
- VELOSO, H. P. As comunidades e associações botânicas de Teresópolis, Estado do Rio de Janeiro. **Boletim do Museu Nacional**, Rio de Janeiro, v. 3, p. 1-69. 1945.
- VEIGA, T. C.; SILVA, J. X. Geoprocessamento aplicado à identificação de áreas potenciais para atividades turísticas: O caso do Município de Macaé – RJ. **Geoprocessamento & Análise ambiental**, Rio de Janeiro, v. 1, p.179-215, 2004.
- VIANA, V. M. Ecologia de populações florestais colonizadoras e recuperação de áreas degradadas. **Anais do Simpósio Sobre Ecossistemas da Costa Sul e Sudeste Brasileira: síntese dos conhecimentos**, São Paulo, v.1, p. 29- 39, 1987.
- WEAVER, J. E.; CLEMENTS, F.E. Plant Ecology. **McGraw-Hill**, New York, v. 2, p. 1-601, 1938.
- WETTSTEIN, R. R. Aspectos da vegetação do sul do Brasil. **Editores da Universidade de São Paulo**, São Paulo, v. 1, p. 1-126, 1970.
- YOKOYA, N. S. Distribuição e origem. **Ecological Research Caribbean**, São Paulo, v. 1, p. 13-15, 1995.

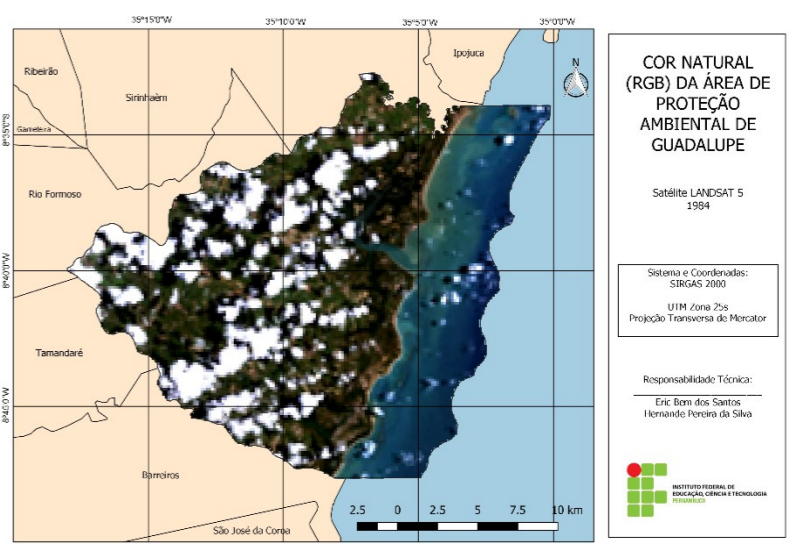
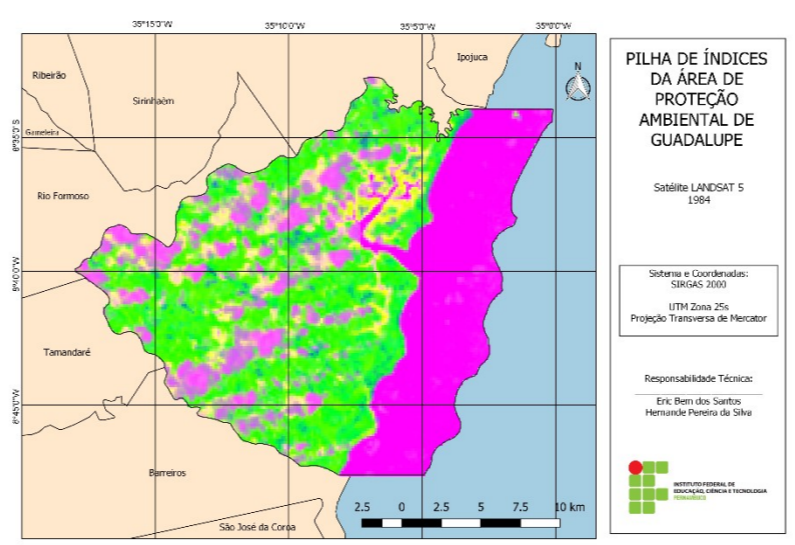
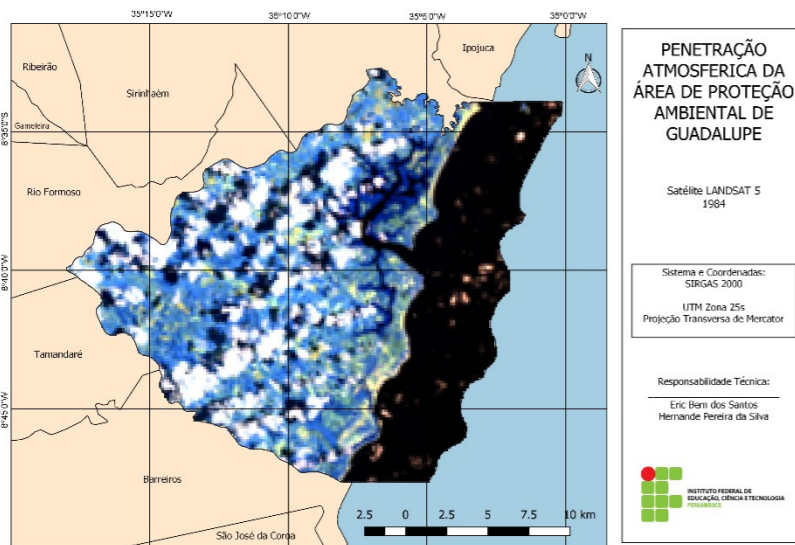
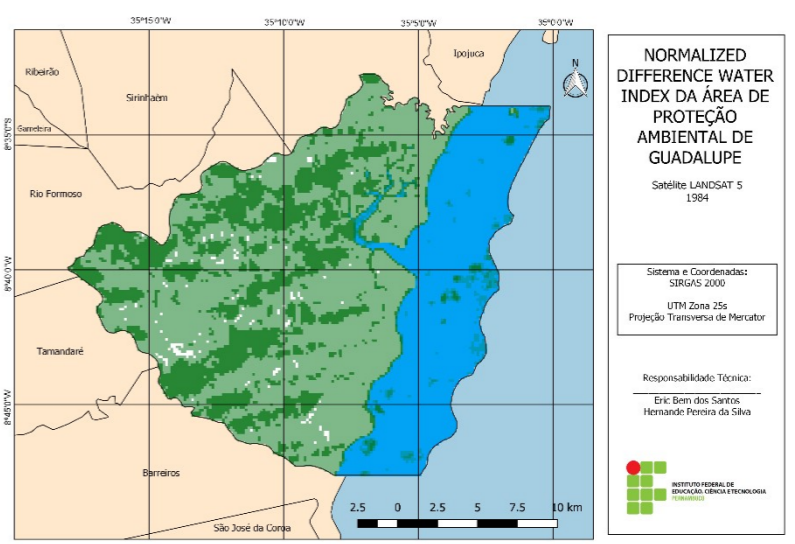
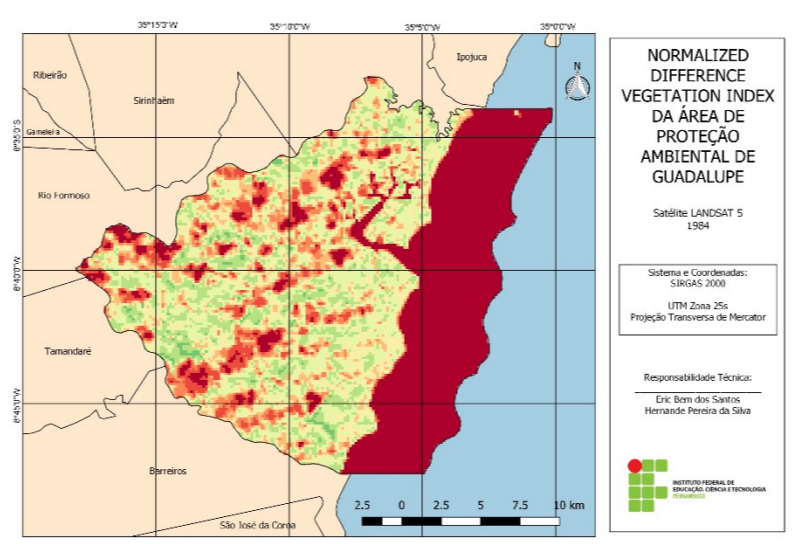
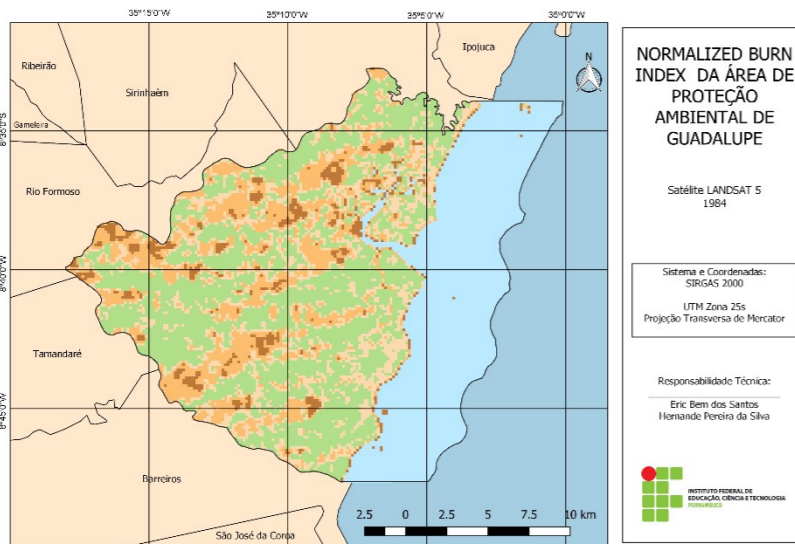
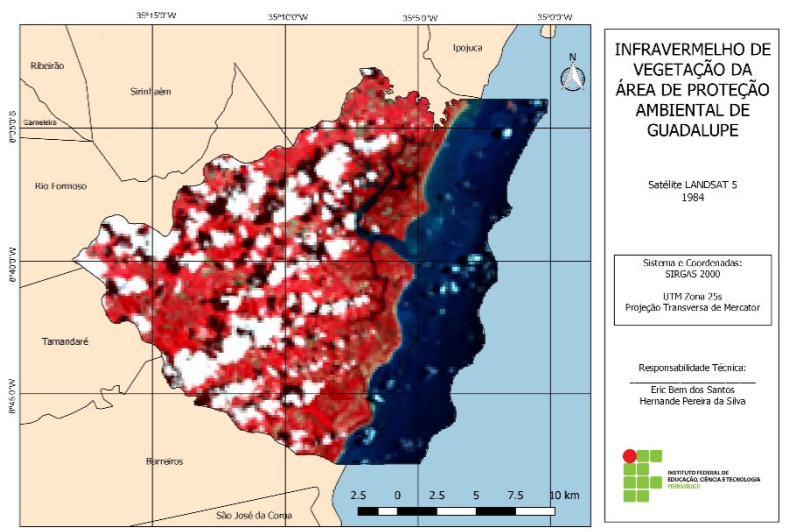
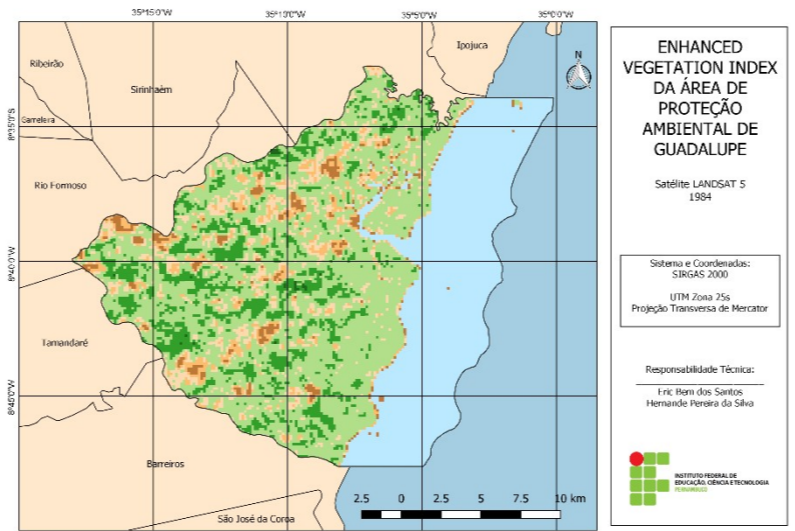
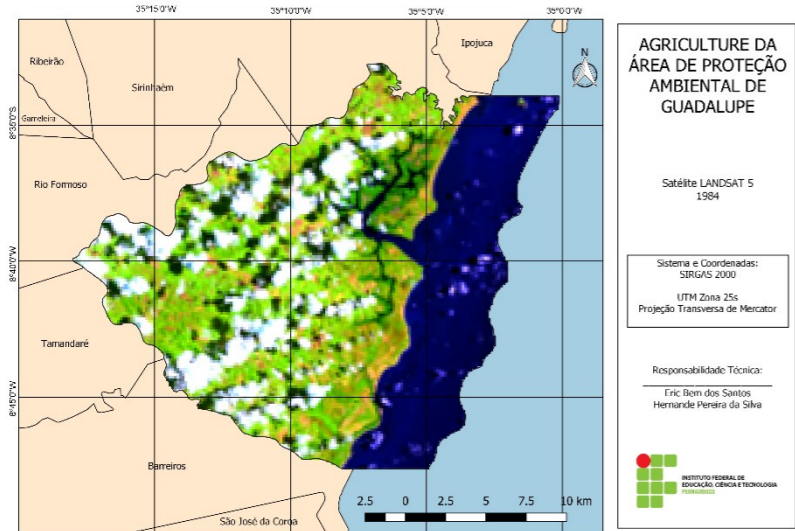
## APÊNDICE I

### Carta-Imagens dos Índices de Vegetação e Combinações Utilizadas

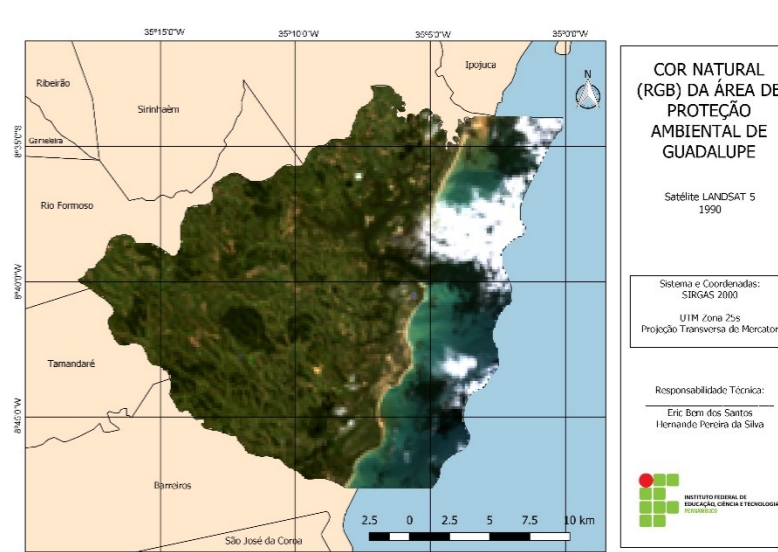
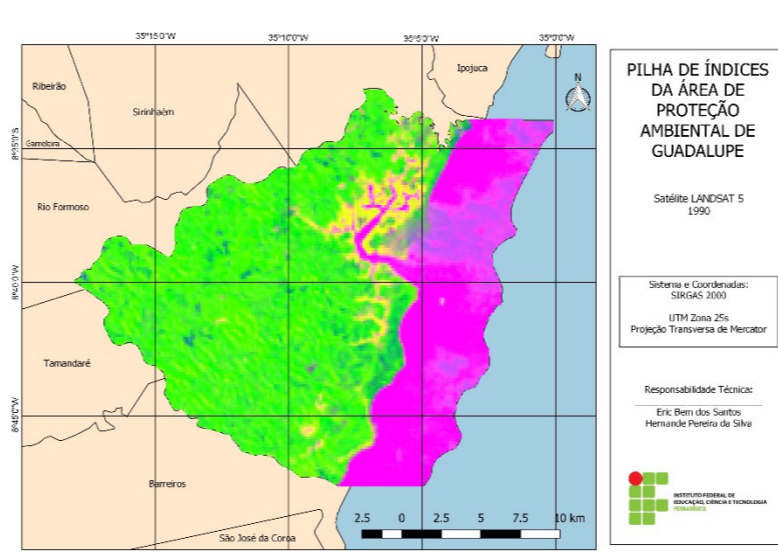
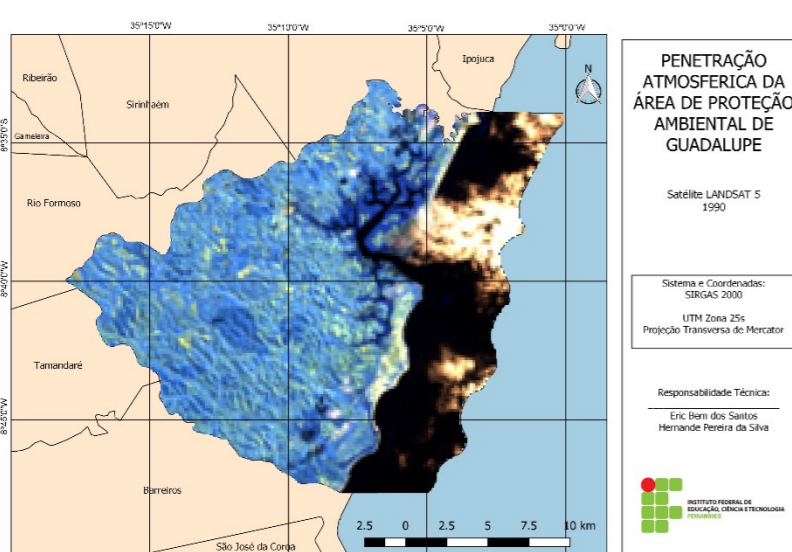
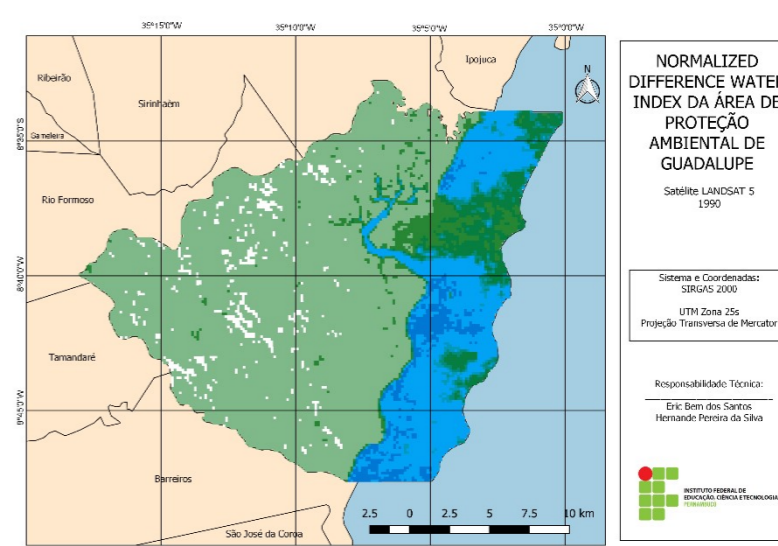
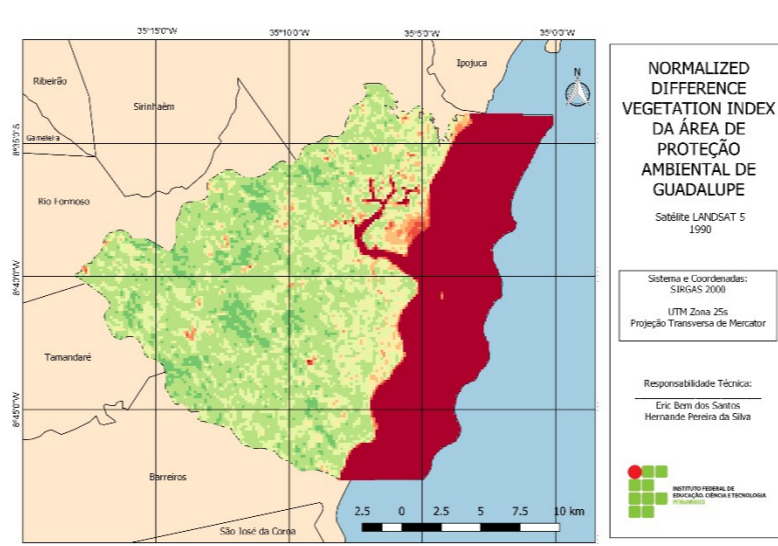
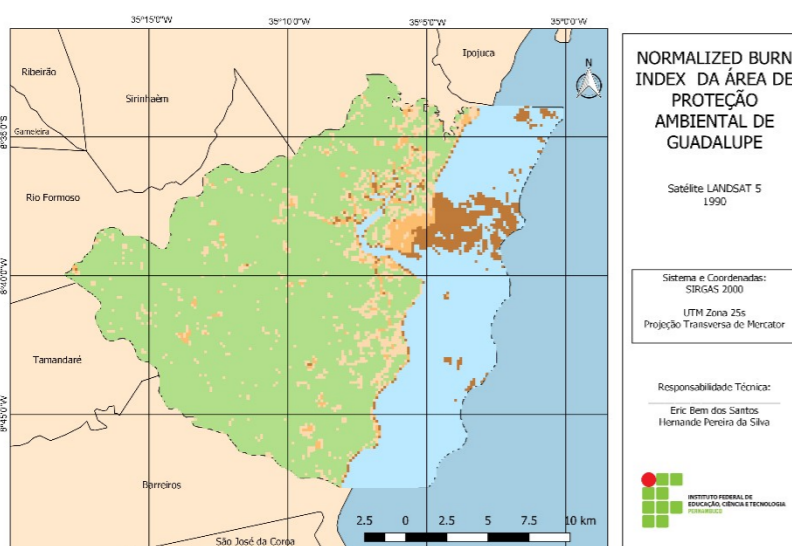
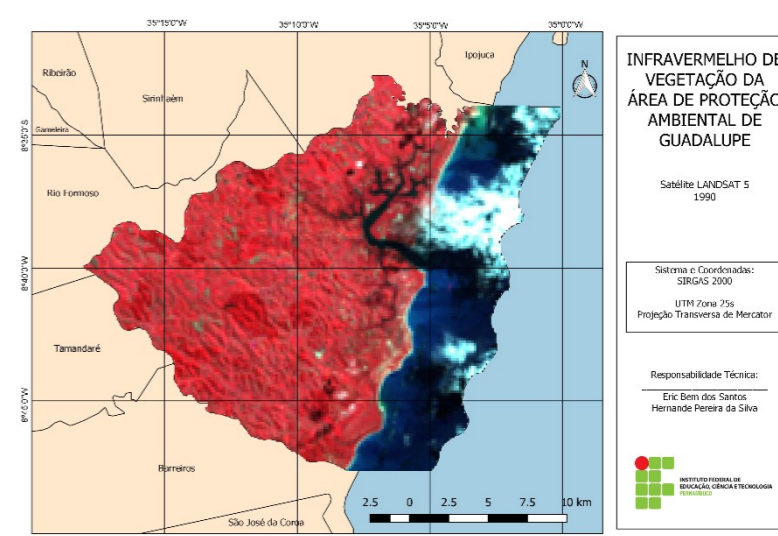
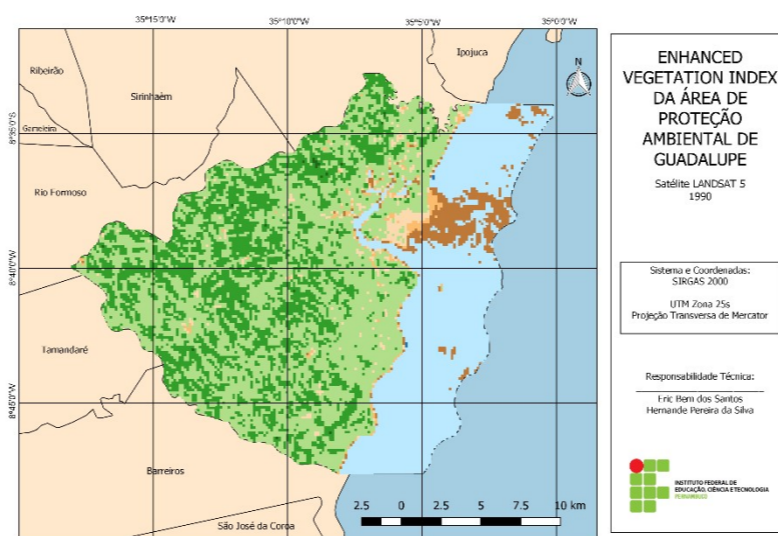
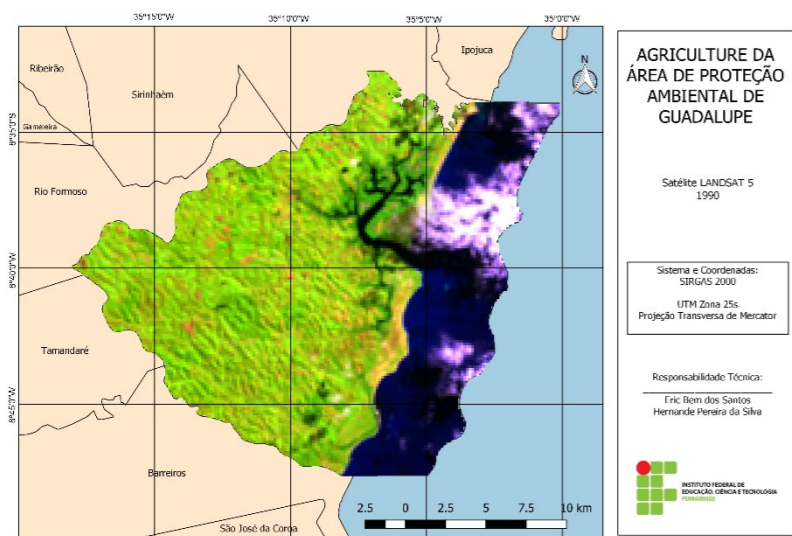
O presente Apêndice tem a função de trazer os índices e combinações utilizadas na análise espectral, dentro dos parâmetros do EOS - Land Viewer, ou seja, utilizando a mesma paleta de cores, mesma resolução e mesma escala. As informações referentes ao Índice ou combinação estão presentes em cada carta-imagem, bem como o satélite e o ano da imagem.



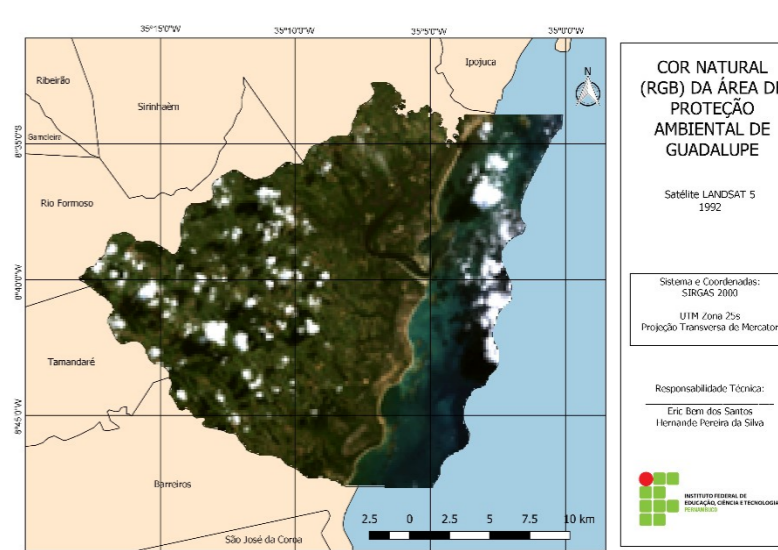
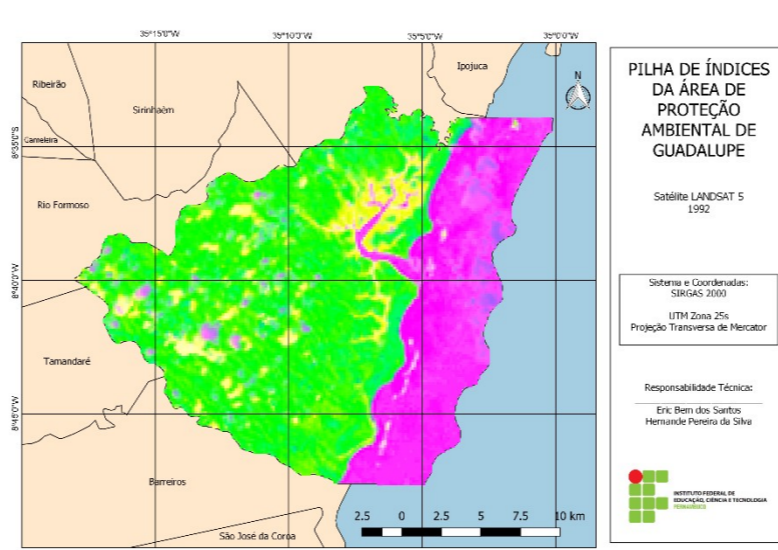
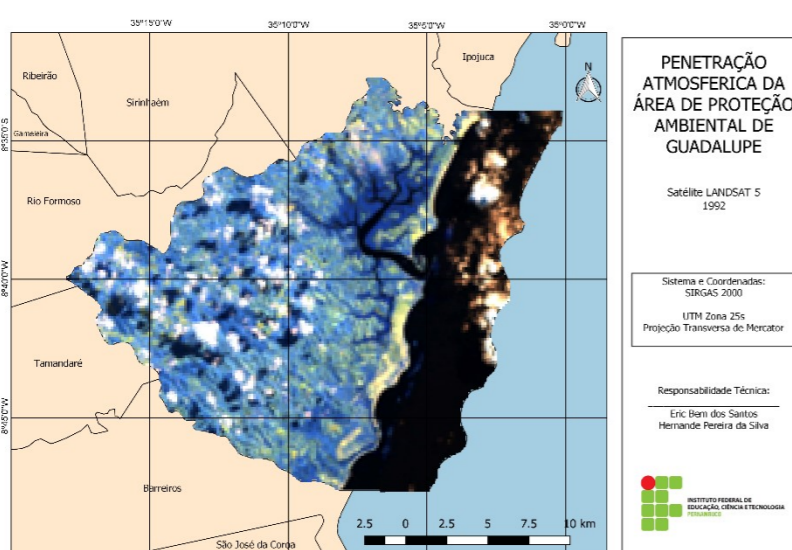
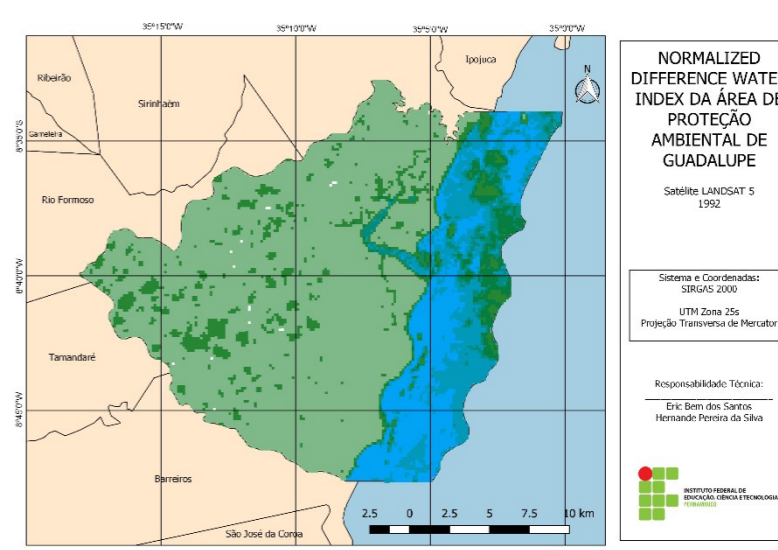
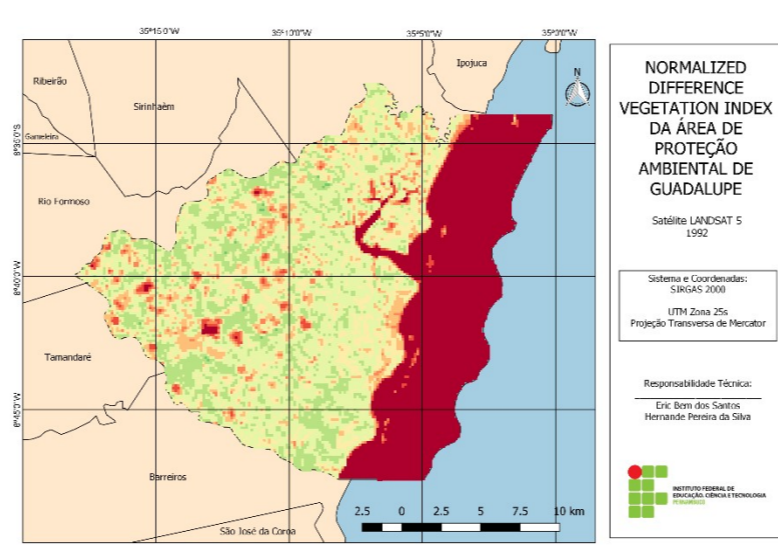
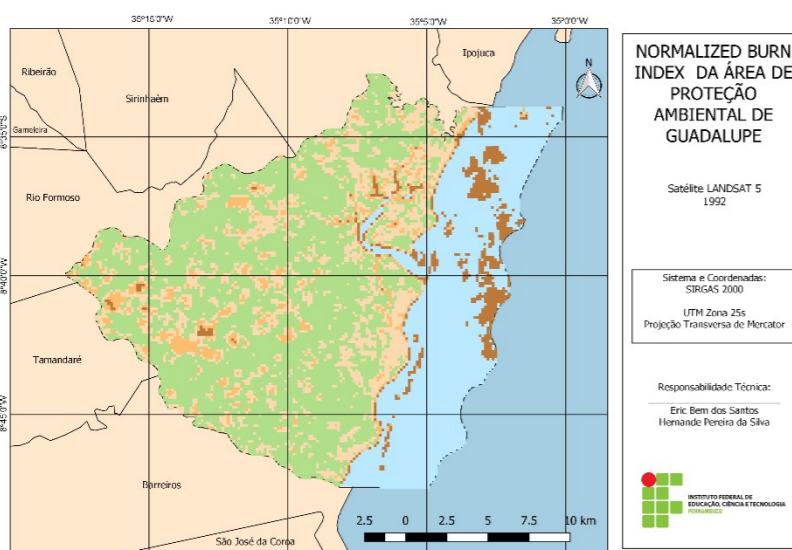
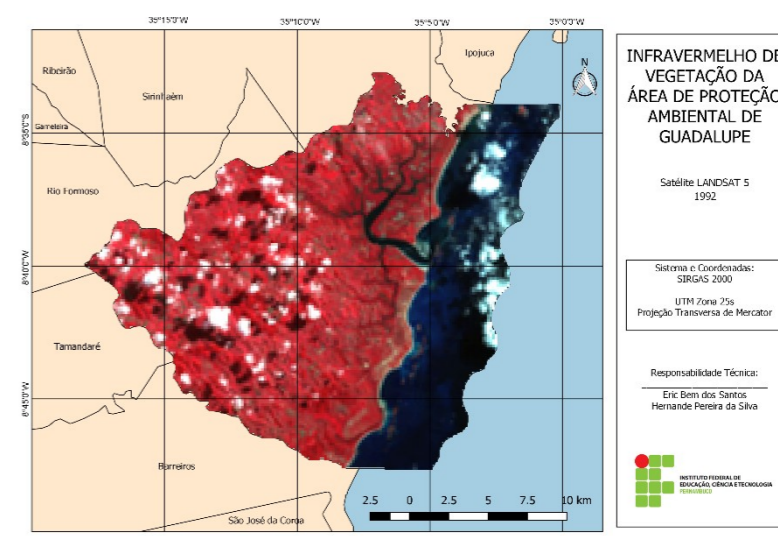
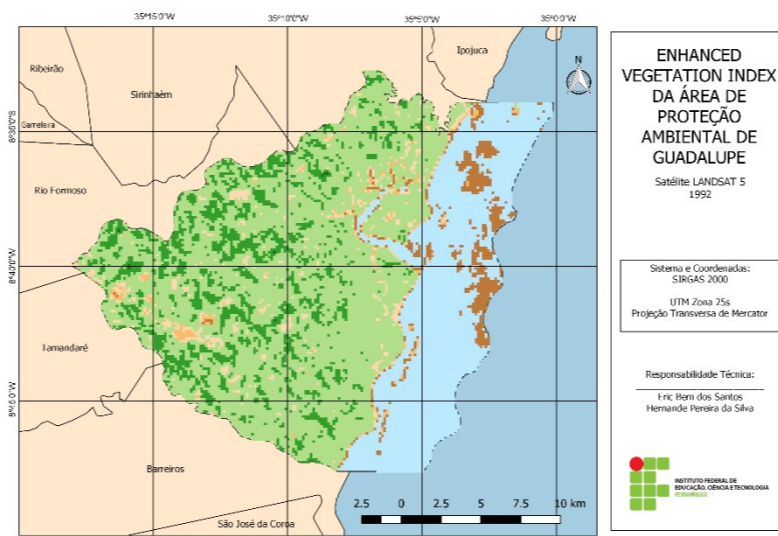
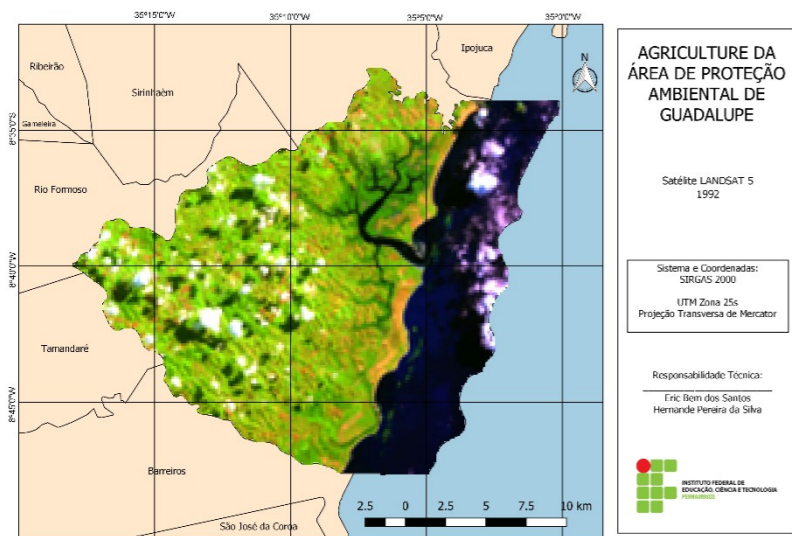
# 1984



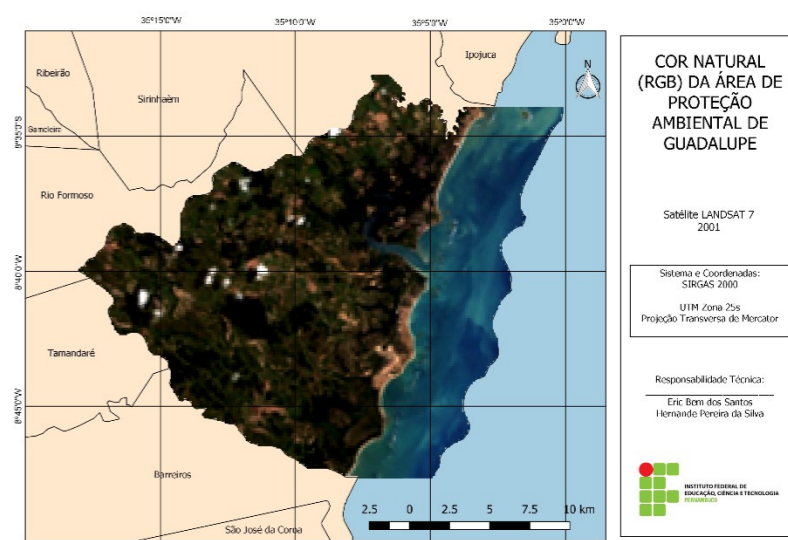
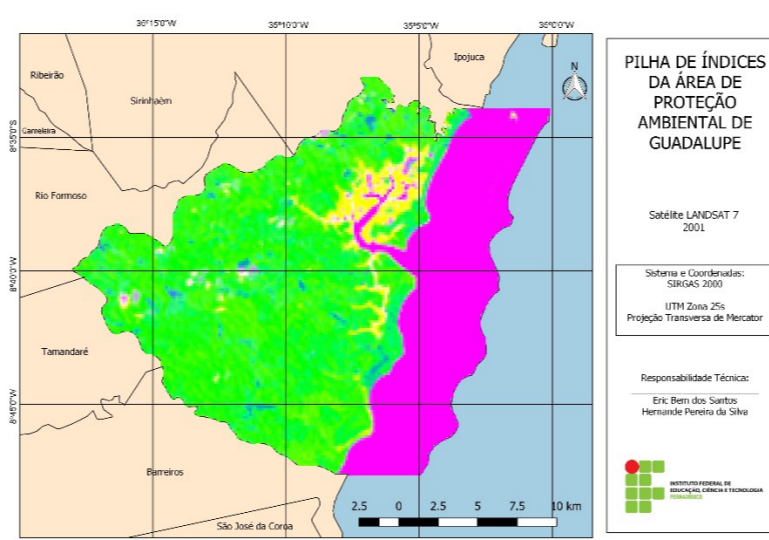
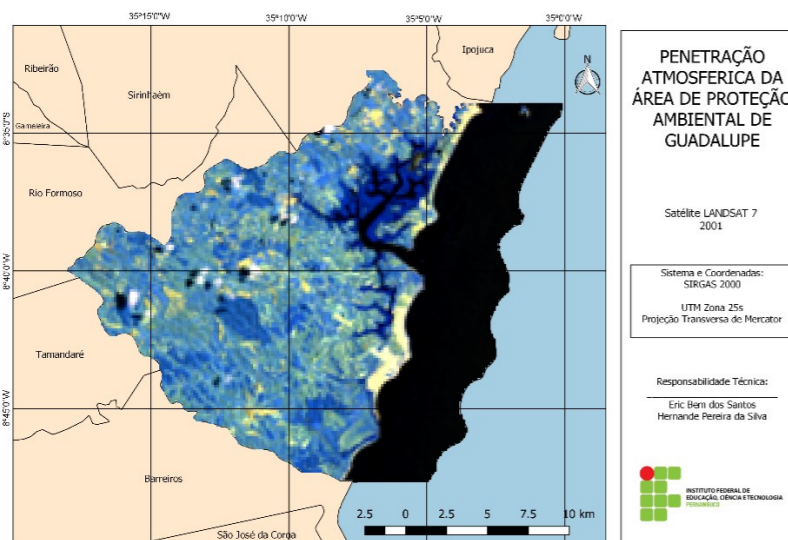
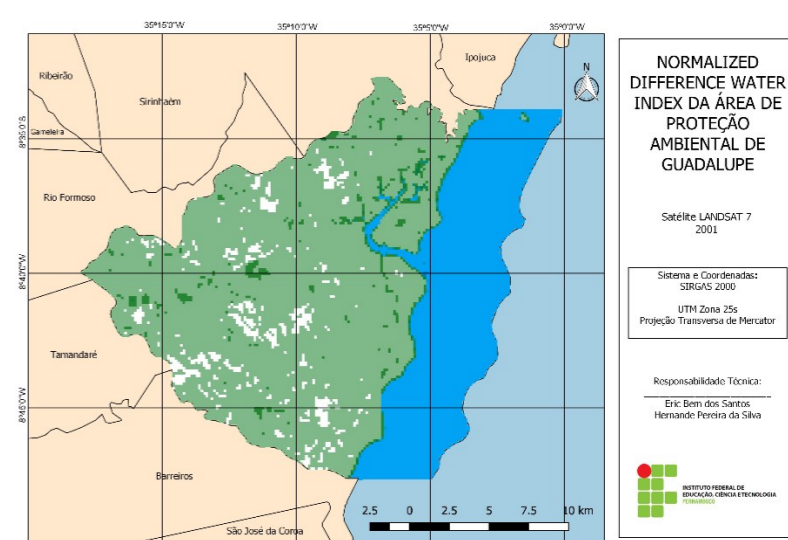
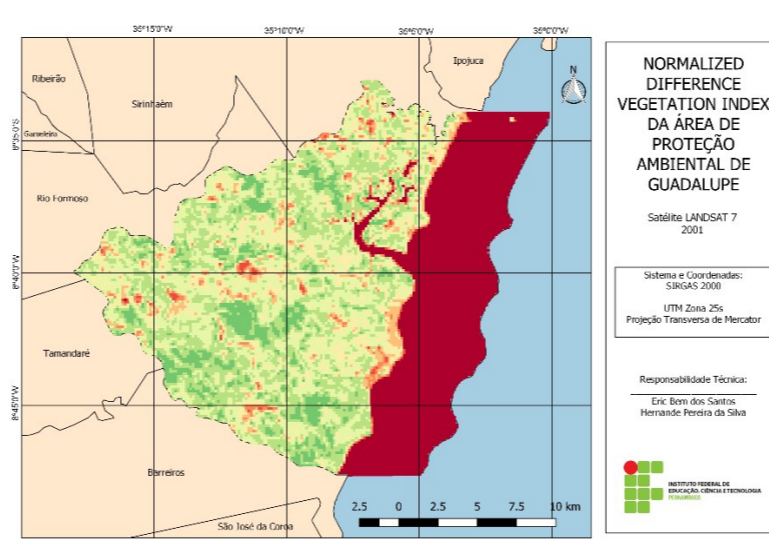
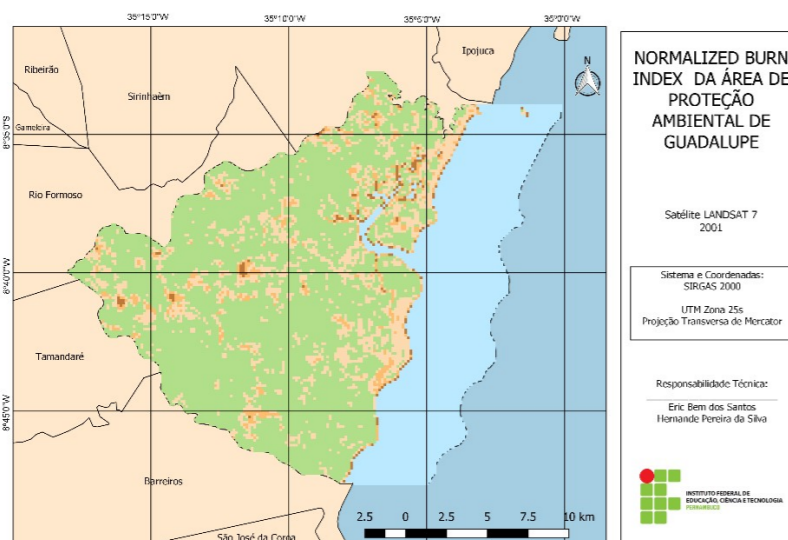
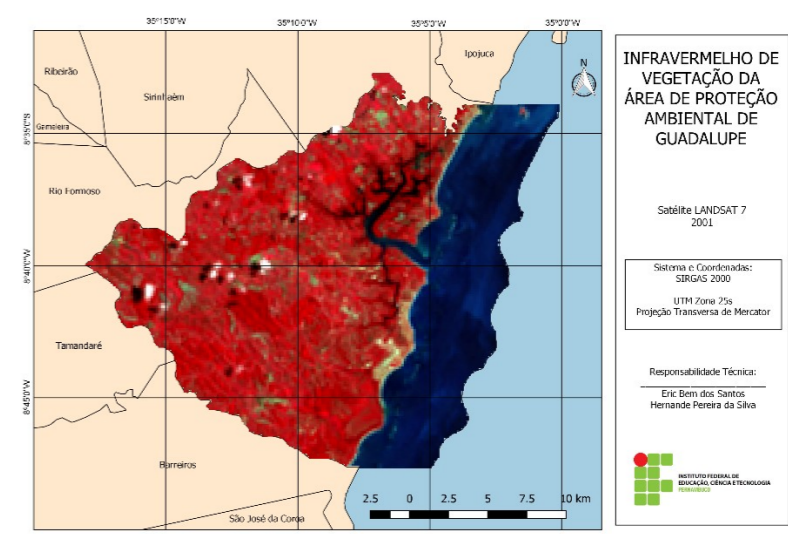
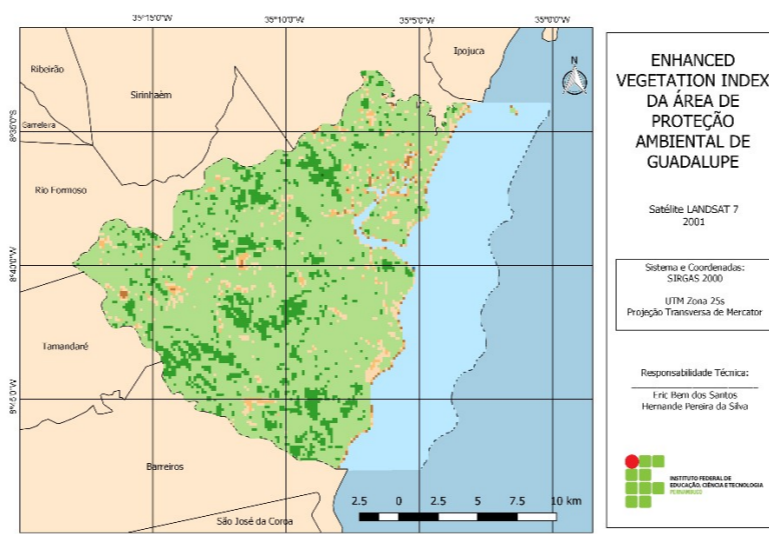
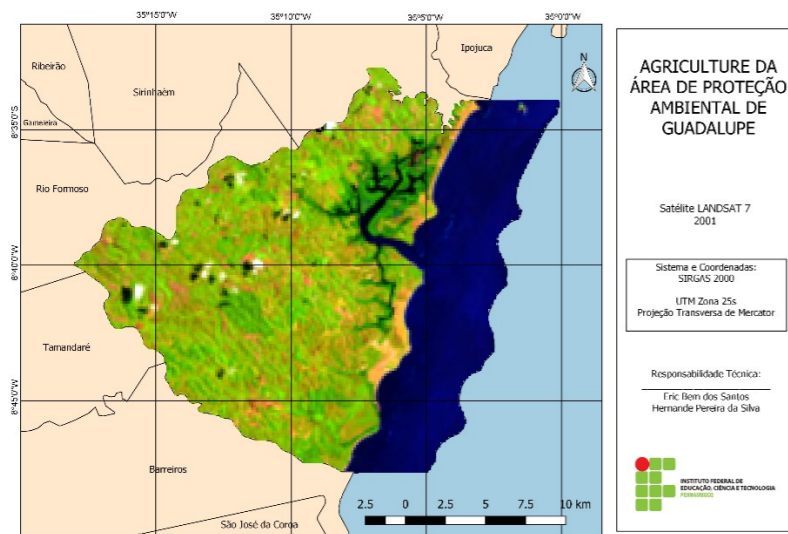
# 1990



# 1992

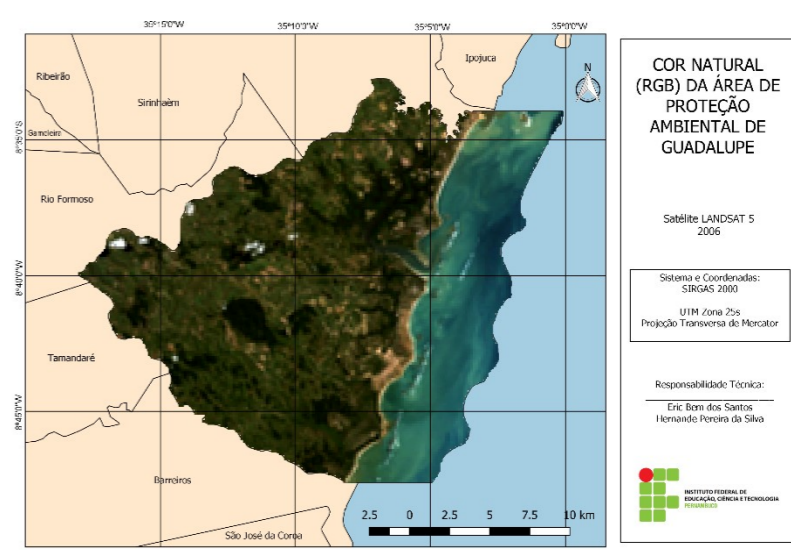
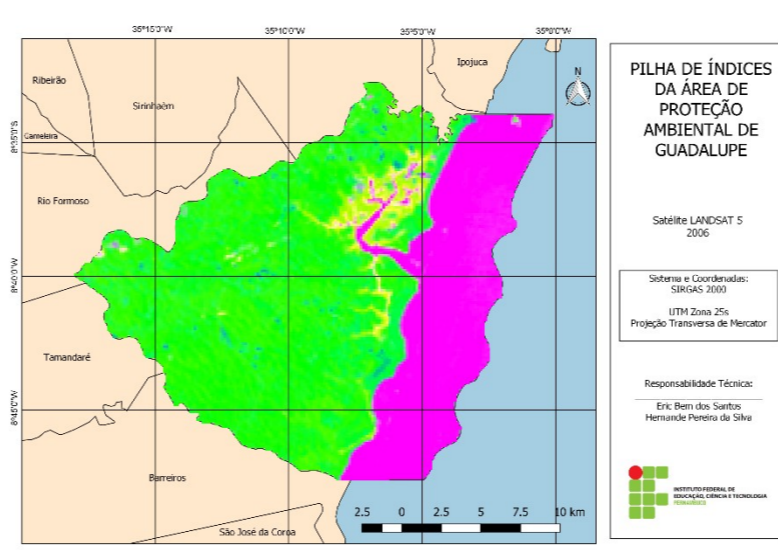
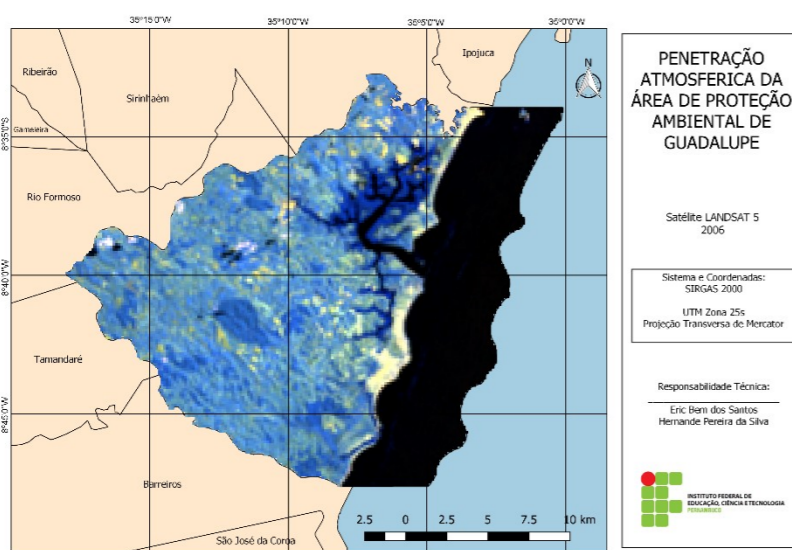
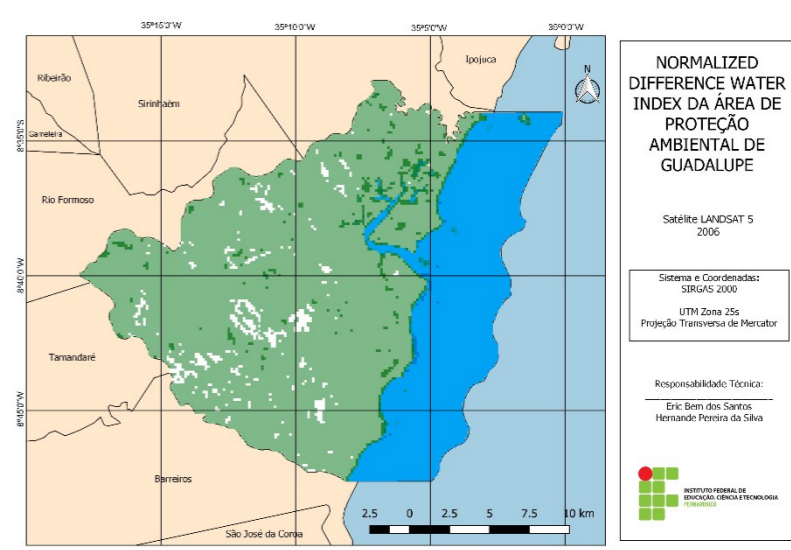
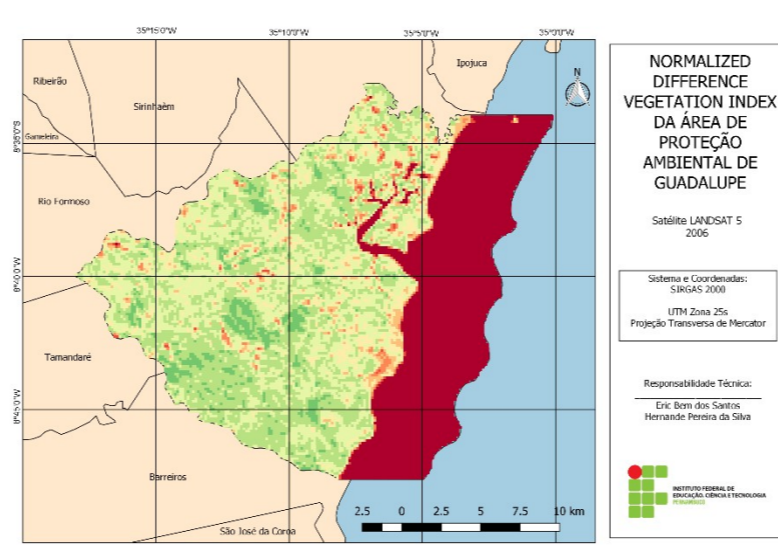
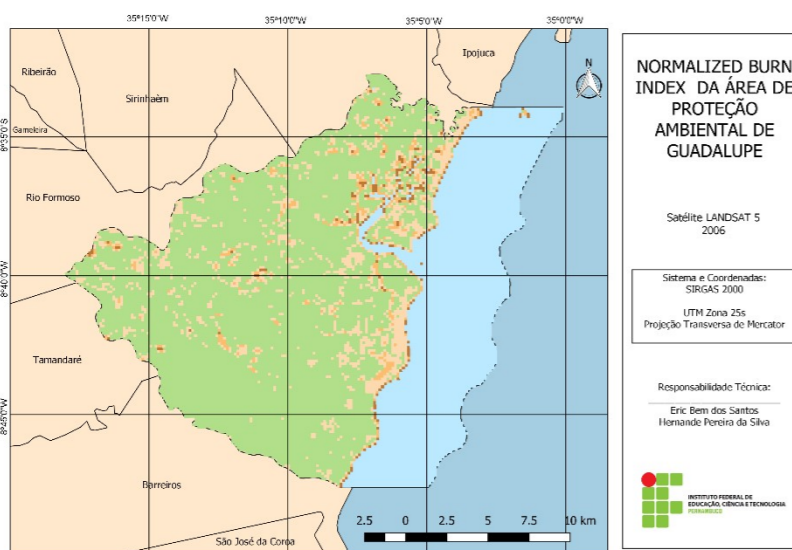
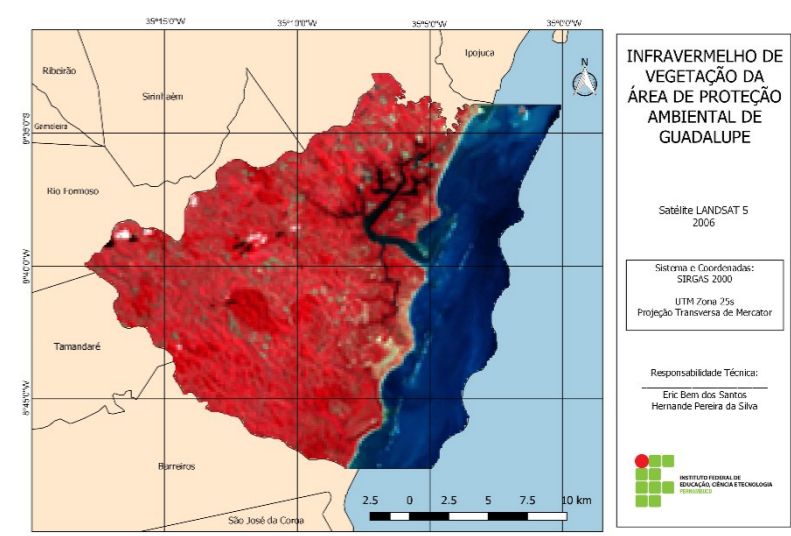
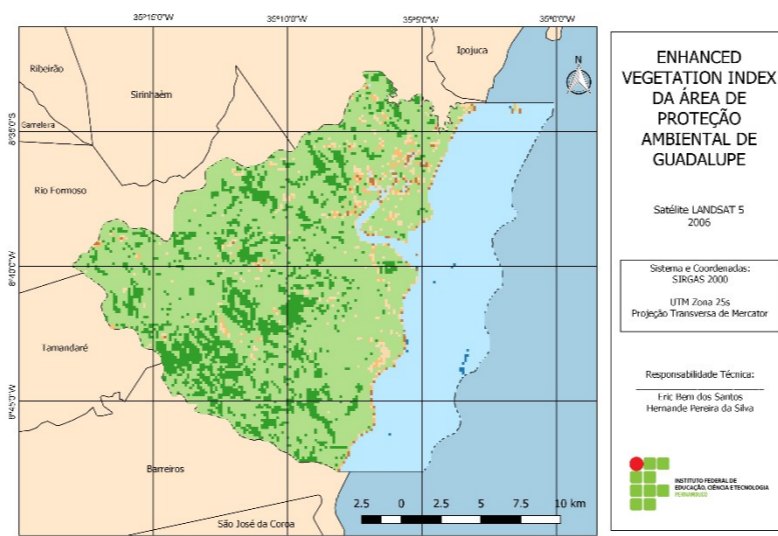
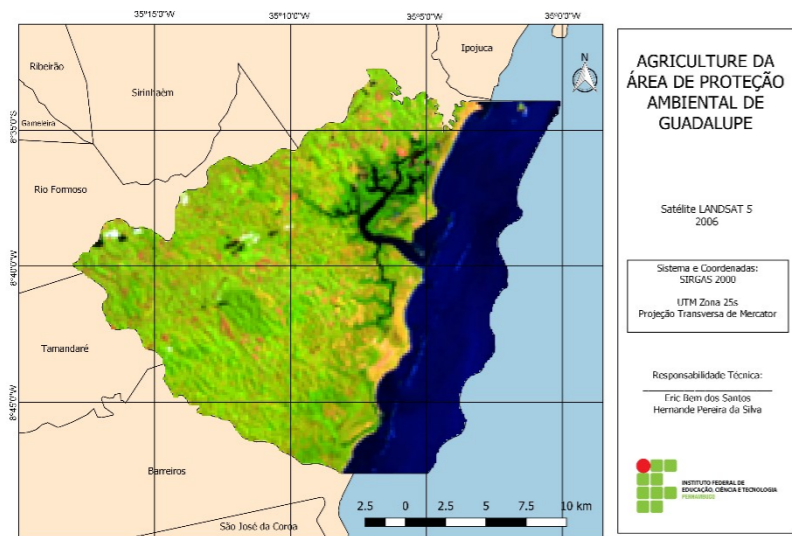


# 2001

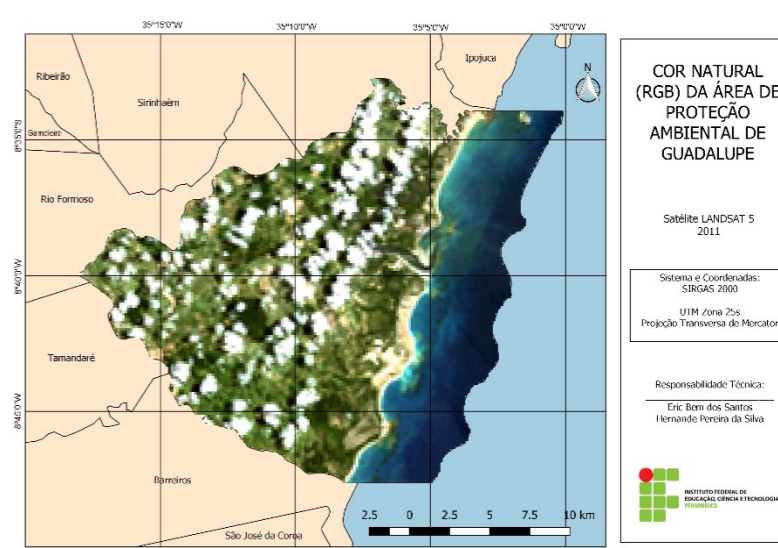
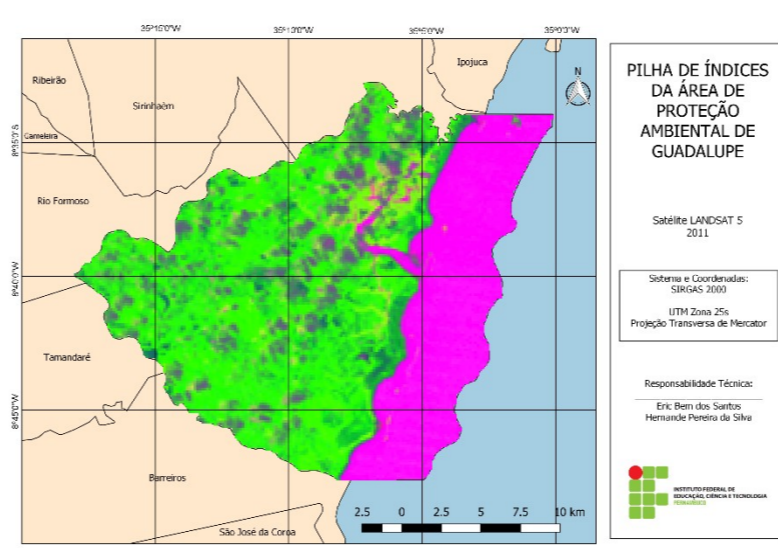
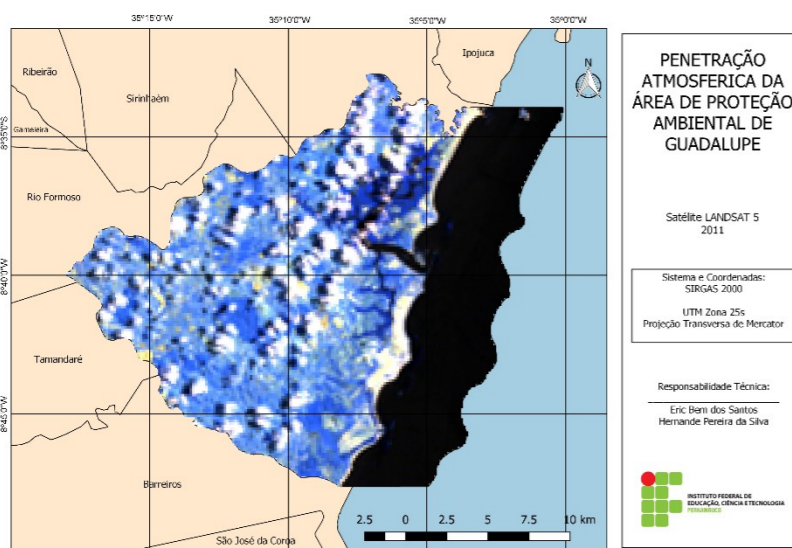
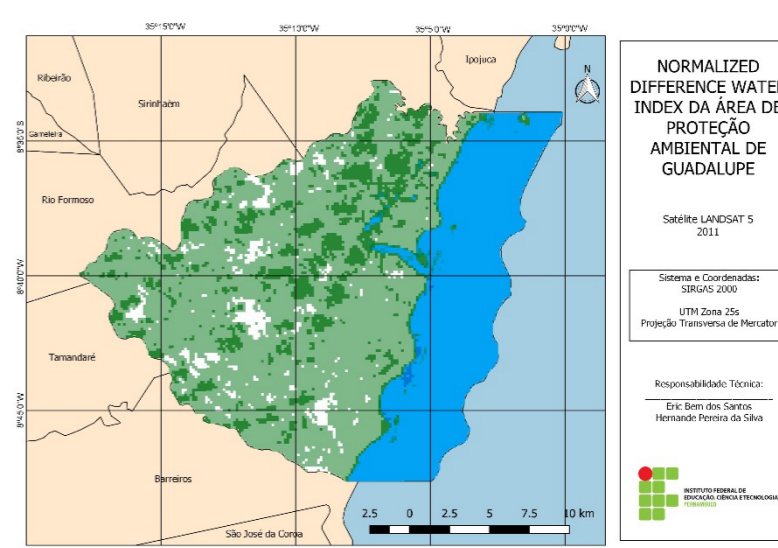
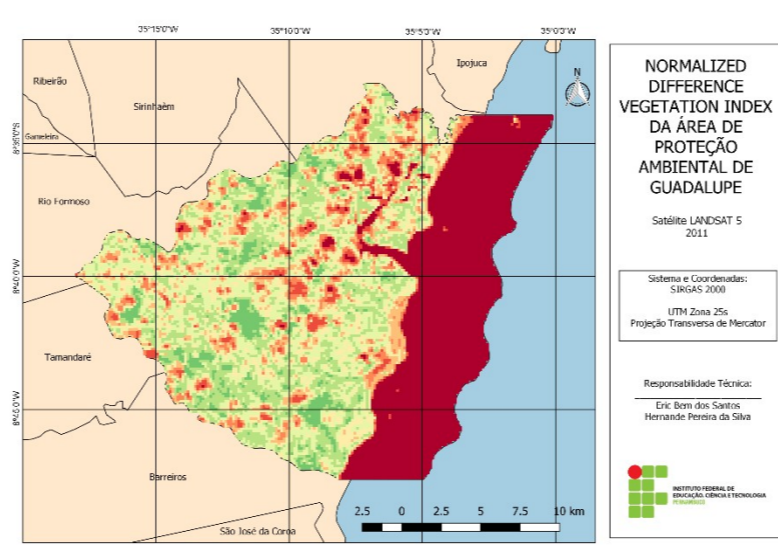
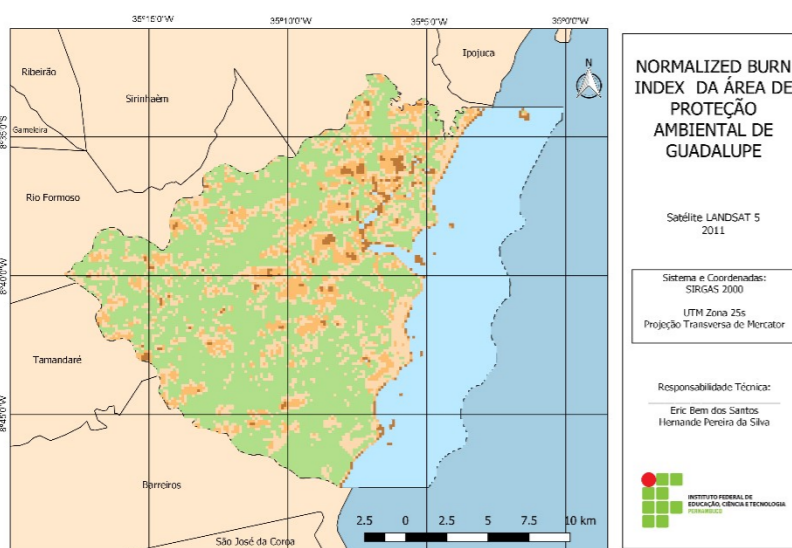
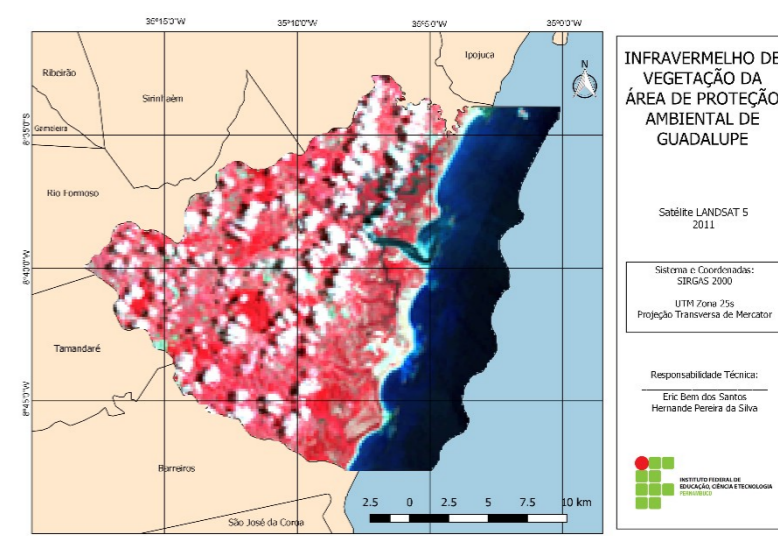
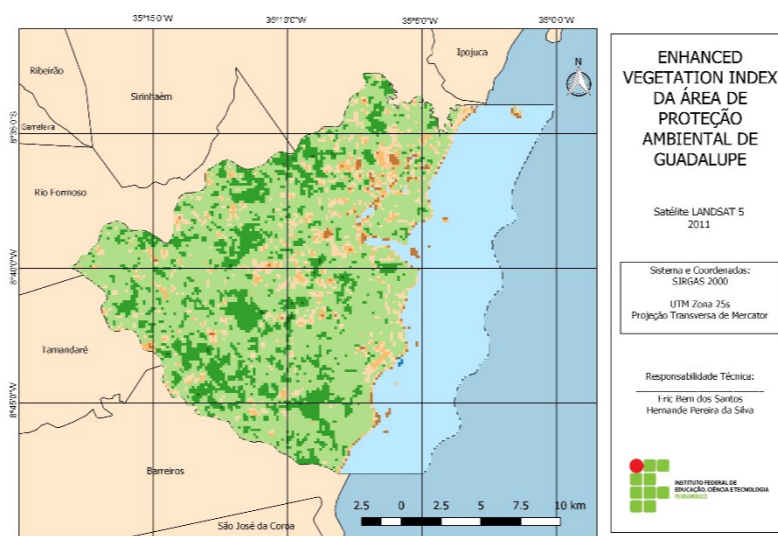
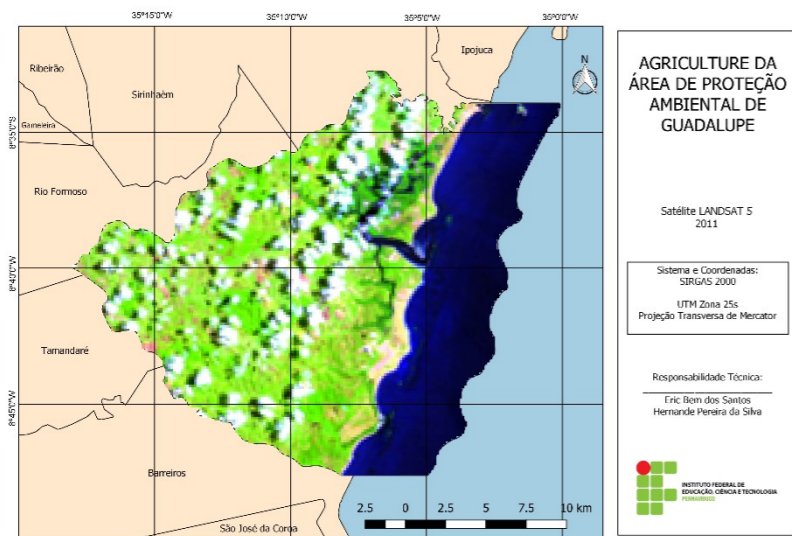




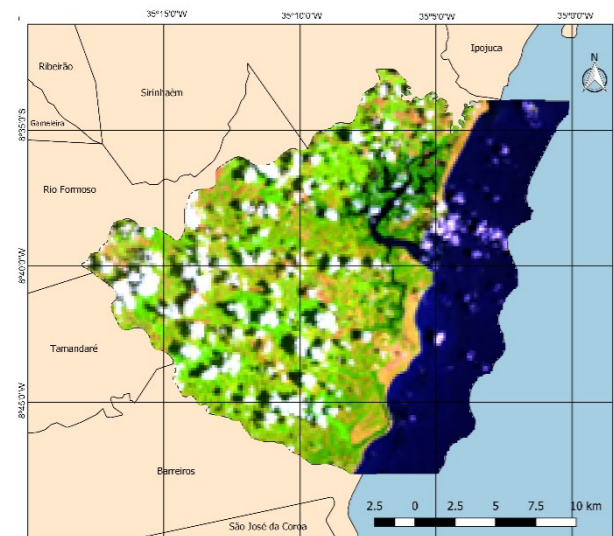
# 2006



# 2011



# 2016



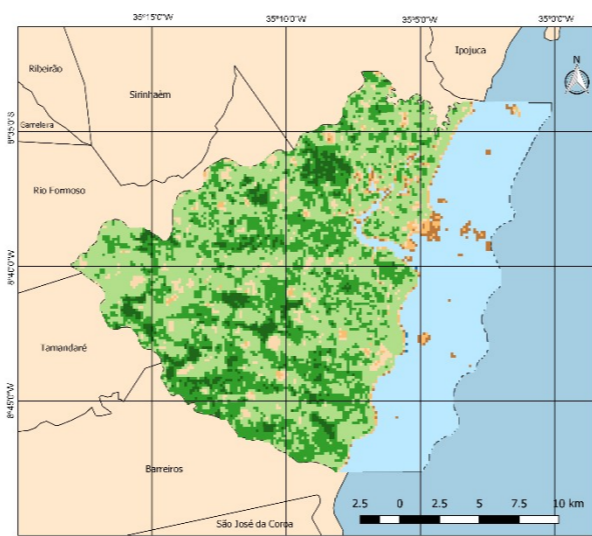
**AGRICULTURA DA ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DE GUADALUPE**

Satélite LANDSAT 8 2016

Sistema e Coordenadas:  
SIRGAS 2000  
UTM Zona 25s  
Projeção Transversa de Mercator

Responsabilidade Técnica:  
Eric Bem dos Santos  
Hernande Pereira da Silva

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
PATOS DE MINAS



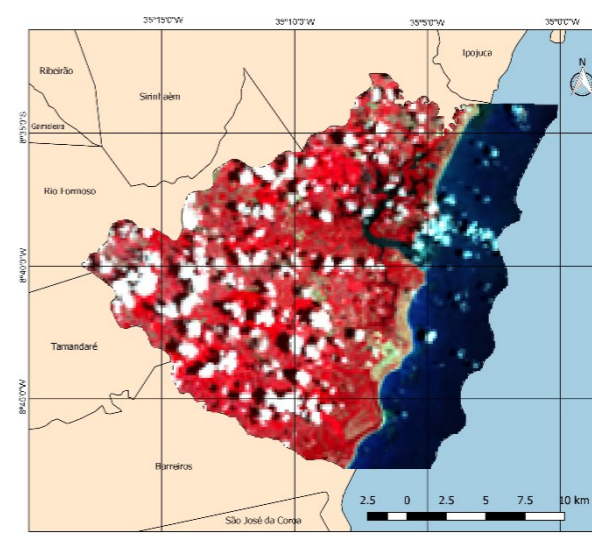
**ENHANCED VEGETATION INDEX DA ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DE GUADALUPE**

Satélite LANDSAT 8 2016

Sistema e Coordenadas:  
SIRGAS 2000  
UTM Zona 25s  
Projeção Transversa de Mercator

Responsabilidade Técnica:  
Eric Bem dos Santos  
Hernande Pereira da Silva

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
PATOS DE MINAS



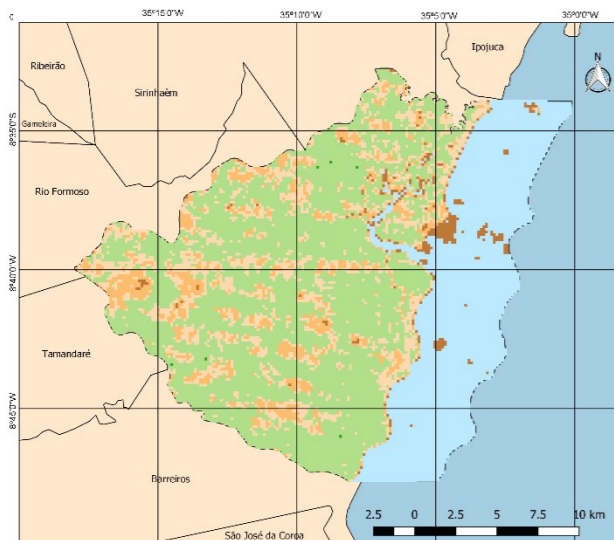
**INFRAVERMELHO DE VEGETAÇÃO DA ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DE GUADALUPE**

Satélite LANDSAT 8 2016

Sistema e Coordenadas:  
SIRGAS 2000  
UTM Zona 25s  
Projeção Transversa de Mercator

Responsabilidade Técnica:  
Eric Bem dos Santos  
Hernande Pereira da Silva

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
PATOS DE MINAS



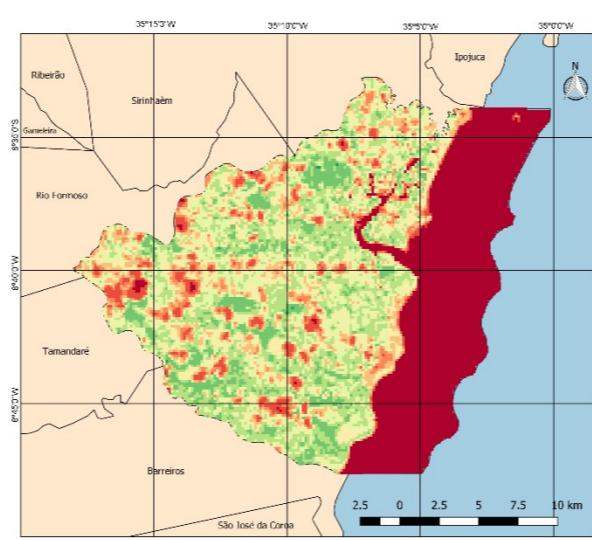
**NORMALIZED BURN INDEX DA ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DE GUADALUPE**

Satélite LANDSAT 8 2016

Sistema e Coordenadas:  
SIRGAS 2000  
UTM Zona 25s  
Projeção Transversa de Mercator

Responsabilidade Técnica:  
Eric Bem dos Santos  
Hernande Pereira da Silva

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
PATOS DE MINAS



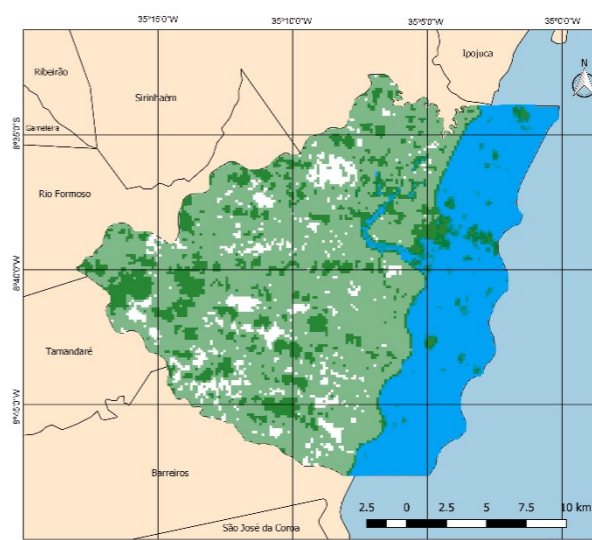
**NORMALIZED DIFFERENCE VEGETATION INDEX DA ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DE GUADALUPE**

Satélite LANDSAT 8 2016

Sistema e Coordenadas:  
SIRGAS 2000  
UTM Zona 25s  
Projeção Transversa de Mercator

Responsabilidade Técnica:  
Eric Bem dos Santos  
Hernande Pereira da Silva

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
PATOS DE MINAS



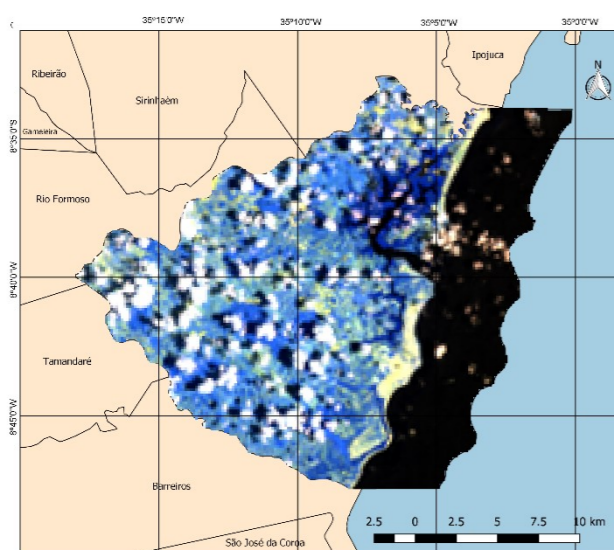
**NORMALIZED DIFFERENCE WATER INDEX DA ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DE GUADALUPE**

Satélite LANDSAT 8 2016

Sistema e Coordenadas:  
SIRGAS 2000  
UTM Zona 25s  
Projeção Transversa de Mercator

Responsabilidade Técnica:  
Eric Bem dos Santos  
Hernande Pereira da Silva

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
PATOS DE MINAS



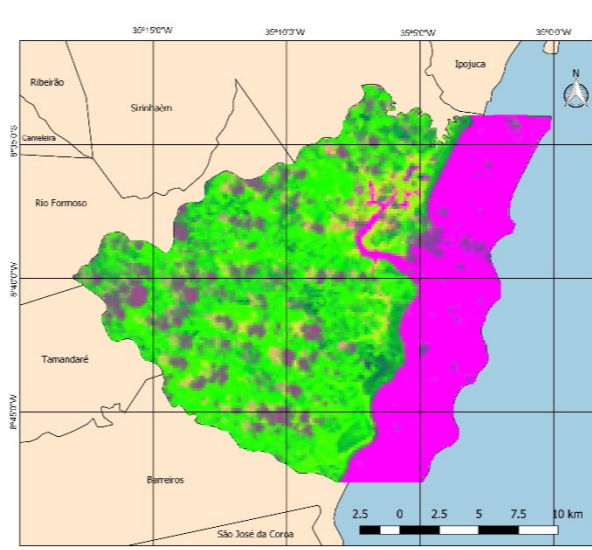
**PENETRAÇÃO ATMOSFERICA DA ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DE GUADALUPE**

Satélite LANDSAT 8 2016

Sistema e Coordenadas:  
SIRGAS 2000  
UTM Zona 25s  
Projeção Transversa de Mercator

Responsabilidade Técnica:  
Eric Bem dos Santos  
Hernande Pereira da Silva

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
PATOS DE MINAS



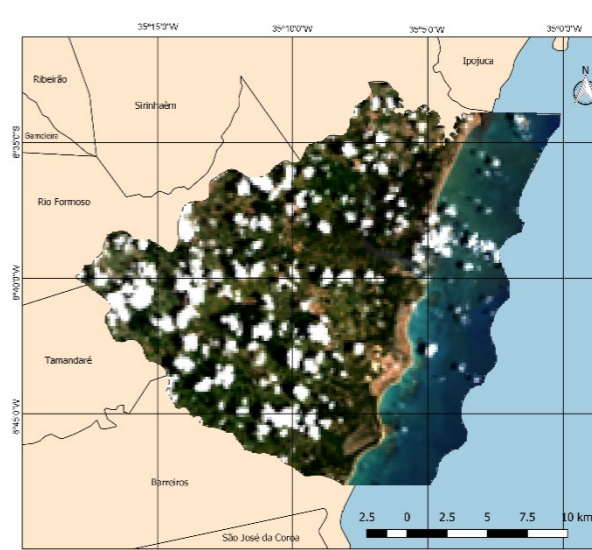
**PILHA DE ÍNDICES DA ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DE GUADALUPE**

Satélite LANDSAT 8 2016

Sistema e Coordenadas:  
SIRGAS 2000  
UTM Zona 25s  
Projeção Transversa de Mercator

Responsabilidade Técnica:  
Eric Bem dos Santos  
Hernande Pereira da Silva

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
PATOS DE MINAS



**COR NATURAL (RGB) DA ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DE GUADALUPE**

Satélite LANDSAT 8 2016

Sistema e Coordenadas:  
SIRGAS 2000  
UTM Zona 25s  
Projeção Transversa de Mercator

Responsabilidade Técnica:  
Eric Bem dos Santos  
Hernande Pereira da Silva

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
PATOS DE MINAS

APÊNDICE II

Tabelas de Dados e Coordenadas (Geográficas e Digitais) da Análise Espectral por Leitura de Pixel

Coordenadas geográficas das amostras coletadas dos respectivos ecossistemas

A Coordenada Digital da Amostra varia de acordo com a fotografia do satélite, norteadada pela Coordenada Geográfica

Combinções e Índices utilizados seguidos de suas respectivas siglas

| Ecossistemas do Bioma Mata Atlântica      | Coordenadas geográficas da Amostra |               | Coordenada Digital da Amostra |      | Valores de NC nas bandas espectrais | Índices de Vegetação |      |     |     |      |     | Combinções |     |     |
|---|------------------------------------|---------------|-------------------------------|------|-------------------------------------|----------------------|------|-----|-----|------|-----|------------|-----|-----|
|   | Lat                                | Long          | Col                           | Lin  |                                     | NDVI                 | SAVI | EVI | AG  | NDWI | PI  | RGB        | PA  | IVV |
| Restinga                                  | Lat                                | -8.744657 S   | Col                           | 1111 | PI $\alpha$                         | ND                   | 253  | 178 | 232 | 128  | 25  | 126        | 226 | 190 |
|   | Long                               | -35.094113 W  | Lin                           | 714  | PI $\beta$                          | 238                  | 218  | 223 | 183 | 185  | 220 | 94         | 232 | 79  |
|   |                                    |               |                               |      | PI $\gamma$                         | 169                  | 175  | 138 | 65  | 137  | 93  | 65         | 152 | 64  |
| Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas | Lat                                | -8.7235242 S  | Col                           | 1074 | PI $\alpha$                         | 232                  | 253  | 178 | 94  | 128  | 72  | 36         | 68  | 64  |
|   | Long                               | -35.1807206 W | Lin                           | 721  | PI $\beta$                          | 246                  | 191  | 223 | 131 | 185  | ND  | 34         | 117 | 0   |
|   |                                    |               |                               |      | PI $\gamma$                         | 168                  | 111  | 138 | 153 | 137  | 0   | 5          | 152 | 0   |
| Mangue                                    | Lat                                | -8.727534 S   | Col                           | 1115 | PI $\alpha$                         | 232                  | 178  | 253 | 28  | 40   | 39  | 37         | 0   | 165 |
|   | Long                               | -35.097883 W  | Lin                           | 700  | PI $\beta$                          | 246                  | 223  | 191 | 135 | 135  | ND  | 29         | 21  | 51  |
|   |                                    |               |                               |      | PI $\gamma$                         | 168                  | 138  | 111 | 0   | 52   | 22  | 2          | 112 | 43  |

Ecossistemas analisados em cada um dos índices e combinações.

Valores de Níveis de Cinza nas bandas espectrais dos Pixels de cada ponto amostral dos ecossistemas

**Análise Espectral por Leitura de Pixel dos Ecossistemas de Mata Atlântica na Área de Proteção Ambiental de Guadalupe do ano de 1984, Pernambuco – BR**

**Satélite:** Landsat 5

**Id da Imagem analisada:** LT05\_L1TP\_214066\_19840930\_20170220\_01\_M

| Ecossistemas do Bioma Mata Atlântica      | Coordenadas geográficas da Amostra |               | Coordenada Digital da Amostra |      | Valores de NC nas bandas espectrais | Índices de Vegetação |      |     |     |      |     | Combinações |     |     |
|---|------------------------------------|---------------|-------------------------------|------|-------------------------------------|----------------------|------|-----|-----|------|-----|-------------|-----|-----|
|   |                                    |               |                               |      |                                     | NDVI                 | SAVI | EVI | AG  | NDWI | PI  | RGB         | PA  | IVV |
| Restinga                                  | Lat                                | -8.744657 S   | Col                           | 1111 | PI $\alpha$                         | ND                   | 253  | 178 | 232 | 128  | 25  | 126         | 226 | 190 |
|   | Long                               | -35.094113 W  | Lin                           | 714  | PI $\beta$                          | 238                  | 218  | 223 | 183 | 185  | 220 | 94          | 232 | 79  |
|   |                                    |               |                               |      | PI $\gamma$                         | 169                  | 175  | 138 | 65  | 137  | 93  | 65          | 152 | 64  |
| Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas | Lat                                | -8.7235242 S  | Col                           | 1074 | PI $\alpha$                         | 232                  | 253  | 178 | 94  | 128  | 72  | 36          | 68  | 64  |
|   | Long                               | -35.1807206 W | Lin                           | 721  | PI $\beta$                          | 246                  | 191  | 223 | 131 | 185  | ND  | 34          | 117 | 0   |
|   |                                    |               |                               |      | PI $\gamma$                         | 168                  | 111  | 138 | 153 | 137  | 0   | 5           | 152 | 0   |
| Mangue                                    | Lat                                | -8.727534 S   | Col                           | 1115 | PI $\alpha$                         | 232                  | 178  | 253 | 28  | 40   | 39  | 37          | 0   | 165 |
|   | Long                               | -35.097883 W  | Lin                           | 700  | PI $\beta$                          | 246                  | 223  | 191 | 135 | 135  | ND  | 29          | 21  | 51  |
|   |                                    |               |                               |      | PI $\gamma$                         | 168                  | 138  | 111 | 0   | 52   | 22  | 2           | 112 | 43  |

**Análise Espectral por Leitura de Pixel dos Ecossistemas de Mata Atlântica na Área de Proteção Ambiental de Guadalupe do ano de 1990, Pernambuco – BR**

**Satélite:** Landsat 5

**Id da Imagem analisada:** LT05\_L1TP\_214066\_19900611\_20170131\_01\_T1\_M

| Ecossistemas do Bioma Mata Atlântica      | Coordenadas geográficas da Amostra |               | Coordenada Digital da Amostra |      | Valores de NC nas bandas espectrais | Índices de Vegetação |      |     |     |      | Combinações |     |     |     |
|---|------------------------------------|---------------|-------------------------------|------|-------------------------------------|----------------------|------|-----|-----|------|-------------|-----|-----|-----|
|   |                                    |               |                               |      |                                     | NDVI                 | SAVI | EVI | AG  | NDWI | PI          | RGB | PA  | IVV |
| Restinga                                  | Lat                                | -8.744657 S   | Col                           | 1111 | PI $\alpha$                         | 232                  | 253  | 178 | 165 | 128  | 26          | 155 | 250 | 195 |
|   |                                    |               |                               |      | PI $\beta$                          | 238                  | 218  | 223 | 176 | 185  | 225         | 113 | 254 | 162 |
|   | Long                               | -35.094113 W  | Lin                           | 714  | PI $\gamma$                         | 169                  | 175  | 138 | 40  | 137  | 69          | 60  | 176 | 135 |
| Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas | Lat                                | -8.7235242 S  | Col                           | 1074 | PI $\alpha$                         | 117                  | 178  | 51  | 124 | 124  | 34          | 25  | 62  | 157 |
|   |                                    |               |                               |      | PI $\beta$                          | 200                  | 223  | 169 | 156 | ND   | ND          | 34  | 127 | 17  |
|   | Long                               | -35.1807206 W | Lin                           | 721  | PI $\gamma$                         | 110                  | 138  | 44  | 0   | 138  | 0           | 0   | 222 | 21  |
| Mangue                                    | Lat                                | -8.727534 S   | Col                           | 1115 | PI $\alpha$                         | 232                  | 253  | 178 | 59  | 40   | 157         | 58  | 32  | 184 |
|   |                                    |               |                               |      | PI $\beta$                          | 246                  | 218  | 160 | 169 | 135  | 153         | 63  | 76  | 34  |
|   | Long                               | -35.097883 W  | Lin                           | 700  | PI $\gamma$                         | 168                  | 175  | 44  | 4   | 52   | 142         | 21  | 185 | 50  |

**Análise Espectral por Leitura de Pixel dos Ecossistemas de Mata Atlântica na Área de Proteção Ambiental de Guadalupe do ano de 1992, Pernambuco – BR**

**Satélite:** Landsat 5

**Id da Imagem analisada:** LT05\_L1TP\_214066\_19920515\_20170122\_01\_T1\_M

| Ecossistemas do Bioma Mata Atlântica      | Coordenadas geográficas da Amostra |               | Coordenada Digital da Amostra |      | Valores de NC nas bandas espectrais | Índices de Vegetação |      |     |     |      |     | Combinações |     |     |
|---|------------------------------------|---------------|-------------------------------|------|-------------------------------------|----------------------|------|-----|-----|------|-----|-------------|-----|-----|
|   |                                    |               |                               |      |                                     | NDVI                 | SAVI | EVI | AG  | NDWI | PI  | RGB         | PA  | IVV |
| Restinga                                  | Lat                                | -8.744657 S   | Col                           | 1111 | PI $\alpha$                         | 235                  | 253  | 178 | 164 | 128  | 27  | 158         | 250 | 190 |
|   | Long                               | -35.094113 W  | Lin                           | 714  | PI $\beta$                          | 236                  | 214  | 223 | 171 | 185  | 225 | 105         | 257 | 161 |
|   |                                    |               |                               |      | PI $\gamma$                         | 161                  | 175  | 139 | 41  | 137  | 79  | 65          | 161 | 133 |
| Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas | Lat                                | -8.7235242 S  | Col                           | 1074 | PI $\alpha$                         | 111                  | 176  | 121 | 124 | 124  | 39  | 28          | 60  | 154 |
|   | Long                               | -35.1807206 W | Lin                           | 721  | PI $\beta$                          | 212                  | 224  | 178 | 156 | 98   | ND  | 35          | 132 | 15  |
|   |                                    |               |                               |      | PI $\gamma$                         | 119                  | 139  | 124 | 3   | 131  | 4   | 6           | 220 | 23  |
| Mangue                                    | Lat                                | -8.727534 S   | Col                           | 1115 | PI $\alpha$                         | 233                  | 257  | 193 | 54  | 40   | 157 | 59          | 10  | 184 |
|   | Long                               | -35.097883 W  | Lin                           | 700  | PI $\beta$                          | 245                  | 218  | 169 | 160 | 135  | 153 | 68          | 75  | 34  |
|   |                                    |               |                               |      | PI $\gamma$                         | 167                  | 170  | 147 | 3   | 51   | 149 | 21          | 169 | 57  |

**Análise Espectral por Leitura de Pixel dos Ecossistemas de Mata Atlântica na Área de Proteção Ambiental de Guadalupe do ano de 2001, Pernambuco – BR**

**Satélite:** Landsat 7

**Id da Imagem analisada:** LE07\_L1TP\_214066\_20010921\_20170203\_01\_T1\_M

| Ecossistemas do Bioma Mata Atlântica      | Coordenadas geográficas da Amostra |               | Coordenada Digital da Amostra |      | Valores de NC nas bandas espectrais | Índices de Vegetação |      |     |     |      |     | Combinações |     |     |
|---|------------------------------------|---------------|-------------------------------|------|-------------------------------------|----------------------|------|-----|-----|------|-----|-------------|-----|-----|
|   |                                    |               |                               |      |                                     | NDVI                 | SAVI | EVI | AG  | NDWI | PI  | RGB         | PA  | IVV |
| Restinga                                  | Lat                                | -8.744657 S   | Col                           | 1111 | PI $\alpha$                         | 232                  | 253  | 178 | 170 | 128  | 5   | 113         | 208 | 190 |
|   | Long                               | -35.094113 W  | Lin                           | 714  | PI $\beta$                          | 246                  | 218  | 223 | 137 | 185  | ND  | 74          | 227 | 79  |
|   |                                    |               |                               |      | PI $\gamma$                         | 168                  | 175  | 138 | 16  | 137  | 88  | 50          | 186 | 64  |
| Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas | Lat                                | -8.7235242 S  | Col                           | 1074 | PI $\alpha$                         | 117                  | 178  | 51  | 100 | 124  | 80  | 0           | 34  | 64  |
|   | Long                               | -35.1807206 W | Lin                           | 721  | PI $\beta$                          | 200                  | 223  | 160 | 182 | 111  | ND  | 2           | 100 | 0   |
|   |                                    |               |                               |      | PI $\gamma$                         | 110                  | 138  | 44  | 0   | 138  | 0   | 0           | 182 | 0   |
| Mangue                                    | Lat                                | -8.727534 S   | Col                           | 1115 | PI $\alpha$                         | 185                  | 253  | 253 | 102 | 40   | 218 | 48          | 25  | 165 |
|   | Long                               | -35.097883 W  | Lin                           | 700  | PI $\beta$                          | 226                  | 218  | 191 | 152 | 135  | 211 | 40          | 40  | 51  |
|   |                                    |               |                               |      | PI $\gamma$                         | 130                  | 175  | 111 | 2   | 52   | 19  | 18          | 148 | 43  |



**Análise Espectral por Leitura de Pixel dos Ecossistemas de Mata Atlântica na Área de Proteção Ambiental de Guadalupe do ano de 2006, Pernambuco – BR**

**Satélite:** Landsat 5

**Id da Imagem analisada:** LT05\_L1TP\_214066\_20060826\_20161119\_01\_T1\_M

| Ecossistemas do Bioma Mata Atlântica      | Coordenadas geográficas da Amostra |               | Coordenada Digital da Amostra |      | Valores de NC nas bandas espectrais | Índices de Vegetação |      |     |     |      |     | Combinações |     |     |
|---|------------------------------------|---------------|-------------------------------|------|-------------------------------------|----------------------|------|-----|-----|------|-----|-------------|-----|-----|
|   |                                    |               |                               |      |                                     | NDVI                 | SAVI | EVI | AG  | NDWI | PI  | RGB         | PA  | IVV |
| Restinga                                  | Lat                                | -8.744657 S   | Col                           | 1111 | PI $\alpha$                         | 230                  | 253  | 178 | 163 | 129  | 20  | 166         | 251 | 199 |
|   |                                    |               |                               |      | PI $\beta$                          | 245                  | 218  | 223 | 175 | 186  | 180 | 118         | 256 | 162 |
|   | Long                               | -35.094113 W  | Lin                           | 714  | PI $\gamma$                         | 176                  | 176  | 139 | 44  | 134  | 78  | 69          | 170 | 135 |
| Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas | Lat                                | -8.7235242 S  | Col                           | 1074 | PI $\alpha$                         | 121                  | 175  | 54  | 127 | 127  | 33  | 25          | 65  | 157 |
|   |                                    |               |                               |      | PI $\beta$                          | 200                  | 223  | 169 | 158 | ND   | ND  | 34          | 133 | 18  |
|   | Long                               | -35.1807206 W | Lin                           | 721  | PI $\gamma$                         | 110                  | 138  | 43  | 2   | 132  | 7   | 4           | 227 | 22  |
| Mangue                                    | Lat                                | -8.727534 S   | Col                           | 1115 | PI $\alpha$                         | 231                  | 252  | 188 | 67  | 41   | 176 | 7           | 35  | 187 |
|   |                                    |               |                               |      | PI $\beta$                          | 246                  | 218  | 163 | 150 | 145  | 154 | 68          | 78  | 38  |
|   | Long                               | -35.097883 W  | Lin                           | 700  | PI $\gamma$                         | 169                  | 175  | 46  | 11  | 50   | 143 | 28          | 199 | 51  |

**Análise Espectral por Leitura de Pixel dos Ecossistemas de Mata Atlântica na Área de Proteção Ambiental de Guadalupe do ano de 2011, Pernambuco – BR**

**Satélite:** Landsat 5

**Id da Imagem analisada:** LT05\_L1TP\_214066\_20110317\_20161208\_01\_T1\_M

| Ecossistemas do Bioma Mata Atlântica      | Coordenadas geográficas da Amostra |               | Coordenada Digital da Amostra |      | Valores de NC nas bandas espectrais | Índices de Vegetação |      |     |     |      |     | Combinações |     |     |
|---|------------------------------------|---------------|-------------------------------|------|-------------------------------------|----------------------|------|-----|-----|------|-----|-------------|-----|-----|
|   |                                    |               |                               |      |                                     | NDVI                 | SAVI | EVI | AG  | NDWI | PI  | RGB         | PA  | IVV |
| Restinga                                  | Lat                                | -8.744657 S   | Col                           | 1111 | PI $\alpha$                         | 235                  | 234  | 179 | 164 | 131  | 26  | 159         | 254 | 199 |
|   | Long                               | -35.094113 W  | Lin                           | 714  | PI $\beta$                          | 240                  | 224  | 225 | 174 | 190  | 225 | 118         | 258 | 168 |
|   |                                    |               |                               |      | PI $\gamma$                         | 177                  | 181  | 144 | 44  | 135  | 67  | 67          | 175 | 138 |
| Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas | Lat                                | -8.7235242 S  | Col                           | 1074 | PI $\alpha$                         | 114                  | 177  | 67  | 126 | 125  | 36  | 28          | 61  | 168 |
|   | Long                               | -35.1807206 W | Lin                           | 721  | PI $\beta$                          | 198                  | 227  | 188 | 158 | ND   | ND  | 38          | 129 | 18  |
|   |                                    |               |                               |      | PI $\gamma$                         | 111                  | 137  | 46  | 12  | 140  | 0   | 1           | 223 | 29  |
| Mangue                                    | Lat                                | -8.727534 S   | Col                           | 1115 | PI $\alpha$                         | 236                  | 257  | 179 | 50  | 41   | 161 | 57          | 35  | 186 |
|   | Long                               | -35.097883 W  | Lin                           | 700  | PI $\beta$                          | 244                  | 233  | 167 | 178 | 137  | 155 | 60          | 78  | 34  |
|   |                                    |               |                               |      | PI $\gamma$                         | 169                  | 176  | 49  | 9   | 55   | 146 | 27          | 189 | 52  |

**Análise Espectral por Leitura de Pixel dos Ecossistemas de Mata Atlântica na Área de Proteção Ambiental de  
Guadalupe do ano de 2016, Pernambuco – BR**

**Satélite:** Landsat 8

**Id da Imagem analisada:** LC82140662016042LGN00 \_M

| Ecossistemas do Bioma Mata Atlântica      | Coordenadas geográficas da Amostra |               | Coordenada Digital da Amostra |      | Valores de NC nas bandas espectrais | Índices de Vegetação |      |     |     |      | Combinações |     |     |     |
|---|------------------------------------|---------------|-------------------------------|------|-------------------------------------|----------------------|------|-----|-----|------|-------------|-----|-----|-----|
|   |                                    |               |                               |      |                                     | NDVI                 | SAVI | EVI | AG  | NDWI | PI          | RGB | PA  | IVV |
| Restinga                                  | Lat                                | -8.744657 S   | Col                           | 1111 | PI $\alpha$                         | ND                   | 253  | 253 | 164 | 128  | 28          | 211 | 160 | 195 |
|   | Long                               | -35.094113 W  | Lin                           | 714  | PI $\beta$                          | 193                  | 218  | 218 | 163 | 185  | 128         | 144 | 180 | 195 |
|   |                                    |               |                               |      | PI $\gamma$                         | 122                  | 175  | 175 | 47  | 137  | 69          | 104 | 158 | 130 |
| Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas | Lat                                | -8.7235242 S  | Col                           | 1074 | PI $\alpha$                         | 117                  | 253  | 33  | 106 | 40   | 129         | 7   | 45  | 242 |
|   | Long                               | -35.1807206 W | Lin                           | 721  | PI $\beta$                          | 200                  | 191  | 104 | 242 | 135  | 117         | 21  | 100 | 0   |
|   |                                    |               |                               |      | PI $\gamma$                         | 110                  | 111  | 28  | 0   | 52   | 114         | 3   | 226 | 14  |
| Mangue                                    | Lat                                | -8.727534 S   | Col                           | 1115 | PI $\alpha$                         | 185                  | 253  | 51  | 87  | 128  | 157         | 9   | 0   | 167 |
|   | Long                               | -35.097883 W  | Lin                           | 700  | PI $\beta$                          | 226                  | 191  | 160 | 163 | 185  | 245         | 13  | 23  | 33  |
|   |                                    |               |                               |      | PI $\gamma$                         | 130                  | 111  | 44  | 5   | 137  | 32          | 0   | 101 | 33  |