

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS**  
**INSTITUTO DE GEOGRAFIA DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

**THAIS DE OLIVEIRA CASELA**

**ÁREAS POTENCIAIS PARA CULTIVO DE EUCALIPTO NA REGIÃO**  
**HIDROGRÁFICA SÃO MIGUEL, ALAGOAS**

**Maceió – AL**

**2019**

THAIS DE OLIVEIRA CASELA

**ÁREAS POTENCIAIS PARA CULTIVO DE EUCALIPTO NA REGIÃO  
HIDROGRÁFICA SÃO MIGUEL, ALAGOAS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, do Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente, da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Geografia: Dinâmica Socioambiental e Geoprocessamento.

Orientadora: Profa. Dra. Silvana Quintella Cavalcanti Calheiros

Maceió – AL  
2019

**Catálogo na fonte Universidade  
Federal de Alagoas Biblioteca  
Central**

Bibliotecário Responsável: Marcelino de Carvalho

C337a Casela, Thais de Oliveira.  
Áreas potenciais para cultivo de eucalipto na região hidrográfica São Miguel,  
Alagoas / Thais de Oliveira Casela – 2019.  
109 f.: il.

Orientadora: Silvana Quintella Cavalcanti Calheiros.  
Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Alagoas.  
Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente. Programa de Pós-  
Graduação em Geografia. Maceió, 2019.

Bibliografia: f. 95-104.

1. São Miguel, Rio, Bacia (AL). 2. Meio ambiente. 3. Avaliação paisagística.  
4. Eucalipto - Cultivo. 5. Geoprocessamento. 6. Hidrogeografia. I. Título.

CDU: 911.2:556(813.5)

THAIS DE OLIVEIRA CASELA

**ÁREAS POTENCIAIS PARA CULTIVO DE EUCALIPTO NA REGIÃO  
HIDROGRÁFICA SÃO MIGUEL, ALAGOAS**

Dissertação defendida e aprovada em: 01 de abril de 2019

**BANCA EXAMINADORA**

  
Prof.ª Dra. Silvana Quintella Cavalcanti Calheiros  
PPGG/IGDEMA/UFAL  
Orientadora

  
Prof.ª Dra. Ana Paula Lopes da Silva  
PPGG/IGDEMA/UFAL  
Membro interno

  
Prof. Dr. Antonio Carlos de Barros Corrêa  
PPGEO/UFPE  
Membro externo

## AGRADECIMENTOS

Às varias pessoas que foram direta e indiretamente essenciais na construção deste estudo, em especial:

Agradeço primeiro a Deus, pela vida e por toda sabedoria ao longo desta jornada, que me permitiu crescer como pessoa e profissionalmente.

A minha família, pela compreensão nos momentos de ausência, pelo amor incondicional e por toda força para alcançar meus objetivos, em especial, a minha mãe Rosemary de Oliveira, e as minhas tias Marlene Casela e Marilda Casela.

A Profa. Dra. Silvana Quintella Cavalcanti Calheiros, pela confiança depositada em mim e pelos ensinamentos, tão importantes e valiosos, repassados desde a graduação.

Aos professores Ana Paula Lopes da Silva e Antônio Carlos, por terem aceitado compor a banca examinadora e pelas inestimáveis contribuições para o aprimoramento desta pesquisa.

Aos professores MSc. Sinval Autran Mendes Guimaraes Junior e MSc. Esdras Lima Andrade, por compartilharem conhecimentos inestimáveis que ajudaram a enriquecer a pesquisa, e por todo apoio.

As amigas, Brunna Virna Lustosa Alencar e Bruna Lays Barbosa Santos, que acompanharam de perto todo o processo, me dando apoio em todos os momentos.

Ao meu namorado Marcell Luiz Ribeiro Barbosa e sua família, pelo carinho, hospitalidade e incentivo no desenrolar deste trabalho.

Aos amigos de jornada acadêmica, Lionaldo dos Santos e Ana Beatriz da Silva, pela amizade e suporte.

Aos colegas de laboratório, Elisabeth Berlamino de Melo e Miguel Arcanjo, pelo apoio prestado na elaboração dos dados, essenciais para o desenvolvimento da pesquisa, e pela troca de conhecimento.

Ao Laboratório de Geoprocessamento Aplicado (LGA-IGDEMA-UFAL), pelo espaço concedido e apoio na construção do trabalho.

Ao assistente administrativo do PPGG/IGDEMA/UFAL, Washington Gaia, pela solicitude e prontidão no atendimento as demandas burocráticas.

A CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pelo apoio financeiro.

Àqueles (as) cujos nomes involuntariamente não foram citados.

Se você não mudar a direção, terminará exatamente onde começou.  
-Antigo Provérbio Chinês-

## RESUMO

O florestamento com Eucalipto no estado de Alagoas vem aumentando de forma expressiva desde 2013, em unidades experimentais e expansões, de modo que estas alterações agrícolas e econômicas impactam diretamente no meio ambiente. Essas alterações antrópicas ao meio ambiente possuem magnitudes e interferências na sustentabilidade abiótica, biótica e socioeconômica, necessitando de constante e permanente análise das condições ambientais. O presente estudo objetiva orientar e identificar as áreas potenciais para o cultivo de eucalipto na Região Hidrográfica São Miguel (RHSM-AL), de modo que este prognóstico seja uma base para um planejamento territorial e subsidie a tomada de decisões fundamentadas no conhecimento da realidade de forma especializada e mensurada. A região de estudo é composta por 5 bacias hidrográficas (Rio Poxim, Rio Jequiá, Riacho Tabuada, Rio São Miguel e Rio Niquim) e caracterizada pela presença histórica da monocultura da cana-de-açúcar e pela recente introdução da eucaliptocultura. As análises ambientais foram procedidas com base em geoprocessamento, cujos Sistemas Geográficos de Informação utilizados foram o SAGA-UFRJ e o QGIS, sob uma base de dados geocodificados atualizada de variáveis relevantes para identificação dessa potencialidade, de forma que foram gerados 5 cartogramas ambientais: delimitação da área de estudo, uso do solo e cobertura vegetal, hipsometria, declividade. Os resultados dessas características fisiográficas permitiu realizar algumas considerações sobre a área de estudo, evidenciando uma região com forte presença da cana-de-açúcar e pastagem, extensão territorial predominante de cotas altimétricas inferiores a 200 m e relevo plano. Portanto, para a identificação das áreas potencial, utilizou-se a integração de dados através do algoritmo de média ponderada, qual se expressa através de pesos e notas. Como resultado final, obteve-se 5 classes de potencial: baixíssimo (notas 1-2), baixo (notas 3-4), médio (notas 5-6), alto (notas 7-8) e altíssimo (notas 9-10). As três primeiras classes apresentaram áreas muito fragmentas e dispersas, somadas totalizam 9,4%, a quarta classe foi a maior ocorrência territorial, com 57%, e por fim, a quinta classe ocupou 33% da área total analisada. Destaca-se, no que tange a legislação ambiental, nem todas as áreas com alta potencialidade permitem a implantação desse cultivo, sendo atribuídas a essas áreas restrições; e de acordo com estudos de impacto do eucalipto aos recursos hídricos, somente 20% de cada bacia hidrográfica são toleradas para que o impacto seja mínimo. Os resultados obtidos buscam contribuir para o planejamento territorial e constituir-se de apoio à decisão.

Palavras-Chave: Geoprocessamento. Meio Ambiente. Avaliação Ambiental.

## ABSTRACT

Eucalyptus afforestation in the state of Alagoas has been increasing significantly since 2013, in experimental units and expansions, so that these agricultural and economic changes have a direct impact on the environment. These anthropic alterations to the environment have magnitudes and interferences in the abiotic, biotic and socioeconomic sustainability, necessitating a constant and permanent analysis of the environmental conditions. Therefore, the present study aims to guide and identify the potential areas for eucalyptus cultivation in the São Miguel Hydrographic Region (RHSM-AL), so that this prognosis is a basis for a territorial planning and subsidizes informed decision-making reality in a specialized and measured way. The study area is the São Miguel - Alagoas Hydrographic Region (RHSM - AL), composed of 5 hydrographic basins (Poxim River, Jequiá River, Tabuada River, São Miguel River and River Niquim) and characterized by the historical presence of the sugarcane monoculture and the recent introduction of eucalyptus. The environmental analyzes were carried out based on geoprocessing, which Geographic Information Systems used were the SAGA-UFRJ and the QGIS, under an updated geocoded database of relevant variables to identify this potential, so that 5 environmental cartograms were generated: delimitation of the study area, soil use and vegetation cover, hypsometry and slope. The results of these physiological characteristics, allowed making some considerations about the study area, evidencing a region with strong presence of sugarcane and pasture, predominant territorial extension of altimetric heights of less than 200 m and flat relief. Therefore, to obtain an identification of the potential areas, was used a data integration using the weighted average algorithm, which is the classified by weights and grades. As a final result, he obtained 5 classes of potential: very low (grades 1-2), low (grades 3-4), medium (grades 5-6), high (grades 7-8) and very high (grades 9-10). The first three classes were very fragmented and dispersed along the studied area, totaling 9.4%, the fourth class was a large territoriality, with 57%, and finally, the fifth class occupies 33% of the total area analyzed. It should be noted that, about the environmental legislation, it is not allowed the implantation of this cultivation in all areas with high potentiality, therefore, restrictions are attributed to these areas; and according to the eucalyptus impact studies on water resources, only 20% of each hydrographic basins are tolerated for a minimum impact. The obtained results seek to contribute to the territorial planning and provide support for the decision-making.

Keywords: Geoprocessing. Environment. Environmental Assessment.

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 - Localização da área de estudo. ....  | 28 |
| Figura 2 - Fluxograma das etapas da pesquisa. ....  | 30 |
| Figura 3 - Cartogramas das Séries Históricas (1990-2000) de Temperatura Média, à esquerda, e Pluviometria Média, à direita. ....  | 31 |
| Figura 4 - Cartograma de Pedologia e Grupos Texturais, respectivamente. ....  | 34 |
| Figura 5 - Mosaico e grade das imagens do satélite Sentinel-2, 2017 e 2018. ....  | 35 |
| Figura 6 - (A) Matriz de altitudes com presença e sem correção dos “sinks”; (B) Matriz de altitudes corrigida. ....   | 38 |
| Figura 7 - MDE sem correção dos “sinks”, acima; MDE corrigido, por meio da execução da função “fill sinks”, abaixo. ....  | 38 |
| Figura 8 - As oito possibilidades de direções de fluxo, Modelo D8. ....   | 39 |
| Figura 9 - Imagens do Sentinel-2 de parte da RHSM; (a) composição verdadeira com RGB432; (b) composição falsa-cor com RGB 843; (c) RGB 382 para corpos d’água. ....   | 42 |
| Figura 10 – Esquema do potencial ambiental com restrições legais. ....  | 47 |
| Figura 11 - Comparação dos limites em escalas de 1:50.000 e 1:100.000 e ampliação de áreas com maior diferenciação. ....  | 50 |
| Figura 12 - Cultivo temporário de cana-de-açúcar (A), no município de Roteiro, e pecuária de animais de grande porte (B), no município Tanque D’arca. ....  | 52 |
| Figura 13 – Cultura permanente de coco-da-baía (A), na laguna do Roteiro; e campo rupestre/aflorescimento rochoso (B), no município de Maribondo. ....  | 52 |
| Figura 14 - Extração mineral no município de Maribondo. ....  | 53 |
| Figura 15 - Uso do solo e cobertura vegetal de 2017/2018. ....  | 54 |
| Figura 16 - Hipsometria. ....   | 56 |
| Figura 17 - Declividade. ....   | 58 |
| Figura 18 - Áreas de Proteção Permanente. ....  | 60 |
| Figura 19 – Maiores áreas plantadas de Eucalipto na Região Hidrográfica São Miguel, localizadas na porção norte-oeste, referentes aos anos de 2009 (A) e 2018 (B), e próxima a Laguna do Jequiá, referentes aos anos de 2012 (C) e 2018 (D). .... | 62 |
| Figura 20 – Amostras de áreas cultivadas com eucalipto na RHSM-AL. ....   | 64 |
| Figura 21 – Compartimentação geomorfológica da bacia hidrográfica São Miguel Alagoas. ....  | 72 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 22 – Localização de segmentos de área da classe de altíssimo potencial na região de estudo.....   | 78 |
| Figura 23 – Participação percentual das variáveis Altitude (A) e Declividade (B) nas áreas com altíssimo potencial de cultivo de eucalipto.....  | 79 |
| Figura 24 - Participação percentual das variáveis de Uso do solo (A) e de Declividade (B) nas áreas com altíssimo potencial de cultivo de eucalipto .....  | 80 |
| Figura 25 - Localização de segmentos de área da classe de alto potencial na região de estudo .....   | 80 |
| Figura 26 - Localização de segmentos de área da classe de médio potencial na região de estudo.....   | 81 |
| Figura 27 - Participação percentual das variáveis Pedologia (A) e Altitude (B) nas áreas com altíssimo potencial de cultivo de eucalipto.....  | 82 |
| Figura 28 - Localização de segmentos de área da classe de baixo potencial na região de estudo.....   | 83 |
| Figura 29 - Participação percentual das variáveis de Uso do solo (A) e de Altitude (B) nas áreas com baixo potencial de cultivo de eucalipto .....   | 84 |
| Figura 30 - Áreas Potenciais para cultivo de eucalipto sem restrição legal na RHSM.....  | 85 |
| Figura 31 – Recorte espacial de parte da RHSM, com enfoque na Laguna Roteiro e nas classes do potencial de eucalipto com restrições legais; (A) APP's, (B) remanescentes de vegetação e (C) manguezais. .... | 87 |
| Figura 32 – Áreas potenciais para cultivo de eucalipto com restrições legais.....  | 88 |
| Figura 33 - Distribuição das áreas de 20% em cada bacia hidrográfica da RHSM .....   | 91 |

## LISTA DE GRÁFICOS

|  |    |
|--|----|
| Gráfico 1–Distribuição de área das restrições legais para plantação de eucalipto .....   | 59 |
| Gráfico 2 - Distribuição percentual nas áreas plantadas de eucalipto - Altitude.....   | 71 |
| Gráfico 3 - Distribuição percentual nas áreas plantadas e amostrais de cultivo de eucalipto - Declividade.....                       | 73 |
| Gráfico 4 – Distribuição percentual nas áreas plantadas de eucalipto - Pedologia .....   | 74 |
| Gráfico 5 – Distribuição percentual das áreas de restrição legal por classe do cartograma de potencial de cultivo de eucalipto ..... | 86 |
| Gráfico 6 – Distribuição das áreas de 20% e área total das classes altíssimo/alto potencial de cada bacia hidrográfica.....          | 90 |

## LISTA DE QUADROS

|   |    |
|---|----|
| Quadro 1 – Impactos ambientais causados pelo eucalipto em 3 escalas .....   | 22 |
| Quadro 2- Referência das imagens obtidas a partir do satélite Sentinel-2 .....  | 36 |
| Quadro 3 - Sistema de classificação da cobertura e do uso da terra.....   | 40 |
| Quadro 4 - Sistema de classificação da cobertura e do uso da terra.....   | 41 |
| Quadro 5 - Classes de declividade.....  | 44 |
| Quadro 6 - Resultados em percentagem das amostras - Pedologia .....   | 65 |
| Quadro 7 - Resultados em percentagem das amostras – Grupamento Textural.....  | 66 |
| Quadro 8 – Resultados em percentagem das amostras – Altitude.....   | 66 |
| Quadro 9 - Resultados em percentagem das amostras – Declividade .....   | 67 |
| Quadro 10 - Atribuição sintetizada de pesos e notas das variáveis e suas respectivas classes                              | 68 |
| Quadro 10 – Atribuição sintetizada de pesos e notas das variáveis e suas respectivas classes                              | 69 |
| Quadro 12 - Atribuição de notas isoladas das classes do grupo textural.....   | 75 |
| Quadro 13 – Ajuste das classes, de escala ordinal para nominal, do cartograma de potencial para cultivo de eucalipto..... | 76 |

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1 - Planimetria dos municípios que compõem pela RHSM-AL. ....                           | 27 |
| Tabela 2 - Características geométricas da Região Hidrográfica São Miguel-AL. ....              | 49 |
| Tabela 3 - Planimetria do uso do solo e cobertura vegetal .....                                | 51 |
| Tabela 4 - Planimetria da hispsometria .....   | 55 |
| Tabela 5 - Planimetria da declividade .....  | 57 |
| Tabela 6 - Assinatura das áreas plantadas de eucalipto.....                                    | 63 |
| Tabela 8 – Planimetria das áreas potenciais de cultivo de eucalipto sem restrições legais..... | 77 |

## LISTA DE ABREVEATURAS E SIGLAS

|         |   |
|---------|---|
| ABRAF   | Associação Brasileira de Produtores de Floresta Plantada      |
| AL      | Alagoas   |
| ANA     | Agencia Nacional das Águas                                    |
| ALOS    | Advanced Land Observing Satellite                             |
| APP     | Áreas de Preservação Permanente                               |
| CELMM   | Complexo Estuarino Mundaú-Manguaba                            |
| Embrapa | Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária                   |
| HA      | Hectares  |
| IBGE    | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística               |
| Igdema  | Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente       |
| IMA     | Instituto do Meio Ambiente de Alagoas                         |
| JAXA    | Japan Aerospace Exploration Agency                            |
| JAROS   | Japan Resources Observation System Organization               |
| LGA     | Laboratório de Geoprocessamento Aplicado                      |
| MDE     | Modelo digital de Elevação                                    |
| MSI     | Multi Spectral Instrument                                     |
| OSGeo   | Open Source Geographic Information System                     |
| QGIS    | Sistema Geográfico de Informação de código aberto             |
| PALSAR  | Phased Array L-band Synthetic Aperture Radar                  |
| RGB     | Red, Green e Blue   |
| RHSM    | Região Hidrográfica São Miguel                                |
| S.A.G.A | Sistema de Análise GeoAmbiental                               |
| SAGA    | Sistema de Análises Geocientíficas Automatizado               |
| SEMARH  | Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos |
| SHP     | Shapefile   |
| SIG     | Sistema Geográfico de Informação                              |
| RPPN    | Reservas Particulares do Patrimônio Natural                   |
| TIN     | Triangular Irregular Networks                                 |
| ZAAL    | Zoneamento Agroecológico do Estado de Alagoas                 |

## SUMÁRIO

|         |   |    |
|---------|---|----|
| 1       | INTRODUÇÃO .....  | 17 |
| 2       | REVISÃO DE LITERATURA .....   | 19 |
| 2.1     | Caracterização do Eucalipto .....   | 19 |
| 2.1.1   | Impactos ambientais .....   | 21 |
| 2.2     | Planejamento territorial e Região Hidrográfica .....                                | 22 |
| 2.3     | Geoprocessamento e análise ambiental .....  | 24 |
| 3       | ÁREA DE ESTUDO .....  | 27 |
| 3.1     | Localização da área de estudo .....   | 27 |
| 3.2     | Situação físico-ambiental .....   | 29 |
| 4       | METODOLOGIA .....   | 30 |
| 4.1     | Levantamento das variáveis importantes na identificação do fenômeno preterido ..... | 30 |
| 4.2     | Aquisição dos dados .....   | 33 |
| 4.2.1   | Materiais usados .....  | 33 |
| 4.2.1.1 | Dados vetoriais .....   | 33 |
| 4.2.1.2 | Imagens de Satélite e Radar .....   | 35 |
| 4.2.1.3 | Cartas Topográficas .....   | 36 |
| 4.2.1.4 | Sistemas Geográficos de Informação .....  | 36 |
| 4.3     | Inventário Ambiental .....  | 36 |
| 4.3.1   | Delimitação da Região Hidrográfica São Miguel .....                                 | 37 |
| 4.3.2   | Cartograma de Uso do Solo e Cobertura Vegetal .....                                 | 40 |
| 4.3.3   | Cartograma hipsométrico .....   | 43 |
| 4.3.4   | Cartograma de declividade .....   | 43 |
| 4.4     | Restrições legais para plantação de eucalipto .....                                 | 44 |
| 4.5     | Geoprocessamento .....  | 45 |
| 4.5.1   | Assinaturas Ambientais .....  | 45 |
| 4.5.2   | Potencial Ambiental .....   | 46 |
| 4.5.3   | Elaboração do mapa de potencial para cultivo de eucalipto .....                     | 46 |
| 4.5.4   | Elaboração do mapa de potencial para cultivo de eucalipto com restrição legal ..... | 47 |
| 4.5.4.1 | Potencial de cultivo de eucalipto sem restrição hídrica .....                       | 47 |
| 5       | INVENTÁRIO AMBIENTAL .....  | 49 |
| 5.1     | Região Hidrográfica São Miguel .....  | 49 |

|         |   |     |
|---------|---|-----|
| 5.2     | Uso do solo e cobertura vegetal de 2017/2018 .....                    | 51  |
| 5.3     | Hipsometria .....   | 55  |
| 5.4     | Declividade.....  | 57  |
| 5.5     | Restrições legais para plantação de eucalipto .....                   | 59  |
| 6       | GEOPROCESSAMENTO .....  | 62  |
| 6.1     | Assinaturas Ambientais.....   | 62  |
| 6.1.1   | Áreas plantadas de Eucalipto .....                                    | 62  |
| 6.1.1.1 | Unidades Pedológicas .....  | 65  |
| 6.1.1.2 | Grupamento textural .....   | 65  |
| 6.1.1.3 | Altitude .....  | 66  |
| 6.1.1.4 | Declividade .....   | 67  |
| 6.2     | Integração dos dados para o potencial de cultivo de eucalipto .....   | 67  |
| 6.2.1   | Participação da variável uso do solo do solo e cobertura vegetal..... | 70  |
| 6.2.2   | Participação da variável altimetria.....                              | 70  |
| 6.2.3   | Participação da variável declividade.....                             | 72  |
| 6.2.4   | Participação da variável unidades pedológicas.....                    | 74  |
| 6.2.5   | Participação da variável grupamento textural.....                     | 74  |
| 7       | POTENCIAL DE CULTIVO DE EUCALIPTO .....                               | 76  |
| 7.1     | Potencial de cultivo de eucalipto sem restrições legais.....          | 77  |
| 7.1.1   | Áreas de altíssimo potencial .....                                    | 77  |
| 7.1.2   | Áreas de alto potencial.....  | 79  |
| 7.1.3   | Áreas de potencial Médio .....  | 81  |
| 7.1.4   | Áreas de baixo e baixíssimo potencial.....                            | 82  |
| 7.2     | Potencial de cultivo de eucalipto com restrições legais .....         | 86  |
| 7.2.1   | Potencial de cultivo de eucalipto sem restrição hídrica .....         | 89  |
| 8       | CONCLUSÕES.....   | 93  |
|         | REFERÊNCIAS .....   | 95  |
|         | APÊNDICE .....  | 105 |

## 1 INTRODUÇÃO

O florestamento com Eucalipto no estado de Alagoas vem aumentando de forma expressiva desde 2013, em unidades experimentais e expansões, de modo que estas alterações agrícolas e econômicas impactam diretamente no meio ambiente (GURGEL, 2018).

Por ser uma espécie exótica, com origem no continente Oceania, e ser ecologicamente adaptada ao Brasil, tende a produzir alterações na biodiversidade local (ANDRADE e VECCHI, 1918; ZILLER, 2001).

Dado que essas alterações antrópicas ao meio ambiente possuem magnitudes e interferências na sustentabilidade ecossistêmica e socioeconômica, necessitando de constante e permanente análise das condições ambientais, para que possam ser tomadas decisões mais consistentes por parte do poder público e dos produtores da eucaliptocultura.

Logo, surge à necessidade de identificar essas áreas potenciais para a expansão do eucalipto, a fim de fornecer um planejamento que norteie as áreas cultiváveis sobre áreas com baixo impacto aos meios abióticos e bióticos e no manejo dos recursos hídricos.

Neste contexto, a área objeto deste estudo é a Região Hidrográfica São Miguel – Alagoas (RHSM-AL), composta por 5 bacias hidrográficas (Rio Poxim, Rio Jequiá, Riacho Tabuada, Rio São Miguel e Rio Niquim) e caracterizada pela presença histórica da indústria da cana-de-açúcar e pela recente introdução da silvicultura de eucalipto.

Com uma extensão territorial que abrange do litoral ao agreste alagoano, a região em questão distingue-se por ser uma área de características contrastantes, com ecossistemas de suma importância ecológica que carecem de proteção aos recursos hídricos e ambientais.

Para tanto, é fundamental elaborar diagnósticos e prognósticos ambientais que possam contribuir para alertar, planejar e gerenciar a expansão do eucalipto na área que envolve a Região Hidrográfica São Miguel, visto que por se encontrar em processo preliminar, permitirá traçar o provável desenvolvimento futuro dessa ação e minimizar os impactos ambientais.

Esse trabalho constitui-se de uma investigação com técnicas modernas em estudos ambientais que vem propiciando a análise integrada de situações geográficas relevantes. Em termos operacionais, isto significa a geração de inventários, monitorias, avaliações ambientais, cenários previsíveis, entre outros, aplicados à área em estudo.

Neste sentido, com a evolução rápida e crescente da tecnologia computacional, associada ao crescimento exponencial do volume de dados ambientais disponíveis, crescimento este, propiciado pelo uso intensivo de técnicas de sensoriamento remoto e

processamento gráfico, constituiu o fator básico do desenvolvimento dos Sistemas Geográficos de Informação (SGI).

Desta forma, as análises ambientais foram procedidas com base em geoprocessamento e em variáveis ambientais geocodificados relevantes, onde foi definida a localização e também a extensão de ocorrência de eventos e/ou fenômenos ambientais relevantes, para assim estimar sua evolução, tal como retrata uma estrutura lógica de armazenamento de dados.

Significou, necessariamente, a criação de um inventário prévio de dados ambientais atualizados e estruturados em um sistema de informação capaz de permitir o armazenamento, o monitoramento e a sua análise.

Sendo assim, o presente estudo objetiva orientar e identificar as áreas potenciais para o cultivo de eucalipto na Região Hidrográfica São Miguel (RHSM-AL), por meio de geoprocessamento, a partir da definição de limites da área de estudo, da geração de um banco de dados geocodificados com variáveis ambientais relevantes para o estudo (dados básicos, solos, uso do solo e cobertura vegetal, clima, declividade e altimetria), da identificação de áreas com restrições legais e do confronto dessas variáveis para a assimilação e análise das áreas potenciais para cultivo de eucalipto.

Logo, esses objetivos procuram constituir um prognóstico e uma base para um planejamento territorial que subsidie a tomada de decisões fundamentadas no conhecimento da realidade de forma especializada e mensurada.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Caracterização do Eucalipto

O gênero *Eucalyptus ssp.* (Eucalipto) pertence à família das Mirtáceas (a mesma da goiabeira, pitangueira e jabuticabeira), seu nome tem origem do grego eu (bem) e kalipto (cobrir), referindo-se à carcaça globular arredondada de seu fruto, caracterizando o opérculo que protege suas sementes (GUERRA, 1995).

Compreendendo aproximadamente 700 espécies distribuídas em 8 subgêneros, sendo *Symphyomyrtus* o principal deles, com mais de 300 espécies, dentre as quais se enquadram as espécies mais plantadas para fins comerciais, *E. grandis*, *E. globulus*, *E. urophylla*, *E. calmadulensis*, *E. saligna* e *E. tereticornis* (ELDRIDGE et al., 1994).

Pereira et al. (2000) corrobora quando relata que o gênero *Eucalyptus ssp.* compreende um grande número de espécies, com madeiras de características físico-mecânicas e estéticas bem diferenciadas, o que permite a substituição de várias espécies latifoliadas nativas. No entanto, poucas espécies têm sido plantadas em escala comercial.

Contudo, por ser uma espécie exótica, oriunda do continente Oceania e ecologicamente adaptada ao Brasil, tende a produzir alterações na biodiversidade local (ANDRADE e VECCHI, 1918; ZILLER, 2001).

Apesar disso, Silva et al. (2018) afirma que o plantio de eucalipto é uma solução para diminuir a pressão sobre as florestas nativas, visto que a necessidade de madeira para os diversos seguimentos tem provocado maiores danos ao ecossistema.

Para Scolforo (2008), a utilização de produtos oriundos das florestas contribui significativamente para a diminuição das florestas nativas, tornando assim o eucalipto uma espécie útil para diminuir a pressão sobre as florestas naturais. Em virtude que os principais responsáveis pelo desmatamento das florestas nativas são os seguimentos de agricultura, pecuária, expansão de centros urbanos, construção de estradas e implantação de projetos hidrelétricos (MORA E GARCIA, 2000).

Desta forma, os benefícios diretos dos plantios florestais são os seus produtos úteis ao homem como madeira, resina, mel, óleos essenciais e frutos, dentre outros (FERREIRA E SILVA, 2008).

Leite (2005) destaca a contribuição das florestas plantadas no suprimento de matéria-prima para esses segmentos, com uma economia que consome anualmente cerca de 145

milhões de m<sup>3</sup> de derivados e projeta-se o consumo de aproximadamente 220 milhões de m<sup>3</sup> no ano de 2020.

As florestas plantadas de *Eucalyptus ssp.* são conhecidas por seu rápido crescimento, forma reta, qualidade superior da madeira para múltiplas aplicações, ampla adaptabilidade a solos e climas e facilidade de manejo por plantio direto e rebrota (ELDRIDGE et al. 1994; POTTS, 2004).

Contudo, as doenças associadas ao eucalipto encontram-se entre as dificuldades deste cultivo no Brasil, sendo os principais tipos a Ferrugem, o Cancro do Eucalipto, o Oídio, o Mofo Cinzento, as Manchas Foliaves de *Cylindrocladium*, Tombamento de Mudanças ou Damping-off, Podridão de Raízes, e Podridão de estacas e miniestacas. As principais pragas que afetam os plantios de eucalipto no país são as Formigas Cortadeiras, Cupins, Lagartas Desfolhadoras, Besouro Amarelo e o Bicudo Australiano do Eucalipto (GURGEL, 2018).

A introdução do gênero *Eucalyptus*, no Brasil, ocorreu no início do século XIX, com evidências de que as primeiras árvores teriam sido plantadas em 1825, no Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Com a Lei 5.106 dos incentivos fiscais ao reflorestamento, que entrou em vigor entre os anos de 1909 a 1966, haviam sido plantados 470.000 hectares de eucalipto em todo o Brasil, 80% dos quais se situavam no Estado de São Paulo (PEREIRA, 2000).

Atualmente, o País tem 7,7 milhões de hectares de florestas plantadas de eucalipto, pinus e demais espécies, dos quais cerca de 80% do total de floresta plantada são de eucalipto, visto que apresenta a melhor relação custo-benefício em termos de tempo de crescimento até o porte do aproveitamento comercial e de amplitude de usos, capaz de abarcar diferentes setores, como móveis, construção civil, indústria de celulose e fonte energética (ABRAF, 2013; MENDES et al., 2016).

O maior concorrente do eucalipto é o pinus, segundo gênero mais plantado no Brasil e originário das Américas do Norte e Central. Ambos os cultivos são de rápido crescimento e têm participação significativa na economia do setor florestal brasileiro (RODIGHERI, 1997).

Entretanto se comparado estes dois tipos de silvicultura, a diferenciação entre um cultivo e outro reside na adaptação edafoclimática, segundo Rovedder e Eltz (2008) o pinus apresenta maior sensibilidade a esta competição do que o eucalipto, tanto em sobrevivência das mudas, quanto em crescimento das plantas.

Se comparadas esses cultivos florestais, no estado de Alagoas, a plantação de eucalipto totalizaram 15.630 hectares plantados em 2017, enquanto que o pinus apresentava três hectares em 2015 (IBGE, 2018).

Sendo assim, por o eucalipto e sua expansão já serem uma realidade tangível no estado de Alagoas, carece de planejamentos que oriente a sua implantação de forma sustentável, por estes fatores e os outros citados, o presente estudo optou pelo estudo do eucalipto na Região Hidrográfica São Miguel.

### 2.1.1 Impactos ambientais

Entre os problemas ambientais do Brasil, adiciona-se um cuidado particular com o reflorestamento de áreas degradadas e o aproveitamento de espaços adequados para uma silvicultura de fins múltiplos (AB' SÁBER, 1990).

Entretanto, segundo Oliveira e Oliveira (2017) o efeito do plantio de florestas comerciais sobre a fauna presente nas vegetações naturais é esperado, assim como quando se retira uma cobertura florestal natural para, em seu lugar, realizar atividades agropecuárias.

Moledo et al. (2016) afirma que os impactos das plantações de eucalipto podem ser positivos ou negativos, variando de acordo com o tipo de uso do solo anterior ao cultivo. Como o caso da substituição de pastagens por eucalipto, em que o impacto torna-se positivo, visto que as florestas plantadas geram melhores condições para biodiversidade local. Ao contrário da troca de florestas nativas ou secundárias pelo eucalipto, onde os impactos serão negativos com desmatamento.

Brancalion (2015) ratifica esta afirmativa e defende seu cultivo em áreas que não há possibilidades efetivas de aproveitamento inicial da regeneração natural, visto que não é uma espécie invasora, desempenha o papel de espécie pioneira e ajuda a controlar gramíneas.

Entretanto, as florestas homogêneas de eucalipto, apesar de sua importância econômica, precisam ser monitoradas a fim de se controlar a perda de solos por erosão acelerada. (SALGADO e MAGALHÃES JÚNIOR, 2006).

Outra questão relevante na eucaliptocultura diz respeito ao consumo de água e sua relação com a produtividade. Para Almeida e Soares (2003), se considerado o ciclo de crescimento como um todo (cerca de sete anos), o eucalipto pode consumir menos água que a mata nativa na região estudada.

Viana (2004) corrobora ao afirmar que o índice de área foliar do eucalipto é tipicamente menor que o de outras espécies florestais, sendo assim, a perda total de água pluvial por interceptação do eucalipto é menor que a de outras espécies florestais.

Seguindo essas considerações, Lima (2010) afirma que, por serem plantações florestais de rápido crescimento, consomem mais água que plantações de crescimento lento, que vegetação de menor porte e florestas naturais.

Neste sentido, os impactos sobre lençóis freáticos, pequenos cursos d'água e bacias hidrográficas dependem da região em que se insere a plantação, da distância entre as plantações, da bacia hidrográfica e da profundidade do lençol freático, visto que em regiões de pouca chuva, abaixo de uma faixa de 400 mm/ano, o eucalipto poderia acarretar ressecamento do solo (VITAL, 2007; FOELKEL, 2005; DAVIDSON, 1993; LIMA E ZAKIA, 1998; LIMA, 2010).

Portanto, de acordo com Oliveira e Oliveira (2017, p. 35), “toda plantação florestal, necessariamente, deve ser bem planejada e utilizar técnicas silviculturais adequadas”

Lima (2010) e CALDER, et al. (2007), propõe que a alteração no deflúvio ocorre se as plantações florestais ocuparem áreas maiores que 20% de uma microbacia hidrográfica, de forma que o impacto aos recursos hídricos causados pelo cultivo de eucalipto é maior em áreas que o manejo florestal é conduzido de forma não sustentável, gerando resultados negativos, como presença de erosão, perdas de sedimentos e de nutrientes nas microbacias.

Lima e Zakia (1998) sintetizaram alguns impactos ambientais provocados pela silvicultura (Quadro 1).

**Quadro 1 – Impactos ambientais causados pelo eucalipto em 3 escalas**

| <b>Escala</b> | <b>Impacto Ambiental</b>                       |
|---------------|--|
| Nível Macro   | Uso conflitivo da água                         |
|               | Desfiguramento da paisagem                     |
| Nível Meso    | Degradação da microbacia                       |
| Micro         | Quantidade e regime de vazão da água           |
|               | Eutrofização dos cursos d'água e reservatórios |
|               | Assoreamento dos cursos d'água                 |
|               | Perda de nutrientes do solo                    |
|               | Decomposição de resíduos florestais            |

Fonte: adaptado de Lima e Zakia (1998).

## **2.2 Planejamento territorial e Região Hidrográfica**

O planejamento territorial constitui-se em um processo que repercute através da gestão territorial, nas próprias características e dinâmica do meio ambiente. Devem-se considerar, neste sentido, as avaliações ambientais que têm como base a integração dos fatores abióticos, bióticos e as condições socioeconômicas predominantes em uma determinada área, de modo a

apontar com maior precisão de informações os pontos limitantes e as potencialidades da área objeto (CALHEIROS, 2000).

Em conformidade com Ruschmann (2010), o planejamento territorial é uma atividade que envolve a intenção de estabelecer condições favoráveis para alcançar objetivos propostos. Gomez Orea (1994) corrobora ao afirmar que o planejamento é um processo racional de tomada de decisão que pretende resolver os problemas atuais, prevenir os potenciais, satisfazer as necessidades e aspirações futuras e aproveitar as oportunidades do sistema sócio físico.

Neste contexto, o planejamento do manejo dos recursos hídricos demanda uma abordagem “sistêmica, integrada e preditiva” na gestão das águas por meio da descentralização para a bacia hidrográfica (TUNDISI e MATSUMURA-TUNDISI, 2008).

Para tanto, a Agência Nacional de Águas (2011) conceitua a região hidrográfica como um agrupamento de bacias contíguas, com características naturais, sociais e econômicas similares, onde a unidade biogeofisiográfica drena para o oceano ou para território vizinho. Este critério de divisão das regiões visa orientar o planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos em todo o país (ANA, 2002; 2011; TUNDISI e MATSUMURA-TUNDISI, 2008).

Logo, no âmbito dos estados, a gestão dos recursos hídricos passa a ser definida também por regiões hidrográficas, no qual os estados criam comitês para a atuação nas áreas dessas unidades de gestão (ANA, 2002; 2011).

As regiões hidrográficas de Alagoas foram criadas pela Resolução n° 06/ 2005, como continuidade da Lei n° 5.965/1997 que dispõe sobre a política estadual de recursos hídricos e instituiu o sistema estadual de gerenciamento integrado de recursos hídricos.

Desta forma, foram criadas 15 regiões hidrográficas, entre elas a Região Hidrográfica São Miguel, que teve seu comitê criado por meio da resolução n° 08/2006, sendo composta 5 bacias hidrográficas (Rio Poxim, Rio Jequiá, Riacho Tabuada, Rio São Miguel e Rio Niquim) e caracterizada pela presença histórica da indústria da cana-de-açúcar e pela recente introdução da eucaliptocultura.

Neste sentido, torna-se necessário identificar as áreas potenciais para cultivo de eucalipto, a fim de minimizar os impactos ambientais e planejar as áreas cultiváveis, visto que sua extensão territorial abrange do litoral à região do agreste alagoano. Logo, a região em questão caracteriza-se como uma área de características contrastantes, com ecossistemas de suma importância ecossistêmica, que carecem de proteção aos recursos hídricos e ambientais.

### 2.3 Geoprocessamento e análise ambiental

Xavier da Silva (2001), afirma que Geoprocessamento, como conceito, evolui com o crescimento da utilização de seus métodos e técnicas, sendo um conjunto de procedimentos computacionais que, operando sobre bases de dados georreferenciados existentes e originados do sensoriamento remoto, da cartografia digital ou de qualquer outra fonte, executa classificações e outras transformações dirigidas à elucidação da organização do espaço geográfico.

Enquanto que para Mundim (2001) o geoprocessamento é um conjunto de ferramentas e técnicas usadas para interpretar, analisar e compreender o espaço em diferentes perspectivas. No geral, a grande contribuição do geoprocessamento é a possibilidade de integração das informações ambientais, fornecendo uma visão sobre os diversos componentes do ambiente (ASSAD e SANO, 1998; DIAS et al., 2002; FARIA, 2003).

Segundo Guimarães Júnior (2016),

“O geoprocessamento consiste no processamento informatizado de dados georreferenciados que utiliza programas computacionais que comportam a utilização de dados e informações cartográficas (mapas temáticos, cartas topográficas e plantas) que associadas um sistema de coordenadas plano-retangulares métricas podem ser utilizadas para diversas aplicações.”  
GUIMARÃES JÚNIOR (2016, p.66).

Entretanto, Xavier da Silva (2001) ressalta a importância entre as diferenças do Geoprocessamento, Sistema Geográfico de Informações – SGI, e do conjunto das Geotecnologias, ou seja, o Sensoriamento Remoto, a Cartografia, os Sistemas de Posicionamento Global - GPS, entre outros ramos, visto que as suas finalidades principais diferem.

Sendo que os SGI são as ferramentas computacionais e softwares de Geoprocessamento, que possibilitam a realização de “análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados georreferenciados” (CÂMARA et al., 2001).

Para Aronoff (1989), os SGIs podem ser compreendidos como “[...] qualquer conjunto de procedimentos de forma manual ou computacional, utilizado para armazenar e manipular dados geograficamente referenciados”.

Essas condições permitem integrar informação cartográfica georreferenciada e tabular, possibilitando, por meio da análise ambiental, estabelecer correlações espaciais, relações de causa e efeito e aspectos temporais que antes eram impossíveis pelos meios tradicionais existentes (Nascimento, et al., 2005), o que propicia a geração de análises e sínteses que

consideram as propriedades intrínsecas e geotopológicas dos eventos e entidades identificados, criando informação relevante para apoio à decisão quanto aos recursos ambientais (XAVIER DA SILVA, 2001).

Para Dias et al. (2011, p. 144) “a tecnologia de geoprocessamento, por ser uma ferramenta poderosa e precisa, permite realizar investigações oferecendo produtos digitais básicos e aplicados para as análises de cada situação ambiental definida”.

Rocket, et al. (2014) corrobora ao afirmar que a aplicação do geoprocessamento em estudos complexos é fundamental, como os sistemas ambientais, uma vez que permite a verificação da dinâmica da natureza no espaço e no tempo.

Sendo assim, a análise corresponde a um conjunto de procedimentos analíticos e sintetizadores, que vão desde um levantamento das condições ambientais, até a análise das condições críticas relativas às situações ambientais identificadas, cometidas através de confrontos entre as condicionantes ambientais e econômicas.

Para Xavier-da-Silva (2001), a análise ambiental “[...] permite caracterizar um ambiente de uma forma diretamente voltada para a utilização racional dos recursos físicos, bióticos e socioeconômicos nele disponíveis, existentes durante certo tempo, em uma determinada localização territorial”.

Nesse sentido, a análise ambiental de uma área objeto corresponde a um contíguo de metodologias indutivas e sintetizadoras, que vão desde um levantamento das condições ambientais reinantes (inventário), até a definição de condições críticas relativas às situações ambientais analisadas (avaliações). Corresponde, portanto, a um diagnóstico da situação atual da área objeto, com suas potencialidades e limitações (CALHEIROS, 2000).

### 2.3.1 Potencial Ambiental

O potencial ambiental pode ser entendido como um levantamento de condições ambientais no qual são identificadas a extensão e possível expansão territorial de um processo ambiental. Essas permitem levantar todo um conjunto de estimativas a partir da existência de um inventário ambiental de uma área geográfica, sobre o qual tenham sido feitas análises (assinaturas, monitorias e probabilidades de transição, estimativas de riscos e potenciais), no qual apresenta óbvio interesse direto para o planejamento e a gestão territoriais (XAVIER-DA-SILVA, 2001; MARINO, 2008).

De acordo com Calheiros (2000), o potencial ambiental pode ser entendido como sendo um levantamento de condições ambientais onde se identifica a extensão e possível

expansão no território de um processo ambiental. Estas permitem conhecer o conjunto de potencialidades da área analisada, a partir do conhecimento das potencialidades ambientais de cada situação ambiental identificada.

Para Andrade (2004), a expansão e o uso dos recursos naturais/antrópicos disponíveis devem respeitar suas potencialidades, caracterizados por serem áreas definidas através de avaliações ambientais desenvolvidas segundo diferentes métodos e técnicas.

Marino (2008, p. 35) alega que os potenciais podem ter uma conotação positiva na avaliação, mas esta não é obrigatória. “São exemplos, a urbanização desordenada (de teor negativo) ou a urbanização planejada, o potencial turístico de uma região ou a aptidão agrícola de uma determinada área, estes últimos portadores de conotação positiva, em princípio.”

### 3 ÁREA DE ESTUDO

#### 3.1 Localização da área de estudo

O presente trabalho adotou como área de estudo a Região Hidrográfica São Miguel, criada em 2006. Compreendendo as bacias hidrográficas do Rio Poxim, Rio Jequiá, Riacho Tabuada, Rio São Miguel e Rio Niquim, que nascem e deságuam no estado de Alagoas (Figura 2).

A área estudada estende-se entre as coordenadas geográficas 9° 26' 56" e 10°06'47" de latitude sul e 36° 29' 32 " e 35°51'43" de longitude oeste, ocupando uma área de aproximadamente 2.260 km<sup>2</sup>, abrangendo 11 municípios da mesorregião Leste Alagoano: Anadia, Barra de São Miguel, Boca da Mata, Campo Alegre, Coruripe, Jequiá da Praia, Junqueiro, Marechal Deodoro, Roteiro, São Miguel dos Campos e Teotônio Vilela; e 6 municípios da mesorregião Agreste Alagoano: Belém, Limoeiro de Anadia, Maribondo, Mar Vermelho, Tanque D'arca e Taquarana (Tabela 1).

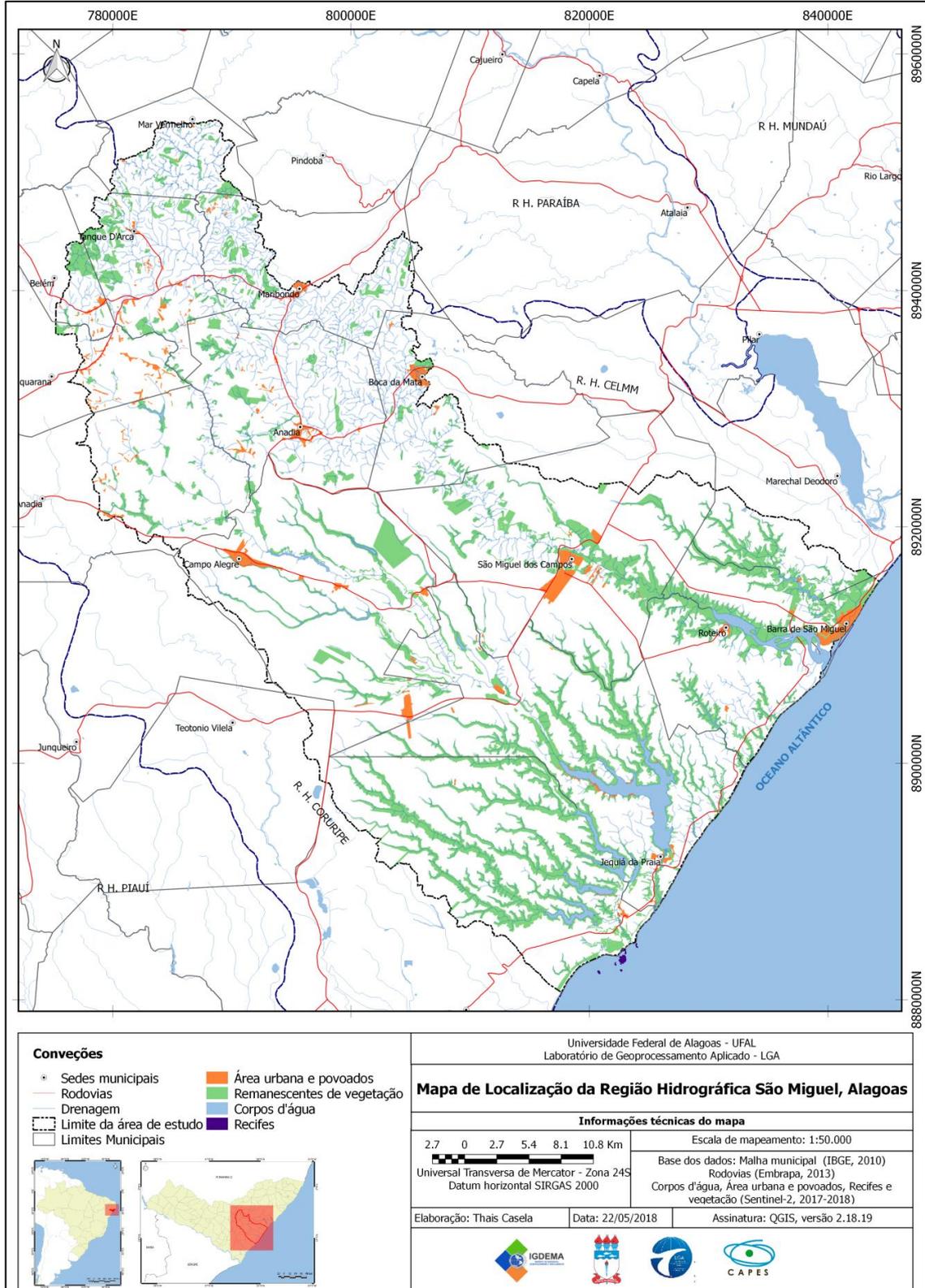
**Tabela 1 - Planimetria dos municípios que compõem pela RHSM-AL.**

| Municípios            | Área total do município (ha) | Área do município na RHSM (ha) | Participação do município na RHSM (%) |
|-----------------------|------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|
| Anadia                | 18.973                       | 18.973                         | 100                                   |
| Atalaia               | 52.970                       | 93                             | 0,18                                  |
| Barra de São Miguel   | 7.677                        | 7.516                          | 97,90                                 |
| Belém                 | 4.868                        | 1.480                          | 30,40                                 |
| Boca da Mata          | 18.682                       | 8.829                          | 47,26                                 |
| Campo Alegre          | 29.551                       | 29.202                         | 98,82                                 |
| Coruripe              | 91.957                       | 29.701                         | 32,30                                 |
| Jequiá da Praia       | 35.221                       | 35.157                         | 99,82                                 |
| Junqueiro             | 24.187                       | 2.60                           | 1,07                                  |
| Limoeiro de Anadia    | 31.613                       | 13.235                         | 41,87                                 |
| Mar Vermelho          | 9.322                        | 50.23                          | 53,88                                 |
| Marechal Deodoro      | 33.236                       | 6.054                          | 18,22                                 |
| Maribondo             | 17.452                       | 10.029                         | 57,47                                 |
| Roteiro               | 12.954                       | 12.905                         | 99,62                                 |
| São Miguel dos Campos | 36.141                       | 30.025                         | 83,08                                 |
| Tanque D'arca         | 12.966                       | 11.657                         | 89,90                                 |
| Taquarana             | 16.622                       | 5.106                          | 30,72                                 |
| Teotônio Vilela       | 29.826                       | 1.292                          | 4,33                                  |

Fonte: Autor (2018) a partir dos dados do IBGE (2010).

Limita-se a norte com as regiões hidrográficas do CELMM (Complexo Estuarino Mundaú-Manguaba) e Paraíba, e ao sul com a região hidrográfica Coruripe.

**Figura 1 - Localização da área de estudo.**



Fonte: Autor (2018).

### 3.2 Situação físico-ambiental

De acordo com a classificação de Köppen, a área de estudo encontra-se sob a influência do clima tropical com chuvas de outono-inverno, correspondente ao tipo As'. Apresenta assim, temperaturas relativamente elevadas, com médias máximas anuais variando em torno de 24°C a 25°C, alcançando 22°C nas áreas de cotas altimétricas mais elevadas. A máxima anual atinge 30°C e a mínima 21°C.

As médias pluviométricas anuais são inferiores a 1.700mm, diminuindo gradualmente de leste para oeste, atingindo a mínima de 1.000 mm. Os meses de setembro a março são os mais secos e os meses de abril a agosto ocorre a estação mais úmida da área de estudo (SOUZA, 2013).

A drenagem apresenta, na sua maioria, um padrão dendrítico, totalizando 2.900 km de extensão, sendo a maior concentração na bacia do Rio São Miguel. A hidrografia principal que compõem a região é o Riacho Azedo, o Riacho Doce, o Rio Jequiá, o Riacho Manibu, o Rio São Miguel, o Rio Poxim e o Rio Taquari. Enquanto que os corpos d'água de maior contingente territorial da área de estudo são a Laguna do Roteiro, a Laguna do Jequiá, Lagoa Escura e a Lagoa de Guaxuna.

Podem-se destacar os elementos geológicos, geomorfológicos, pedológicos, altimétricos e declivosos como aspectos que contribuem na formação do relevo e na fisiografia da paisagem (ANDRADE, 2016).

Desta forma, a área de estudo é constituída basicamente por dois grupos litológicos: o cristalino e o sedimentar. O primeiro é composto por Intrusiva Itaporanga, Granitoides indiscriminados, Complexo Cabrobó, Belém do São Francisco e Complexo Nicolau e Complexo Macururé. Enquanto que o segundo apresenta a Formação Barreiras (maior ocorrência na área estudada), Depósitos Litorâneo, Depósitos Fluvio-Lagunar, Recifes e Formação Coqueiro Seco

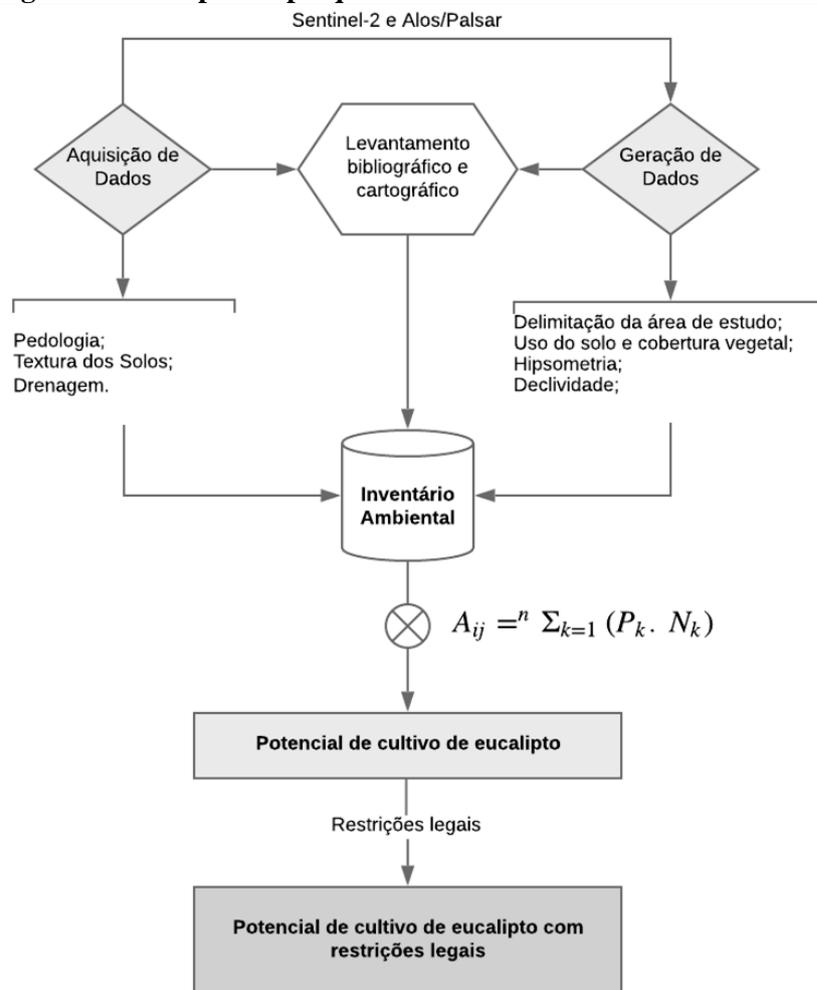
A geomorfologia dessa área pode ser caracterizada pela presença de uma base escarpada cristalina das encostas orientais do Planalto da Borborema, seguida de depressões periféricas, tabuleiros costeiros e finalizando na planície sedimentar litorânea. Estas características conferem à RHSM um relevo predominantemente plano à suave ondulado (LIMA, 1977; SOUZA, 2013).

## 4 METODOLOGIA

Para a identificação do potencial de cultivo de eucalipto foram adotadas técnicas e métodos baseados em Sistema Geográfico de Informação (SGI), que partiu da definição clara dos parâmetros e variáveis necessários para a identificação do fenômeno estudado, envolvendo a elaboração de dados edáficos e restrições legais.

A Figura 3 mostra a síntese das etapas do trabalho que levaram à identificação do potencial estudado.

**Figura 2 - Fluxograma das etapas da pesquisa.**



Fonte: Autor (2018).

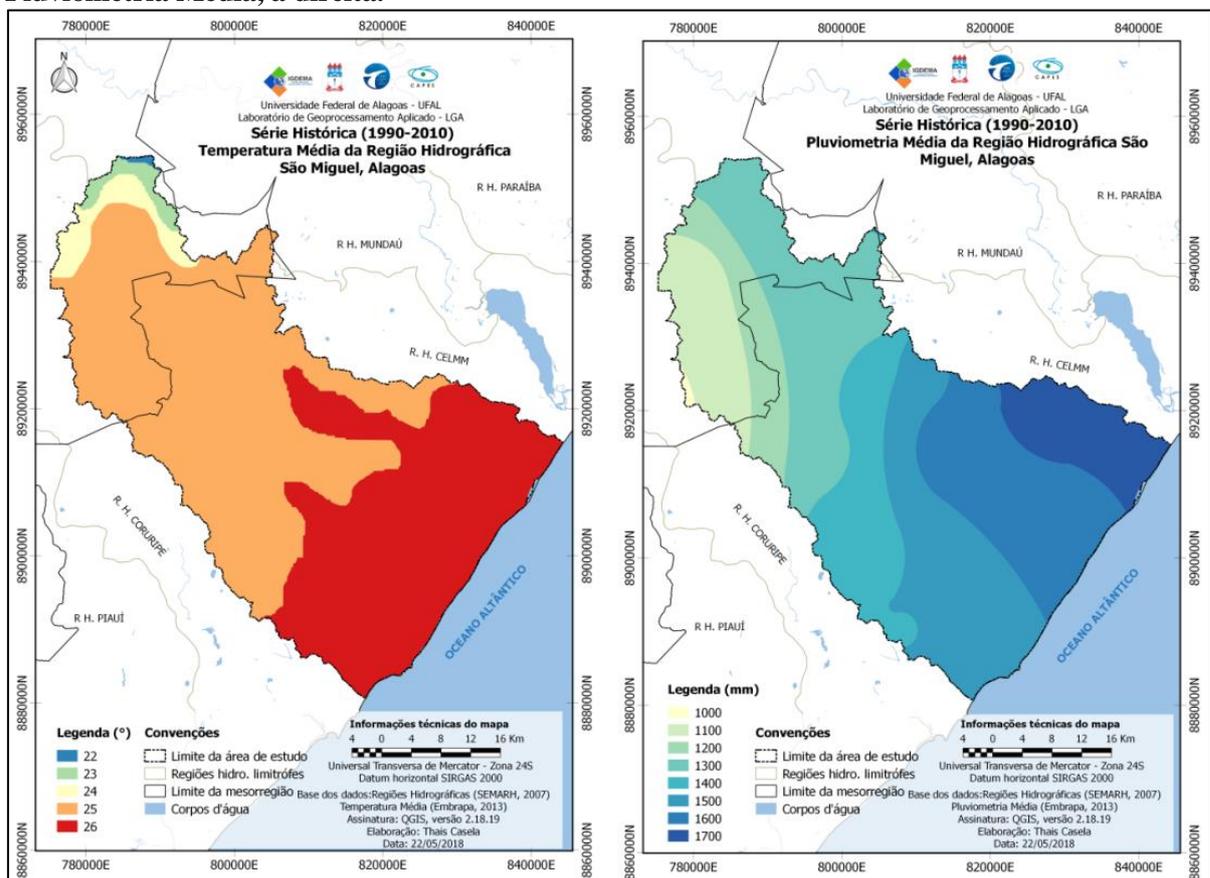
### 4.1 Levantamento das variáveis importantes na identificação do fenômeno preterido

Esta etapa foi constituída pelo levantamento de bibliografias existentes que auxiliassem na distinção de fenômenos cuja representatividade tivesse afinidade e similaridade aos desse presente estudo.

Portanto os condicionantes edafoclimáticos foram apontados como determinantes para o favorecimento do crescimento de áreas mais aptas ao cultivo estudado, relacionando as limitações quanto ao uso do solo, assim como a disponibilidade de recursos hídricos (FEREZ, 2006).

De acordo com Flores et al. (2009) e Higa e Wrege (2010) os critérios climáticos relevantes para o zoneamento agroclimático do eucalipto reside na ocorrência de geadas e o risco de déficit hídrico, sendo que este cultivo deve receber no mínimo 1000 mm para uma produtividade razoável, conforme aponta a figura 3 (JOVANOVIC; BOOTH, 2002; BOOTH; PRYOR, 1991; AB'SÁBER, 1990; POYTON, 1979).

**Figura 3 - Cartogramas das Séries Históricas (1990-2000) de Temperatura Média, à esquerda, e Pluviometria Média, à direita.**



Fonte: Autor (2018) a partir dos dados da Embrapa (2013).

Paludzyszyn Filho et al. (2002) corrobora ao afirmar que os gêneros mais indicados às regiões acima da latitude 24° S, de clima predominantemente tropical, são *E. grandis*, *E. urophylla*, *E. saligna*, e *E. cloeziana*.

Seguindo estas afirmações, a região objeto desta pesquisa está localizada em condições de clima e temperatura adequadas para o crescimento dessa cultura, conforme a figura 3.

Portanto, o fator climático foi desconsiderado no presente trabalho, visto que atende às exigências supracitadas, sendo os fatores edáficos as variáveis aprofundadas neste estudo.

Braga et al. (1999), determinou através de sítios cultivados de eucalipto que as variáveis de altitude e declividade foram fatores importante de ação direta sobre o crescimento do povoamento.

De acordo com Scolforo (2008), as plantações de eucalipto são adaptáveis à quase todos os tipos de clima do planeta, além de possuírem um crescimento rápido. Normalmente, as áreas que apresentam solos com profundidades maiores que um metro são propícias para o incremento dessas espécies, enquanto que solos encharcados dificultam o seu desenvolvimento. (CARNEIRO, 2005).

A tecnologia de produção tem avançado muito no sentido de permitir que as condições edafoclimáticas desfavoráveis, até certo limite, sejam total ou parcialmente superadas.

Diante desse cenário, destaca-se cada variável ambiental adotada separadamente, de forma a detalhar sua relevância e suas características dominantes para este estudo.

- **Uso do solo e cobertura vegetal** – estabelece o grau das limitações e potencialidades do uso atual se tornar uma silvicultura de eucalipto, no que diz respeito a sua capacidade de modificação sem causar interferências significativas ao meio ambiente.
- **Declividade** – regula os movimentos da água ao longo da vertente, o que influencia na perda de nutrientes de material particulado por lixiviação e transporte de partículas, o que reduz a necessidade de adubação frequente e minimiza o assoreamento dos cursos d'água. A espécie prefere solos localizados em relevo plano ou em encostas com declividade pouco acentuada (BOLAND et al., 1984; FLORES et al., 2009; FARDIN, 2015; VIRTUOSO, 2015).
- **Altitude** – contribui com a ação gravitacional sobre a água e o fluxo superficial, de forma que a qualidade do sítio aumenta com a distância até o topo (FLORES et al., 2009; VIRTUOSO, 2015).
- **Unidades pedológicas** – o crescimento das plantas, nos diferentes estágios de desenvolvimento, é dependente das condições do solo, de modo que o conhecimento das suas características físicas capazes de restringir o crescimento de espécies leva a uma melhor

produtividade (SPURR e BARNES, 1982; CARVALHO et al., 1999; CASTRO, 2006; CORTEZ et al., 2007; FLORES et al., 2009).

- **Grupamento textural** – importante característica física do solo, relacionando-se diretamente com a capacidade de retenção de água, permeabilidade, capacidade de retenção de cátions, arabilidade e suscetibilidade do solo à erosão. (SPURR e BARNES, 1982; RODRIGUES et al., 2001; FLORES et al., 2009; VIRTUOSO, 2015).

## 4.2 Aquisição dos dados

### 4.2.1 Materiais usados

Os materiais utilizados foram compilados de imagens de satélite e radar, de dados vetoriais de órgãos públicos e de cartas topográficas para a construção do banco de dados geográficos da área objeto, que seguiram da geração à aquisição dos dados.

Segundo o IBGE (1998), em cartografia trabalha-se com a maior precisão possível, sendo assim a escala adotada para este estudo visou retratar com o detalhamento necessário as variáveis pertinentes para a identificação das áreas plantadas de eucalipto e as áreas potenciais, de modo que a maior precisão disponível para mapeamentos e aquisições de arquivos da RHSM foi de 10 metros, o que correspondeu a escala de 1:50.000. Essa apresentou resultados satisfatórios em relação ao tempo e à qualidade técnica em planejamentos regionais.

Entretanto, a limitação de uma escala de semidetalhe reside na escassez de dados digitais que atendam a finalidade proposta, sem comprometer a qualidade do trabalho. Neste sentido, os dados que se encontraram fora da escala pré-estabelecida foram ajustados, com exceção daqueles que não participaram do cálculo de potencial.

#### 4.2.1.1 Dados vetoriais

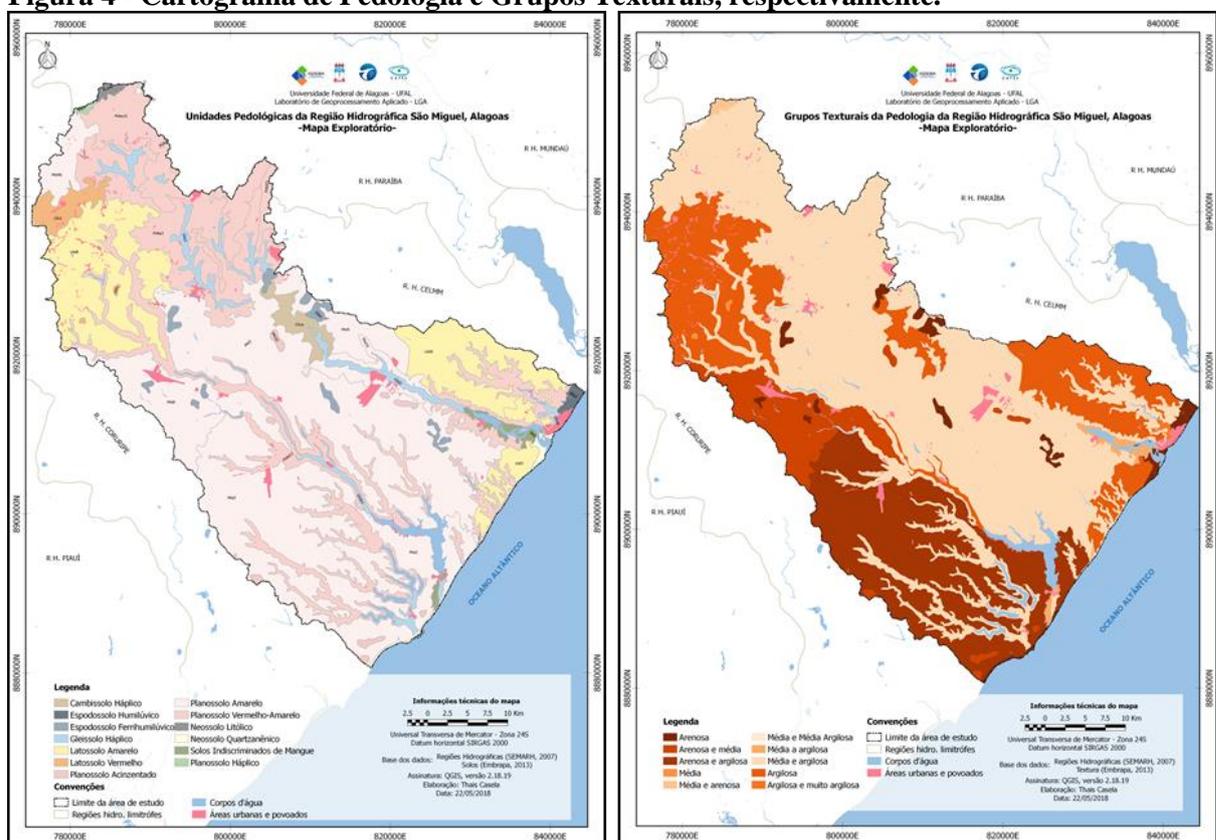
O inventário de arquivos vetoriais foi proveniente de diversos órgãos de administração pública, disponibilizados em suas páginas na internet, em formato shapefile (.SHP), ou foram extraídos de mapas temáticos.

Destaca-se que alguns arquivos se encontraram em escala de menor detalhadamente, entretanto como o objetivo era apenas agregar conhecimento, não houve a necessidade de

ajustar a escala e em outros arquivos a escala foi melhorada com reconhecimento exploratório a partir das curvas de nível e declividade.

- Malha municipal - permite o conhecimento dos limites municipais que compõem a RHSM, escala de 1:250.00 (IBGE, 2010);
- Pedologia e Grupos Texturais (Figura 4) - variáveis importantes para o potencial, escala de 1:100.000 (ZAAL, 2013);
- Pluviometria média e Temperatura média - admite a comprovação da adequação climática da RHSM, escala de 1:100.000 (EMBRAPA, 2012);
- Rede de Drenagem- permite a identificação das APP's, escala de 1:50.000 (ROCHA E CALHEIROS, 2018);
- Regiões Hidrográficas de Alagoas – possibilita a comparação com delimitação automática, escala de 1:100.000 (SEMARH, 2007).
- Compartimentação Geomorfológica da bacia hidrográfica São Miguel-AL – agrega conhecimento as divisão altimétrica da região e sua potencialidade, escala de 1:100.000 (SOUZA, 2013).

**Figura 4 - Cartograma de Pedologia e Grupos Texturais, respectivamente.**

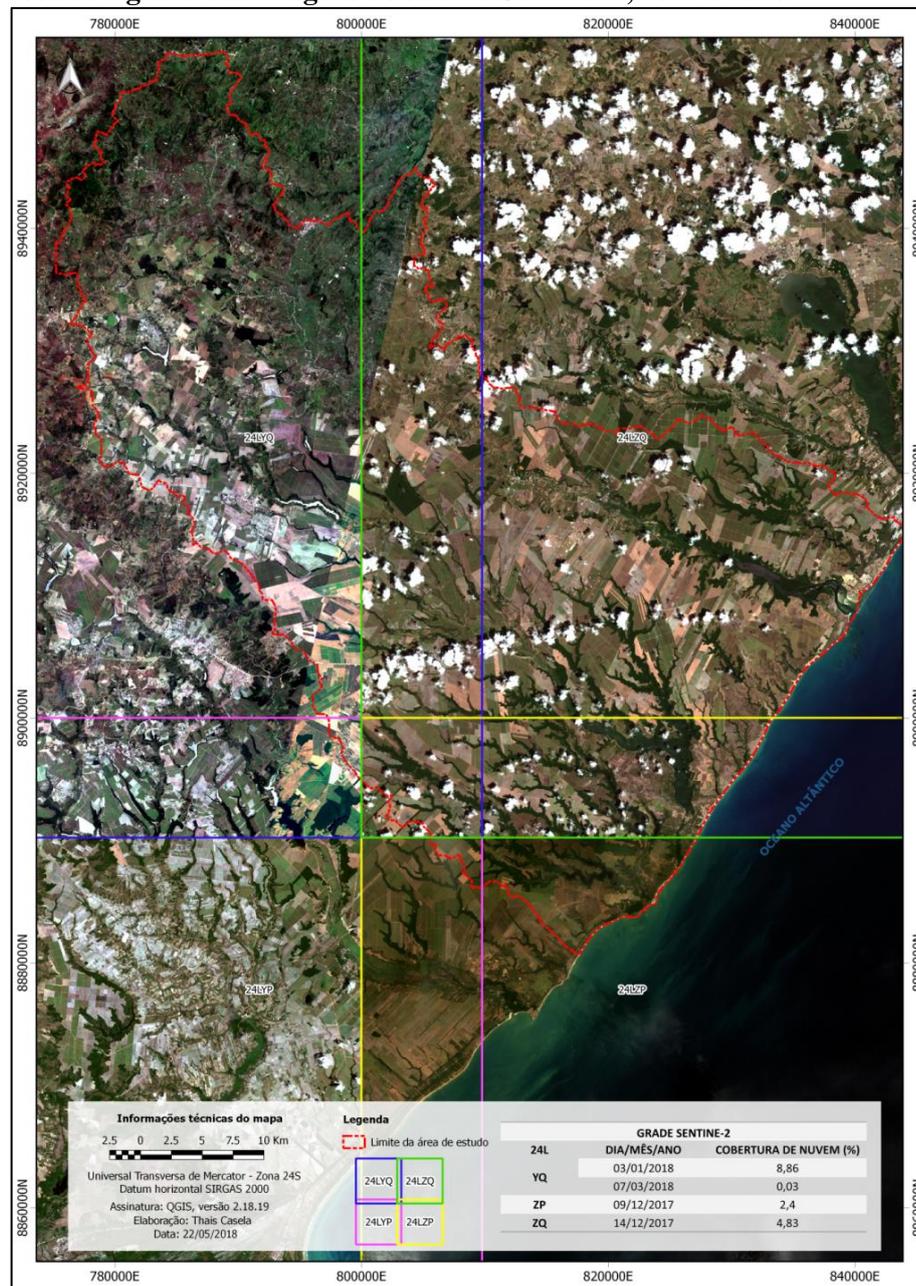


Fonte: Autor (2019), a partir dos dados da EMBRAPA (2013).

#### 4.2.1.2 Imagens de Satélite e Radar

a) Imagens do sensor MSI (Multi Spectral Instrument) do satélite Sentinel-2, com resolução espacial de 10 metros, que correspondem às bandas 02 (azul-0,490 $\mu$ m), 03 (verde – 0,560 $\mu$ m), 04 (azul -0,665 $\mu$ m) e 08 (Infravermelho Próximo/NIR - 0,842 $\mu$ m). Esse sensor é também caracterizado por uma resolução radiométrica de 12 bits e resolução temporal de 10 dias, com altitude média de 786 km e 290 km de faixa imageada. (Figura 5).

**Figura 5 - Mosaico e grade das imagens do satélite Sentinel-2, 2017 e 2018.**



Fonte: Autor (2019).

A referência das imagens, com datas e porcentagens de cobertura de nuvem, pode ser verificada no quadro a seguir.

**Quadro 2- Referência das imagens obtidas a partir do satélite Sentinel-2**

| <b>Grade - 24L</b> | <b>Dia/ Mês/ Ano</b> | <b>Cobertura de nuvens (%)</b> |
|--------------------|----------------------|--------------------------------|
| <b>YQ</b>          | 03/01/2018           | 8,86                           |
|                    | 07/03/2018           | 0,03                           |
| <b>ZP</b>          | 09/12/2017           | 2,40                           |
| <b>ZQ</b>          | 14/12/2017           | 4,83                           |

Fonte: Autor (2019).

b) Imagens de radar do satélite ALOS/PALSAR (Advanced Land Observing Satellite/Phased Array L-band Synthetic Aperture Radar), resolução de 12,5 metros. Foi desenvolvido pela Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA), em parceria com a Japan Resources Observation System Organization (JAROS).

#### 4.2.1.3 Cartas Topográficas

Foram compiladas as cartas topográficas elaboradas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (1985), em escala de 1:50.000, folhas Coruripe (SC-24-Z-B-III-2), Junqueiro (SC-24-X-D-VI-3), Maribondo (SC-24-X-D-VI-1), São Miguel (SC-24-X-D-VI-4), Pilar (SC-25-V-C-IV-1) e Roteiro (SC-25-V-C-IV-3).

#### 4.2.1.4 Sistemas Geográficos de Informação

Foi adotado o QGIS, um Sistema Geográfico de Informação (SGI) licenciado sob a “GNU General Public License”, sendo um projeto oficial da Open Source Geospatial Foundation (OSGeo), com uma interface gráfica simples e atraente, escrito em C++ e Python e baseado nas bibliotecas Qt4. Suporta vários formatos vetoriais, raster, de banco de dados e outras funcionalidades (SANTOS et al., 2015).

### 4.3 Inventário Ambiental

Os materiais gerados foram baseados nos parâmetros definidos como pertinentes para a identificação de áreas potenciais para cultivo de eucalipto na região alvo do estudo. Este processo consistiu na geração de 4 parâmetros essenciais, que se encontraram inexistentes nos

órgãos públicos, que careciam de atualização ou para que obedecessem à escala cartográfica do projeto de 1:50.000, tais como:

- Delimitação da Região Hidrográfica São Miguel;
- Uso do solo e cobertura vegetal;
- Hipsometria;
- Declividade.

#### 4.3.1 Delimitação da Região Hidrográfica São Miguel

A execução da delimitação proposta foi dividida em quatro etapas: aquisição dos dados, conversão da resolução espacial do MDE, correção de erros nos parâmetros do terreno, direção de fluxo e fluxo acumulado. Muitos métodos de extração automática de redes de drenagem, a partir de MDEs, foram desenvolvidos.

A aquisição dos dados foi realizada na busca por um modelo digital de elevação, doravante chamado de MDE, que respondesse à resolução do projeto, de 1:50.000.

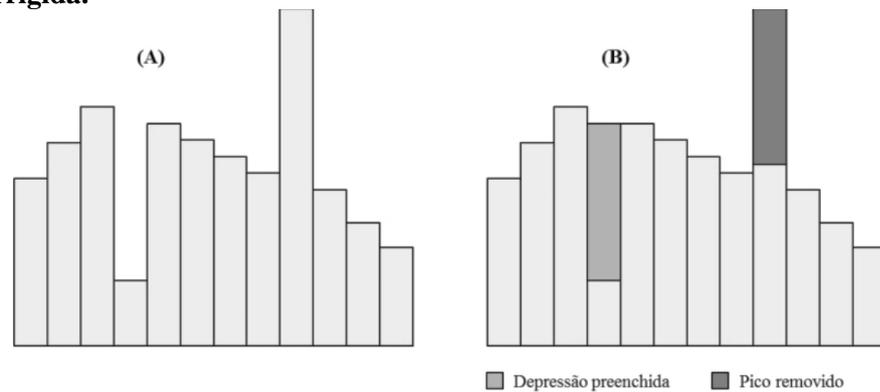
Segundo REED (2003), os MDEs são comumente usados em aplicações hidrológicas para derivar caminhos de fluxo terrestre, redes de fluxos sintéticos e limites de bacias hidrográficas. Assim sendo, foi utilizado o MDE do projeto ALOS/PALSAR, com resolução espacial primária de 12,5 metros, enquanto que o tratamento dos dados e o processamento digital ocorreram no software QGIS/SAGA GIS (System for Automated Geoscientific Analyses) – Terrain Analysis – Hydrology.

A segunda etapa realizada foi a conversão da escala de representação do MDE de 12,5m para 5m, para tal, foram extraídas curvas de nível com equidistância de 10m. Essas foram interpoladas por redes irregulares triangulares (TIN).

Esse interpolador é indicado por diversos autores como o mais ideal para geração de modelos representativos de áreas acidentadas que defendem a utilização do TIN (FERNANDES EMENEZES, 2005; NAMIKAWA, 1994).

A terceira etapa foi a correção de erros (Figura 6), que consiste na melhoria da qualidade dos parâmetros do terreno, ajustando a interpolação para eliminação de “sinks”, considerada uma área circundada por elevações com valores de cotas superiores, ou por desníveis com valores de cotas inferiores, geralmente associadas a uma depressão ou a um pico, respectivamente (MENDES E CIRILO, 2001; HENGL et al., 2004).

**Figura 6 - (A) Matriz de altitudes com presença e sem correção dos “sinks”; (B) Matriz de altitudes corrigida.**



Fonte: Autor (2018), adaptado de HENGL et al. (2004).

Por serem consideradas imperfeições presentes nas matrizes de altitudes, torna-se necessária a sua correção, visto que imprime falhas na geração de redes de fluxo e na delimitação de bacias (ALVES SOBRINHO et al., 2010; HENGL et al., 2004).

Para a correção do MDE, utilizou-se módulo “fill sinks” (preencher), através do QGIS/Ferramenta de “Analyst Hydrology”, que se baseia no algoritmo proposto por Wang e Liu (2006). Essa função melhora a consistência dos dados do MDE, ao considerar as altitudes dos pixels vizinhos para preencher os “sinks” (Figura 7).

**Figura 7 - MDE sem correção dos “sinks”, acima; MDE corrigido, por meio da execução da função “fill sinks”, abaixo.**



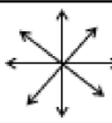
Fonte: Autor (2018) a partir dos dados do ALOS/PALSAR.

Na quarta etapa foi realizada a identificação de direções de fluxo, definidas por serem conexões hidrológicas entre diferentes pontos dentro de uma bacia hidrográfica. Nesse contexto, no caso de dados de elevação em grade, o método utilizado para determinar as direções de fluxo é denominado “modelo determinista de oito vizinhos”; ou modelo D8, proposto inicialmente por O’Callaghan e Mark (1984) (FAIRFIELD E LEYMARIE, 1991; RENNÓ et al., 2008).

Nesse método, o fluxo flui em direção de apenas um dos seus oito vizinhos imediatos da grade, seguindo ao de maior altitude para o de menor (REED, 2003; RENNÓ et al., 2008) (Figura 8).

Para determinar as direções de fluxo, foi processada a função “flow direction” com o MDE preenchido, o que permite observar a drenagem nas vertentes e a dissecação do relevo.

**Figura 8 - As oito possibilidades de direções de fluxo, Modelo D8.**

|           |   |            |
|-----------|---|------------|
| <b>32</b> | <b>64</b>   | <b>128</b> |
| <b>16</b> |  | <b>1</b>   |
| <b>8</b>  | <b>4</b>  | <b>2</b>   |

Fonte: Autor (2018) adaptado de O’Callaghan e Mark (1984).

Posteriormente, realizou-se a simulação da rede hidrográfica por meio da determinação das áreas de fluxo acumulado, definidas com base na direção de fluxo, no qual cada célula recebe um valor igual ao número de células que escoam para um ponto de captação (VENKATACHALAM et al., 2001; JENSON E DOMINGUE, 1988).

A fim de excluir os contornos das sub-bacias geradas na delimitação automática, foi necessária uma edição vetorial, mantendo apenas os contornos das bacias integrantes da RHSM.

Por fim, na quinta etapa foi definido o fluxo acumulado, no qual Alves Sobrinho (2010) determina-o como um parâmetro que indica o grau de afluência do escoamento de cada célula em direção ao fim do MDE ou uma “sink”, de modo que a célula que apresenta maior valor de confluência compõe a rede de drenagem. Nesse sentido, a estimativa do fluxo acumulado permite traçar a rede de drenagem (PILESJÖ e ZHOU, 1997).

O fluxo acumulado, ou acúmulo de fluxos, foi executado na função “Catchment Area (Flow Tracing)”, possibilitando a visualização da rede de drenagem.

#### 4.3.2 Cartograma de Uso do Solo e Cobertura Vegetal

Para IBGE (2013), a classificação dos diferentes usos é realizada pelo agrupamento de objetos, elementos e eventos em conjuntos, levando-se em conta suas propriedades, consoante um método ou sistema de avaliação. Neste contexto, a geração do mapeamento proposto foi dividido em três etapas.

Na primeira etapa, foram pré-estabelecidas as principais unidades de uso propriamente dito, com base na classificação do IBGE (2013), que indica um sistema multinível pela divisão sucessiva do universo em três níveis de abstração. Esse sistema básico de classificação da cobertura e do uso da terra encontra-se sintetizado no Quadro 4.

**Quadro 3 - Sistema de classificação da cobertura e do uso da terra**

(continua)

| CLASSE                                | SUBCLASSE              | UNIDADES  | SUBUNIDADES              |  |
|---------------------------------------|------------------------|---|--------------------------|--|
| <b>Áreas antrópicas não agrícolas</b> | Áreas urbanizadas      | Áreas urbanizadas                                 | Área urbana              |  |
|                                       |                        |   | Área urbana rarefeita    |  |
|                                       |                        | Povoados  |                          |  |
|                                       |                        | Complexos   | C. industriais           |  |
|                                       |                        |   | C. industriais agrícolas |  |
|                                       |                        |   | C. não industriais       |  |
|                                       | Área de mineração      | Minerais não metálicos                            |                          |  |
| <b>Áreas antrópicas agrícolas</b>     | Cultura temporária     | Cana-de-açúcar                                    |                          |  |
|                                       |                        | Policultura                                       |                          |  |
|                                       | Pastagem               | Pastagem  |                          |  |
|                                       | Silvicultura           | Eucalipto   |                          |  |
|                                       | Cultura permanente     | Coco-da-baía                                      |                          |  |
| Outros                                | Policultura e Povoados |   |                          |  |
| <b>Áreas de vegetação natural</b>     | Vegetação              | Campo rupestre                                    |                          |  |
|                                       |                        | Floresta estacional semidecidual                  |                          |  |
|                                       |                        | Floresta estacional semidecidual descaracterizada |                          |  |
|                                       |                        | Floresta ombrófila secundária                     |                          |  |
|                                       |                        | Floresta ombrófila secundária descaracterizada    |                          |  |
|                                       |                        | Formações Pioneiras                               | Aluvial                  |  |
|                                       |                        |   | Fluvio-marinha           |  |
|                                       |                        |   | Fluvio-lacustre          |  |
| Marinha                               |                        |   |                          |  |
|                                       |                        | Vegetação não identificada                        |                          |  |
| <b>Água</b>                           | Corpos d'água          | Corpos d'água                                     |                          |  |

**Quadro 4 - Sistema de classificação da cobertura e do uso da terra**

(continuação)

|                     |                   |                     |
|---------------------|-------------------|---------------------|
| <b>Outras áreas</b> | Áreas descobertas | Afloramento rochoso |
|                     |                   | Banco de areia      |
|                     |                   | Praia               |
|                     |                   | Solo exposto        |
|                     |                   | Solo desnudo        |

Fonte: Autor (2019) adaptado do IBGE (2013).

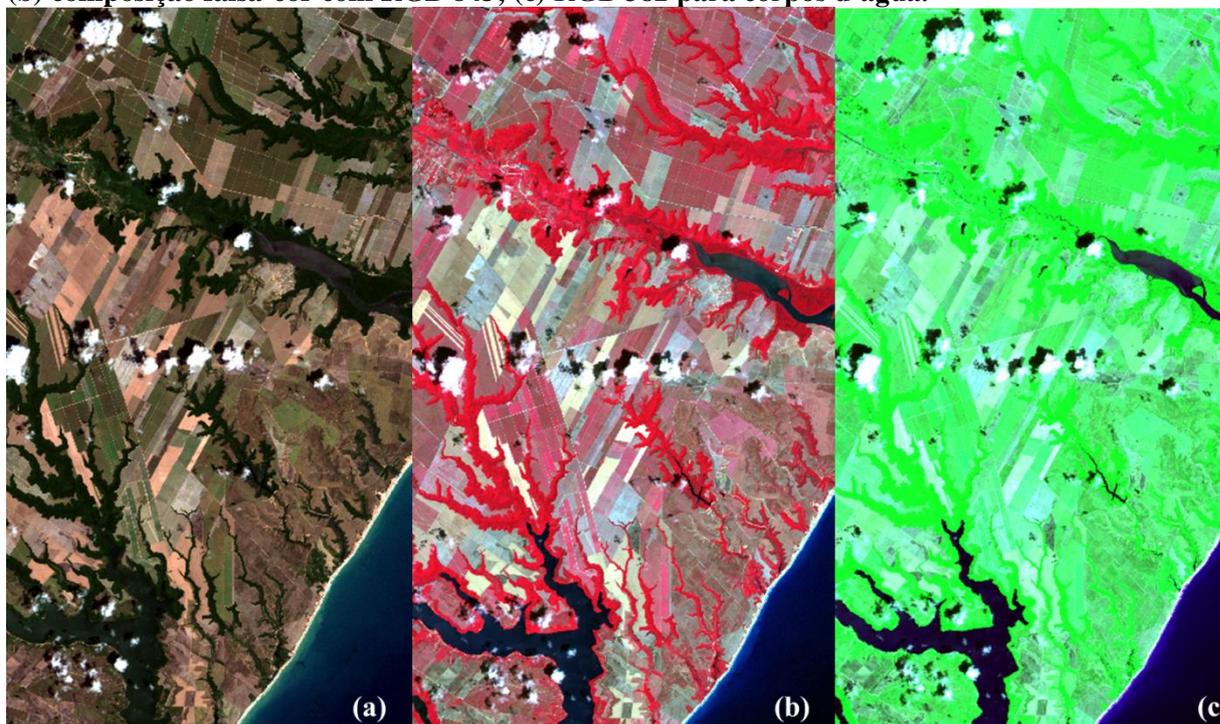
Nesse contexto, destacam-se os critérios adotados, com base no IBGE (2012), para a compartimentação da subclasse de vegetação, visto suas similaridades espectrais.

- a) Campo rupestre – vegetação que vive sobre rochas, muros e paredes. Para tanto, foi necessário o mapeamento dos afloramentos rochosos para identificação desta unidade;
- b) Formação pioneira aluvial - caracterizadas pelas planícies aluviais, que refletem os efeitos das cheias dos rios nas épocas chuvosas, ou então das depressões alagáveis;
- c) Formação pioneira fluvio-marinha – proximidade com a desembocadura de rios e regatos no mar, sendo o manguezal a principal microfanerófitica da formação;
- d) Formação pioneira fluvio-lacustre - proximidade com a desembocadura de rios em lagoas;
- e) Formação pioneira marinha – ocorrem em áreas mais altas, afetadas pelas marés equinociais e campos de dunas;
- f) Uso não identificado – nesta unidade foram agrupadas as feições vegetacionais que não puderam ser identificadas com precisão. Através da análise de imagens de satélites de anos anteriores, foi identificado que essa unidade se localiza sobre áreas abandonadas de cultivo de cana-de-açúcar, sendo então caracterizadas como vegetação em estágio inicial de sucessão natural.
- g) As demais unidades de vegetação foram definidas de acordo com a divisão fitogeográfica, por dias biologicamente secos, realizada por Assis (2016):
  - 0 a 90 dias - Floresta Ombrófila;
  - 90 a 120 dias - Floresta Estacional Semidecidual.

Após definidos esses critérios, foi necessário o tratamento das imagens de satélite adotadas do Sentinel-2, no qual foi realizado o realce das imagens através das correções de contraste, para o melhoramento da qualidade da imagem e a geração da composição colorida.

- RGB 432 – apresenta bom contraste entre diferentes tipos de cobertura vegetal. Esta composição serve para separar e mapear áreas ocupadas e a vegetação. Permite a identificação de áreas agrícolas (Figura 9a);
- RGB 843 – apresenta sensibilidade à rugosidade da vegetação, sendo a composição que permite a identificação da mancha urbana e o solo exposto/desnudo. Permite a identificação de áreas agrícolas (Figura 9b);
- RGB 382 – os corpos de água absorvem muita energia nesta composição, adquirindo uma tonalidade escura, o que permite o mapeamento da rede de drenagem, delineamento de corpos d'água e afloramentos (Figura 9c).

**Figura 9 - Imagens do Sentinel-2 de parte da RHSM; (a) composição verdadeira com RGB432; (b) composição falsa-cor com RGB 843; (c) RGB 382 para corpos d'água.**



Fonte: Autor (2019).

A segunda fase envolveu a fotointerpretação visual digital das classes de uso, que consistiu em delimitar as feições espectralmente semelhantes associadas a elementos fotointerpretativos (padrão, textura, forma, etc.), que foram agrupadas em polígonos.

Panizza e Fonseca (2011) determinam critérios fotointerpretativos, para identificação e determinação de um objeto como forma, tonalidade, localização do objeto na paisagem, textura e estrutura.

Nesse contexto, seguindo estes critérios, foram criadas chaves de interpretação, conhecido como “método das chaves”, que se apoia em um estudo comparativo. Desta forma, a partir da análise das feições presentes na área de estudo e da literatura existente, foram identificados os elementos fotointerpretativos na imagem, tais como cor/tonalidade, textura e forma.

Cabe ressaltar que, apesar do uso de variadas datas de registro das imagens de satélite, pequenas áreas ainda apresentaram cobertura de nuvem, para tanto, se fez pertinente o uso do Google Earth PRO, versão 7.1, que também possibilita aclarar as dúvidas frequentes referentes aos tipos de uso e formas das feições, de acordo com Andrade (2016).

Por fim, a validação dos tipos de usos no campo foi realizada a partir do banco de dados do estudo de Melo (2018), através de 133 pontos georrefenciados por toda extensão territorial da Bacia Hidrográfica São Miguel.

#### 4.3.3 Cartograma hipsométrico

A hipsometria tem ação direta na avaliação do problema estudado, visto que a qualidade do sítio aumenta com a distância até o topo, devido à ação gravitacional sobre a água e o fluxo superficial (HANNAH, 1968).

Braga et. al (1999) e Ortiz et. al (2006) corroboram através de análises estatísticas, onde os sítios com maior potencial produtivo de eucalipto se situavam em cotas altimétricas baixas. Enquanto que Oliveira (2017) considera que as altitudes elevadas causam menor prejuízo relativo ao crescimento e nutrição do eucalipto.

Para tanto, foi utilizado o modelo digital de elevação corrigido das imagens de radar do ALOS/PALSAR redimensionado para a resolução espacial de 10m. Posteriormente foi realizada a repartição das faixas altimétricas a cada 40 m.

#### 4.3.4 Cartograma de declividade

A declividade age sobre o regime hídrico, visto que ela regula os movimentos da água ao longo da vertente. Quanto mais íngreme o relevo, menor a capacidade de percolação da água no solo e maior a quantidade do escoamento superficial (FLORES et al, 2009).

Em contraponto, influencia também nas características físicas do solo, de modo que o rendimento do cultivo torna-se menos pronunciado conforme o aumento de declividade,

dificultando a instalação de povoamentos, operações do processo de silvicultura, colheita e transporte (CALDAS, 2006; LEITE et al., 2014; MOLEDO, 2016; Lima, 1996).

Segundo Lima (1996), o corte mecanizado é aplicado em até 27% de declividade, o método corte mecanizado com ancoragem e corte manual com motosserra em declividades entre 27% e 35%. Afirma também, que declividades acima de 15% possuem alta suscetibilidade a erosão nos solos e a escorregamentos naturais e induzidos.

Nesse contexto, o plano de informação correspondente à declividade foi gerado a partir do MDE corrigido, seguindo as classes determinadas pela Embrapa (1979) e Lespch (1991), contudo, houve a necessidade de adaptá-las à área de estudo, conforme pode ser observado no quadro a seguir.

**Quadro 5 - Classes de declividade**

| Classes                | Intervalos (%)* | Intervalos (%)** | Intervalos (%) |
|------------------------|-----------------|------------------|----------------|
| Plano                  | 0-3             | 0-2              | 0-8            |
| Suave-ondulado         | 3-8             | 2-5              | 8-15           |
| Moderadamente ondulado | -               | 5-10             | 15-27          |
| Ondulado               | 8-20            | 10-15            | 27-35          |
| Forte-ondulado         | 20-45           | 15-45            | 35-45          |
| Montanhoso             | 45-75           | 45-70            | 45-75          |
| Escarpado              | >75             | >70              | >75            |

\*Classificação da EMBRAPA (1979);

\*\*Classificação da LESPCH (1991).

Fonte: Autor (2019), adaptado da EMBRAPA (1979) e LESPCH (1991).

#### 4.4 Restrições legais para plantação de eucalipto

A Lei nº 12.651/2012 do Código Florestal define as áreas de proteção permanente – APP's, como uma área a ser protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com o objetivo de “preservar os recursos hídricos, a paisagem e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar da população humana”, sendo assim, destacam-se alguns incisos relevantes para este estudo, de acordo com o Art. 4:

- a) 30 (trinta) metros, para os cursos d'água de menos de 10 (dez) metros de largura;
- b) 100 (cem) metros para os corpos d'água, em zonas rurais, exceto aqueles com até 20 (vinte) hectares de superfície, cuja faixa marginal será de 50 (cinquenta) metros;
- c) Áreas no entorno das nascentes e dos olhos d'água perenes, qualquer que seja sua situação topográfica, no raio mínimo de 50 (cinquenta) metros;

- d) Não implique novas supressões de vegetação nativa;
- e) São APP's os manguezais, em toda a sua extensão.

Seguindo esses incisos, foram criadas áreas de buffer de acordo com a lei, para a demarcação das APP's da Região Hidrográfica São Miguel, que foram excluídas do cálculo de potencial para cultivo de eucalipto, visto que, de acordo com o Art. 35, a extração de lenha e demais produtos de florestas plantadas, como é o caso do eucalipto, não é permitida em áreas consideradas Áreas de Preservação Permanente e Reserva Legal.

## **4.5 Geoprocessamento**

Os procedimentos adotados para a análise dos dados serão executados utilizando-se o software QGIS, assim como a base metodológica empregada neste estudo é uma proposta apresentada por Xavier-Da-Silva e Carvalho Filho (1993) e ampliada em Xavier-Da-Silva (1992; 2001) e Xavier-Da-Silva e Zaidan (2004; 2011).

### **4.5.1 Assinaturas Ambientais**

As assinaturas ambientais são constituídas pelo uso da base de dados como instrumento de aprendizagem quanto à associação de eventos e características ambientais presentes na área de ocorrência do fenômeno estudado, que somados à base de dados, planimetrias e conhecimento prévio da área, permitem ganhar maior compreensão da realidade estudada, ou seja, ganhar conhecimento para futuras análises (XAVIER-DA-SILVA e CARVALHO, 1993; CALHEIROS, 2000).

Permitindo identificar as características ambientais relevantes que se localizam na área alvo, a fim de realizar prospecções ambientais e possíveis associações causais entre variáveis ambientais.

Logo, foram realizadas assinaturas nas áreas plantadas de eucalipto e em áreas amostrais, visto que permitem estimar, com base em dados parciais, a potencialidade de algumas variáveis para além dos limites em que ela ocorre, através das características similares entre si, de modo a ponderar o grau de relevância das variáveis em cada segmento ambiental analisado.

Os segmentos ambientais determinantes para a capacidade produtiva do eucalipto, extraídos dessas áreas plantadas, foram: altitude, declividade e as propriedades dos solos (tipos e texturas), de acordo com Braga et al. (1999), Costa et al. (2009), Flores et.al. (2009), Virtuoso et al. (2015).

#### 4.5.2 Potencial Ambiental

O potencial ambiental é entendido como um levantamento de condições ambientais, no qual são identificadas a extensão e possível expansão territorial de um processo ambiental. Essas permitem conhecer o conjunto de potencialidades da área analisada, a partir do conhecimento das potencialidades ambientais de cada situação ambiental identificada.

Nesse sentido, foi adotado para este estudo o algoritmo da média ponderada, uma das técnicas mais utilizada em projetos que envolvem análise espacial (SILVA, 1994; ALMEIDA FILHO, 1995; CALHEIROS, 2000; GONÇALVES e ARAÚJO, 2013; SANTOS e VENTORINI, 2017; MOURA, 2007).

Esse método considera os valores de influência de cada variável e as notas atribuídas a cada uma de suas classes, que dependem de sua importância para a hipótese que está sendo considerada. Por fim, realiza-se um somatório do produto de pesos versus notas, conforme a equação abaixo, baseada em Calheiros, 2000.

$$A_{ij} = \sum_{k=1}^n (P_k \cdot N_k)$$

Onde:

$A_{ij}$  = célula qualquer da matriz;

$n$  = numero de parâmetros envolvidos;

$P$  = peso atribuído do parâmetro, no intervalo de 0 a 1;

$N$  = nota atribuída à categoria encontrada na célula matriz (0 a 10 ou 0 a 100).

#### 4.5.3 Elaboração do mapa de potencial para cultivo de eucalipto

Os dados foram ajustados para a integração dos mesmos, convertendo as variáveis do formato vetorial Shapefile (.SHP) para o formato raster Geotiff (.TIFF).

Posteriormente, a combinação das variáveis foi executada no software QGIS, através da ferramenta calculadora raster, que permitiu a aplicação da fórmula matemática da potencialidade ambiental estudada, seguindo os pesos e notas pré-estabelecidos para cada variável. O resultado da operação foi o potencial de cultivo de eucalipto.

Baseada na equação supracitada, a fórmula utilizada para a elaboração do cartograma de Potencial para Cultivo de Eucalipto inserida na calculadora raster foi simulada pela seguinte expressão:

$$PCE = (ALT \times P_1) + (USO \times P_2) + (DEC \times P_3) + (GT \times P_4) + (PED \times P_5)$$

Onde:

PCE = Potencial de cultivo de eucalipto

ALT = Altitude

USO = Uso do solo e cobertura vegetal

DEC = Declividade

GT = Grupamento Textural

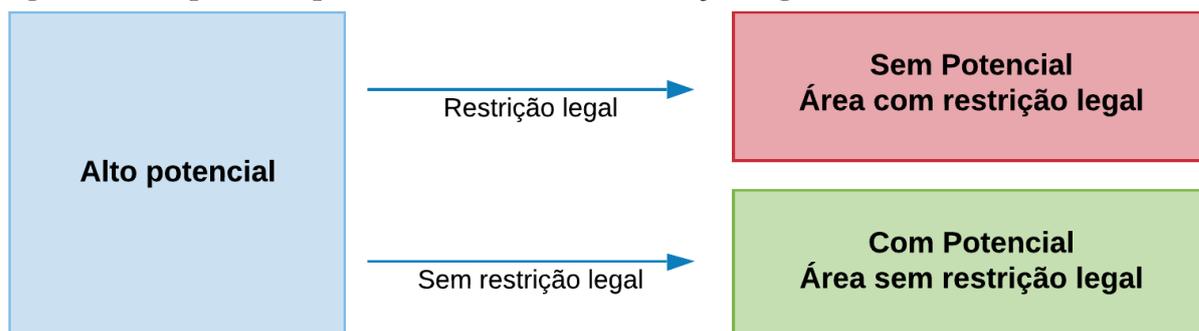
PED = Pedologia

P<sub>1, 2, 3, 4, 5</sub> = pesos atribuídos aos parâmetros

#### 4.5.4 Elaboração do mapa de potencial para cultivo de eucalipto com restrição legal

O potencial ambiental com restrição legal será realizado através do confronto do cartograma de potencial para cultivo de eucalipto com o cartograma de áreas de preservação permanente, de modo que permitiu identificar as áreas com ocorrência simultânea de potencial e restrição, podendo assim excluir as áreas de conflito, como mostra a figura a seguir.

**Figura 10 – Esquema do potencial ambiental com restrições legais**



Fonte: Autor (2019).

##### 4.5.4.1 Potencial de cultivo de eucalipto sem restrição hídrica

De acordo com Lima (2010) e Calder et al. (2007), o manejo dos plantios florestais deve apresentar um balanço sustentável entre os fluxos de saída de água, garantindo um equilíbrio hídrico nas bacias hidrográficas. Complementam também, que o impacto aos

recursos hídricos causados por cultivos florestais, como o eucalipto, é minimizado se estes ocuparem áreas menores que 20% de uma bacia hidrográfica.

Diante disso, o potencial de cultivo de eucalipto sem restrição hídrica busca complementar as análises anteriores, a fim de compor um estudo amplo e condizente com as limitações da área em questão.

Portanto, foram realizadas mensurações das áreas de altíssimo potencial sem restrição legal, de modo que permitiu identificar qual a maior área permitida, em cada bacia hidrográfica da área de estudo, sem provocar grandes alterações hídricas e que ainda apresente uma produtividade elevada.

## 5 INVENTÁRIO AMBIENTAL

### 5.1 Região Hidrográfica São Miguel

Com o processamento realizado a partir do dado do ALOS/PALSAR, no QGIS/SAGA GIS – Terrain Analysis - Hydrology, os aspectos geométricos da Região Hidrográfica São Miguel apresentaram uma extensão territorial de aproximadamente 2.265 km<sup>2</sup> e perímetro de 359 km.

Comparado com o dado da Semarh (2007), verificou-se uma diferença de 15 km<sup>2</sup> entre os parâmetros de área das bacias pertencentes ao objeto de estudo, conforme a Tabela 2, sendo a bacia do rio Jequiá com maior discrepância absoluta, passando de 833 km<sup>2</sup> para 863 km<sup>2</sup> de extensão territorial, o que correspondeu a um ganho de 30 km<sup>2</sup> de área na delimitação automática.

A segunda maior diferença absoluta foi a bacia do rio São Miguel, com uma redução territorial de 23 km<sup>2</sup>, ou seja, passou de 762 km<sup>2</sup> para 739 km<sup>2</sup> a menos na delimitação automática. As demais bacias apresentaram diferença inferior a 20 km<sup>2</sup> e foram sintetizadas na tabela abaixo.

**Tabela 2 - Características geométricas da Região Hidrográfica São Miguel-AL.**

| Bacias Hidrográficas | Automática 1:50.000 |               | Semarh 1:100.000   |               | Diferença (km <sup>2</sup> ) |
|----------------------|---------------------|---------------|--------------------|---------------|------------------------------|
|                      | Área                |               | Área               |               |                              |
|                      | (km <sup>2</sup> )  | (%)           | (km <sup>2</sup> ) | (%)           |                              |
| B. do Rio Poxim      | 402                 | 17,75         | 412                | 18,31         | -10                          |
| B. do Rio Niquim     | 150                 | 6,62          | 137                | 6,09          | +13                          |
| B. do Rio São Miguel | 739                 | 32,63         | 762                | 33,87         | -23                          |
| B. do Riacho Tabuada | 111                 | 4,90          | 106                | 4,71          | +5                           |
| B.do Rio Jequiá      | 863                 | 38,10         | 833                | 37,02         | +30                          |
| <b>RHSM</b>          | <b>2.265</b>        | <b>100,00</b> | <b>2.250</b>       | <b>100,00</b> | <b>15</b>                    |

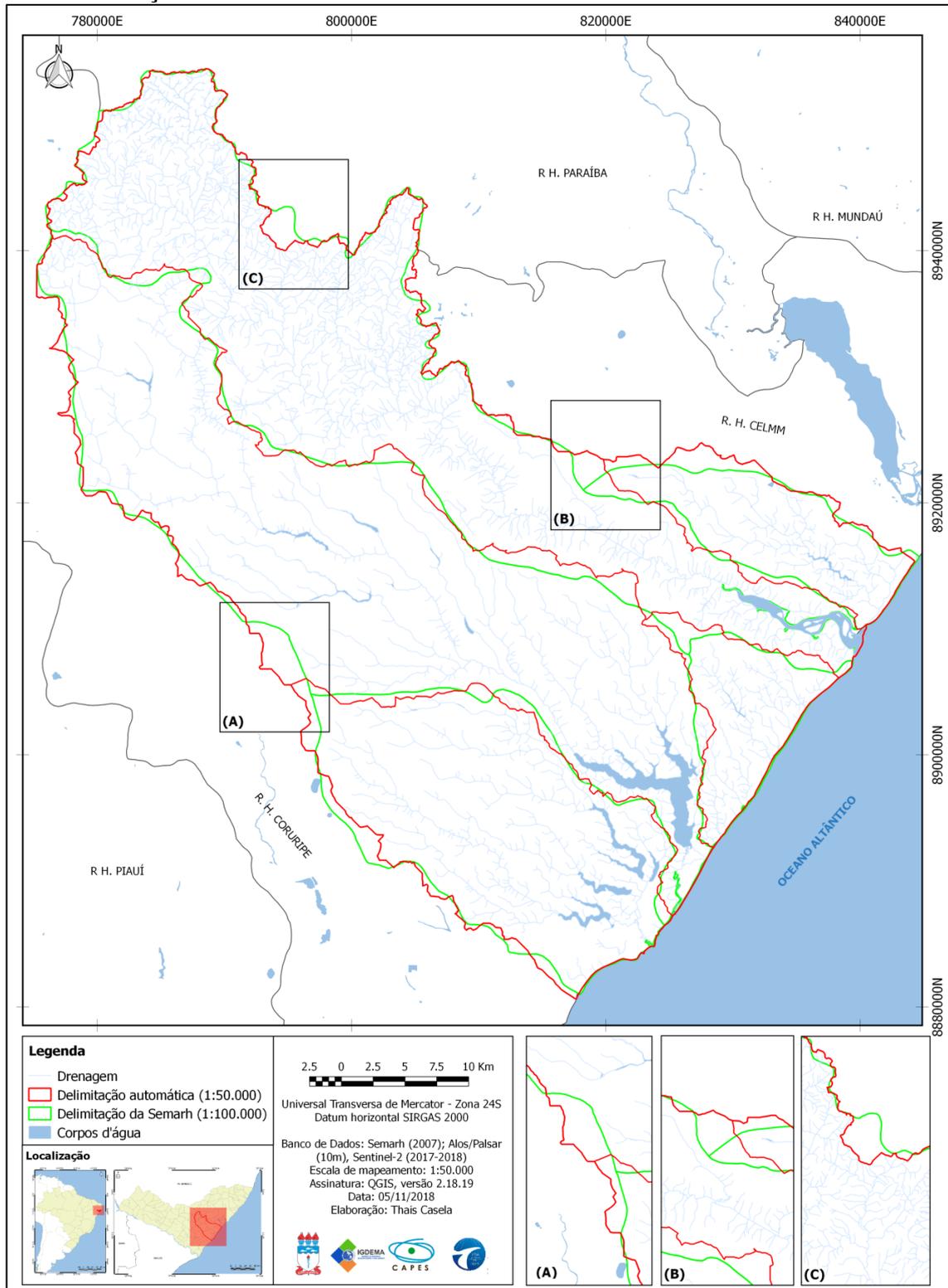
Fonte: Autor (2019).

Os resultados apontam que, apesar das diferenças pontuais em cada bacia hidrográfica pertencente à RHSM, quando comparado a diferença total entre as delimitações, pode-se observar que 15 km<sup>2</sup> representa percentagem inferior a 0,7, em ambas as delimitações, o que revela que os valores não destoaram do que está posto.

Contudo, ao analisar o cartograma resultante da delimitação (Figura 11), observou-se que os contornos não se encontraram justapostos, mas seguiram por direções similares, salvo

algumas exceções. Essas desconexões podem ser causadas pela diferença de escala entre uma delimitação e outra, assim como a diferença metodológica entre elas.

**Figura 11 - Comparação dos limites em escalas de 1:50.000 e 1:100.000 e ampliação de áreas com maior diferenciação.**



Fonte: Autor (2019).

## 5.2 Uso do solo e cobertura vegetal de 2017/2018

Compilado da imagem de satélite Sentinel-2, as categorias mapeadas obedeceram aos usos estabelecidos pelo IBGE (2013), que permitiu a identificação de 30 subunidades, que foram reduzidas a 23 unidades, para melhor representar os diferentes tipos de uso sem perder o detalhe imprescindível para a identificação do potencial.

Entre tipos de uso do solo e coberturas vegetais, a área assinada correspondeu a 2.265,38 km<sup>2</sup> de extensão territorial mapeada, conforme a Tabela 4.

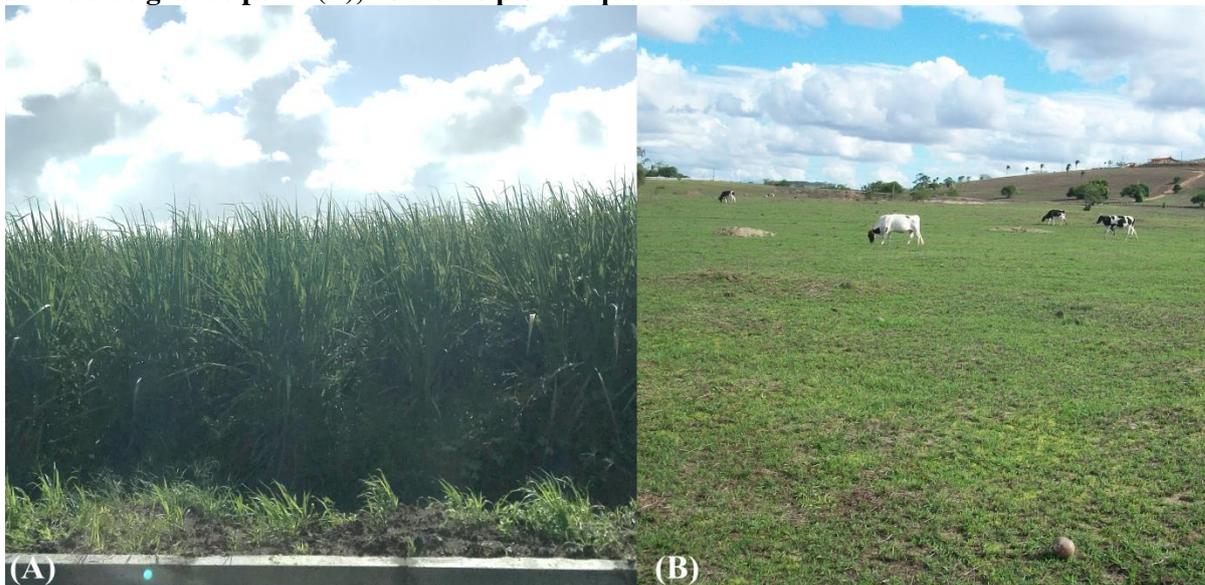
As mensurações realizadas sobre essa variável apontam que 81,53% da área analisada são ocupadas por atividades antrópicas agrícolas ou não agrícolas. A cana-de-açúcar possui a maior representatividade na região hidrográfica de estudo, com uma área equivalente a 1.281,46 km<sup>2</sup> ou 56,57%, que se estendem pela porção centro-oeste a centro-leste, abrangendo os municípios da parte litorânea e Taquarana (Figura 12A).

**Tabela 3 - Planimetria do uso do solo e cobertura vegetal**

| Unidades                                 | Área (km <sup>2</sup> ) | Área (ha)      | Área (%)   |
|--|-------------------------|----------------|------------|
| Áreas urbanizadas                        | 23,39                   | 2339           | 1,03       |
| Povoados                                 | 14,04                   | 1404           | 0,62       |
| Complexos (industriais e não ind.)       | 1,83                    | 183            | 0,08       |
| Minerais não metálicos                   | 0,99                    | 99             | 0,04       |
| Cana-de-açúcar                           | 1.281,46                | 128.146        | 56,57      |
| Policultura                              | 9,22                    | 922            | 0,41       |
| Pastagem                                 | 480,07                  | 48.007         | 21,19      |
| Eucalipto                                | 2,67                    | 267            | 0,12       |
| Coco-da-baía                             | 26,45                   | 2.645          | 1,17       |
| Policultura e Povoados                   | 6,80                    | 680            | 0,30       |
| Campo rupestre                           | 7,97                    | 797            | 0,35       |
| Floresta estacional semidecidual         | 147,94                  | 14.794         | 6,53       |
| Floresta estacional s. descaracterizada  | 65,48                   | 6.548          | 2,89       |
| Floresta ombrófila secundária            | 57,87                   | 5.787          | 2,55       |
| Floresta ombrófila sec. descaracterizada | 20,45                   | 2.045          | 0,90       |
| Formações Pioneiras                      | 45,78                   | 4.578          | 2,02       |
| Vegetação não identificada               | 21,48                   | 2.148          | 0,95       |
| Corpos d'água                            | 41,16                   | 4.116          | 1,82       |
| Afloramento rochoso                      | 1,14                    | 114            | 0,05       |
| Banco de areia                           | 1,10                    | 110            | 0,05       |
| Praia                                    | 2,10                    | 210            | 0,09       |
| Solo exposto                             | 4,18                    | 418            | 0,18       |
| Solo desnudo                             | 1,81                    | 181            | 0,08       |
| <b>TOTAL</b>                             | <b>2.265,38</b>         | <b>226.538</b> | <b>100</b> |

Fonte: Autor (2019).

**Figura 12 - Cultivo temporário de cana-de-açúcar (A), no município de Roteiro, e pecuária de animais de grande porte (B), no município Tanque D'arca**



Fonte: Autor (2018) e MELO (2019), respectivamente.

As pastagens são mais intensas na porção norte-oeste, justamente onde o relevo é fortemente ondulado (Figura 12B), progredindo pelos municípios de Anadia, Tanque D'arca, Maribondo e Mar vermelho. Ocupam uma área de 480,07 km<sup>2</sup>, sendo a segunda maior ocorrência na área de estudo, com 21,19% da área total mapeada.

A cultura permanente do coco-da-baía expande-se na parte litorânea da região em questão, compreendendo os municípios de Jequiá da Praia, Roteiro e Coruripe. Apresenta extensão territorial de 26,45 km<sup>2</sup>, ou seja, 1,17% da área estudada (Figura 13A).

**Figura 13 – Cultura permanente de coco-da-baía (A), na laguna do Roteiro; e campo rupestre/afloramento rochoso (B), no município de Maribondo**



Fonte: Autor (2018) e MELO (2019), respectivamente.

Foram identificados diferentes tipos de coberturas vegetais, somadas, compreendem 16,20% de toda a extensão estudada, sendo a Floresta Estacional Semidecidual com maior expressividade, cerca de 150 km<sup>2</sup> ou 7%, concentradas em áreas de maior declividade nos tabuleiros, formando ilhas de remanescentes de mata atlântica (Guimarães Júnior, 2003), assim como na Reserva Ecológica da Lagoa do Roteiro e em reservas particulares do patrimônio natural – RPPN's.

A floresta ombrófila secundária, caracterizada por menos de 90 dias biologicamente secos (Assis, 2016), apresentaram 2,55% de representação na área da região em questão, ou seja, 57,87 km<sup>2</sup>.

Enquanto que as formações pioneiras, relacionadas a solos em processo incipiente de formação com cobertura vegetal de primeira ocupação de caráter edáfico, formada por plantas adaptadas às condições ecológicas locais (SILVA, 2009). Ocuparam as áreas pedologicamente instáveis, o que caracterizou 2,02% da área total estudada. Divididas pelo tipo de influência: marinha, aluvial, fluvio-marinha e fluvio-lacustre.

Ressalta-se que apesar da unidade de minerais não metálicos não apresentarem grande representatividade territorial, com 0,99 km<sup>2</sup>, ou 0,04% da área total analisada, torna-se necessário o conhecimento dessas áreas, por serem caracterizadas com expressivo impacto ao meio ambiente e também áreas não recomendáveis para o cultivo de eucalipto (Figura 14).

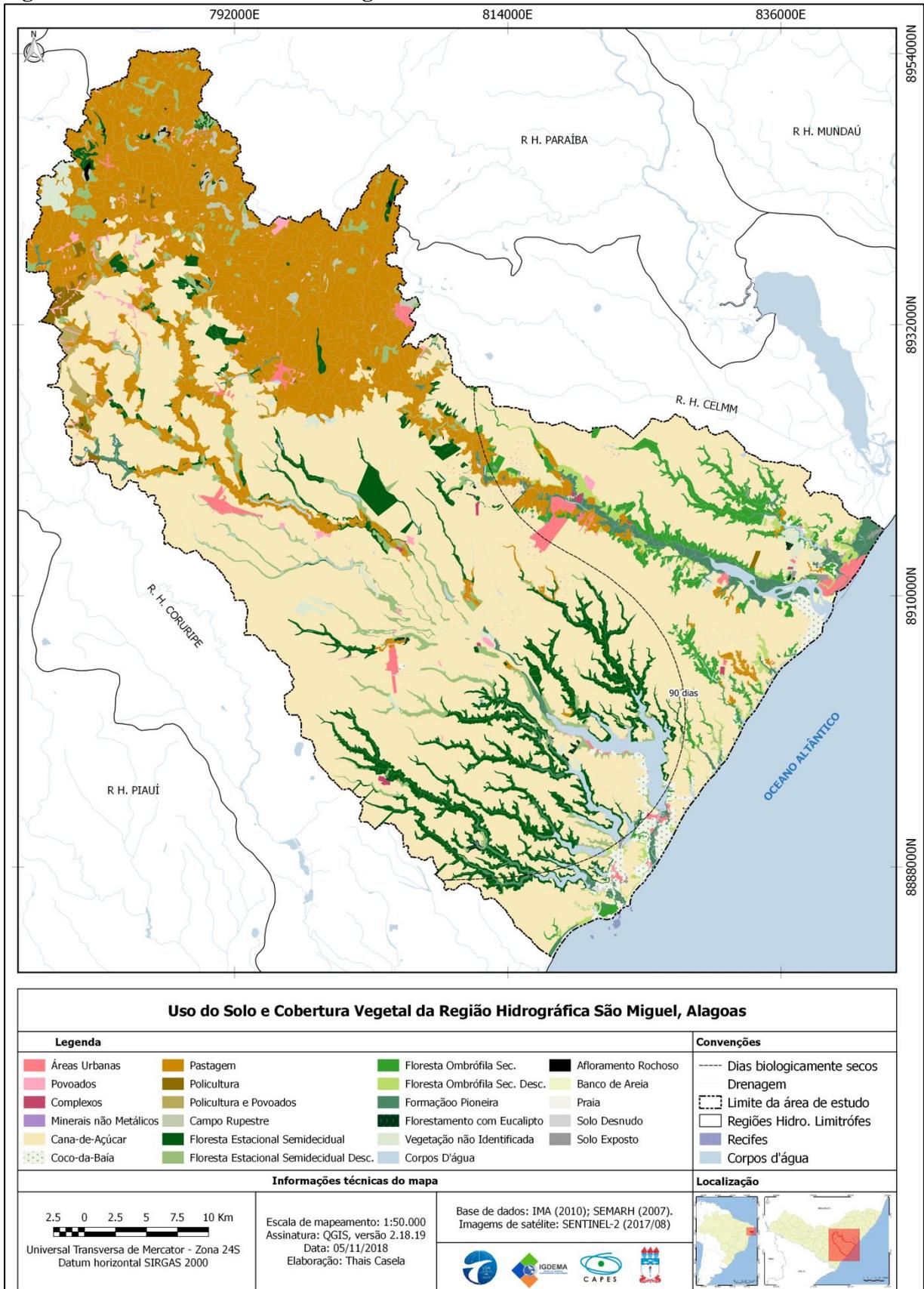
Assim com as unidades de corpos d'água e área descobertas completam as unidades de usos da terra, possuindo 2,27% da região de estudo.

**Figura 14 - Extração mineral no município de Maribondo**



Fonte: Google Earth (2016) e MELO (2019), respectivamente.

Figura 15 - Uso do solo e cobertura vegetal de 2017/2018



Fonte: Autor (2019).

### 5.3 Hipsometria

A região hidrográfica São Miguel apresenta uma extensão territorial de baixas cotas altimétricas, sendo 82,05% da área de estudo localizadas abaixo de 200m.

A distribuição das cotas altimétricas segue uma distribuição assimetria positiva, cujo cume corresponde às altitudes entre 80 e 120m, intervalo com maior representação territorial, correspondendo a cerca de 20%, ou seja, 480 km<sup>2</sup>, esse intervalo localiza-se em paralelo com a linha de costa, em uma distância média de 23 km, constituído por superfícies de patamares tabuliformes e vales encaixados.

As altitudes mais elevadas estão localizadas na porção centro-noroeste, cujo cume máximo atinge 576 metros acima do nível do mar, isso ocorre devido à região de estudo compor parte das escarpas orientais do Planalto da Borborema.

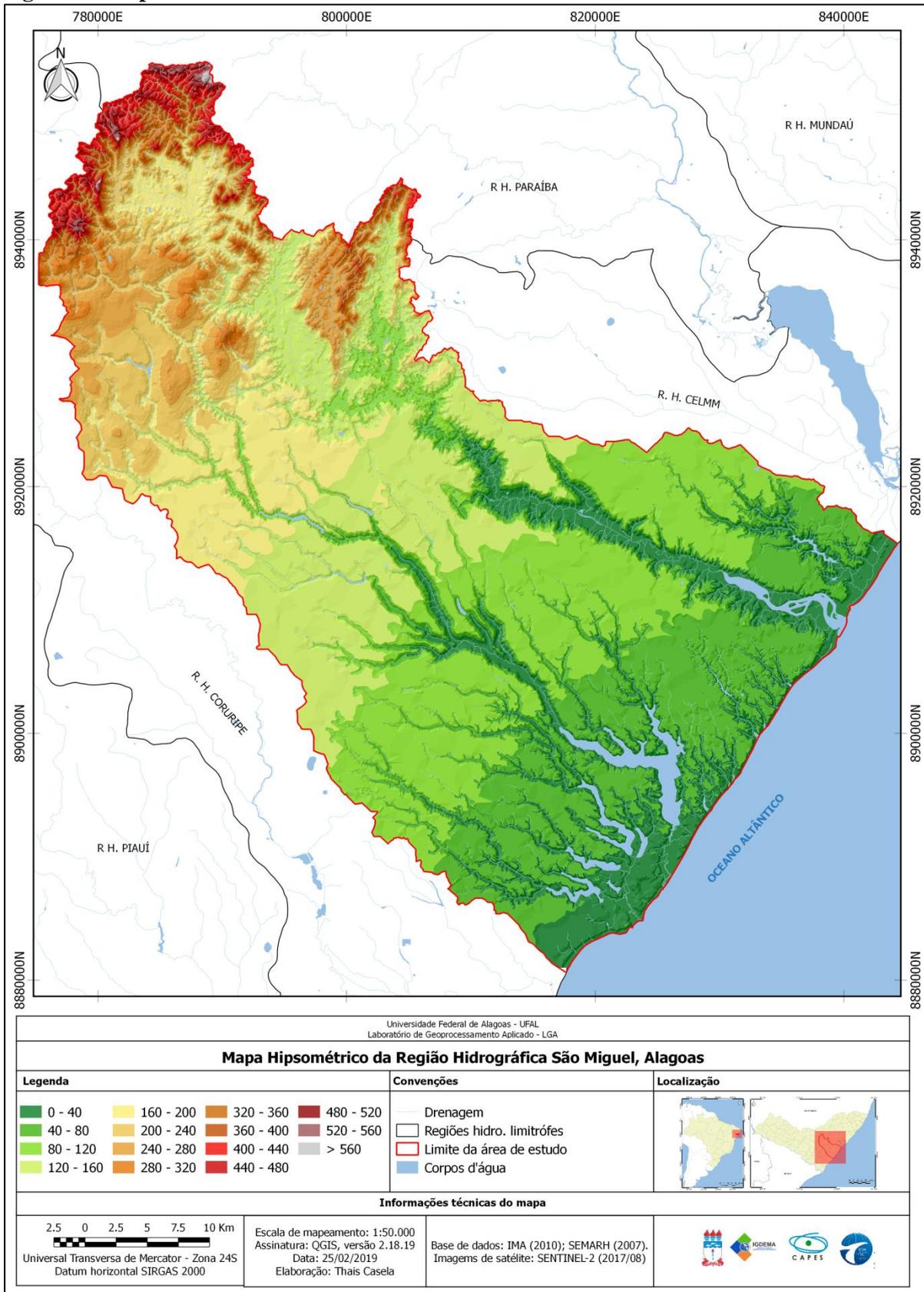
**Tabela 4 - Planimetria da hipsometria**

| Classes        | Área (km <sup>2</sup> ) | Área (ha)     | Área (%)   |
|----------------|-------------------------|---------------|------------|
| <b>0-40</b>    | 317,28                  | 31.728        | 13,99      |
| <b>40-80</b>   | 417,12                  | 41.712        | 18,40      |
| <b>80-120</b>  | 480,65                  | 48.065        | 21,20      |
| <b>120-160</b> | 405,11                  | 40.511        | 17,87      |
| <b>160-200</b> | 243,4                   | 24.340        | 10,73      |
| <b>200-240</b> | 148,81                  | 14.881        | 6,56       |
| <b>240-280</b> | 109,19                  | 10.919        | 4,82       |
| <b>280-320</b> | 44,65                   | 4.465         | 1,97       |
| <b>320-360</b> | 24,6                    | 2.460         | 1,08       |
| <b>360-400</b> | 20,3                    | 2.030         | 0,90       |
| <b>400-440</b> | 22,38                   | 2.238         | 0,99       |
| <b>440-480</b> | 19,01                   | 1.901         | 0,84       |
| <b>480-520</b> | 10,25                   | 1.025         | 0,45       |
| <b>520-560</b> | 3,81                    | 381           | 0,17       |
| <b>&gt;560</b> | 0,99                    | 99            | 0,04       |
| <b>TOTAL</b>   | <b>2267,55</b>          | <b>226755</b> | <b>100</b> |

Fonte: Autor (2019).

A partir das variações topográficas e do relevo sombreado da área de estudo, foi possível observar a dissecação do relevo através do entalhamento dos vales fluviais e os tabuleiros tabuliformes. Assim como a cimeira estrutural dissecada, a depressão periférica e as feições tabuliformes, mapeadas por Souza (2013).

Figura 16 - Hipsometria



Fonte: Autor (2019).

## 5.4 Declividade

O relevo plano é predominante na região hidrográfica São Miguel, contabilizando 1.613 km<sup>2</sup>, o que corresponde a 71,44% da área de estudo. Essa se estende sobre os patamares tabuliformes dissecados da Formação Barreiras associados ao cultivo da cana-de-açúcar (Figura 17).

A declividade do relevo Moderadamente ondulado varia de 15 a 27%, sendo a segunda maior ocorrência na área estudada, com 249,35 km<sup>2</sup> ou 11,01%, abrangendo a parte inferior das encostas dos vales fluviais. Essa declividade corresponde ao limite máximo para implantações de cortes mecanizados no cultivo de eucalipto.

As outras declividades com expressividade territorial apresentam relevo que varia de suave-ondulado e ondulado, somadas, caracterizam 15,02% da região estudada. Essas se encontraram entre 8-15 e 27-35% de declividade, nessa última, ressalta-se a possibilidade do corte manual com motosserra para a extração dessa silvicultura.

As demais classes, forte ondulado, montanhoso e escarpado, somam 4,5% da área de estudo e podem ser conferidas na Tabela 5. Recobrem a parte superior das encostas dos vales fluviais e as bordas do Planalto da Borborema, que seguem pelos municípios de Mar Vermelho, Tanque D'Arca, Belém e Maribondo, situados na parte norte-oeste da área de estudo.

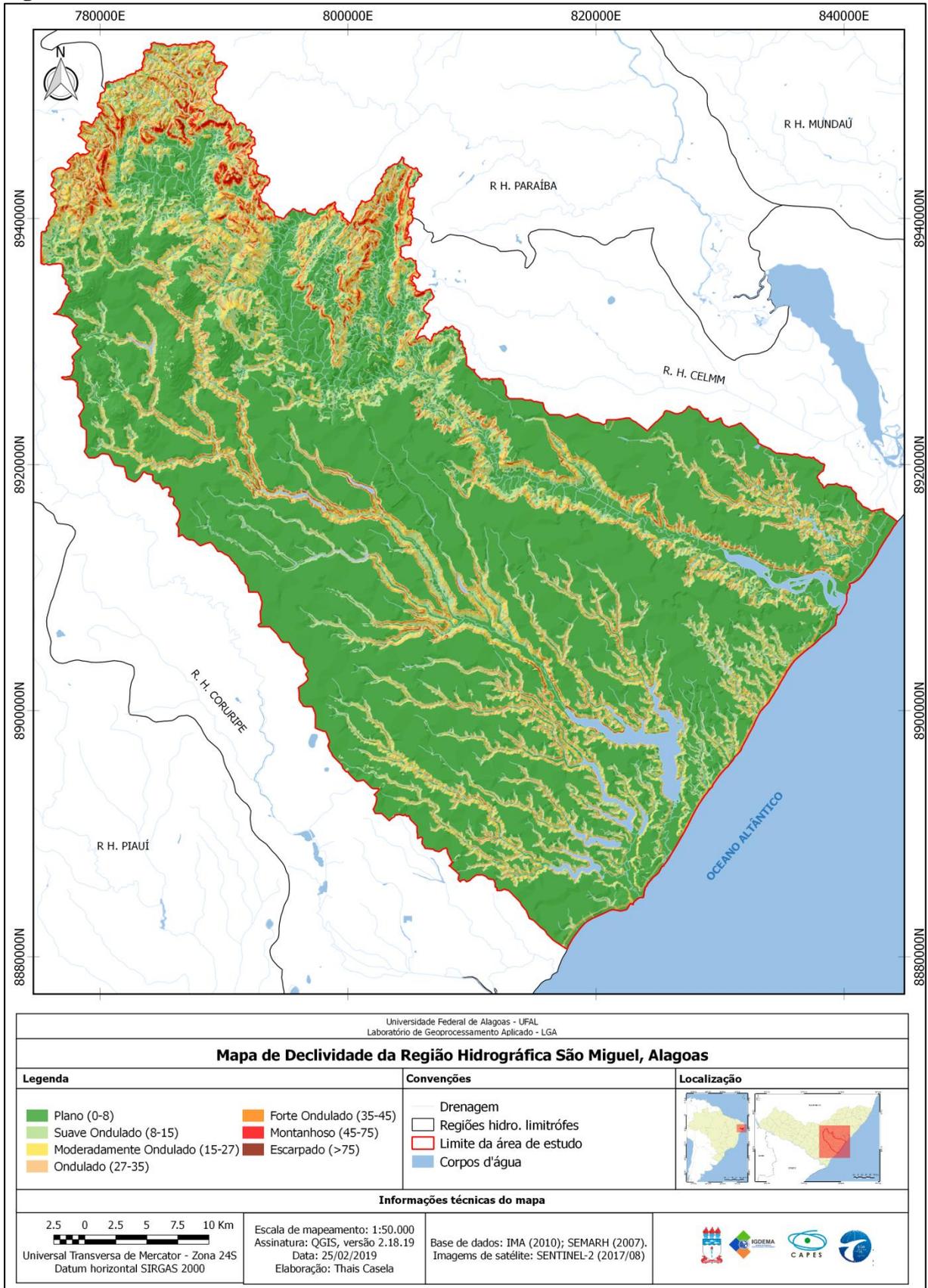
**Tabela 5 - Planimetria da declividade**

| Intervalos   | Classes                | Área (Km <sup>2</sup> ) | Área (há)      | Área (%)      |
|--------------|------------------------|-------------------------|----------------|---------------|
| 0-8          | Plano                  | 1.602,89                | 160.289        | 70,44         |
| 8-15         | Suave ondulado         | 230,00                  | 23.000         | 10,15         |
| 15-27        | Moderadamente ondulado | 249,35                  | 24.935         | 11,01         |
| 27-35        | Ondulado               | 90,87                   | 9.087          | 4,01          |
| 35-45        | Fortemente Ondulado    | 58,90                   | 5.890          | 2,60          |
| 45-75        | Montanhoso             | 39,92                   | 3.992          | 1,76          |
| >75          | Fortemente Escarpado   | 3,50                    | 350            | 0,15          |
| <b>Total</b> |                        | <b>2.275,43</b>         | <b>227.543</b> | <b>100,00</b> |

Fonte: Autor (2019).

O cartograma de declividade permite observar o relevo plano dissecado pelos vales fluviais e a ampla diferença de declividades nas encostas dos tabuleiros, a variação intensa nas bordas do planalto da Borborema na parte oeste-norte da região em questão, e a estabilização dos declives nos patamares tabuliformes.

**Figura 17 - Declividade**



Fonte: Autor (2019).

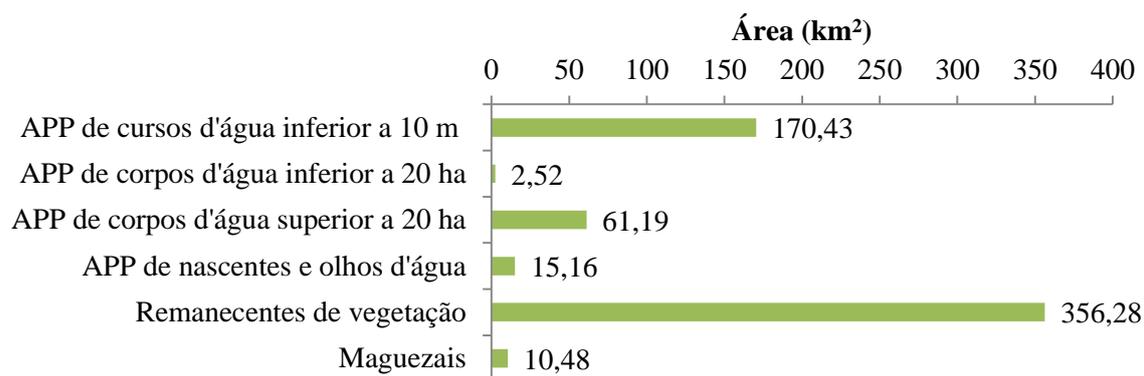
## 5.5 Restrições legais para plantação de eucalipto

Com base na legislação ambiental, as áreas com restrições para a plantação de eucalipto totalizaram 472.23km<sup>2</sup>, ou seja, cerca de 20% da área de estudo encontrou-se em situação de proteção ambiental, podendo uma mesma área conter mais de um tipo de restrição legal (Figura 18).

As áreas de preservação permanente foram divididas por tipos de proteção ambiental, os remanescentes vegetais apresentaram maior ocorrência territorial, com cerca de 360 km<sup>2</sup>. Seguida das APP's de cursos d'água com extensão de 170 km<sup>2</sup>, as demais restrições encontram-se detalhadas no gráfico 1.

Cabe ressaltar que os valores particularizados no gráfico abaixo são referentes ao cálculo de área de cada restrição legal individualizada.

**Gráfico 1–Distribuição de área das restrições legais para plantação de eucalipto**



Fonte: Autor (2019).

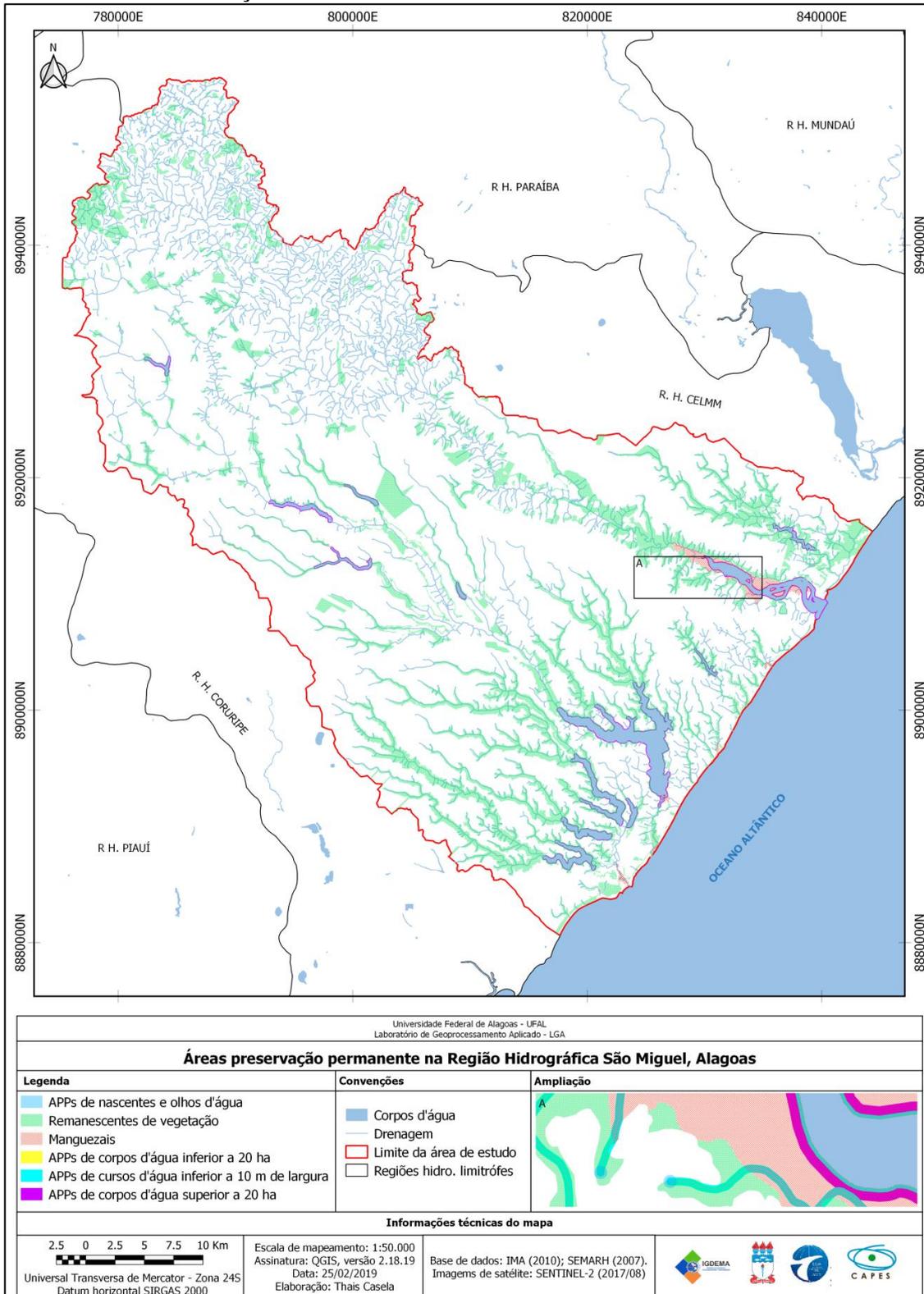
Nesse contexto, ressalta-se que somente 75 km<sup>2</sup> das áreas de preservação permanente das nascentes e corpos e cursos d'águas (recursos hídricos) apresentaram sua vegetação nativa preservada, ou seja, 60% dessas áreas com restrições legais tiveram sua vegetação suprimida por uma atividade antrópica.

Portanto, dentre os diferentes tipos de usos do solo, verificou-se que a pastagem e a cana-de-açúcar foram os principais usos responsáveis pela ocupação das APP's de recursos hídricos, correspondendo a 40% (73 km<sup>2</sup>) e 15% (27 km<sup>2</sup>) de representação territorial nessas áreas, respectivamente.

Enquanto que das áreas plantadas de eucalipto, 0,38 km<sup>2</sup> encontraram-se sobre áreas de preservação permanente de corpos e cursos d'água, evidenciando, a apesar de não serem

áreas de expressiva representação (0,21%), a falta de planejamento e direcionamento no cultivo dessa silvicultura.

**Figura 18 - Áreas de Proteção Permanente**



Fonte: Autor (2019).

Diante disso, cabe destacar que o presente estudo visa identificar as áreas com potenciais para o cultivo de eucalipto que causem o menor dano ambiental possível, mantendo a distâncias estabelecidas para as áreas de proteção da vegetação e as áreas de preservação permanente, visando contribuir para o desenvolvimento sustentável das práticas agrícolas nas propriedades rurais e cumprir a lei.

Com esse propósito, de não suprimir os remanescentes de vegetação, não é recomendado o cultivo de eucalipto para corte nessas áreas de restrições.

## 6 GEOPROCESSAMENTO

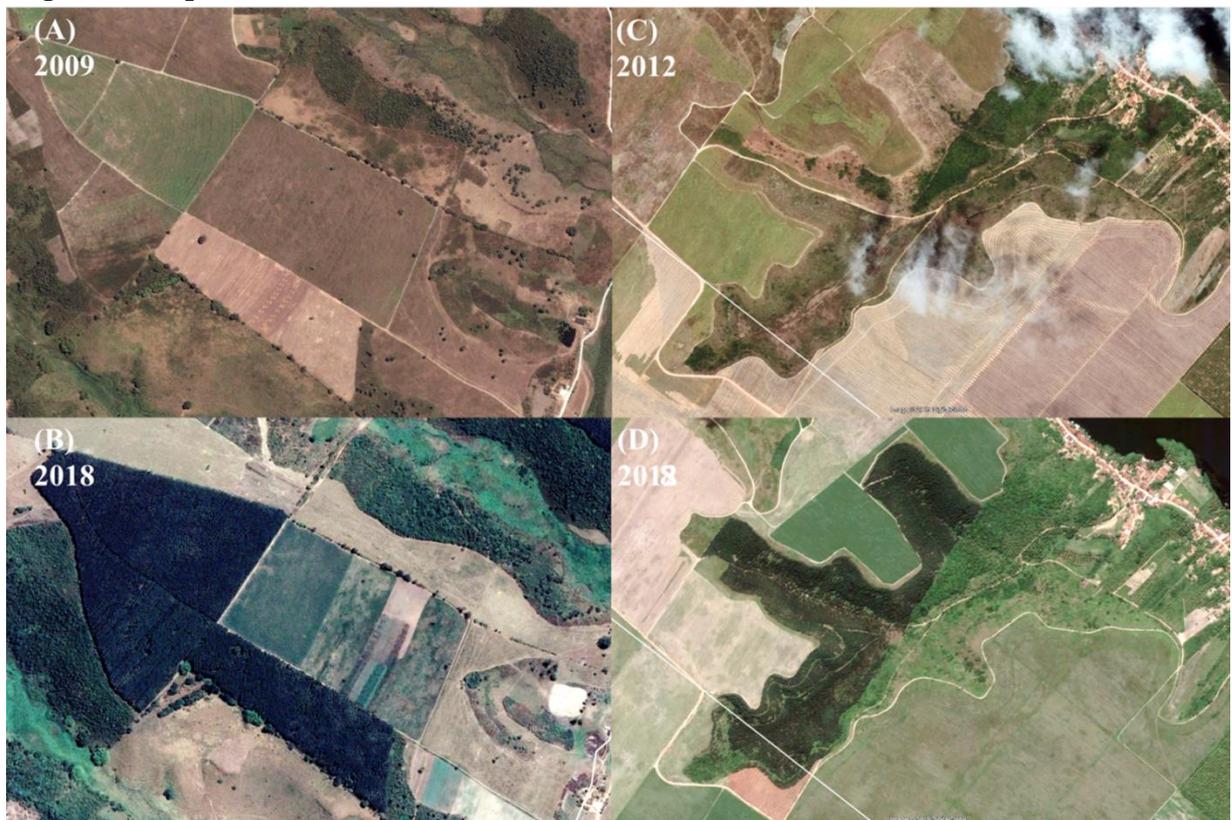
### 6.1 Assinaturas Ambientais

#### 6.1.1 Áreas plantadas de Eucalipto

A silvicultura de Eucalipto divide-se em 23 fragmentos distribuídos por quase toda região hidrográfica, com áreas que variam de 0,01 km<sup>2</sup> a 0,42 km<sup>2</sup>, totalizando 2,67 km<sup>2</sup>. Apesar de possuir uma área pouco expressiva, visto sua introdução recente no estado de Alagoas, apresenta-se em expansão, por conseguinte, estas áreas plantadas foram tomadas como base para a análise do potencial do seu cultivo.

Neste contexto, verificou-se que todas as áreas plantadas de Eucalipto, na região de estudo, ocupam áreas que outrora foram usos de cana-de-açúcar ou pastagem, de forma que nenhuma área de vegetação remanescente foi suprimida para o cultivo dessa silvicultura, como exemplifica a figura abaixo.

**Figura 19 – Maiores áreas plantadas de Eucalipto na Região Hidrográfica São Miguel, localizadas na porção norte-oeste, referentes aos anos de 2009 (A) e 2018 (B), e próxima a Laguna do Jequiá, referentes aos anos de 2012 (C) e 2018 (D)**



Fonte: Google Earth (2009; 2012; 2018).

Dentre as classes de solos, os argissolos apresentaram maior aptidão para o cultivo de eucalipto, sendo 61% argissolos vermelhos-amarelos e 30% argissolos amarelos. Os demais tipos de solos apresentaram potencial para o cultivo, mas com menor representatividade, estando abaixo de 6%, conforme pode ser verificado na tabela 6.

O grupo textural média-argilosa apresentou maior extensão territorial sob área plantada, compreendendo 74%, que segundo Flores et al. (2009) esta classe apresenta aptidão edáfica preferencial para o eucalipto. A segunda classe com maior ocorrência é a textura arenosa e argilosa, com 16%.

As áreas plantadas de eucalipto se estendem por altitudes que variam de 0 a 240 m, sendo a maior concentração nas áreas com até 80 m, que somadas representaram 96%. As áreas entre 80 e 120 m apresentaram 7,5%, enquanto que as áreas entre 200 e 240 m atingiram 8%. As demais classes foram inferiores a 5%.

A declividade apresentou uma distribuição mais equilibrada, ocorrendo de forma heterogênea em praticamente todas as classes de relevo. A maior ocorrência com cultivo de eucalipto foi sobre áreas de relevo Moderadamente Ondulado (15-27%), com 32% de representatividade, percentual similar ao relevo Suave Ondulado, que apresentou 30%. O relevo Ondulado, terceira maior categoria, correspondeu a 22%, enquanto que o relevo plano representou 10 %.

**Tabela 6 - Assinatura das áreas plantadas de eucalipto**

|                 |                                   |                  | (continua)      |
|-----------------|-----------------------------------|------------------|-----------------|
|                 | <b>Classes</b>                    | <b>Área (ha)</b> | <b>Área (%)</b> |
| <b>Solos</b>    | Cambissolo Háptico                | 0,38             | 0,14            |
|                 | Latossolo Amarelo                 | 13,87            | 5,19            |
|                 | Latossolo Vermelho                | 8,01             | 3,00            |
|                 | Argissolo Amarelo                 | 79,14            | 29,61           |
|                 | Argissolo Vermelho-Amarelo        | 163,12           | 61,03           |
|                 | Gleissolo Háptico                 | 2,75             | 1,03            |
|                 | <b>Total</b>                      | <b>267,27</b>    | <b>100,00</b>   |
| <b>Textura</b>  | Arenosa/argilosa a muito argilosa | 3,28             | 1,23            |
|                 | Arenosa/argilosa                  | 42,67            | 15,97           |
|                 | Arenosa/média e argilosa          | 2,05             | 0,77            |
|                 | Argilosa                          | 22,26            | 8,33            |
|                 | Média/Argilosa                    | 197,01           | 73,71           |
|                 | <b>Total</b>                      | <b>267,27</b>    | <b>100,00</b>   |
| <b>Altitude</b> | 0-40                              | 101,52           | 37,98           |
|                 | 40-80                             | 107,04           | 40,05           |
|                 | 80-120                            | 20,01            | 7,49            |
|                 | 120-160                           | 2,58             | 0,97            |

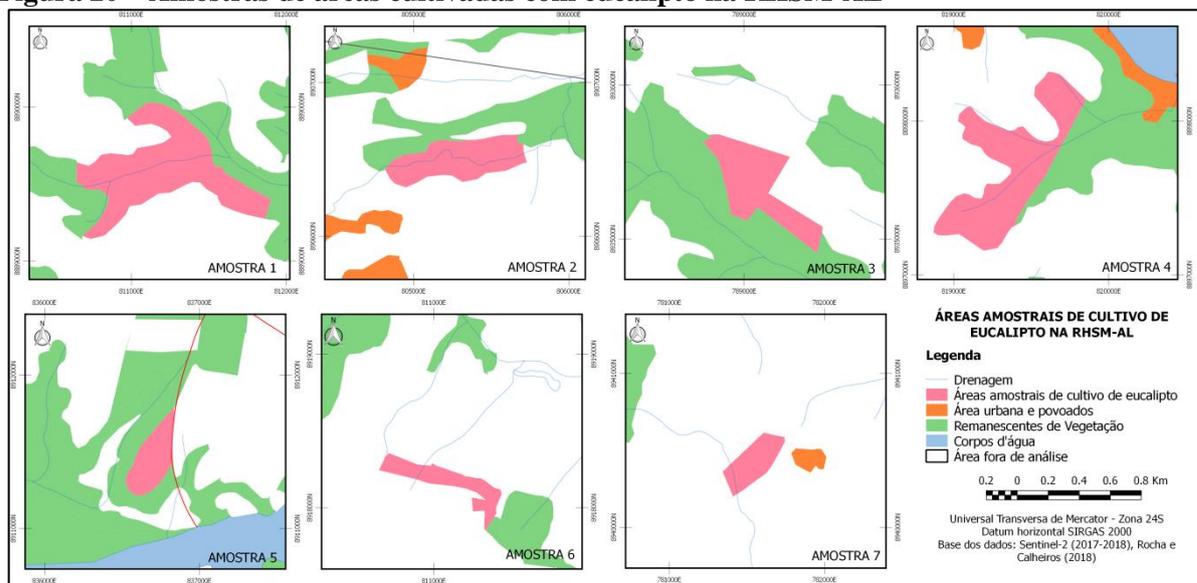
**Tabela 6 - Assinatura das áreas plantadas de eucalipto.**

|                    |                              | (continuação) |               |
|--------------------|------------------------------|---------------|---------------|
|                    | 160-200                      | 3,47          | 1,30          |
|                    | 200-240                      | 21,60         | 8,08          |
|                    | 240-280                      | 8,25          | 3,09          |
|                    | 360-400                      | 0,35          | 0,13          |
|                    | 400-440                      | 2,45          | 0,92          |
|                    | <b>Total</b>                 | <b>267,27</b> | <b>100,00</b> |
| <b>Declividade</b> | Plano (0-8)                  | 28,18         | 10,54         |
|                    | Suave Ondulado (8-15)        | 81,20         | 30,38         |
|                    | Moderamente Ondulado (15-27) | 85,18         | 31,87         |
|                    | Ondulado (27-35)             | 57,87         | 21,65         |
|                    | Forte Ondulado (35-45)       | 19,57         | 7,32          |
|                    | Montanhoso (45-75)           | 0,72          | 0,27          |
|                    | <b>Total</b>                 | <b>267,27</b> | <b>100,00</b> |

Fonte: Autor (2019)

Os demais tipos de solos, texturas, altitudes e declividades não foram identificados nas áreas plantadas de eucalipto, em virtude disto, não constam na tabela acima.

Para melhor avaliar as áreas plantadas e validar a assinatura total, foram realizadas assinaturas ambientais em sete amostras dos 23 fragmentos identificados de cultivo de eucalipto (Figura 20).

**Figura 20 – Amostras de áreas cultivadas com eucalipto na RHSM-AL**

Fonte: Autor (2019).

A escolha das amostras foi conforme a localização: alto (2 fragmentos), médio (2 fragmentos), e baixo curso (3 fragmentos); e a área: segundo a extensão territorial, no caso as

maiores áreas em cada localização escolhida, de modo a obter uma representação completa da área de estudo. Os resultados foram sintetizados em quadros e irão contribuir para os procedimentos avaliativos.

#### 6.1.1.1 Unidades Pedológicas

Pela análise realizada em sete assinaturas, o cultivo de eucalipto avança sobre terrenos de Argissolo Vermelho-Amarelo e Amarelo, com ocorrências menores também sobre Latossolos Amarelo e Vermelho (Quadro 6).

Nessa amostragem, verificou-se que as classes de pedologia identificadas apresentaram relevância para ocorrência do fenômeno estudado, sintetizadas no quadro abaixo, e ratificam os percentuais encontrados na área total de cultivo de eucalipto.

**Quadro 6 - Resultados em percentagem das amostras - Pedologia**

|   | Latossolo Amarelo | Latossolo Vermelho | Argissolo Amarelo | Argissolo Vermelho-Amarelo |
|---|-------------------|--------------------|-------------------|----------------------------|
| 1 |                   |                    |                   | 100                        |
| 2 |                   |                    |                   | 100                        |
| 3 |                   |                    |                   | 100                        |
| 4 |                   |                    | 100               |                            |
| 5 | 11                |                    | 89                |                            |
| 6 |                   |                    | 100               |                            |
| 7 |                   | 100                |                   |                            |

Fonte: Autor (2019).

Estes valores comprovam que o Argissolo Vermelho-Amarelo apresenta maior importância dentre as classes de solos para o cultivo de eucalipto, com 3 ocorrências de 100%, seguido da classe Argissolo Amarelo, com 3 ocorrências entre 100% e 89%. As outras classes ocorrem em apenas uma amostra cada, representando uma relevância intermediária.

#### 6.1.1.2 Grupamento textural

A assinatura realizada por amostras aponta a dominância de três grupos texturais no cultivo de eucalipto, cada grupo com um grau de potencialidade. Essas amostras confirmaram a alta importância da textura Média/Argilosa para o objeto de estudo, com ocorrência em 4 amostras, entre 100% e 89%.

A textura arenosa/média e argilosa segue com contribuição relevante, com ocorrência em 2 amostras de 100%, ambas. Enquanto que a textura Argilosa, apesar de também ocorrer em 2 amostras, apresenta maior variação de percentagem, entre 100% e 11%. Sendo assim sua relevância diminui em relação às classes anteriores, mas se sobressai em relação às demais que não obtiveram ocorrência (Quadro 7).

**Quadro 7 - Resultados em percentagem das amostras – Grupamento Textural**

|   | Média/argilosa | Arenosa/média e argilosa | Argilosa |
|---|----------------|--------------------------|----------|
| 1 | 100            |                          |          |
| 2 | 100            |                          |          |
| 3 | 100            |                          |          |
| 4 |                | 100                      |          |
| 5 | 89             |                          | 11       |
| 6 |                | 100                      |          |
| 7 |                |                          | 100      |

Fonte: Autor (2019).

#### 6.1.1.3 Altitude

Com o intuito de medir o grau de importância de cada classe do parâmetro Altitude por amostras assinadas, as cotas altimétricas variaram entre 0-160 m e 200-280m. Essa variação indica a presença do cultivo de eucalipto por faixas de altitudes baixas, atingindo a altitude máxima de 280 m, na área estudada (Quadro 8).

A maior ocorrência apresentou-se na classe de intervalo entre 40-80 m, com variação percentual de área plantada entre 100% e 55%. Seguida das classes de 0-40 m, 80-120 m e 200-240 m, que apresentaram ocorrência em 3, 3 e 2 amostras, respectivamente, o que aponta uma relevância satisfatória para a silvicultura de eucalipto.

**Quadro 8 – Resultados em percentagem das amostras – Altitude**

|   | 0-40 | 40-80 | 80-120 | 120-160 | 160-200 | 200-240 | 240-280 |
|---|------|-------|--------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | 29   | 71    |        |         |         |         |         |
| 2 | 47   | 42    | 11     |         |         |         |         |
| 3 |      |       |        |         |         | 91      | 9       |
| 4 | 45   | 55    |        |         |         |         |         |
| 5 |      | 100   |        |         |         |         |         |
| 6 |      |       | 80     | 20      |         |         |         |
| 7 |      |       |        |         |         | 25      | 75      |

Fonte: Autor (2019).

#### 6.1.1.4 Declividade

De acordo com a análise realizada nas 7 assinaturas, o cultivo de eucalipto avança sobre relevos planos a escarpados, de forma fragmentada e heterogênea em praticamente todas as classes de declividades, com exceção do intervalo acima de 75%, que não apresentou nenhuma área amostrada.

Conforme o Quadro 9, o eucalipto manifesta-se sobre as mais diversas declividades, sendo assim, para a melhor interpretação dos valores encontrados foram extraídas as médias dos valores por tipo de declividade.

**Quadro 9 - Resultados em percentagem das amostras – Declividade**

|           | <b>Plano<br/>(0-8)</b> | <b>Suave<br/>Ondulado<br/>(8-15)</b> | <b>Moderadamente<br/>Ondulado<br/>(15-27)</b> | <b>Ondulado<br/>(27-35)</b> | <b>Montanhoso<br/>(35-45)</b> | <b>Escarpado<br/>(45-75)</b> |
|-----------|------------------------|--------------------------------------|---|-----------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| <b>1</b>  | 17                     | 6                                    | 25  | 21                          | 19                            | 12                           |
| <b>2</b>  | 25                     | 10                                   | 21  | 16                          | 12                            | 15                           |
| <b>3</b>  | 32                     | 55                                   | 14  |                             |                               |                              |
| <b>4</b>  | 22                     | 19                                   | 25  | 19                          | 11                            | 3                            |
| <b>5</b>  | 44                     | 33                                   | 11  | 11                          |                               |                              |
| <b>6</b>  |                        |                                      | 38  | 25                          | 25                            | 13                           |
| <b>7</b>  | 25                     | 25                                   | 38  | 13                          |                               |                              |
| <b>M*</b> | <b>24</b>              | <b>21</b>                            | <b>24</b>                                     | <b>15</b>                   | <b>10</b>                     | <b>6</b>                     |

\*Média

Fonte: Autor (2019).

Esses valores confirmam as relevâncias obtidas na tabela 6, indicando a maior participação da classe Moderadamente Ondulado, que apesar de obter média igual à classe Plano, obteve frequência em todas as áreas amostradas.

As classes Plano e Suave Ondulado mostraram uma relevância intermediária para a silvicultura de eucalipto.

## 6.2 Integração dos dados para o potencial de cultivo de eucalipto

Esta etapa do estudo refere-se à conjugação direta e influência mútua das variáveis ambientais na construção do potencial de cultivo de eucalipto, onde mede o grau de potencialidade determinada pela integração de cada variável.

Para tanto, foram combinadas as variáveis Pedologia, Grupamento Textural, Altitude, Declividade e Uso do Solo e Cobertura Vegetal, as quais receberam pesos e nota com base

nas assinaturas ambientais, na área total de eucalipto e nas 7 áreas amostradas, conforme indica também a literatura (Quadro 10).

**Quadro 10 - Atribuição sintetizada de pesos e notas das variáveis e suas respectivas classes**

(continua)

| Variáveis                       | Pesos     | Classes   | Notas     |
|---------------------------------|-----------|---|-----------|
| Uso do solo e cobertura vegetal | 0,2       | Áreas urbanizadas                                 | 0         |
|                                 |           | Povoados  | 0         |
|                                 |           | Complexos (industriais e não ind.)                | 0         |
|                                 |           | Minerais não metálicos                            | 1         |
|                                 |           | Cana-de-açúcar                                    | 10        |
|                                 |           | Policultura                                       | 5         |
|                                 |           | Pastagem  | 6         |
|                                 |           | Eucalipto   | BLOQUEADA |
|                                 |           | Coco-da-baía                                      | 4         |
|                                 |           | Policultura e Povoados                            | 2         |
|                                 |           | Campo rupestre                                    | 0         |
|                                 |           | Floresta estacional semidecidual secundária       | 0         |
|                                 |           | Floresta estacional semidecidual descaracterizada | 0         |
|                                 |           | Floresta ombrófila secundária                     | 0         |
|                                 |           | Floresta ombrófila secundária descaracterizada    | 0         |
|                                 |           | Formações Pioneiras                               | 0         |
|                                 |           | Vegetação não identificada                        | 0         |
|                                 |           | Corpos d'água                                     | BLOQUEADA |
|                                 |           | Afloramento rochoso                               | BLOQUEADA |
|                                 |           | Banco de areia                                    | BLOQUEADA |
| Praia                           | BLOQUEADA |   |           |
| Solo exposto                    | 6         |   |           |
| Solo desnudo                    | 1         |   |           |
| Altimetria                      | 0,1       | 0-40  | 9         |
|                                 |           | 40-80   | 10        |
|                                 |           | 80-120  | 8         |
|                                 |           | 120-160   | 7         |
|                                 |           | 160-200   | 7         |
|                                 |           | 200-240   | 10        |
|                                 |           | 240-280   | 8         |
|                                 |           | 280-320   | 7         |
|                                 |           | 320-360   | 6         |
|                                 |           | 360-400   | 4         |
|                                 |           | 400-440   | 3         |
|                                 |           | 440-480   | 2         |
|                                 |           | 480-520   | 1         |
|                                 |           | 520-560   | 1         |
|                                 |           | >560  | 1         |

**Quadro 11 – Atribuição sintetizada de pesos e notas das variáveis e suas respectivas classes**

(continuação)

|                              |      |                                       |    |
|------------------------------|------|---------------------------------------|----|
| <b>Declividade</b>           | 0,25 | Plano (0-8)                           | 8  |
|                              |      | Suave Ondulado (8-15)                 | 7  |
|                              |      | Moderadamente Ondulado (15-27)        | 10 |
|                              |      | Ondulado (27-35)                      | 7  |
|                              |      | Forte Ondulado (35-45)                | 2  |
|                              |      | Montanhoso (45-75)                    | 1  |
|                              |      | Escarpado (>75)                       | 0  |
| <b>Unidades Pedológicas</b>  | 0,3  | Argissolo Acinzentado                 | 5  |
|                              |      | Argissolo Amarelo                     | 10 |
|                              |      | Argissolo Vermelho-Amarelo            | 10 |
|                              |      | Cambissolo Háptico                    | 7  |
|                              |      | Espodossolo Ferrihumilúvico           | 3  |
|                              |      | Espodossolo Humilúvico                | 3  |
|                              |      | Gleissolo Háptico                     | 1  |
|                              |      | Argissolo Amarelo e Vermelho-Amarelo* | 10 |
|                              |      | Gleissolo Háptico e Melânico*         | 1  |
|                              |      | Latossolo Amarelo                     | 8  |
|                              |      | Latossolo Vermelho                    | 8  |
|                              |      | Neossolo Litólico                     | 3  |
|                              |      | Neossolo Quartzarênico                | 1  |
|                              |      | Planossolo Háptico                    | 4  |
|                              |      | Solos Indiscriminados de Mangue       | 0  |
| <b>Grupamento Textural**</b> | 0,15 | Arenosa                               | 1  |
|                              |      | Arenosa e média/média e argilosa      | 7  |
|                              |      | Arenosa/argilosa                      | 4  |
|                              |      | Arenosa/argilosa a muito argilosa     | 4  |
|                              |      | Arenosa/média                         | 6  |
|                              |      | Arenosa/média e argilosa              | 6  |
|                              |      | Argilosa                              | 7  |
|                              |      | Argilosa/muito argilosa e média       | 7  |
|                              |      | Média                                 | 10 |
|                              |      | Média a argilosa                      | 9  |
|                              |      | Média e arenosa                       | 6  |
|                              |      | Média/argilosa                        | 9  |
|                              |      | Média/argilosa a muito argilosa       | 7  |
|                              |      | Média/argilosa e argilosa             | 9  |

\* grupo indiferenciado.

Fonte: Autor (2019).

O quadro completo da distribuição das notas através do embasamento teórico e das ocorrências ou não nas áreas plantadas e amostradas encontra-se no Apêndice A, assim como detalhados nos tópicos seguintes.

### 6.2.1 Participação da variável uso do solo do solo e cobertura vegetal

A variável de Uso do Solo e Cobertura Vegetal recebeu peso de 0,20, o que equivale a 20% de responsabilidade na construção do potencial de cultivo de eucalipto, visto que as suas classes indicam qual o uso atual e qual a possibilidade dele se tornar uma silvicultura.

As notas foram atribuídas de acordo com o grau de possibilidade das classes para o cultivo de eucalipto, no que diz respeito à capacidade de modificação de um uso por outro.

A classe cana-de-açúcar recebeu nota 10, na análise de potencial, baseada na estimativa de redução dos danos ambientais como apontam Vital (2007), Lourenzani e Caldas (2014) e Moledo et al. (2016).

A pastagem e o solo exposto somente receberam notas inferiores, 6, em relação a cana-de-açúcar, por efeito da compactação do solo que reduz o espaço poroso, a infiltração da água e a retirada da cobertura vegetal, que enfraquece e desgasta o solo. Estes fatores interferiram negativamente na produtividade de plantações florestais (DIAS JÚNIOR, 1999; CAVICHIOLO et al., 2005; REICHERT et al., 2007 e 2009).

As áreas antrópicas não agrícolas, receberam nota nula à baixíssima (0 e 1), na medida que não reside a possibilidade do cultivo do eucalipto substituir áreas urbanizadas ou povoados. As classes de vegetação natural seguiram o mesmo padrão, empregadas a nota 0, dado que a proposta desde estudo é causar o menor impacto possível ao meio ambiente.

Neste sentido, como a policultura e o coco-da-baía são usos antrópicos agrícolas que não provocam amplo impacto ao ecossistema, estas classes receberam notas 5 e 4, respectivamente.

Destaca-se que algumas classes foram bloqueadas da integração por não se enquadrarem no potencial, como as classes corpos d'água e afloramentos rochosos, que não são áreas sujeitas ao cultivo, e a classe eucalipto por já ser objeto deste estudo.

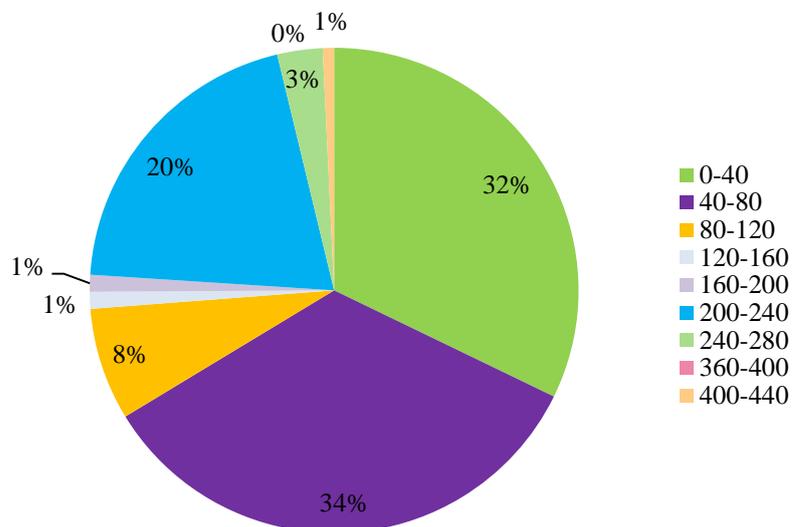
### 6.2.2 Participação da variável altimetria

A altimetria obteve peso de 0,1, o que correspondeu a 10% de atuação no cálculo de potencial, conforme caracteriza Virtuoso et al. (2015) ao ponderar essa variável com menor grau de contribuição para o cultivo de eucalipto, atribuindo a mesma porcentagem de participação.

A planimetria das áreas plantadas e das áreas amostrais de eucalipto contribuiu com suporte na atribuição de notas e foi sintetizada no Gráfico 2, no qual representa a relação entre

as altitudes e o cultivo de eucalipto, onde cotas entre 0-80 m e 200-240 m concentraram maiores áreas plantadas.

**Gráfico 2 - Distribuição percentual nas áreas plantadas de eucalipto - Altitude**



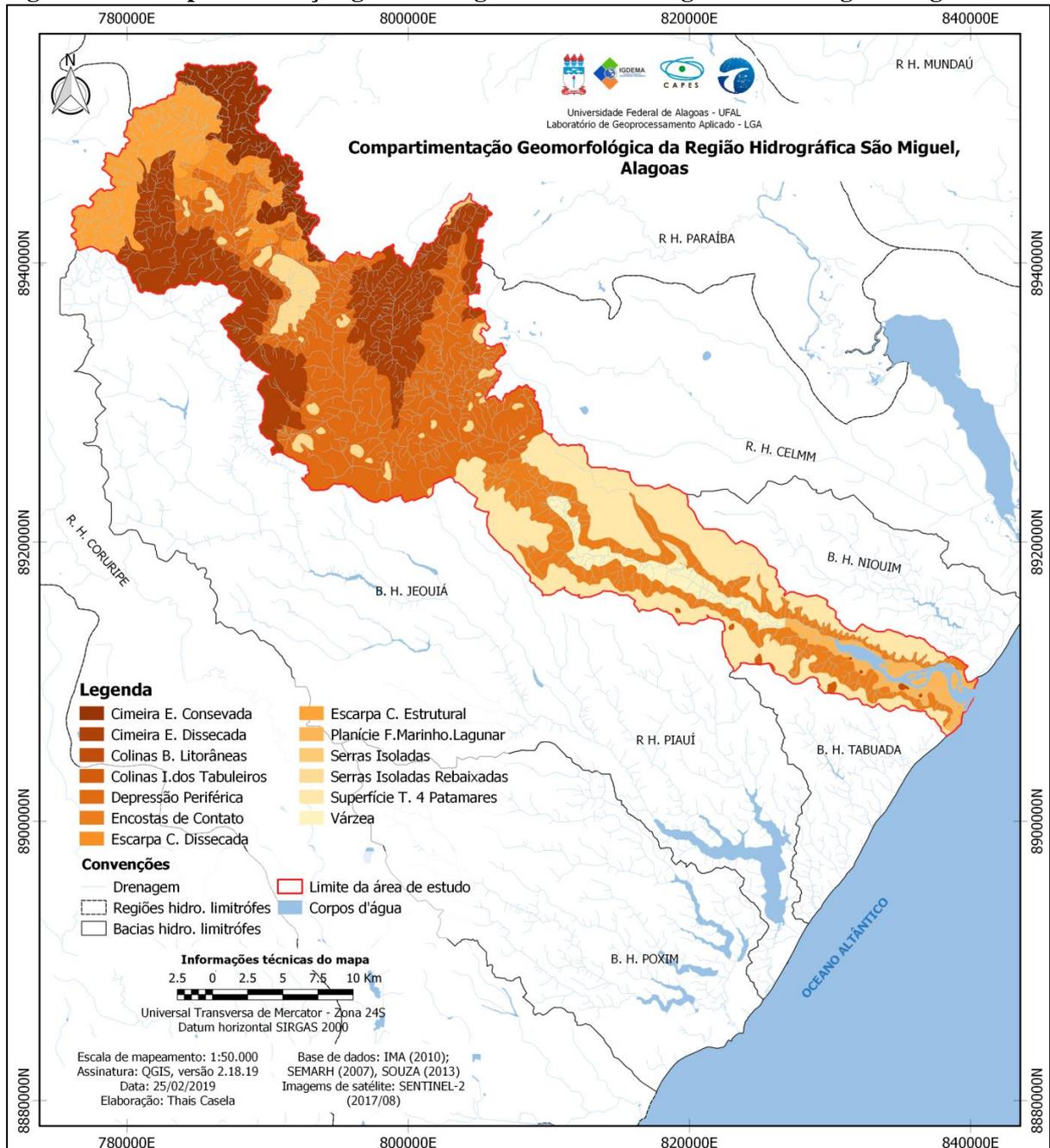
Fonte: Autor (2019).

Por ser uma condicionante geomorfométrica, destaca-se também o uso do mapa de compartimentação geomorfológica realizado por Souza (2013), da bacia hidrográfica São Miguel, para compor a distribuição de notas e a análise de potencialidade da variável altitude, visto que agrega informações relevantes às variações altimétricas, como aponta Teske e Giasson (2012) (Figura 21).

Enquanto que as cotas mais altas, acima 440 m, apresentam plantação quase nula de eucalipto, o que corrobora com alguns autores que apontam algumas espécies de eucalipto com baixa produtividade acima de 300 m e os sítios mais produtivos ocuparam áreas de menor altitude. Além das partes altas serem de difícil mecanização, mais sujeitas à erosão e perda de solo (BOLAND et al. 1984; CARMO et al., 1990; BRAGA et al., 1999; FARDIN, 2015; VIRTUOSO et al. 2015; MOLEDO et al. 2016).

Em comparação as áreas com cotas elevadas e o levantamento de Souza (2013), observou-se essas áreas são compostas por cimeiras escarpadas dissecadas ou conservadas e a escarpas cristalinas e estruturais, correspondentes a Encostas Orientais do Planalto da Borborema, características que tornam essas áreas impróprias para agricultura, devido à alta predisposição à erosão e solos (PASSO et al., 2010).

Figura 21 – Compartimentação geomorfológica da bacia hidrográfica São Miguel Alagoas



Fonte: Souza (2013), com limites atualizados pelo Autor (2019).

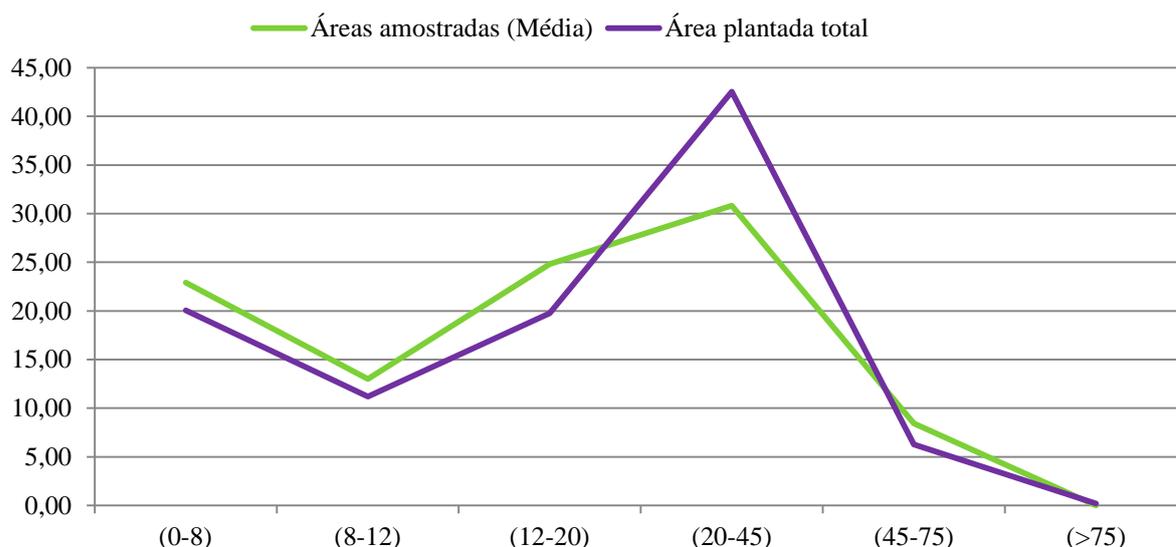
### 6.2.3 Participação da variável declividade

A declividade regula os movimentos da água ao longo da vertente, o que influencia na perda de nutrientes de material particulado por lixiviação, reduzindo a necessidade de adubação frequente e minimizando o assoreamento dos cursos d'água (MOLEDO, 2016; FLORES, 2009).

Esses fatores evidenciam a participação significativa do relevo para o potencial de cultivo de eucalipto, com peso 0,25, o que corresponde a 25% do total da análise. O que corrobora com Virtuoso et al. (2015), que considera essa variável como a segunda maior em grau de importância para a definição do fenômeno estudado, e com Fardin (2015), que avalia a declividade com alta importância para o eucalipto.

As notas foram atribuídas de acordo com as planimetrias realizadas na área total de eucalipto e nas áreas amostradas (Gráfico 3). Estas assinaturas validaram o relevo Moderadamente Ondulado com expressiva representatividade na área de estudo, com 67,54 km<sup>2</sup> e média 24% nas análises realizadas nas áreas plantadas e nas áreas amostrais de eucalipto, respectivamente. Sendo assim, a nota atribuída a essa classe foi 10.

**Gráfico 3 - Distribuição percentual nas áreas plantadas e amostrais de cultivo de eucalipto - Declividade**



Fonte: Autor (2019).

O relevo plano obteve nota 8, que apesar de apresentar área média de 24% nas áreas amostradas, não teve ocorrência em todas as amostras, logo, a sua nota foi diminuída, se comparada ao relevo Moderadamente Ondulado, contudo ainda representa a segunda maior relevância para o cultivo de eucalipto.

As classes de relevo Suave Ondulado e Ondulado foram atribuídas notas 7 e 6, respectivamente, visto que declividades de até 15% têm uma menor perda de nutrientes e que operações do processo de silvicultura do eucalipto está limitado a 35%, logo as classes acima de 35% apresentaram notas baixas, entre 0 e 2 (LIMA, 1996; MOLEDO, 2016).

#### 6.2.4 Participação da variável unidades pedológicas

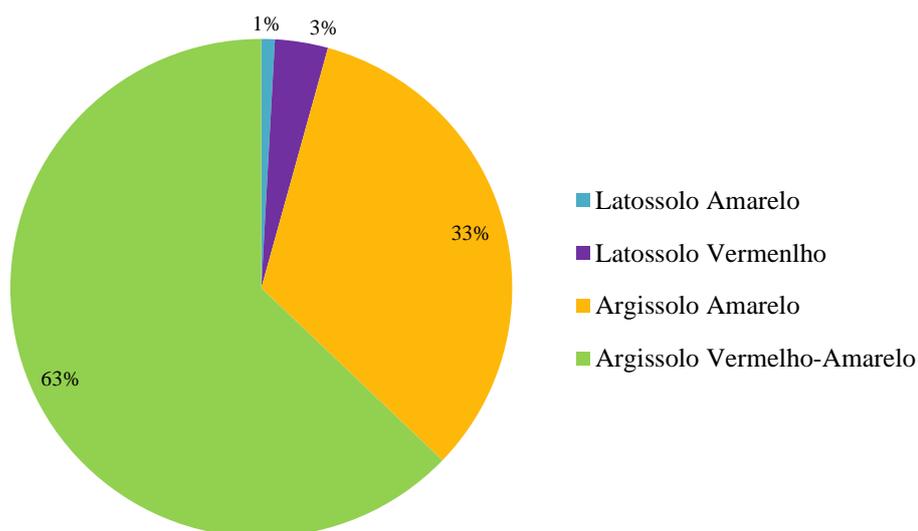
Esta variável recebeu peso 0,3, o que corresponde a 30% de relevância para o cultivo de eucalipto, em razão de ser um fator que influencia diretamente no crescimento das plantas, fornecendo suporte físico, nutrientes e umidade.

As notas foram equiparadas com a planimetria realizada nas áreas plantadas de eucalipto (Gráfico 4), ao qual apontou que os solos Argissolo Amarelo e Argissolo Vermelho-Amarelo somados representaram 96% das áreas cultivadas com eucalipto, devido a isso receberam nota muito alta (10), os Latossolos (Amarelo e Vermelho) foram menos expressivos e receberam nota 8. Estes são solos com boas condições físicas de retenção de umidade e boa permeabilidade.

O Planossolo Háplico recebeu nota baixa (4) por apresentar drenagem imperfeita, limitando em muito o crescimento do sistema radicular de plantas mais sensíveis como o eucalipto (EMBRAPA, 2000).

Segundo Flores (2009) e Castro (2006) os solos do tipo Neossolo Quatzarênico, Gleissolo e Solo Indiscriminado de Mangue apresentam propriedades insuficientes para uma boa produtividade do eucalipto, logo foram fixadas notas de 0 a 1.

**Gráfico 4 – Distribuição percentual nas áreas plantadas de eucalipto - Pedologia**



Fonte: Autor (2019).

#### 6.2.5 Participação da variável grupamento textural

Segundo Flores et al. (2009), esta variável relacionar-se diretamente com a capacidade de retenção de água, permeabilidade, capacidade de retenção de cátions, arabilidade e suscetibilidade do solo à erosão. Por ser uma extensão da variável pedologia e pelos fatores supracitados, esse parâmetro recebeu peso de 15% , ou 0,15, como

Como o grupo textural constitui um compartimento de um ou mais tipos de texturas do solo, foram atribuídas notas isoladas, de acordo com a relevância para o potencial e posteriormente as médias encontradas de cada classe representaram as notas do cálculo final (Quadro 11).

A atribuição de notas seguiu uma distribuição normal, onde as menores notas foram propostas aos solos arenosos ou muitos argilosos, e as maiores notas com os solos de textura média.

Santana (1994) argumenta que o crescimento das plantas foi restringido em solos arenosos, sendo assim esta classe de textura recebeu a menor nota (1).

Flores (2009) corrobora e completa ao afirmar que os solos preferenciais para cultivo de eucalipto apresentam textura média e que solos de textura argilosa apresentam potencial intermediário, por isso foram atribuídas notas 10 e 7, respectivamente.

**Quadro 12 - Atribuição de notas isoladas das classes do grupo textural**

| CLASSES                           | NOTA 1 | NOTA 2 | NOTA 3 | NOTA 4 | MÉDIA |
|-----------------------------------|--------|--------|--------|--------|-------|
| Arenosa                           | 1      | -      | -      | -      | 1     |
| Arenosa e média/média e argilosa  | 1      | 10     | 10     | 7      | 7     |
| Arenosa/argilosa                  | 1      | 7      | -      | -      | 4     |
| Arenosa/argilosa a muito argilosa | 1      | 7      | 5      | -      | 4     |
| Arenosa/média                     | 1      | 10     | -      | -      | 6     |
| Arenosa/média e argilosa          | 1      | 10     | 7      | -      | 6     |
| Argilosa                          | 7      | -      | -      | -      | 7     |
| Argilosa/muito argilosa e média   | 7      | 5      | 10     | -      | 7     |
| Média                             | 10     | -      | -      | -      | 10    |
| Média a argilosa                  | 10     | 7      | -      | -      | 9     |
| Média e arenosa                   | 10     | 1      | -      | -      | 6     |
| Média/argilosa                    | 10     | 7      | -      | -      | 9     |
| Média/argilosa a muito argilosa   | 10     | 5      | 5      | -      | 7     |
| Média/argilosa e argilosa         | 10     | 7      | 7      | -      | 8     |

- a classe não apresentou 2 ou mais tipos de texturas para a aplicação da nota.

Fonte: Autor (2019).

## 7 POTENCIAL DE CULTIVO DE EUCALIPTO

O processo de análise das áreas potenciais de cultivo de eucalipto, através da média ponderada, resultou em notas entre 1 e 10. Estas foram ordenadas de modo crescente e agrupadas em 5 níveis de potencial, nos quais apontam as áreas com maior e menor grau de potencialidade para o cultivo de eucalipto.

Como os valores resultantes do processo foram extraídos em decimais e as notas são valores inteiros, estes foram arredondados, de forma que a representação dos resultados fosse expressa com maior veracidade e os valores pudessem ser agrupados com facilidade.

Por essa razão, as notas resultantes da análise foram transpostas de valores quantitativos para qualitativos a partir do agrupamento de categorias análogas, seguindo o método hierárquico.

Sendo assim, as notas compreendidas entre 1 e 2 foram aglutinadas em uma única classe e renomeadas como Baixíssimo. Seguindo esse mesmo princípio, as demais notas foram unidas em grupos de 2 em 2, conforme o quadro a seguir.

Esse método só não foi aplicado às categorias bloqueadas no cálculo de potencialidade, mantendo assim a sua categoria original.

**Quadro 13 – Ajuste das classes, de escala ordinal para nominal, do cartograma de potencial para cultivo de eucalipto**

| Notas | Classes agrupadas     |
|-------|-----------------------|
| 1-2   | Baixíssimo            |
| 3-4   | Baixo                 |
| 5-6   | Médio                 |
| 7-8   | Alto                  |
| 9-10  | Altíssimo             |
| -     | Categorias bloqueadas |

Fonte: Autor (2019).

Cabe ressaltar que o potencial de cultivo de eucalipto foi compartimentado em 3 segmentos, de acordo com as situações e fenômenos ambientais relevantes para a reprodução de uma visão global da abrangência de cada potencialidade e limitação para o plantio do eucalipto. São elas: potencial de cultivo de eucalipto sem restrições legais; potencial de cultivo de eucalipto com restrições legais; e potencial de cultivo de eucalipto sem restrição hídrica.

Cada potencial definido foi detalhado nos tópicos seguintes.

## 7.1 Potencial de cultivo de eucalipto sem restrições legais

O potencial de cultivo de eucalipto sem restrições legais considera apenas as condições ambientais para a sua definição, sendo desconsideradas as limitações e restrições, de forma a destacar somente as potencialidades existentes na região em questão.

As mensurações realizadas sobre o mapa de potencialidade apontaram que 55,66%, ou seja, 1.260,80 km<sup>2</sup> da área avaliada, pertence à classe Alto, caracterizando-se como a maior ocorrência territorial dentre as categorias listadas.

A segunda categoria com maior expressão territorial foi à classe Altíssimo, correspondendo a uma área de 746,54 km<sup>2</sup>, o que representa 32,95% da área de estudo. As demais classes tiveram representação inferior a 10%, como mostra a tabela abaixo.

**Tabela 7 – Planimetria das áreas potenciais de cultivo de eucalipto sem restrições legais**

| Classes               | Área (km <sup>2</sup> ) | Área (ha)        | Área (%)   |
|-----------------------|-------------------------|------------------|------------|
| Baixíssimo            | 0,34                    | 340              | 0,02       |
| Baixo                 | 45,87                   | 45.870           | 2,02       |
| Médio                 | 166,17                  | 166.170          | 7,34       |
| Alto                  | 1.260,80                | 1.260.800        | 55,66      |
| Altíssimo             | 746,54                  | 746.540          | 32,95      |
| Categorias Bloqueadas | 45,64                   | 45.640           | 2,01       |
| <b>Total</b>          | <b>2.265,36</b>         | <b>2.265.360</b> | <b>100</b> |

Fonte: Autor (2019).

### 7.1.1 Áreas de altíssimo potencial

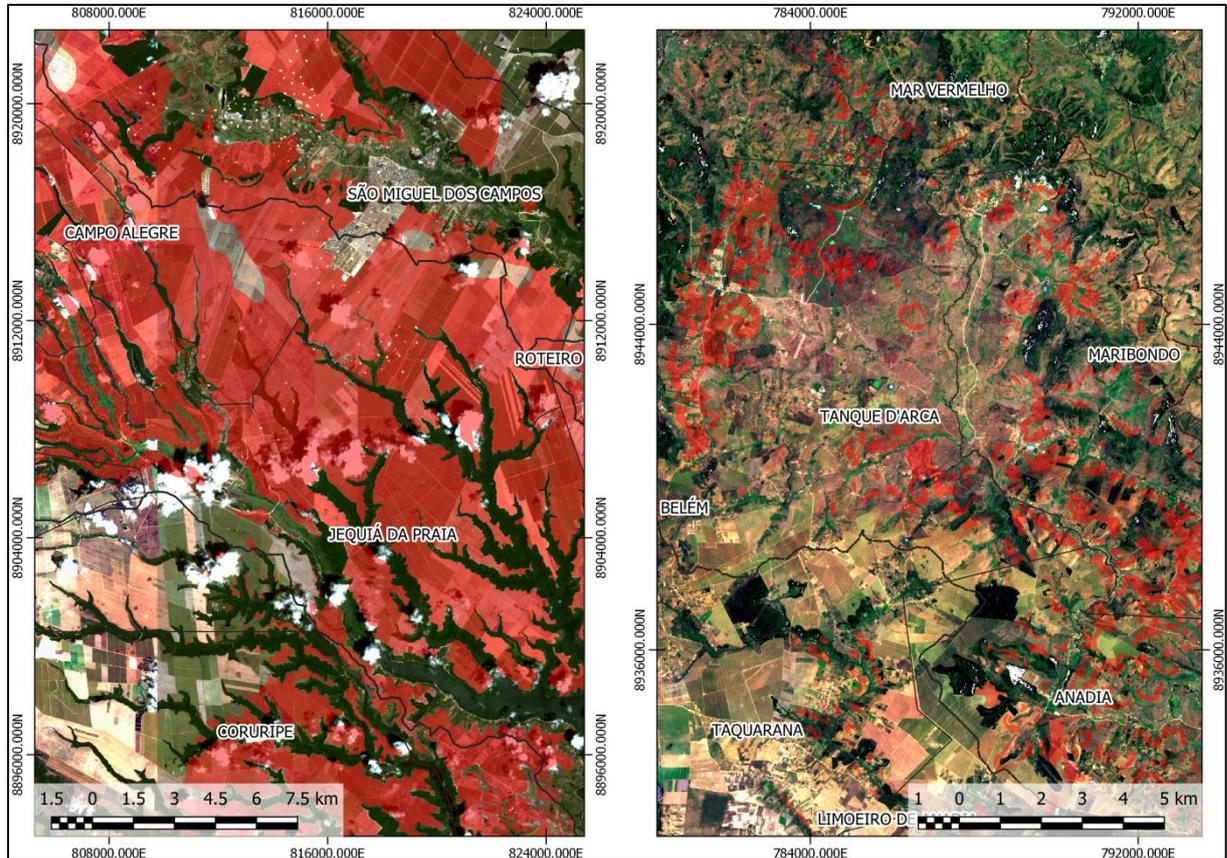
As áreas de potencial Altíssimo, indicadas neste estudo, correspondem às terras sem limitações quanto às condições ambientais, sendo as restrições insuficientes para afetar a produtividade de forma expressiva.

Posto isso, essa classe se distribui espacialmente em fragmentos ao longo da Região Hidrográfica São Miguel, totalizando uma área de 746,54 km<sup>2</sup>, concentrada em sua maioria no decorrer da bacia do rio Jequiá. A bacia do rio Poxim e Tabuada apresentam quase metade de suas áreas destinadas a esta classe, enquanto que a bacia do rio São Miguel restringe-se a segmentos menores a centro-noroeste da região estudada.

Dentre os municípios com maior participação territorial, destacaram-se Campo Alegre, São Miguel dos Campos, Jequiá da Praia, Coruripe e Roteiro, os demais municípios

apresentaram fragmentos irrisórios se comparados às áreas dos municípios supracitados (Figura 22).

**Figura 22 – Localização de segmentos de área da classe de altíssimo potencial na região de estudo**



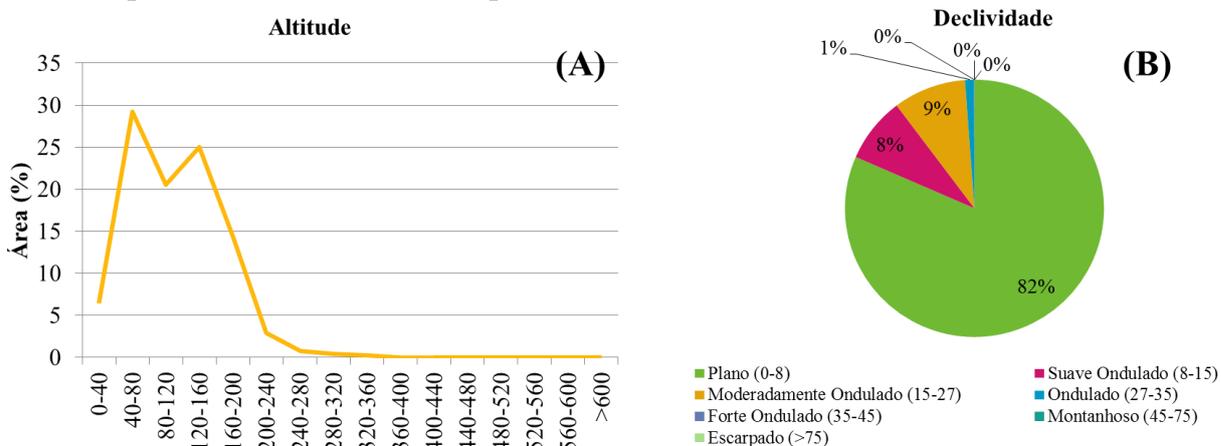
Fonte: Autor (2019).

Neste contexto, cerca de 90% dessa classe é constituída por terras dedicadas a cana-de-açúcar, sobre solos predominantemente do tipo argissolo amarelo e vermelho-amarelo, com texturas que variam de média/argilosa à arenosa/média e argilosa.

No que diz respeito à declividade, a superfície dessa classe se manifesta majoritariamente sobre terrenos planos e moderadamente ondulados, com 82% e 9% de representatividade territorial, respectivamente. Esta diferença percentual entre as duas classes ocorre por causa de o relevo plano cobrir praticamente toda a área de estudo, enquanto que o relevo moderadamente ondulado apresenta menor expressividade na área total da região hidrográfica (Figura 23B).

A altimetria apresentou participação significativa por todas as classes entre 0 e 200 metros e a presença acima de 360 metros foi nula (Figura 23A).

**Figura 23 – Participação percentual das variáveis Altitude (A) e Declividade (B) nas áreas com altíssimo potencial de cultivo de eucalipto**



Fonte: Autor (2019).

### 7.1.2 Áreas de alto potencial

A definição de áreas de potencial Alto, identificadas neste estudo, baseia-se na compreensão de que são áreas com poucas limitações ambientais, porém com redução da produtividade se comparada às áreas com as obtidas pela classe de potencial Altíssimo, sendo atrativas, mas inferiores.

Por conseguinte, essa classe apresenta parcelas que somam 1.260,80 km<sup>2</sup> de extensão territorial na área de estudo, sendo a maior concentração de área nas cabeceiras das bacias do rio Jequiá e São Miguel, à medida que recobre boa parte da bacia do rio Niquim.

Os municípios abrangidos pelas maiores áreas contínuas dessa classe localizam-se na porção centro-noroeste da região estudada, Anadia, Belém, Boca da Mata, Limoeiro de Anadia, Mar Vermelho, Maribondo, Taquarana e Taque D'arca; e nos municípios litorâneos de Marechal Deodoro e Barra de São Miguel.

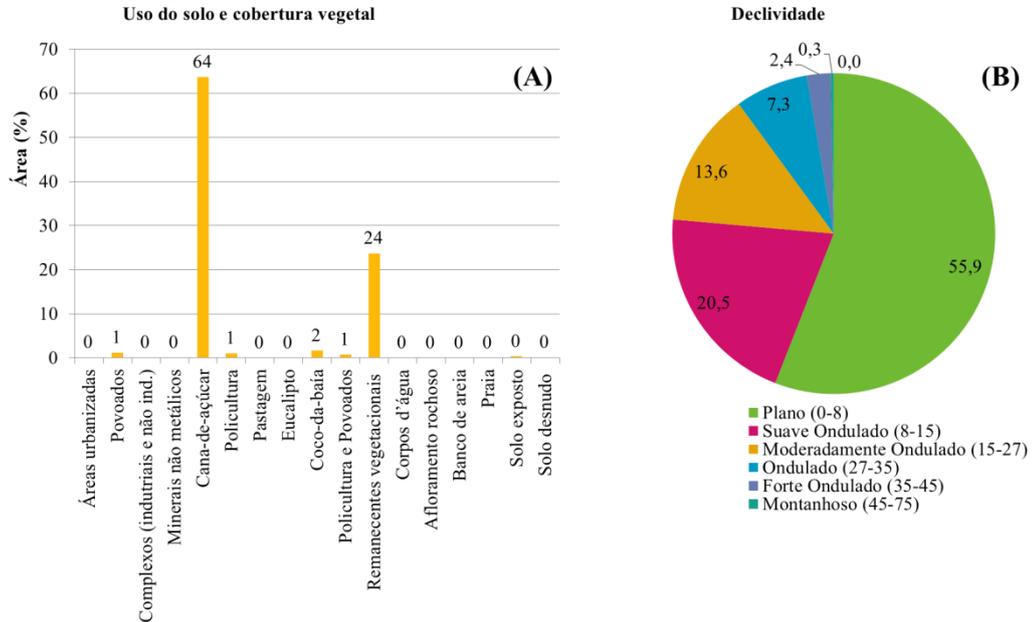
Constata-se que esta classe se pronuncia principalmente pela agricultura da cana-de-açúcar e por remanescentes vegetacionais, em especial a floresta estacional semidecidual descaracterizada. A contribuição destes usos são 64% e 24%, respectivamente (Figura 24B).

Quanto aos tipos de solos presentes nessa classe, destacam-se os argissolos amarelo e vermelho-amarelo e o latossolo amarelo com participações equivalentes, sobre terrenos com texturas que variam entre média/argilosa, argilosa e arenosa/argilosa a muito argilosa.

O relevo plano foi predominante nessa classe, correspondendo a 56% da área de alto potencial, juntamente com o relevo suave ondulado e moderadamente ondulado, cobrindo

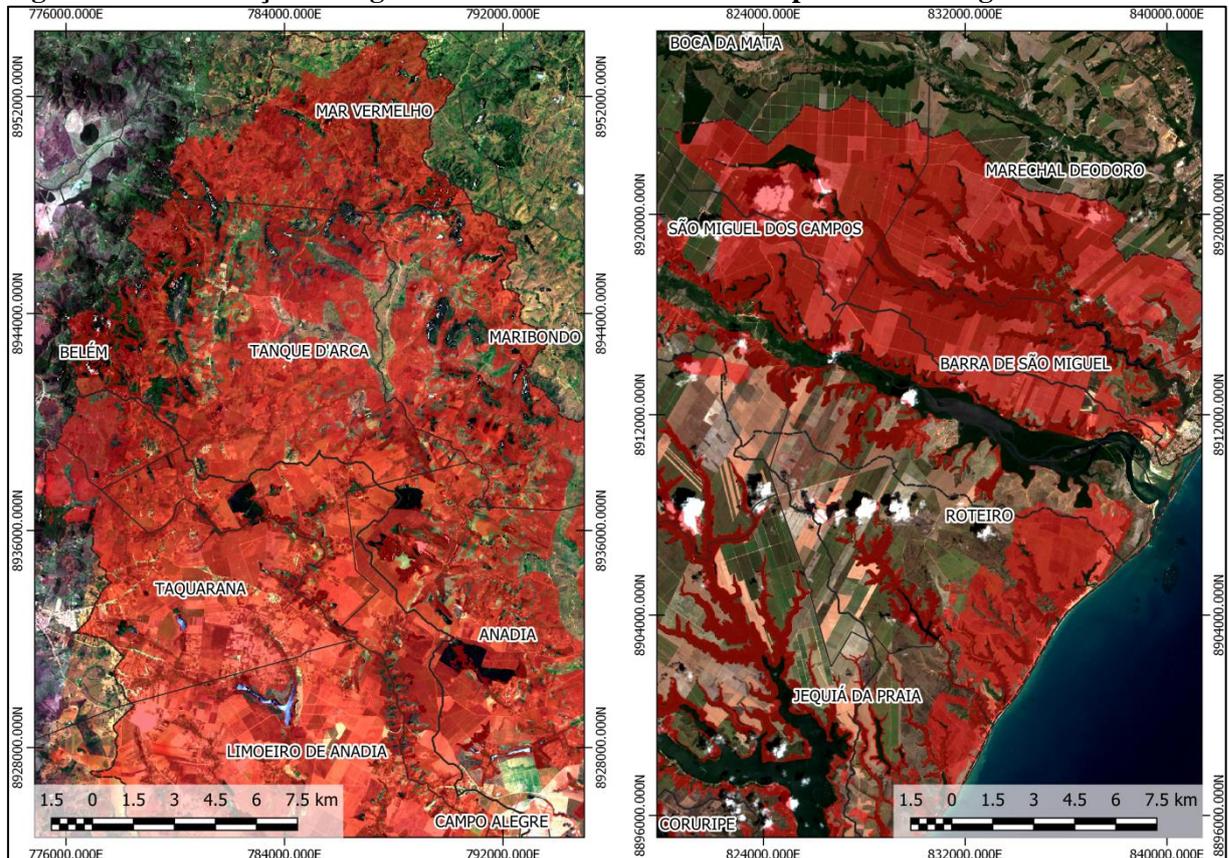
21% e 14% das áreas com alto potencial, sobre terrenos entre 0 e 280 metros de altitude (Figura 24B).

**Figura 24 - Participação percentual das variáveis de Uso do solo (A) e de Declividade (B) nas áreas com altíssimo potencial de cultivo de eucalipto**



Fonte: Autor (2019).

**Figura 25 - Localização de segmentos de área da classe de alto potencial na região de estudo**



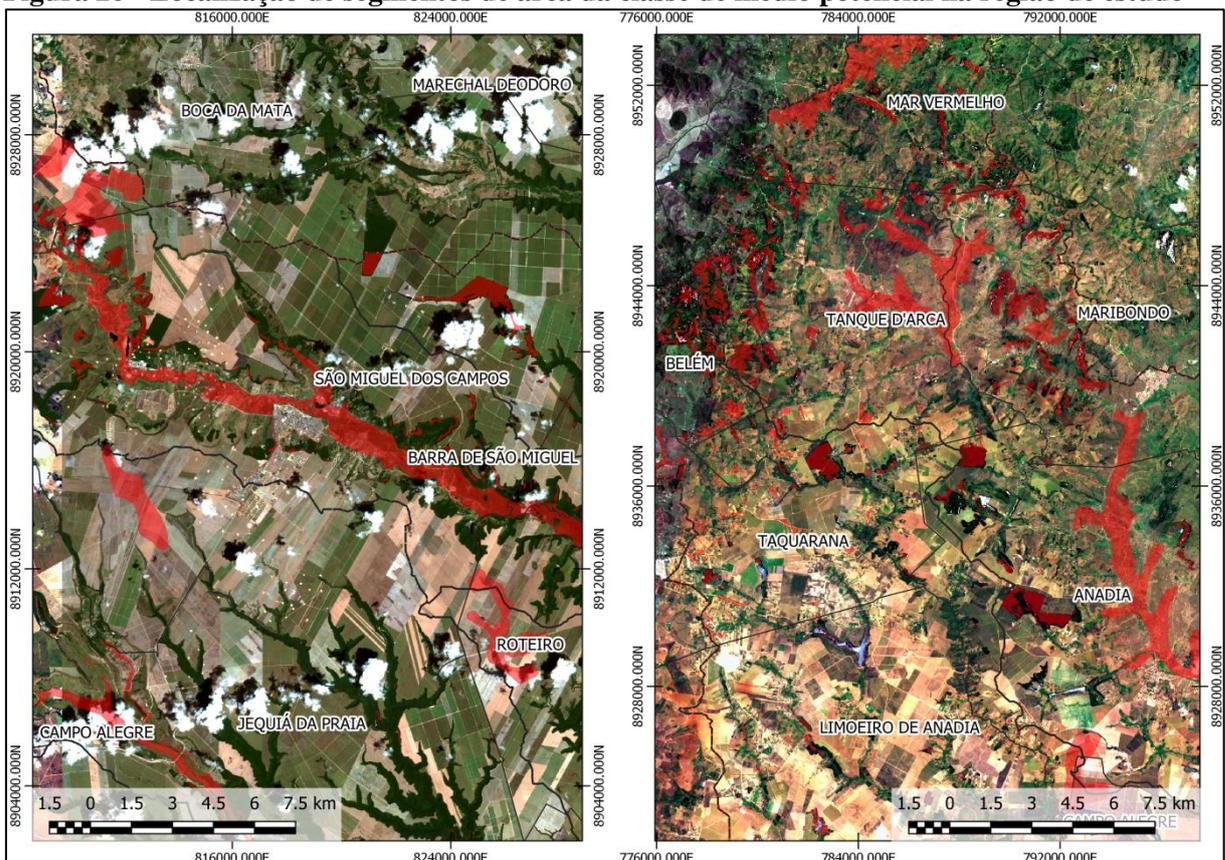
Fonte: Autor (2019).

### 7.1.3 Áreas de potencial Médio

As áreas de potencial Médio, identificadas neste estudo, são consideradas áreas toleráveis com limitações intermediárias, redução da produtividade e o aumento da necessidade de insumo, diante disso, sua potencialidade é afetada.

Posto isso, a potencialidade dessa classe dispõe-se em áreas muito fragmentadas ao longo da região estudada, totalizando 166,17 km<sup>2</sup>, sendo a bacia do rio São Miguel com maior concentração territorial. Quanto aos municípios, a mensuração da sua participação é afetada pela dispersão dos segmentos de forma heterogênea, entretanto, resalta-se fragmentos distribuídos pelo município de São Miguel dos Campos e pelos municípios da parte superior da região hidrográfica, como Maribondo, Mar vermelho e Tanque D'Arca, conforme a figura abaixo.

**Figura 26 - Localização de segmentos de área da classe de médio potencial na região de estudo**



Fonte: Autor (2019).

Essa classe ocorre sobre áreas cobertas por remanescentes vegetacionais, principalmente sobre a floresta estacional semidecidual secundária, e por áreas de pastagem,

neste último, ressalva-se que, por serem solos compactados e com baixa infiltração da água, as participações dessas unidades corresponderam a 48% e 33%, respectivamente.

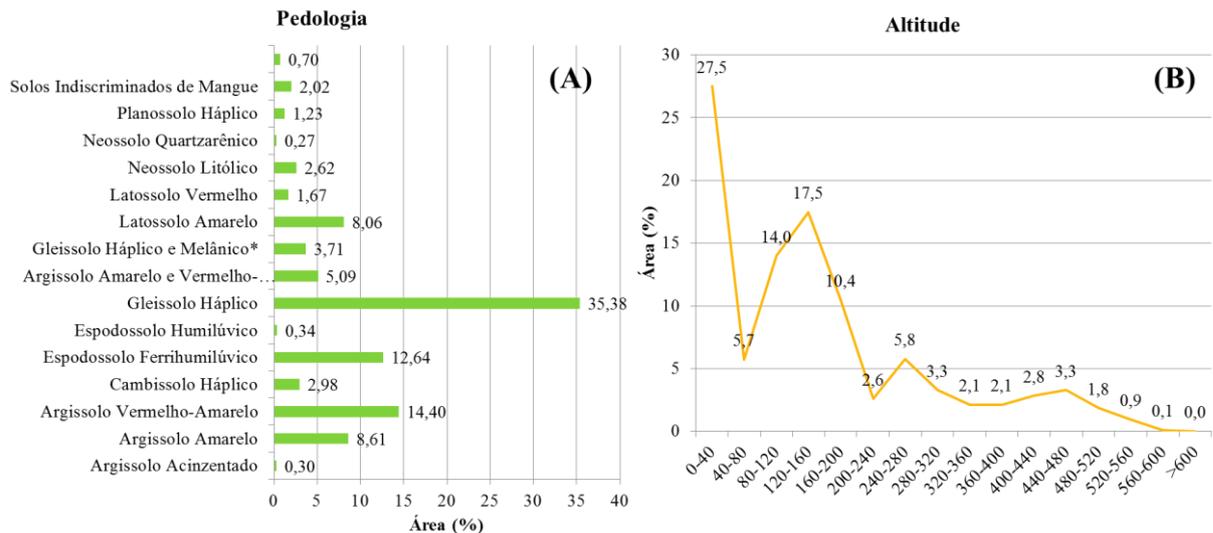
Sendo assim, o solo com maior ocorrência foi o gleissolo háplico, com 35% de participação no médio potencial, seguido pelo argissolo vermelho-amarelo e o espodossolo ferrihumilúvico, com 14% e 13%, nessa ordem (Figura 27A).

Neste contexto, esta classe apresenta unidades com bom potencial para o cultivo de eucalipto, como a predominância do relevo plano (62%) e as texturas média/argilosa (44%), média a argilosa (16%) e argilosa (16%). Entretanto, as outras unidades produziram efeito depreciativo, reduzindo a potencialidade dessa classe.

As outras classes de relevo com expressão territorial foram o suave-ondulado e forte-ondulado, respondendo a 13% e 10%.

Enquanto que as altitudes, compostas nessa classe, apresentam distribuição positiva com concentração de valores, acima de 5%, entre 0-200 metros e 240-280 metros, com maior ocorrência entre 0-40 metros, com 28% de área na classe em questão (Figura 27B).

**Figura 27 - Participação percentual das variáveis Pedologia (A) e Altitude (B) nas áreas com altíssimo potencial de cultivo de eucalipto**



Fonte: Autor (2019).

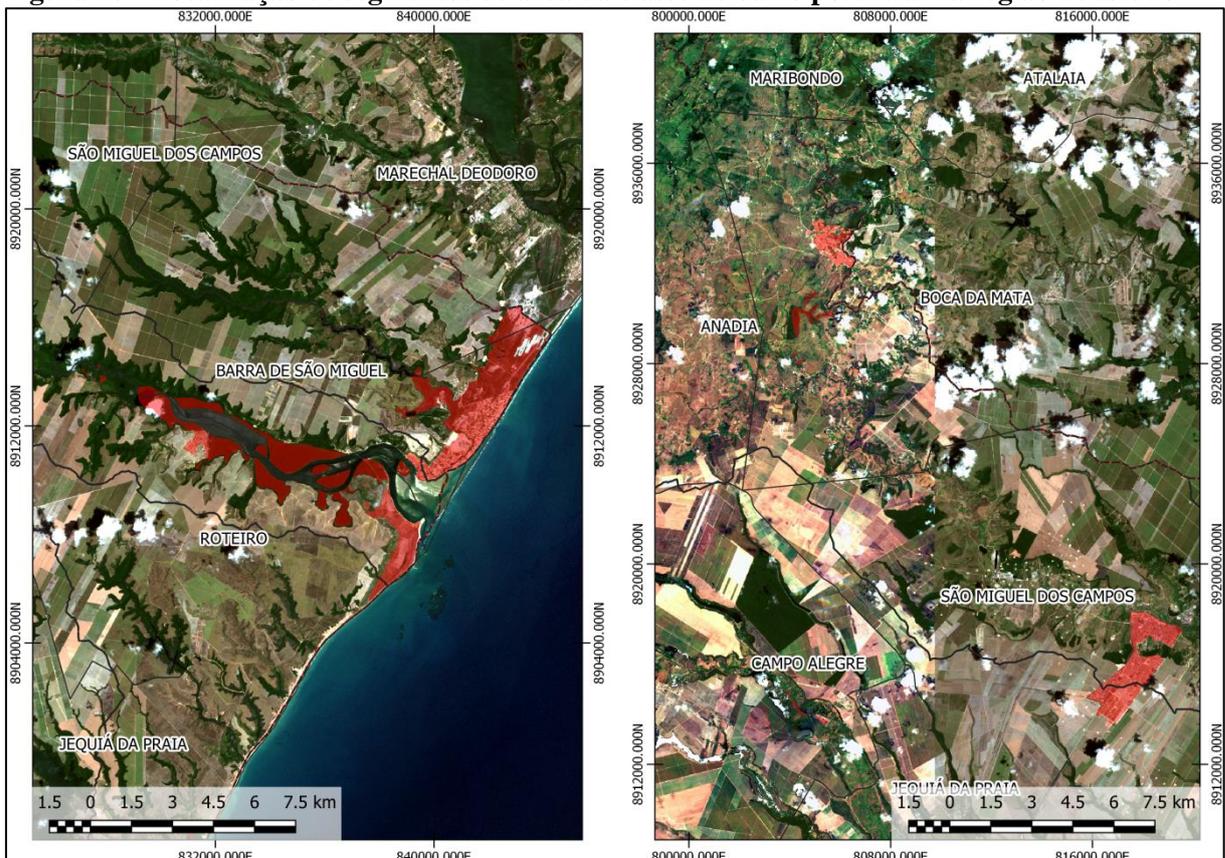
#### 7.1.4 Áreas de baixo e baixíssimo potencial

Compreendem áreas caracterizadas por limitações muito fortes, sendo áreas não recomendadas para o plantio de eucalipto, de modo que apresentaram características inaceitáveis. Essas duas classes, baixo e baixíssimo, foram agrupadas por apresentarem

propriedades similares, sendo a classe baixo potencial áreas pouco recomendadas e a classe baixíssimo áreas não recomendadas.

Diante disso, a potencialidade dessas classes dispõe-se em áreas fragmentadas de forma dispersa e heterogênea pela região de estudo, a localização dessas áreas restringiu-se à proximidade de áreas urbanas e da Laguna do Roteiro, nos municípios de Barra de São Miguel e Roteiro (Figura 28).

**Figura 28 - Localização de segmentos de área da classe de baixo potencial na região de estudo**



Fonte: Autor (2019).

Consequente, cerca de 50% e 90% dessas classes, baixo e baixíssimo, são constituídas por áreas urbanizadas (área urbana, urbano rarefeito), e aproximadamente 45% e 10% são caracterizados por solos cobertos com remanescentes vegetacionais, formação pioneira na classe de baixo potencial e floresta estacional semidecidual descaracterizada na classe de baixíssimo potencial, respectivamente (Figura 29A).

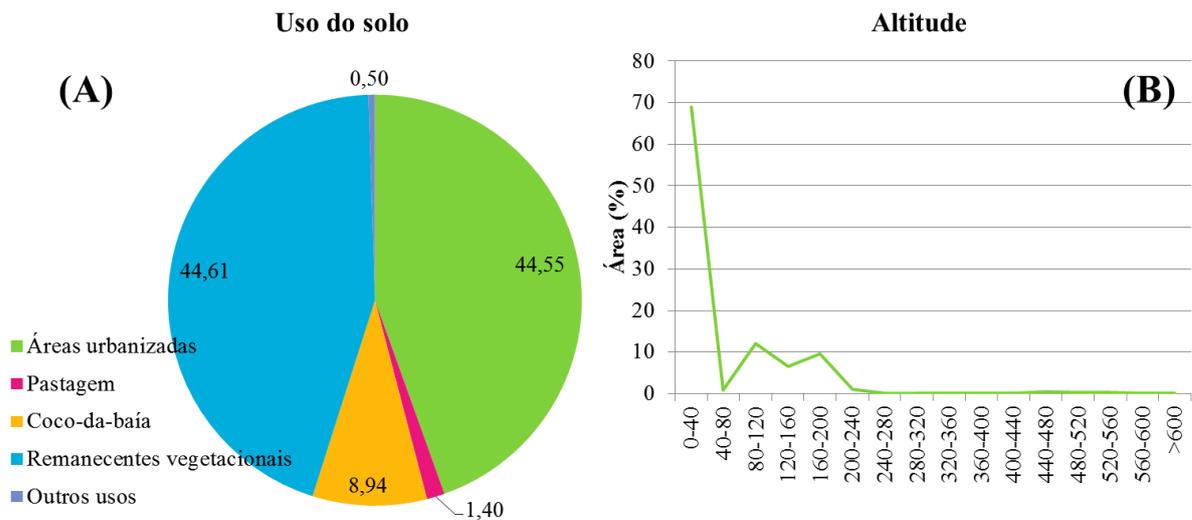
Os solos predominantes na classe de baixo potencial são o espodosolo humilúvico, o neossolo quartzarênico e os solos indiscriminados de mangue, cada um com participação de 21%, 19% e 37%, concomitantemente.

Sendo solos de texturas arenosas e média a argilosa, ambas, com ocorrências de aproximadamente 25%, a unidade com maior percentagem foi às categorias sem dados texturais, referentes ao tipo de ocupação, correspondendo a 43%. A classe de baixíssimo potencial não apresentou ocorrência em solos e texturas que fosse expressivo.

No que diz respeito à declividade, o terreno dessas classes se manifestou majoritariamente sobre terrenos planos e suave ondulados, com 88% e 9% de representatividade territorial, na classe de baixo potencial, e com 93% na classe de baixíssimo potencial.

Quanto à altimetria, a sua participação foi significativa nos intervalos de 0-40, na classe de baixo potencial, e de 160-200, na classe de baixíssimo potencial (Figura 29B). Apesar de serem declividades e altitudes com potencialidades altas, as outras unidades dessas classes reduziram sua competência.

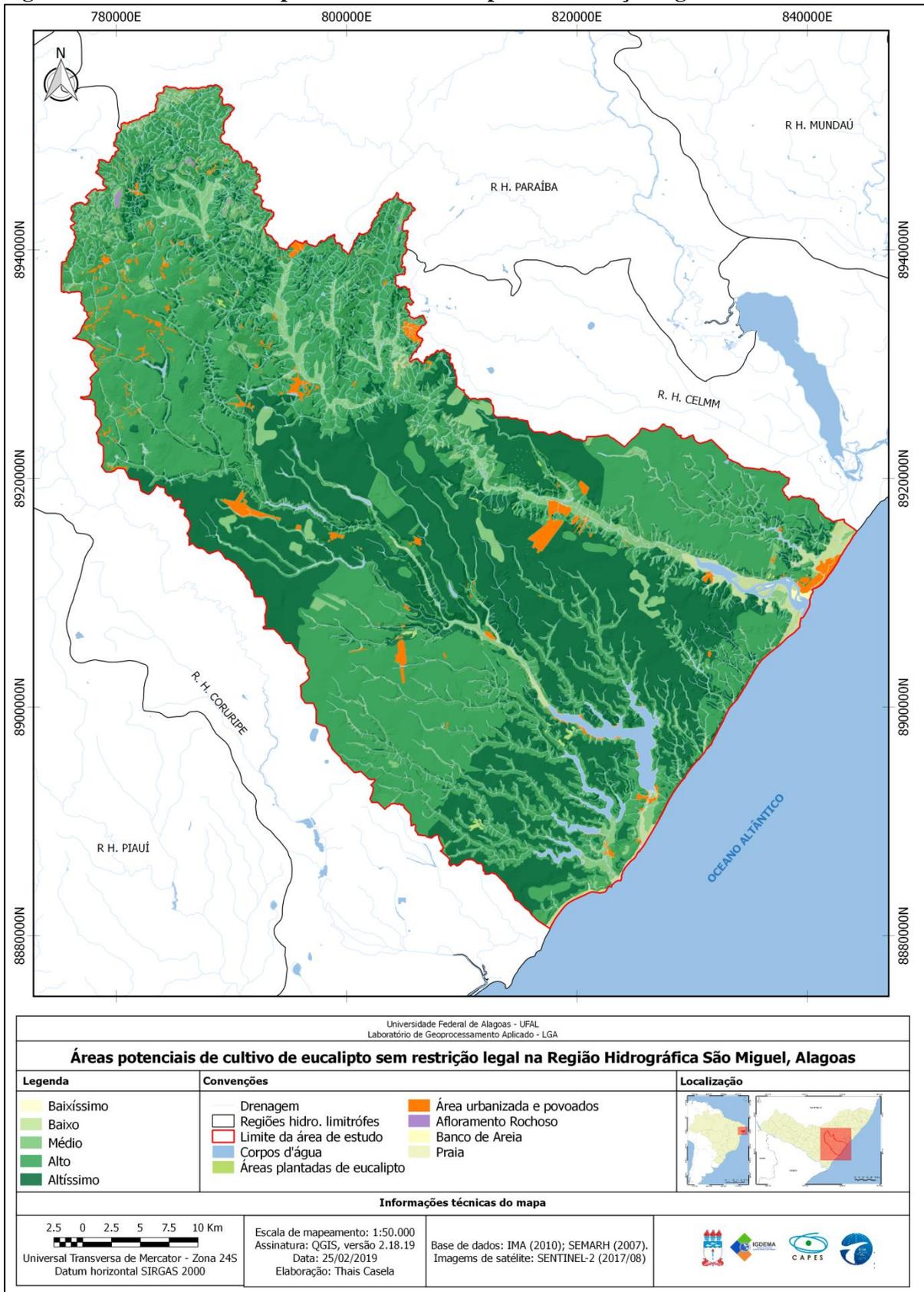
**Figura 29 - Participação percentual das variáveis de Uso do solo (A) e de Altitude (B) nas áreas com baixo potencial de cultivo de eucalipto**



Fonte: Autor (2019).

A figura abaixo mostra o conjunto dessas áreas de muito alto a muito baixo do potencial de cultivo de eucalipto, que foram descritas e analisadas nos tópicos acima.

**Figura 30 - Áreas Potenciais para cultivo de eucalipto sem restrição legal na RHSM**



Fonte: Autor (2019).

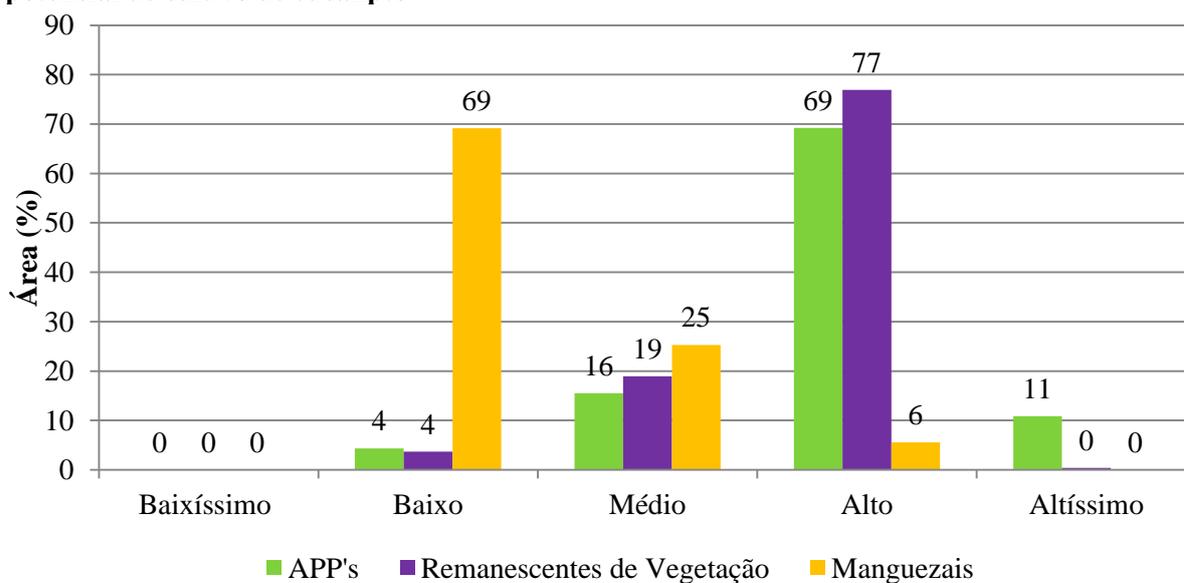
## 7.2 Potencial de cultivo de eucalipto com restrições legais

O potencial de cultivo de eucalipto com restrições legais considerou as áreas de preservação permanente, de acordo com legislação vigente, como conflitantes na potencialidade do eucalipto, portanto foram consideradas áreas a serem protegidas.

Para tanto, foi necessário o confronto do cartograma de potencial de cultivo de eucalipto com o cartograma de restrições legais, o que resultou em uma subtração de cerca de 500 km<sup>2</sup>, ou seja, 20% da região de estudo se encontraram com necessidade de proteção ambiental.

Logo, cada categoria foi mensurada de acordo com as classes de potencialidades, conforme o gráfico abaixo.

**Gráfico 5 – Distribuição percentual das áreas de restrição legal por classe do cartograma de potencial de cultivo de eucalipto**



Fonte: Autor (2019).

As categorias de áreas de preservação permanente de cursos d'água e corpos d'água foram agregadas e agrupadas, visto que as demais áreas de proteção apresentam singularidades, portanto foram mantidas separadas.

Neste contexto, as APP's totalizaram 176 km<sup>2</sup> de extensão territorial, com múltiplas ramificações na parte superior da bacia hidrográfica do rio São Miguel e ao longo das outras bacias abrangidas pela região hidrográfica São Miguel (Figura 31A).

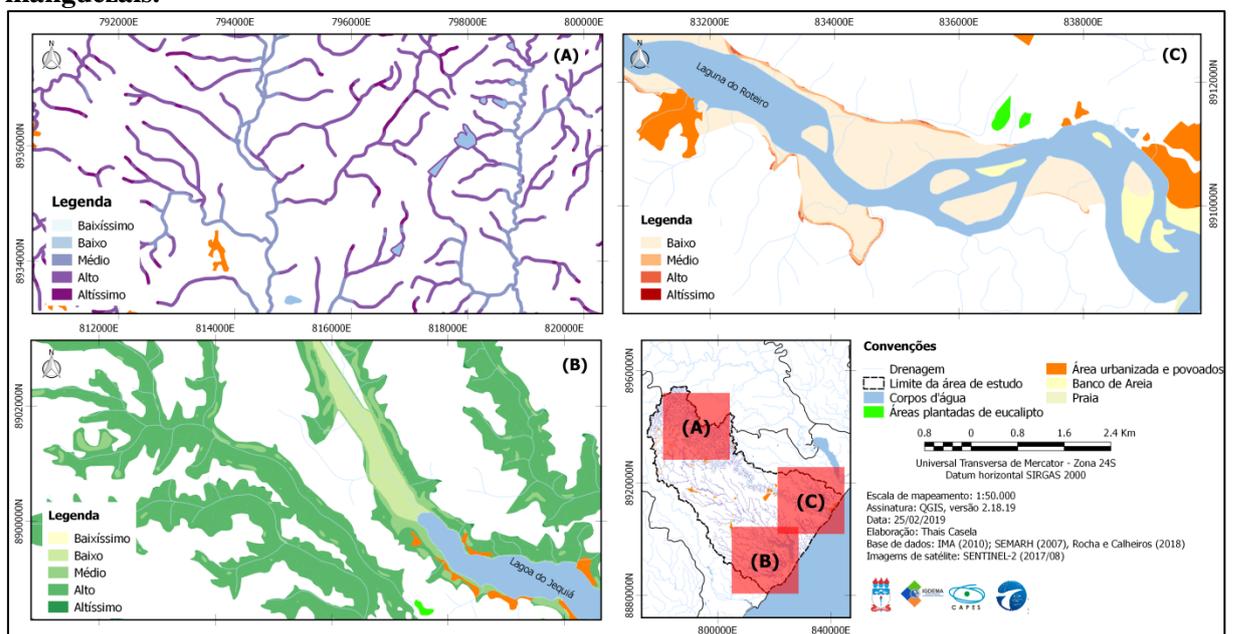
A maior representatividade ficou contida na classe alto potencial, com 69% de ocorrência. Nas classes médio e altíssimo potencial, a participação foi menos significativa, correspondendo a 16% e 11%, respectivamente.

A categoria de remanescentes de vegetação agrupou todas as classes de cobertura vegetal, com exceção da formação pioneira de manguezais. Essas formam ilhas nos vales fluviais dos tabuleiros costeiros, condensados na parte leste-sul da região de estudo (Figura 31B).

Sendo assim, correspondeu a 356 km<sup>2</sup> de área ocupada, dos quais 77% concentraram-se na classe alto potencial e 19% na classe médio potencial.

Por fim, a categoria de manguezais constituiu em uma área com menor territorialidade, cerca de 10 km<sup>2</sup>, localizadas nas proximidades da Laguna do Roteiro e do Jequiá. As classes baixo e médio potencial alcançaram participações de 69% e 25%, respectivamente. As demais classes ficaram abaixo de 10% (Figura 31C).

**Figura 31 – Recorte espacial de parte da RHSM, com enfoque na Laguna Roteiro e nas classes do potencial de eucalipto com restrições legais; (A) APP's, (B) remanescentes de vegetação e (C) manguezais.**

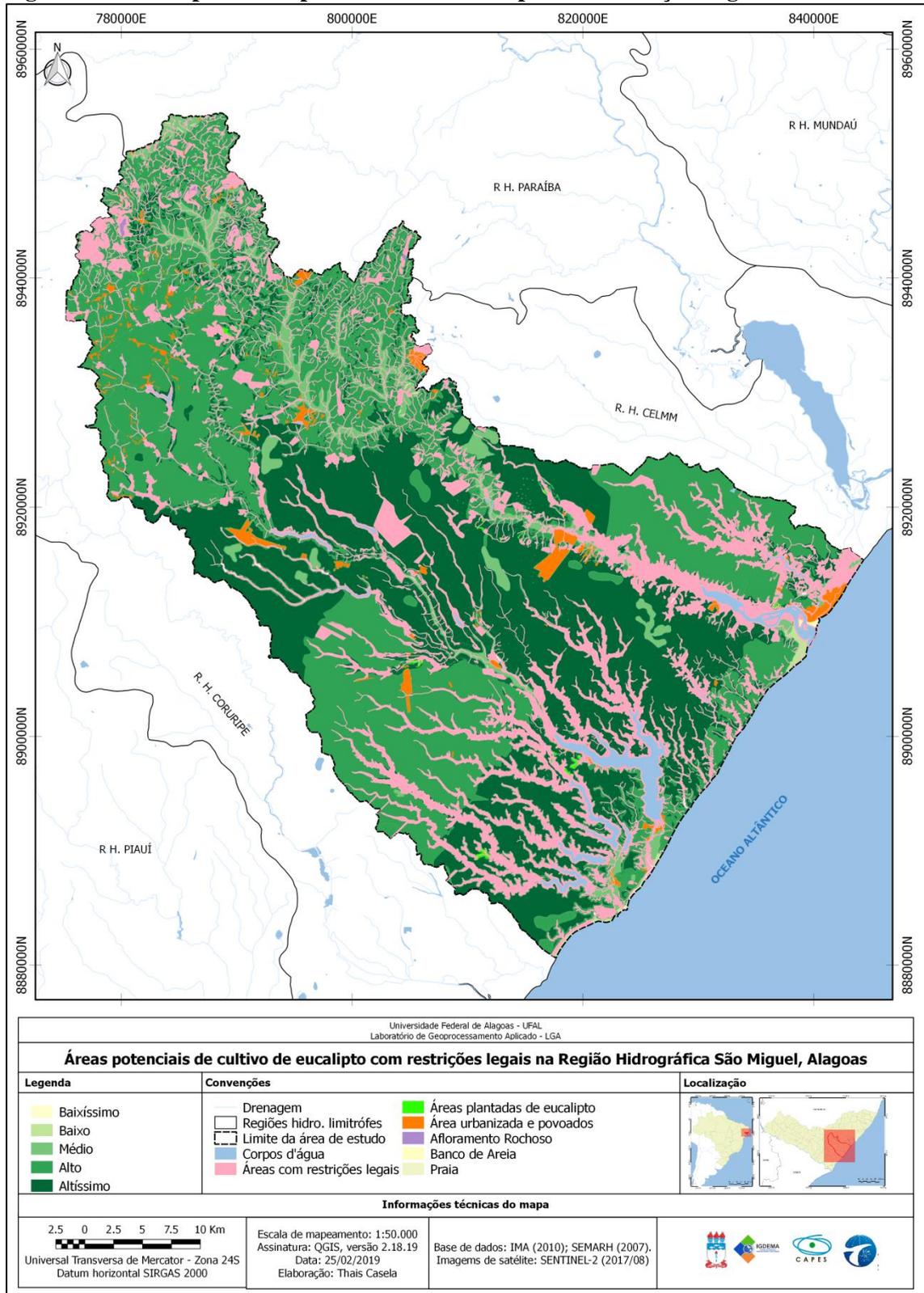


Fonte: Autor (2019).

Diante disso, as áreas de preservação permanente e os remanescentes expressam potenciais relevantes para o cultivo de eucalipto, entretanto são áreas, do ponto de vista da legislação ambiental, sem potencialidade, visto que a substituição dessas categorias pelo

eucalipto provocam impactos negativos ao meio ambiente, diminuindo sua biodiversidade e degradando o solo.

**Figura 32 – Áreas potenciais para cultivo de eucalipto com restrições legais**



Fonte: Autor (2019).

### 7.2.1 Potencial de cultivo de eucalipto sem restrição hídrica

As áreas potenciais para o cultivo de eucalipto sem restrição hídrica, conduziu o presente estudo para uma análise complementar aos prognósticos anteriores, considerando além das limitações ambientais e das restrições legais, o equilíbrio hidrológico nas bacias hidrográficas que compõem região estudada.

Diante disso, para que o manejo dos plantios florestais apresente um balanço sustentável entre os fluxos de saída de água, causando o menor impacto possível aos recursos hídricos, esses cultivos devem ocupar áreas menores que 20% de uma bacia hidrográfica (CALDER, et al., 2007; LIMA, 2010).

Sendo assim, como esse trabalho propõe o manejo do eucalipto de forma sustentável e planejada na referente área estudada, causando a menor interferência possível ao meio ambiente, foram realizadas mensurações em cada bacia hidrográfica da RHSM, estabelecendo qual a área máxima permitida para que este cultivo não provoque grandes alterações, e apresente uma produtividade elevada.

Desta forma, foram compiladas apenas as classes de altíssimo potencial, exceto no caso da bacia do rio Niquim, visto que essa classe não alcançou 20% e houve a necessidade de agregar também a classe com alto potencial.

- **B. H. Jequiá** – limitação para o cultivo de eucalipto fixado em 172,34 km<sup>2</sup>, sendo a bacia com maior extensão territorial e maior área, logo também foi a bacia com maior possibilidade de cultivo de baixo impacto aos recursos hídricos. Os fragmentos de áreas variam de 0,1 km<sup>2</sup> a 254,9 km<sup>2</sup>, de forma que a distribuição da plantação do eucalipto não estabelece um critério específico.

De acordo com Hilga et al. (2000) e Silva et al. (2008), considerando espaçamentos padrão de 3 x 2 metros, com perdas de 8%, serão necessárias cerca de 31 mil mudas de eucalipto para cobrir os 20% da bacia em questão.

- **B. H. São Miguel** – o cultivo de eucalipto nessa bacia deve ser restringido a 147,66 km<sup>2</sup>, de modo que os segmentos de área total variam entre 0,1 km<sup>2</sup> a 51,74 km<sup>2</sup>.

Posto isso, para esta bacia alcançar a sua produtividade máxima, será preciso o plantio de aproximadamente 27 mil mudas.

- **B. H. Poxim** – os fragmentos de potencialidade dispersados nessa bacia apresentaram amplitude de 0,1 km<sup>2</sup> a 28,37 km<sup>2</sup>, sendo que a área máxima para o cultivo sustentável foi de 80,35 km<sup>2</sup>, permitindo assim o agrupamento dos fragmentos para totalizar os 20%.

Considerando o rendimento extremo, são necessárias 14.500 mudas.

- **B. H. Niquim** – a limitação produtiva dessa bacia atinge 29,86 km<sup>2</sup>, com uma área total dividida em várias frações de áreas entre 0,1 km<sup>2</sup> e 87,54 km<sup>2</sup>.

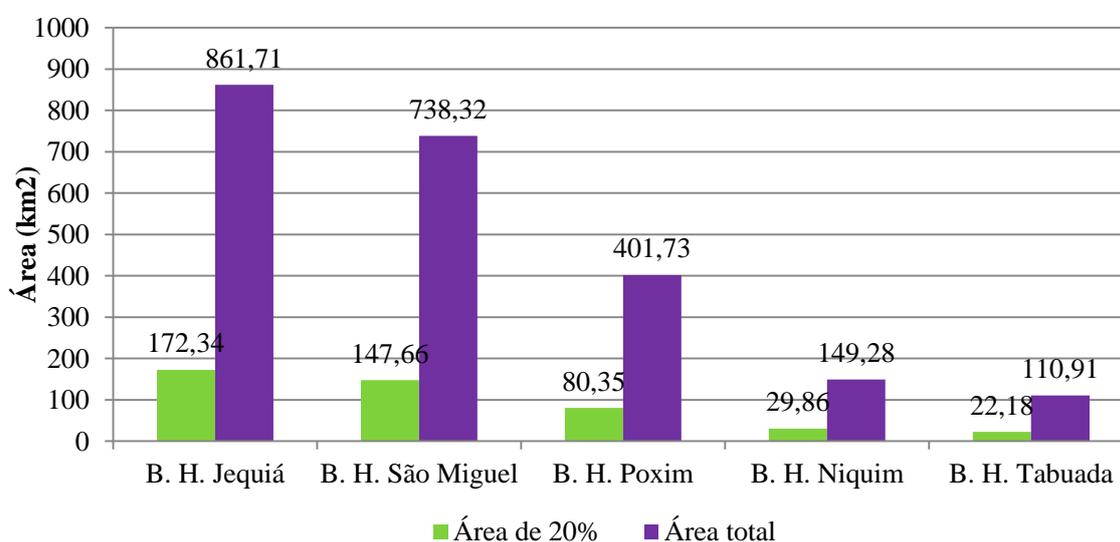
Ponderando a produtividade máxima, referente aos 20%, são necessárias 5.400 mudas de eucalipto.

- **B. H. Tabuada** – por fim, a bacia em questão, apresenta a menor área produtiva, com restringidos 22,18 km<sup>2</sup>. Suas frações de áreas variam entre 0,1 km<sup>2</sup> e 50,12 km<sup>2</sup>.

Logo, o número de mudas de eucalipto será menor se comparado às demais bacias, totalizando 4 mil mudas de eucalipto necessárias para cobrir os 20% da bacia em questão.

Diante disso, as estimativas de mudas de eucalipto foram baseadas nos 20% de área em cada bacia, podendo variar de acordo com extensão de área plantada e com a ampliação ou redução do espaçamento.

**Gráfico 6 – Distribuição das áreas de 20% e área total das classes altíssimo/alto potencial de cada bacia hidrográfica**

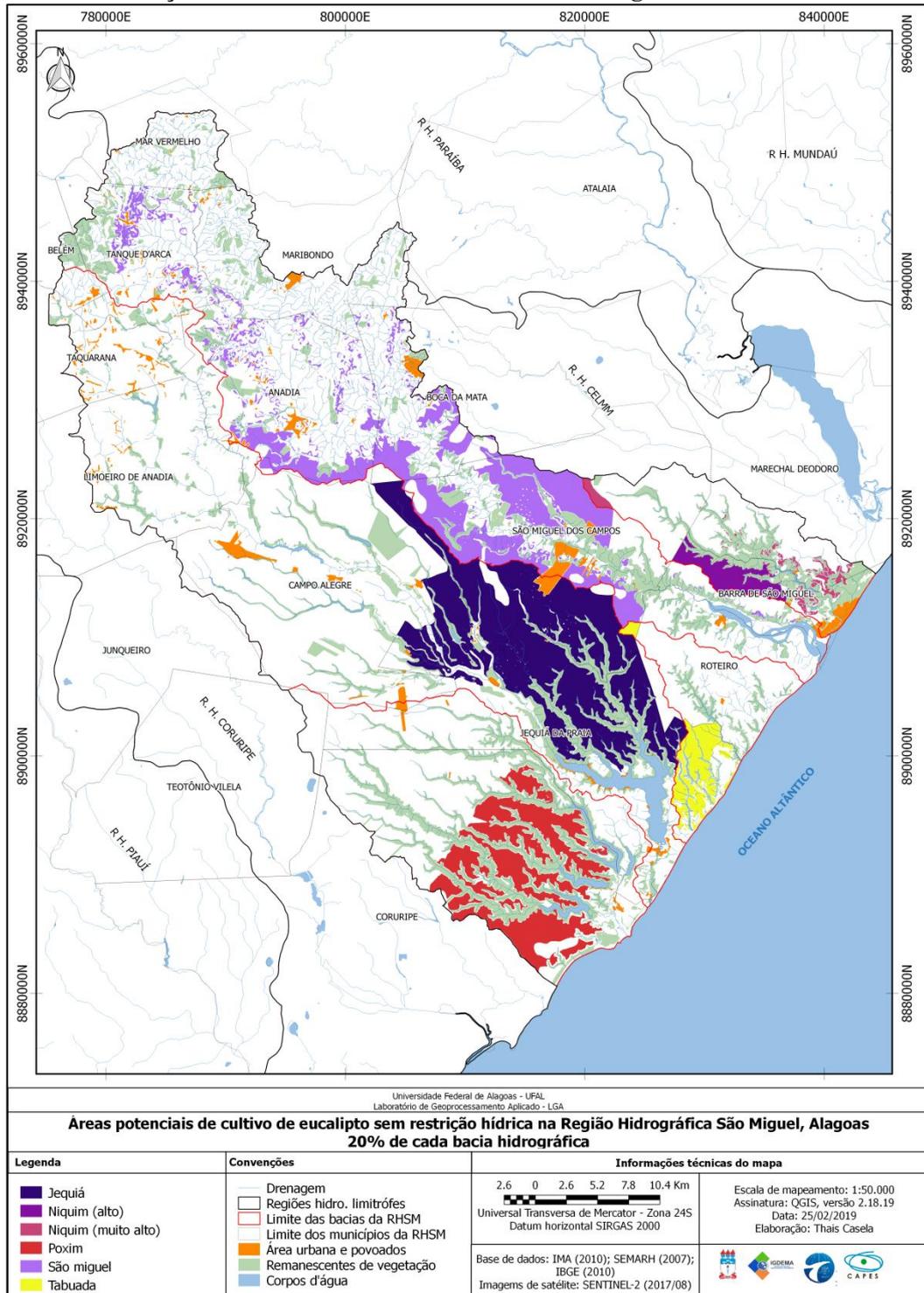


Fonte: Autor (2019).

Logo, foram selecionadas, das áreas com altíssimo e alto potencial para cultivo de eucalipto, áreas com 20% de cada bacia hidrográfica (Figura 33). Essa seleção foi baseada nos dados do IBGE (2014, 2015 e 2016) e da presente pesquisa (2017/2018) para os municípios que compõem a região de estudo, de modo a acompanhar a tendência de crescimento das áreas prontamente plantadas.

Para tanto, foram escolhidas áreas em municípios que apresentaram maior ocorrência da silvicultura de eucalipto nos anos supracitados, ou seja, os municípios litorâneos de Jequiá da Praia, Coruripe, e Barra de São Miguel, os da porção central de São Miguel dos Campos e Campo Alegre, e Tanque D´arca, na porção centro-norte (Apêndice B).

**Figura 33 - Distribuição das áreas de 20% em cada bacia hidrográfica da RHSM**



Fonte: Autor (2019).

Como se observa na figura acima, as áreas preferenciais da bacia do rio São Miguel concentraram-se no entorno da área urbana do município de São Miguel e em fragmentos menores na porção centro-norte, que abrange os municípios de Anadia e Tanque D'Arca.

Quanto à bacia do rio Jequiá, as áreas preferenciais localizaram-se na proximidade com a Laguna de Jequiá, contornando os limites dos remanescentes de vegetação do município de Jequiá da Praia.

O mesmo ocorreu nas bacias hidrográficas do rio Tabuada, Poxim e Niquim, que tiveram suas áreas preferenciais concentradas ao entorno dos remanescentes vegetacionais dos municípios de Coruripe, Jequiá da Praia, na porção litorânea, e Barra de São Miguel, respectivamente.

## 8 CONCLUSÕES

Considerando os resultados obtidos, as técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto, através de modelos matemáticos de elevação pela utilização dos dados do projeto ALOS/PALSAR, mostraram-se satisfatórias e confiáveis. A única ressalva na metodologia se aplica ao método D8 em áreas com presença de corpos d'água com extensão significativa, como o caso da Laguna do Jequiá, em virtude de poder criar discrepâncias no campo da direção do fluxo.

Quanto ao resultado da delimitação, observa-se que os valores divergentes de cada escala não apresentam diferenças no contexto da Região Hidrográfica São Miguel.

No que diz respeito ao inventário ambiental, apresentou-se completo e multifacetado para atender as necessidades de elaboração do cartograma de potencial de cultivo de eucalipto, de modo que permitiu fazer algumas considerações sobre as condições fisiográficas da área de estudo, evidenciando uma região com forte presença da cana-de-açúcar e pastagem, extensão territorial predominante de cotas altimétricas inferiores a 200 m e relevo plano.

Neste contexto, as áreas com restrições legais para o cultivo de eucalipto demonstram grande relevância para o estudo, fornecendo apoio na delimitação das áreas potenciais, sendo que a análise dessas áreas identificou que muitas áreas de preservação permanente não apresentaram vegetação nativa e que, seguindo a lei, 20% da área de estudo encontraram-se em situação de necessidades de proteção ambiental.

Quanto às áreas plantadas de eucalipto na região em questão, foram identificados 23 fragmentos de plantio, sendo caracterizados pela ocorrência predominante em argissolos, grupamento textural média-argilosa, altitudes inferiores a 80 m e relevo moderadamente ondulado.

Sendo assim, verificou-se que todas as áreas plantadas de Eucalipto, na região de estudo, ocupam áreas que outrora foram usos de cana-de-açúcar ou pastagem, de forma que nenhuma área de vegetação remanescente foi suprimida para o cultivo dessa silvicultura, de forma que nenhuma área de vegetação remanescente foi suprimida para o cultivo dessa silvicultura, como exemplifica a figura abaixo

Diante da conjugação dessas variáveis, alicerçadas nas análises espaciais/ambientais adotadas para a pesquisa, os resultados da análise de potencial apresentaram o entendimento que na Região Hidrográfica São Miguel prevalece as características ambientais de altíssimo e alto potencial para o plantio de eucalipto, sendo uma área altamente recomendável.

Entretanto, no que tange a legislação ambiental, nem todas as áreas com alta potencialidade permitem a implantação desse cultivo, sendo atribuídas a essas áreas restrição; e de acordo com estudos de impacto do eucalipto aos recursos hídricos, somente 20% de cada bacia hidrográfica são toleradas para que não haja interferência no deflúvio das bacias.

Por fim, salienta-se que o conhecimento da localização desse fenômeno visa contribuir para o planejamento da expansão do eucalipto na referente região hidrográfica e em outras, com dados e informações necessários para o desenvolvimento de prognósticos apropriados à minimização dos impactos ambientais ligados a essa silvicultura, visto que não é a plantação florestal a causa de prováveis impactos ambientais e hidrológicos, mas as ações de manejo mal planejadas.

Por tanto, faz-se necessário estudos que abordem a ecologia do meio ambiente em que o cultivo de eucalipto se faz presente, de modo a compreender melhor o espaço geográfico e ampliar o conhecimento acerca de um conjunto de variáveis biológicas do meio ambiente.

## REFERÊNCIAS

AB'SÁBER, A.N. et al. Identificação de áreas para o florestamento no espaço total do Brasil. **Estudos Avançados**, v. 4, n. 9, p. 63-119, 1990.

ALMEIDA, A. C.; SOARES, J. V. Comparação entre uso de água em plantações de *Eucalyptus grandis* e floresta ombrófila densa (mata atlântica) na costa leste do Brasil. **Revista Árvore**, v. 27, n. 2, p. 159-170, 2003.

ALMEIDA FILHO, R. Integração, manipulação e análise espacial de dados na pesquisa mineral através de modelos empíricos de prospecção: Um exemplo no planalto de Poços de Caldas. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 13, n.2, p.127-142, 1995.

ALVES SOBRINHO, T.; OLIVEIRA, P. T. S.; RODRIGUES, D. B. B.; AYRES, F. M. Delimitação automática de bacias hidrográficas utilizando dados SRTM. **Engenharia Agrícola**, v. 30, p. 46-57, 2010.

ANDRADE, E. L. **Incongruências de uso do solo no município de Maceió**: uma abordagem geográfica por geoprocessamento do turismo sol e mar. Monografia (Especialização em Geografia), Universidade Federal de Alagoas, 2004.

\_\_\_\_\_. **Áreas de risco ambiental aos acidentes com transporte rodoviário de produtos perigosos no trecho alagoano da rodovia BR-101**: uma proposta metodológica. Dissertação (Mestrado em Geográfica), Universidade Federal de Alagoas, 2016.

ANDRADE, E. N.; VECCHI, O. **Os Eucalyptos**: sua cultura e exploração. São Paulo: Typhographia Brazil de Rothschild e Comp, 1918. 228 p.

ASSIS, J. S. **Primícias da ciência geofitoambiental**: gênese e fundamentação. Maceió: Labfit, 2016. 357 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTA PLANTADA - ABRAF. **Anuário Estatístico ABRAF**. 2013. ABRAF, Brasília: 2013. 148p.

BRAGA, F.A. et al. Características ambientais determinantes da capacidade produtiva de sítios cultivados com eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 2, p. 291-298, 1999.

BRASIL. Agência Nacional de Águas. **O Comitê de Bacia Hidrográfica**: o que é e o que faz? / Agência Nacional de Águas. Brasília: SAG, 2011. 64 p.

BRASIL. Agência Nacional de Águas. **A evolução da gestão dos recursos hídricos no Brasil**/The Evolution of Water Resources Management in Brazil. Brasília: ANA, 2012. 32 p.

BOOTH, T. H.; PRYOR, L. D. Climatic requirements of some commercially important eucalypt species. **Forest Ecology and Management**, v. 43, n. 1-2, p. 47-60, 1991.

BOLAND, D. J. et al. **Forest trees of Australia**. Melbourne: Nelson; CSIRO, 1984. 687 p.

BRANCALION, P. H. S.; GANDOLFI, S.; RIBEIRO, R. **Restauração florestal** Rodrigues. 1 ed. São Paulo : Oficina de Textos, 2015.

CALDAS, A. J. F. S. **Geoprocessamento e análise ambiental para a determinação de corredores de habitat na Serra da Concórdia, Vale do Paraíba**, RJ. 2006. 178 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais), Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2006.

CALDER, I. R. et al. Forests and water: ensuring forest benefits outweigh water costs. **Forest Ecology and Management**, v. 251, n. 251, p. 110-120, 2007.

CALHEIROS, S. **Turismo versus Agricultura no litoral meridional de Alagoas**. Tese v. 1 (Doutorado em Geografia), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2000.

CÂMARA, G. et al. **Introdução a ciência da geoinformação**. 2 ed. São José dos Campos, INPE, 2001.

CASTRO, P. P. **Reserva e disponibilidade de nutrientes para o eucalipto em solos do Rio Grande do Sul**. Dissertação (Mestrado). Lavras: UFLA, 2006. 63 p.

CARMO, D. N.; RESENDE, M.; SILVA, T. C. A. **Avaliação da aptidão das terras para eucalipto**. In: BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. (Orgs.). *Relação solo-eucalipto*. Viçosa.-MG: Folha de Viçosa, 1990. p. 187-235.

CARNEIRO, M. A. **Mapas de aptidão da bacia do rio dourados para o cultivo de algumas espécies de eucaliptos**. Dissertação (Mestre em Agronomia), Universidade Federal de do Mato Grosso, 2005.

CARVALHO, E. J. M. et al. Comportamento físico-hídrico de um Podzólico Vermelho-Amarelo Câmbico fase terraço sob diferentes sistemas de manejo. **Rev. Bras. Cienc. Solo**, Viçosa, v. 34, n. 1, p. 257-265, 1999.

CAVICHIOLO, S. B. V.; DEDECEK, R. A.; GAVA, J. L. Modificações nos atributos físicos de solos submetidos a dois sistemas de preparo em rebrota de *Eucalyptus saligna*. **Revista Árvore**, v. 29, n. 4 p. 571-577, 2005.

COSTA, A. M. et al. Unidades de manejo para o cultivo de eucalipto em quatro regiões fisiográficas do Rio Grande do Sul. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 37, n. 84, p. 465-473, 2009.

CORTEZ, M. M. N. et al. As plantações de eucalipto e o solo. In: ALVES, A. M., PEREIRA, J; S; SILVA, J. M. N. (ORG.). **O eucalipto em Portugal: impactos ambientais e investigação científica**. Lisboa, Portugal: ISA Press, 2007. 404 p.

DAVIDSON, J. Setting aside the idea that eucalyptus are always bad. **Working Paper**, n. 10. Assistance to the forestry sector of Bangladesh (Project BGD/79/017. Roma: FAO, 1985.

DIAS, J. E. et al. Geoprocessamento aplicado à análise ambiental: o caso do município de Volta Redonda – RJ. In: SILVA, Jorge Xavier da; ZAIDAN, Ricardo Tavares (Orgs.). **Geoprocessamento & análise ambiental: aplicações**. 5 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011.

DIAS JÚNIOR, M. S. **Avaliação quantitativa da sustentabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Amarelo situado em áreas experimentais da Cenibra**. Relatório do projeto de pesquisa. Lavras: Universidade Federal de Lavras; 1999.

ELDRIDGE, K.; DAVIDSON, J.; HARWOOD, C.; WYK, G. **Eucalypt domestication and breeding**. 1994. Clarendon Press, Oxford.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Levantamento de reconhecimento de baixa e média intensidade dos solos do Estado de Alagoas**. In: Zoneamento Agroecológico do Estado de Alagoas. Embrapa Solos: Recife, 2012. 245 p.

\_\_\_\_\_. **Levantamento generalizado e semidetalhado de solos da Aracruz Celulose S.A. no Estado do Espírito Santo e no extremo sul do Estado da Bahia e sua aplicação aos plantios de eucalipto**. Rio de Janeiro/ RJ: EMBRAPA-CNPS, Boletim de Pesquisa, 2000. 111 p.

FAIRFIELD, J.; LEYMARIE, P. Drainage networks from grid digital elevation models. **Water Resour. Res.**, v. 27, n. 5, p. 109–717, 1991.

FARDIN, L. P.; DUARTE, D. C. O.; ARAÚJO JÚNIOR, C. A. Determinação de áreas potenciais para plantios de eucalipto utilizando técnicas de análise multicritério. **Anais... III Congresso Brasileiro de Eucalipto**, Vitória /ES, 2015, Centro de Treinamento Dom João Batista.

FEPAM, Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler. **Zoneamento ambiental da silvicultura: estrutura, metodologia e resultados**. v. 1. 2010

FERNANDES, M. do C.; MENEZES, P. M. L. de. Avaliação de métodos de geração de MDE para a obtenção de observações em superfície real: um estudo de caso no maciço da Tijuca-RJ. **Anais...** In: XII Simpósio Brasileiro do Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil. INPE. 2005. p. 2985-2992.

FERREIRA, C. A.; SILVA, H. D. (ORG). **Formação de povoamentos florestais I**. Colombo: Embrapa Florestas, 2008.

FEREZ, A. P. C. **Zoneamento edafoclimático de aptidão para espécies florestais em cenário de mudança climática**: um estudo de caso na Costa Rica. Monografia, Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2006.

FLORES, C. A.; GARRASTAZU, M. C.; MATTEI, V. L. Critérios para o zoneamento edáfico do eucalipto. In: **Zoneamento agroclimático do eucalipto para o Estado do Rio Grande do Sul e edafoclimático na região do Corede Sul – RS**. FLORES, C. A.; ALBA, J. M. F.; WREGGE, M. S. (Org.). Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2009. 87 p.

FOELKEL, C. Minerais e nutrientes das árvores dos eucaliptos: aspectos ambientais, fisiológicos, silviculturais e industriais acerca dos elementos inorgânicos presentes nas árvores. **Eucalyptus Newsletter**, n. 2, 2005.

GÓMEZ OREA, D. **Ordenación del Territorio**: una aproximación desde el medio físico. Instituto Tecnológico Geo Minero: Espanha, 1994. 238 p.

GONÇALVES, S. R. A; ARAÚJO, R. R. Aplicação de geoprocessamento no zoneamento de áreas de instabilidade da bacia do manancial do Rio Santo Anastácio/SP. **Colloquium Exactarum**, v. 5, n. especial, 2013, p. 74-81.

GUERRA, C. **Meio ambiente e trabalho no mundo do eucalipto**. Associação Agência terra, 1995, 143 p.

GURGEL, V. A. Transformações nas dinâmicas espaciais no estado de Alagoas com a inserção da eucaliptocultura na mesorregião geográfica do leste alagoano. Dissertação (Mestrado em Geográfica), Universidade Federal de Alagoas, 2018.

HANNAH, P.R. Topography & soils relations for White and black oak in Southern Indiana. Forest Service. **Research Paper**, Washington, n.25, p.1-7, 1968b.

HENGL, T.; GRUBER, S.; SHRESTHA, D. P. Reduction of errors in digital terrain parameters used in soil landscape modelling. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 5, n. 2, p. 97-112, 2004.

HIGA, R. C. V.; MORA, A. L.; HIGA, A. R. **Plantio de eucalipto na pequena propriedade rural**. Curitiba, PR: Embrapa Florestas, documento 54, 2000.

HIGA, R. C. V.; WREGGE, M. S. **Zoneamento climático de Eucalyptus grandis para a região Sul do Brasil**. Colombo: Embrapa Florestas, 2010. p. 209.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Manual técnico de uso do solo**. 3 ed. IBGE: Rio de Janeiro, 2013.

\_\_\_\_\_. **Manual técnico da vegetação brasileira**. 2 ed. IBGE: Rio de Janeiro, 2012.

\_\_\_\_\_. **Noções Básicas de Cartografia**. Rio de Janeiro, 1998.

\_\_\_\_\_. **Produção da Extração Vegetal e Silvicultura 2014**. Rio de Janeiro: IBGE, 2015.

\_\_\_\_\_. **Produção da Extração Vegetal e Silvicultura 2015**. Rio de Janeiro: IBGE, 2016.

\_\_\_\_\_. **Produção da Extração Vegetal e Silvicultura 2016**. Rio de Janeiro: IBGE, 2017.

JENSON, S. K; DOMINGUE, J. O. Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis. **Photogr. Eng. Rem. Sens.**, v. 54, p. 1593-1600, 1988.

JOVANOVIC, T.; BOOTH, T. H. **Improved species climatic profiles**. [Canberra]: Rural Industries Research and Development Corporation, 2002. 68 p. (RIRDC Publication, n. 02/095). RIRDC Project n. CSF-56A.

LEITE, E. S. et al. Desempenho do harvester na colheita de eucalipto em diferentes espaçamentos e declividades. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.38, n.1, 2014.

LEITE, N. B. Avanços da silvicultura brasileira são significativos. **Visão Agrícola**, n. 4, p. 58-61, 2005.

LEPSCH, I. F. et al. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. 4ª ed. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS), 2015, 170p.

LIMA, I. F. **Fundamentos do meio físico do estado de Alagoas**. Notas para a regionalização de Alagoas. Maceió: Convênio SEPLAN/SUDENE, 1977.

LIMA, W. P. "O eucalipto seca o solo?". **Sociedade Brasileira de Ciências do Solo**, v. 29, n. 1, 2004.

\_\_\_\_\_. **A silvicultura e a água: ciência, dogmas, desafios**. Rio de Janeiro: Instituto Bio Atlântica, 2010. 64 p. (Cadernos do diálogo, v.1).

LIMA, W. P.; ZAKIA, M. J. B. Indicadores hidrológicos em áreas florestais. **Série Técnica IPEF**, v. 12, n. 31, p. 53-64, 1998.

LOURENZANI, W. L.; CALDAS, M. M. Mudanças no uso da terra decorrentes da expansão da cultura da cana-de-açúcar na região oeste do estado de São Paulo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 44, n.11, p.1980-987, 2014.

MARINO, T. B. **Metodologia para tomadas de decisão no âmbito de riscos socioambientais em áreas urbanas**: desmoraamentos e enchentes em assentamentos precários na bacia do córrego Cabuçu de Baixo – SP. Dissertação (Mestrado). São Paulo: Escola politécnica da Universidade de São Paulo, 2008. 136 p.

MARQUES NETO, R. et al. Estrutura e dinâmica da paisagem no município de Lima Duarte (MG): uma abordagem geocológica. **Rev. Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 15, n. 52, p. 134–150, 2014.

MELO, E. B. **Análise da paisagem da bacia hidrográfica do rio São Miguel/AL por geotecnologias**. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2019.

MENDES, C. A. B.; CIRILO, J. A. **Geoprocessamento em recursos hídricos**: princípios, integração e aplicação. Porto Alegre: ABRH, 2001. 536 p.

MENDES, L. et al. **Anuário brasileiro da silvicultura 2016**. 1 ed. Santa Cruz do Sul : Editora Gazeta, Santa Cruz, 2016. 56 p.

MOLEDO, J. C. et al. **Impactos ambientais relativos à silvicultura de eucalipto**: uma análise comparativa do desenvolvimento e aplicação no plano de manejo florestal. São Paulo, UNESP, Geociências, v. 35, n. 4, p. 512-530, 2016.

MORA, A. L.; GARCIA, C. H. **A cultura do eucalipto no Brasil**. São Paulo, Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2000. 112p.

MOURA, A. C. M. Reflexões metodológicas como subsídio para estudos ambientais baseados em Análise de Multicritérios. **Anais... XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis, Brasil, 2007, INPE.

NAMIKAWA, L. M. A method for triangular grid surface fitting using breaklines. **International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 30, n. 4, p. 362-368, 1994.

NAPPO, M. E.; NAPPO, A. E.; PAIVA, H. N. de; Zoneamento ecológico de pequena escala para nove espécies arbóreas de interesse florestal no Estado de Minas Gerais. **Revista Científica de Engenharia Florestal**. 5. ed. 2005.

O'CALLAGHAN, J. F.; MARK, D. M. The extraction of drainage networks from digital elevation data. **Computer Vision, Graphics, and Image Processing**, v. 28, n. 3, p. 323-344, 1984.

OLIVEIRA, J. R. **Crescimento, produção e eficiência nutricional de genótipos de eucalipto em diferentes condições edafoclimáticas de Minas Gerais**. Tese (Doctor Scientiae) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, 2017.

OLIVEIRA, Y. M. M.; OLIVEIRA, E. B. **Plantações florestais: geração de benefícios com baixo impacto ambiental**. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 115 p.

ORTIZ, J. L. et al. Relações espaciais entre o potencial produtivo de um povoamento de eucalipto e atributos do solo e do relevo. IPEF. **Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais**, v. 72, p. 67-79, 2006.

PALUDZYSZYN FILHO, E.; FERNANDES, J. S. C.; RESENDE, M. D. V. Avaliação e seleção precoce para crescimento de Pinus taeda. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 37, n. 12, p. 1719-1726, 2002.

PASSO, D. P. et al. **Caracterização geomorfológica do município de Barreiras, Oeste Baiano, escala 1:100.000**. Planaltina-DF: Embrapa, Cerrados, 2010.

PEREIRA, J. C. D. et al. **Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil**. 1 ed. Colombo: Embrapa Florestas, 2000. (Documentos, 38). 113 p.

PILESJÖ, P.; ZHOU, Q. **Theoretical estimation of flow accumulation from a grid based digital elevation model**. Proceedings of GIS AM/FM ASIA' 97 and Geoinformatics' 97 Conference, Taipei, n. 26-29, p. 447-456, 1997.

POTTS, B. M. Genetic improvement of eucalypts. In: BURLEY, J.; EVANS, J.; YOUNGQUIST, J. A. **Encyclopedia of Forest Science**. Elsevier Science, Oxford, p. 1480-1490. 2004.

POYTON, R. J. **Tree planting in Southern Africa: the eucalyptus**. Republic of South Africa: Department of Forestry, 1979. v. 2, 882 p.

QUADROS, R. M. B. **Avaliação nutricional em plantios de Eucalyptus grandis, em diferentes solos, no Estado de São Paulo**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 1996. 158 p.

RENNÓ, C. D.; NOBRE, A. D.; CUARTAS, L. A.; SOARES, J. V.; HODNETT, M. G.; TOMASELLA, J.; WATERLOO, M. J. HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM: mapping terra-firme rain forest environments in Amazonia. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 112, n. 9, p. 3469-3481, 2008.

REED, S. M. Deriving flow directions for coarse-resolution (1-4 km) gridded hydrologic modeling. **Water Resources Research**, v. 39, n. 9, 2013.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S, REINERT, D. J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. **Tópicos Ci Solo**, v.5, p. 49-134, 2007.

ROCHA, M. A. A. W.; CALHEIROS, S. C. Q. **Análise ambiental dos municípios alagoanos por geoprocessamento**: mapeamento dos dados básicos dos municípios abrangidos pela região hidrográfica São Miguel-Alagoas. PIBIC: Maceió, 2018.

ROCKETT, G. C. et al. Geoprocessamento aplicado à análise ambiental: vulnerabilidade natural á perda de solo no morro do osso, Porto Alegre/RS. **Geografia**, Rio Claro, v. 39, n. 3, p. 465-481, set./dez. 2014.

RODIGHERI, H. R. **Rentabilidade econômica comparativa entre plantios florestais e sistemas agroflorestais com erva-mate, eucalipto e pinus e as culturas do feijão, milho, soja e trigo**. Colombo: EMBRAPA-CNPQ, 1997. 36p. (EMBRAPA-CNPQ. Circular Técnica, 26).

ROMUALDO, S. DOS S.; ROCHA, C. H. B.; SOUZA, G. M. Geoprocessamento aplicado à análise de áreas potenciais para a produção de eucalipto na zona da mata mineira. **Anais...** In: XII Simpósio Nacional de Geografia Física Aplicada, Rio Claro –SP, 2007.

ROVEDDER, A. P. M.; ELTZ, F. L. F. Desenvolvimento do Pinus elliottii e do Eucalyptus tereticorni consorciado com plantas de cobertura, em solos degradados por arenização. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 1, p. 84-89, 2008.

RUSCHMANN, D. **Turismo e Planejamento Sustentável**: a proteção do meio ambiente. 16 ed. Campinas: Papyrus, 2010. 192 p.

SALGADO, A. A. R.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. P. Impactos da silvicultura de eucalipto no aumento das taxas de turbidez das águas fluviais: o caso de mananciais de abastecimento público de Caeté/MG. **Geografias**: Belo Horizonte v. 2, n. 1, p.47-57, 2006.

SANTANA, R.C. **Crescimento e eficiência nutricional de procedências de E. grandis e E. saligna em sítios do estado de São Paulo**. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Viçosa-MG: Universidade Federal de Viçosa, 1994. 73 p.

SANTOS, H. G.; SILVA, J. A. M.; PORTUGAL, J. L. Análise espacial do índice de desenvolvimento humano municipal na região semiárida brasileira. **Rev. Bras. Geom.**, v. 3, n. 2, p. 061-067, 2015.

SANTOS, T. G.; VENTORINI, S. E. Análise multicritério: modelos de interesse ambiental e de áreas propícias à expansão urbana na Bacia do Córrego do Lenheiro. **Caminhos de Geografia Uberlândia**, v. 18, n. 64, p. 60–77. 2017.

SCOLFORO, J. R. **O Mundo Eucalipto**: os fatos e mitos de sua cultura. Rio de Janeiro: Mar de Ideias, 2008. 70p.

SILVA, A. B. A GIS approach for land use assessment a brazilian case study. In: Thematic Conference on Geology Remote Sensing. San Antonio, Texas, 1994. **Anais...** San Antonio, v. 2, p. 296-303. 1994.

SILVA, A. P. L. **Estudos geomorfológico e sedimentológico do sistema estuarino lagunar do Roteiro – Alagoas**. Dissertação (Mestrado em Geociências), Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2001.

SILVA, J. C.; CASTRO, V. R.; XAVIER, B. A. **Cartilha do fazendeiro florestal**. 2 ed. Viçosa, Minas Gerais: Universidade Federal de Viçosa, 2008.

SILVA, J. J. N. et al. Ciclagem de nitrogênio em florestas tropicais e plantações de eucalipto no Brasil no antropoceno. **Rev. Virtual Quim**, v.10, n. 6, p. 1792-1808. 2018.

SILVEIRA, R. L. V. A. et al. Sintomas de deficiência de macronutrientes e de boro em clones híbridos de *Eucalyptus grandis* com *Eucalyptus urophylla*. **Cerne**, v. 8, n. 2. P. 107-116, 2002.

SOUZA, J. C. O. **Identificação de geossistemas e sua aplicação no estudo ambiental da bacia hidrográfica do rio São Miguel – Alagoas**. Dissertação (Mestrado em Geografia), Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2013.

SPURR, S. H.; BARNES, V. B. **Ecologia florestal**. México: A.G.T. Editora S. A, 1982, 690 p.

TESKE, R.; GIASSON, E. Delimitação de áreas para plantio de eucalipto utilizando regressões logísticas. **Rev. Cienc. Rural**, v. 42, n. 7, Santa Maria, 2012.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. **Limnologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 631p.

VENKATACHALAM, P. et al. Automatic delineation of watershed for hydrological Application. **Anais...** In: 22nd Asian Conference on Remote Sensing, National University of Singapore, 2001.

VIANA, M. B. **O eucalipto e os efeitos ambientais do seu plantio em escala**. Brasília: Biblioteca Digital da Câmara dos Deputados, Consultoria Legislativa, 2004.

VIRTUOSO, M. A. et al. Sensoriamento remoto para a avaliação da aptidão ao plantio de eucalipto em Três Lagoas – MS. **Anais...** In: XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, João Pessoa-PB, 2015, INPE.

VITAL, M. H. F. Impacto ambiental de florestas de eucalipto. **Revista do BNDES**, Rio de Janeiro, V. 14, N. 28, P. 235-276, dez. 2007.

XAVIER-DA-SILVA, J; CARVALHO-FILHO, L.M. Sistemas de informação geográfica: uma proposta metodológica. **Anais...** In: IV Conferência Latino-americana sobre Sistemas de Informação Geográfica, São Paulo, p. 609-628. 1993.

XAVIER DA SILVA, J. Geoprocessamento e análise ambiental. **Revista Brasileira de Geografia do IBGE**, Rio de Janeiro, v.54, n.3, p.47-61, 1992.

\_\_\_\_\_. **Geoprocessamento para análise ambiental**. Rio de Janeiro: J. Xavier da Silva, 2001. 228p.

XAVIER DA SILVA, J. ZAIDAN, R. T. (Orgs.). **Geoprocessamento e meio ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011. 324 p.

\_\_\_\_\_. **Geoprocessamento e Análise ambiental: aplicações**. 1. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004.

WANG, L.; LIU, H. An efficient method for identifying and filling surface depressions in digital elevation models for hydrologic analysis and modelling. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 20, n. 2, p. 193-213, 2006.

ZILLER, S. R. Plantas exóticas invasoras: a ameaça da contaminação biológica. **Revista Ciência Hoje**, v. 30 n. 178. p. 77-79. 2001.

## **APÊNDICE**

APÊNDICE A - Atribuição das notas às classes de cada variável de acordo com a ocorrência e a relevância na bibliografia

(continua)

| Classes                      | Ocorrência |    | Relevância (referências bibliográficas)  | Notas |
|------------------------------|------------|----|--|-------|
|                              | AP         | AA | Caraterísticas Positivas/Negativas   |       |
| Áreas urbanizadas e povoados | -          | -  | Baixa possibilidade de substituição de uso   | 0     |
| Complexos                    | -          | -  | Baixa possibilidade de substituição de uso   | 0     |
| Minerais não metálicos       | -          | -  | Baixa possibilidade de substituição de uso   | 1     |
| Cana-de-açúcar               | -          | -  | Alto impacto positivo <sup>14, 15, 22</sup>  | 10    |
| Policultura                  | -          | -  | Baixo impacto ambiental e baixa possibilidade de substituição de uso <sup>12</sup>                     | 5     |
| Pastagem                     | -          | -  | Redução dos danos ambientais/ Solo compactado <sup>6, 7, 9, 18</sup>                                   | 6     |
| Eucalipto                    | -          | -  |  | B     |
| Coco-da-baía                 | -          | -  | Baixo impacto ambiental <sup>12</sup>  | 4     |
| Policultura e Povoados       | -          | -  | Baixo impacto ambiental e baixa possibilidade de substituição de uso <sup>12</sup>                     | 2     |
| Remanescentes Vegetacionais  | -          | -  | Substituição com dano ambiental e restrição legal <sup>7, 15</sup>                                     | 0     |
| Corpos d'água                | -          | -  | Baixa possibilidade de substituição de uso   | B     |
| Afloramento rochoso          | -          | -  | Baixa produtividade <sup>11</sup>  | B     |
| Banco de areia               | -          | -  | Baixa produtividade  | B     |
| Praia                        | -          | -  | Baixa produtividade  | B     |
| Solo exposto                 | -          | -  | Solo enfraquecido e desgastado <sup>6, 7, 9, 18</sup>  | 6     |
| Solo desnudo                 | -          | -  | Baixa produtividade  | 1     |
| 0-40                         |            |    | Boa produtividade <sup>1, 2, 4, 10, 15, 21</sup>   | 9     |
| 40-80                        |            |    | Boa produtividade <sup>1, 2, 4, 10, 15, 21</sup>   | 10    |
| 80-120                       |            |    | Boa produtividade <sup>1, 2, 4, 10, 15, 21</sup>   | 8     |
| 120-160                      |            |    | Boa produtividade <sup>1, 2, 4, 10, 15, 21</sup>   | 7     |
| 160-200                      |            |    | Boa produtividade <sup>1, 2, 4, 10, 15, 21</sup>   | 7     |
| 200-240                      |            |    | Boa produtividade <sup>1, 2, 4, 10, 15, 21</sup>   | 10    |
| 240-280                      |            |    | Boa produtividade <sup>1, 2, 4, 10, 15, 21</sup>   | 8     |
| 280-320                      |            |    | Boa produtividade <sup>1, 2, 4, 10, 15, 21</sup>   | 7     |
| 320-360                      |            |    | Redução da produtividade, difícil mecanização e áreas sujeitas à erosão <sup>1, 2, 4, 10, 15, 21</sup> | 6     |

**APÊNDICE A - Atribuição das notas às classes de cada variável de acordo com a ocorrência e a relevância na bibliografia**

(continua)

|                               |  |  |  |    |
|-------------------------------|--|--|--|----|
| 360-400                       |  |  | Redução da produtividade, difícil mecanização e áreas sujeitas à erosão <sup>1, 2, 4, 10, 15, 21</sup>   | 4  |
| 400-440                       |  |  | Redução da produtividade, difícil mecanização e áreas sujeitas à erosão <sup>1, 2, 4, 10, 15, 21</sup>   | 3  |
| 440-480                       |  |  | Redução da produtividade, difícil mecanização e áreas sujeitas à erosão <sup>1, 2, 4, 10, 15, 21</sup>   | 2  |
| 480-520                       |  |  | Redução da produtividade, difícil mecanização e áreas sujeitas à erosão <sup>1, 2, 4, 10, 15, 21</sup>   | 1  |
| 520-560                       |  |  | Redução da produtividade, difícil mecanização e áreas sujeitas à erosão <sup>1, 2, 4, 10, 15, 21</sup>   | 1  |
| >560                          |  |  | Redução da produtividade, difícil mecanização e áreas sujeitas à erosão <sup>1, 2, 4, 10, 15, 21</sup>   | 1  |
| Plano (0-8)                   |  |  | Boa produtividade, menor perda de nutrientes e corte mecanizado <sup>1, 3, 10, 11, 13, 15, 21</sup>      | 8  |
| Suave Ondulado (8-15)         |  |  | Boa produtividade, menor perda de nutrientes e corte mecanizado <sup>1, 3, 10, 11, 13, 15, 21</sup>      | 7  |
| Moderadamente Ond. (15-27)    |  |  | Boa produtividade e corte mecanizado/ Erosão nos solos <sup>1, 3, 10, 11, 13, 15, 21</sup>               | 10 |
| Ondulado (27-35)              |  |  | Boa produtividade, corte mecanizado e corte manual/ Erosão nos solos <sup>1, 3, 10, 11, 13, 15, 21</sup> | 7  |
| Forte Ondulado (35-45)        |  |  | Redução da produtividade, erosão nos solos e limite para mecanização <sup>1, 3, 10, 11, 13, 15, 21</sup> | 2  |
| Montanhoso (45-75)            |  |  | Redução da produtividade, erosão nos solos e limite para mecanização <sup>1, 3, 10, 11, 13, 15, 21</sup> | 1  |
| Escarpado (>75)               |  |  | Redução da produtividade, erosão nos solos e limite para mecanização <sup>1, 3, 10, 11, 13, 15, 21</sup> | 0  |
| Argissolo Acinzentado         |  |  | Crescimento razoável <sup>8, 17</sup>  | 5  |
| Argissolo Amarelo             |  |  | Solos preferenciais e com boas características físicas <sup>26</sup>                                     | 10 |
| Argissolo Vermelho-Amarelo    |  |  | Solos preferenciais e com boa drenagem <sup>26</sup>   | 10 |
| Cambissolo Háptico            |  |  | Crescimento razoável <sup>8, 17</sup>  | 7  |
| Espodossolo Ferrihumilúvico   |  |  | Limitação de nutrientes (boro), características físicas desfavoráveis <sup>20</sup>                      | 3  |
| Espodossolo Humilúvico        |  |  | Limitação de nutrientes (boro), características físicas desfavoráveis <sup>20</sup>                      | 3  |
| Gleissolo Háptico             |  |  | Propriedades insuficientes para uma boa produtividade e solos mal drenados <sup>5, 8, 11, 17</sup>       | 1  |
| Arg. Amarelo e Vermelho-A.*   |  |  | Solos preferenciais <sup>26</sup>  | 10 |
| Gleissolo Háptico e Melânico* |  |  | Propriedades insuficientes para uma boa produtividade e solos mal drenados <sup>5, 8, 11, 17</sup>       | 1  |
| Latossolo Amarelo             |  |  | Solos preferenciais <sup>26</sup>  | 8  |
| Latossolo Vermelho            |  |  | Solos preferenciais <sup>26</sup>  | 8  |
| Neossolo Litólico             |  |  | Propriedades insuficientes para uma boa produtividade <sup>5, 8, 11, 17</sup>                            | 3  |
| Neossolo Quartzarênico        |  |  | Propriedades insuficientes para uma boa produtividade <sup>5, 8, 11, 17</sup>                            | 1  |
| Planossolo Háptico            |  |  | Drenagem imperfeita e crescimento do sistema radicular limitado <sup>24</sup>                            | 4  |

**APÊNDICE A - Atribuição das notas às classes de cada variável de acordo com a ocorrência e a relevância na bibliografia**

(continuação)

|                      |   |   |  |    |
|----------------------|---|---|--|----|
| Solos Ind. de Mangue |   |   | Restrição legal <sup>7</sup>                           | 0  |
| Arenosa              | - | - | Restrição no crescimento das plantas <sup>19, 24</sup> | 1  |
| Argilosa             | - | - | Solos de potencial intermediário <sup>11</sup>         | 7  |
| Média                | - | - | Solos preferenciais <sup>11, 24</sup>                  | 10 |
| Muito argilosa       | - | - | Solos de potencial intermediário a baixo <sup>11</sup> | 5  |

Sem ocorrência; 
  Com ocorrência; 
  Com alta ocorrência 
  Categorias Bloqueadas

AP – Áreas plantadas; AA – Áreas amostradas

\* grupo indiferenciado; - não foram analisadas as áreas plantadas ou amostradas.

Fonte: Autor (2019).

<sup>1</sup>BOLAND et al. (1984); <sup>2</sup>BRAGA et al.(1999); <sup>3</sup>CALDAS (2006); <sup>4</sup>CARMO et al. (1990); <sup>5</sup>CASTRO (2006); <sup>6</sup>CAVICHIOLO et al. (2005); <sup>7</sup>Código florestal (nº 12.651/2012); <sup>8</sup>COSTA (2009); <sup>9</sup>DIAS JÚNIOR(1999); <sup>10</sup>FARDIN (2015); <sup>11</sup>FLORES (2009); <sup>12</sup>GUIMARÃES JUNIOR (2016); <sup>13</sup>LIMA (1996); <sup>14</sup>LOURENZANI e CALDAS (2014); <sup>15</sup>MOLEDO et al. (2016); <sup>16</sup>ORTIZ et. al. (2006); <sup>17</sup>QUADROS (1996); <sup>18</sup>REICHERT et al. (2007 e 2009); <sup>19</sup>SANTANA (1994); <sup>20</sup>SILVEIRA et al. (2002); <sup>21</sup>VIRTUOSO et al. (2015); <sup>22</sup>VITAL (2007); <sup>24</sup>EMBRAPA (2000); <sup>26</sup>SANTOS (2017).

**APÊNDICE B – Distribuição em hectares do cultivo de eucalipto nos municípios que compõem na Região Hidrográfica São Miguel, nos anos de 2014, 2015, 2016**

| Municípios da RHSM    | Área (ha)* |       |        |
|-----------------------|------------|-------|--------|
|                       | 2014       | 2015  | 2016   |
| Mar Vermelho          | 0,00       | 0,00  | 0,00   |
| Maribondo             | 0,00       | 0,00  | 0,00   |
| Junqueiro             | 0,00       | 0,17  | 0,17   |
| Marechal Deodoro      | 0,00       | 0,00  | 0,36   |
| Teotônio Vilela       | 0,00       | 0,00  | 0,91   |
| Atalaia               | 1,95       | 2,03  | 2,21   |
| Boca da Mata          | 3,74       | 3,74  | 3,74   |
| Tanque D'arca         | 0,00       | 13,48 | 8,99   |
| Anadia                | 6,00       | 0,00  | 37,00  |
| Barra de São Miguel   | 37,20      | 58,74 | 39,16  |
| Campo Alegre          | 44,40      | 44,40 | 70,06  |
| Coruripe              | 36,35      | 67,75 | 70,73  |
| Jequiá da Praia       | 29,94      | 79,85 | 79,85  |
| São Miguel dos Campos | 31,57      | 54,00 | 106,34 |

\*esses valores são de acordo com participação de cada município na RHSM, conforme a tabela 1.

Fonte: Autor (2019), adaptado do IBGE (2014, 2015 e 2016)