



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA
Programa de Pós-Graduação em Doutorado em
Desenvolvimento e Meio Ambiente



LUCAS DA SILVA

ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL INTEGRADO DA SUB-BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO BANABUIÚ, CE

João Pessoa - PB

2017

LUCAS DA SILVA

**ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL INTEGRADO DA SUB-BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO BANABUIÚ, CE**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal da Paraíba, como requisito para obtenção de título de DOUTOR em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Área de concentração: Planejamento e Gestão de Zonas Semiáridas e Ecossistemas Limítrofes

ORIENTADOR: Prof. Dr. Eduardo Rodrigues Viana de Lima

CO-ORIENTADOR: Prof. Dr. Hermes Alves de Almeida

João Pessoa - PB

2017

Catálogo na publicação Setor de
Catálogo e Classificação

S586i Silva, Lucas da.
Índice de sustentabilidade ambiental integrado da sub-bacia
hidrográfica do Rio Banabuiú, CE / Lucas da Silva. - João Pessoa,
2017.

174 f. : il.

Orientadora: Prof. Eduardo Rodrigues Viana de Lima.

Co-orientador: Hermes Alves de Almeida.

Tese (Doutorado) – UFPB/CCHLA/PRODEMA

1. Meio ambiente - desenvolvimento. 2. Indicadores ambientais.
3. Sustentabilidade. 4. Gestão ambiental – planejamento. 5. Rio
Banabuiú - CE. I. Título.

UFPB/BC

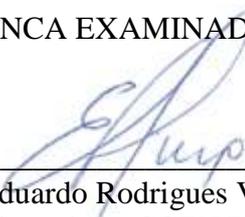
CDU – 504(043)

LUCAS DA SILVA

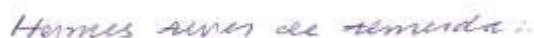
**ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL INTEGRADO DA SUB-BACIA
HIDROGRÁFICO RIO BANABUIÚ, CE**

Aprovada em 24 / 03 / 2017

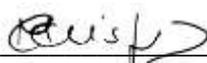
BANCA EXAMINADORA



Prof^o. Dr. Eduardo Rodrigues Viana de Lima
Orientador – CCEN/UEPB



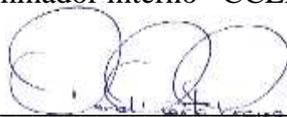
Prof^o. Dr. Hermes Alves de Almeida
Co-orientador – CEDUC/UEPB



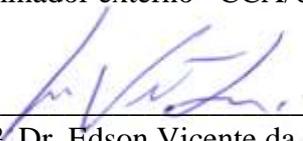
Prof^a. Dra. Maria Cristina Crispim
Examinadora interna– CCEN/UEPB



Prof^o Dr. Bartolomeu Israel de Souza
Examinador interno– CCEN/UEPB



Prof^o. Dr. Daniel Duarte Pereira
Examinador externo– CCA/UEPB



Prof^o. Dr. Edson Vicente da Silva
Examinador externo– CC/UFC

*In memoriam a Vovó Maria das Neves
Sem o seu amor e sua dedicação,
Nada na minha vida seria possível*

*À Fábriça, pela compreensão, dedicação e
Amor constantes e pela companhia
Em todos os momentos.*

*Às minhas filhas, Iana Cecília e Laís,
Por serem fontes de inspiração na minha vida.*

*Aos meus irmãos, primos, tios, padrinhos, compadres e amigos
Pela amizade e incentivo.*

*A Luiz Inácio Lula da Silva e Dilma Rousseff, que possibilitaram
uma revolução social no Brasil, em que a educação finalmente se tornou democrática,
com as universidades abrindo as portas às classes menos favorecidas.*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, Nosso Pai maior, que se encontra presente em minha vida, por ter me guiado nos momentos difíceis da realização deste trabalho.

Aos professores Eduardo Viana e Hermes Almeida, que mais que orientadores, foram grandes incentivadores, parceiros e amigos, que de forma ilimitada dedicaram-se à conclusão deste trabalho, além de ter me proporcionado conhecimentos acadêmicos e de vida.

A professora Cristina que desde o início dessa caminhada esteve presente, apoiando, incentivando e nos ajudando de forma comprometida com as questões pedagógicas e administrativas como coordenadora e membro da banca nos seminários teses, qualificação e nesta tese.

Aos professores, Daniel Duarte, Bartolomeu e Cacau por aceitarem contribuir para melhoria do trabalho, que fez a diferença nesta tese final.

À minha família, em especial a minha companheira Fabrícia Teodoro, pelo amor e apoio incondicional e por compreender minha ausência neste período de aprendizado.

Aos meus irmãos, primos, tios, padrinho, compadres e amigos, pela amizade e incentivo ilimitados, e pela confiança depositada em mim ao longo da nossa convivência.

À Universidade Federal da Paraíba (UFPB), em especial ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente- PRODEMA, pela oportunidade de realizar esse Mestrado.

À todos os professores do PRODEMA, em especial aos professores Cacau, Cristina, Eduardo Viana, Berlinda, Chico Pegado e Gustavo, pela confiança e incentivo durante a minha jornada acadêmica.

A FUNCEME e COGEH, pela disponibilidade dos dados ambientais da párea de estudos, que contribuíram decisivamente para a realização deste trabalho.

Aos colegas do PRODEMA (Taysa, Aline, Márcio e André) e aos demais companheiros do Programa pelo companheirismo durante o período de realização do trabalho e a todos que direta ou indiretamente colaboraram para a sua realização.

“A base de toda a sustentabilidade é o desenvolvimento humano que deve contemplar um melhor relacionamento do homem com os semelhantes e a Natureza”.

Nagib Anderáos Neto

RESUMO

A sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú inserida no semiárido cearense apresenta elevado grau de degradação ambiental, ocasionado pelo mau uso do solo e pelo baixo desenvolvimento social e econômico. A falta de planejamento e gestão ambiental tem agravado a desigualdade social e a degradação dos recursos ambientais, principalmente os recursos hídricos. Em função disso, necessita de estudos aprofundados que proporcionem conhecimentos amplos que permitam um desenvolvimento sustentável. Por isso, estabelecer uma proposta metodológica para um planejamento e gestão da sub-bacia através índices de sustentabilidade ambiental integrados pode contribuir para desenvolvimento sustentável da mesma. Os procedimentos metodológicos envolveram uma revisão bibliográfica; levantamento de banco de dados referentes ao tema estudado; aquisição de imagens e mapas base da área de estudo; visitas em campo; elaboração de mapas temáticos como apoio de geotecnologias, utilizando sistemas de informações geográficas – SIG, por meio de *softwares* do livre *Quantum GIS* (QGIS). Foi estabelecido um conjunto de indicadores, que foram divididos em dois grupos. Um grupo com os indicadores socioambientais, subdividido em três dimensões: ambiental, social e econômica. O outro grupo foi composto por indicadores geoambientais, subdividido em sete dimensões: solos, clima, vegetação, geomorfologia, geologia, drenagem e uso da terra. O Índice de Sustentabilidade Ambiental Integrado (ISAI), foi obtida da integração das médias dos Índices de Sustentabilidade Socioambiental (ISSa), a partir dos indicadores das dimensões ambiental, social e econômica com o índice de Sustentabilidade Geoambiental (ISGA), a partir dos indicadores das dimensões solos, clima, vegetação, geomorfologia, geologia, drenagem e uso da terra. Os resultados mostram que os municípios Quixadá, Quixeramobim e Morada Nova apresentaram os melhores índices de Sustentabilidade Ambiental Geral Integrado, apresentando-se com o nível de sustentabilidade “Potencialmente Sustentável”. Com isso, são os que mais influenciam e contribuem para a sustentabilidade da Sub-bacia. Já Monsenhor Tabosa e Mombaça apresentaram os piores índices, sendo categorizados como “Potencialmente Insustentável”. Diante dos resultados, conclui-se que metodologia proposta é simples e eficaz na obtenção de cenários de sustentabilidade ambiental em bacias hidrográficas, por meio de parâmetros e indicadores existentes, capazes de mesurar e representar a atual situação socioeconômica e ambiental dos municípios que compõem a Sub-bacia, podendo contribuir de forma significativa no processo decisório dos gestores e na formulação de políticas públicas capazes de promover o desenvolvimento sustentável da bacia Sub-bacia do rio Banabuiú.

Palavras-chaves: Indicadores Ambientais; Sustentabilidade; Planejamento e Gestão Ambiental.

ABSTRACT

The subbasin of the Banabuiú River, located in the semi-arid region of Ceará, presents a high degree of environmental degradation, caused by poor soil use and low social and economic development. The lack of planning and environmental management has aggravated social inequality and the degradation of environmental resources, especially water resources. As a result, it requires in-depth studies that provide broad knowledge to enable sustainable development. Therefore, establishing a methodological proposal for the planning and management of the Sub-basin through integrated environmental sustainability indexes can contribute to the sustainable development of the Sub-basin. The methodological procedures involved a bibliographic review; survey of databases related to the studied subject; acquisition of images and base maps of the study area; field visits; elaboration of thematic maps as support of geotechnologies, using geographic information systems (GIS), through free Quantum GIS software (QGIS). A set of indicators was established, which were divided into two groups, a group with socio-environmental indicators subdivided into three dimensions: environmental, social and economic. The other group was composed of geoenvironmental indicators, subdivided into seven dimensions: soil, climate, vegetation, geomorphology, geology, drainage and land use. The Integrated Environmental Sustainability Index (ISAI) was derived from the integration of the Socio-Environmental Sustainability Indices (ISSa) averages, based on indicators of the environmental, social and economic dimensions with the Geoenvironmental Sustainability Index (ISGA), based on indicators of soil dimensions, climate, vegetation, geomorphology, geology, drainage and land use. The results show that the Quixadá, Quixeramobim and Morada Nova municipalities presented the best Integrated General Environmental Sustainability indexes, presenting the level of sustainability "Potentially Sustainable". They are the ones that most influence and contribute to the sustainability of the Sub-basin. Monsignor Tabosa and Mombasa, presented the first indexes, being categorized as "Potentially Unsustainable". In view of the results, it is concluded that the proposed methodology is simple and effective in obtaining scenarios of environmental sustainability in watersheds, by means of existing parameters and indicators, able to measure and represent the current socioeconomic and environmental situation of the municipalities that compose the Sub-basin, and can contribute significantly to the decision-making process of managers and the formulation of public policies capable of promoting the sustainable development of the Banabuiú Subbasin basin.

Keywords: Environmental Indicators. Sustainability, River Basin. Ecodinâmica. Planning and Environmental Management and.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
2. OBJETIVOS:	18
2.1. GERAL	18
2.2. ESPECÍFICOS	18
3. HIPÓTESES	18
3.1. PRIMEIRA HIPÓTESE:	18
3.2. SEGUNDA HIPÓTESE:	18
4. REVISÃO DE LITERATURA	19
4.1. ECODINÂMICA DAS PAISAGENS NA SUSTENTABILIDADE DAS UNIDADES GEOAMBIENTAIS	19
4.2. DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E DIMENSÕES DA SUSTENTABILIDADE	20
4.3. ESTRUTURA CONCEITUAL E CARACTERÍSTICAS DOS ÍNDICES E INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL	22
4.4. CONSTRUÇÃO DE SISTEMAS DE INDICADORES E ÍNDICES AMBIENTAIS	24
4.5. ÍNDICES DE SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL INTEGRADA ÀS CONDIÇÕES SOCIOECONÔMICA E GEOAMBIENTAL	26
4.6. INDICADORES E ÍNDICES AMBIENTAIS NA CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL DE BACIAS HIDROGRÁFICAS	29
4.7. VANTAGENS E LIMITAÇÕES DOS INDICADORES E ÍNDICES DE SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL	30
4.8. INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL ALIADO AS TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO E AO SENSORIAMENTO REMOTO	33
4.9. BACIAS HIDROGRÁFICAS COMO UNIDADE DE PLANEJAMENTO PARA A SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL	35
4.10. OS ÍNDICES DE SUSTENTABILIDADE AMBIENTAIS COMO INSTRUMENTOS DE PLANEJAMENTO E GESTÃO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS	38
5. MATERIAL E MÉTODOS	40
5.1. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA	40
5.2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	42
5.2.1 Caracterização geral	43
5.2.2. Seleção dos indicadores	43
5.2.2.1. Indicadores de sustentabilidade socioambiental	44
5.2.2.2. Indicadores de sustentabilidade geoambiental	48
5.2.3. CÁLCULO DOS ÍNDICES INTEGRADOS DE SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL - ISAI	55
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	59
6.1. ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE SOCIOAMBIENTAL DOS MUNICÍPIOS QUE COMPÕEM A SUB-BACIA HIDROGRÁFICADA RIO BANABUIÚ	59

6.1.1. Indicadores de sustentabilidade socioambiental da dimensão ambiental.....	60
6.1.2. Índice de sustentabilidade socioambiental da dimensão ambiental.....	69
6.1.3. Indicadores de sustentabilidade socioambiental da dimensão social.....	72
6.1.4. Índice de sustentabilidade socioambiental da dimensão social	77
6.1.5. Indicadores de sustentabilidade socioambiental da dimensão econômica	80
6.1.6. Índice de sustentabilidade socioambiental da dimensão econômica.....	83
6.1.7. Índice de sustentabilidade socioambiental médio geral da Sub-bacia Hidrográfica do rio Banabuiú	86
6.2. ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE GEOAMBIENTAL DOS MUNICÍPIOS QUE COMPÕEM A SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BANABUIÚ	89
6.2.1. Indicadores de sustentabilidade Geoambiental da dimensão “solos”	89
6.2.2. Índice de Sustentabilidade Geoambiental da dimensão “solos”	96
6.2.3. Indicadores de Sustentabilidade Geoambiental da dimensão “vegetação”	99
6.2.4. Índice de Sustentabilidade Geoambiental da dimensão “vegetação”	106
6.2.5. Indicadores de Sustentabilidade Geoambiental da dimensão clima.....	110
6.2.6. Índice de Sustentabilidade Geoambiental da dimensão “clima”	115
6.2.7. Indicadores de Sustentabilidade Geoambiental da dimensão “Geomorfologia” ..	119
6.2.8. Índice de Sustentabilidade Geoambiental da dimensão Geomorfologia	123
6.2.9. Indicadores de Sustentabilidade Geoambiental da dimensão “Geologia”	127
6.2.10. Índice de Sustentabilidade Geoambiental da dimensão Geologia	131
6.2.11. Indicadores de Sustentabilidade Geoambiental da dimensão “Drenagem”	134
6.2.12. Índice de Sustentabilidade Geoambiental da dimensão Drenagem.....	139
6.2.13. Indicadores de Sustentabilidade Geoambiental da dimensão Uso da terra.....	142
6.2.14. Índice de sustentabilidade Geoambiental da dimensão “Uso da terra”	146
6.2.15 Índice de sustentabilidade Geoambiental médio geral da Sub-bacia hidrográficado rio Banabuiú	149
6.3. ÍNDICES DE SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL INTEGRADOS DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BANABUIÚ	152
7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	158
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	159

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabela 1: Capacidade de acumulação de águas superficiais dos açudes públicos da Sub-bacia Hidrográfica do rio Banabuiú.	40
Tabela 2: Indicadores que compõem o índice de sustentabilidade da dimensão ambiental dos municípios que compõem a Sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.	46
Tabela 3: Indicadores que compõem o índice de sustentabilidade da dimensão social dos municípios que compõem a Sub-bacia hidrográfica do Rio Banabuiú.....	47
Tabela 4: Indicadores para compor o índice de sustentabilidade da dimensão econômica dos municípios que compõem a Sub-bacia Hidrográfica do rio Banabuiú.	48
Tabela 5: Indicadores para compor o índice de sustentabilidade geoambiental na dimensão “solos” dos municípios que compõem a Sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú...	50
Tabela 6: Indicadores para compor o índice de sustentabilidade geoambiental da dimensão “vegetação” dos municípios que compõem a Sub-bacia Hidrográfica do rio Banabuiú.	51
Tabela 7: Indicadores para compor o índice de sustentabilidade geoambiental da dimensão clima dos municípios que compõem a Sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.	52
Tabela 8: Indicadores para compor o índice de sustentabilidade geoambiental da dimensão “geomorfologia” dos municípios que compõem a Sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.	53
Tabela 9: Indicadores para compor o índice de sustentabilidade da dimensão “geologia” dos municípios que compõem a Sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.	53
Tabela 10: Indicadores para compor o índice de sustentabilidade da dimensão drenagem dos municípios que compõem a sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.....	54
Tabela 11: Indicadores para compor o índice de sustentabilidade da dimensão “uso da terra” dos municípios que compõem a Sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.	55
Tabela 12: Valores dos indicadores selecionados para formulação do índice de sustentabilidade socioambiental da dimensão ambiental, da categoria positivos dos municípios que compõem a Sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.	63
Tabela 13: Valores dos indicadores selecionados para formulação do índice de sustentabilidade socioambiental da dimensão ambiental, da categoria negativos dos municípios que compõem a Sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.....	64
Tabela 14: Valores dos indicadores selecionados para formulação do índice de sustentabilidade socioambiental da dimensão social dos municípios que compõem a Sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.	74
Tabela 15: Valores dos parâmetros selecionados para a formulação do índice de sustentabilidade socioambiental da dimensão econômica dos municípios que compõem a Sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.....	82
Tabela 16: Valores dos indicadores (tipos de solos) selecionados para formulação do Índice de Sustentabilidade Geoambiental, da dimensão “solos”, dos municípios que compõem a Sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.....	92
Tabela 17: Valores dos Indicadores selecionados para formulação do Índice de Sustentabilidade Geoambiental da dimensão vegetação dos municípios que compõem a Sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.....	101
Tabela 18: Valores dos indicadores selecionados para formulação do Índice de Sustentabilidade Geoambiental, da dimensão “clima”, dos municípios que compõem a Sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.....	113
Tabela 19: Valores dos indicadores selecionados para formulação do Índice de Sustentabilidade Geoambiental, da dimensão “geomorfologia”, dos municípios que compõem a Sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.....	121

Tabela 20: Valores dos Indicadores selecionados para formulação do Índice de Sustentabilidade Geoambiental, da dimensão “geologia”, dos municípios que compõem a Sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.....	129
Tabela 21: Valores dos Indicadores selecionados para formulação do Índice de Sustentabilidade Geoambiental da dimensão “drenagem” dos municípios que compõem a Sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.....	135
Tabela 22: Valores dos Indicadores selecionados para formulação do Índice de Sustentabilidade Geoambiental, da dimensão “uso da terra”, dos municípios que compõem a Sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.....	143
Quadro 01: Classificação da paisagem em três tipos de meios morfodinâmicos.....	19
Quadro 02: Índices e Desempenho Ambiental.....	58

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização dos municípios que compõem a Sub-bacia Hidrográfica do Rio Banabuiú	Erro! Indicador não definido.
Figura 2: Critérios de escolhas dos indicadores para compor o índice de sustentabilidade Socioambiental dos municípios que compõem a Sub-bacia Hidrográfica do rio Banabuiú.	45
Figura 3: Critérios de escolhas dos indicadores para compor o Índice de Sustentabilidade Geoambiental dos municípios que compõem a Sub-bacia Hidrográfica do rio Banabuiú.	49
Figura 4: Índice da dimensão ambiental dos municípios que compõem a Sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.	70
Figura 5: Níveis de sustentabilidade socioambiental da dimensão ambiental dos municípios que compõem a Sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.	71
Figura 6: Índice da dimensão social dos municípios que compõem a Sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.	77
Figura 7: Níveis de sustentabilidade da dimensão social dos municípios que compõem a Sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.	Erro! Indicador não definido.
Figura 8: Gráfico com índice da dimensão Econômica dos municípios que compõem a Sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.	84
Figura 9: Níveis de sustentabilidade da dimensão econômica dos municípios que compõem a Sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.	85
Figura 10: Índice de sustentabilidade dos municípios que compõem a Sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.	86
Figura 11: Níveis de sustentabilidade socioambiental geral (média das dimensões ambiental, econômica e social) dos municípios que compõem a Sub-bacia do rio Banabuiú.	Erro! Indicador não definido.
Figura 12: Solos dos municípios que compõem a Sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú. .	91
Figura 13: Índice de Sustentabilidade Geoambiental, da dimensão “solos”, dos municípios que compõem a Sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.	97
Figura 14: Níveis de sustentabilidade geoambiental, da dimensão “solos”, dos municípios que compõem a Sub-bacia hidrográficado rio Banabuiú.	98
Figura 15: Vegetação dos municípios que compõem a Sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú	100
Figura 16: Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) / 2010 da Sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú - CE.	105
Figura 17: Índice da dimensão “vegetação” dos municípios que compõem a Sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.	107
Figura 18: Níveis de Sustentabilidade Geoambiental, da dimensão “vegetação”, dos municípios que compõem a Sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.	109
Figura 19: Índice de Sustentabilidade Geoambiental da dimensão “clima” dos municípios que compõem a Sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.	116
Figura 20: Níveis de Sustentabilidade Geoambiental, da dimensão “clima”, dos municípios que compõem a Sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.	118
Figura 21: Geomorfologia dos municípios que compõem a Sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.	122
Figura 22: Índice de Sustentabilidade Geoambiental da dimensão “geomorfologia” dos municípios que compõem a Sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.	124
Figura 23: Níveis de Sustentabilidade Geoambiental, da dimensão “Geomorfologia”, dos municípios que compõem a Sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.	126

Figura 24: Geologia dos municípios que compõem a Sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.	130
Figura 25: Índice de Sustentabilidade Geoambiental da dimensão “geologia” dos municípios que compõem a Sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.	131
Figura 26: Nível de Sustentabilidade Geoambiental, da dimensão “geologia”, dos municípios que compõem a Sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.	133
Figura 27: Drenagem dos municípios que compõem a Sub-bacia hidrográfica do Rio Banabuiú.	136
Figura 28: Índice de Sustentabilidade Geoambiental da dimensão “Drenagem” dos municípios que compõem a Sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.	139
Figura 29: Nível de Sustentabilidade Geoambiental, da dimensão “drenagem”, dos municípios que compõem a Sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.	141
Figura 30: Uso da Terra dos municípios que compõem a Sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.	144
Figura 31: Índice de Sustentabilidade Geoambiental da dimensão “uso da terra” dos municípios que compõem a Sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.	146
Figura 32: Nível de Sustentabilidade Geoambiental da dimensão “uso da terra” dos municípios que compõem a Sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.	148
Figura 33: Índice de sustentabilidade geoambiental dos municípios que compõem a Sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.	150
Figura 34: Níveis de Sustentabilidade Geoambiental (média das dimensões geoambientais) dos municípios que compõem a Sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.	151
Figura 35: Índice de sustentabilidade ambiental integrado dos municípios que compõem a Sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.	154
Figura 36: Níveis de sustentabilidade ambiental geral integrados dos municípios que compõem a Sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.	157

LISTA DE SIGLAS

AAESC	Assessoria de Análise Estatística e Criminal do Estado do Ceará
AIS	Área Integrada de Segurança do Estado do Ceará
CIDS	Centro Internacional de Desenvolvimento Sustentável
COGERH	Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará
CVLI	Crimes Violentos Letais e Intencionais inclui os crimes de Homicídio Doloso, Latrocínio e Lesão
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EF	Índice Pegada Ecológica /Ecological Footprint
EMATERCE	Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Ceará
ESI	Índice de Sustentabilidade Ambiental/ <i>Environmental Sustainability Index</i>
ETO	Evapotranspiração de Referência
ETA	Estação de Tratamento de Água
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
FUNCEME	Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos Governo do Estado do Ceará
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDH-M	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
IQA	Índice de Qualidade das Águas
ISAi	Índices Integrados de Sustentabilidade Ambiental
ISGa	Índice de Sustentabilidade Geocioambiental
ISSa	Sustentabilidade Socioambiental
LANDSAT	Land Remote Sensing Satellite
N total	Nitrogênio Total
NDVI	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada
P total	Fósforo Total
PERH	Plano Estadual de Recursos Hídricos
PIB	Produto Interno Bruto
PNSB	Pesquisa Nacional de Saneamento Básico
SiBCS	Sistema Brasileiro de Classificação de Solos
SIG	Sistemas de Informações Geográficas
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SSPDS	Secretaria de Segurança Pública e Defesa Social do Estado do Ceará

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas os debates e estudos sobre o meio ambiente se intensificaram devido à forma insustentável com que as sociedades vêm se relacionando com o meio onde vivem. Essa relação vem cada dia mais afetando a disponibilidade e a sanidade dos recursos ambientais, bem como o agravamento dos extremos climáticos em diversas regiões do planeta. Atrelado às consequências do desenvolvimento vem o pensamento de que resíduos são decorrências naturais do progresso, como os produtos indesejáveis: detritos. Estes, porém, raramente são descartados da forma correta e acabam sendo despejados, quase sempre, em córregos e aterros abandonados. É o que acontece, por exemplo, nas margens dos leitos dos rios e dos açudes da sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú em Quixadá-CE.

A sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú atualmente se encontra em avançado processo de degradação ambiental, devido à presença de despejo de esgotos domésticos e efluentes industriais, à poluição dos mananciais pelos rebanhos e ao mau uso do solo da área de drenagem. Um dos fatores que agrava tal situação é a falta de saneamento básico nos municípios que compõem a sub-bacia, intensificando a contaminação dos mananciais e dificultando a possibilidade do tratamento das águas poluídas. Com isso, torna-se de fundamental importância a realização de estudos e definições de parâmetros que sejam capazes de retratar a realidade das condições ambientais locais e, com isso, propor indicadores ambientais para as instituições, como prefeituras, comitês de bacias, órgãos estaduais, entre outras, que possam propor alternativas para mudar a atual situação de degradação em que essa região se encontra.

As atividades urbanas desses municípios, associadas aos projetos de irrigação e mau uso do solo nas áreas rurais, tem comprometido a sanidade ambiental da área da bacia, que recebe altas quantidades de resíduos sólidos, gerados principalmente porque são despejados próximo aos rios.

Por outro lado, de uma forma controlada e sustentável, esse precioso líquido pode transformar a vida de comunidades inteiras, uma vez que representa a principal fonte hídrica de alguns distritos. Além disso, recurso de múltiplas aplicações, a água pode ser usada como alternativa para gerar força motriz para as indústrias, para irrigar o plantio e até mesmo para uso doméstico. É o plano de fundo para a geração das fontes de renda das regiões ribeirinhas.

Desse modo, a falta de planejamento e gestão ambiental em áreas de bacias hidrográficas tem agravado a desigualdade social e a degradação dos recursos ambientais, principalmente os recursos hídricos. Por isso, fez-se necessária a criação de recursos de gerenciamento voltados para o manejo da água, fazendo crescer "[...] o valor da bacia hidrográfica como unidade de análise e planejamento ambiental." (NASCIMENTO e VILLAÇA, 2008).

Para Nascimento e Villaça (2008), as bacias possibilitam a integração multidisciplinar entre os distintos métodos de planejamento e gestão, estudo e atividade ambiental. Os autores afirmam, ainda, que "a abordagem por bacia hidrográfica tem várias vantagens [...]". Tais vantagens se baseiam na riqueza de componentes que envolvem essas estruturas. Não existe mais a ideia de compartimentar e privatizar os processos de recuperação das águas poluídas através de métodos tecnológicos.

No entanto, para se obter um planejamento e gestão ambiental na bacia do Banabuiú definiram-se indicadores ambientais como parâmetro para sustentabilidade ambiental. Indicadores consistem em instrumentos de medição, gerando valores que buscam enquadrar-se na realidade ambiental, social e econômica da área a ser estudada. As aplicações de indicadores ambientais têm por objetivo elaborar métodos que avaliem a execução das políticas públicas de meio ambiente e ajudar grupos ou empresas a alcançarem um estado sustentável.

Um indicador ambiental não pode ser definido como a expressão das relações entre ambientes, apenas. Ele deve abranger as esferas sociais e econômicas, pois ambas estão associadas ao convívio do homem com a natureza, uma vez que tudo se interliga. "Para tanto, faz-se necessário que o homem se reconheça como produto do meio, como parte integrante do mundo e do ambiente, dotado de capacidade transformadora, mas que é afetado e depende do meio que o cerca." (MENDES, 2009).

No entanto, devido a múltiplas dimensões quantitativas dos indicadores, faz-se necessária uma sistematização dos indicadores reconfigurando-os em índices, facilitando a interpretação das informações. Quando um conjunto de indicadores tornam índices, é possível comparações entre cada componente ou dimensões, e até entre espaços geográficos.

Para Costa (2013), o conhecimento sobre a construção de índices de sustentabilidade ambiental pode ser um instrumento capaz de orientar o planejamento e gerenciamento do uso racional dos recursos naturais. Esses recursos, quando analisados de forma integrada e tendo áreas de observações e estudos locais e pontuais, podem ser melhor compreendidos em suas mais específicas interações. Com isso, optar por analisar os sistemas ambientais agregando as informações relacionadas à condição econômica, social, ambiental e integralizando com as informações geofísicas um dado local em um determinado momento, oferece uma melhor visão e compreensão dos componentes analisados.

Neste contexto, o espaço geográfico estabelecido como unidade de estudos para efetivação do Índice de Sustentabilidade Ambiental Integrados foram os municípios que compõem a sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú. Os indicadores de cada município foram analisados e comparados e poderão servir como parâmetros para o planejamento e gestão dos

recursos hídricos de cada município, contribuindo, assim, com o planejamento e gestão dos recursos hídricos e de outros componentes ambientais da sub-bacia.

2. OBJETIVOS:

2.1. Geral

Pesquisar as condições socioambientais e geoambientais da sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú e gerar, com o apoio de geotecnologias, um conjunto de índices integrados de sustentabilidade ambiental, capazes de orientar no processo de planejamento e gestão ambiental, contribuindo no processo decisório dos gestores, no sentido de estabelecer o desenvolvimento sustentável para a sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.

2.2. Específicos

- Levantar parâmetros relacionados aos recursos ambientais e à sociedade, utilizando-se de técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto;
- Organizar indicadores relativos aos aspectos socioeconômicos e geoambientais para a sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú com o uso do geoprocessamento;
- Identificar e propor índices de sustentabilidade ambiental para o planejamento e gestão ambiental de sub-bacia Hidrográfica do rio Banabuiú;
- Contribuir para a ampliação de conhecimentos, teóricos e práticos, relativos ao planejamento, gestão e desenvolvimento sustentável de bacias hidrográficas.

3. HIPÓTESES

3.1. Primeira Hipótese:

A sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú não apresenta sustentabilidade ambiental quando analisados os índices de sustentabilidade ambiental integrados de cada município que compõe esta sub-bacia.

3.2. Segunda Hipótese:

Os índices de sustentabilidade ambiental apresentados de forma integrada são mais claros e mais eficazes que de forma individual.

4. REVISÃO DE LITERATURA

4. 1. Ecodinâmica das Paisagens na Sustentabilidade das Unidades Geoambientais

As unidades geoambientais são definidas com base na análise da ecodinâmica propostas por Tricart (1977), que considera a análise em unidades que são definidas pela dinâmica do ambiente e têm repercussões importantes na biocenose, que é o agrupamento de seres vivos ligados por uma dependência recíproca, que se mantém por reprodução de maneira permanente (Amorim & Oliveira, 2007). Para Tricart (1977), essas unidades apresentam um conceito integrado ao de ecossistemas e se baseou no instrumento lógico de sistemas, enfocando as relações mútuas entre os diversos componentes da dinâmica e fluxos de energia e matéria no ambiente. Portanto, diferenciou-se do inventário estático. Tricart (1977) propõe, nessa abordagem, uma classificação levando em consideração a condição de transição entre as unidades de paisagem.

Tricart (1977) propôs uma classificação das unidades geoambientais em três tipos de meios morfodinâmicos, conforme se verifica no quadro a seguir:

Quadro 1: Classificação da paisagem em três tipos de meios morfodinâmicos.

Unidades Geoambientais	Características morfodinâmicas das paisagens (unidades Geoambientais), Tricart (1977)
Meios Estáveis	Caracterizados pelo predomínio da pedogênese sobre a morfogênese. Prevalece a condição de clímax, no qual o modelado evolui lentamente, sendo encontradas em regiões: (i) em que a cobertura vegetal é suficientemente fechada para opor um freio eficaz ao desenvolvimento dos processos mecânicos da morfogênese, (ii) a dissecação moderada, sem incisão violenta dos cursos d'água, sem sapeamentos vigorosos dos rios, vertentes de lenta evolução, e (iii) ausência de manifestações vulcânicas susceptíveis de desencadear paroxismos morfodinâmicos de aspectos mais ou menos catastróficos.
Meios Intergrades ou de Transição	Caracterizam uma passagem gradual entre os meios estáveis e instáveis, ou seja, um balanço entre as interferências pedogenéticas e morfogenéticas. Constata-se uma interferência permanente na relação pedogênese/morfogênese.
Meios Fortemente Instáveis	A morfogênese é o elemento predominante na dinâmica, apresentando características de desequilíbrio ou de instabilidade morfogenética. Neste meio, a degradação antrópica se acrescenta as causas naturais.

Fonte: adaptado de Tricart (1977)

Para Sousa (2010), as unidades geoambientais são delimitadas a partir da análise ambiental integrada, por meio do diagnóstico do meio físico, em que se pretende analisar as variáveis ambientais e as relações entre essas variáveis. Essas análises são realizadas de forma integrada ao ambiente físico e natural, visando compreender:

- o suporte, o envoltório e a cobertura dos tipos de sedimentos versus feições de modelado versus solos;
- tipos de sedimentos versus modelado versus recursos hidrogeológicos;
- condições morfopedológicas x padrões de cobertura vegetal, entre outras.

Após a caracterização do contexto geoambiental da área, recomenda-se organizar um quadro sinóptico dos sistemas ambientais contemplando, sequencialmente, os seguintes aspectos:

- a) características naturais dominantes;
- b) ecodinâmica e vulnerabilidade;
- c) capacidade de suporte;
- d) impactos e riscos de ocupação.

Segundo metodologia aplicada por Sousa (2010), a capacidade de suporte incluiu condições de potencialidades e limitações quanto ao uso dos recursos ambientais. As potencialidades são tratadas como atividades ou condições que tenham exequibilidades de serem praticadas em cada sistema, sendo propícias à implantação de atividades ou infraestruturas. São, assim, consideradas como pontos fortes. Já as limitações ao uso produtivo, sendo o mesmo autor, além das restrições ligadas à legislação ambiental, são identificadas com base na vulnerabilidade e nas deficiências do potencial produtivo dos recursos naturais e no estado de conservação da natureza, em função dos impactos produzidos pela ocupação da terra.

4.2. Desenvolvimento Sustentável e Dimensões da Sustentabilidade

Com a constatação dos excessos cometidos em nome do lucro, amplia-se a ideia de desenvolvimento, indo além da acumulação de recursos materiais.

Com o crescimento populacional e, conseqüentemente, com a busca pelo desenvolvimento econômico, o consumo de água vem crescendo e, em contrapartida, a disponibilidade desse recurso natural passou a ser limitada. Além disso, ao utilizá-la, o homem frequentemente promove a degradação de sua qualidade. Daí decorre que os pontos de encontro entre a demanda e a disponibilidade de água, em quantidade e qualidade adequadas, em muitas situações, estão se aproximando velozmente ou já serão alcançados. (ALMEIDA, 1985).

Com a preocupação de manter os ecossistemas terrestres ecologicamente equilibrados, surgiu, no final dos anos 80, o conceito de desenvolvimento sustentável, que consiste em projetar e exercer ações que levem em conta, simultaneamente, as dimensões sociais, econômicas e ambientais presentes e futuras. Este conceito é definido oficialmente como aquele que atende às necessidades das gerações presentes sem comprometer a possibilidade das gerações futuras atenderem suas próprias necessidades (*WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT*, 1987).

Desta forma, a sustentabilidade se torna multidimensional, apresentando vínculos de interdependência entre as inúmeras dimensões, compondo um esquema complexo, no qual o homem está inserido. A seguir são descritas algumas classificações de diversos autores do conceito sustentabilidade.

No início da década de 90, foram estabelecidas seis dimensões envolvendo o termo sustentabilidade, a saber: ecológica, social, cultural, econômica, política e espacial (SACHS, 1993). De acordo com as ideias desse autor, a sustentabilidade ecológica está relacionada com a preservação dos recursos naturais e com a busca por produtos renováveis. Assim, a sustentabilidade social é a responsável por promover igualdade de acesso a esses recursos. Já a sustentabilidade cultural tem por objetivo equilibrar mudanças e costumes, enquanto que a sustentabilidade econômica busca o controle do lucro. A sustentabilidade política ganha aspectos nacionais e internacionais, na obtenção de projetos que visam à adequação dos direitos humanos e no aperfeiçoamento das gestões ambientais. E, por fim, a sustentabilidade espacial atua na promoção de práticas ambientalmente seguras para regiões ecologicamente frágeis, a fim de assegurar a manutenção do codesenvolvimento e da biodiversidade.

Van Bellen (2002) sugere que a sustentabilidade envolva as dimensões ambiental, social, sustentabilidade e econômica (dimensões idênticas às sugeridas pela Agenda 21). Já Guimarães (2003) inclui as dimensões ecológica, ambiental, demográfica, cultural, social, política e institucional.

Reigota (2007), diz que o conceito de sustentabilidade deve necessariamente incluir as dimensões política, social, cultural e biológica. Para esse autor, a inclusão dessas dimensões exige uma extensiva produção e difusão de conhecimentos e de princípios ético-políticos nos espaços das práticas sociais cotidianas. Por outro lado, segundo o IBGE (2010), a sustentabilidade compreende as dimensões ambiental, social, econômica e institucional.

De acordo com Reis (2010) as dimensões de sustentabilidade ambiental devem ser criadas e analisadas de forma integrada, e não somente com indicadores de qualidade ambiental, mas considerando em conjunto os indicadores sociais e econômicos. Para esse autor, somente nessas

condições que será possível alcançar os objetivos e metas de sustentabilidade, propor um planejamento executável, sem que haja priorização das exigências antrópicas ou natural.

Por fim, recentemente, um trabalho desenvolvido por Silva (2016) estabeleceu um índice de Sustentabilidade Ambiental de Bacias Hidrográficas fazendo uma integração dos seguintes índices: Índice de Sustentabilidade Socioambiental, Índice de Sustentabilidade Ambiental de Bacias Hidrográficas, Índice de Sustentabilidade Ambiental do Solo e Índice de Sustentabilidade Ambiental da Água. Essa integração envolveu parâmetros como indicadores de várias dimensões, como as informações morfométricas, hidrológicas, ambientais, sociais, e política uma Bacia Hidrográfica.

4.3. Estrutura Conceitual e Características dos Índices e Indicadores de Sustentabilidade Ambiental

Os índices consistem em instrumentos de medição, que geram valores que buscam se enquadrar na realidade ambiental, social e econômica da área a ser estudada. E, assim como os indicadores, os índices de sustentabilidade ambiental apresentam grande relevância para a política e para o processo de tomada de decisão. TUNSTALL (1994) aponta cinco funções dos indicadores: avaliar condições e tendências; comparar lugares e situações; avaliar condições e tendências em relação às metas e aos objetivos; prover informações de advertência; e antecipar futuras condições e tendências. No entanto, Gallopin (1996) diz que para ser representativo, o indicador tem que ser considerado importante tanto por quem toma decisões quanto pelo público.

Os indicadores de sustentabilidade se diferenciam dos demais por exigirem uma visão de mundo integrada, necessitando relacionar para tanto, a economia, o meio ambiente e a sociedade de uma dada comunidade (MARANGON et al., 2004). Nas regiões em crise, tais indicadores são de grande importância, uma vez que alertam sobre os perigos antes que eles se agravem, mostrando maneiras de solucioná-los e dando à sociedade a oportunidade de monitorar sistemas considerados, muitas vezes, complexos. Definições mais técnicas adotam indicadores ambientais como valores calculados "a partir de parâmetros dando indicações ou descrevendo o estado de um fenômeno do meio ambiente ou de uma zona geográfica, que tenha alcance superior à informação diretamente dada pelo valor do parâmetro" (Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico, OCDE, 2003).

Para MARANGON et al (2004),

“indicadores são modos de representação (tanto quantitativa quanto qualitativa) de características e

propriedades de uma dada realidade (processos, produtos, organizações, serviços) que têm por finalidade a busca da otimização de tomadas de decisão em relação: à definição do objeto de ação (o que fazer), ao estabelecimento de objetivos (para que fazer), às opções metodológicas (como fazer), à previsão de meios e recursos (com quem e com o que fazer) e à organização da sistemática de avaliação (taxação de valor), tendo como parâmetro a transformação desejada daquela realidade no tempo.”

Os indicadores sociais e ambientais, analisados dentro de uma ótica que os inter-relacionam, permitem uma nova reflexão entre o homem e a natureza mediante a avaliação da qualidade socioambiental (SANTOS, 2005). Esta afirmação reforça a ideia da qualidade ambiental como fruto da interação do homem com seus aspectos econômicos e socioculturais e o ambiente em que vive e que pode ser mensurada através de uma ferramenta indicativa do nível em que se encontra. (ROCHA 2008).

Já o Índice de Desenvolvimento Sustentável foi uma iniciativa do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010) com vistas a espelhar a realidade brasileira nas dimensões ambiental, social, econômica e institucional. Este índice possui uma estrutura análoga à estrutura proposta pela Comissão de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas e a da proposta nos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio.

Para Pereira, Sauer e Fagundes (2016), o índice de Desenvolvimento Sustentável é bastante confiável por ser formulado pelo IBGE, que é uma instituição de pesquisa caracterizada pela idoneidade. Para os autores, este índice se evidencia por possuir quatro diretrizes: equidade, eficiência, adaptabilidade e atenção a gerações futuras.

Relativos aos índices ambientais, os argumentos de Leal, Peixe (2010), demonstram que:

“índice é o conjunto de valores que mede o indicador, atribuindo-lhe valor numérico. O índice tem referência, sendo a medida em relação a um determinado referencial daquele indicador, obtido ou desejado em um determinado caso. Parâmetros são os componentes de cada indicador ou atividade. E ainda, tem-se que as unidades de medidas são dimensões que medem os parâmetros.”

Para Benetti (2006) os índices são construídos para se obter certa redução no volume de dados acerca de variáveis particulares que têm um significado ou transcendência especial. Já os autores Shields, Solar, Martin (2002) consideram que um índice revela o estado de um sistema ou fenômeno, sintetizam diferentes conceitos da realidade empírica, o que, deriva de operações

realizadas com indicadores analíticos e tende a retratar o comportamento médio das dimensões consideradas.

O Índice de Sustentabilidade Ambiental é um método bastante prático, tanto como instrumento analítico, como ferramenta útil para gestores, pesquisadores e demais interessados, entretanto, é destinado a áreas grandes devido à disponibilidade de dados (CORTÉS et al, 2012)

Este índice é um instrumento considerado importante para orientar o planejamento e gerenciamento do uso racional dos recursos naturais, pois possibilita e facilita a tomada de decisão na resolução de conflitos relacionados à sustentabilidade ambiental da área estudada. Além disso, também permite que a comunidade e os atores institucionais com envolvimento na área possam fazer de forma acertada suas intervenções, visto que os índices apresentam de forma sintetizada as informações, que preserva essência dos dados originais, utilizando apenas as variáveis que servem aos objetivos, e não todas as que podem ser medidas ou analisadas (COSTA, 2013).

Além de demonstrar que o índice de sustentabilidade ambiental é de fácil aplicação e é importante nas tomadas de decisões, Costa (2013) diz que esse índice pode contribuir de forma significativa com sistematização de informações sobre áreas inferiores a de um município, bem como trabalhar a variabilidade espacial de todos os dados utilizados para compor o índice, isto é, gera um índice de sustentabilidade ambiental espacial aplicado às bacias hidrográficas.

4.4. Construção de Sistemas de Indicadores e Índices Ambientais

Os índices e os indicadores são excelentes ferramentas para gerenciar as atividades antrópicas, especialmente as relacionadas ao meio ambiente (GAVIAO; LIMA, 2015). Também são importantes instrumentos utilizados no cotidiano dos seres humanos, uma vez que servem para sinalizar e alertar sobre alterações em sua saúde, finanças, entre outras (SILVA, 2016).

Para identificar e gerar indicadores de sustentabilidade utiliza-se sistemas que atuam em distintas dimensões, visando medir o grau de sustentabilidade do desenvolvimento. De acordo com Rabelo (2008), “como os indicadores precisam estar contextualizados quanto ao que se pretende avaliar, há necessidade de um conhecimento do sistema no qual estão inseridos, dos subsistemas que o mantêm e por ele são mantidos”.

Para Hammond et al. (1995), os indicadores de sustentabilidade representam a fonte da origem da informação e seu processo de formulação, com uma sequência piramidal, na qual sua base contempla a transformação de dados primários em dados analisados, depois em indicadores e, finalmente, em índices.

Segundo Van Bellen (2002), os indicadores e os índices têm funções distintas. Este autor parte da premissa que, a partir de certo nível de agregação ou percepção, os indicadores podem ser definidos como variáveis individuais ou como uma variável, que é função de outras variáveis. Neste sentido, considera que a função dos indicadores e dos índices é estabelecida da seguinte forma:

- a) simples como uma relação que mede a variação da variável em relação a uma base específica;
- b) um índice, um número simples que é uma função simplificada de duas ou mais variáveis ou;
- c) complexa, como o resultado de um grande modelo de simulação.

Para Laura (2004), as duas as propostas apresentadas são concepções que se limitam apenas a ajudar a organizar e agrupar dados e indicadores, não sendo suficientes para formular os próprios indicadores ou mesmo índices.

Porém cabe ao pesquisador escolher os melhores indicadores e/ou índices, adaptando-os quando preciso, para que cumpram seu objetivo: registrar, da forma mais fiel, a realidade. Feito isso, para obter uma visão sistêmica que facilite a aplicação, faz-se necessário o uso de uma sequência metodológica. Rabelo (2008) adota oito passos que, juntos, tornam didática a busca pela sustentabilidade:

- **Passo 1:** Definição e caracterização do objeto de estudo;
- **Passo 2:** Contextualização da relação sociedade-natureza - Identificação dos fatores específicos necessários para a promoção do desenvolvimento sustentável da atividade ou comunidade em questão, a partir de entrevistas a especialistas e atores envolvidos (empresários, produtores, empregados, moradores etc) e ampla revisão bibliográfica. Esta fase tem por objetivo evitar a seleção de indicadores de baixa relevância e a omissão de indicadores importantes que podem levar à subestimação dos resultados;
- **Passo 3:** Definição dos indicadores de sustentabilidade para o estudo a partir dos critérios: possibilidade de obtenção, confiabilidade das informações, possibilidade de quantificação, baixa complexidade, reconhecimento científico, de tal forma que se aproximem o máximo possível da realidade local. É importante ressaltar que, por envolver uma análise de uma atividade específica ou pequena comunidade, o sistema de indicadores em foco será formado a partir de dados primários, ou seja, obtidos diretamente pelo próprio pesquisador;
- **Passo 4:** Classificação dos indicadores selecionados segundo o escopo - social, econômica, ambiental e institucional -, o porte e estágio de vida em que se encontra o projeto;

- **Passo 5:** Elaboração e aplicação de um pré-questionário para coleta dos dados que permitirão a obtenção dos indicadores. Deve-se atribuir escores às respostas do questionário para tornar possível a mensuração. A aplicação do pré-questionário para identificação de novos itens relevantes ao estudo ou exclusão de outros, conforme realidade observada na comunidade;
- **Passo 6:** Elaboração e aplicação do questionário final. No questionário, além dos aspectos relativos à análise da sustentabilidade, devem existir formulações que permitam analisar qualitativamente o nível de desenvolvimento sustentável existente no objeto de estudo;
- **Passo 7:** Cálculo do índice de sustentabilidade e conhecimento do seu grau de sustentabilidade para a possibilidade da geração de um cenário que inclua os impactos gerados sobre e para o subsistema meio ambiente humano, isto é, conhecimento dos limites do desenvolvimento sustentável;
- **Passo 8:** Sugestões de “opções respostas” que possam permitir a busca da sustentabilidade.

No entanto, mesmo tendo vários Sistemas de Indicadores e Índices Ambientais, Van Bellen (2002) afirma que a maioria dos sistemas de indicadores foram criados para atender uma demanda ou necessidade específica e se apresentam com uma relativa importância dentro do contexto do desenvolvimento sustentável. Ainda de acordo com o autor, existe a necessidade imperativa de utilizar sistemas interligados, indicadores inter-relacionados ou de diferentes estados de agregação, para, conforme Costa (2013), se trabalhar com a complexa realidade do desenvolvimento sustentável.

Para se estabelecer um sistema de indicadores e índices ambientais, deve-se necessariamente escolher as prioridades, relacionando-as à utilização de critérios adequados. Para Miranda e Teixeira, (2004), esses sistemas devem ser estabelecidos como ferramenta de apoio e de avaliação nas tomadas de decisão, que sejam capazes de avaliar e monitorar as tendências de desenvolvimento sustentável, o que possibilita a construção de metas para a melhoria dos sistemas ambientais estudados. Isto ocorre porque esses sistemas simplificam o complexo, que é a interação entre a sociedade e a natureza, e possibilitam a compreensão de realidades complexas (GAVIÃO; LIMA, 2015).

4.5. Índices de Sustentabilidade Ambiental Integrada às Condições Socioeconômica e Geoambiental

A necessidade de se produzirem índices de sustentabilidade ambientais se deve à interligação da dinâmica ecológica ao desenvolvimento econômico e social no planejamento e nas ações dos governos, já que o meio ambiente e seus recursos, embora sendo essenciais a

nossa existência são vistos desvinculados do crescimento econômico (MOTTA 1996 apud BESSA Jr, MULLER 2000).

Neste sentido, somente será possível alcançar as metas de sustentabilidade, propondo um planejamento executável, sem que haja priorização das exigências antrópicas ou naturais (REIS, 2010). Para isto, é fundamental estabelecer e fazer de métodos que agreguem informações de todas as dimensões da sustentabilidade, criando e analisando não somente indicadores de qualidade ambiental, mas também considerando em conjunto os indicadores sociais e econômicos (COSTA, 2013). Desse modo, entende-se que a criação desses métodos integrados é uma peça fundamental na construção de indicadores de qualidade ambiental, mas que, no entanto, somente a determinação desses parâmetros não é suficiente para avaliar o grau de sustentabilidade da exploração de um ecossistema.

As aplicações de indicadores ambientais perpassam, necessariamente, pela criação de métodos que avaliem a execução das políticas públicas de meio ambiente e ajudem as organizações públicas e privadas a alcançarem um estado sustentável, através de tomadas de decisões, com auxílio de indicadores (SILVA; LIMA, 2017).

A adoção de índices e indicadores de sustentabilidade é uma ferramenta que pode, de forma eficaz, auxiliar no processo decisório e no gerenciamento dos recursos ambientais, uma vez que simplifica o complexo sistema que é a interação entre a sociedade e a natureza, possibilitando a compreensão de realidades complexas (ARAUJO; CARVALHO; CASTRO, 2013; GAVIÃO; LIMA, 2015, SILVA 2016).

Neste contexto Gonçalves (2009) reforça a necessidade de articular os componentes do ambiente em sistema de informações que considere os componentes ambientais, como meio físico, antrópico e sócioeconômico, e, com isso, possibilitar o monitoramento das ações do homem sobre o ambiente e suas mais diversas relações.

Para Gomes e Malheiros (2012), os índices e indicadores podem ser ambientais, econômicos, sociais ou de sustentabilidade e incorporam os aspectos ambientais, econômicos e sociais, além do político-institucional. Ao considerar a dimensão ambiental no mesmo patamar das dimensões social e econômica, os índices e indicadores de sustentabilidade passam a julgar o desenvolvimento como um processo de crescimento que valoriza os recursos naturais como insumos essenciais da produção econômica (TANNURI; VAN BELLEN, 2014).

Para Khanna (2000), um índice pode ser considerado como um valor agregado final de todo um procedimento analítico no qual se utilizam, inclusive, indicadores como variáveis que o compõem. Além disso, um determinado índice pode ser utilizado como componente de outro índice.

Com isso, cada índice tem sua relevância para determinada dimensão, sendo necessário estabelecer o grau de importância através de pesos. Isso torna o índice subjetivo e, por isso, nem sempre expressa a verdadeira realidade porque o índice pode não capturar todas as faces de uma situação, pois quando se considera o aspecto ambiental, muitas dessas características não podem ser mensuradas em valores monetários (GAVIÃ E LIMA, 2015).

A integração de índices de sustentabilidade ambiental envolvendo diferentes dimensões e aplicada à gestão da bacia hidrográfica já são desenvolvidos para diferentes regiões, a saber:

Carvalho et al. (2011) buscaram a sistematização de indicadores socioeconômicos e de gestão ambiental referentes aos municípios que compõem a área da bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró (RN). Esses indicadores possibilitam um acompanhamento integrado da situação referente à pressão socioeconômica e ao incremento da gestão ambiental municipal através do uso dos mapas temáticos, porém, não enfoca variáveis ambientais cruciais para análise de uma bacia hidrográfica como a qualidade do solo e da água

Já Rocha; Rego; Santos (2010) fizeram uma adaptação da metodologia proposta pelo PNUMA/UNESCO em 1987 e desenvolveram um Índice de Salubridade Ambiental aplicado a gestão da Bacia Hidrográfica do rio Jiquiriça no Estado da Bahia. Segundo Silva (2016), este índice agregou os indicadores de abastecimento de água, esgoto sanitário, resíduos sólidos e socioeconômicos, em que retrataram de forma singular, vários aspectos socioambientais e geoambientais, pertinentes e indispensáveis ao estudo da região.

No entanto, devido à integração de diversos índices ser um tanto complexa em sua concepção e elaboração, Magalhães Júnior (2007) estabelece a necessidade do envolvimento de algumas etapas no seu processo de construção:

- a) Identificação dos fatores constituintes (dimensões e indicadores);
- b) Ponderação de pesos dos fatores constituintes;
- c) Padronização das unidades de medida das variáveis e indicadores que compõem as dimensões temáticas.
- d) Agregação: elaboração de índice a partir da adição, multiplicação ou uso de funções e;
- e) Enquadramento dos valores obtidos.

No processo de construção de índices de sustentabilidade ambiental, deve-se levar em consideração um método que atenda as especificidades de cada área de estudo, pois, seja qual for o método a ser utilizado, há necessidade de adequá-lo a escala do estudo, para que os índices apresentem um bom diagnóstico e sirvam como norteadores de políticas públicas, programas e projetos eficazes Cortés et al. (2012).

Por fim, Silva (2016), em seu estudo realizado sobre “Índice espacial de sustentabilidade ambiental aplicado a bacias hidrográficas” conclui que o Índice de Sustentabilidade Socioambiental é uma importante ferramenta que provém da agregação de dois indicadores que permitem interpretar numericamente a realidade da Bacia Hidrográfica do Rio Una, a partir de uma óptica socioambiental. Neste estudo o autor integrou informações sociais, econômicas e ambientais, em que analisou o quanto sustentável é essa unidade de gestão territorial.

4.6. Indicadores e Índices Ambientais na Caracterização Ambiental de Bacias Hidrográficas

Para a caracterização ambiental de uma bacia hidrográfica é fundamental compreendê-la como unidade de observação e intervenção, pois, para a elaboração e aplicação de um plano de gestão eficaz, deve-se necessariamente obter o máximo de dados possíveis sobre a realidade pesquisada e isso pode ser viabilizado e agilizado através de instrumentais (OLIVEIRA et al, 2007). De acordo com as ideias do autor, o uso de indicadores ou índices “é possível, uma vez que estes proporcionam a aquisição, a análise e a integração dos dados, gerando informações que conduzem ao entendimento e conexão dos fragmentos da realidade, permitindo assim uma aproximação do conjunto da realidade pesquisada”.

Para Aquino e Pinto (2003): “Na bacia hidrográfica a cobertura pedológica é particularmente importante por [...] conter significativa parcela de água advinda das precipitações [...]. Desta forma, a análise integrada de dados do meio físico e antrópico possibilita caracterizar áreas de potenciais e riscos à degradação ambiental. Segundo eles, para concretizar essa avaliação dos parâmetros biofísicos, faz-se necessária à caracterização de indicadores ambientais da área de estudo.

Já Xavier e Teixeira (2007) afirmam que quando fatores de diferentes aspectos ambientais são agregados e integralizados, representam valores bastante importantes no que tange à manutenção e preservação dos recursos hídricos, pois estão relacionados com a qualidade e quantidade de água em nascente e áreas de escassez hídrica.

Segundo Araújo, Carvalho e Castro, (2013), os índices e indicadores de sustentabilidade são bastante úteis na gestão ambiental, pois podem auxiliar para medir, calibrar e monitorar o progresso em relação à metas sustentáveis pretendidas. Além disso, os mesmos autores mostram que esses índices e indicadores têm a capacidade de alertar sobre oscilações do compartimento ambiental de forma que danos mais graves podem ser prevenidos, além de funcionarem como instrumentos de comunicação de ideias, pensamentos e valores.

A caracterização ambiental, obtida como através da formulação índices e indicadores ambientais, focados na análise de sistemas hídricos, baseados na Teoria de Apoio à Decisão, pode contribuir para a melhoria da gestão desses recursos (CARVALHO E CURI, 2013).

Para Macêdo e Cândido (2011), na dimensão ambiental, no índice de sustentabilidade, deve-se almejar a garantia dos recursos naturais, a correta utilização e aperfeiçoamento do seu uso, bem como a degradação do ambiente, considerando claramente que “sustentável” implica a consideração e garantia dos mesmos recursos às gerações futuras.

Já Costa (2013) obteve o indicador de fragilidade ambiental emergente que permite medir a influência das atividades humanas no equilíbrio e na qualidade natural do meio, uma vez que confronta vários aspectos geoambientais, como as informações relacionadas à pedologia, de declividade e de uso do solo da área de estudo. Para o autor, essas informações de como indicar o índice atuam como ferramenta auxiliadora na identificação das áreas com potencial de desestabilização e degradação do ambiente em decorrência de processos erosivos, proporcionando, assim, a avaliação do grau de sustentabilidade dessas atividades em uma dada localidade.

Este índice, por ser concebido de maneira integrada, possui vários aspectos geoambientais. Um deles, chamado único número, foi hierarquizado como o mais importante na dimensão a qual ele foi arranjado e se destacou frente aos demais uma vez que contabiliza, de maneira integrada, os fatores de declividade, tipo de solo e uso da terra em um único número (COSTA, 2013). Este índice se torna importante para a tomada de decisões para orientar e ordenar de forma sustentável ocupação e o uso do solo em bacias hidrográficas e deve ser feito baseado em um planejamento que considere as características e a vulnerabilidades dessas áreas, de modo a garantir a sustentabilidade das mesmas (LUZ, 2009).

Para Silva (2016), o interesse por geração de índices de sustentabilidade aplicados aos sistemas hídricos tem sido fortemente influenciado pela Comissão de Desenvolvimento Sustentável (CDS) das Nações Unidas, bem como pela Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD), associado ao contexto global da degradação dos recursos hídricos (CARVALHO; CURI, 2013).

4.7. Vantagens e Limitações dos Indicadores e índices de Sustentabilidade Ambiental

Na própria *Agenda 21*, formulada durante a Rio-92, encontra-se descrita a importância do desenvolvimento de indicadores ambientais. Com o avanço dos índices de degradação natural, fez-se necessário o surgimento de padrões que servissem de modelo para mensurar o progresso da humanidade em direção ao futuro sustentável.

Para Bellen (2006), “é necessário trabalhar com uma unidade para medir a proximidade em relação a esse objetivo. Ela deve ser suficientemente ampla para englobar uma gama de fatores que estão relacionados com a sustentabilidade, como os ecológicos, econômicos, sociais, culturais, institucionais e outros.” Essas ferramentas de avaliação são úteis para aqueles que precisam tomar as rédeas do desenvolvimento, uma vez que podem ser utilizadas na função de planejamento para a criação de políticas públicas.

A seguir são expostos exemplos de funções dos indicadores adotados por Bellen (2006):

- função analítica (ajudam a interpretar os dados dentro de um sistema coerente);
- função de comunicação (tornam os tomadores de decisão familiarizados com os conceitos e os métodos envolvidos com a sustentabilidade);
- função de aviso mobilização (ajudam os administradores a colocar os mecanismos de uma forma pública); e
- função de coordenação (integra dados de diferentes áreas, é factível tanto em termos de orçamento quanto em termos e recursos e é aberto à população).

Os indicadores e os índices os são projetados para simplificar a informação sobre fenômenos complexos de modo a melhorar a comunicação. Segundo Ramos, (1997) podem ser aplicados em uma série de situações problemas como:

- a) atribuição de recursos;
- b) classificação de locais;
- c) cumprimento de normas legais;
- d) análise de tendências;
- e) informação ao público;
- f) investigação científica.

No mesmo artigo, a OCDE, citada por Ramos (1997), apresenta quatro grandes grupos de aplicações de indicadores:

- (i) avaliação do funcionamento dos sistemas ambientais;
- (ii) integração das preocupações ambientais nas políticas sectoriais;
- (iii) contabilidade ambiental;
- (iv) relato do estado do ambiente.

Segundo Oliveira (2003),

Os indicadores medem aspectos qualitativos e/ou quantitativos relativos ao meio ambiente, à estrutura, aos processos e aos resultados.

Um indicador pode ser uma taxa ou coeficiente, um índice, um número absoluto ou um fato.

Taxa/coeficiente é o número de vezes que um evento ocorreu dividido pelo número de vezes que ele poderia ter ocorrido, multiplicado por uma base e definido no tempo e no espaço.

Índice é a razão entre dois números ou a razão entre determinados valores.

Como é possível constatar, indicador e índice são termos empregados, na maioria das vezes, como sinônimos e em outras vezes com significados distintos, seguindo a tendência atual.

Ainda Siche et al. (2007) destacam a existência de uma certa confusão sobre o significado de índice e indicador, são muitas vezes, utilizados como sinônimos. De acordo com os autores, essa utilização é empregada de forma equivocada e errônea. Porém, para eles a diferença está em que um índice é o valor agregado final de todo um procedimento de cálculo em que se utilizam, inclusive, indicadores como variáveis que o compõem. Nesse caso, um indicador é apenas uma componente de um sistema principal, o índice (COSTA 2013).

Além disso, assim como existem inúmeras vantagens, existem também diversos pontos negativos na utilização de indicadores. Bossel (1999) argumenta que “um dos sérios limitantes de indicadores de sustentabilidade é a perda da informação vital” e “critica a abordagem que procura agregar toda a informação em apenas um índice. Na vida real, segundo ele, é necessário mais do que um indicador para capturar os aspectos mais importantes de uma situação. Um indicador simples não é capaz de mostrar toda a realidade”.

Outro exemplo negativo referente à pobreza das informações é a possibilidade de ambivalência, a qual permite interpretações equivocadas. Ainda de acordo com Bellen (2006), existe, também, o problema da “mensuração do que é mensurável mais do que a medição do que é realmente importante, como exemplo, receitas em vez de qualidade de vida”.

Siche et al. (2007) também apresentam algumas limitações relacionadas ao uso de índices e indicadores de sustentabilidade, a saber:

- as dificuldades na definição de expressões matemáticas que melhor traduzem os parâmetros selecionados;
- perda de informação nos processos de junção dos dados; diferentes critérios na definição dos limites de variação; e
- complexidade nos cálculos para chegar ao índice final

Para Gavião e Lima (2015), ao obter um índice subjetivo nem sempre se tem a garantia de que o mesmo representa de forma verdadeira realidade, pois um índice pode não capturar todas as faces de uma situação, uma vez que, quando se considera o aspecto ambiental, muitas dessas características não podem ser expressas como, por exemplo, em valores monetários.

4.8. Indicadores de Sustentabilidade Ambiental Aliado as Técnicas de Geoprocessamento e ao Sensoriamento Remoto

O termo “sustentável”, atualmente muito utilizado, vem do latim *sustentare* e significa entre outras coisas: sustentar, suportar, conservar em bom estado. Sustentabilidade é uma característica ou condição de um processo ou de um sistema que permite sua permanência, em certo nível, por um determinado tempo.

Surge na Conferência Mundial sobre o Meio Ambiente - Rio 92 a ideia de se desenvolver indicadores de sustentabilidade. Posteriormente, contribuindo para tal, desenvolvem-se o índice Pegada Ecológica ou EF (do inglês *Ecological Footprint*) e o Índice de Sustentabilidade Ambiental ou ESI (do inglês *Environmental Sustainability Index*).

Segundo MITCHELL (1996, apud SICHE et al., 2007) “indicador é uma ferramenta que permite a obtenção de informações sobre uma dada realidade”. Já Mueller, Torres e Morais (1997) dizem que “um indicador pode ser um dado individual ou um agregado de informações, sendo que um bom indicador deve conter os seguintes atributos: simples de entender; quantificação estatística e lógica coerente e comunicar eficientemente o estado do fenômeno observado.”

Para OTT (1978 apud BESSA Jr, MULLER 2000), “um indicador é um meio encontrado para reduzir uma ampla qualidade de dados à sua forma mais simples, retendo o significado essencial do que está sendo perguntado sobre o dado”. Desse modo, permite uma compreensão detida sobre vários aspectos do meio, através da qual se pode elaborar estratégias de atuação sobre o quesito que se deseja.

A necessidade de se produzirem indicadores ambientais se deve a interligação entre a dinâmica ecológica e o desenvolvimento econômico e social no planejamento e nas ações dos governos, já que o meio ambiente e seus recursos, embora sendo essenciais a nossa existência, são vistos desvinculados do crescimento econômico (MOTTA 1996 apud BESSA Jr, MULLER 2000).

Dada a importância da aplicação do conceito de sustentabilidade para a continuação da vida humana e a necessidade de se encontrar caminhos para alcançar esse objetivo, surgem importantes aliados: as técnicas de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto.

O Geoprocessamento de acordo Câmara e Medeiros (1996) pode ser entendido como técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento de informações geográficas, tais como imagens de satélites, que podem ser utilizadas em diversas áreas através de coleta e de tratamento de informações espaciais.

Já o Sensoriamento Remoto, segundo LEITE et al (2012), é a “técnica que compõe as geotecnologias” e “surgiu com a finalidade de monitorar determinado espaço à distância, o que possibilita uma maior eficácia em estudos ambientais”. É também “uma tecnologia para a captação de informações de um alvo, através da radiação eletromagnética, gerada por fontes naturais ou artificiais.” Essas tecnologias estão sendo muito utilizadas em diversos estudos referentes à gestão Ambiental, pois permitem uma visão ampla do objeto em estudo.

Atualmente, encontram-se disponíveis inúmeros *softwares* com especificidades e aplicabilidades determinantes, capazes de auxiliar nos trabalhos de pesquisa e gestão dos recursos. Necessitam, porém, da alimentação de dados primários os quais desencadearão os cálculos.

Para Paula, Cabral e Martins (2012), as técnicas de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto associadas são indispensáveis para obtenção de informações da superfície terrestre, pois constituem um conjunto de ferramentas aplicáveis em planejamentos. Esses autores evidenciam que a confiabilidade e a rapidez desses processos, principalmente do sensoriamento, o qual permite uma maior facilidade na aquisição dos dados e, conseqüentemente, é grande importância para o mapeamento de uso e ocupação do solo numa determinada região.

Em um trabalho realizado na bacia hidrográfica da UHE Caçu – GO, Paula, Cabral e Martins (2012) concluem que o uso de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento permitiu um análise do uso e ocupação da terra, o que possibilitou uma visão holística da área de estudo.

A metodologia de análise, de classificação e de espacialização de indicadores através do uso de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento, tendo como recorte territorial as bacias hidrográficas, pode ser um valioso instrumento de planejamento ambiental e avaliação de políticas públicas, apresentando proposta consolidada de informações para a formulação de indicadores de sustentabilidade ambiental que refletem a qualidade dos recursos hídricos (LEAL; PEIXE, (2010).

Marangon (2004) afirma que “A inter-relação dos parâmetros e indicadores evidencia que dados aparentemente desvinculados, podem estar associados, potencializando uma reação em cadeia que caracteriza o círculo vicioso da problemática local”. Em outras palavras, “o

problema ambiental ocorre, em grande parte, como consequência da precária situação socioeconômica da população que os agrava e vice-versa”.

Esses parâmetros de degradação ambiental podem ser obtidos através de imagens de satélites, áreas, com informações atualizadas, sem em formato digital, que permitem estudos de extensas a necessidade de coleta de dados em campo (SOUZA, RIBEIRO E CARNEIRO, 2009). Para esses autores, essa facilidade só é possível devido à existência das técnicas de geoprocessamento e dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), que são o processamento digital de imagens.

O uso do geoprocessamento e dos e os SIGs, associados ao sensoriamento remoto constitui uma ferramenta de alto potencial para a integração de análises e interpretação de diferentes componentes e aspectos de um sistema ambiental, permitindo a elaboração de vários instrumentos e propostas para o manejo e gerenciamento ambiental, com base no cruzamento de diferentes planos de informação espacial (ISAIAS, 2008). Essas técnicas, quando usadas de forma conjunta, tornam-se de grande importância para os estudos sobre impactos e origens de problemas de qualidade ambiental, por facilitar o mapeamento do uso e ocupação do solo e a parametrização das bacias hidrográficas (FONSECA E ZEILHOFER, 2007).

O geoprocessamento é utilizado em diversas pesquisas voltadas para a obtenção de parâmetros e formulação de índices e indicadores ambientais. Estudos realizados por Campos et al. (2015) e Ferreira; Moura; Castro (2015) utilizaram técnicas de geoprocessamento na caracterização aspectos geoambientais em uma bacia hidrográfica e obtiveram como parâmetros a morfométrica da bacia, visando a preservação, racionalização do seu uso e recuperação ambiental, utilizando essas informações para auxiliar no gerenciamento e planejamento de seus recursos hídricos.

Por fim, Silva (2016) ressalta a importância do desenvolvimento de metodologias alicerçadas na quantificação e qualificação dos sistemas de manejo e uso do solo para exprimir a sustentabilidade de bacias hidrográficas através de um índice que utiliza técnicas de geoprocessamento e modelagem matemática ambiental.

4.9. Bacias Hidrográficas como Unidade de Planejamento para a Sustentabilidade Ambiental

Há muitos anos, a carência de água vem se agravando em virtude da desigualdade social e das falhas na gestão e usos sustentáveis dos recursos naturais. Desse modo, fez-se necessária a criação de recursos de gerenciamento voltados para o manejo da água, fazendo crescer "[...]

o valor da bacia hidrográfica como unidade de análise e planejamento ambiental" (NASCIMENTO, VILLAÇA, 2008).

Segundo Reschilian e Bevilacqua (2012), "essa visão de planejamento surge a partir do século XX, seguindo uma tendência mundial, quando entram na pauta dos debates políticos, econômico e social, as questões relativas ao meio ambiente e seu arcabouço jurídico e institucional." A consolidação dessa nova forma de gerenciamento se deve ao fato de que, além de representar um sistema natural bem delimitado geograficamente, constitui-se em uma unidade territorial de fácil reconhecimento e de caracterização bem definida, visto que "não há qualquer área de terra, por menor que seja, que não se integre a uma bacia hidrográfica e, quando o problema central é água, a solução deve estar estreitamente ligada ao seu manejo e manutenção" (SANTOS, 2004).

A adoção da bacia hidrográfica como uma unidade básica para estudos ambientais e trabalhos de planejamento é decorrente, principalmente, das características biogeofísicas desta unidade, as quais apresentam sistemas ecológicos e hidrológicos coesos (PIRES; SANTOS, 1995).

Na opinião de Quinteiro (1997), o planejamento dos recursos naturais, em termos de sustentabilidade, requer inicialmente a organização e a disponibilização de informações sobre o ambiente. Aspectos bióticos e abióticos dispostos nos ecossistemas determinam os níveis de preservação ambiental e a capacidade produtiva da terra.

Segundo Mota (1988) e Lima (1986), a bacia hidrográfica tem que ser considerada como uma unidade quando se deseja a preservação dos recursos hídricos, já que as atividades desenvolvidas no seu interior têm influência sobre a qualidade da água. O disciplinamento do uso e da ocupação dos solos da bacia hidrográfica é o meio mais eficiente de controle dos recursos hídricos que a integram.

O planejamento e gerenciamento de uma bacia hidrográfica requerem a incorporação de todos os recursos ambientais e não apenas o hídrico. Requer também a adoção de uma abordagem que integre os aspectos ambientais, sociais, econômicos e políticos e a inclusão dos objetivos de qualidade ambiental para a obtenção do aumento do potencial produtivo com o mínimo de impactos e riscos ambientais (LORANDI; CANÇADO, 2002).

Para Nascimento e Villaça (2008), as bacias possibilitam a integração multidisciplinar entre os distintos métodos de planejamento e gestão, estudo e atividade ambiental. Os autores afirmam, ainda, que "a abordagem por bacia hidrográfica tem várias vantagens [...]". Tais vantagens se baseiam na riqueza de componentes que envolvem essas estruturas. Não existe mais a ideia de compartimentar e privatizar os processos de recuperação das águas poluídas

através de métodos tecnológicos. Agora, seu gerenciamento possibilita a participação das populações ribeirinhas, estimulando a prática da educação ambiental e sanitária, traçando relações das fontes hídricas naturais às torneiras das casas, envolvendo, assim, todo o sistema.

Ainda segundo Nascimento e Villaça (2008), "para que a gestão dos recursos hídricos tenha um resultado efetivo, é necessário que tenha um monitoramento adequado, com capacidade de identificar e apontar possíveis locais sujeitos ou não a contaminação, poluição, erosão ou outros danos ambientais". Além disso, "o monitoramento deve dar indicações seguras sobre o que conservar e qual o custo dessa conservação".

Dessa maneira, ainda segundo os autores acima, ficam claros os benefícios que envolvem esse novo conjunto de planejamento, uma vez que "promovem a participação de usuários e organização institucional e a implantação de tecnologias diferenciadas, avançadas (ecotecnologias) e de baixo custo".

O planejamento e a gestão ambiental devem envolver a bacia hidrográfica como unidade de gestão territorial e de pesquisa de forma integrada com processos ambientais (COSTA, 2013). Essa interação perpassa pelos estudos ambientais de todos os componentes pertencentes ambientais como geologia, geomorfologia, cobertura vegetal, clima e rios estão integrados e interligados e, portanto, qualquer alteração nesses componentes pode impactar esse ambiente (FAUSTINO; RAMOS SILVA, 2014).

Para Costa (2013), para que o planejamento e o gerenciamento nas bacias hidrográficas sejam eficazes, faz-se necessário estudá-las compreendendo melhor os fatores intervenientes na sua degradação. Para o autor, "o monitoramento da água e o levantamento do uso e ocupação do solo apresentam-se como ferramentas de grande relevância nesse processo, auxiliando no melhor entendimento da dinâmica que ocorre em uma bacia hidrográfica, sobretudo aquela sob influência antrópica".

Para Silva (2016), os índices e indicadores são ferramentas muito úteis em processos de gestão, portanto a geração de um sistema de indicadores e índices para bacias hidrográficas é um importante avanço na gestão dessa unidade de planejamento.

A bacia hidrográfica como unidade de planejamento, já foi consolidada e, inclusive, determinada pela Lei 9.433/97 que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. No entanto, é notória a dificuldade de se obter parâmetros e informações socioambientais de forma sistêmica, considerando apenas os limites geofísicos da bacia. Neste sentido, Carvalho, Kelting e Silva (2011) sugerem sistematizar indicadores socioeconômicos e de gestão ambiental referentes aos municípios que compõem a área da bacia hidrográfica. Isso porque, segundo os autores, os indicadores possibilitam acompanhar de forma integrada a situação referente à

pressão socioeconômica e ao incremento da gestão ambiental municipal através do uso dos mapas temáticos, como também possibilita uma visualização espacial da situação geral dos municípios.

No entanto, Silva (2016) gerou vários índices de sustentabilidade ambiental a partir da formulação de dados que variam espacialmente e estavam disponíveis em uma escala inferior à dos limites administrativos dos municípios. Para este autor, o índice traz como contribuição científica uma revisão dos dados e informações que podem ser trabalhados em escala inferior à de um município.

4.10. Os Índices de Sustentabilidade Ambientais como Instrumentos de Planejamento e Gestão de Bacias Hidrográficas

Utilizados para medição e comparação de dados reais e de referência, os indicadores ambientais permitem "um grau maior de objetividade e uma sistematização da informação, e por facilitarem o monitoramento e a avaliação periódica, têm adquirido crescente expressão, sendo particularmente interessantes para situações que se processam com cronograma de implantação de médio prazo, como é o caso dos planos de recursos hídricos, uma vez que a comparação entre diferentes períodos é mais simples e efetiva." (LEAL e PEIXE, 2010).

Para a elaboração de suas análises, os autores anteriormente citados utilizaram-se, por exemplo, do modelo de classificação dos indicadores do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Priorizando os aspectos ambientais, formularam quatro indicadores, entre eles: "Qualidade das Águas Interiores" e "Áreas Protegidas". Tal exemplo demonstra que é possível condensar as informações obtidas, a fim de resumir o que é relevante, facilitando o entendimento. Segundo os autores, "foram feitos cruzamentos de informações, gerando novas análises tendo como base a informação espacial, de forma a permitir [...] a integração em uma única base de dados com as informações espaciais provenientes de diversas fontes".

A gestão da bacia hidrográfica decorre também da legislação ambiental no que tange à Política Nacional de Recursos Hídricos que, ao ser instituída, estimulou novas formas de mobilização e representação social, mediante, entre outros atos, a criação dos comitês de bacias hidrográficas, que democratizou o processo decisório envolvendo toda a população através de seus representantes locais (ROCHA, 2008).

O manejo de bacias hidrográficas é definido como o processo de organizar e orientar o uso da terra e de outros recursos naturais numa bacia hidrográfica a fim de produzir bens e serviços, sem destruir ou afetar adversamente o solo e a água (BORMANN; BROOKES; FORD, 1994). Este manejo visa à interação do uso do solo, vegetação, água e outros recursos

presentes aumentando assim a disponibilidade e a qualidade de água em uma bacia hidrográfica (LIMA, 1986).

Segundo Rocha (2001), o Manejo Integrado da bacia hidrográfica visa à recuperação ambiental dessas unidades, conduzindo ao equilíbrio dos ecossistemas ali existentes, buscando o uso perpétuo e a sustentabilidade dos Recursos Naturais Renováveis.

Como demonstrado, elaborar índices de sustentabilidade ambiental que reflitam a qualidade dos recursos hídricos não é somente possível, como também é importante para melhorar o gerenciamento e recuperar áreas hídricas desgastadas. Segundo Costa (2013), “são muito importante como unidade integradora dos processos ambientais e das interferências antrópicas, pois leva a sua adoção como unidade de pesquisa”.

Para Guimarães e Magrini, (2008), a utilização desses índices tem se mostrado muito útil e eficiente na orientação de ações de tomadas de decisão dos gestores em direção à sustentabilidade. Chaves e Alipaz (2007) geraram um índice de sustentabilidade para bacias hidrográficas em função do modelo pressão, estado e resposta, integrando questões hidrológicas, ambientais, sociais e políticas ao índice gerado. Já Guimarães e Magrini (2008) formularam um sistema de indicadores sustentáveis apoiado em metodologias consagradas internacionalmente para servir de instrumento para gestão de bacias hidrográficas.

Para Silva (2016), “os índices de sustentabilidade devem ser simples de usar e fáceis de serem entendidos, além de apresentarem custo e coleta de dados viáveis, para que assim, possam ser úteis como ferramentas de gestão”.

Os Índices de Sustentabilidade Ambientais são ferramentas estratégicas e importantes no apoio do planejamento e gestão de bacias hidrográficas, principalmente quando concebidos de forma integrada, servindo de suporte no desenvolvimento de políticas públicas que buscam garantir a sustentabilidade dessa importante unidade gerencial Silva (2016). Este autor afirma, ainda, que “os índices de sustentabilidade devem ser simples de usar e fáceis de serem entendidos, além de apresentarem custo e coleta de dados viáveis, para que assim, possam ser úteis como ferramentas de gestão”.

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1. Localização e Caracterização da Área

A Sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú se localiza na mesorregião do Sertão Central do estado do Ceará e está inserida em sua totalidade na Região Semiárida, que apresenta características fitogeográficas com limitações ambientais. O rio Banabuiú é o mais importante e significativo rio da sub-bacia, com uma área de drenagem de 19. 810 km², que corresponde a 13,37% do território cearense. Este rio se desenvolve no sentido oeste-leste, percorrendo um curso total de 314 km até desaguar no rio Jaguaribe (ver Figura 1).

Atualmente, a Sub-bacia é composta por 13 municípios, a saber: Banabuiú, Boa Viagem, Ibicuitinga, Itatira, Madalena, Mombaça, Monsenhor Tabosa, Morada Nova, Pedra Brancas, Piquet Carneiro, Quixadá, Quixeramobim e Senador Pompeu. Possui uma capacidade de acumulação de águas superficiais de 2.816.118.936 m³, num total de 19 açudes públicos gerenciados pela COGERH-Gerência Regional de Quixeramobim, como pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1: Capacidade de acumulação de águas superficiais dos açudes públicos da Sub-bacia Hidrográfica do rio Banabuiú.

AÇUDES	MUNICÍPIOS	CAPACIDADE (em m ³)
Banabuiú	Banabuiú	1.600.999.936
Vieirão	Boa Viagem	20.960.000
São José I	Boa Viagem	7.670.000
Umari	Madalena	35.040.000
Jatobá	Milhã	1.070.000
Serafim Dias	Mombaça	43.000.000
Monsenhor Tabosa	Monsenhor Tabosa	12.100.000
Curral Velho	Morada Nova	12.160.000
Cipoada	Morada Nova	83.090.000
Poço do Barro	Morada Nova	54.700.000
Trapiá	Pedra Branca	18.190.000
Capitão Mor	Pedra Branca	6.310.000
São José II	Piquet Carneiro	29.140.000
Pedra Branca	Quixadá	434.040.000
Cedro	Quixadá	126.000.000
Fogareiro	Quixeramobim	118.820.000
Pirabibu	Quixeramobim	74.000.000
Quixeramobim	Quixeramobim	54.000.000
Patu	Senador Pompeu	71.829.000
TOTAL		2.816.118.936

Fonte: COGERH-Gerência Regional de Quixeramobim - <http://www.cbhb>

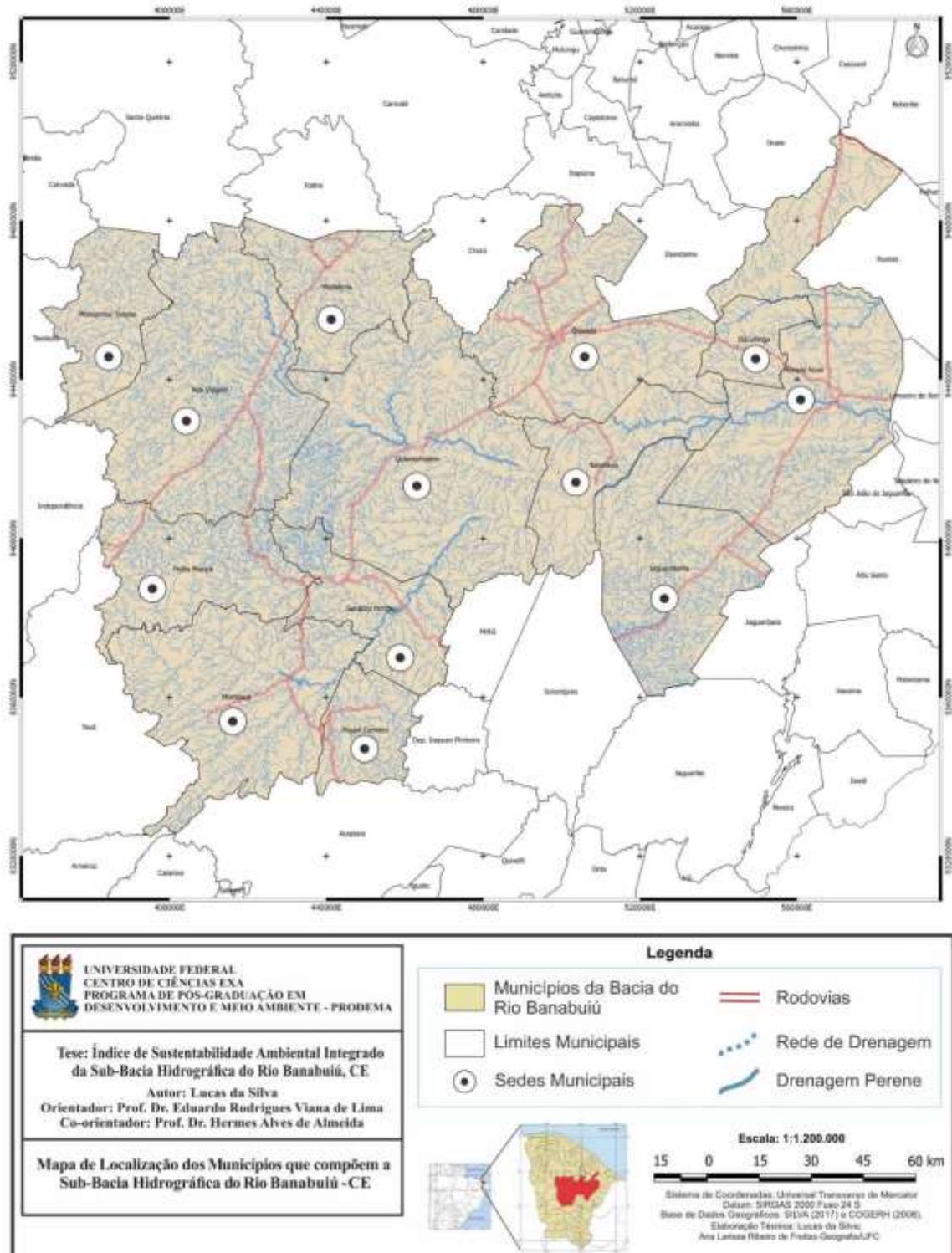


Figura 1: Localização dos municípios que compõem a Sub-bacia Hidrográfica do Rio Banabuiú

Segundo Ceará (2009), a Sub-bacia do Banabuiú se encontra sobre uma superfície de aplainamento conservada ou moderadamente dissecada em colinas rasas ou em pequenos interflúvios tabulares, com os vales abertos e com mínima a amplitude altimétrica entre os fundos de vales e os interflúvios sertanejos, como altitude variando entre níveis de 89,0 m a 725,0 metros. As maiores altitudes, a oeste, determinam o sentido oeste-leste da maior parte dos cursos d'água secundários que convergem para o rio principal (CEARÁ, 2009).

Por ser uma Sub-bacia inserida em uma área semiárida, sua drenagem apresenta rios e riachos intermitentes e sazonais de média à elevada e, ainda, baixo potencial de águas subterrâneas, que ocorrem, na maioria dos casos, em sistemas de fraturas. Além disso, o alto curso do rio Banabuiú é encachoeirado, no qual são frequentes as corredeiras (CEARÁ, 2009).

O clima é do tipo tropical quente semiárido com temperaturas médias anuais em torno dos 26°C a 28°C. Já a média pluviométrica anual se aproxima dos 700,0mm (SILVA; ALMEIDA, 2017).

Ainda segundo Silva e Almeida (2017), o regime pluvial mensal e o da estação chuvosa na bacia hidrográfica do rio Banabuiú é irregular e a estação chuvosa dura de fevereiro e/ou a março a maio, e chove o equivalente a 70 % do total anual.

Para Ceará (2009), a Sub-bacia apresenta um padrão geológico simples e seus terrenos são revestidos, basicamente, por caatinga degradada. Quanto aos aspectos geocológicos, apresenta alto potencial natural, sendo a exploração biológica inevitável. Além disso, observa-se um predomínio de rochas do embasamento cristalino, representadas por gnaisses e migmatitos diversos, associados a rochas plutônicas e metaplutônicas de composição predominantemente granítica do Pré-Cambriano.

Com relação à vegetação da Sub-bacia, esta apresenta terrenos revestidos, predominantemente de caatinga arbustiva aberta no centro e a caatinga arbustiva densa na maior parte das áreas leste e oeste (FUCK JÚNIOR, 2008).

5.2. Procedimentos Metodológicos

Os métodos para o desenvolvimento desta pesquisa seguiram adaptações das metodologias propostas por Rodriguez (1994), Rodriguez, Silva e Cavalcanti (2002), Amorim e Oliveira (2007) e Sousa (2010).

Os procedimentos metodológicos envolveram uma revisão bibliográfica e um levantamento de banco de dados referentes ao tema estudado, com aquisição de base de dados geográficos e de imagens da área de estudo, além de visita ao campo e avaliação dos resultados.

5.2.1 Caracterização geral

Para a caracterização geral da Sub-bacia foi utilizado o *softwares Quantum GIS (QGIS)*. A base de dados geográficos para a elaboração dos mapas temáticos foi obtida a partir dos estudos realizados pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos Governo do Estado do Ceará - FUNCEME, bem como pela Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos - COGERH.

Para o desenvolvimento da pesquisa, optou-se por uma delimitação e composição da Sub-bacia diferente da considerada oficial pela Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará - (COGERH), pois, para esse estudo, foram considerados apenas os municípios de total influência territorial na área de drenagem. Com isso, foi excluído o município de Itatira e incluído o de Jaguaratama. O município de Itatira foi inserido como parte da Sub-bacia do rio Banabuiú recentemente, no intuito de facilitar a gestão hídrica regional por parte da COGERH, no entanto, este município apresenta pequena parte da drenagem da Sub-bacia em seu território, diferentemente de Jaguaratama, que mesmo fazendo parte da Sub-bacia Hidrográfica do Médio Jaguaribe, tem parte significativa de seu território inserido dentro da área da Sub-bacia do rio Banabuiú.

5.2.2. Seleção dos indicadores

Os critérios para seleção dos indicadores basearam-se na proposta de Martins e Cândido (2011), que consideraram os critérios já consolidados para escolha dos indicadores de sustentabilidade. Assim, procurou-se em cada um dos indicadores selecionados as seguintes características:

- a) ser significativo para a realidade investigada e para o enfoque do estudo;
- b) ser relevante para as decisões que orientam as políticas públicas;
- c) refletir as mudanças temporais;
- d) permitir um enfoque integrado e sistêmico;
- e) utilizar variáveis mensuráveis;
- f) ser de fácil interpretação e comunicação;
- g) ter uma metodologia bem definida, transparente e objetiva aos propósitos da investigação;
- h) e disponibilidade de todos os dados para os municípios analisados.

Os motivos principais para a escolha dos indicadores foram as possíveis contribuições e influências dos indicadores para o desenvolvimento regional sustentável e para a manutenção da qualidade ambiental da área da Sub-bacia, além da capacidade de disponibilidade de água

para atividade agropecuária e consumo humano, e da contribuição para manutenção e desenvolvimento da cobertura vegetal da área.

Essas avaliações foram realizadas através das características específicas de cada indicador selecionado e a eles foram atribuídos valores médios de cada indicador por municípios.

Com base nesses critérios, foram estabelecidos um conjunto de indicadores que foram divididos em dois grupos. O primeiro, com os indicadores socioambientais e subdivididos em três dimensões: ambiental, social e econômica. Já o segundo, foi composto por indicadores geoambientais e subdividido em cinco dimensões: solos, clima, vegetação, geomorfologia e geologia.

5.2.2.1. Indicadores de sustentabilidade socioambiental

Para a obtenção do índice de sustentabilidade socioambiental dos municípios, buscou-se analisar os indicadores das dimensões ambiental, social e econômica de forma integrada e contextualizada com os parâmetros ambientais, desempenho econômico e melhoria da qualidade de vida social segundo os critérios definidos por Januzzi (2001). Cada indicador foi reclassificado, individualmente, em duas categorias: positiva e negativa.

Os indicadores foram transformados em índices, através da proposta metodológica desenvolvida pelo Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura (IICA) para verificação de processo de desenvolvimento sustentável em países da América Latina, que ajusta os valores das variáveis numa escala, cujo valor mínimo é 0 (zero) e o máximo é 1 (um). Em seguida foi estabelecido o tipo de relação (positiva ou negativa) que cada indicador. Desse modo, o indicador apresenta uma relação positiva quando o índice melhorar com o aumento do indicador e uma relação negativa quando o índice piorar com o decréscimo do indicador (Sepúlveda, 2008).

Os indicadores positivos são aqueles que, quanto maior o valor, mais contribui para a sustentabilidade, ao passo que, os negativos são aqueles que, quanto maior o valor do indicador, menos este contribui para a sustentabilidade. Em cada dimensão foram estabelecidos critérios para a escolha dos seus indicadores, conforme apresentado na Figura 2:



Figura 2: Critérios de escolhas dos indicadores para compor o índice de sustentabilidade Socioambiental dos municípios que compõem a Sub-bacia Hidrográfica do rio Banabuiú.

Para dimensão ambiental, os positivos são aqueles que, de alguma forma, contribuem para melhoria da qualidade ambiental dos municípios, por meio da presença do saneamento básico; coleta e destinação correta lixo; presença de estação de tratamento de água – (ETA) e estação de tratamento de esgoto – (ETE), como também com boas práticas ecológicas na produção agrícola, como o uso de defensivos naturais e a utilização de adubação orgânica. Também foi considerado positivo o índice de satisfação municipal no âmbito ambiental, este através de pesquisa com questionário. Já os negativos são aqueles que prejudicam de alguma forma as condições ambientais dos municípios, por meio da qualidade de água (Nitrogênio total, Fósforo total, Clorofila, Cianobactérias, Transparência, Estado trófico), consumo alto de água e energia, bem como destinação incorreta do esgoto e do lixo.

Nesta dimensão, foram levados em consideração dezenove indicadores relacionados ao meio ambiente, dos quais nove são positivos e dez são negativos. Os indicadores selecionados são apresentados na Tabela 2 com suas categorizações.

Tabela 2: Indicadores que compõem o índice de sustentabilidade da dimensão ambiental dos municípios que compõem a Sub-bacia Hidrográfica do rio Banabuiú.

Indicadores	Categoria	Fonte
Taxa de domicílios com banheiro ou sanitário	Positivo	IBGE
Taxa de rede sanitária via esgoto	Positivo	IBGE
Taxa de rede sanitária via fossa séptica	Positivo	IBGE
Taxa de lixo coletado	Positivo	IBGE
Estação de Tratamento de Água - ETA	Positivo	CAGECE/SAAS/SISAR
Estação de Tratamento de Esgoto - ETE	Positivo	CAGECE
Agroecologia - Uso de Defensivos Naturais (ha)	Positivo	EMATERCE
Agroecologia - Adubação Orgânica (ha)	Positivo	EMATERCE
N total (mg N/L)	Negativo	COGERH
P total (mg P/L)	Negativo	COGERH
Clorofila-a ($\mu\text{g/L}$)	Negativo	COGERH
Cianobactérias (Células/mL)	Negativo	COGERH
Transparência (m)	Negativo	COGERH
Índice de Estado Trófico (Metodologia de Lamparele 2004)	Negativo	COGERH
Consumo médio residencial de energia MwK	Negativo	IBGE
Taxa das outras formas de destinar o esgoto	Negativo	IBGE
Percentagem de lixo jogado a céu aberto	Negativo	IBGE
Percentagem de lixo queimado/enterrado	Negativo	IBGE

Para dimensão social, os indicadores positivos são aqueles que contribuem para promoção da qualidade dos serviços sociais, do bem-estar social e da qualidade de vida dos habitantes dos municípios estudados, enquanto que os negativos são aqueles que de alguma forma prejudicam a ascensão social e da qualidade de vida social dos munícipes.

Para essa dimensão, foram levados em consideração doze indicadores relacionados com a qualidade dos serviços e bem estar social, dos quais cinco são positivos e sete negativos. Os indicadores positivos apontam que, quanto maior o seu valor, mais benéfico é ao meio ambiente ao passo que os negativos indicam que quanto maior o seu valor, maior é o impacto social negativo.

Os indicadores positivos escolhidos foram os seguintes: taxa de domicílios com acesso à rede geral de abastecimento de água, taxa de alfabetizados, IDH-M (Índice de Desenvolvimento Humano Municipal), quantidade de estabelecimentos de saúde, esperança de vida ao nascer e satisfação com os indicadores sociais. Já os negativos foram: população total, densidade demográfica, taxa de mortalidade infantil, forma de abastecimento de água alternativa, índice de Gini e criminalidade. Na Tabela 3 a seguir são apresentados todos esses indicadores com suas categorizações.

Tabela 3: Indicadores que compõem o índice de sustentabilidade da dimensão social dos municípios que compõem a Sub-bacia Hidrográfica do rio Banabuiú.

Indicadores	Categoria	Fonte
Taxa de domicílios com acesso à rede geral de abastecimento de água	Positivo	IBGE
Taxa percentual de pessoas de 10 anos ou mais de idade alfabetizadas	Positivo	IBGE
IDH-M (Índice de Desenvolvimento Humano Municipal)	Positivo	IBGE
Quantidade de estabelecimentos de saúde	Positivo	IBGE
Índice de Satisfação Municipal	Positivo	-
Esperança de vida ao nascer	Negativo	IBGE
População total	Negativo	IBGE
Densidade demográfica	Negativo	IBGE
Taxa de Mortalidade Infantil	Negativo	IBGE
Taxa de outra forma de abastecimento de água	Negativo	IBGE
Índice de Gini	Negativo	IGBE
Criminalidade–CVLI* – (por Área Integrada de Segurança – AIS)	Negativo	SSPDS

*CVLI - Crimes Violentos Letais e Intencionais inclui os crimes de Homicídio Doloso, Latrocínio e Lesão

Fonte: SIP/CPI/PEFOCE/AAESC/SSPDS

Para a dimensão econômica, foram selecionados indicadores positivos que demonstram a capacidade produtiva e que favoreçam o desenvolvimento econômico sustentável dos municípios da sub-bacia. Já os negativos, foram aqueles que, de alguma forma, revelam uma fragilidade da capacidade produtiva e prejudicam o desenvolvimento econômico dos municípios.

Para essa dimensão, foram considerados oito indicadores relacionados a questões econômicas visando revelar as pressões dos indicadores para a dinâmica da Sub-bacia em estudo. Destes, quatro são positivos e dois negativos, conforme é apresentado na Tabela 4.

Tabela 4: Indicadores para compor o índice de sustentabilidade da dimensão econômica dos municípios que compõem a Sub-bacia Hidrográfica do rio Banabuiú.

Indicadores	Categoria	
PIB municipal	Positivo	IBGE
PIB <i>per capita</i> em reais	Positivo	IBGE
Despesa total com saúde	Positivo	IBGE
Taxa do PIB por setor - Agropecuária	Positivo	IBGE
Taxa do PIB por setor - Indústria	Positivo	IBGE
Taxa do PIB por setor - Serviço	Positivo	IBGE
Taxa da população empregada, sem carteira assinada	Negativo	IBGE
Taxa da população ocupada com jornada de trabalho semanal superior a 49 horas	Negativo	IBGE

Os primeiros são: PIB municipal; PIB per capita em reais; despesa total com saúde; taxas do PIB por setores agropecuária, indústria e serviço e satisfação com os indicadores econômicos. E os negativos são: taxa da população empregada (sem carteira assinada) e taxa da população ocupada com jornada de trabalho semanal superior a 49 horas.

5.2.2.2. Indicadores de sustentabilidade geoambiental

Para formulação do índice de Sustentabilidade Geoambiental dos municípios que compõem a Sub-bacia foram selecionados 33 indicadores com base nível de influência de cada um componentes desses na sustentabilidade ambiental da área da referida sub-bacia. Esses indicadores foram obtidos através de sete dimensões: solos, clima, vegetação, geomorfologia, geologia, drenagem e uso da terra.

Também foi considerada a contribuição de cada indicador para o desenvolvimento regional sustentável e para manutenção da qualidade ambiental da área da sub-bacia, visando à disponibilidade de água para atividade agropecuária e consumo humano, além da contribuição para manutenção e desenvolvimento da cobertura vegetal da área da Sub-bacia.

Esses indicadores foram divididos também como indicadores positivos e negativos, com base no tamanho das áreas de cada indicador por município, conforme apresentado na Figura 03.

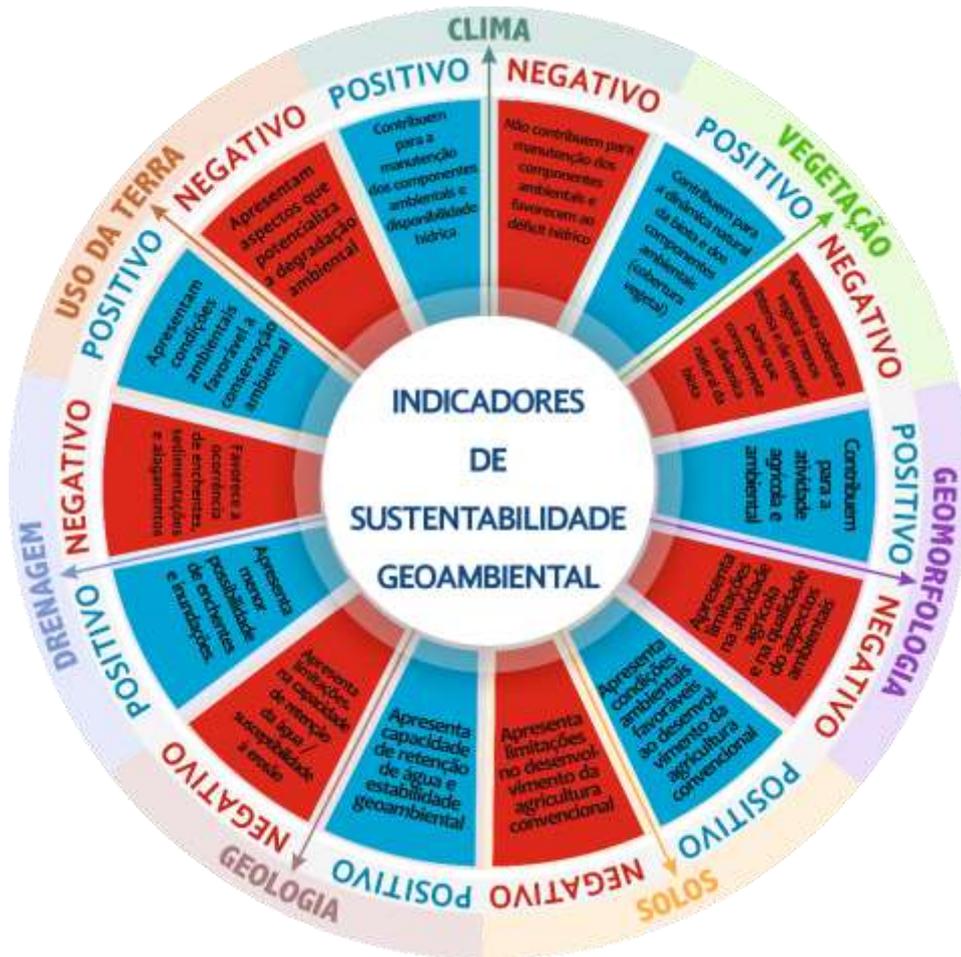


Figura 3: Critérios de escolhas dos indicadores para compor o Índice de Sustentabilidade Geoambiental dos municípios que compõem a Sub-bacia Hidrográfica do rio Banabuiú.

Para esta dimensão, foram considerados como indicadores apenas dezesseis tipos de solos, que são os mais frequentes nos municípios que compõem a sub-bacia. Esses solos foram classificados e categorizados em dois grupos: o primeiro, com seis tipos de solos e considerados positivos por oferecerem condições ambientais mínimas para a produção agrícola; e o segundo, com dez tipos e considerados negativos, por não oferecerem condições ambientais favoráveis ao desenvolvimento agrícola, ou seja, inadequados para uma agricultura convencional.

Os solos positivos, em geral, são solos com um índice de sustentabilidade geoambiental com boa permeabilidade, bem drenados, com baixa susceptibilidade à erosão e com presença de argila nos horizontes B e textura nos solos. Já os solos negativos são, geralmente, solos rasos, com pouca profundidade, salinos e que apresentam problemas de drenagem.

Os grupos dos indicadores da dimensão solos selecionados são apresentados na Tabela 5, com suas respectivas categorizações (positivo ou negativo).

Tabela 5: Indicadores para compor o índice de sustentabilidade geoambiental na dimensão “solos” dos municípios que compõem a Sub-bacia Hidrográfica do rio Banabuiú.

Indicadores	Categoria
Brunizem Avermelhado / Chernossolos	Positivo
Podzólico Vermelho Amarelo Álico / Argissolos	Positivo
Podzólico Vermelho Amarelo Distrófico / Argissolos	Positivo
Podzólico Vermelho Amarelo Eutrófico/ Argissolos	Positivo
Vertissolo / Vertissolos	Positivo
Brunizem Avermelhado / Chernossolos	Positivo
Afloramentos Rochosos / Neossolos	Negativo
Areias Quartzosas Distróficas / Neossolos	Negativo
Bruno Não Cálcio / Luvisolos	Negativo
Planossolo Solódico / Planossolos	Negativo
Planossolo Solódico e Não Solódico / Planossolos	Negativo
Regossolo Eutrófico/ Neossolo	Negativo
Solo Litólico Eutrófico /Neossolos	Negativo
Solo Litólico Eutrófico e Distrófico / Neossolos	Negativo
Solonetz Solodizado / Planossolos	Negativo
Solos Aluviais Eutróficos / Neossolos	Negativo

Fonte: FUNCEME, (2009).

Na dimensão vegetação foram considerados como indicadores seis tipos de vegetação que são mais frequentes nos municípios que compõem a sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú, bem como a média do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI).

A utilização de informações de índices de vegetação geradas a partir de dados de sensoriamento remoto constitui uma importante estratégia para o monitoramento de alterações naturais ou antrópicas nos ecossistemas. O NDVI, que é a razão entre a diferença das refletividades das bandas no infravermelho próximo e no vermelho, e a soma dessas mesmas refletividades, foi calculado, segundo a expressão abaixo:

$$NDVI = \frac{\rho_4 - \rho_3}{\rho_4 + \rho_3}$$

em que: ρ_4 e ρ_3 são as refletâncias das bandas 4 e 3, respectivamente. O NDVI é um indicador sensível da quantidade e condição da vegetação verde. Seus valores variam entre -1 e $+1$; superfícies verdes têm um NDVI entre 0 e 1 e a água e nuvens têm geralmente NDVI menor que zero. A determinação do NDVI foi feita usando a Equação 09.

Esses indicadores foram classificados e categorizados em dois grupos. Um, considerado positivo, com cinco tipos de vegetação que apresentam mais intensidade e maior porte e mais contribuem para a manutenção da dinâmica natural da biota e dos componentes ambientais da área de abrangência da sub-bacia. O outro, considerado negativo e composto por apenas um

tipo de vegetação, por ter menor porte e menos abrangência. Isto comparada com as do grupo “positivo”, pois mesmo sendo de cobertura menos intensa e de menor porte, contribui proporcionalmente com a manutenção da diversidade e qualidade ambiental da área da bacia em estudo.

Os grupos de vegetação selecionados como indicadores são apresentadas na Tabela 6, com suas categorizações (positivo ou negativo).

Tabela 6: Indicadores para compor o índice de sustentabilidade geoambiental da dimensão “vegetação” dos municípios que compõem a Sub-bacia Hidrográficoado rio Banabuiú.

Indicadores	Categoria
Caatinga Arbustiva Densa	Positivo
Complexo Vegetacional da Zona Litorânea	Positivo
Floresta Caducifólia Espinhosa (Caatinga Arbórea)	Positivo
Floresta Subcaducifólia Tropical Pluvial (Mata Seca)	Positivo
Floresta Mista Dicotilo-Palmaceae (Mata Ciliar com Carnaúba)	Positivo
NDVI	Positivo
Caatinga Arbustiva Aberta (%)	Negativo

Fonte: FUNCEME, (2009).

Para a dimensão clima foram considerados como indicadores sete tipos de condições climáticas, que contribuem significativamente para manutenção dos componentes naturais e ambientais dos municípios que compõem a Sub-bacia.

Entre os componentes do clima, foram selecionados principalmente os relacionados à disponibilidade hídrica, por meio da precipitação e evapotranspiração, por se tratar de uma área inserida na Região Semiárida. Nessa região, a água é um fator limitante e ao mesmo tempo essencial para o desenvolvimento da região, que apresenta uma alta variabilidade espacial e temporal de sua precipitação, baixa capacidade de retenção de umidade no solo e elevado *déficit* hídrico. Além da precipitação, foram selecionados o número de focos de calor (Queimadas) e o Índice de Aridez, este último também relacionado com a precipitação.

Esses indicadores foram classificados e categorizados em dois grupos: um com quatro categorias consideradas positivas e outro com três consideradas negativas. Os positivos são aqueles que, quanto maior seu valor, mais contribuirão para a manutenção dos componentes ambientais da área da sub-bacia. Já os negativos, são aqueles que, quanto maiores seus valores, menos contribuirão para manutenção dos componentes ambientais e, conseqüentemente, para a sustentabilidade geoambiental da sub-bacia.

Esses indicadores da dimensão clima foram classificados e categorizados em dois grupos: um com quatro indicadores considerados positivos, e outro, com três considerados negativos. Na Tabela 7 são apresentados esses grupos.

Tabela 7: Indicadores para compor o índice de sustentabilidade geoambiental da dimensão clima dos municípios que compõem a Sub-bacia Hidrográfica do rio Banabuiú.

Indicadores	Categoria	Fonte
Média Anual de Precipitação (mm)	Positivo	FUNCEME
Precipitação Máxima Anual (mm)	Positivo	FUNCEME
Precipitação Mínima Anual (mm)	Positivo	FUNCEME
Probabilidade de 75% de precipitação (mm)	Positivo	-
Número de focos de calor (Queimadas)	Negativo	FUNCEME
Índice de Aridez	Negativo	FUNCEME
Evapotranspiração de Referência ET0 (mm)	Negativo	FUNCEME

Os indicadores desta dimensão foram obtidos pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos do Governo do Estado do Ceará – FUNCEME. No entanto, os resultados das médias anuais das precipitações e da precipitação máxima e mínima anual, foram calculados com base das médias mensais dos dados de precipitação disponibilizados pelo órgão citado. Já a probabilidade (empírica) de 75% de precipitação foi determinada a partir desses dados, que foram analisados e ordenados em ordem crescente e determinados mediante a equação:

$$Pr(\%) = N/n + 1.$$

Sendo:

Pr = a probabilidade de ocorrência da chuva, em %;

N = número de ordem dos dados agrupados;

n = número total de anos da série.

Para a dimensão geomorfologia, foram considerados como indicadores sete unidades geomorfológicas da área de estudo, conforme Tabela 8. Esses indicadores foram classificados em duas categorias. A primeira com quatro unidades consideradas positivas por apresentarem características ambientais que contribuem para a sustentabilidade da área. A segunda, com duas unidades consideradas negativas, por apresentarem características ambientais que de alguma forma apresentam limitações ao uso agrícola e ambiental, impedindo os municípios de alcançarem a sustentabilidade geoambiental e, conseqüentemente, interferirem negativamente na sustentabilidade da sub-bacia.

Tabela 8: Indicadores para compor o índice de sustentabilidade geoambiental da dimensão “geomorfologia” dos municípios que compõem a Sub-bacia Hidrográfica do rio Banabuiú.

Indicadores	Categoria
Corpo de água continental	Positivo
Planícies e Terra Fluviais	Positivo
Superfície Rebaixada do Vale do Rio Açú	Positivo
Serra Branca	Positivo
Serra do Machado e das Matas	Positivo
Depressão Sertaneja Setentrional	Negativo
Patamar Sertanejo de Tauá	Negativo

Fonte: FUNCEME, (2009).

Para a dimensão geologia, foram considerados como indicadores três classes litológicas: a das rochas sedimentares com quatro tipos de rochas, a das rochas metamórficas com dezesseis tipos de rochas e a das ígneas ou magmáticas com dezessete tipos de rochas. As rochas foram aglutinadas em classes por apresentarem características semelhantes capazes de influenciar na sustentabilidade geoambiental da sub-bacia, levando em consideração a limitação e capacidade de retenção da água e a susceptibilidade à erosão das classes litológicas. Conforme é apresentado na Tabela 9, essas classes também foram classificadas como negativa e positiva, de acordo com o nível de contribuição para manutenção dos componentes naturais e ambientais dos municípios.

Tabela 9: Indicadores para compor o índice de sustentabilidade da dimensão “geologia” dos municípios que compõem a Sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.

Indicadores (Classe de litologia)	Litologia	Categoria
Sedimentar	Arenitos e conglomerados - Argilas, areias argilosas e cascalhos - Conglomerados e arenitos - Sedimentos argilo-arenosos	Positivo
Metamórfica	Formaes ferríferas/itabiritos - Gnaisses, migmatitos e anfibolitos - Metacalcários - Micaxistos, metamigmatitos e quartzitos - Migmatitos e ortognaisses - Ortognaisses migmatizados, paragnaisses e anfibolitos - Ortognaisses, migmatitos e metamáficas - Paragnaisses e micaxistos - Paragnaisses e ortognaisses granticos - Paragnaisses, micaxistos, quartzitos e metacalcários - Paragnaisses, micaxistos e metacalcários - Paragnaisses, micaxistos, quartzitos e metacalcários - Quartzitos - Quartzitos, micaxistos e metaconglomerados - Sequencia paraderivada - Sequencia plutono-vulcanossedimentar	Positivo
Ígneas / magmática	Anfibolitos e/ou anfíbio gnaisse - Augenortognaisses granticos - Dioritos - Dioritos e gabros - Dioritos e granitides - Dioritos, gabros e tonalitos - Granitides - Granitides cinzentos - Granitos e granodioritos - Granitos, migmatitos e paraderivadas - Metacarbonatos - Metagabros - Metagabros e metaultramáficas - Metarriolitos - Metaultramáficas - Ortognaisses granito-granodiorticos - Ortognaisses migmatizados e paraderivadas.	Negativo

Fonte: FUNCEME, (2009).

Pela importância da rede de drenagem para manutenção dos ecossistemas das bacias hidrográficas, optou-se por considerar os aspectos morfométrico da drenagem de cada município que compõe a sub-bacia, como indicadores na dimensão drenagem (ver Tabela 10).

Tabela 10: Indicadores para compor o índice de sustentabilidade da dimensão drenagem dos municípios que compõem a Sub-bacia Hidrográfica do rio Banabuiú.

Indicadores	Categoria
Área (km ²)	Positivo
Índice de circularidade	Positivo
Densidade hidrográfica	Positivo
Densidade de drenagem	Positivo
Índice de sinuosidade	Positivo
Coefficiente de compacidade	Negativo
Coefficiente de manutenção	Negativo

Nesta dimensão, foram considerados sete aspectos, sendo cinco positivos e dois negativos.

Os positivos são os que apresentam menos possibilidades de enchentes e inundações, como a área da drenagem, o índice de circularidade, a densidade hidrográfica, a densidade de drenagem e o índice de sinuosidade. Esses indicadores, quando apresentam valores mais elevados em geral, favorecem a manutenção dos ecossistemas por apresentarem menos possibilidades de enchentes e inundações.

Já os indicadores considerados como negativos nessa dimensão foram aqueles que quando maior for seu valor, mais tem possibilidade de ocorrências de enchentes e inundações, o que compromete o equilíbrio dos ecossistemas ambientais. Nesta categoria foram selecionados o coeficiente de compacidade e o coeficiente de manutenção da drenagem de cada município que compõe a sub-bacia em análise.

Para obtenção da drenagem dos municípios foram utilizados dados SRTM baixados no site da EMBRAPA. Foram selecionadas as folhas: SA-24-Y-D; SA-24-Z-C; SB-24-V-B; SB-24-X-A; SB-24-X-B; SB-24-V-D; SB-24-X-C e no software foi realizada a mosaicagem e a reprojeção para coordenadas planas - SIRGAS 2000 - 24/S, para então começarem os procedimentos da análise de terreno. A drenagem foi delimitada do SAGA GIS, extensão do QGIS, em Terrain Analysis – Hidrology, no algoritmo Fill Sinks (wang e Liu).

Os indicadores desta dimensão foram calculados com base nas fórmulas de HORTON (1945); STRHALER (1952) e CHRISTOFOLETTI, (1980).

Já para a dimensão uso da terra, foram consideradas seis classes de uso e ocupação do solo como indicadores, sendo três positivos e três negativos. Foram considerados como

positivos as classes que apresentam aspectos ambientais que de alguma forma evidenciam e potencializam algum grau de conservação nas condições atuais dos ecossistemas dos municípios de compõem a sub-bacia. Essas classes foram os corpos hídricos, a presença da vegetação nativa preservada, a vegetação arbustiva densa e a vegetação arbustiva aberta, conforme se verifica na Tabela 11.

Tabela 11: Indicadores para compor o índice de sustentabilidade da dimensão “uso da terra” dos municípios que compõem a Sub-bacia Hidrográfica do rio Banabuiú.

Indicadores	Categoria
Corpos Hídricos	Positivo
Vegetação arbustiva densa	Positivo
Vegetação arbustiva aberta	Positivo
Solos expostos/área urbana	Negativo
Vegetação arbustiva rala	Negativo
Agricultura Convencional	Negativo

A Tabela 11 ainda apresenta as classes que foram consideradas como negativas, a saber: solos expostos/área urbana, vegetação arbustiva rala e área com agricultura convencional, Essas classes são consideradas negativas porque não utilizam práticas sustentáveis em seu manejo e, de alguma forma, potencializam a degradação ambiental da área de estudo; isso considerando as ações antrópicas no funcionamento e no atual grau de desequilíbrio ambiental de cada município que compõe a sub-bacia em estudo.

Para obtenção das classes de uso da terra foi realizado um tratamento da imagem do satélite LANDSAT-8 com resolução espacial de 30m no soft realizado no ENVI 4.8, na qual foi realizada a composição e classificação automática não supervisionada pelo *Classification*, com SCALE LEVEL 60 e MERGE LEVEL 40. No QGIS, os vetores exportados foram unificados de acordo com as classes predefinidas e as áreas das classes de cada município que compõe a sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú foram calculadas.

5.2.3. Cálculo dos Índices Integrados de Sustentabilidade Ambiental - ISAi

A metodologia elaborada para a geração do índice integrado de sustentabilidade ambiental dos municípios que compõem a sub-bacia foi desenvolvida a partir da integração dos índices de sustentabilidade socioambiental, através das três dimensões (ambiental, social e econômica) e do índice de sustentabilidade geoambiental, que parte da inter-relação entre os componentes geofísicos e ambientais, com base no conceito de Ecodinâmica preconizada por Tricart (1977), utilizando princípios conceituais, metodológicos e interpretativos adaptados de Crepani et al. (1996).

Para esse índice estabeleceu-se sete dimensões, envolvendo solo, vegetação, clima, geologia, geomorfologia, drenagem e uso da terra dos municípios que compõem a sub-bacia do rio Banabuiú.

A partir dos indicadores da categoria socioambiental e da categoria geoambiental foi obtido um índice individual para cada indicador de cada dimensão, seguindo as propostas metodológicas apresentadas por Sepúlveda (2005), Waquil et. al. (2007) e Martins e Cândido (2008), adaptada por Carvalho et al. (2011), em que para cada indicador foi definido seu tipo de relação com o entorno geral. Segundo os autores, para cada variável é necessário identificar se ela mede uma situação em que, ao aumentar seu valor, favorece ou desfavorece o processo de desenvolvimento, no caso do estudo de sustentabilidade ambiental. Assim, existe uma relação positiva se um aumento no valor da variável resulta em melhoria do sistema. Em contrapartida, a relação é negativa se um aumento no valor da variável resulta em piora do sistema. A operacionalização foi feita conforme regra encontrada em Carvalho et al. (2011):

Relação Positiva:

$$I = \frac{x - m}{M - m}$$

Relação Negativa:

$$I = \frac{M - x}{M - m}$$

Onde: I = índice calculado referente a cada variável, para cada território analisado;
 x = valor observado de cada variável em cada território analisado;
 m = valor mínimo considerado;
 M = valor máximo considerado.

Para realizar o cálculo do índice para cada indicador foi realizado a agregação desses indicadores por dimensão, na qual foi determinado o índice individual de acordo com a dentição do sinal, indicando se a relação é positiva ou negativa, conforme estabelece Carvalho et al., (2011).

Para as variáveis que apresentem diferentes unidades de medida, foram utilizadas unidades de agregação a partir das relações positivas e negativas de cada uma delas. Esse procedimento, segundo Carvalho et al. (2011), possibilitará ajustar os valores observados das variáveis a escalas cujo valor mínimo é 0 (zero) e valor máximo é igual a 1 (um), criando condições para a agregação nas dimensões/categorias, e conseqüentemente a estimação do indicador proposto (Índice de Sustentabilidade ambiental integrado para Sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú).

Após a definição dos índices, os mesmos foram classificados em níveis de sustentabilidade ambientais com intervalos de 0,0 a 1,0, conforme pode ser observado no Quadro 02.

Quadro 02: Índices e Desempenho Ambiental.

Índice (0,0-1,0)	Desempenho
0,0 - 0,2	Insustentável
0,21 - 0,4	Potencialmente Insustentável
0,41 - 0,6	Sustentabilidade Média
0,61 - 0,8	Potencialmente Sustentável
0,81 - 1,0	Sustentável

Inicialmente foram determinados os índices de sustentabilidade socioambiental a partir dos indicadores das dimensões ambiental, social e econômica, através da média aritmética dos valores individuais de cada indicador, obtida pela equação empírica abaixo, que busca representar o Índice de Sustentabilidade Socioambiental (ISSa) dos municípios que compõem a sub-bacia do rio Banabuiú.

$$ISSa = \frac{iAmbiental + iSocial + iEconômico}{3}$$

onde:

ISSa = Índice de sustentabilidade socioambiental;
 iAmbiental = Média dos índices dos indicadores da dimensão ambiental por município;
 iSocial = Média dos índices dos indicadores da dimensão social por município;
 iEconômica = Média dos índices dos indicadores da dimensão econômica por município.

Em seguida, foram determinados o índices de sustentabilidade geoambiental, a partir dos indicadores das dimensões solos, vegetação, clima, geomorfologia e geologia, através da média aritmética dos valores individuais de cada indicador, obtida pela equação empírica abaixo, que busca representar a o Índice de Sustentabilidade geoambiental (ISGa) dos municípios que compõem a sub-bacia.

$$ISGa = \frac{(iSolos + iVegetação + iClima + iGeomorfologia + iGeologia) \times 1 + (iDrenagem) \times 2 + iUso da Terra \times 2}{5}$$

onde:

ISGa: Índice de sustentabilidade geocioambiental;
 iSolos: Média dos índices dos indicadores da dimensão solos por município;
 iVegetação: Média dos índices dos indicadores da dimensão vegetação por município;
 iClima: Média dos índices dos indicadores da dimensão clima por município;
 iGeomorfologia: Média dos índices dos indicadores da dimensão geomorfologia por município;
 iGeologia: Média dos índices dos indicadores da dimensão geologia por município,
 iDrenagem: Média dos índices dos indicadores da dimensão drenagem por município;
 iUso da Terra: Média dos índices dos indicadores da dimensão uso da terra por município.

Para o índice de sustentabilidade ambiental integrado (ISAi), foram integradas as médias dos Índices de Sustentabilidade Socioambiental (ISSa), a partir dos indicadores das dimensões ambiental, social e econômica, com o Índice de Sustentabilidade Geoambiental (ISGa), a partir dos indicadores das dimensões solos, vegetação, clima, geomorfologia, geologia, drenagem e uso da terra. Assim, o índice de sustentabilidade ambiental integrado (ISAi) deu-se a partir da seguinte equação empírica:

$$ISAi = \frac{(ISSa) \times 3 + (ISGa) \times 1}{4}$$

onde:

ISAi = Índice de sustentabilidade ambiental integrado

ISSa = Índice de sustentabilidade socioambiental

ISGa = Índice de sustentabilidade geocioambiental

Para representar os índices, escolheu-se o gráfico tipo radar, porque por meio dele é possível uma melhor visualização do comportamento de todos os indicadores com seus respectivos índices, em que, cada área dos triângulos representa os índices finais de sustentabilidade socioambiental da dimensão ambiental de cada município.

Para a materialização dos mapas foi utilizado um banco de dados, com informações levantadas das imagens de sensoriamento remoto das bases cartográficas e dos trabalhos de campos realizados na área da sub-bacia. Para isso, foram utilizados sistemas de informações geográficas – SIG, por meio de *softwares* do livre *Quantum GIS (QGIS)*. O QGIS foi utilizado para delimitar a área de estudo e definir os limites dos municípios, classificar os atributos e parâmetros ambientais como indicador ambiental da área de estudo.

Para a geração e sistematização dos dados espaciais dos municípios que compõem a sub-bacia foram utilizados os *softwares* QUANTUM GIS 2.2 e o ENVI 4.8. Como principais fontes de dados foram utilizados os estudos realizados pelo Governo do Estado do Ceará (2009) e a base de dados da Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos - COGERH.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. Índice de Sustentabilidade Socioambiental dos Municípios que Compõem a Sub-bacia Hidrográficoado Rio Banabuiú

A partir da análise dos indicadores das dimensões ambiental, social e econômica dos Municípios que compõem a sub-bacia do rio Banabuiú, foi possível determinar os respectivos índices de sustentabilidade socioambiental e representá-los em forma de gráficos e mapas categorizados por faixa e cor. O gráfico escolhido foi do tipo radar, em que cada raio dos gráficos representa um índice para cada município, cujos valores, unidos, formam a área central representativa do índice por dimensão. Naturalmente, tais figuras devem ser impressas em maiores dimensões para que as variações se tornem mais visíveis; caso contrário as mudanças ficarão claras somente para os maiores valores (DANIEL, 2000).

Para uma melhor compreensão dos resultados, os índices foram categorizados em níveis/desempenho de sustentabilidade socioambiental representados por cores e reproduzidos graficamente no mapa. Os índices foram construídos e determinados a partir das análises dos indicadores das dimensões ambiental, social e econômica.

Segundo Bomfim (2013), para estudar os indicadores dessa dimensão é necessário compreender a relação do homem com a natureza, tendo como premissa a promoção do bem-estar e qualidade de vida dos habitantes dos municípios estudados, bem como nas questões de preservação e conservação do meio ambiente que são influenciados e/ou impactados por ações antrópicas.

Diante da complexidade para sistematizar grandes quantidades de indicadores selecionados para mensurar o índice médio geral de sustentabilidade ambiental dos municípios que compõem a sub-bacia, buscou-se uma sistematização através de dimensões. Para um total de noventa indicadores propostos, em que foram agregados em função das disponibilidades e possibilidades atuais de aplicação, foram usados 37 indicadores para a mensuração do índice de sustentabilidade socioambiental, que considera os aspectos socioambientais, incluindo os econômicos de cada município da sub-bacia e 53 indicadores para mensuração do índice de sustentabilidade geoambiental, que levou em consideração os aspectos de vulnerabilidade ambiental dos componentes geoambientais de cada município que compõe a sub-bacia. Dos indicadores selecionados, 51 foram positivos e 39 negativos.

6.1.1. Indicadores de sustentabilidade socioambiental da dimensão ambiental

Os Índices de sustentabilidade socioambiental da dimensão ambiental foram mensurados com base nos indicadores apresentados nas Tabelas 12 e 13, nas quais é possível perceber a contribuição de cada um deles na construção do índice de sustentabilidade socioambiental de cada município na dimensão ambiental.

Com relação à quantidade de domicílios com banheiro ou sanitário, todos os municípios apresentam taxa superior a 77%, com destaque para o município de Ibicuitinga com 93,5%, seguido dos municípios de Quixadá (91,95%), Senador Pompeu (91,5%) e Quixeramobim (91,2%). Entre aqueles com menores taxas de domicílios com banheiro ou sanitário, destacam-se Pedra Branca com 77,92 %, seguido dos municípios de Banabuiú (78,52%) e Mombaça (78,72%).

Já com relação à quantidade de residências com acesso à rede sanitária via esgoto, o município de Quixadá apresenta a maior taxa (47,13%), seguido dos municípios de Quixeramobim (33,46%); Boa Viagem (29,78%) e Senador Pompeu (27,51 %). Com relação aos municípios com menores taxas, ou seja, aqueles que mais contribuem para a insustentabilidade da sub-bacia, o município de Piquet Carneiro se destaca com a menor taxa (0,72%), seguido por Madalena (2,17%) e Monsenhor Tabosa (3,86 %).

Ainda com relação ao saneamento, os municípios com maior taxa de rede sanitária via fossa séptica são: Pedra Branca (10,89 %), Boa Viagem (10,68 %) e Quixeramobim (10,48). O lixo coletado é um indicador importante para a sustentabilidade ambiental dos municípios, tendo em vista o alto potencial de poluição do solo, das águas superficiais e subterrâneas, além da poluição atmosférica. O descarte inadequado de resíduos sólidos nos centros urbanos, sem qualquer tratamento, está contaminando os lençóis freáticos de várias regiões brasileiras (SANCHES et al., 2006).

Todos os municípios apresentam taxas de lixo coletado inferior a 60%, no entanto, seis deles têm coleta superior a 50%. São eles: Quixadá (59,2%); Madalena (57%); Senador Pompeu (54,2 %); Piquet Carneiro (54,1%); Monsenhor Tabosa (53,6 %) e Pedra Branca (52,5 %). O município com menor taxa de coleta é Banabuiú, com apenas 14% de seu lixo coletado, sendo esse o que mais contribui com esse indicador para a insustentabilidade da sub-bacia, seguido pelos municípios de Mombaça (32,8 %) e Quixeramobim (43,1%).

O lixo não coletado também contribui com a proliferação de doenças como diarreia; amebíase; parasitose, entre outras. Para Oliva Junior e Freire (2013), o lixo não coletado e deixado de maneira inadequada em áreas impróprias ou depositados em lixões a céu aberto, provoca inúmeros danos à saúde da população e ao meio ambiente. O maior agravante é que o

meio ambiente não está preparado para decompor tantos resíduos com tantas composições físico-químicas diferentes, havendo assim, a degradação ambiental e a conseqüente perda da qualidade de vida da sociedade.

Com relação à presença de Estação de Tratamento de Água – ETA, todos os municípios possuem pelo menos uma estação, sendo que os municípios de Banabuiú, Jaguaretama, Pedra Branca e Piquet Carneiro têm, cada um, pelo menos duas. Há destaque para os municípios de Quixadá, com doze estações e Morada Nova com nove. Já com relação à presença de Estação de Tratamento de Esgoto – ETE, apenas os municípios de Jaguaretama, Morada Nova, Pedra Branca, Quixeramobim e Quixadá apresentam ETEs em seus limites territoriais, sendo que Quixadá apresenta um total de quatro, enquanto que os demais apenas uma.

A presença das ETAs e ETEs nesses municípios garante uma melhor qualidade à água potável fornecida à população, bem como garante uma diminuição dos esgotos domésticos para corpos hídricos atenuando os impactos ambientais ocasionados pelo contato da água contaminada com o solo e rios da sub-bacia.

Quanto às práticas agroecológicas nos municípios que compõem a sub-bacia do rio Banabuiú, destacam-se o uso de defensivos naturais e de adubação orgânica. Nessas duas práticas, o município de Morada Nova apresenta o percentual de 75% (915,0 ha) do uso de defensivos naturais e cerca de 50% (1.583 ha) das áreas com adubação orgânica em relação aos demais. O segundo município que apresentou maior área com práticas agroecológicas de cultivo com uso de defensivos naturais foi Quixadá, com uma área de 159,0 ha (13%). Já com relação ao uso de adubação orgânica o município de Banabuiú foi o que apresentou a segunda maior área com 466,0 ha, o que corresponde a cerca de 15% do total.

Os municípios de Quixeramobim, Madalena, Boa Viagem, Banabuiú, Monsenhor Tabosa e Mombaça apresentaram áreas com uso de defensivos naturais menores que 50,0 ha (4%), enquanto os demais não apresentaram qualquer tipo de uso de defensivos naturais em seus cultivos (Senador Pompeu, Piquet Carneiro, Jaguaretama, Ibicuitinga). Já com relação à adubação orgânica, apenas o município de Jaguaruana não apresentou esse tipo de prática agroecológica. No entanto, os municípios de Ibicuitinga, Mombaça e Quixadá apresentaram áreas com adubação orgânica de 230,0ha; 214,0 ha e 196 ha, respectivamente. Já Quixeramobim, Senador Pompeu e Piquet Carneiro apresentaram 154,0 ha, 125,0 ha e 90,0 ha, respectivamente. Os demais variaram entre 19 ha e 65 ha (Pedra Branca, Madalena Boa Viagem e Monsenhor Tabosa).

O uso de práticas agroecológicas é fundamental para obtenção da sustentabilidade por não utilizarem práticas da agricultura convencionais, como o uso de arado, que compromete a

estrutura dos solos da região, naturalmente fragilizados, comprometendo sua capacidade produtiva. Além disso, a não adubação química e dispensa de qualquer uso de defensivo agrícola que não seja natural, evita a contaminação das águas, uma vez que a inserção dos resíduos de fertilizantes e de defensivos presentes na água contribui para surgimento e proliferação de algas, causando, assim, a alteração na dinâmica natural dos ciclos bióticos e comprometendo e afetando a flora, a fauna e os recursos hídricos da área.

Para consolidar os indicadores positivos nesta dimensão, foi realizada também uma pesquisa sobre a satisfação dos municípios que compõem a sub-bacia. Nesta pesquisa, levou-se em consideração a satisfação de moradores de cada município com relação às condições socioeconômicas e ambientais, no que se refere ao fornecimento e qualidade da água tratada, qualidade do ar, limpeza dos rios, coleta de lixo e tratamento, ruído e poluição visual de sua cidade, como também a paisagem urbana, limpeza, praças, acessibilidade e loteamento de cada município. Além desses, também foram avaliados itens como a promoção de atividades culturais, de lazer e desporto; condições dos serviços e equipamentos de saúde; e a segurança pública do município, tanto noturna, quanto diurna.

Para se obter o índice de satisfação de cada município, também foram considerados os seguintes aspectos na área laboral: condições de trabalho, tipo de trabalho, distância e tempo do local de trabalho até a residência, ambiente de trabalho, realização profissional e salário. Mobilidade urbana, transporte público, trânsito e pavimentação, infraestrutura, segurança e educação também foram considerados. Procurou-se ainda saber o nível de motivação em continuar morando no município em que reside, diante da atual conjuntura estrutural, política, social, ambiental e econômica de cada município que compõe a sub-bacia.

Com relação a este indicador, percebe-se que a população do município de Piquet Carneiro é a que apresenta maior satisfação municipal, como também é a população que mais deseja permanecer residindo na cidade, com índice de 5,5 seguido pelos municípios de Morada Nova, com índice de 5,2 e Banabuiú, com 4,9. Já os municípios de Pedra Branca e Monsenhor Tabosa são os que apresentaram os menores índices, (2,9 e 3,0) respectivamente, configurando-se como os piores municípios para se viver entre os que compõem a sub-bacia. Os demais municípios apresentaram índices variando entre 4,5 e 3,5, são eles: Quixeramobim (4,5), Madalena (4,4), Ibicuitinga (4,1), Mombaça (4,1), Boa Viagem (3,9), Jaguaretama (3,9), Senador Pompeu (3,7) e Quixadá (3,5).

Tabela 12: Valores dos indicadores selecionados para formulação do índice de sustentabilidade socioambiental da dimensão ambiental, da categoria positivos dos municípios que compõem a Sub-bacia Hidrográfica do rio Banabuiú.

CATEORIAS	INDICADORES													
		Banabuiú	Boa Viagem	Ibicuitinga	Jaguaratama	Madalena	Mombaça	Monsenhor Tabosa	Morada Nova	Pedra Branca	Piquet Carneiro	Quixadá	Quixeramobim	Senador Pompeu
POSITIVO	Taxa de domicílios com banheiro ou sanitário	78,52	81,05	93,5	88,55	87,68	78,72	85,76	87,8	77,92	88,69	91,95	91,2	91,5
	Taxa de rede sanitária via esgoto	13,97	29,78	15,28	4,26	2,17	26,28	3,86	6,23	25,7	0,72	47,13	33,46	27,51
	Taxa de rede sanitária via fossa séptica	4,59	10,68	0,47	1,51	9,6	2,55	2,37	3,37	10,89	4,51	6,98	10,48	9,32
	Taxa de lixo coletado	14,00	48,9	44,4	48,22	57	32,8	53,6	48,9	52,5	54,1	59,2	43,1	54,2
	Estação de Tratamento de Água	2	1	1	2	1	1	1	9	2	2	12	1	1
	Estação de Tratamento de Esgoto	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	4	1	0
	Agroecologia - Uso de Defensivos Naturais (ha)	14,50	29,6	0	0,00	32	3	8	915	2	0	158,7	50	0
	Agroecologia - Adubação Orgânica (ha)	466,00	40,11	229,5	0,00	19,5	214,1	64,5	1.583,15	19,35	89,5	196,3	153,8	125,3

Fonte: IBGE, EMATECE, CAGECE

Tabela 13: Valores dos indicadores selecionados para formulação do índice de sustentabilidade socioambiental da dimensão ambiental, da categoria negativos dos municípios que compõem a Sub-bacia Hidrográfica do rio Banabuiú.

CATEGORIAS	INDICADORES													
		Banabuiú	Boa Viagem	Ibicuitinga	Jaguetama	Madalena	Mombaça	Monsenhor Tabosa	Morada Nova	Pedra Branca	Piquet Carneiro	Quixadá	Quixeramobim	Senador Pompeu
NEGATIVOS	Taxa de outras formas de destinar dos esgotos	59,96	40,59	77,75	82,78	75,91	49,89	79,53	78,12	41,32	83,46	37,84	47,26	54,67
	Consumo médio residencial de energia MwK	3.419	11.408	2.275	4,13	3.365	7.968	3.318	14.833	8.954	3.533	23.009	17.540	6.457
	Taxa de lixo jogado a céu aberto	15,00	38,5	23,7	31,70	19,6	55,2	37,7	21,7	35,9	36,2	23,6	30,2	26
	Taxa de lixo queimado ou enterrado	71,00	12,7	31,9	22,70	23,4	12	8,7	29,4	11,6	9,8	17,2	26,7	19,8
	N total (mg N/L)	1,08	7,88	1,08	0,76	2,92	4,92	5,98	2,50	1,51	1,65	0,58	6,25	0,90
	P total (mg P/L)	0,10	0,38	0,10	0,09	0,15	0,28	0,21	0,06	0,12	0,07	0,03	0,34	0,06
		63.95	1.208.35	63.95	148.25	370.86	248.30	260.22	613.38	450.47	389.91	147.18	598.21	258.1
	Cianobactérias (Células/mL)	9	7	9	8	5	7	8	3	7	4	1	8	4
	Transparência (m)	0,80	0,20	0,80	3,00	0,82	0,30	0,20	0,50	0,30	1,10	1,80	0,20	0,60
	Clorofila-a (µg/L)	41,68	703,38	41,68	2,84	216,85	246,98	525,46	114,54	197,05	33,07	0,65	460,24	48,22
	Índice de Estado Trófico	63,53	74,66	63,69	56,78	65,19	71,17	72,15	64,62	68,05	62,04	49,84	73,28	62,50

Fonte: IBGE, EMATECE, CAGECE

Os indicadores da dimensão ambiental na perspectiva negativa são aqueles que quanto maior o valor mais se contribui para a insustentabilidade da Sub-bacia. Estes são apresentados na Tabela 12, a qual mostra a destinação inadequada do lixo e os valores médios de alguns dos parâmetros relacionados à qualidade de água, bem como o índice de estado trófico dos reservatórios responsáveis pelo abastecimento dos municípios. Os dados foram cedidos pela Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará (COGERH).

Com relação ao Consumo Médio Residencial de Energia em Mwk, observou-se que a principal fonte de eletricidade para os municípios analisados provem das hidrelétricas, que em sua instalação e operação provocam danos sociais, pois causam não só a retirada das populações humanas do local, como também alterações no ecossistema. Para Leite (2005), a implantação de hidrelétricas pode gerar impactos ambientais na hidrologia, clima, erosão e assoreamento, sismologia, flora, fauna e alteração da paisagem. Neste indicador, observou-se que Quixadá consome 23.009 Mwk, enquanto Quixeramobim consome 17.540 Mwk e Morada Nova 14.833 Mwk. Os municípios que menos consomem energia são Ibicuitinga (2.275 Mwk), Monsenhor Tabosa (3.318 Mwk) e Piquet Carneiro (3.533 Mwk).

Também foi utilizado como indicador para a dimensão ambiental, o destino do lixo produzido por cada município que compõe a sub-bacia. O município de Mombaça tem 55,2% do lixo jogado a céu aberto, seguido pelos municípios de Boa Viagem (38,5%), Monsenhor Tabosa (37,7%) e Piquet Carneiro (36,2%), sendo esses os mais insustentáveis, considerando o indicador em questão. Ainda com relação à destinação inadequada do lixo, o município de Banabuiú se destaca por ter 71% do lixo queimado ou enterrado, seguido pelos municípios de Ibicuitinga (31,9%) e Morada Nova (29,4%). Os demais municípios não ultrapassam os 25%.

A destinação inadequada do lixo, como a queima, é uma prática que existe há muitos anos, mas que causa danos à saúde e ao meio ambiente, como a contaminação do ar por meio de emissões líquidas e gasosas da emissão de material particulado, gases tóxicos e mal cheirosos decorrentes. A fumaça gerada por esses materiais pode causar intoxicação e agravar doenças respiratórias, como a asma e a bronquite (BASTO *et al.* 2013).

Após tabulação dos dados das Tabelas 10 e 11, foi estabelecido o índice de sustentabilidade socioambiental da dimensão ambiental tendo como referência o método proposto por Sepúlveda (2005), Waquil *et al.* (2007) e Martins e Cândido (2008) e adaptada por Carvalho *et al.* (2011).

Ao analisar o parâmetro nitrogênio total, percebeu-se que 62% dos reservatórios dos municípios apresenta valores médios superiores ao máximo permitido pela Resolução Conama número 357/2005, se for considerada a referência a ambientes lênticos, na vazão de referência para águas doces de classes 1 e 2:

“Para águas doces de classes 1 e 2, quando o nitrogênio for fator limitante para eutrofização, nas condições estabelecidas pelo órgão ambiental competente, o valor de nitrogênio total (após oxidação) não deverá ultrapassar 1,27 mg/L para ambientes lênticos e 2,18 mg/L para ambientes lóticos, na vazão de referência” (Parágrafo 3º do art. 8º da Resolução Conama 357/2005).

Dos reservatórios analisados, os que apresentaram maiores concentrações de nitrogênio total foram: Vieirão (Boa Viagem), com seis vezes mais que o valor permitido; Fogareiro (Quixeramobim), com cerca de cinco vezes mais e, por fim, Monsenhor Tabosa (Monsenhor Tabosa) e Serafim Dias (Mombaça), ambos com quatro vezes mais. A menor concentração foi encontrada no açude de Pedra Branca (Quixadá), com apenas 0,58 mg/L, seguido pelo Castanhão (Jaguaretama), com 0,76 mg/L, e pelo Patu (Senador Pompeu), com 0,90 mg/L.

Já se for considerada a referência para ambientes lóticos em que nitrogênio não deverá ultrapassar 2,18 mg/L, 54% dos reservatórios estão dentro dos padrões exigidos pela referida resolução. Segundo Von Sperling (2005), a origem antropogênica do nitrogênio pode ser proveniente de despejos domésticos e industriais, assim como de excrementos animais e fertilizantes químicos, podendo indicar tanto o grau de contaminação, como pode também fornecer informações sobre o estágio de poluição em que se encontram os corpos d'água.

Ao se analisar o parâmetro fósforo total, considerando-se o seu valor máximo permitido para as classes I e II de qualidade da água, segundo a referida Resolução (ambiente lótico e tributário de ambientes intermediários), tem-se o valor de 0,15 mg/LP. Com isso, verificou-se que a maioria dos reservatórios (69%) se encontram dentro dos valores máximos permitidos. No entanto, os reservatórios dos municípios de Boa Viagem, Quixeramobim, Mombaça e Monsenhor Tabosa excederam o limite recomendado, sendo 0,38 mg/LP; 0,34 mg/LP; 0,28 mg/LP; e 0,21 mg/LP; respectivamente.

Para o Ministério do Meio Ambiente, MMA (2010), as concentrações de fósforo total provêm de contribuições domésticas e agrícolas, ou seja, a contribuição de fósforo oriunda de fontes difusas também é responsável pelo aumento das concentrações de fósforo total nos corpos d'água desta região. Ainda segundo a MMA (2010), a concentração de fósforo total nos corpos de água, em geral, está fortemente relacionada à densidade demográfica da região hidrográfica e, portanto, sujeita a maior influência antrópica e à deficiência de saneamento.

Com relação à Transparência (m) das águas dos reservatórios analisados, observa-se uma amplitude considerável entre os valores mínimos e os máximos encontrados, sendo Jaguaretama 3m e Quixeramobim 0,2m. Isso se deve à presença de precipitação no período da coleta desses

municípios. Por outro lado, a baixa transparência nesses reservatórios se deu em função da degradação ambiental, principalmente pelo desamamento, deixando o solo desprotegido, causando erosões e, conseqüentemente, transportando sedimentos para os reservatórios, comprometendo as condições naturais para o desenvolvimento das diferentes formas de vida desses ambientes.

Cianobactérias também foram utilizadas como indicadores da dimensão ambiental, que, de acordo com Brandão (2011), são organismos unicelulares ou multicelulares que fazem parte da comunidade fitoplanctônica de um ecossistema aquático responsável pelo processo de produção primária.

A Resolução CONAMA 357/2005 estabelece como valor máximo permitido de densidade de cianobactérias de 100.000 cel/mL para classe 3. Nessa classificação, se enquadram as águas que podem ser destinadas, entre outras finalidades, ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado. Considerando os padrões estabelecidos pela legislação, apenas o reservatório de Pedra Branca, localizado no município de Quixadá, encontra-se dentro dos padrões. Levando em consideração as demais classes, todos estão acima dos padrões aceitáveis.

Entre os reservatórios que apresentaram maior densidade de cianobactérias, estão os reservatórios localizados dos municípios de Boa Viagem (1.208.357,00µg/L), Morada Nova (613.383,00µg/L), Quixeramobim (598.218,00µg/L), Pedra Branca (450.477,00µg/L), Piquet Carneiro (389.914,00 µg/L) e Madalena (370.865,42µg/L). Já os que apresentaram as menores concentrações foram os localizados em Quixadá (147.181,00µg/L), Jaguaratama (148.258,00µg/L), Mombaça (248.307,00µg/L), Senador Pompeu (258.144,00µg/L) e Monsenhor Tabosa (260.228,00µg/L).

Os reservatórios que apresentaram elevadas densidades de concentrações de cianobactérias foram aqueles que menos contribuem para o índice de sustentabilidade socioambiental nesta dimensão, considerando este indicador. Também são aqueles que afetam a saúde humana caso o tratamento da água não seja eficiente na remoção dessas toxinas, pois o aumento da ocorrência de florações de cianobactérias em mananciais de abastecimento de água dá a capacidade a esses micro-organismos produzirem e liberarem toxinas (cianotoxinas) (BUZELLI, e CUNHA-SANTINO, 2013). Esses mesmos autores afirmam que as cianotoxinas causam efeitos diversos em vertebrados devido à sua ação farmacológica ser classificada em neurotoxinas e hepatotoxinas. Para Brasil (2003), algumas cianotoxinas são neurotóxicas potentes (anatoxina-a, anatoxina-a(s) e saxitoxinas), outras (microcistinas, nodularina e cilindrospermopsina) atuam

principalmente no fígado e outras ainda podem ser irritantes ao contato (endotoxinas pirogênicas), como as de bactérias gram-negativas.

Quanto à presença de clorofila-a nas águas dos reservatórios dos municípios da sub-bacia, observa-se que a concentração desta variável biológica apresentou uma grande variação devido às condições específicas de cada reservatório, chegando a apresentar 703,38µg/L no reservatório Vieirão (Boa Viagem), enquanto que o reservatório Pedra Branca (Quixadá), apresentou apenas 0,65µg/L. Além desses valores, os reservatórios que apresentaram maiores concentrações foram os localizados nos municípios de Monsenhor Tabosa (525,46µg/L), Quixeramobim (460,24µg/L), Mombaça (246,98µg/L), Madalena (216,85µg/L), Pedra Branca (197,05µg/L) e Morada Nova (114,54µg/L).

Considerando os parâmetros estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005, para que o corpo hídrico seja enquadrado nas Classes 1, 2, e 3, que estabelece os valores máximos permitidos para este parâmetro de 10 µg/L, 30 µg/L e 60 µg/L, respectivamente, apenas os reservatórios localizados nos municípios de Quixadá (0,65µg/L), Jaguaratama (2,84µg/L), Piquet Carneiro (33,07µg/L), Ibicuitinga (41,68µg/L), Banabuiú (41,68µg/L) e Senador Pompeu (48,22µg/L) apresentaram concentrações abaixo dos estabelecidos pela legislação.

Essas elevadas concentrações podem estar associadas ao longo período de estiagem dos últimos anos na região, que ocasionou a diminuição de níveis dos reservatórios e a elevação da concentração dos nutrientes, o que favorece o aumento da concentração de clorofila-a nas águas desses reservatórios. Essa situação se agrava pela presença de despejo de esgoto doméstico não tratado oriundo das cidades que compõem a sub-bacia e dos seus efluentes, além da contaminação dos resíduos agrícolas como fertilizantes e defensivos utilizados da produção agrícola da região.

A clorofila-a é a principal variável dos ecossistemas aquáticos responsável pelo processo de fotossíntese e, portanto, um importante indicador para estabelecer o estado trófico dos ambientes aquáticos, pois indica a biomassa de algas presente nos reservatórios. O Estado Trófico dos reservatórios também foi utilizado como indicador de sustentabilidade socioambiental da dimensão ambiental. Segundo Esteves (1988) “A eutrofização é o aumento da concentração de nutrientes, especialmente fósforo e nitrogênio, nos ecossistemas aquáticos, que têm como consequência o aumento de suas produtividades”. Esse indicador se torna fundamental pela sua capacidade de demonstrar a qualidade da água e as limitações de seu uso, bem como o grau de potabilidade do recurso hídrico. Além disso, o enriquecimento dos reservatórios hídricos com fósforo e nitrogênio causa, ainda, a rápida proliferação das cianobactérias, principalmente nos reservatórios lânticos, que é o caso dos reservatórios em estudo.

Entre os reservatórios que apresentaram maior estado de eutrofização estão o Vieirão, do município de Boa Viagem, com 74,66, seguido dos reservatórios localizados nos municípios de Quixeramobim (73,28) Monsenhor Tabosa (72,15) e Mombaça (71,17). Já os reservatórios que apresentaram os menores estados de eutrofização foram os localizados nos municípios de Quixadá e de Jaguaretama, com 49,84 e 56,78, respectivamente. Os demais reservatórios variaram entre 62,04 e 68,05.

Considerando o Índice de estado trófico em relação à variável fósforo total para ambientes lóticos, segundo metodologia proposta por Lamparelli (2004), apenas o reservatório de Pedra Branca (Quixadá) apresenta estado trófico oligotrófico, que são ambientes que apresentam baixas concentrações de nutrientes e baixa produtividade primária. Já o reservatório que abastece Jaguaretama apresenta estado trófico mesotrófico, que são ambientes que apresentam produtividade intermediária com possíveis implicações sobre a qualidade da água, mas em níveis aceitáveis na maioria dos casos (Mansor, 2005). Já os reservatórios localizados nos municípios de Senador Pompeu e Piquet Carneiro 62,04 apresentam estado trófico eutrófico.

Nos reservatórios dos municípios de Madalena, Morada Nova, Ibicuitinga e Banabuiú, constata-se estado trófico supereutrófico, enquanto que os reservatórios localizados em Boa Viagem, Quixeramobim, Monsenhor Tabosa, Mombaça e Pedra Branca apresentam estado trófico hipereutrófico, que são ambientes com enriquecimento máximo de nutrientes e número excessivo de algas e plantas aquáticas, e que exigem intervenção do homem.

Essas condições de eutrofização provêm dos volumes de água dos reservatórios, que vem sendo diminuídos pela falta de chuvas dos últimos anos na região e pela ação antrópica que agrava significativamente a concentração dos agentes poluidores.

6.1.2. Índice de sustentabilidade socioambiental da dimensão ambiental

Os índices de sustentabilidade socioambiental da dimensão ambiental dos municípios que compõem a Sub-bacia são mostrados na Figura 4, que mostra o desempenho de todos indicadores da dimensão por município.

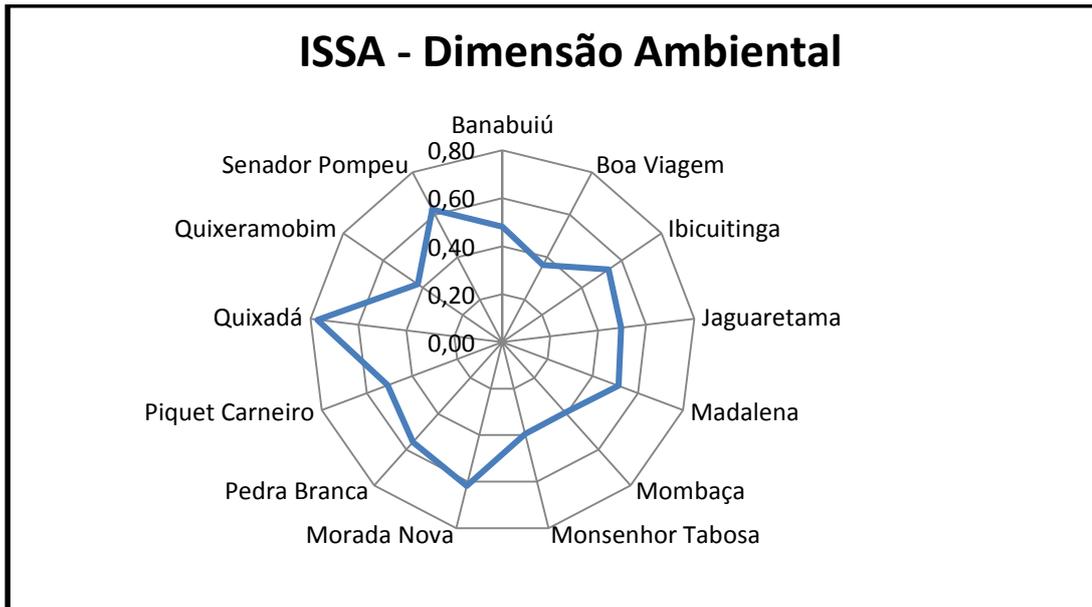


Figura 4: Índice da dimensão ambiental dos municípios que compõem a Sub-bacia Hidrográfica do rio Banabuiú.

Assim, pode-se afirmar que os municípios com maiores índices de sustentabilidade socioambiental na dimensão ambiental são os que apresentam as maiores áreas do triângulo no gráfico e, com isto, o melhor desempenho sustentável. Como é possível observar, o município de Quixadá foi o que apresentou o maior índice (0,77), seguido dos municípios de Senador Pompeu (0,63), Morada Nova (0,62), Pedra Branca (0,56) e Ibicuitinga (0,55). Esses municípios apresentam tais índices por obterem maiores valores em seus indicadores positivos e menores nos negativos (ver Tabela13).

Também é possível observar (Figura 04) os municípios com baixo desempenho de sustentabilidade nesta dimensão por apresentarem valores baixos em seus indicadores positivos e altos nos negativos. O município de Boa Viagem se classifica como o mais insustentável, com índice de 0,36, seguido dos municípios de Mombaça (0,39) e Monsenhor Tabosa (0,40). Os demais municípios apresentam desempenho que apontam para sustentabilidade intermediária, oscilando entre 0,40 e 0,51.

Esses índices foram categorizados por nível de sustentabilidade e espacializados em mapas por meio do geoprocessamento para uma melhor visualização. O resultado do cálculo do índice de sustentabilidade socioambiental da dimensão ambiental é apresentado na Figura 05, que mostra que os municípios de Quixadá, Senador Pompeu e Morada Nova apresentam desempenho Potencialmente Sustentável, ou seja, esses municípios são os que menos contribuem para a degradação ambiental da sub-bacia, considerando os indicadores da dimensão ambiental.

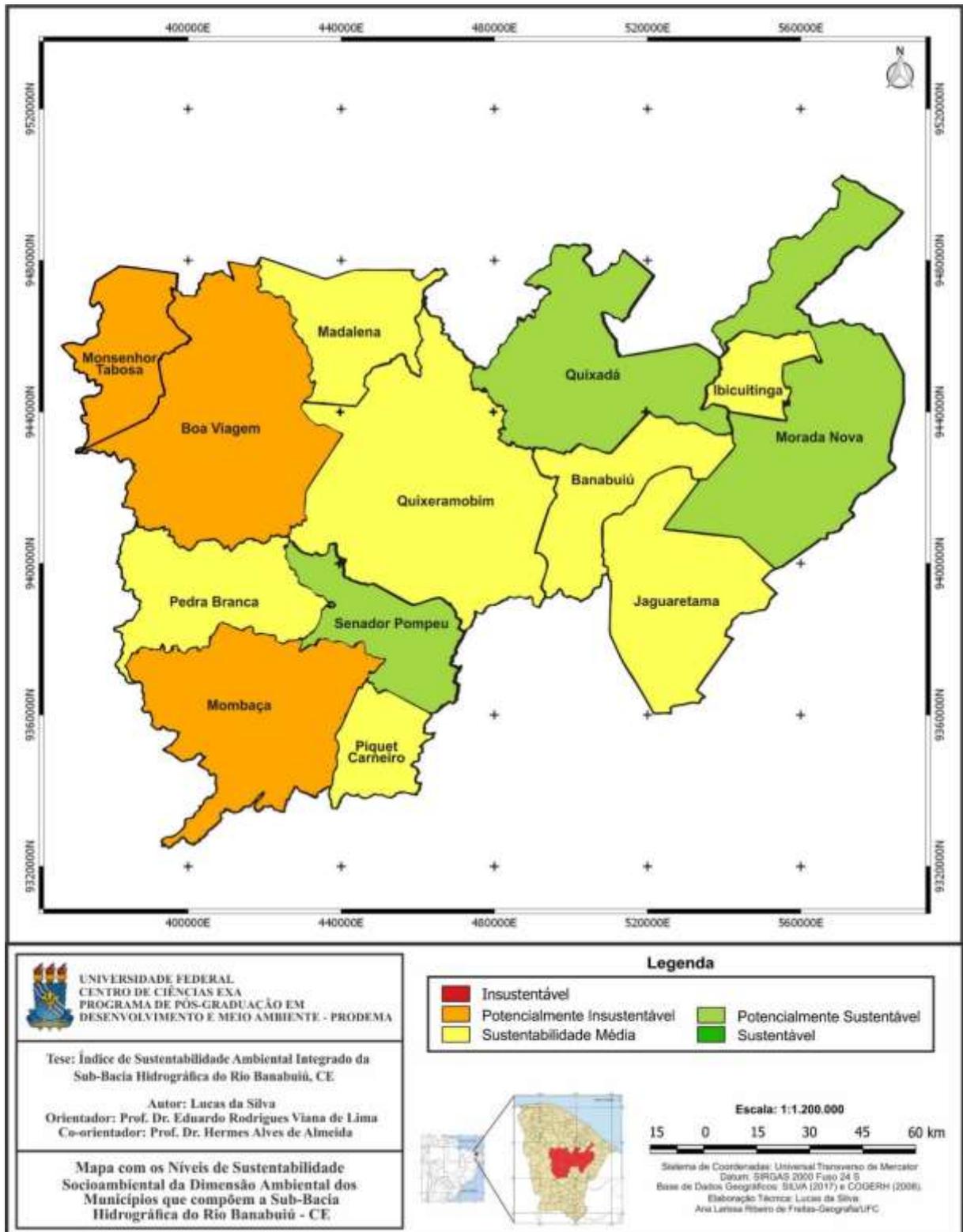


Figura 5: Níveis de sustentabilidade socioambiental da dimensão ambiental dos municípios que compõem a Sub-bacia Hidrográfica do rio Banabuiú.

Já os municípios de Ibicuitinga, Piquet Carneiro, Pedra Branca, Madalena, Banabuiú e Jaguaretama apresentam desempenho de Sustentabilidade Média, ou seja, são aqueles mais próximos de alcançar desempenho “Potencialmente Sustentável” na dimensão ambiental. Estando os municípios classificados dessa maneira, verifica-se que têm potencial para atingir a próxima categoria potencialmente sustentável ou a potencialmente insustentável, dependendo do aumento ou diminuição dos valores dos indicadores da dimensão.

Ainda com relação ao índice na dimensão ambiental, os municípios de Mombaça, Monsenhor Tabosa e Boa Viagem são os únicos que se apresentam como Potencialmente Insustentáveis, por terem apresentado baixo indicador ambiental (ver Figura 04 e Tabela 13). Com isso, torna-se fundamental que esses municípios busquem alternativas para colaborar na busca pela sustentabilidade ambiental, melhorando seus indicadores ambientais e diminuindo sua participação na degradação ambiental da sub-bacia.

6.1.3. Indicadores de sustentabilidade socioambiental da dimensão social

Para o Índice de sustentabilidade socioambiental da dimensão social, foram levados em consideração doze indicadores relacionados à qualidade dos serviços e bem-estar social. Os indicadores são apresentados na Tabela 14, na qual é possível perceber a contribuição de cada um deles na construção do índice de sustentabilidade socioambiental da dimensão social. Essa dimensão visa compreender os aspectos que possibilitem a redução das desigualdades por meio da garantia das necessidades básicas sociais de cada município estudado. Desta forma, o desempenho de todos os indicadores varia e retrata o cenário da sustentabilidade socioambiental da dimensão social de cada município.

Diante dos indicadores apresentados na Tabela 14, observa-se que, dos municípios analisados, sete apresentam taxas superiores a 70% de seus domicílios com acesso à rede de abastecimento de água, com destaque para o município de Quixeramobim, com 76,65%, seguido dos municípios de Morada Nova (76,2%), Ibicuitinga (75,07%) e Boa Viagem (73,94%). Entre aqueles com menores taxas de domicílios com acesso à rede de abastecimento de água, destacam-se o município de Mombaça, com apenas 58,37 %, seguido dos municípios de Jaguaretama (61,7 %) e Piquet Carneiro (64,03 %).

Com relação ao percentual de pessoas alfabetizadas, constatou-se que a taxa de alfabetizados é em média de 73,5 %. O município Quixadá apresentou a maior taxa, com 78,9% de sua população alfabetizada, seguido do município de Quixeramobim, com 78,1 % e Madalena, com 76,8%. Entre os municípios com menores taxas, destacam-se Pedra Branca (69,2%) e Mombaça (67,4%).

É importante destacar que é um desafio constante atingir a sustentabilidade a partir de indicativos de taxa de analfabetismo dos municípios brasileiros, pois, para isso, são necessárias políticas públicas de investimento em educação para transformar os cenários existentes, principalmente nesses municípios de menores taxas. Assim, faz-se necessário o investimento na economia local, valorização cultural e estímulo à prática de novas tecnologias (BONFIM, 2013).

O Índice de Desenvolvimento Humano Municipal - IDH-M também foi um indicador selecionado para determinar o índice de sustentabilidade social por sua importância para compreender e avaliar adequadamente as condições sociais dos municípios. Os indicadores que são levados em conta na construção do IDH municipal (IDHM) são educação, longevidade e renda. O índice varia de 0 (nenhum desenvolvimento humano) a 1 (desenvolvimento humano total). Municípios com IDHM até 0,499 têm desenvolvimento humano considerado baixo; os municípios com índices entre 0,500 e 0,799 são considerados médio; já municípios com IDH maior que 0,800 têm desenvolvimento humano considerado alto.

O valor médio IDH-M dos municípios é de 0,61, ou seja, são considerados de médio desenvolvimento humano. Com exceção dos municípios de Mombaça, com IDH-M 0,582 e de Boa Viagem, com 0,598. Os demais apresentam IDH-M entre 0,60 e 0,659.

O IDH-M tem forte relação com o entendimento de bem social, devido ao fato de ser um indicador multivariado. Uma notável importância do IDH-M é dar atenção ao conceito mais “completo” do que viria a ser desenvolvimento humano, quando comparado a outros indicadores de desenvolvimento em vigor na época de sua publicação, como o produto interno bruto ou o produto nacional bruto (PNUD, 1990 *apud* MDS 2013).

Com relação à quantidade de estabelecimentos de saúde de cada município, Morada Nova e Quixeramobim apresentam, cada um, trinta unidades e Quixadá, vinte e seis. Quando se têm boa estruturação da saúde nos municípios, obtêm-se melhores atendimentos à população, favorecendo melhores condições na qualidade de vida. Essa condição também favorece a expectativa de vida ao nascer, também um dos indicadores da dimensão social, o qual variou entre 69,09 anos (Mombaça) e 72,33 anos (Quixeramobim).

Tabela 14: Valores dos indicadores selecionados para formulação do índice de sustentabilidade socioambiental da dimensão social dos municípios que compõem a Sub-bacia Hidrográfica do rio Banabuiú.

CATEGORIAS	INDICADORES	Banabuiú	Boa Viagem	Ibicuitinga	Jaguaretama	Madalena	Mombaça	Monsenhor Tabosa	Morada Nova	Pedra Branca	Piquet Carneiro	Quixadá	Quixeramobim	Senador Pompeu
		POSITIVO	Taxa de domicílios com acesso à rede abastecimento de água	65,55	73,94	75,07	61,7	66,25	58,37	67,9	76,2	70,97	64,03	71,05
Taxa alfabetização	72,9		71,3	70,66	74,1	76,8	69,2	73	71,77	67,4	76,2	78,9	78,1	75,2
IDH-M	0,606		0,598	0,606	0,61 2	0,61	0,582	0,61	0,61	0,603	0,60	0,659	0,642	0,619
Quantidade de estabelecimentos de saúde	12		17	7	10	12	13	11	30	18	7	26	30	19
Esperança de vida ao nascer	71,71		71,09	70,5	71,5 6	71,65	69,09	71,37	70,47	71,73	71,73	71,52	72,33	71,22
Índice de Satisfação Municipal	4,9		3,9	4,1	3,9	4,4	4,1	3,0	5,2	2,9	5,5	3,5	4,5	3,7
NEGATIVO	População total	17.31 5	52.49 8	11.33 5	18 18	18.08 8	42.69 0	16.70 5	62.06 5	41.89 0	15.46 7	80.60 4	71.88 7	26.46 9
	Densidade demográfica	16,03	18,51	26,72	10,1 5	17,63	20,14	18,69	22,33	32,14	26,31	39,91	21,59	27,68
	Taxa de Mortalidade Infantil	3,39	12,24	11,36	22,1	12,88	14,78	31,5	10,48	15,65	18,52	14,25	14,68	9,74
	Taxa de outra forma de abastecimento de água	33,9	24,16	24,46	37,9	31,35	32,45	24,5	21,71	26,52	33,49	26,75	21,28	23,11
	Índice de Gini	0,56	0,59	0,52	0,45	0,57	0,54	0,55	0,52	0,51	0,52	0,54	0,56	0,51
	Criminalidade por Área Integrada de Segurança	126	114	126	126	114	51	55	126	126	51	126	126	126

Fonte: IBGE, SSPDS/CE

Entre os indicadores negativos da dimensão social, ou seja, aqueles que quanto maior o valor menos contribui para a sustentabilidade da Sub-bacia, destaca-se a população total, em que quatro municípios juntos correspondem a mais da metade da população total dos municípios que compõem a sub-bacia em estudo, sendo eles Quixadá (80.604 habitantes); Quixeramobim (71.887 habitantes); Morada Nova (62.065 habitantes) e Boa Viagem (52.498 habitantes).

Já com relação à densidade demográfica, o município de Quixadá apresenta maior densidade, ou seja, tem maior relação entre sua população e a sua superfície territorial. Dentre as menores densidades, destaca-se o município de Jaguaratama, com 10,15 habitantes por km², ou seja, é o município que tem menos potencialidade de causar impactos ambientais na sub-bacia, considerando, apenas, esse indicador.

Outro indicador avaliado para se obter a sustentabilidade na dimensão social foi a taxa de mortalidade infantil, tendo o município de Monsenhor Tabosa a maior taxa (31,5), seguido pelo município de Jaguaratama (22,1). Já os municípios com menores taxas de mortalidade infantil são Banabuiú, Senador Pompeu e Morada Nova, respectivamente. Como isso, esses municípios são os que mais contribuem com a sustentabilidade da sub-bacia, considerando o indicador taxa de mortalidade infantil essencial no acompanhamento e monitoramento da qualidade de vida e bem estar da população.

Com relação ao indicador “outra forma de abastecimento de água”, todos os municípios apresentam percentuais variando entre 21% e 38%, com destaque para os municípios de Jaguaratama, com 37,87%; Banabuiú, com 33,9%; e Piquet Carneiro, com 33,49%. Esses são os três municípios que mais contribuem com a insustentabilidade da sub-bacia, considerando o indicador citado, pois o uso de outras fontes água que não sejam por meio da rede geral de abastecimentos, tais como mo chafarizes, poços, cisternas ou diretamente de cursos de água sem nenhum tratamento, ocasionam doenças como disenteria, cólera, amebíase, meningite, entres outras, principalmente se essas fontes alternativas, que geralmente são inadequadas para consumo humano, forem poluídas e/ou contaminadas por efluentes.

O Índice de Gini, que mede o grau de concentração de renda de cada município, aponta a diferença entre os rendimentos dos mais pobres e dos mais ricos, também foi utilizado para a formulação do índice de sustentabilidade da dimensão social. Numericamente, esse índice varia de 0 a 1 (alguns apresentam de zero a cem). O valor zero representa a situação de igualdade, ou seja, todos têm a mesma renda. O valor um (ou cem) está no extremo oposto, isto é, uma só pessoa detém toda a riqueza. Na prática, o Índice de Gini costuma comparar os 20% mais pobres com os 20% mais ricos (IPEA, 2014).

O índice de Gini variou entre 0,45 e 0,59, sendo o município de Boa Viagem o que apresentou o maior índice em maior concentração de renda e Jaguaratama a menor concentração de renda. Considerando o Índice de Gini do Brasil, com exceção do município de Jaguaratama, os demais apresentaram índice superior ao nacional, que é de 0,49 (ano de 2014), apesar dos avanços econômicos substanciais observados no estado do Ceará nos últimos anos.

Por fim, o último indicador utilizado para formulação do índice de sustentabilidade socioambiental da dimensão social foi à criminalidade, fornecida pela Assessoria de Análise Estatística e Criminal da Secretaria de segurança Pública e Devesa Social do Estado do Ceará, referente ao ano de 2014. Essas informações são sistematizadas e disponibilizadas por Área Integrada de Segurança englobando várias cidades, sendo assim, as informações das cidades são referentes à Área Integrada de Segurança em que estão inseridas.

Para a criminalidade, foram selecionadas apenas informações sobre os crimes violentos letais e intencionais que incluem os crimes de homicídio doloso, latrocínio e lesão seguida de morte. Considerando as áreas integradas de segurança, a mais violenta foram aquelas onde estão inseridos os municípios de Banabuiú, Ibicuitinga, Jaguaratama, Morada Nova, Pedra Branca, Quixadá, Quixeramobim e Senador Pompeu, com registro de 126 ocorrências.

Já a área integrada de segurança, onde estão inseridos os municípios de Boa Viagem e Madalena, registraram 114 ocorrências. Na área integrada de segurança que engloba o município de Monsenhor Tabosa foram registradas 55 ocorrências.

Entre as áreas que incluem os municípios que compõem a sub-bacia, a área integrada de segurança que apresentou menor índice de criminalidade foi a área que incluiu os municípios de Mombaça e Piquet Carneiro, com 51 ocorrências. Com isso, esses municípios são os que mais contribuem para elevar o índice de sustentabilidade sócio ambiental na dimensão social a criminalidade.

A criminalidade é um indicador indispensável para se mensurar o índice de sustentabilidade socioambiental na dimensão social, isso porque uma cidade com altos índices de violência compromete o bem estar e o desenvolvimento social da população, que fica amedrontada, com sensação de insegurança, o que leva a uma desestabilização de suas relações e da dinâmica sociocultural do município.

Neste sentido, a promoção da segurança pública aos munícipes deve ser vista como uma das ações estratégicas para promoção da tranquilidade e da ordem pública, garantindo a paz e a harmonia, favorecendo, conseqüentemente, o bem-estar e o desenvolvimento social da população.

6.1.4. Índice de sustentabilidade socioambiental da dimensão social

O comportamento dos índices de sustentabilidade socioambiental da dimensão social está ilustrado na Figura 6, a qual apresenta o desempenho de todos os indicadores da dimensão social por municípios.

Assim, pode-se afirmar que os municípios com maiores índices de sustentabilidade na dimensão social são o que apresentam a maior área do triângulo no gráfico. Nota-se que o melhor desempenho sustentável na dimensão social é o do município de Quixeramobim, com índice de 0,66, seguido dos municípios de Morada Nova (0,60), Senador Pompeu (0,57), Piquet Carneiro (0,56), Madalena (0,52), Quixadá (0,51), Banabuiú (0,51) e Monsenhor Tabosa (0,50). Esses municípios apresentam tais índices superiores a 50% do máximo possível (1,0). Isso ocorre porque apresentaram maiores valores em seus indicadores positivos e menores valores em seus indicadores negativos (ver Tabela 12).

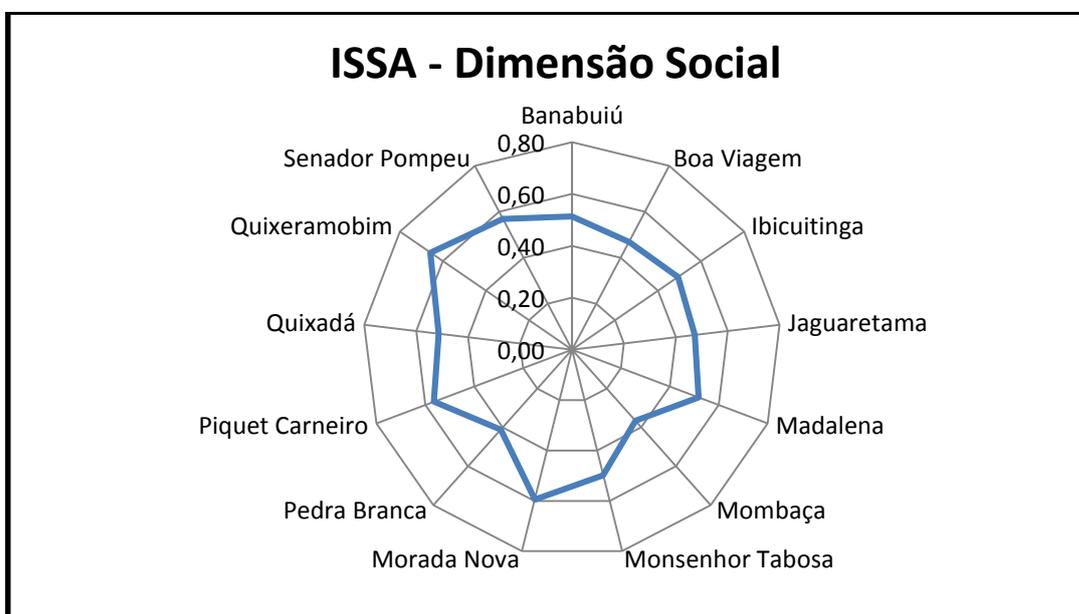


Figura 6: Índice da dimensão social dos municípios que compõem a Sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.

Também é possível observar na Figura 06 os municípios com baixo desempenho de sustentabilidade, por apresentarem valores baixos em seus indicadores positivos e altos nos negativos, sendo o município de Mombaça o mais insustentável da dimensão social, com índice de 0,37; seguido dos municípios de Pedra Branca (0,41); Boa Viagem e Jaguaratama, ambos com 0,47; e Ibicuitinga, com 0,49.

Se comparados à dimensão ambiental, os índices da dimensão social apresentam valores mais baixos. Isso reforça a necessidade de melhores investimentos nos serviços públicos, visando uma melhor qualidade vida e bem-estar social para seus habitantes.

O resultado do cálculo do índice de sustentabilidade da dimensão social é apresentado na Figura 7, que mostra que o município de Quixeramobim é o único Potencialmente Sustentável, ou seja, é o

município que menos contribui para a degradação ambiental da sub-bacia, considerando os aspectos sociais do município.

Já os municípios de Morada Nova, Piquet Carneiro, Senador Pompeu, Banabuiú, Quixadá, Madalena, Monsenhor Tabosa, Jaguaratama, Boa Viagem, Ibicuitinga e Pedra Branca apresentam sustentabilidade média, ou seja, são aqueles mais próximos da alcançar a sustentabilidade da dimensão ambiental. Juntos, representam 85% dos municípios que compõem a sub-bacia.

Entre os municípios analisados na dimensão social, Mombaça é o único que se apresenta como potencialmente insustentável, pois apresenta baixo indicador ambiental (ver Figura 7). Com isso, torna-se fundamental que esse município busque alternativas para melhorar seus indicadores sociais, favorecendo, assim, uma melhor qualidade de vida e bem-estar social.

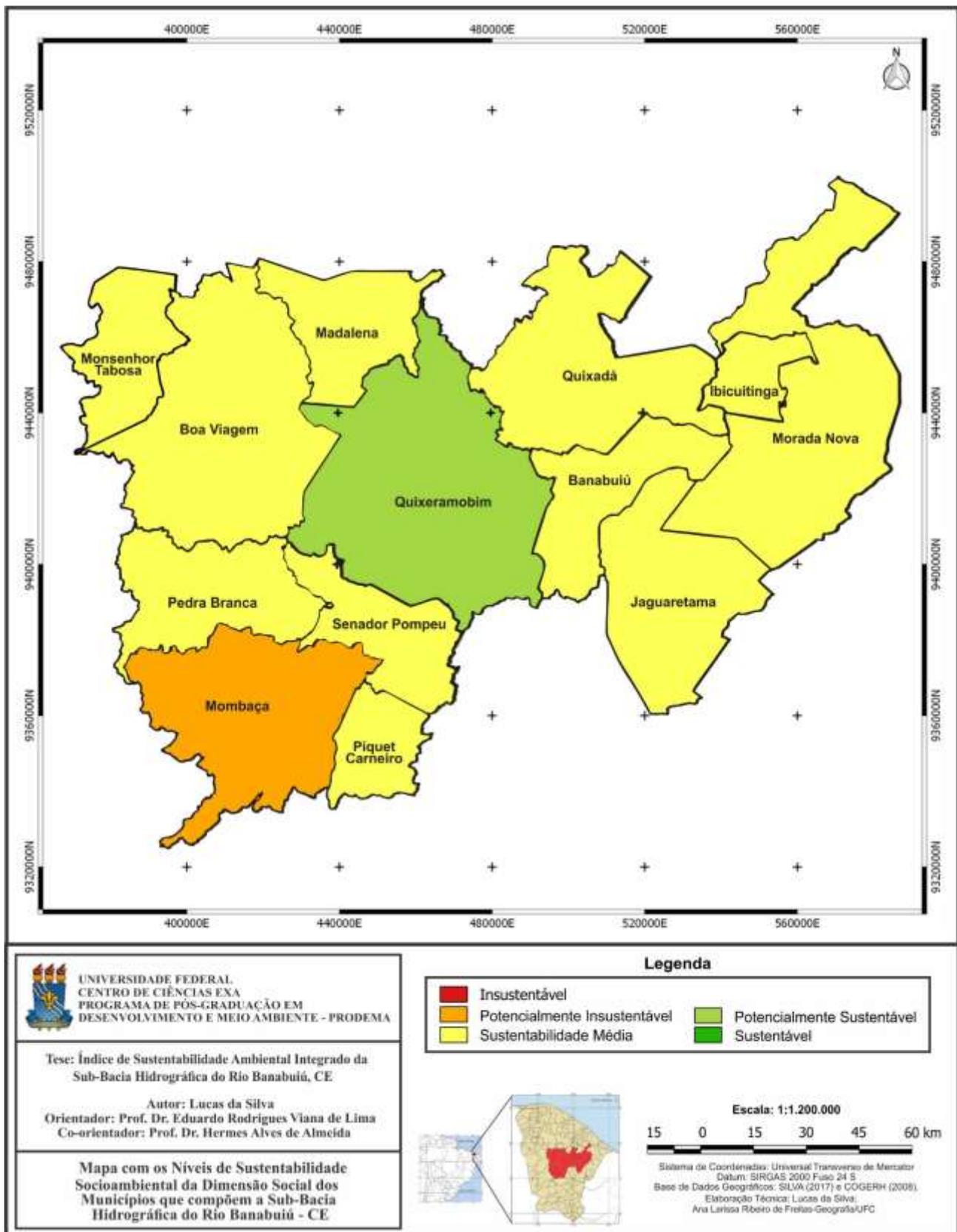


Figura 7: Níveis de sustentabilidade socioambiental da dimensão social dos municípios que compõem a Sub-bacia Hidrográfica do rio Banabuiú

6.1.5. Indicadores de sustentabilidade socioambiental da dimensão econômica

Para a dimensão econômica do índice de sustentabilidade socioambiental dos municípios que compõem a Sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú, foram selecionados nove indicadores (sete positivos e dois negativos) relacionados a questões econômicas.

Esses indicadores são apresentados na Tabela 15, na qual é possível perceber a contribuição de cada um deles na construção do índice de sustentabilidade socioambiental de cada município na dimensão econômica.

O primeiro indicador desta dimensão selecionado foi o Produto Interno Bruto dos Municípios que compõem a sub-bacia em estudo. Este indicador é determinado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, através dos preços correntes e per capita, e do valor adicionado da Agropecuária, Indústria e Serviços, a preços correntes, por meio de um processo descendente de repartição pelos municípios, e do valor adicionado das 15 atividades econômicas das Contas Regionais obtido para cada Unidade da Federação.

O município com maior PIB é o município de Quixadá, que apresenta um valor 12 vezes maior que o PIB do menor município (Ibicuitinga). Além de Quixadá, destacam-se, também, com os maiores PIB, os municípios de Quixeramobim, Morada Nova e Boa Viagem, nesta ordem. Já os municípios de Ibicuitinga, Piquet Carneiro, Monsenhor Tabosa, Madalena, Banabuiú e Jaguaretama são os municípios que apresentam menores PIB, não chegando a cem milhões por ano.

Além do PIB geral por município, optou-se por inserir os percentuais do PIB dos setores da Agropecuária, da Indústria e do Serviço separadamente, com o intuito de representar de forma mais significativa cada setor produtivo, tendo em vista que cada município tem sua vocação econômica.

O setor de serviços é o que mais contribui com a economia dos municípios, seguido do setor Agropecuário. O município de Pedra Branca tem 81% de seu PIB de serviços, ao passo que Morada Nova apresenta a maior taxa entre os municípios no setor industrial (28,92%), tendo o que produz originário dele. Já o município de Jaguaretama tem a maior taxa do setor Agropecuário, ou seja, 26,96% do que produz tem origem deste setor.

Considerando o PIB *per capita* como indicador, que é a divisão de toda a riqueza produzida por um município dividida pelos seus habitantes, os municípios Quixadá e Morada Nova são os que apresentam maiores valores, ultrapassando R\$ 6 mil/hab. ano, seguidos dos municípios de Jaguaretama, Quixeramobim e Senador Pompeu, que apresentam valores de R\$ 5 mil/hab. ano. Os piores PIB *per capita* encontram-se nos municípios de Pedra Branca, Monsenhor Tabosa e Mombaça, que não ultrapassam R\$ 4 mil/hab. ano. Esses municípios apresentam uma combinação de baixa atividade econômica com baixa população e/ou alta população e atividade econômica mediana.

A despesa total com saúde também foi um indicador utilizado para formulação do índice de sustentabilidade socioambiental na dimensão econômica em virtude de seu importante benefício para

a melhoria de vida das pessoas. O município que mais investiu em saúde foi Quixadá, com investimentos muito superiores aos demais (R\$ 16.644.665,4), seguido dos municípios Quixeramobim (R\$ 12.158.378,1) e Morada Nova (R\$9.335.701,35). Na outra ponta, Ibicuitinga (R\$ 335.708,63), Piquet Carneiro (R\$ 1.927.124,06), Madalena (R\$ 445.958,30) e Banabuiú (R\$ 2.590.990,00) são os que menos investem em saúde.

Nesses municípios tornam-se evidentes as necessidades de mais investimentos na saúde, pois esse cenário, evidentemente, mostra uma realidade preocupante, que coloca em risco a saúde e o bem-estar dos habitantes. Esses investimentos, portanto, são importantes e colaboram significativamente na prevenção de doenças e na ampliação das infraestruturas hospitalares, oferecendo a população uma melhor atenção a sua saúde, favorecendo uma melhor qualidade de vida e, com isso, contribuindo para o avanço da sustentabilidade local.

Tabela 15: Valores dos parâmetros selecionados para a formulação do índice de sustentabilidade socioambiental da dimensão econômica dos municípios que compõem a Sub-bacia Hidrográfica do rio Banabuiú.

CATEGORIAS	INDICADORES													
		Banabuiú	Boa Viagem	Ibicuitinga	Jaguaretama	Madalena	Mombaça	Monsenhor Tabosa	Morada Nova	Pedra Branca	Piquet Carneiro	Quixadá	Quixeramobim	Senador Pompeu
POSITIVO	PIB municipal	82.250	228.952,21	44.988,59	89.864,00	76.650,41	158.210,73	64.362,38	381.163,23	155.745,93	60.887,12	547.604,35	426.430,13	132.834,36
	PIB per capita em reais	4.794,43	4.391,59	4.000,43	5.072,00	4.257,52	3.735,29	3.882,17	6.169,29	3.730,51	3.953,33	6.684,18	5.636,26	5.046,47
	Despesa total com saúde	2.590.990	5.640.276	1.335.708	5.985.168	2.445.958	4.817.606	3.620.219	9.335.701	6.206.166	1.927.124	16.644.665	12.158.378	5.940.500
	Taxa do PIB por setor - Agropecuária	15,21	15,56	11,57	26,96	20,38	11,33	9,04	12,59	9,44	11,87	6,79	8,85	8,37
	Taxa do PIB por setor - Indústria	15,47	9,42	11,8	10,97	9,12	12,16	11,3	28,92	9,5	11,01	24,64	26,13	17,27
	Taxa do PIB por setor - Serviço	69,31	75,02	76,63	62,07	70,5	76,51	79,66	58,49	81,06	77,12	68,57	65,02	74,36
NEGATIVO	Taxa da população empregados, sem carteira assinada	8,93	9,02	9,26	9,42	8,45	13,61	14,55	12,44	8,99	9,65	13,47	17,24	14,82
	Taxa da população ocupada com jornada de trabalho semanal superior a 49 horas	2,49	4,88	2,9	8,84	4,49	4,06	3,06	4,86	4,12	2,46	6,64	8,32	5,75

Fonte: IBGE

Para os indicadores negativos da dimensão econômica, foram selecionados os percentuais da população empregada sem carteira assinada e os da população ocupada com jornada de trabalho semanal superior a 49 horas. Esses indicadores mostram a fragilidade na qualidade do emprego dos habitantes das cidades pesquisadas. Por estes indicadores, foi possível observar os percentuais de trabalhadores em subempregos, com remunerações baixas, jornadas de trabalho elevadas e na informalidade.

Entre os empregados sem carteira assinada, destaca-se o município de Quixeramobim, que registrou 17,24 pontos percentuais, sendo 100% maior que os municípios que registraram menores percentuais, como o município de Banabuiú (8,93%) e Pedra Branca (8,99%). Analisando especificamente os municípios que apresentam maiores taxas, que representam 47% deles, registraram-se percentuais acima de 10% de empregados sem carteira assinada.

Observou-se, com relação à população ocupada com jornada de trabalho semanal superior a 49 horas, que os municípios de Jaguaratama e Quixeramobim são os que apresentam maiores percentuais, acima de 8%. Os demais, que representam 70% do total de municípios, apresentam percentuais inferiores a 5%. Destes, destacam-se os municípios de Piquet Carneiro, Banabuiú e Ibicuitinga, que não ultrapassaram 3 pontos percentuais, sendo o primeiro o que apresenta a menor taxa (2,46%), ou seja, cinco vezes menos a que apresenta a maior taxa.

6.1.6. Índice de sustentabilidade socioambiental da dimensão econômica

A Figura 8 mostra o comportamento dos índices de sustentabilidade socioambiental da dimensão econômica dos municípios por meio da média simples dos valores calculados dos indicadores da Tabela 13. Observa-se que o município de Quixadá está representado com a maior área do triângulo no gráfico, o que significa que apresenta o melhor desempenho sustentável da dimensão econômica, com índice de 0,63, comparado com os demais municípios estudados, seguido pelo município de Morada Nova (0,56), Banabuiú (0,46) e Jaguaratama (0,71).

Nessa dimensão, cerca de 85% dos municípios apresentam índices inferiores a 0,5, com destaque para os municípios de Monsenhor Tabosa, Mombaça, Senador Pompeu, Jaguaratama e Ibicuitinga, que apresentam índices abaixo de 0,4. Se comparado com as dimensões ambiental e social, a econômica é a que apresenta índice médio mais baixo, pela alta amplitude dos indicadores selecionados. Para exemplificar, o município de Quixadá apresenta quatro índices com valores máximos ou próximos do máximo, um índice com valor mínimo e três próximos do mínimo. Isso fez com que o índice médio fosse baixo em relação ao demais.

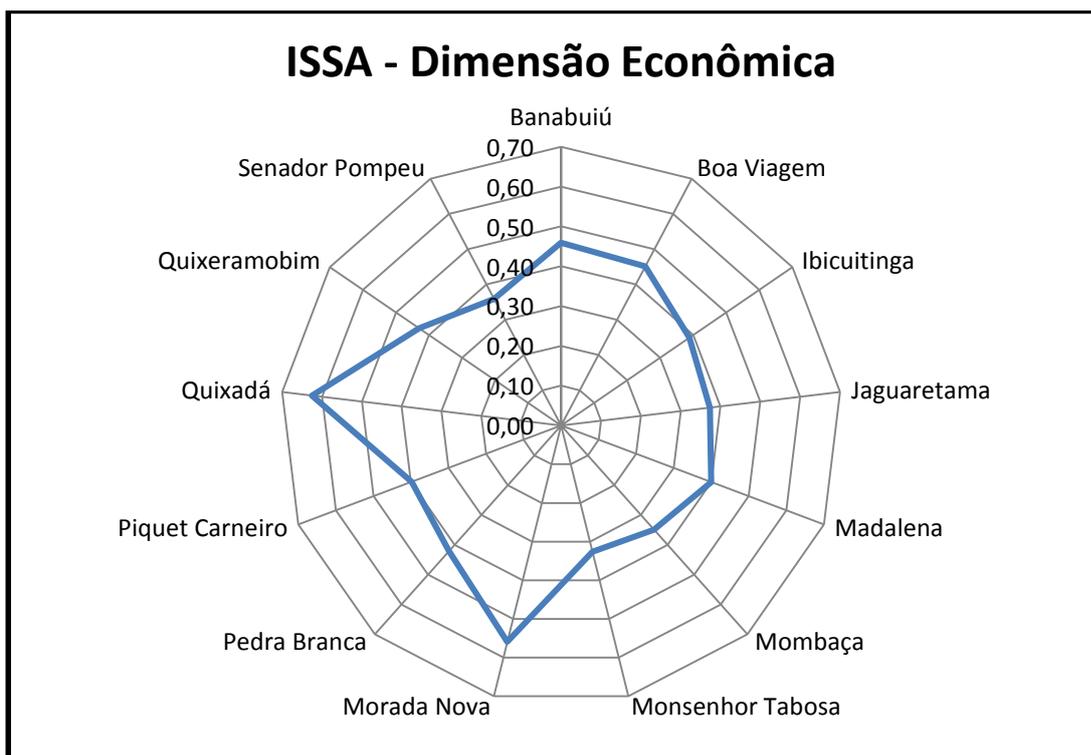


Figura 8: Gráfico com índice da dimensão Econômica dos municípios que compõem a Sub-bacia Hidrográfica do rio Banabuiú.

Isso também influenciou na categorização da sustentabilidade socioambiental, conforme apresentado na Figura 09, onde se observa que o município de Quixadá se configura como o mais sustentável nessa dimensão, apresentando-se como potencialmente sustentável, pois é o município que menos contribui para degradação ambiental da sub-bacia, considerando os indicadores da dimensão econômica. Já os demais municípios, excluindo Quixadá, cerca de 42% se configura como Sustentabilidade Média, enquanto 58% como potencialmente insustentável (ver Figura 9).

Os municípios que se apresentam como Sustentabilidade Média são aqueles mais próximos de alcançarem, caso haja melhorias em seus indicadores, o próximo nível superior (Potencialmente Sustentável) ou, caso não haja melhorias em seus indicadores, regredirem em categoria na dimensão econômica.

Os municípios que apresentam desempenho Potencialmente Insustentável na dimensão econômica são os municípios que mais contribuem nesta dimensão para a insustentabilidade da sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú, por apresentarem também os piores indicadores na dimensão econômica, como se pode ver na Tabela 12. Isso revela a necessidade urgente de ações e políticas públicas no sentido de melhorar tais indicadores e assim melhorar as condições econômicas desses municípios.

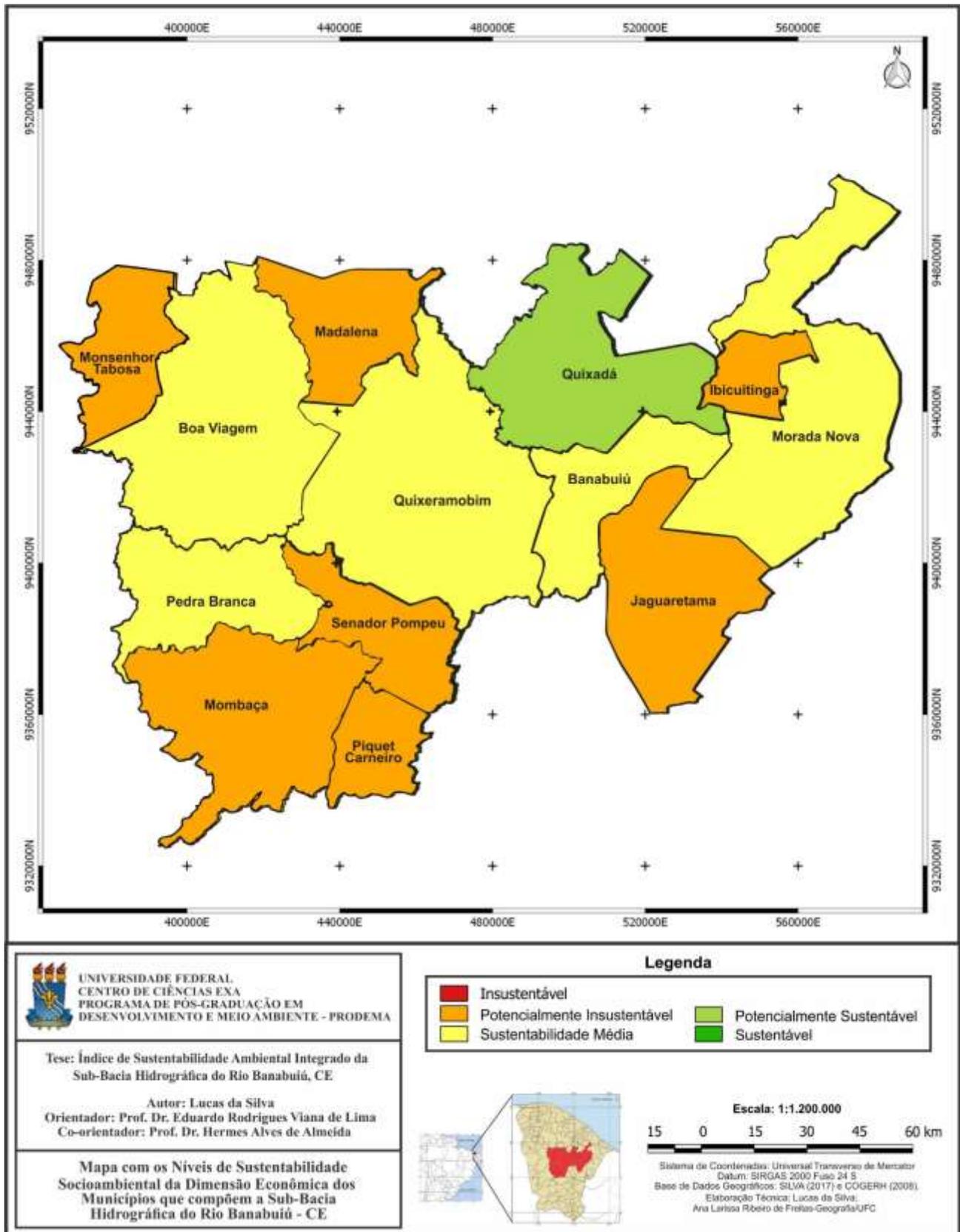


Figura 9: Níveis de sustentabilidade da dimensão econômica dos municípios que compõem a Sub-bacia Hidrográfica do rio Banabuiú.

6.1.7. Índice de sustentabilidade socioambiental médio geral da Sub-bacia Hidrográfica do rio Banabuiú

Quanto ao índice de sustentabilidade socioambiental geral, considerando as médias das dimensões ambiental, social e econômica, pode-se observar que o maior índice foi apresentado pelo município de Quixadá (0,63), seguido pelos municípios de Morada Nova (0,60), Senador Pompeu (0,57), Madalena (0,51) e Piquet Carneiro (0,51). Esses foram os municípios que apresentaram índices de sustentabilidade mais elevados, metade do máximo possível que é 1.

Já o município de Mombaça é o que apresenta o menor índice, com 0,37, sendo o mais insustentável entre todos os municípios, seguido pelos municípios de Monsenhor Tabosa (0,40), Boa Viagem (0,43), Jaguaratama (0,44), Pedra Branca (0,45), Ibicuitinga (0,47), Madalena (0,48) e Banabuiú (0,49). Esses municípios apresentam os piores índices de sustentabilidade, o que significa que mais da metade dos municípios que compõem a sub-bacia tem índice de sustentabilidade inferior à metade do máximo possível, conforme mostra a Figura 10.

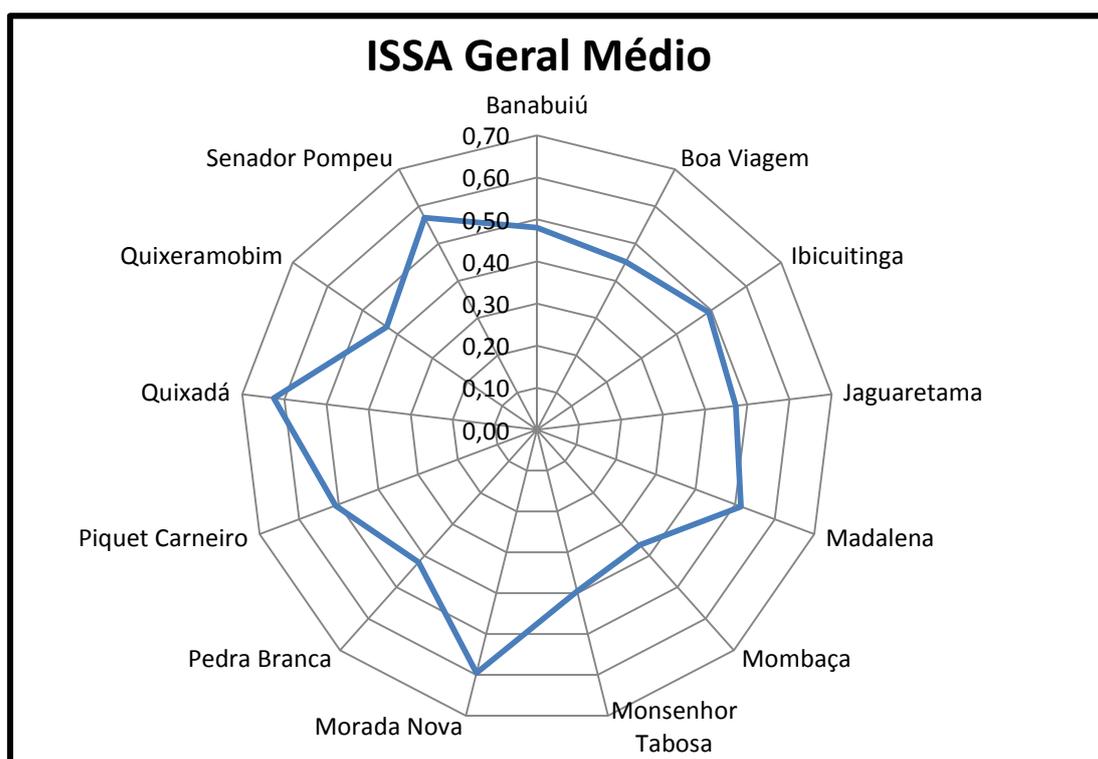


Figura 10: Índice de sustentabilidade dos municípios que compõem a Sub-bacia Hidrográfica do rio Banabuiú.

Através da Figura 11, que mostra o mapa com as categorizações da sustentabilidade geral (média das dimensões ambiental, econômica e social) dos municípios, verifica-se que apenas o município de Quixadá apresenta desempenho potencialmente sustentável, pois apresenta as melhores condições de sustentabilidade em relação aos demais municípios da Sub-bacia, considerando os indicadores selecionados e analisados. É importante ressaltar que, das três dimensões, o município de Quixadá apresenta o desempenho Potencialmente Sustentável nas dimensões ambiental e econômica;

e, na social, apresenta desempenho de Sustentabilidade Média. Com isso, Quixadá é o município com maior potencialidade de chegar ao nível de Sustentabilidade, se comparado aos demais. Além disso, é importante destacar que mesmo este município tendo apresentado desempenho satisfatório de sustentabilidade geral, observa-se que necessita de melhorias em vários indicadores das três dimensões.

Quase a totalidade dos municípios (85%) apresentam desempenho de Sustentabilidade Média por apresentarem valores intermediários de sustentabilidade, ou seja, são municípios que, se houver melhoras em seus indicadores, têm grandes possibilidades de avançarem para o nível Potencialmente Sustentável ou até mesmo chegarem ao nível de Sustentabilidade. No entanto, caso não haja melhorias, podem aumentar seu nível em Insustentabilidade.

Quanto ao município de Mombaça, este é o que apresenta pior desempenho e classificado, portanto, como Potencialmente Insustentável, pois é o que mais contribui com a insustentabilidade da sub-bacia. Nesse sentido, percebe-se a necessidade de melhoria dos indicadores de todas as dimensões, por meio de ações de políticas públicas que contribuam com o progresso das condições ambientais, sociais e econômicas da população.

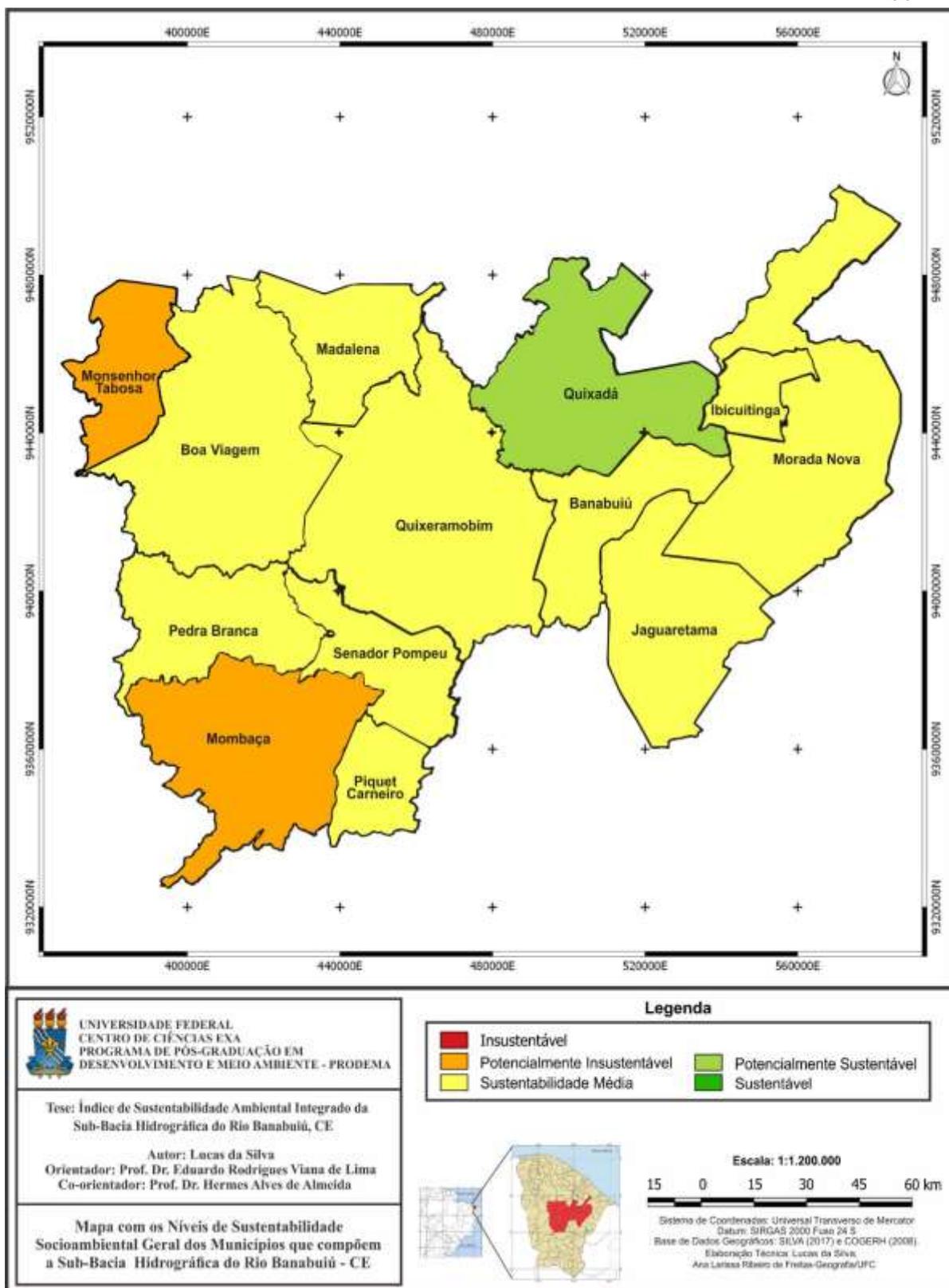


Figura 11: Níveis de sustentabilidade socioambiental geral (média das dimensões ambiental, econômica e social) dos municípios que compõem a Sub-bacia Hidrográfica do rio Banabuiú.

No tocante ao índice de sustentabilidade socioambiental, todos os municípios que compõem a sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú contribuem de alguma forma para a insustentabilidade da sub-bacia, já que nenhum deles apresenta índice de sustentabilidade “sustentável” em nenhuma das dimensões. Com isso, tornam-se necessárias ações urgentes de melhoria das condições ambientais, sociais e econômicas da população desses municípios, a fim de garantir as condições mínimas de saúde pública, moradia, trabalho, saneamento básico, educação, segurança, disponibilidade de água de qualidade.

6.2. Índice de Sustentabilidade Geoambiental dos municípios que compõem a Sub-bacia Hidrográfica do Rio Banabuiú

O Índice de Sustentabilidade Geoambiental dos municípios que compõem a Sub-bacia hidrográfica foi estabelecido com base no nível e na influência dos indicadores geofísicos da área, a partir da vulnerabilidade e grau de comprometimento ambiental de cada município.

Para esse índice, foram estabelecidas sete dimensões: solos, vegetação, clima, geomorfologia, geologia, drenagem e uso da terra. Essas dimensões foram categorizadas em indicadores positivos e negativos, com base no tamanho das áreas e na abrangência de cada indicador por município.

Para uma melhor compreensão dos resultados, os índices foram categorizados em níveis de desempenho de sustentabilidade e representados por gráficos e mapas por meio de cores.

6.2.1. Indicadores de sustentabilidade Geoambiental da dimensão “solos”

Para o Índice de Sustentabilidade Geoambiental da dimensão solos, foram considerados como indicadores dezesseis tipos de solos mais frequentes nos municípios que compõem a sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú. Estes podem ser observados na Figura 12 e na Tabela 16, com a quantidade em percentagem (área) de todos os municípios. Essa quantidade é a relação de cada solo presente em cada município.

Quanto maior for a relação dos solos classificados como positivos, maior a participação na sustentabilidade geoambiental da sub-bacia. Já para os solos classificados como negativos, quanto maior for o valor do indicador, menos será sua contribuição na sustentabilidade geoambiental. Com isso, é possível perceber a contribuição de cada um deles na construção do Índice de Sustentabilidade Geoambiental de cada município da dimensão solos. A distribuição espacial desses solos pode ser também observada na Figura 12.

Entre os solos classificados como positivos, o Podzólico Vermelho Amarelo Eutófico (Argissolos) é a classe de solo de maior expressão geográfica entre os municípios que compõem a sub-bacia do rio Banabuiú e a terceira considerando todos os solos (positivos e negativos). Ele está presente em cinco municípios: Pedra Branca, Mombaça, Senador Pompeu, Boa Viagem e Quixeramobim. Destes, destaca-se Pedra Branca, pois possui esse solo em 42% de seu território. Também é bastante presente nos municípios de Mombaça e Senador Pompeu, correspondendo a 15% e 14%, respectivamente.

Já os municípios de Boa Viagem e Quixeramobim, são os que apresentam menores percentagens do solo Podzólico Vermelho Amarelo Eutófico: 9,6% e 2,8% de seus solos, respectivamente. Essa expressividade na presença desta classe de solos é porque este tipo ocorre em diferentes posições na paisagem e apresenta variações das características pedológicas (morfológica, física e química), que afetam seu potencial de uso agrícola e não agrícola (KLAMTet al., 2001; PEDRONet al., 2006). No entanto, mesmo sendo classificados com indicador positivo, se esses solos forem utilizados intensivamente e de forma inadequada, podem ter sua qualidade comprometida (DALMOLIN e PEDRON, 2009).

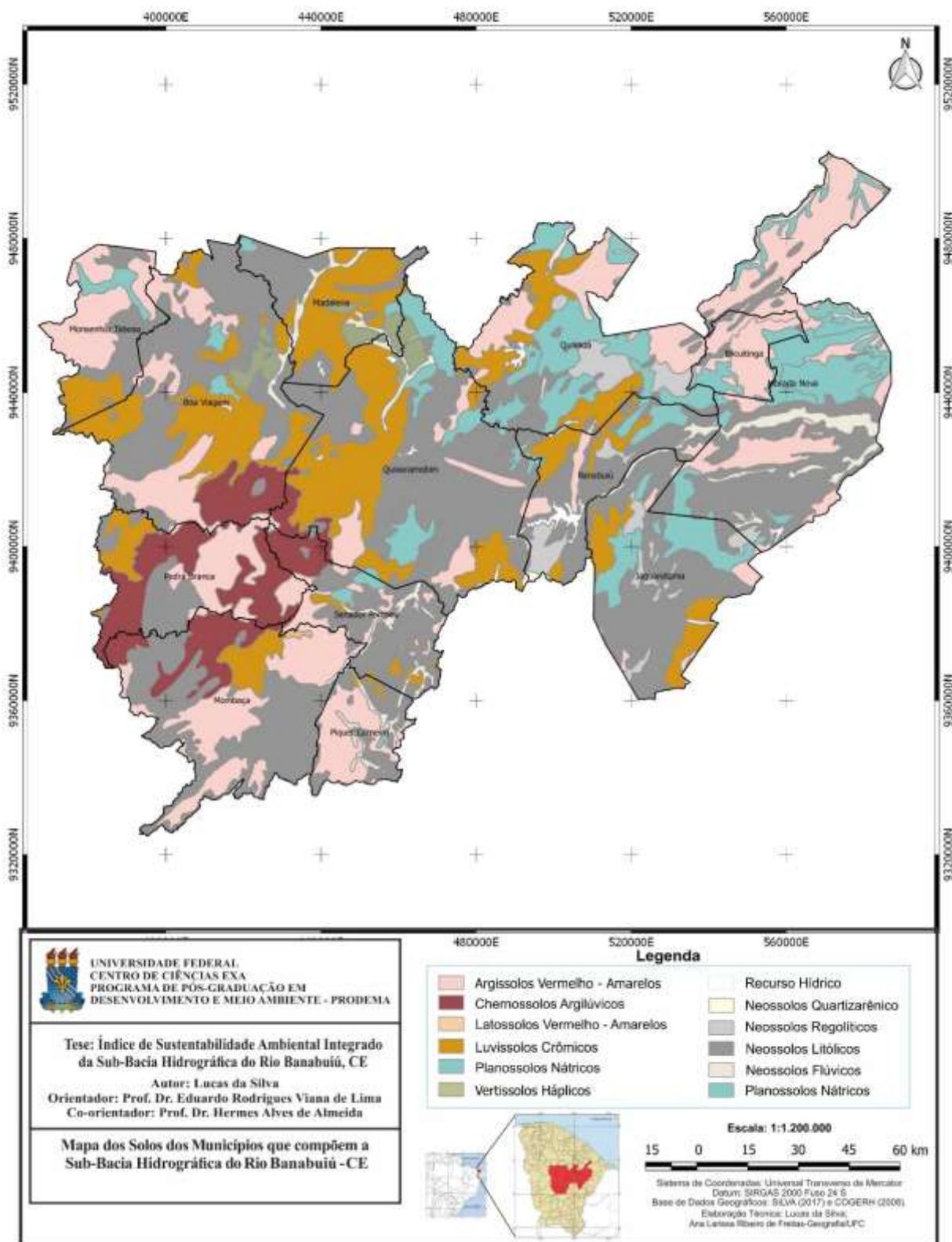


Figura 12: Solos dos municípios que compõem a Sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.

Tabela 16: Valores dos indicadores (tipos de solos) selecionados para formulação do Índice de Sustentabilidade Geoambiental, da dimensão “solos”, dos municípios que compõem a Sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.

CATEGORIAS	INDICADORES (%)													
	Banabuiú	Boa Viagem	Ibicuitinga	Jaguaretama	Madalena	Mombaça	Monsenhor Tabosa	Morada Nova	Pedra Branca	Piquet Carneiro	Quixadá	Quixeramobim	Senador Pompeu	
POSITIVO	Brunizem Avermelhado / Chernossolos	0	9,6	0	0	0	15,6	0	0	42,8	0	0	2,8	14
	Podzólico Vermelho Amarelo Álico / Argissolos	7,1	0	0	0,3	0	0	0	9,4	0	0	0	0	0
	Podzólico Vermelho Amarelo Distrófico / Argissolos	1,3	0	46,5	2,4	0	0	0	1,7	0	0	0	0	0
	Podzólico Vermelho Amarelo Eutrófico/ Argissolos	0	18,3	21	1,1	0	31,6	48,6	20,6	28	51,8	21,9	8,1	14,8
	Vertissolo / Vertissolos	0	3,2	0	0	8,7	0	0	0	0	0	0	2,4	0
NEGATIVO	Brunizem Avermelhado / Chernossolos	0,2	0,4	0	0	0	0	0	0,2	1	0	1,4	1,5	0,7
	Afloramentos Rochosos / Neossolos	0,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0
	Areias Quartzosas Distróficas / Neossolos	18,5	25,8	0	14,3	48	6,9	16,2	0	10,4	2,7	20,4	28,9	5,6
	Bruno Não Cálcio / Luvisolos	7	0,9	13,7	0	2,6	0	8,3	10,2	0	0	19,5	8,1	2
	Planossolo Solódico / Planossolos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,3	0	0,3	2,4
	Planossolo Solódico e Não Solódico / Planossolos	10,9	0	1,4	7,2	0	0	0	0,7	0	33,2	10	0,1	0
	Regossolo Eutrófico/ Neossolo	41,5	39,2	4,6	19,3	33,1	44,9	26,9	31,6	17,8	0	10,3	43,8	53
	Litólico Eutrófico /Neossolos	6,3	0,6	4	35,5	0	0	0	1,9	0	0	1,7	0,5	0
	Litólico Eutrófico e Distrófico / Neossolos	3,5	0,9	8,8	18,3	0	0	0	15,8	0	0	13,6	1,9	0
	Solonetz Solodizado / Planossolos	2,9	1	0	1,6	7,6	0,4	0	7,9	0	11	1,3	1,5	7,5
	Aluviais Eutróficos / Neossolos	0	9,6	0	0	0	15,6	0	0	42,8	0	0	2,8	14

O solo Podzólico Vermelho Amarelo Álico / Argissolos corresponde a cerca de 1,8% dos solos da Sub-bacia e está presente em apenas três municípios. Este tipo de solo representa 9,4 % dos solos do município de Morada Nova; 7,1% dos solos do município de Banabuiú; e 0,3 % dos solos do município de Jaguaretama.

Já o solo Podzólico Vermelho Amarelo Distrófico / Argissolos corresponde a 1,14% dos solos da sub-bacia. Este solo possui maior representatividade no município de Ibicuitinga (46,5%). Nos demais municípios, tal solo é pouco presente, representando apenas 2,4 % dos solos do município de Jaguaretama; 1,7 dos de Morada Nova; e 1,3% dos de Banabuiú.

O solo Podzólico Vermelho Amarelo Eutrófico/ Argissolos é, entre os indicadores positivos, o de maior abrangência nos municípios que compõem sub-bacia. Apenas dois municípios não apresentam este tipo de solo: Banabuiú e Madalena. No entanto é o tipo de solo mais abrangente no município de Piquet Carneiro, representando 51,8% de seus solos. Também é bastante presente nos municípios de Monsenhor Tabosa com 48,6%; Mombaça, com 31,6%; Pedra Branca, com 28%; e Quixadá, com 21,9%.

Os solos Podzólico Vermelho Amarelo são comuns em topo de morros ou inclinações, isto é, em paisagens de relevo mais movimentado. Tais solos, em geral, apresentam maior fertilidade natural e são derivados de gnaisses e granitos, que têm como característica a presença de uma quantidade apreciável de cascalho espalhada em todo o perfil, podendo ser fragmentos de feldspatos mais resistentes à decomposição. Geralmente são solos profundos com textura normalmente arenosa ou média no horizonte A e argilosa ou média no horizonte B (OLIVEIRA et al., 2003).

Quanto aos solos Vertissolo / Vertissolos, percebe-se que são pouco presentes nos municípios estudados, aparecem em apenas três deles: Madalena (8,7%), Boa Viagem (3,2%) e Quixeramobim (2,4%).

Os Vertissolos, geralmente, são pouco permeáveis, característica que restringe a sua drenagem que, em geral, ocorre em áreas planas, suavemente onduladas, com depressões. São solos constituídos por material mineral com horizonte vértico entre 25 e 100 cm de profundidade e relação textural insuficiente para caracterizar um B textural. (CEARÁ, 2010).

Já o solo Brunizem Avermelhado / Chernossolos representa 7% dos solos dos municípios da sub-bacia, sendo o quarto mais representativo. Está presente em Banabuiú, Boa Viagem, Morada Nova, Pedra Branca, Quixadá, Quixeramobim e Senador Pompeu; No entanto, essa presença é pouco significativa comparada com outros solos, variando entre 0,2 a 1,5%.

Os solos Brunizem Avermelhado / Chernossolos apresentam como principais características a boa drenagem e profundidade média a rasa, com textura argilosa, relevo forte ondulado e montanhoso (LIMA et al, 2002).

O grupo dos indicadores negativos apresentou maior variedade de solos, sendo o solo Litólico Eutrófico /Neossolo o mais representativo, com 37% dos solos da sub-bacia, estando presente em sete municípios. Destes, destaca-se Jaguaretama, onde 35,5% de seus solos correspondem ao Litólico Eutrófico /Neossolo, enquanto que os demais municípios variaram entre 0,6 e 6,5% de seus solos com essa classe.

O solo Litólico Eutrófico e Distrófico representa 0,76% dos solos dos municípios estudados, no entanto, está presente em sete municípios. Possui presença mais significativa em Jaguaretama (18,3%), Morada Nova (15,8%), Quixadá (13,6%) e Ibicuitinga (8,8%). Os dois últimos tipos de solos citados, segundo CEARÁ (2015) são pouco desenvolvidos, rasos a muito rasos, possuindo apenas, um horizonte A assente, diretamente, sobre a rocha (R), ou sobre materiais desta rocha em grau mais adiantado de intemperização, constituindo um horizonte.

Ainda segundo CEARÁ (2015), possuem drenagem variando de moderada a acentuada e são, comumente, bastante susceptíveis à erosão, em decorrência de suas reduzidas espessuras. Tais solos se caracterizam por ter um comportamento extremo em relação aos períodos de chuva e de seca: quando na estiagem, ressecam-se e fendilham-se, tornando-se extremamente duros, enquanto que, quando úmidos, tornam-se encharcados, muito plásticos e muito pegajosos, dificultando o manejo e uso de máquinas agrícolas e com isso têm baixo potencial para uso agrícola, apresentando, portanto, problemas relacionados com suas condições físicas (CEARÁ, 2015).

O solo Bruno Não Cálcio / Luvisolos Crômico é o segundo mais representativo entre os municípios que compõem a sub-bacia. Representando cerca de 18% dos solos, está presente na maioria dos municípios, sendo mais significativo em Quixadá com (19,5%), Ibicuitinga com (13,7%), Morada Nova com (10,2%), Monsenhor Tabosa com (8,3%) e Banabuiú (7%).

Para CEARÁ (2015), os solos Bruno Não Cálcio apresentam forte limitação ao uso agrícola, pela falta d'água, além de serem muito susceptíveis à erosão, com presença de pedregosidade superficial frequentemente e, muitas vezes, dentro da massa do solo, dificultando, em muito, a mecanização. Além disso, quando utilizada a irrigação, apresentam ocorrência e teores bastante significativos de sódio em profundidade, principalmente nos Brunos vérticos (CEARÁ, 2015).

Já para Manzatto, Freitas Junior e Peres (2002), os Luvisolos compreendem solos com elevada fertilidade natural, dotados de argilas com alta capacidade de retenção de íons trocáveis (argila de atividade alta) e saturação por bases também altas (elevada capacidade de retenção de nutrientes) nos horizontes subsuperficiais, imediatamente abaixo de horizontes do tipo A, com baixos teores de matéria orgânica, pouco espessos e com nível capacidade de retenção de nutrientes de baixa a média. Por outro lado, segundo Oliveira (2008), esses tipos de solos, em geral, têm pouca profundidade, são pedregosos com predominância morfo genética sobre a pedogênese.

O solo Planossolo Solódico e Não Solódico / Planossolos corresponde a menos de 2% dos solos dos municípios da sub-bacia, no entanto, está presente na maioria dos municípios que compõem a sub-bacia do rio Banabuiú. O município de Piquet Carneiro apresenta mais quantidade (33,2%), seguido pelos municípios de Banabuiú (10,9%), Quixadá com (10%) e Jaguaretama (7,2%). Os demais municípios não ultrapassaram 1,4% de seus solos com essa classe.

O solo Planossolo Solódico / Planossolos é o quinto mais frequente, representando 5% dos solos dos municípios pesquisados. No entanto, ele é encontrado em apenas em três municípios e representa muito pouco em relação aos demais solos: corresponde a apenas a 2,4% dos solos do município de Senador Pompeu; 1,3% dos solos de Piquet Carneiro; e 0,3% do município de Quixeramobim.

O Solonetz Solodizado / Planossolos é o sexto solo mais frequente, representando 4,6% dos solos dos municípios da sub-bacia. No entanto, ele é encontrado em quase todos os municípios pesquisados, não estando presente apenas nos municípios de Ibicuitinga e Pedra Branca, variando entre 1,3% a 7,9% dos solos.

Esses últimos três solos são classificados pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) no grupo dos Planossolos. Segundo a CEARÁ (2015), é uma classe que compreende os solos com horizonte B textural, que, em geral, apresenta argila de atividade alta, saturação com sódio entre 6 e 15% nos horizontes Bt e/ou C. Esses horizontes mostram subsuperficiais feições associadas à umidade (mosqueado e/ou cores de redução), em face da drenagem imperfeita, apresentando problemas de encharcamento durante o período chuvoso e ressecamento e fendilhamento durante a época seca. São suscetíveis à erosão nas condições climáticas características da região semiárida, pela presença de horizontes superficiais arenosos e aumento do teor de argila em profundidade (MANZATTO; FREITAS JUNIOR; PERES, 2002).

Os Planossolos também são fortemente limitados pela falta d'água em áreas semiáridas, devendo-se considerar, também, a saturação com sódio elevada, nos horizontes subsuperficiais, fator de restrição importante para a maioria das culturas (CEARÁ, 2015),

O solo Regossolo Eutrófico/ Neossolo encontra-se presente em doze dos treze municípios pesquisados. Apenas Piquet Carneiro não apresenta entre seus solos o Regossolo Eutrófico/ Neossolo. A presença deste solo é muito significativa em todos os municípios da sub-bacia, variando entre 4,6% e 53%. Representa mais de 30% dos solos dos municípios de Senador Pompeu com 53%, Quixeramobim com 48%, Mombaça com 44,9%, Banabuiú com 41%, Boa Viagem com 39,2%, Madalena com 33,1% e Morada Nova com 31,6.

Já o Litólico Eutrófico /Neossolos está presente em sete municípios, sendo mais significativo e mais presente no município de Jaguaretama, com 35,5%. Já nos demais municípios não ultrapassa 7%, variando entre 0,5% e 6,3%.

Em contrapartida, o solo Litólico Eutrófico e Distrófico / Neossolos está presente em seis municípios, variando entre 0,9% a 18,3%, sendo mais presente nos municípios de Jaguaretama com 18,3%, Morada Nova com 15,8% e Quixadá com 13,6%, do total dos solos de cada um desses municípios.

O solo Aluviais Eutróficos / Neossolos está presente em apenas cinco municípios, sendo mais significativo em Pedra Branca, com 48% de seus solos. Na sequência, têm-se Mombaça, com 15,6%; Senador Pompeu, com 14%; Boa Viagem, com 9,6%; e Quixeramobim, com 2,8%.

O solo Areia Quartzosa Distrófica / Neossolos só não está presente nos municípios de Ibicuitinga e Morada Nova. Nos municípios em que está presente variou entre 2,7% a 48%. Destes, Madalena apresentou maior presença.

Os solos do grupo do Neossolos, pela classificação do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS), em geral, se formam em função das condições do ambiente semiárido, com significativa participação do fator ativo clima. Os seus processos erosivos nessas condições justificam a pouca profundidade, pedregosidade e predominância morfogênica sobre a pedogênese (OLIVEIRA, 2008).

Para Almeida (2012), os solos Neossolos Litólicos são considerados os mais susceptíveis à erosão e, quando localizados em altas declividades, amplia-se o potencial de degradação, o que pode desencadear processo de desertificação. Já Ceará (2010), afirma que os Neossolos são pouco evoluídos e que, geralmente, possuem um horizonte escurecido à superfície sobre camadas estratificadas. Quanto aos solos Litólicos, em geral, estão associados a muitos afloramentos de rocha (RESENDE et al., 1988). Os Neossolos Flúvicos raramente ocupam apreciáveis áreas contínuas, pois são restritos às margens dos cursos d'água, lagoas e planícies costeiras onde, geralmente, ocupam as pequenas porções das várzeas (OLIVEIRA; JACOMINE; CAMARGO, 1992).

6.2.2. Índice de Sustentabilidade Geoambiental da dimensão “solos”

Na Figura 13 são apresentados os Índices de Sustentabilidade Geoambiental da dimensão solos, em que se observa o desempenho de todos os indicadores da dessa dimensão por municípios.

Assim, pode-se afirmar que os municípios com maiores Índices de Sustentabilidade na dimensão solos são os que apresentam a maior área do triângulo no gráfico. Desse modo, o município que aparece com o melhor desempenho Sustentável Geoambiental é o município de Ibicuitinga, com índice 0,67, seguido dos municípios de Mombaça (0,66), Monsenhor Tabosa (0,64) e Boa Viagem (0,61). Estes municípios têm tais índices por apresentarem maiores percentuais de solos como indicador positivo e menores valores em seus indicadores negativos.

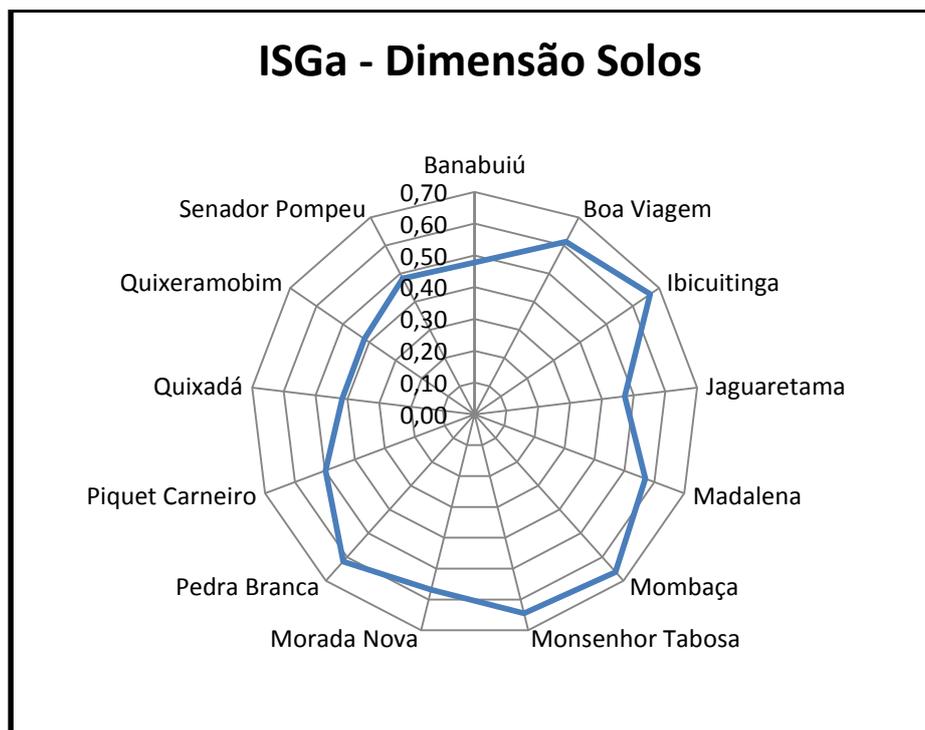


Figura 13: Índice de Sustentabilidade Geoambiental, da dimensão “solos”, dos municípios que compõem a Sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.

É possível também observar, na Figura 13, os municípios com baixo desempenho de sustentabilidade na dimensão solo, por apresentarem valores baixos em seus indicadores positivos e altos nos negativos. Nesta classificação, os municípios de Quixadá e Quixeramobim apresentam menores índices (0,42), seguidos dos municípios de Jaguaretama (0,47), Banabuiú e Senador Pompeu, ambos com índices de (0,48). Os demais municípios apresentam desempenho oscilando entre 0,50 (Piquet Carneiro) e 0,57 (Madalena e Morada Nova).

A Figura 14 mostra os níveis de Sustentabilidade Geoambiental da dimensão solos. Observa-se que os municípios pesquisados apresentam apenas dois níveis de sustentabilidade Geoambiental: Potencialmente Sustentável e Sustentabilidade Média. Os municípios considerados como Potencialmente Sustentáveis são: Ibicuitinga, Mombaça, Monsenhor Tabosa, Pedra Branca e Boa Viagem; já os municípios considerados com Sustentabilidade Média são: Madalena, Morada Nova, Piquet Carneiro, Senador Pompeu, Banabuiú, Jaguaretama, Quixeramobim e Quixadá.

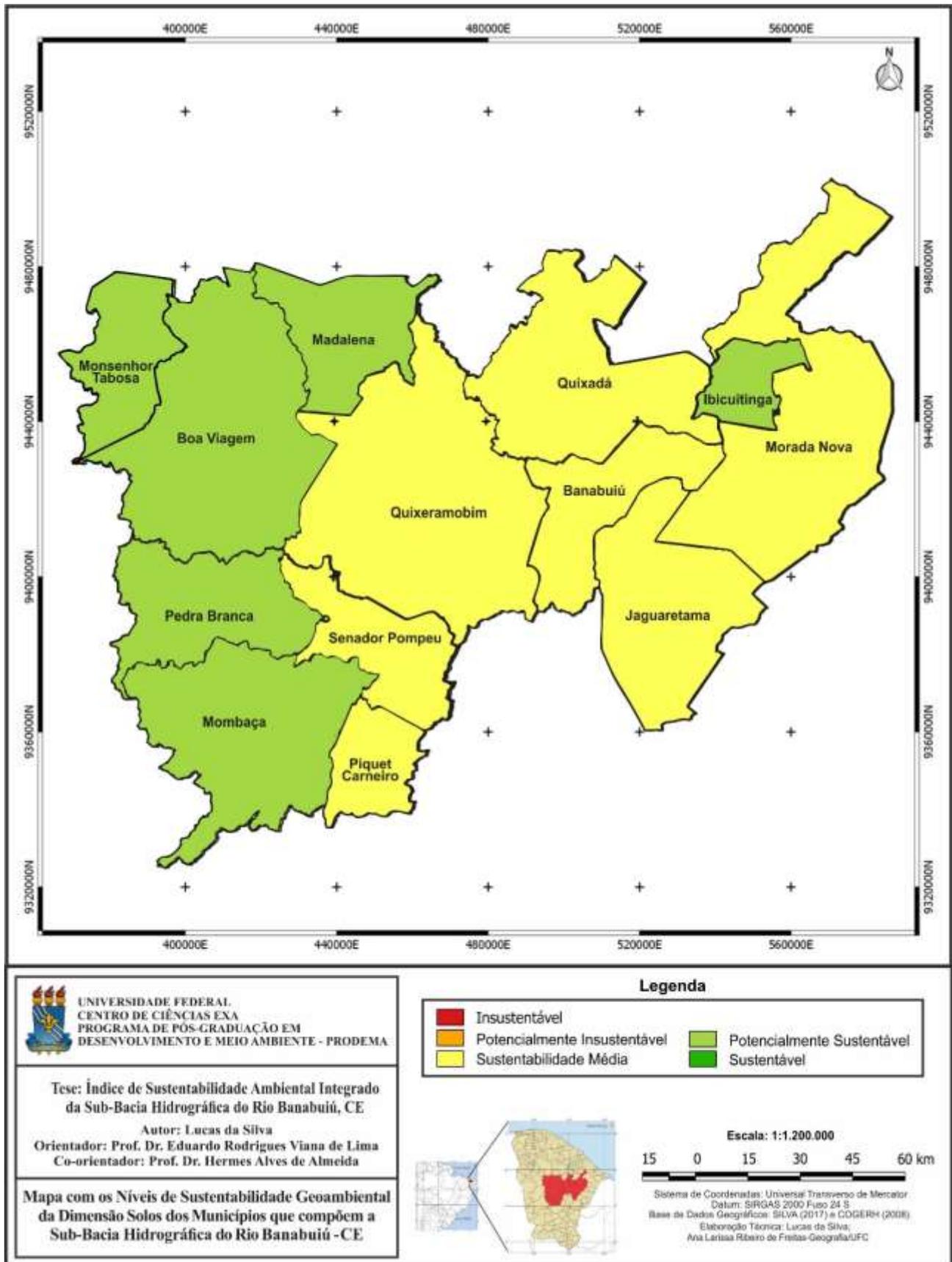


Figura 14: Níveis de sustentabilidade geoambiental, da dimensão “solos”, dos municípios que compõem a Sub-bacia hidrográficado rio Banabuiú

Mesmo que a maioria dos solos esteja na categoria negativa, isto não ocorre em todos os municípios, visto que uma parte significava dos solos descritos também apresenta categoria positiva; o que, de certa forma, contribuiu para um resultado favorável, pois se trata de um valor médio.

Nesse resultado, mesmo que favorável, deve-se considerar que os solos do Semiárido, em geral, apresentam limitações em seus usos, por normalmente serem jovens, salinos, pobres em nutrientes e susceptíveis a erosão e que, devido ao seu material de origem ser cristalina, dificulta a infiltração da água. No entanto, tais solos podem ser bem aproveitados se manejados adequadamente, com técnicas apropriadas, sem o uso intenso de maquinário que favorecem, além de outros problemas, sua compactação. Para solos com essas características, recomenda-se um manejo de uso sustentável, sem utilização abusiva de agrotóxicos, optando por técnicas agroecológicas.

Para que a região consiga a sustentabilidade é necessário quebra de paradigma e mudança nas formas de uso do solo. Para isso, AB'SÁBER (1999) propõe que sejam pensadas áreas rurais mais passíveis de serem manejadas, incluindo pecuária e agricultura, ampliação de culturas secas e, sobretudo, melhor manejo da tecnologia da água para os lençóis de vertentes e de interflúvios. Para esse mesmo autor é preciso, ainda, adotar-se padrões mais polivalentes de produção, de modo a garantir a continuidade da produção rural em todos os tipos de tempo. Já para Pereira, (2006) apud Almeida (2012), para atenuar os problemas do mau uso do solo da Região Semiárida, deve-se pensar não somente em conservação, mas também em recuperação. Indica-se, portanto, a implantação de atividades que se mostrem como as principais vocações produtivas do domínio semiárido.

6.2.3. Indicadores de Sustentabilidade Geoambiental da dimensão “vegetação”

Foram considerados como indicadores para o índice de sustentabilidade geoambiental da dimensão vegetação os seis tipos de vegetação mais frequentes nos municípios que compõem a sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú, como também a média do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI). Essas coberturas vegetais foram classificadas e categorizadas em dois grupos: um com cinco tipos de vegetação mais NDVI, considerados como positivos; e outro, composto por um tipo de vegetação, considerado como negativo.

Na Tabela 17 são apresentadas as percentagens das vegetações, proporcionais para cada município que compõe a sub-bacia. Quanto maior for à relação dos indicadores da vegetação classificados como positivos, maior a participação na sustentabilidade geoambiental da sub-bacia, nesta dimensão. Já para a vegetação classificada com negativa, quanto maior for à relação dos indicadores, menos será sua contribuição na sustentabilidade geoambiental da sub-bacia. Com isso é possível perceber a contribuição de cada um deles na construção do índice de sustentabilidade geoambiental de cada município na dimensão vegetação. A distribuição espacial desses indicadores pode ser observada na Figura 15.

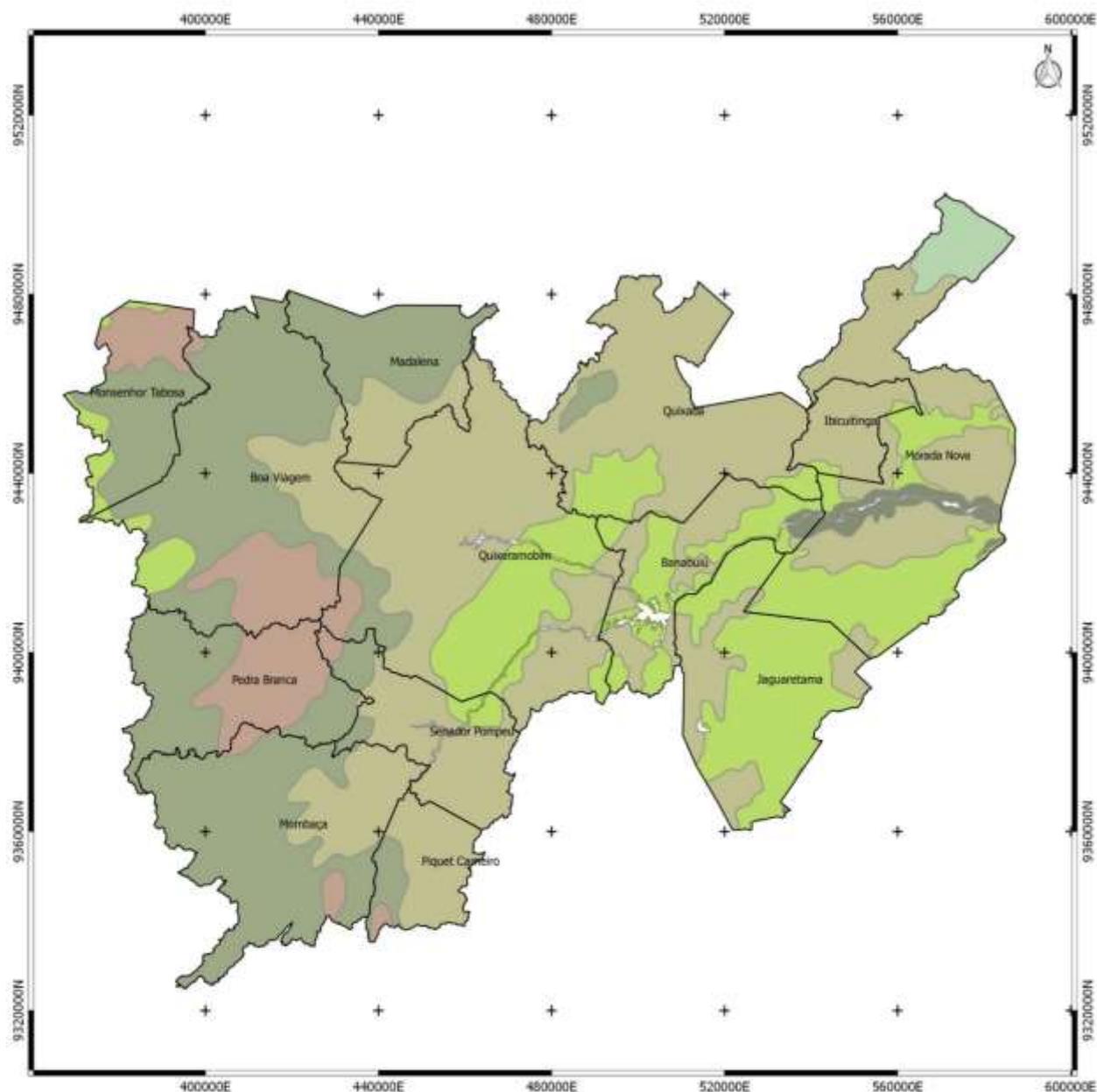


Figura 15: Vegetação dos municípios que compõem a Sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú

Tabela 17: Valores dos Indicadores selecionados para formulação do Índice de Sustentabilidade Geoambiental da dimensão vegetação dos municípios que compõem a Sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.

CATEGORIAS	INDICADORES VEGETAÇÃO (%)													
	Banabuiú	Boa Viagem	Ibicuitinga	Jaguaretama	Madalena	Mombaça	Monsenhor Tabosa	Morada Nova	Pedra Branca	Piquet Carneiro	Quixadá	Quixeramobim	Senador Pompeu	
POSITIVO	Caatinga Arbustiva Densa (%)	45,4	14,7	93,2	27,2	32,6	23,7	0	50,1	0,5	24	81,3	86,7	75
	Complexo Vegetacional da Zona Litorânea (%)	0	0	0	0	0	0	0	9,8	0	0	0	0	0
	Floresta Caducifólia Espinhosa (Caatinga Arbórea) (%)	0	62,9	0	0	67,4	72,3	82,6	0	59,9	62	3,9	6,9	13,7
	Floresta Subcaducifólia Tropical Pluvial (Mata Seca) (%)	0	16,8	0	0	0	0	0	0	39,6	14	0	3,1	3,5
	Floresta Mista Dicotilo-Palmaceae (Mata Ciliar com Carnaúba) (%)	3,4	0	0	0,2	0	0	0	6,9	0	0	0	0	0
	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)	0,20	0,21	0,34	0,28	0,23	0,22	0,18	0,34	0,24	0,23	0,18	0,23	0,24
NEGATIVO	Caatinga Arbustiva Aberta (%)	51,2	5,6	6,8	72,6	0	0	17,4	33,2	0	0	14,8	3,3	7,8

Entre as vegetações do grupo positivo, a cobertura vegetal mais frequente é a Caatinga Arbustiva Densa, que representa 42% das vegetações dos municípios que compõem a Sub-bacia. Essa vegetação se caracteriza, segundo Egler (1951), pela grande presença de arbustos ramificados e tortuosos com adensamento do estrato arbustivo com aparecimento de algumas árvores. Esse adensamento, segundo o mesmo autor, se faz de forma contínua e homogênea, somente se mostrando mais rarefeito nos locais de afloramentos rochosos. Essa vegetação só não está presente de forma significativa no município de Monsenhor Tabosa.

Os municípios que apresentaram maiores abrangências desta vegetação foram: Ibicuitinga, com 93,2%; Quixeramobim, com 86,7%; Quixadá, com 81,3%; Senador Pompeu, com 75%; e Morada Nova, com 50,1%. Com estes valores, são os municípios com maior contribuição para o índice de sustentabilidade geoambiental da sub-bacia, considerando apenas a dimensão “vegetação”.

Já os municípios de Pedra Branca, Boa Viagem e Mombaça são os que apresentam as menores taxas, com destaque para o município de Pedra Branca, que apresenta apenas 0,5% dessa vegetação, mostrando-se como o menos sustentável neste indicador.

Os municípios de Banabuiú, Madalena, Jaguaretama, Piquet Carneiro e Mombaça apresentaram percentuais que variaram entre 45,4% e 23,7%. Com esses dados, constata-se que contribuem, de forma significativa, para o aumento do índice de sustentabilidade geoambiental dos municípios que compõem a sub-bacia do rio Banabuiú, nesta dimensão.

A vegetação Complexo Vegetacional da Zona Litorânea é encontrada apenas no município de Morada Nova e representa apenas 9,8% de cobertura vegetal deste município.

A Floresta Caducifólia Espinhosa (Caatinga Arbórea) representa cerca de 30% da cobertura vegetal dos municípios que compõem a sub-bacia do rio Banabuiú, sendo a segunda cobertura vegetal mais presente entre os municípios analisados. “A caatinga arbórea é constituída predominantemente por árvores, alcançando de 8,0 a 10,0 metros de altura” (RIZZINI, 1979). Segundo Fernandes e Bezerra (1990), esse tipo de vegetação apresenta três estratos: um arbóreo, com representantes de 8 a 12 m de altura; outro arbustivo/subarbustivo, com indivíduos de 2 –5 m; e, finalmente, um herbáceo geralmente de caráter anual ou efêmero, muito pobre em espécies.

A Floresta Subcaducifólia Tropical Pluvial (Mata Seca) está presente em apenas quatro municípios e representa 6,2% da vegetação dos municípios estudados. A mata seca é um tipo de vegetação natural que é caracterizada pela composição florística, cujos representantes não costumam ocorrer na área das caatingas.

Entre os municípios pesquisados desse tipo de cobertura vegetal, Pedra Branca é o que apresenta maior área dessa vegetação (39,6%), seguido pelos municípios de Boa Viagem (16,8%) e Senador Pompeu (14%).

Já os municípios de Quixeramobim e Senador Pompeu são os que apresentam menores áreas da vegetação mata seca entre os que apresentam esse tipo de vegetação, já que oito municípios não apresentam esse tipo de cobertura vegetal entre sua vegetação. Com isso, esses municípios são os que mais contribuem para o índice de sustentabilidade geoambiental dessa dimensão, considerando a Floresta Subcaducifólia Tropical Pluvial (Mata Seca) como indicador.

Considerando a Floresta Mista Dicotilo-Palmaceae (Mata Ciliar com Carnaúba) como indicador de sustentabilidade geoambiental na dimensão vegetação, observa-se que ela aparece apenas em três municípios, a saber: Morada Nova, Banabuiú e Jaguaratama. Destes, o que apresenta maior área dessa vegetação é o município de Morada Nova, caracterizando-se, assim, como o mais sustentável nesse indicador. Em contrapartida, os menos sustentáveis são aqueles que apresentam menores percentagens, juntamente com aqueles municípios que não tem essa cobertura vegetal em seus territórios.

Essa vegetação é muito importante para manter a qualidade ambiental da sub-bacia, principalmente porque ela exerce uma grande influência na manutenção da quantidade e qualidade das águas dos rios e mananciais da área. Para Etene (1972), as áreas de carnaubais nativos desempenham um importante papel, fundamental na proteção e na manutenção da diversidade biológica e dos recursos naturais e culturais remanescentes nos diversos estados da região Nordeste. A carnaubeira, uma planta de semiárido, adaptada a regiões com baixa precipitação pluviométrica, garante a sobrevivência de cerca de duzentos mil nordestinos durante cinco a seis meses do ano (ETENE, 1972).

Esse tipo de cobertura vegetal exerce uma grande importância na preservação do meio ambiente, ajudando a controlar o regime de chuvas, proteção do solo, sobrevivência da fauna, regime das águas e variação do clima, além de fornecer matéria-prima, controlar a poluição atmosférica e servir de lazer (GOMES et al, 2009).

Como indicador positivo na dimensão vegetação, também foi analisado o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) de cada município que compõe a sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú. O NDVI é um indicador biofísico indispensável e importante aos estudos de avaliação e monitoramento sazonal e interanual da degradação do ambiente, pois por meio dele é possível avaliar a densidade da cobertura vegetal, tornando-se possível, assim, o monitoramento da vegetação (LOPES *et al.*, 2010).

Como pode ser observado na Figura 16 e Tabela 17, os municípios que apresentaram a maior média do NDVI foram Ibicuitinga e Morada Nova, com índice 0,34. Estes municípios apresentam também a maior cobertura vegetal e contribuem mais positivamente com o índice de sustentabilidade geoambiental, da dimensão vegetação, considerando o NDVI. Já os municípios de Quixadá e Monsenhor Tabosa foram os que apresentaram menores NDVI médio (0,18).

Os demais municípios apresentaram NDVI entre 0,20 e 0,28, que forma uma uniformidade na ocorrência desse índice nos municípios da Sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú. Esse intervalo, em geral, corresponde a áreas secas e com baixo regime pluviométrico, com vegetação bastante rala ou sem vegetação com solo exposto.

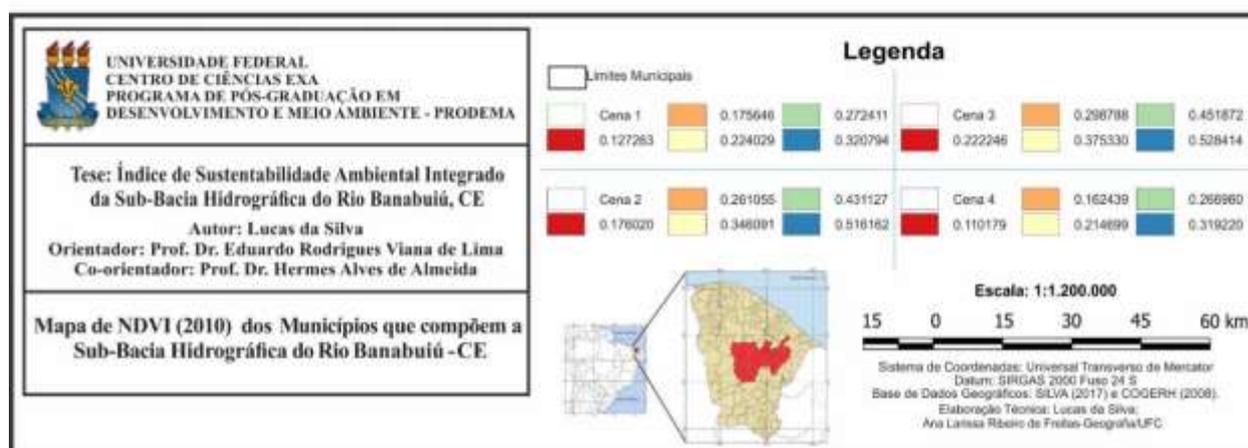
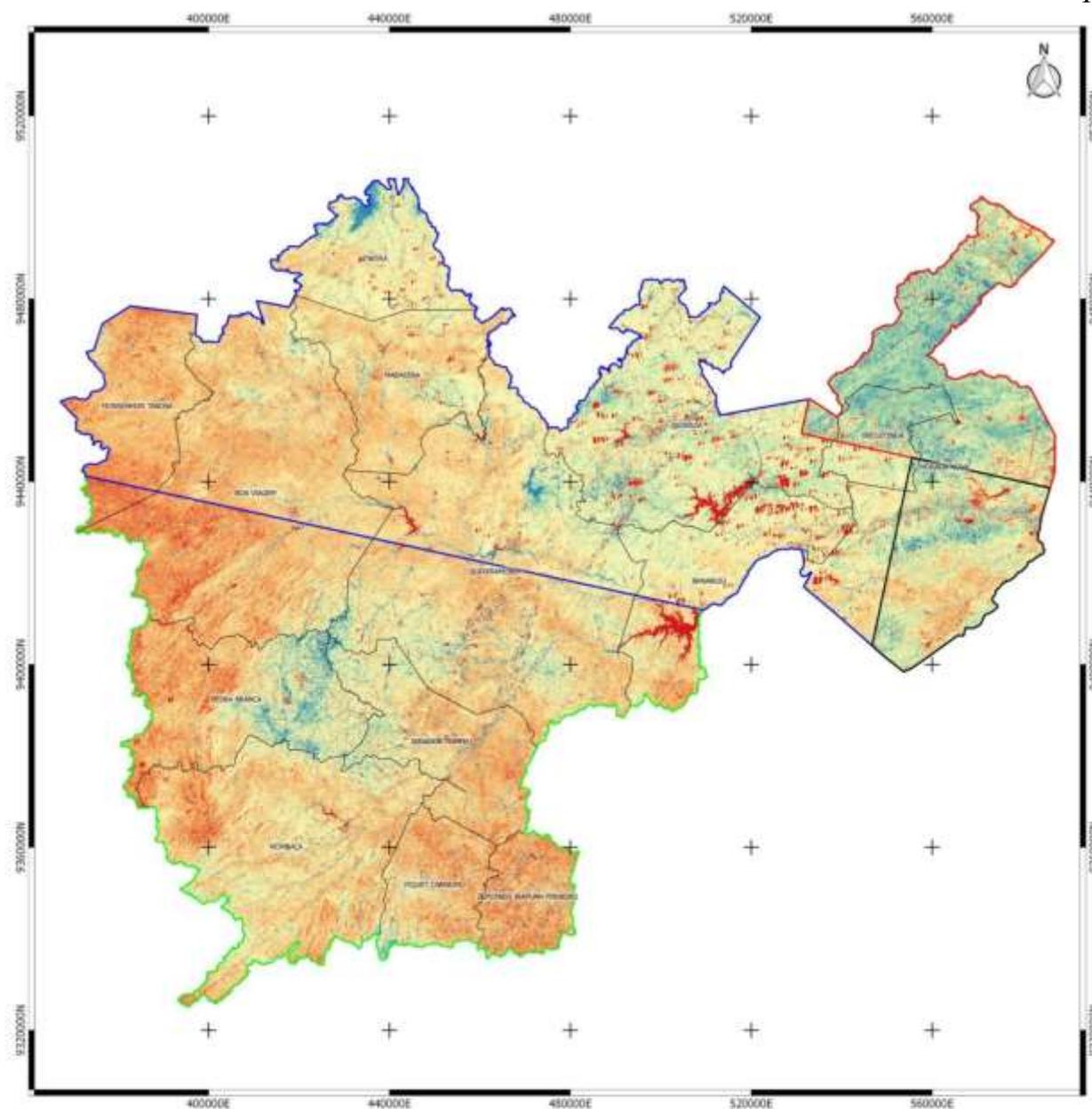


Figura 16: Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) / 2010 da Sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú - CE

Considerando os indicadores do grupo negativo, em que quanto, maior o valor menos sustentável será o município, observa-se que há ocorrência da Caatinga Arbustiva Aberta em uma área de 342.507,693 km², representando 17,7%, da cobertura vegetal dos municípios que compõem a sub-bacia. Segundo Ceará (2009), a Caatinga Arbustiva Aberta tem como característica seu porte mais baixo e os caules retorcidos e esbranquiçados. Esse tipo de vegetação corresponde a uma vegetação menos desenvolvida porque é mais recente. Além disso, é constituída de um estrato arbustivo denso, de 3 a 4 metros de altura e o diâmetro dos troncos varia de 2 a 5 centímetros (ALVES, 2009).

A vegetação Caatinga Arbustiva Aberta encontra-se presente em nove municípios, sendo mais representativa no município de Jaguaratama, onde a mesma corresponde a 72,6% de sua cobertura vegetal. Como esse tipo de vegetação é considerado do grupo negativo, esse município é, portanto, menos sustentável neste aspecto.

Já o município de Banabuiú aparece como segunda maior área da vegetação Caatinga Arbustiva Aberta, representando mais da metade (52%) de sua cobertura vegetal. Os municípios de Morada Nova, Monsenhor Tabosa e Quixadá apresentam percentuais desse tipo de cobertura vegetal de 33,2, 17,4 e 14,8, respectivamente.

Entre os municípios que apresentam esse tipo de vegetação, os que apresentam menores percentuais são: Quixeramobim, com 3,3%; Boa Viagem, com 5,6%; Ibicuitinga, com 6,8%; e Senador Pompeu, com 7,8. Desconsiderando os municípios que não apresentam esse tipo de cobertura vegetal, os municípios citados, mesmo pertencendo ao grupo dos indicadores negativos, são os que mais contribuíram positivamente para o índice de sustentabilidade ambiental, por apresentarem menores valores, considerando a vegetação Caatinga Arbustiva Aberta como indicador.

6.2.4. Índice de Sustentabilidade Geoambiental da dimensão “vegetação”

No índice de sustentabilidade geoambiental da dimensão vegetação dos municípios que compõem a sub-bacia do rio Banabuiú, que são apresentados na Figura 17, pode-se observar que o município de Morada Nova apresenta o maior índice de sustentabilidade na dimensão vegetação, com 0,58, seguido dos municípios de Pedra Branca (0,45), Piquet Carneiro (0,39) e Ibicuitinga (0,41). Esses municípios apresentam tais índices porque obtiveram maiores áreas de vegetações como indicador positivo e menores valores em seus indicadores negativos (ver Tabela 15).

Os municípios de Piquet Carneiro, Boa Viagem e Madalena apresentam os seguintes índices: 0,38; 0,36; e 0,35; respectivamente. Já os municípios de Mombaça, Quixeramobim e Senador Pompeu têm índices iguais, de 0,34.

O município de Banabuiú apresenta o segundo menor índice (0,20), sendo o município de Jaguaratama o que obteve o menor índice nesta dimensão (0,14), ou seja, muito abaixo dos demais

por ter apresentado maior área da Caatinga Arbustiva Aberta (72,6%), considerado o único indicador negativo nesta dimensão. No geral, os municípios citados acima apresentam baixos índices, por apresentarem as piores taxas nos indicadores positivos e altas taxas nos indicadores negativos na dimensão em questão. Isto indica, portanto, que são os que menos contribuem e menos influenciam para sustentabilidade geoambiental da Sub-bacia do rio Banabuiú, na dimensão vegetação.

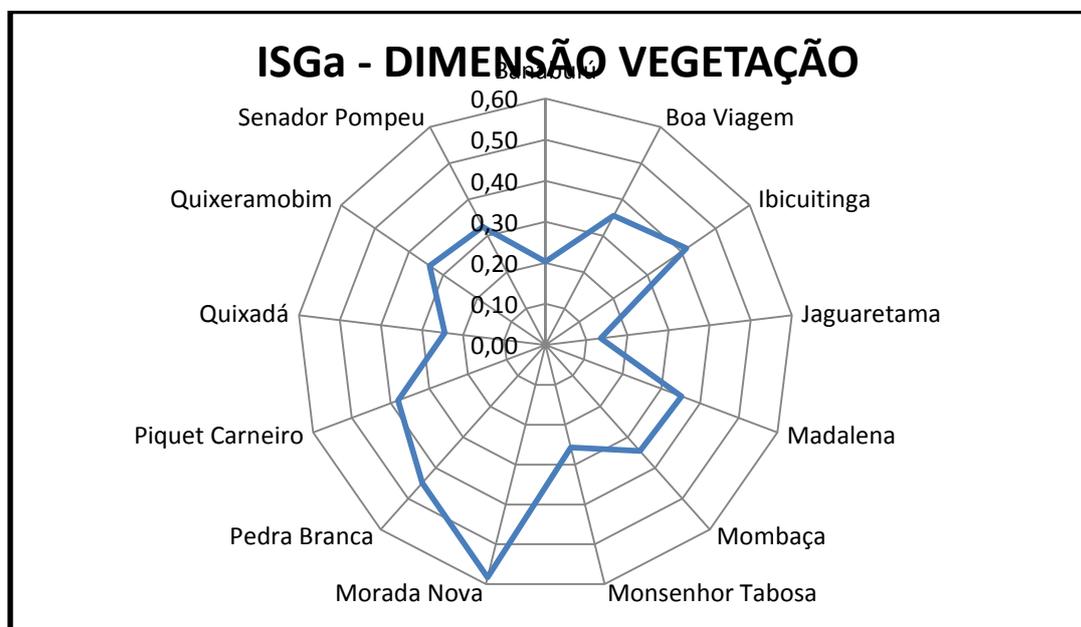


Figura 17: Índice da dimensão “vegetação” dos municípios que compõem a Sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.

Com base nos índices expostos, a Figura 18 mostra os níveis de sustentabilidade geoambiental da dimensão vegetação, onde se observa que os municípios de Morada Nova, Ibicuitinga e Pedra Branca apresentam o nível de sustentabilidade classificado como “Sustentabilidade Média”. Já a grande maioria dos municípios que compõem a sub-bacia (Piquet Carneiro, Boa Viagem, Madalena, Mombaça, Quixeramobim, Senador Pompeu, Monsenhor Tabosa e Quixadá) apresenta nível de sustentabilidade “Potencialmente Insustentável”. Isto significa que esses municípios têm um nível de sustentabilidade geoambiental na dimensão “vegetação” apenas um acima do pior. Necessita, assim, de ações de preservação e conservação da cobertura vegetal existente e de manejo e reflorestamento das coberturas classificadas como indicador positivo.

Apenas os municípios de Jaguaruana e Banabuiú apresentam o nível “Insustentável” na dimensão “vegetação”, isto porque, como já mostrado, os referidos municípios apresentam os menores índices nesta dimensão, muito abaixo dos demais, bem como por ter apresentado maior taxa percentual no único indicador negativo.

Na dimensão vegetação, os municípios que apresentam níveis de sustentabilidade geoambiental “Potencialmente Insustentável” e “Insustentável” são os que apresentam maior vulnerabilidade, e

consequentemente, são os que menos influenciam e contribuem com a sustentabilidade da sub-bacia do rio Banabuiú.

Portanto, esses municípios necessitam de um olhar diferenciado em seus usos, devido à sua vulnerabilidade ambiental, pois a vegetação da área da abrangência da sub-bacia do rio Banabuiú se encontra no ecossistema semiárido, que é, por natureza, considerado frágil, de pouca biomassa, o que confere pouca proteção a vegetação, sendo ainda alvo não só da agricultura, mas também da pecuária extensiva, presente a colonização da área (MATALLO JUNIOR, 2003).

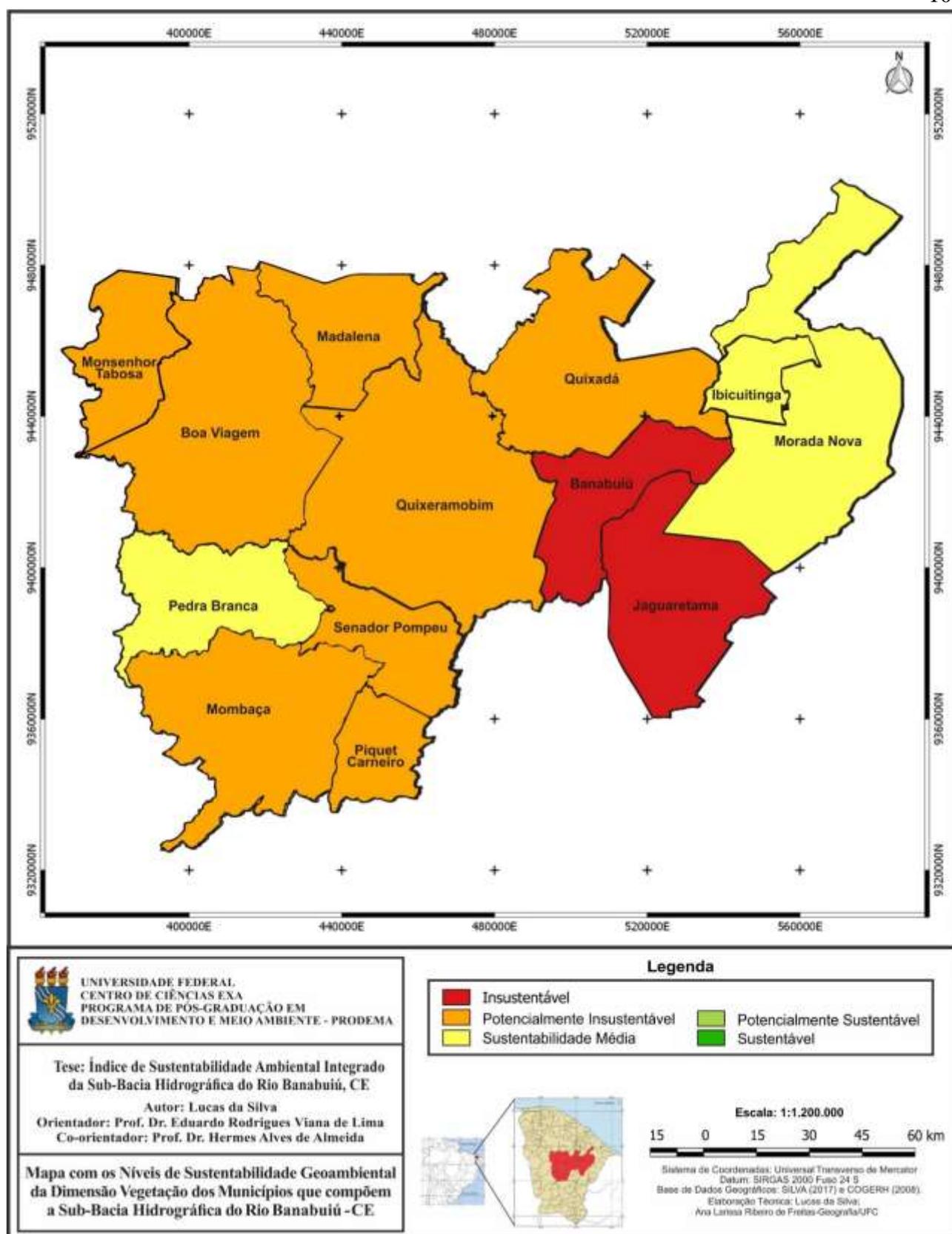


Figura 18: Níveis de Sustentabilidade Geoambiental, da dimensão “vegetação”, dos municípios que compõem a Sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.

6.2.5. Indicadores de Sustentabilidade Geoambiental da dimensão clima

Foram considerados como indicadores para mensurar o Índice Sustentabilidade Geoambiental da dimensão clima, sete tipos de condições climáticas, que contribuem significativamente para manutenção dos componentes naturais e ambientais dos municípios que compõem a sub-bacia.

Os valores dos indicadores da dimensão clima são apresentados na Tabela 18. Nela, pode-se observar que quatro indicadores não positivos (Média Anual de precipitação (mm), Precipitação Máxima Anual (mm), Precipitação Mínima Anual (mm) e Probabilidade de 75% de precipitação (mm)) e três são negativos (Número de focos de calor (Queimadas), Índice de Aridez e Evapotranspiração de Referência ET₀ (mm)).

O primeiro indicador positivo analisado foi a Média Anual de precipitação dos municípios que compõem a sub-bacia. Nesta dimensão, apenas dois municípios apresentam média superior a 800 milímetros/ano de chuva: a maior média é a do município de Jaguaretama, com 854,8 mm, seguida pelo município de Pedra Branca, com 827,3 mm.

No entanto, sete apresentam médias acima dos 700 mm, a saber: Mombaça (774,8mm), Senador Pompeu (761,3mm), Piquet Carneiro (759,08 mm), Quixeramobim (732 mm), Morada Nova (731,9 mm), Ibicuitinga (717,72 mm) e Banabuiú (704,8 mm).

Já os municípios de Monsenhor Tabosa, Quixadá, Boa Viagem e Madalena são os que apresentam menores médias. Destes, o município de Madalena é o que apresenta a menor média (585,52 mm/ano), ou seja, é o município onde menos chove entre os pesquisados, configurando-se, desse modo, como o mais seco. Com isso, nesse indicador, é o que menos influencia para a sustentabilidade da sub-bacia.

Considerando a precipitação máxima anual (mm) da série histórica analisada como indicador, destacam-se os municípios de Jaguaretama, com 1842,4 mm; Morada Nova, com 1723,7 mm; Pedra Branca, com 1646,8 mm; e Piquet Carneiro, com 1587,4 mm. Já os municípios de Ibicuitinga, Madalena, Banabuiú, Boa Viagem e Quixadá são os que apresentam menores volumes máximos de chuva, sendo estes os que menos contribuem para o índice de sustentabilidade geoambiental da sub-bacia para esse indicador.

Os municípios de Quixeramobim, Senador Pompeu, Mombaça e Monsenhor Tabosa apresentam volume variando entre 1460 e 1495,9 milímetros.

Entre os municípios analisados, Boa Viagem foi o que registrou o menor volume de chuva (183,8 mm), seguido pelos municípios de Madalena, que registrou 192,0 mm, e Morada Nova com 192,8 mm. Quanto aos municípios de Jaguaretama (345,6 mm) e Senador Pompeu (335,7 mm), estes foram os que apresentaram maiores volumes entre suas mínimas registradas neste indicador, sendo,

portanto, os mais favoráveis na configuração do índice de sustentabilidade geoambiental na dimensão clima. Os demais municípios registraram mínimas históricas variando entre 217,0 mm e 298,2 mm.

Ao considerar a Probabilidade de 75% de precipitação como indicador, cuja chance de ocorrência é de um ano para cada ciclo de quatro, o município de Jaguaretama apresentou o maior volume (1108,3 mm), seguido pelos municípios de Quixeramobim, Pedra Branca, Morada Nova, Senador Pompeu, Mombaça e Monsenhor Tabosa, que apresentaram volumes que variaram entre 912,65 mm e 990 mm. Entre os municípios que apresentam os menores volumes, destacam-se os municípios de Madalena, cujo volume é de 822,9 mm; Boa Viagem, com volume de 862,55 mm e Banabuiú, com 879,67mm.

Para Silva e Almeida (2014), a precipitação é o elemento físico decorrente da variabilidade climática mais importante. Lucena e Campos (2014) também afirmam que ela é fator indispensável no controle do ciclo hidrológico e uma das variáveis climáticas que maior influência exerce na qualidade do meio ambiente. Desse modo, é importante destacar que a escolha dos parâmetros de precipitação como indicadores do clima se alicerça no significativo valor da chuva para a Região do Semiárido, onde as chuvas são distribuídas irregularmente, tanto na escala espacial, quanto na temporal.

Ademais, há anos em que a precipitação se concentra ou em um e/ou dois meses e há outros em que chove torrencialmente, embora de forma irregular no espaço e no tempo. Neste sentido, a irregularidade mensal e anual das chuvas a cada ano, associada a uma política inadequada dos recursos hídricos, vem ao longo dos anos agravando cada vez mais o “drama” social da população, especialmente a rural, por não dispor de água potável para suprir as necessidades básicas (beber e cozinhar) (SILVA E ALMEIDA 2014).

Adentrando nas discussões acerca dos indicadores negativos, é importante esclarecer que o indicar “o número de focos de calor” o foi obtido através de imagens satélites. A escolha deste como indicador se justifica pelo fato das queimadas que, além de estarem relacionadas com atividades humanas, são agravadas por condições meteorológicas específicas, tais como a não ocorrência de precipitação, alta temperatura e a baixa umidade relativa do ar.

Para Machado *et al.* (IN PRESS), foco de calor pode ser entendido como qualquer temperatura superior a 47°C, já por queimadas entende-se como a destruição de vegetação pelo fogo, de forma natural ou provocada. Um dos grandes prejuízos advindos das queimadas é que, além de destruir a vegetação existente, carregam junto todas as formas de vida, levando consigo os micronutrientes do solo, diminuindo a capacidade de produção e, com isso, a perda da biodiversidade (SILVA, 2007).

Além disso, as queimadas geram vários problemas ambientais, econômicos e sociais, o que ocasionam sérios prejuízos ao ambiente, como os danos à fauna e à flora, como também problemas

de erosão, empobrecimento dos solos, poluição atmosférica, estes se constituindo em problemas de saúde pública (SANTOS; SOARES; BATISTA, 2006).

No indicador em questão, o município que apresenta maior número de foco de calor é o município de Mombaça, que registrou 615 queimadas, seguido pelos municípios de Boa Viagem e Pedra Branca, que registraram 406 e 307 focos, respectivamente, sendo este último correspondendo a apenas 50% do número de focos do município de Mombaça. Já os municípios de Piquet Carneiro, Quixeramobim, Senador Pompeu e Monsenhor Tabosa registraram queimadas que variaram entre 167 e 217 focos. Somados esses números, eles representam 36% do total dos focos registrados.

Do total de municípios pesquisados, apenas seis apresentam números de focos de calor inferior a cem, dos quais 98 focos são em Quixadá, 57 em Morada Nova, 47 em Madalena, 19 em Jaguaratama, 9 em Ibicuitinga e 8 em Banabuiú. Com esses dados, infere-se que os dois últimos municípios citados são os que mais contribuem positivamente para o índice de sustentabilidade geoambiental.

No total foram contabilizados 2.340 casos de queimadas em todos os municípios que compõem a sub-bacia do rio Banabuiú, considerando o ano de referência. Esses focos, em geral, estão associados à falta de chuva nesses municípios, pois os que registraram a maior quantidade de foco, foram os que, geralmente, apresentam precipitação abaixo da média, o que normalmente ocorre no segundo semestre do ano, período de baixa precipitação, em que a vegetação está mais propícia às queimadas.

Tabela 18: Valores dos indicadores selecionados para formulação do Índice de Sustentabilidade Geoambiental, da dimensão “clima”, dos municípios que compõem a Sub-bacia Hidrográfica do rio Banabuiú.

CATEGORIAS	INDICADORES CLIMA (%)													
	Banabuiú	Boa Viagem	Ibicuitinga	Jaguaretama	Madalena	Mombaça	Monsenhor Tabosa	Morada Nova	Pedra Branca	Piquet Carneiro	Quixadá	Quixeramobim	Senador Pompeu	
POSITIVO	Média Anual de precipitação (mm)	704,8	685,8	717,72	854,8	585,5	774,8	689,2	731,9	827,3	759,1	686,7	732,0	761,3
	Precipitação Máxima Anual (mm)	1223,4	1371,3	1106,6	1842,4	1154	1460	1460	1723,7	1646,8	1587,4	1395	1495,9	1460,3
	Precipitação Mínima Anual (mm)	254,8	183,8	241,3	345,6	192	273,3	273,3	192,8	298,2	298,2	217	225,5	335,7
	Probabilidade de 75% de precipitação (mm)	879,67	862,55	885,8	1108,3	822,9	912,65	912,65	937,2	966	880,8	884	990	918,8
NEGATIVO	Número de focos de calor (Queimadas)	8	406	9	19	47	615	167	57	307	217	68	215	205
	Índice de Aridez	34,1	33,3	34,8	42,3	30,3	41,1	33,3	36,9	41,3	37,5	36,5	35,5	38,5
	Evapotranspiração de Referência ET0 (mm)	2004,1	2023,9	1986,1	1997	1855,6	1868,6	2018,6	1945,5	1944,7	1943,4	2005,5	2038,6	1977,9

No entanto, é importante destacar que a principal causa das queimadas é a ação desordenada provocada pelo homem que, ao promover o desmatamento e utilizar o fogo de maneira inapropriada, cria condições favoráveis para a ocorrência de grandes incêndios. Em períodos com baixa umidade do ar, a propensão de incêndios florestais aumenta consideravelmente (DEPPE et al., 2004), visto que o ar mais seco acaba por forçar uma maior evapotranspiração dos vegetais (LARCHER, 2000), em decorrência do aumento do *déficit* de pressão de vapor da atmosfera (SILVA et al., 2003 apud CARDOSO et al, 2013).

Já com relação ao Índice de Aridez, observa-se que todos os municípios que compõem a sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú se encontram inseridos na região delimitada como Semiárida, por apresentarem índice de aridez de $20 \leq IA < 50$. Essa delimitação foi definida pela Portaria Ministerial nº 89 do Ministério da Integração Nacional, que levou em consideração três critérios técnicos, entre eles o índice de aridez de até 0,5 calculado pelo balanço hídrico que relaciona as precipitações e a evapotranspiração potencial; e o risco de seca maior que 60% no período entre 1970 e 1990 (SILVA, 2006).

Os maiores valores do índice de aridez estão localizados na porção mais ao Sudoeste da sub-bacia, com exceções para o município de Jaguaretama, que apresentam índice equivalente a 42,3; Pedra Branca, com 41,3; Mombaça, com 41,1; e Senador Pompeu, com 38,5. Estes municípios são os que apresentam menor caráter árido, ou seja, são aqueles que possuem um maior regime pluviométrico anual e, com isso, são os que mais contribuem positivamente para a sustentabilidade da Sub-bacia na dimensão em questão.

Já os municípios de Piquet Carneiro, Morada Nova, Quixadá, Quixeramobim, Ibicuitinga, e Banabuiú apresentam índices que variaram entre 34,1 e 37,5. Mesmo apresentando índice médio dentro da classificação semiárida, parte deles apresenta baixos índices pluviométricos. Tal fato pode ser justificado pela influência da evapotranspiração, que também influencia no índice de aridez, uma vez que é um dos fatores para seu cálculo.

Os menores valores encontrados para o índice de aridez correspondem aos municípios de Boa Viagem, cujo índice foi 33,3, seguido pelos municípios de Madalena (30,3) e Monsenhor Tabosa (33,3). É importante frisar que, quanto menor o valor do índice de aridez, maior será o caráter árido do local. Desse modo, pode-se afirmar que esses municípios são os que menos contribuem para o índice de sustentabilidade geoambiental da Sub-bacia nessa dimensão.

Com o índice de aridez é possível mensurar além do caráter árido, podendo também utilizá-lo como parâmetro para identificação de susceptibilidade a desertificação de cada município. Pois segundo Sampaio (2003), o índice de aridez é considerado de grande precisão na determinação das áreas vulneráveis à desertificação, já que é o único que utiliza variáveis quantitativas para tal análise. No entanto, para Duarte (2003) e Pachêco (2006), apesar desta relação direta entre o índice de aridez

e a desertificação, deve-se ressaltar que a determinação da susceptibilidade ou não a este processo não pode ser apontada apenas pelo índice de aridez, uma vez que vários outros fatores estão envolvidos nesta temática.

A Evapotranspiração de Referência (ET₀) também foi utilizada como indicador na dimensão clima, pela sua importância para a gestão dos recursos hídricos, para a previsão da produção agrícola, para a programação de irrigação e para a resolução de problemas no domínio da hidrologia e meteorologia (GOCIC; TRAJKOVIC, 2010). É também estratégica para projeto e/ou manejo de irrigação, por assumir um papel importante no volume de água a ser aplicado na irrigação (SILVA et al., 2015). Esses fatores são essenciais para obtenção de melhores condições ambientais da região e segurança hídrica.

A evapotranspiração de referência empregada foi estimada pela FUCEME, que utilizou a média ponderada pelo inverso da distância aos três pontos mais próximos onde existem dados disponíveis de ET₀.

Os maiores valores de ET₀ foram obtidos nos municípios Quixeramobim (2.038,6 mm), Boa Viagem (2.023,9 mm), Monsenhor Tabosa (2.018,6 mm), Quixadá (2.005,5 mm) e Banabuiú (2.004,1 mm), pois todos ultrapassaram os 2.000 mm/ano. Já os municípios de Pedra Branca, Morada Nova, Senador Pompeu, Ibicuitinga e Jaguaratama apresentam ET₀ que variaram entre 1997,0 mm e 1944,7 mm.

Os menores valores de ET₀ ocorreram nos municípios de Madalena, com 855,6 mm; Mombaça, com 1868,6 mm; e Piquet Carneiro, com 1943,4 mm. O município de Madalena, além de ser o que apresenta o menor valor de ET₀, é também o que apresenta a menor média de pluviosidade e menor índice de aridez. Desse modo, pode-se verificar uma nítida relação entre esses indicadores.

6.2.6. Índice de Sustentabilidade Geoambiental da dimensão “clima”

A partir dos indicadores descritos na (Tabela 18), foram estabelecidos os índices de sustentabilidade geoambiental da dimensão clima, por meio da média simples dos valores registrados por cada um dos municípios que compõem a sub-bacia. Esses índices estão ilustrados na Figura 19, na qual é apresentada o desempenho de todos esses indicadores.

A partir disso, pôde-se verificar que o município com maior índice de sustentabilidade geoambiental é Jaguaratama, que aparece com o melhor índice, de 0,74, seguido por Pedra Branca com 0,56.

Já o município Piquet Carneiro aparece com índice de 0,54, seguido por Senador Pompeu e Morada Nova, os quais apresentam índice de 0,53. Esses municípios apresentaram melhores índices por terem apresentados maiores valores nos indicadores da dimensão clima e na dimensão solos como indicador positivo e menores valores dessas dimensões em seus indicadores negativos.

O município de Monsenhor Tabosa apresenta índice 0,48 e Quixeramobim de 0,45. Já Banabuiú, Mombaça e Madalena apresentam o mesmo índice, de 0,44, enquanto Ibicuitinga apresenta de 0,43.

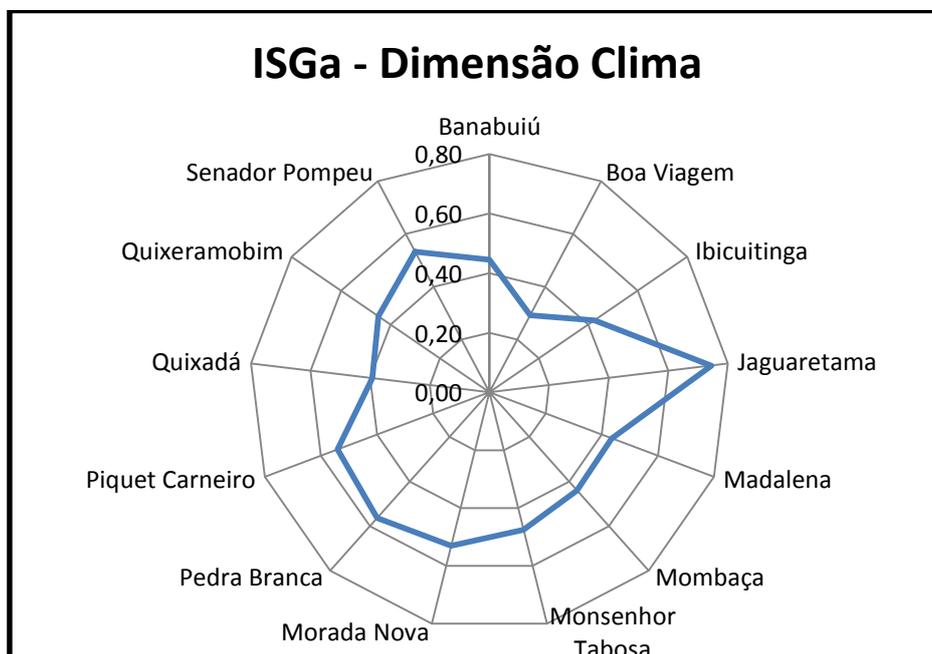


Figura 19: Índice de Sustentabilidade Geoambiental da dimensão “clima” dos municípios que compõem a Sub-bacia Hidrográfica do rio Banabuiú.

Os menores índices de sustentabilidade geoambiental da dimensão clima são dos municípios Boa Viagem, Quixadá e Ibicuitinga, com 0,29; 0,39; e 0,43; respectivamente. Esses municípios apresentam esses baixos índices em função da baixa pluviometria, tanto na média anual, como na máxima e na mínima registrada. Tais municípios ainda apresentam elevados valores de evapotranspiração, assim como menores valores de índice de aridez e, com isso, apresentam maior caráter árido do local.

Já o município de Boa Viagem apresenta a pior mínima registrada entre os municípios pesquisados, além ter sido o segundo pior nos indicadores de probabilidade (75%), de ocorrência de chuva, na média histórica e no índice de aridez. O valor de evapotranspiração do referido município corresponde ao terceiro maior e ao quarto pior no volume máximo de chuva registrado nos municípios que compõem a Sub-bacia do rio Banabuiú.

Com base nesses índices, a Figura 20 mostra o nível de Sustentabilidade Geoambiental da dimensão clima. Nela, observa-se que apenas o município de Jaguaretama apresenta o nível de sustentabilidade “Potencialmente Sustentável”. Com isso, pode-se afirmar que é o que mais contribui para sustentabilidade geoambiental da sub-bacia, nesta dimensão. No entanto é importante destacar que esse município apresenta esse nível de sustentabilidade por ter apresentado maiores volumes de chuva na média histórica, na máxima e na mínima registrada, bem como na probabilidade de 75% de ocorrência. Também apresenta o segundo melhor índice de aridez. Desse modo, percebe-se que as

condições favoráveis desse município, que se destaca em relação aos demais, podem ser justificadas, entre outros fatores, pela sua localização geográfica, que está inserido na Mesorregião geográfica do Jaguaribe. Esse município tem, pois, condições fisiográficas e fitogeográficas diferentes dos municípios mais localizados na Depressão Sertaneja do estado do Ceará.

Dos municípios pesquisados, dez apresentam nível de “Sustentabilidade Média” na dimensão clima, por apresentam índices compreendidos entre 0,41 a 0,60, são eles: Pedra Branca (0,56), Piquet Carneiro (0,54), Senador Pompeu (0,53), Morada Nova (0,53), Monsenhor Tabosa (0,48), Quixeramobim (0,45), Banabuiú (0,44), Mombaça (0,44), Madalena (0,44) e Ibicuitinga (0,43). Esse nível de sustentabilidade alerta para a necessidade de um manejo adequando do uso e ocupação dos solos desses municípios, com técnicas eficazes para produção agrícola e pecuária, além da implementação de políticas públicas efetivas de convivências com semiárido.

Os municípios de Boa Viagem e Quixadá são os que apresentam níveis de sustentabilidade geoambiental na dimensão clima classificados como “Potencialmente Insustentável”. Com esses dados, verifica-se que têm o pior nível entre os municípios pesquisados nesse aspecto e urge, portanto, a necessidade de se prover estratégias de convivência frente ao fenômeno de escassez hídrica, que é uma característica da região semiárida.

Mesmo o indicador clima sendo alicerçado nos aspectos climático e meteorológico e nas limitações hidrológicas e irregularidade pluviométrica, não se pode desconsiderar as intervenções humanas como o uso intenso dos solos dessa região que, na maioria das vezes, é realizada forma inadequada.

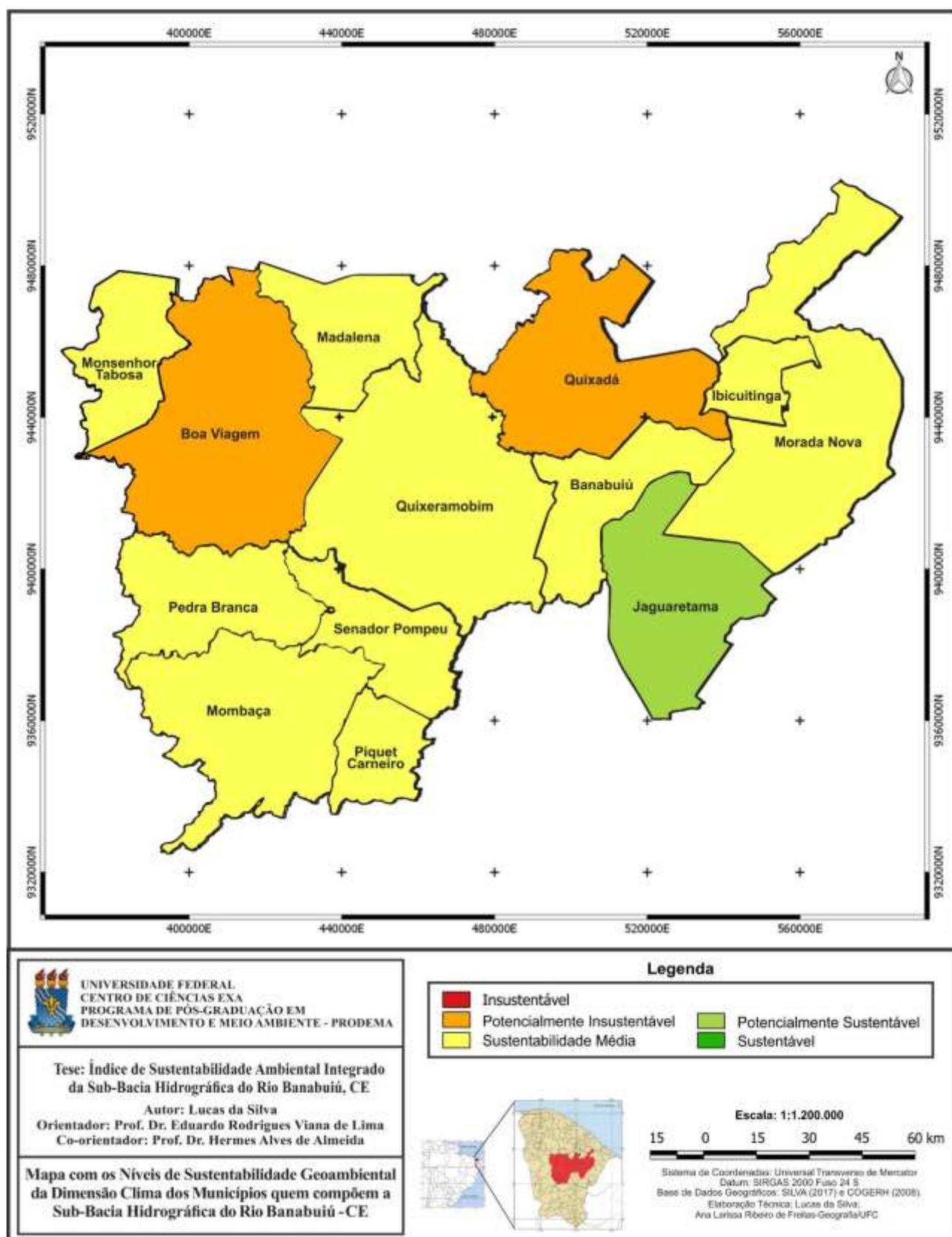


Figura 20: Níveis de Sustentabilidade Geoambiental, da dimensão “clima”, dos municípios que compõem a Sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.

6.2.7. Indicadores de Sustentabilidade Geoambiental da dimensão “Geomorfologia”

Os valores dos indicadores para obtenção do índice de sustentabilidade Geoambiental da dimensão “Geomorfologia” são apresentados na Tabela 19, na qual é possível perceber os valores percentuais de cada unidade geomorfológica por municípios que compõem a área de estudo.

Como nos demais índices, os indicadores foram divididos em positivos e negativos. Destes, cinco são positivos (Corpo de água continental, Planícies e Terra Fluviais, Superfície Rebaixada do Vale do Rio Açu, Serra Branca e Serra do Machado e das Matas) e dois são negativos (Depressão Sertaneja Setentrional e Patamar Sertanejo de Tauá).

Entre os indicadores da categoria positiva, destaca-se a presença de corpo de água continental, em todos os municípios que compõem a sub-bacia. Mesmo sendo uma região com grandes limitações hídricas, com baixa precipitação e alta perda da água acumulada pela evaporação, ainda percebe-se significativo espelho de água.

O município de Banabuiú destaca-se porque apresenta 6,1% de suas feições geomorfológicas constituídas por corpo de água. Isso ocorre devido à presença do reservatório que leva seu nome (Açude Banabuiú), com capacidade de armazenar 1.600.999.936 bilhões de m³.

Já município de Jaguaratama foi o que apresentou o segundo maior percentual de corpo de água, com 4,4 %, seguido pelo município de Quixadá, com aproximadamente 3,0 %. Este apresenta dois importantes reservatórios de água: o açude Pedra Branca, com capacidade de 434.040.000 m³, e o açude do Cedro, com capacidade de 126.000.000 m³.

Em contrapartida, os municípios de Monsenhor Tabosa, Pedra Branca, Boa Viagem, Piquet Carneiro, Mombaça e Madalena são os que apresentam menores percentuais de corpo de água continental entre suas classes morfológicas, não alcançando 1%. Ademais, todos esses municípios têm açudes públicos gerenciados pela COGERH.

As Planícies e Terra Fluviais só estão presentes no município de Morada Nova e correspondem a aproximadamente 5,0% de sua geomorfologia. Essa classe se caracteriza por apresentar uma geomorfologia constituída por depósito aluviona, em que rios não recebem contribuições diretas das fontes e secam quase ou totalmente, limitando a capacidade hídrica desse subsistema (LIMA, 2010). No entanto, Brandão (2014) afirmou que, nessa classe, a ausência de água, em grande parte do ano, favorece o surgimento de solos mais profundos e de melhor fertilidade, além de uma melhor disponibilidade de acesso à água via escavação de poços rasos no aquífero aluvial.

Quanto à Superfície Rebaixada do Vale do Rio Açu, esta só está presente nos municípios de Jaguaratama e Morada Nova, que apresentam percentuais de 6,9% e 1,9%, respectivamente, de suas feições geomorfológicas. Desse modo, são os que mais contribuem para o índice de sustentabilidade geoambiental da dimensão “Geomorfologia” nesse indicador específico, por apresentar solos com

grande capacidade agrícola e pela sua alta fertilidade natural, devido à presença de rochas carbonáticas dessa classe geomorfologia.

Já a Serra Branca se encontra presente em cinco municípios e representa apenas 10% das classes dos municípios que compõem a sub-bacia, sendo o de Pedra Branca o que apresenta maior percentual desta classe em relação às presentes em seu território: 83,7%. Em contrapartida, os demais municípios não ultrapassaram 30%: o município de Mombaça apresenta percentual de 29,2, seguido pelos municípios de Boa Viagem, Senador Pompeu e Quixeramobim, que apresentam percentuais desta classe de 15,8%; 3,1%; e 1,1%, respectivamente.

A unidade geomorfologia Serra Branca se caracteriza por apresentar substrato geológico de conjunto de terrenos bastante diversificados, com ocorrência de solos bem estruturados, com gradiente textural, boa fertilidade em decorrência do teor de matéria orgânica, provavelmente associados ao intemperismo das rochas ultramáficas (BRANDÃO, 2014).

Em relação à Serra do Machado e das Matas verifica-se que são presentes em três municípios e correspondem a apenas 2% das classes dos municípios que compõem a sub-bacia. Destes, Monsenhor Tabosa apresenta maior percentual em relação aos demais (73%), seguido por Boa Viagem com 14,3% e Madalena com apenas 2,2%.

A Serra do Machado se caracteriza por apresentar uma feição acidentada, com vales aprofundados e vertentes íngrimes e dissecadas. Em menor parte dessa passagem ocorrem solos mais estruturados, profundos, bem drenados e de boa fertilidade natural (BRANDÃO, 2014). Já a Serra das Matas é constituída de um maciço montanhoso com um relevo imponente de vertentes muito declivosas, que alcançam entre 300 e 600 metros de desnivelamento total, com a ocorrência de restritos brejos de altitude em seus topos (ver Figura 21).

Tabela 19: Valores dos indicadores selecionados para formulação do Índice de Sustentabilidade Geoambiental, da dimensão “geomorfologia”, dos municípios que compõem a Sub-bacia Hidrográfica do rio Banabuiú.

CATEGORIAS	CLASSE INDICADORES GEOMORFOLOGIA (%)	Banabuiú	Boa Viagem	Ibicuitinga	Jaguaretama	Madalena	Mombaça	Monsenhor Tabosa	Morada Nova	Pedra Branca	Piquet Carneiro	Quixadá	Quixeramobim	Senador Pompeu
		POSITIVO	Corpo de água continental	6,1	0,5	2,4	4,4	0,9	0,7	0,1	2,4	0,2	0,7	2,9
	Planícies e Terra Fluviais	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Superfície Rebaixada do Vale do Rio Açu	0,0	0,0	0,0	6,9	0,0	0,0	0,0	1,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Serra Branca	0,0	15,8	0,0	0,0	0,0	29,2	0,0	0,0	83,7	0,0	0,0	1,1	3,1
	Serra do Machado e das Matas	0,0	14,3	0,0	0,0	2,2	0,0	73,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
NEGATIVO	Depressão Sertaneja Setentrional	93,9	69,4	97,6	88,8	96,9	70,0	26,9	90,9	10,8	99,3	97,1	97,4	95,7
	Patamar Sertanejo de Tauá	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	5,3	0,0	0,0	0,0	0,0

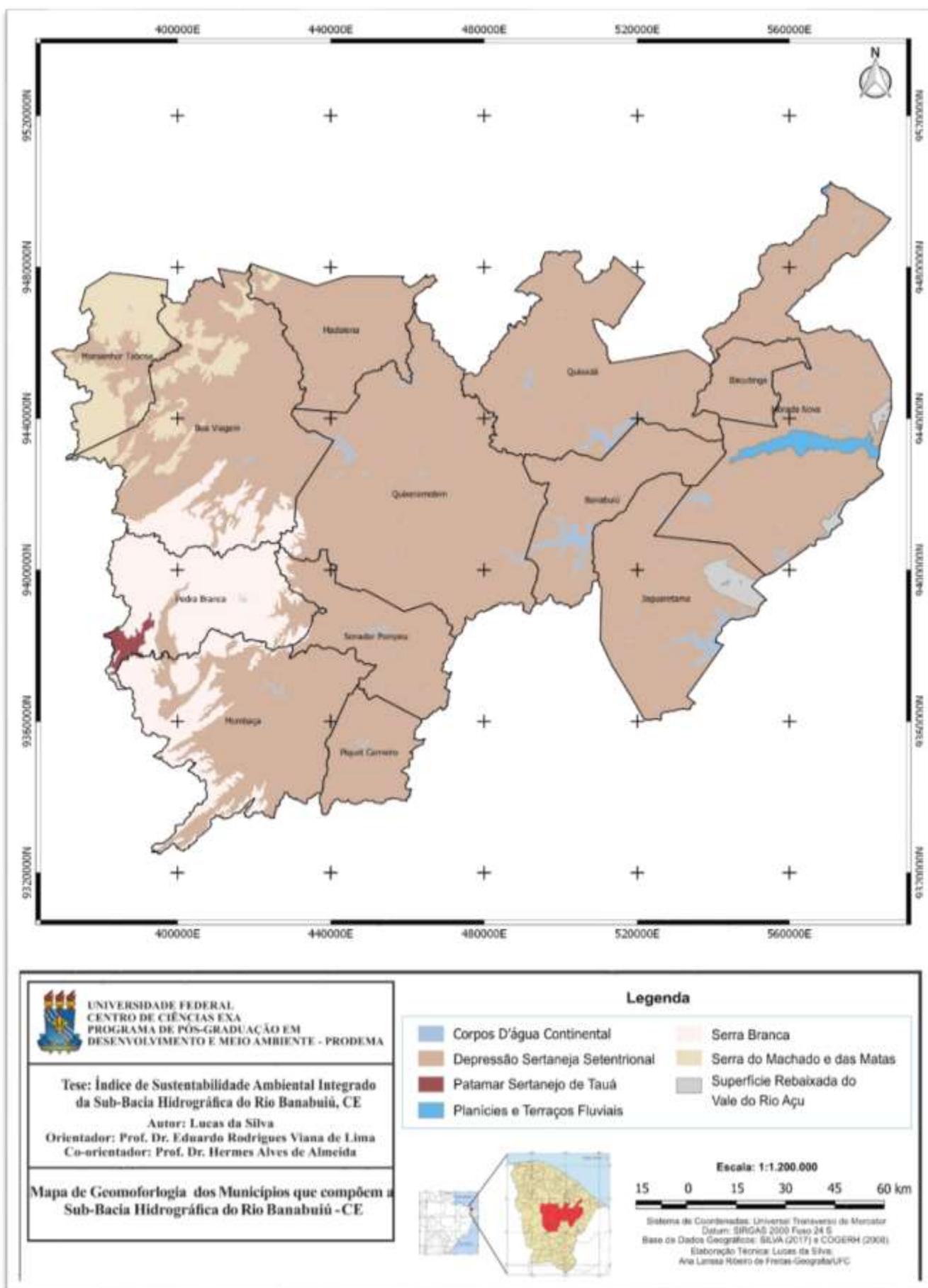


Figura 21: Geomorfologia dos municípios que compõem a Sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.

Dentre as unidades geomorfológicas estabelecidas na categoria, destaca-se a Depressão Sertaneja Setentrional, que é a mais significativa, por ser a unidade que aglutina maiores características das regiões semiáridas. Essa é a única unidade que está presente em todos os municípios que compõem a sub-bacia, desconsiderando a classe “corpo de água continental”. A Depressão Sertaneja Setentrional está presente, com mais de 90%, na maioria desses municípios e representa cerca de 81% de todas as unidades geomorfológicas de todos os municípios que compõem a sub-bacia do rio Banabuiú.

Apenas Monsenhor Tabosa e Pedra Branca não apresentam a Depressão Sertaneja Setentrional como principal feição geomorfologia. Essa unidade representa apenas 26,9% e 10,8% de suas feições, respectivamente.

Depressão Sertaneja Setentrional se caracteriza por apresentar feições geomorfologias como presença predominante de relevo dissecado com formas suaves, produto da superfície de aplainamento, com altitudes que variam desde próximo dos 200 metros até 500 metros, onde predominam maciços residuais, destacando-se a abundante presença de *inselbergs* de dimensões variadas, bastante característicos na região, mais intensamente no município de Quixadá (SOUSA, 2010).

Essa classe consiste em vastas superfícies arrasadas, invariavelmente em cotas baixas, cujo piso se situa entre 40 e 350 metros, com rochas do embasamento ígneo-metamórfico Pré-Cambriano da Faixa de Dobramentos do Nordeste. Para Brandão (2014), na Depressão Sertaneja há predomínio de um conjunto de solos rasos com fertilidade natural baixa a alta em um ambiente tropical semiárido, com predomínio de vegetação de caatinga hiperxerófila, com baixa densidade de drenagem e altos índices de sódio. Com isso, apresenta limitações moderadas a forte ao uso agrícola devido à má condição física do solo e de teores médios de sódio trocável.

Por fim, a classe Patamar Sertanejo de Tauá se encontra presente apenas nos municípios de Pedra Branca e Mombaça: 5,3% no primeiro e 0,2% no segundo.

6.2.8. Índice de Sustentabilidade Geoambiental da dimensão Geomorfologia

A partir das análises dos indicadores da dimensão Geomorfologia, obteve-se o índice de sustentabilidade geoambiental, em que, no geral, os valores foram baixos em função da pouca presença dos indicadores positivos na grande maioria dos municípios. Desse modo, quando um indicador positivo não aparece em determinado município, recebe o valor zero, o que representa o valor mínimo de sustentabilidade, influenciando negativamente para o valor médio de sustentabilidade para essa dimensão específica.

Os valores do índice de sustentabilidade geoambiental da dimensão geomorfologia são apresentados na Figura 22, ondes se observa que, entre os municípios analisados, Jaguaretama apresenta maior índice (0,41), seguido por Monsenhor Tabosa (0,40) e Morada Nova (0,39). Esses

municípios se destacam porque apresentaram maiores taxas nos indicadores positivos, bem como baixas taxas nos indicadores negativos.

Esses valores foram obtidos em função desses municípios estarem localizadas em áreas com características geomorfológicas em relação aos demais, que tem influências de outras unidades geomorfológicas, com características que contribuem mais positivamente para a sustentabilidade geoambiental dos mesmos.

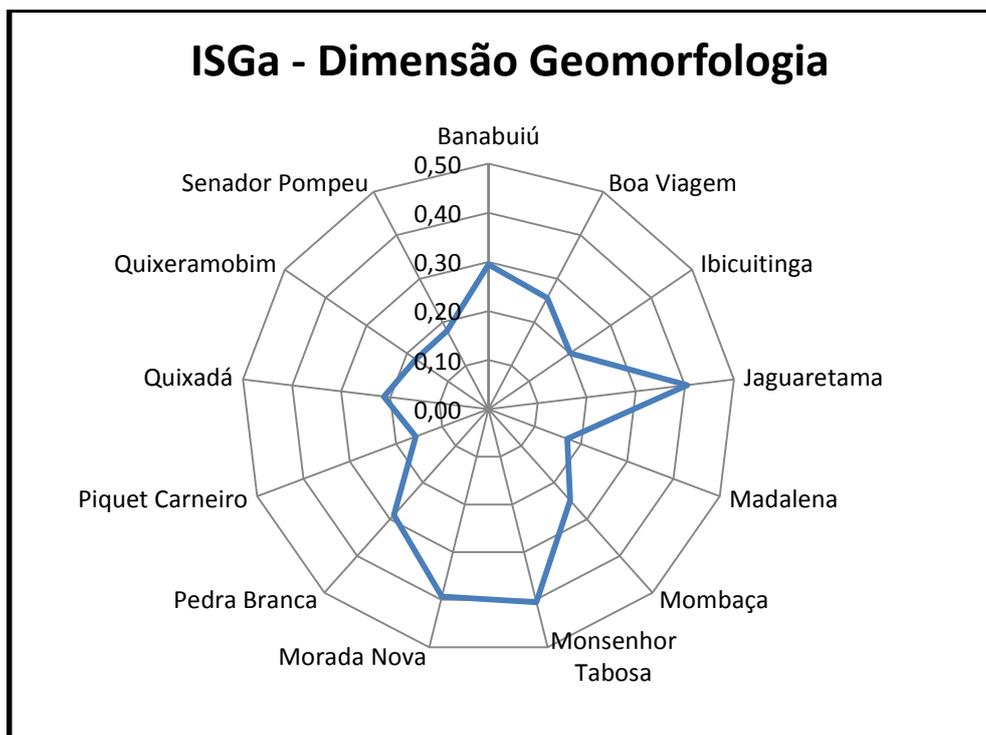


Figura 22: Índice de Sustentabilidade Geoambiental da dimensão “geomorfologia” dos municípios que compõem a Sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.

Já os municípios de Banabuiú e Pedra Branca apresentam índices de 0,29, enquanto Ibicuitinga, Quixadá, Mombaça e Boa Viagem apresentam índices que variaram entre 0,20 e 0,26. Senador Pompeu e Quixeramobim apresentaram índices de 0,18 cada.

Os municípios que apresentam menores índices são Piquet Carneiro e Madalena, com 0,16 e 0,17, respectivamente. Com isso, são os que mais contribuem para insustentabilidade geoambiental da sub-bacia do rio Banabuiú, na dimensão em questão, por terem apresentado as piores taxas nos indicadores positivos e altas taxas nos indicadores negativos. Isto indica que as características geomorfológicas desses municípios não são favoráveis à sustentabilidade da área em estudo.

Com relação aos níveis de sustentabilidade geoambiental na dimensão geomorfologia, o maior nível alcançado foi de Sustentabilidade Média, obtido apenas por Jaguaretama. Este se destaca por apresentar características geomorfológicas que contribuem mais para a produção agrícola, armazenamento de água e qualidade dos aspectos ambientais. Isso se deve ao fato desse município

fazer parte de outra configuração geomorfológica, que se diferencia dos demais que compõem a sub-bacia do rio Banabuiú.

No entanto, mesmo sendo o município com melhor nível de sustentabilidade, apresenta, assim como os demais, altos níveis de degradação ambiental, como mostrou Souza et al. (2011), que revela Jaguaretama apresenta áreas degradadas por exploração mineral, diversidade biológica empobrecida e ações erosivas intensificadas com aceleração dos processos de degradação ambiental nas vertentes e no entorno de nascentes fluviais. Os mesmos autores também apresentam cenários desejáveis para o citado município: propõem controle dos desmatamentos e da atividade mineração, aumento da produção agrícola e melhoria dos sistemas tecnológicos, com práticas conservacionistas de uso do solo implementadas, tais como, sistemas agroflorestais, silviculturais implementados para reverter tendências de extinção das matas secas e ciliares, controlar a erosão e a degradação dos recursos hídricos e recuperar a diversidade biológica.

Dos municípios que compõem a sub-bacia do rio Banabuiú, seis apresentam, na dimensão geomorfologia, o nível de sustentabilidade geoambiental classificado como “Potencialmente Insustentável”: Morada Nova, Banabuiú, Pedra Branca, Boa Viagem, Mombaça e Quixadá. Esse nível é o penúltimo, apenas melhor que os classificados como Insustentável (Ver Figura 23).

Ainda nessa dimensão, a situação mais crítica se encontra nos municípios de Ibicuitinga, Senador Pompeu, Quixeramobim, Madalena e Piquet Carneiro. Estes são os que apresentam o nível de “Insustentável”, por possuírem características geomorfológicas que não contribuem para a sustentabilidade da sub-bacia, uma vez que todos esses apresentam taxas menores de Corpo de água continental, de Planícies e Terra Fluviais, de Superfície Rebaixada do Vale do Rio Açu, de Serra Branca e de Serra do Machado e das Matas. Todos esses indicadores são considerados positivos, pois contribuem de forma significativa com a sustentabilidade da sub-bacia. Muitos desses municípios apresentam 0% da maioria desses indicadores geomorfológicos, baixando, desse modo, o índice médio de sustentabilidade.

Finalmente, esses municípios também apresentam altos valores de percentagem no indicador Depressão Sertaneja Setentrional, classificado como negativo. Com isso, são os que menos contribuem para a sustentabilidade da sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.

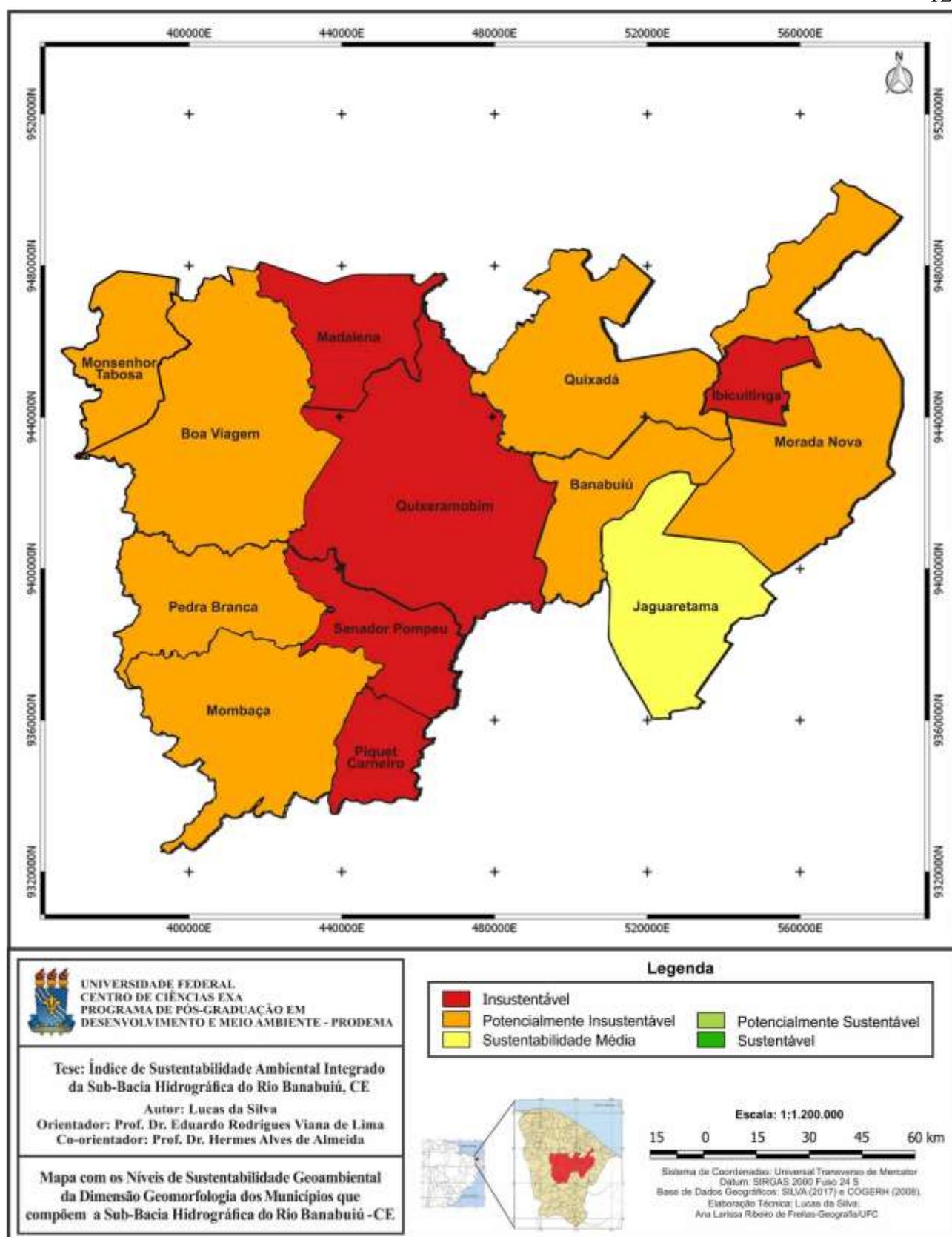


Figura 23: Níveis de Sustentabilidade Geoambiental, da dimensão “Geomorfologia”, dos municípios que compõem a Sub-bacia Hidrográfica do rio Banabuiú.

6.2.9. Indicadores Sustentabilidade Geoambiental da dimensão “Geologia”

Para o índice sustentabilidade Geoambiental da dimensão Geologia foram considerados como indicadores três classes litológicas: as classes das rochas sedimentares, com quatro tipos de rochas; a classe das rochas metamórficas, com dezesseis tipos de rochas; e a classe ígnea ou magmática, com dezessete tipos de rochas.

Os percentuais de cada classe se encontram apresentados na Tabela 20 e na Figura 24, nas quais é possível observar que os municípios que compõem a sub-bacia do rio Banabuiú se encontram localizados em uma área semiárida. Destes, apenas cinco apresentam formações litológicas da classe sedimentar, com destaque para Ibicuitinga, Morada Nova e Jaguaretama, que apresentam, em relação às demais classes litológicas, percentual da classe sedimentar de 34,2%, 30% e 23,3%, respectivamente,

O município Ibicuitinga, que apresenta o maior percentual desta classe, tem como única formação litológica os sedimentos argilo-arenosos. Já Morada Nova, além de apresentar formação litológica e sedimentos argilo-arenosos, apresenta formações conglomerados e arenitos, argilas, areias argilosas e cascalhos e arenitos e conglomerados; enquanto que Jaguaretama apresenta formação litológica, sedimentos argilo-arenosos e conglomerados e arenitos.

Os municípios expostos anteriormente apresentam essas formações litológicas, que diferem dos demais, devido suas localizações próximas da unidade geomorfológica dos tabuleiros costeiros da Formação Barreiras (período Terciário), que se constituem em uma extensa faixa sedimentar costeira, com poucas interrupções, sendo representadas geologicamente pelos sedimentos da Formação Barreiras de natureza granulométrica variada (SUGUIO; NOGUEIRA, 1999).

Os municípios de Quixadá e Banabuiú também apresentam formação litológica da classe sedimentar, mas em menor percentagem: 3,8% e 0,4%, respectivamente. Quixadá apresenta formação litológica sedimentos argilo-arenosos e, em menor proporção, a formação argilas, areias argilosas e cascalhos, presentes nos depósitos aluviais. Já Banabuiú, apresenta formação Argilas, areias argilosas e cascalhos e Conglomerados e arenitos.

Para Suassuna (2016), nas bacias sedimentares os solos geralmente são profundos (superiores a 2,0 metros, podendo ultrapassar 6,0 metros), com alta capacidade de infiltração, baixo escoamento superficial e boa drenagem natural. Estas características possibilitam a existência de um grande suprimento de água de boa qualidade no lençol freático que, pela sua profundidade, está totalmente protegido da evaporação.

A classe litológica das rochas metamórficas é a mais significativa nos municípios de Piquet Carneiro e Boa Viagem, representando mais de 95% de suas respectivas classes litológicas. O município de Piquet Carneiro apresenta quatro formações litológicas da classe Metamórfica: Quartzitos, Paragnaisses e ortognaisses granticos, Paragnaisses, micaxistos, quartzitos e metacalcários e Gnaisses, migmatitos e anfíbolitos. Destas, a última representa 80% de abrangência. Boa Viagem

apresenta sete formações litológicas, no entanto, a formação litológica Sequência plutono-vulcanos sedimentar representa sozinha 70% e, se somada com a formação Paragnaisses, micaxistos e metacalcários, representam 97% em relação às demais formações deste município. As demais representam apenas 18% das formações litológicas da classe Metamórfica do referido município.

Três municípios também merecem destaque por apresentarem elevadas percentagens na classe metamórfica: Pedra Branca, Madalena e Quixadá apresentam 86,6%, 84%, e 80,1%, respectivamente. Entre as formações litológicas do município de Pedra Branca, a formação Sequência plutono-vulcanos sedimentar representa cerca de 95% das formações litológicas desta classe.

Em Madalena destacam-se duas formações litológicas: a sequência plutono-vulcanos sedimentar, que representa cerca 40%; e as formações Migmatitos e ortognaisses, que representam 41,3% da classe metamórfica desse município.

Quixadá apresenta a maior diversidade de formações litológicas da classe metamórfica: Paragnaisses, metabasaltos, anfibolitos, Gnaisses, Migmatitos e anfibolitos e Migmatitos e ortognaisses. Juntas, essas classes representam 53%.

Já os municípios de Mombaça, Banabuiú, Quixeramobim, Senador Pompeu, Morada Nova e Ibicuitinga apresentam percentuais que variaram entre 41% a 77%, neste indicador, sendo que as formações litológicas de maior abrangência em todos esses foi a Sequência plutono-vulcanos sedimentar.

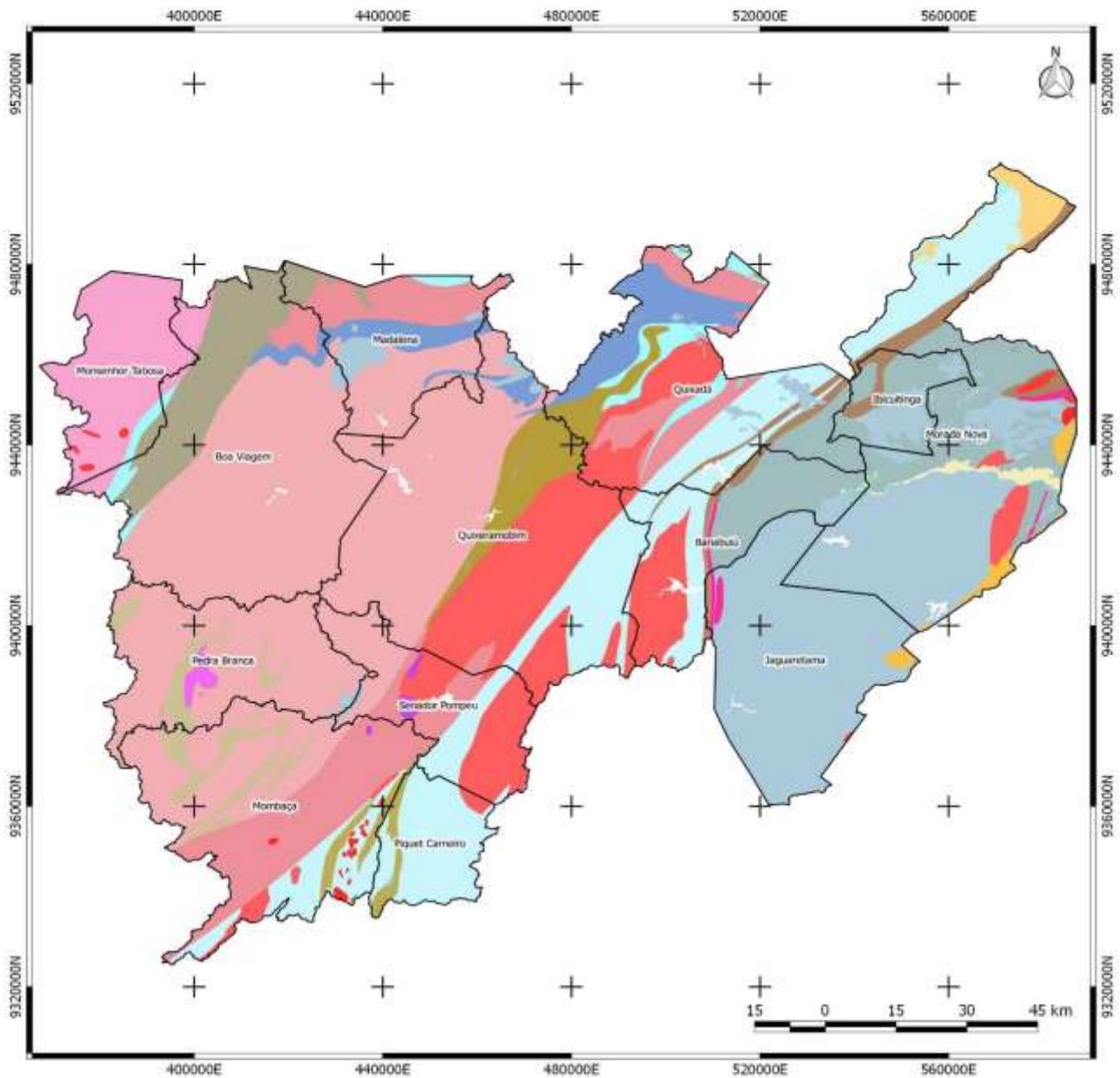
Os municípios que apresentam menores percentuais na classe litológica metamórfica são Jaguaratama e Monsenhor Tabosa, com taxas de 8,8% e 7,0%, respectivamente. Com isso, esses dois municípios são os que menos contribuem para sustentabilidade geoambiental da sub-bacia do rio Banabuiú, na dimensão geologia, pois, como essa classe é da categoria positiva, quanto mais elevada é a taxa percentual, mais influência exerce na sustentabilidade ambiental e, com isso, contribui para a sustentabilidade geoambiental da sub-bacia nessa dimensão.

Como indicadores negativos foram utilizadas as classes litológicas Ígneas, que também estão presentes em todos os municípios que compõem a sub-bacia do Rio Banabuiú. Destes, destaca-se Monsenhor Tabosa, que apresenta 93% de geologia de rochas da classe Ígneas, que mesmo se caracterizando como estáveis aos processos de intemperismo é limitante no armazenamento de água e fornecem materiais e origem de solos que dificultam a atividade agrícola e ambiental da região.

O segundo município com maior área nesta classe é o de Jaguaratama, com 67,9%, seguido por Senador Pompeu, com 42%. Jaguaratama apresenta 49% de suas formações litológicas de Dioritos e granitides e 40% de formação Augenortognaisses graníticos, ambas representam 89% das suas formações litológicas. Já Senador Pompeu tem como maior percentagem a formação litológica Granitos e granodioritos, que representa 91% de todas suas formações litológicas.

Tabela 20: Valores dos Indicadores selecionados para formulação do Índice de Sustentabilidade Geoambiental, da dimensão “geologia”, dos municípios que compõem a Sub-bacia Hidrográfica do rio Banabuiú.

CATEGORIAS	INDICADORES GEOLOGIA (%)													
	Banabuiú	Boa Viagem	Ibicuitinga	Jaguaretama	Madalena	Mombaça	Monsenhor Tabosa	Morada Nova	Pedra Branca	Piquet Carneiro	Quixadá	Quixeramobim	Senador Pompeu	
POSITIVO	Sedimentar	0,4	0,0	34,2	23,3	0,0	0,0	0,0	30,0	0,0	0,0	3,8	0,0	0,0
	Metamórfica	67,9	95,1	41,8	8,8	84,0	76,7	7,0	52,6	86,6	95,9	80,1	67,2	57,4
NEGATIVO	Ígneas (Magmática)	31,7	4,9	24,1	67,9	16,0	23,3	93,0	17,4	13,4	4,1	16,1	32,8	42,6



UNIVERSIDADE FEDERAL
CENTRO DE CIÊNCIAS EXA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE - PRODEMA

Tese: Índice de Sustentabilidade Ambiental Integrado da Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Banabuiú, CE
Autor: Lucas da Silva
Orientador: Prof. Dr. Eduardo Rodrigues Vinha de Lima
Co-orientador: Prof. Dr. Hernes Alves de Almeida

Mapa de Geologia dos Municípios que compõem a Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Banabuiú - CE

Legenda

<ul style="list-style-type: none"> Arenitos Arenitos, Quartzitos Argilosos Argilosos, carboníferos Arenitos, calcários Calc. calcários Calc. metamórficos Calc. Unidade Ametrio, Quixeramobim Calc. Unidade Independência, Quixeramobim Calc. Unidade Independência, Quixeramobim Complexo Ceará - Unidade Ametrio Complexo Ceará - Unidade Ceará Complexo Ceará - Unidade Independência Complexo Ceará - Unidade Quixeramobim Complexo Quixeramobim - Unidade Montanhas 	<ul style="list-style-type: none"> Cruzeta, Calvão Cruzeta, Formosa Formosa Cruzeta, Indiferenciado Cruzeta, metamórfico Cruzeta, Metabasálticas Cruzeta, Unidade Formosa - Graptolitos Cruzeta, Unidade São Cruzeta, Unidade São, Glicóides Depósitos Aluviais Fácies Granitoides do complexo indiferenciado Granitoides diversos Sequoianense Oriz, Formosa, Carapiz, Alagoas, Maranhão Oriz, Formosa, Fortaleza 	<ul style="list-style-type: none"> Oriz, Formosa - Santana, Quixeramobim Surtos Sube Sertão 1 Sube Sertão 2 Sube Sertão 3 - Unidade São Paulo (paralelamente Ceará) Sube Sertão 4 - Unidade São Paulo (paralelamente Ceará) Sube Sertão Sube Sertão do Oeste Unidade Chão Unidade geral
--	--	---

Escala: 1:1.200.000

15 0 15 30 45 60 km

Sistema de Coordenadas: Universal Transverso de Mercator
Datum: SIRGAS 2000 Fuso 24 S
Base de Dados Geográficos: SILVA (2017) e COGERH (2008).
Elaboração Técnica: Lucas da Silva,
Ana Lúcia Ribeiro de Freitas-Geografia/UFC

Figura 24: Geologia dos municípios que compõem a Sub-bacia Hidrográfica do rio Banabuiú.

Outros municípios que se destacaram no indicador em questão foram Senador Pompeu, com 42,6%; Quixeramobim, com 32,8%; Banabuiú, com 31,7%; Ibicuitinga, com 24,1%; e Mombaça, com 23,3%. É importante salientar que nos municípios de Senador Pompeu e Quixeramobim predominam a formação litológica Granitos e granodioritos, enquanto que em Ibicuitinga prevalecem às formações Ortognaisses migmatizados e em Mombaça a formação litológica Metagabros.

Os municípios que apresentaram menores taxas na classe litológica ígneas foram Piquet Carneiro (4,1%) e Boa Viagem (4,9%), os demais variaram entre 13% e 17,5%. Tal fato sugere que esses são os que mais influenciam e contribuem para a sustentabilidade geoambiental da sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú nesta dimensão, por esse indicador ser considerado negativo.

6.2.10. Índice de Sustentabilidade Geoambiental da dimensão Geologia

Com base nos indicadores das classes geológicas da sub-bacia, obteve-se o índice de sustentabilidade geoambiental dos municípios que compõem a Sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú da dimensão geologia.

Com isso, pode-se observar na Figura 25, que os municípios com maiores índices de sustentabilidade geoambiental na dimensão geologia são os que apresentam a maior área do triângulo no gráfico de radar, onde Ibicuitinga apresenta melhor desempenho, com índice de 0,79, seguido por Morada Nova, com 0,74.

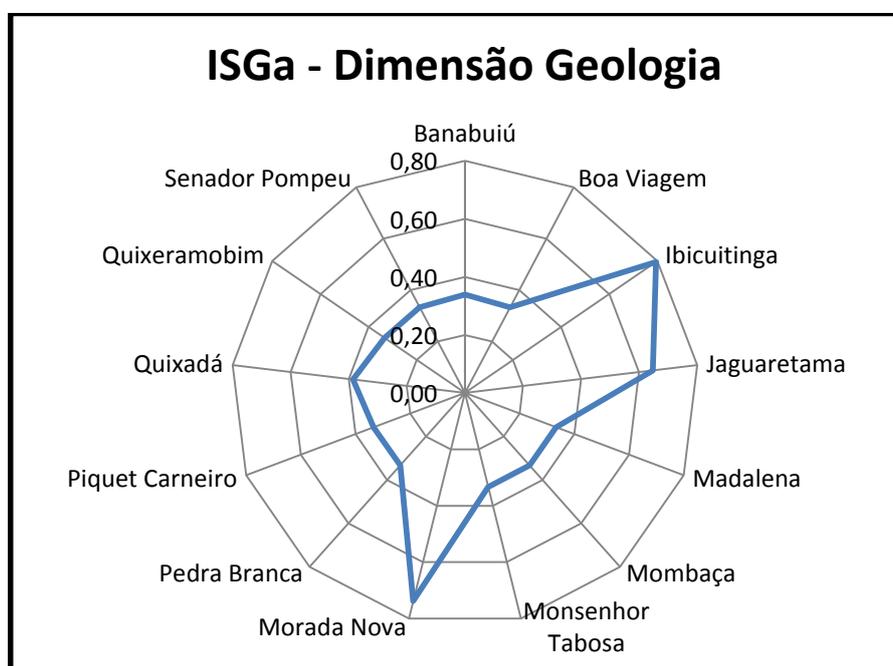


Figura 25: Índice de Sustentabilidade Geoambiental da dimensão “geologia” dos municípios que compõem a Sub-bacia Hidrográfica do rio Banabuiú.

Esses municípios obtiveram tais índices por apresentarem maiores valores em seus indicadores positivos e menores nos negativos. Os municípios que obtiveram índices superiores a 0,5, como é o

caso de Jaguaretama (0,65), são os que mais contribuem para a sustentabilidade geoambiental dos municípios da sub-bacia, pois apresentam taxas altas nos indicadores positivos e baixas nos negativos (ver Tabela 19). Já Quixadá e Banabuiú apresentam índices de 0,38 e 0,34, respectivamente.

Ainda na tabela 19, observam-se os municípios que menos contribuem para a sustentabilidade geoambiental na dimensão geologia, por apresentarem baixas taxas nos indicadores positivos e altas nos negativos. Nesta situação encontram-se Boa Viagem, Madalena Mombaça, Monsenhor Tabosa, Pedra Branca, Piquet Carneiro, Quixeramobim e Senador Pompeu, todos com índices de 0,33. Com isso, caracterizam-se como os que menos contribuem e influenciam na sustentabilidade geoambiental da sub-bacia.

Já a Figura 26 mostra o nível de sustentabilidade geoambiental da dimensão geologia. Nela, é possível observar que o maior nível obtido pelos municípios pesquisados na dimensão em estudo foi o Potencialmente Sustentável, dos quais fazem parte apenas Ibicuitinga, Morada Nova e Jaguaretama.

Os demais municípios apresentam nível de sustentabilidade Potencialmente Insustentável, por apresentarem índices entre 0,21 e 0,4. Esse nível é o segundo pior e, com isso, são esses municípios que menos contribuem e influenciam na sustentabilidade geoambiental da sub-bacia, considerando esta dimensão. Isso devido a apresentarem altos valores nos indicadores das classes ígneas e metamórficas, consideradas negativas, porque esses tipos de litologia são, em sua maioria, de qualidade inferior e normalmente servem apenas para o consumo animal; às vezes, atendem ao consumo humano e raramente prestam para irrigação. As águas que têm contato com esse tipo de substrato se mineralizam com muita facilidade, tornando-se salinizadas (SUASSUNA, 2016).

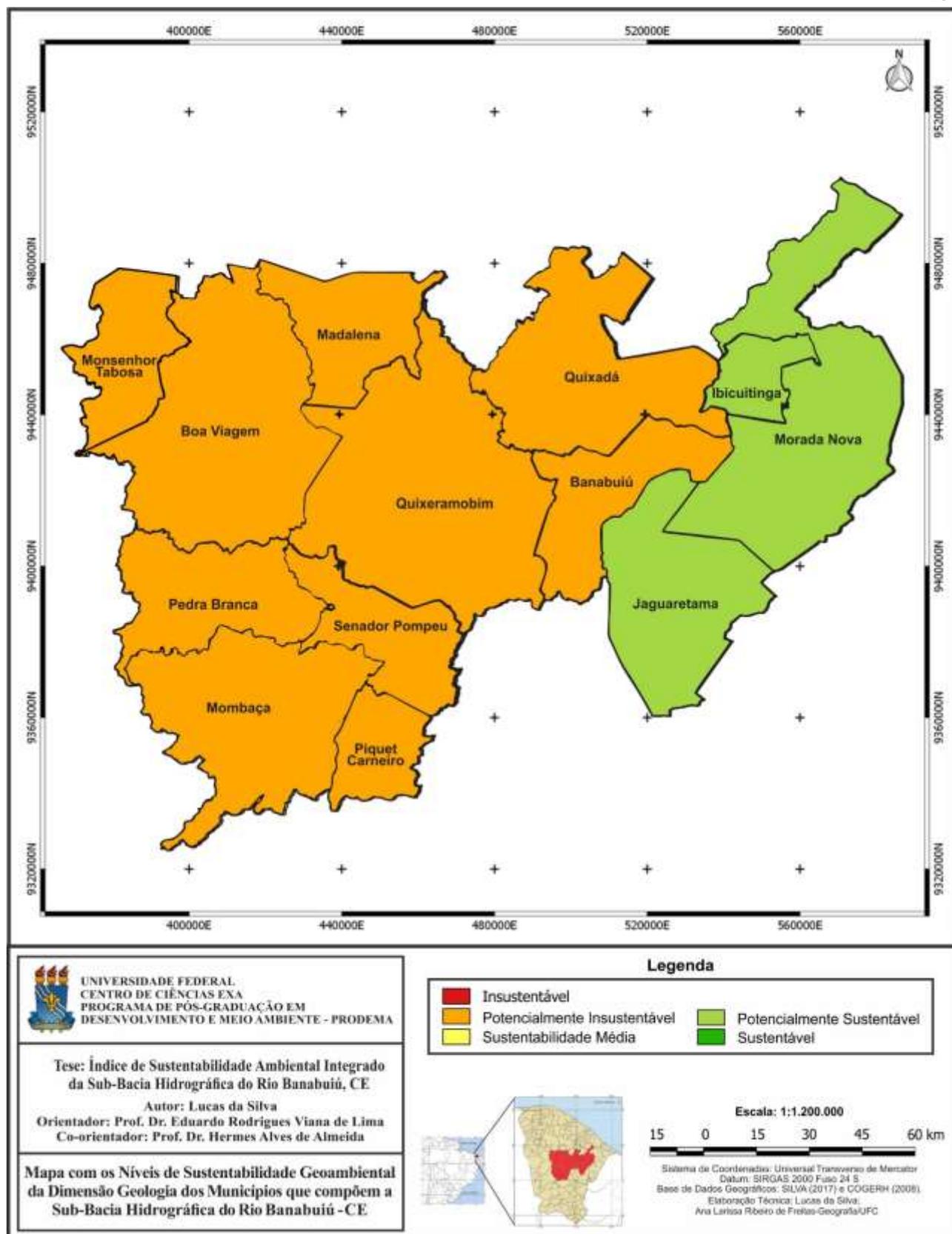


Figura 26: Nível de Sustentabilidade Geoambiental, da dimensão “geologia”, dos municípios que compõem a Sub-bacia Hidrográfica do rio Banabuiú.

6.2.11. Indicadores de Sustentabilidade Geoambiental da dimensão “Drenagem”

Para o índice de sustentabilidade Geoambiental da dimensão drenagem foram considerados como indicadores sete parâmetros morfométricos relacionados com a drenagem de cada município que compõe a Sub-bacia. Desses indicadores, cinco são considerados positivos (Área, Densidade de drenagem, Densidade hidrográfica, Índice de circularidade, Índice de sinuosidade) e dois negativos (Coeficiente de manutenção e Coeficiente de compacidade).

Esses indicadores encontram-se a na Tabela 21 e na Figura 27, nas quais é possível observar que o município de Quixeramobim detém a maior área da drenagem, com uma área total de 3.273 km², que representa 15,5% de toda área de drenagem da sub-bacia. O segundo município de maior área é Boa Viagem, com 2.835 km², seguido por Morada Nova, com área de 2.776 km²; Mombaça, com 2.118 km²; e por Quixadá, com 2.018 km². Juntos, esses municípios correspondem a 60% da área de drenagem na sub-bacia e, com isso, são os que mais contribuem positivamente para o índice de sustentabilidade geoambiental na dimensão drenagem.

Já os municípios que apresentaram menores áreas de drenagem foram Ibicuitinga (424,60 km²), Piquet Carneiro (587,44 km²) e Monsenhor Tabosa (885,72 km²). Os demais apresentaram áreas de drenagem entre 1.100 km² e 1760 km².

Considerando o Índice de circularidade como indicador, observa-se que o município que apresentou mais circularidade na forma de sua drenagem foi o Jaguaratama (0,046), seguido pelo Piquet Carneiro (0,039). Já Monsenhor Tabosa, Quixeramobim, Boa Viagem e Madalena apresentaram circularidade de 0,027. Por outro lado, o município de Morada Nova apresentou a menor circularidade (0,016), seguido pelos municípios de Quixadá (0,020), Pedra Branca (0,020), Mombaça (0,021), Senador Pompeu (0,023) e Banabuiú (0,025).

Esses municípios que apresentaram os menores índices de circularidade são os que apresentam maior suscetibilidade à ocorrência de enchentes e inundações, pois o indicador em questão mensura o comportamento da infiltração e de escoamento das águas pluviais nas respectivas áreas de drenagem.

No entanto, em geral, as drenagens dos municípios apresentam poucas possibilidades de ocorrência de enchentes e inundações, pois apresentam índice muito baixo considerando que o valor máximo que pode ser obtido é igual a 1 e, quanto maior o valor, mais próxima da forma circular, ou seja, quanto mais próximo o valor de 1, maior a tendência em produzir escoamentos rápidos nas drenagens dos municípios que compõe a sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú. Acerca disso, Villela e Mattos (1975) afirmam que quanto maior o tempo de concentração, menor a vazão máxima de enchente, se mantidas constantes as outras características.

Tabela 21: Valores dos Indicadores selecionados para formulação do Índice de Sustentabilidade Geoambiental da dimensão “drenagem” dos municípios que compõem a Sub-bacia Hidrográfica do rio Banabuiú.

CATEGORIAS	INDICADORES DRENAGEM (%)													
		Banabuiú	Boa Viagem	Ibicuitinga	Jaguaretama	Madalena	Mombaça	Monsenhor Tabosa	Morada Nova	Pedra Branca	Piquet Carneiro	Quixadá	Quixeramobim	Senador Pompeu
POSITIVO	Área (Km ²)	1.079	2.835	425	1.758	1.034	2.118	886	2.777	1.303	587	2.018	3.273	1.001
	Índice de circularidade	0,046	0,039	0,031	0,027	0,027	0,027	0,027	0,025	0,023	0,021	0,020	0,020	0,016
	Densidade hidrográfica	0,21	0,20	0,21	0,19	0,22	0,19	0,20	0,22	0,18	0,20	0,20	0,19	0,18
	Densidade de drenagem	0,47	0,48	0,47	0,47	0,46	0,47	0,44	0,49	0,47	0,46	0,47	0,47	0,46
	Índice de sinuosidade	0,72	1,11	1	0,83	1,4	1,46	1,32	1,05	1,44	1,32	1,18	1,29	1,27
NEGATIVO	Coefficiente de compacidade	1,77	1,71	1,59	1,31	1,71	1,94	1,7	2,22	1,98	1,42	1,99	1,71	1,83
	Coefficiente de manutenção	2.128	2.068	2.146	2.135	2.168	2.152	2.252	2.047	2.138	2.154	2.111	2.112	2.161

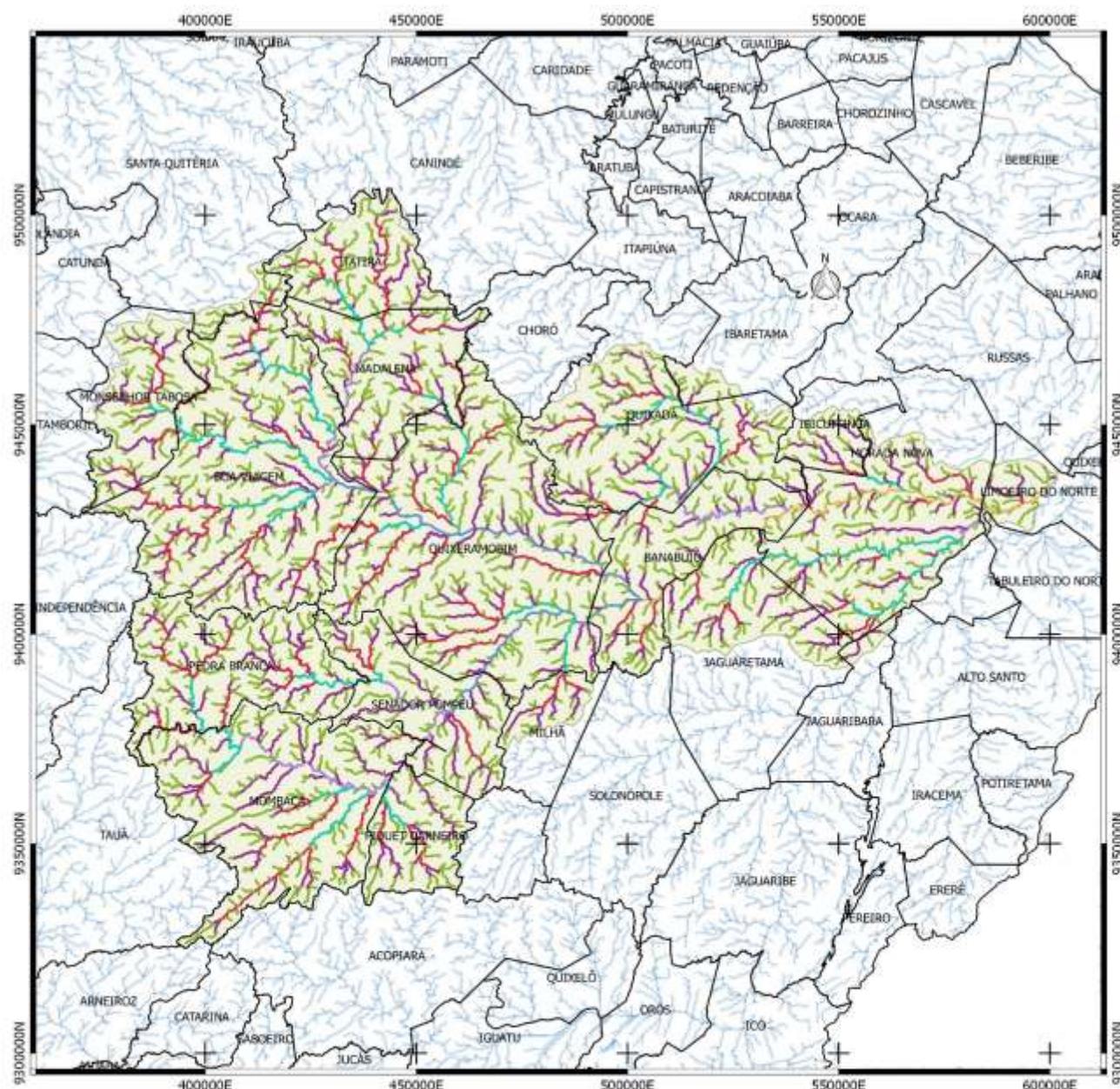


Figura 27: Drenagem dos municípios que compõem a Sub-bacia Hidrográfica do Rio Banabuiú.

A densidade hidrográfica é uma variável de grande importância por representar o comportamento hidrológico de uma determinada área em um dos seus aspectos fundamentais, que é a capacidade de gerar novos cursos d'água (CHRISTOFOLETTI, 1974).

A densidade hidrográfica é também a relação existente entre o número de canais e a área da sub-bacia, que indica o número de rios por unidade de área em cada município e foi utilizada também como indicador na dimensão drenagem. Neste, observou-se que a densidade hidrográfica dos municípios variou entre 0,18 e 0,22 rios/km². A maior densidade hidrográfica foi apresentada pelo município Madalena (0,22 rios/km) e a menor por Senador Pompeu (0,18 rios/km). Assim, todos os municípios da sub-bacia apresentaram baixa densidade hidrográfica, o que contribui necessariamente para uma baixa densidade de drenagem nos municípios.

A densidade de drenagem que relaciona o comprimento da drenagem e a área da sub-bacia e auxilia na compreensão do escoamento superficial também foi utilizada como indicador na dimensão drenagem. Pôde-se observar que o município que apresentou a maior densidade de drenagem foi Morada Nova, com 0,49 km/km², seguido por Boa Viagem, com 0,48 km/km².

Já os municípios de Quixadá, Quixeramobim, Banabuiú, Jaguaratama, Pedra Branca e Ibicuitinga apresentaram densidade de drenagem de 0,47 km/km². Com isso, esses municípios apresentam maior a capacidade da Sub-bacia de fazer escoamentos rápidos no exutório, se comparados com os demais. Enquanto os municípios de Mombaça, Piquet Carneiro, Senador Pompeu e Madalena apresentaram densidade de drenagem de 0,46 km/km²; sendo a menor proporção de densidade drenagem (0,44 km/km²) apresentada por Monsenhor Tabosa.

Em geral, a densidade de drenagem dos municípios que compõem a sub-bacia é baixa. Isto significa que, de forma geral, a sub-bacia tem baixa capacidade de infiltração de água no solo. Isso porque à medida que aumenta o valor da densidade ocorre a diminuição do tamanho dos componentes fluviais das sub-bacias de drenagem. Com isso, quanto maior a densidade de drenagem, maior é a velocidade com que a água atinge o rio, contribuindo, assim, para enchentes e alagamentos nos municípios que compõem a referida sub-bacia.

Já a sinuosidade relaciona o comprimento do canal principal com a distância vetorial entre os extremos do canal e constitui um fator controlador da velocidade de escoamento das águas. Nesse indicador, o município que apresentou o maior valor foi Mombaça (1,46), seguido por Pedra Branca (1,44), Madalena (1,40), Monsenhor Tabosa (1,32), Piquet Carneiro (1,32), Quixeramobim (1,29) e Senador Pompeu (1,27). Estes municípios são os que apresentaram drenagens sinuosas, comparados com os demais. Com isso, pode apresentar acúmulos de sedimentos, provocando assoreamento e diminuindo, assim, o fluxo da água nessas drenagens.

Os municípios que apresentam os menores índices de sinuosidade são: Banabuiú (0,72), Jaguaratama (0,83), Ibicuitinga (1,00), Morada Nova (1,05), Boa Viagem (1,11) e Quixadá (1,18).

Estes são os que mais influenciam nas enchentes a jusante, pois contribui para a maior retenção de água, visto que, quanto menor for esse índice, maior a velocidade do escoamento superficial.

O indicador Coeficiente de Compacidade é a relação entre perímetro da Sub-bacia e a circunferência de um círculo de área igual à da Sub-bacia. Neste indicador, a maior compacidade foi apresentada pelo município de Morada Nova, com coeficiente de compacidade de 2,22, seguido pelos municípios de Quixadá (1,99), Pedra Branca (1,98), Mombaça (1,94), Senador Pompeu (1,83) e Banabuiú (1,77).

Os municípios de Madalena, Boa Viagem e Quixeramobim apresentaram compacidade de 1,77. Já Monsenhor Tabosa apresentou coeficiente de 1,7. Os que apresentaram menos coeficiente de compacidade foram Jaguaratama (1,31), Piquet Carneiro (1,42) e Ibicuitinga (1,59).

O Coeficiente de Compacidade determina a irregularidade da drenagem de cada município: quanto maior for o coeficiente de compacidade mais irregular será a bacia/drenagem. Destaca-se que todos os municípios da sub-bacia apresentaram coeficientes acima de 1. Com isso, são suscetíveis de ocorrência de inundações, pois, quanto menor for o valor desse coeficiente (números próximos a zero), mais arredondada será a sub-bacia e mais sujeita a enchentes ela estará. Simultaneamente ao coeficiente de compacidade, o índice de circularidade tende para a unidade à medida que a sub-bacia se aproxima da forma circular e diminui à medida que a forma se torna alongada (CARDOSO et al. 2006).

O Coeficiente de Manutenção também foi utilizado para mensurar o índice de sustentabilidade geoambiental na dimensão Drenagem. O coeficiente de manutenção tem a finalidade de fornecer a área mínima necessária para a manutenção de 1 m de canal de escoamento. Com esse dado, é possível estimar qual seria a área necessária para a manutenção de 1 m de curso fluvial perene, o que permite raciocinar sobre o balanço hidrodinâmico da área (SCHUMM,1956).

O município de Monsenhor Tabosa apresentou o maior Coeficiente (2.251,54), que é um valor classificado como alto, ou seja, nessa sub-bacia é necessária uma área de 2.046,68km² para manter ativo um quilômetro (km) de canal fluvial (SCHUMM, 1956). Já Morada Nova apresentou o menor coeficiente de manutenção (2.046,68). Os demais apresentaram coeficiente que variou entre 2.067,84 e 2.168,34.

O coeficiente de manutenção é fundamental para mensurar a sustentabilidade ambiental da sub-bacia, pois evidencia áreas de recarga e com isso permite diagnosticar o risco de disponibilidade hídrica.

6.2.12. Índice de Sustentabilidade Geoambiental da dimensão Drenagem

Com base nos indicadores dos padrões da drenagem da sub-bacia, obteve-se o índice de sustentabilidade geoambiental da dimensão drenagem dos municípios.

Desse modo, pode-se observar na Figura 28 que o município que apresenta maior índice nessa dimensão é Boa Viagem com 0,66. Atrás dele seguem Quixeramobim e Morada Nova, que apresentam índice de 0,61 cada.

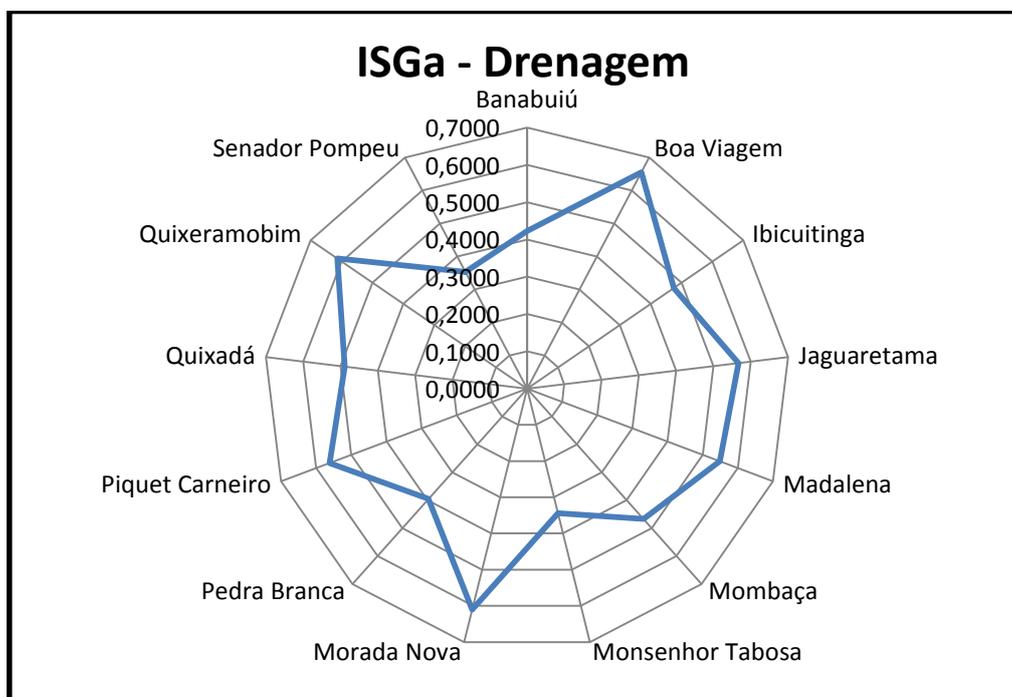


Figura 28: Índice de Sustentabilidade Geoambiental da dimensão “Drenagem” dos municípios que compõem a Sub-bacia Hidrográfica do rio Banabuiú.

Esses municípios apresentam tais índices por mostrarem maiores valores em seus indicadores positivos e menores nos negativos na dimensão drenagem. Também é possível observar que Jaguaratama, Piquet Carneiro e Madalena apresentam índices de 0,57; 0,56; e 0,55; respectivamente. Esses municípios que obtiveram índices superiores a 0,5 são os que mais contribuem para a sustentabilidade geoambiental dos municípios da sub-bacia. Já Pedra Branca, Banabuiú, Mombaça, Ibicuitinga e Quixadá apresentaram índices entre 0,42 e 0,49: Quixadá, com 0,49; Ibicuitinga, com 0,47; Mombaça, com 0,47; Banabuiú, com 0,42; e Pedra Branca, com 0,40.

Monsenhor Tabosa é o município com menor índice (0,34), seguido por Senador Pompeu, que apresenta índice de 0,35 na dimensão drenagem.

A Figura 29 mostra o nível de sustentabilidade geoambiental da dimensão drenagem nos municípios que compõem a sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú. É possível observar que o maior nível obtido nesta dimensão foi o de Potencialmente Sustentável, obtido por Boa Viagem, Quixeramobim e Morada Nova. Estes são os que apresentam características em sua morfometria que mais contribuem para a sustentabilidade da região. Tal fato se deve porque apresentam menor

possibilidade de enchentes e inundações e não favorecem à ocorrência a sedimentações, alagamentos e assoreamento dos rios, comparados aos demais municípios que apresentam menores níveis de sustentabilidade nesta dimensão.

Considerando a dimensão drenagem, mais da metade dos municípios apresentam nível de sustentabilidade geoambiental Sustentabilidade Média, são eles: Jaguaretama, Piquet Carneiro, Madalena, Quixadá, Ibicuitinga, Mombaça e Banabuiú.

Já os municípios de Pedra Branca, Senador Pompeu e Monsenhor Tabosa apresentam nível de sustentabilidade Potencialmente Insustentável, por apresentarem índices inferiores a 0,2. Esses são os que menos contribuem para a sustentabilidade geoambiental na dimensão exposta, por apresentarem características morfométricas, que dificultam o processo de escoamento, o que favorece a ocorrência de enchentes, sedimentações, alagamentos, assoreamento dos rios, etc.

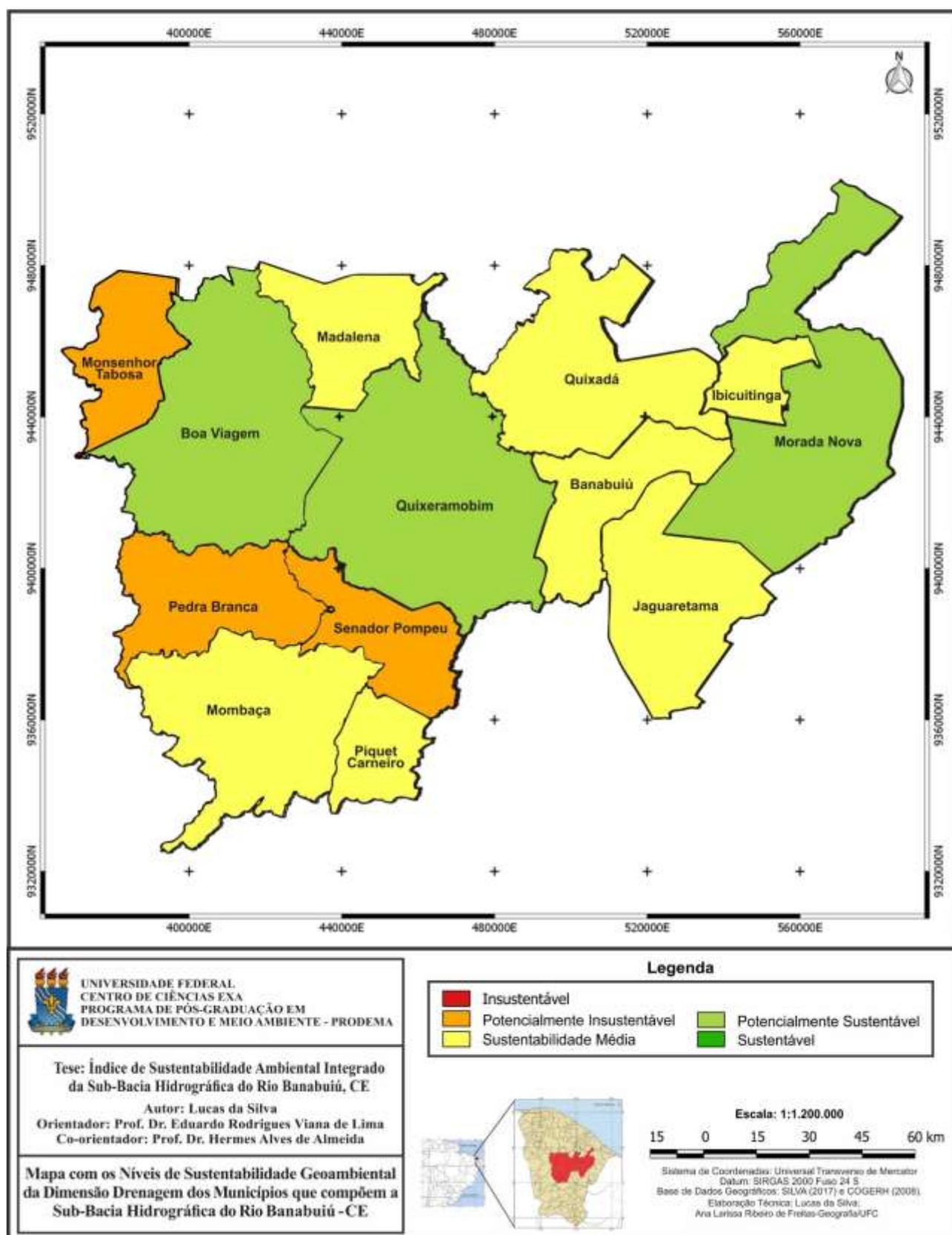


Figura 29: Nível de Sustentabilidade Geoambiental, da dimensão “drenagem”, dos municípios que compõem a Sub-bacia Hidrográfica do rio Banabuiú.

6.2.13. Indicadores de Sustentabilidade Geoambiental da dimensão Uso da terra

Os valores dos indicadores para obtenção do índice sustentabilidade Geoambiental da dimensão uso da terra são apresentados na Tabela 22 e na Figura 30. Nelas é possível perceber os valores percentuais das áreas ocupadas por cada classe de uso e ocupação dos solos de cada município que compõe a sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.

Entre os indicadores da categoria dos positivos, o corpo hídrico foi mais significativo no município de Jaguaratama, que apresentou o maior percentual deste indicador, com 6,9% de sua área total. Atrás seguem Mombaça, com 5,5%; Boa Viagem, com 3,1%; e Pedra Branca, com 2,6%. Já os municípios de Quixeramobim e Morada Nova foram os que apresentaram menos percentuais deste indicador em relação aos demais.

Com relação ao indicador positivo Vegetação Abustiva Densa, o município de Banabuiú apresentou cerca de 70% de sua área ocupada por este indicador, seguido por Quixadá, que apresentou 42,64%. Piquet Carneiro e Mombaça apresentaram uma área de 31,91% cada.

Os municípios que apresentaram menores percentagens de suas áreas ocupadas com vegetação abustiva densa foram Boa Viagem, Monsenhor Tabosa e Madalena com percentuais de 3,14%; 3,52%; e 10,68%; respectivamente.

Com relação ao indicador Vegetação Arbustiva Aberta, três dos municípios que compõem a Sub-bacia do rio Banabuiú apresentaram mais de 50% de suas áreas ocupadas com este indicador: a maior área foi apresentada por Madalena (63,96), seguido por Morada Nova (59,32) e Ibicuitinga (52,45).

Já os municípios de Quixeramobim, Boa Viagem, Piquet Carneiro apresentaram as seguintes percentagens: 47,68%, 40,72% e 36,93%, respectivamente. Enquanto o município que apresentou menor percentual deste indicador foi Jaguaratama com 6,84%. Em seguida temos Banabuiú (12%) e Mombaça (12%). Os demais variaram entre 26% e 34%.

Tabela 22: Valores dos Indicadores selecionados para formulação do Índice de Sustentabilidade Geoambiental, da dimensão “uso da terra”, dos municípios que compõem a Sub-bacia Hidrográfica do rio Banabuiú.

CATEGORIAS	CLASSE INDICADORES USO DA TERRA (hectare)	Banabuiú	Boa Viagem	Ibicutinga	Jaguaretama	Madalena	Mombaça	Monsenhor Tabosa	Morada Nova	Pedra Branca	Piquet Carneiro	Quixadá	Quixeramobim	Senador Pompeu
POSITIVO	Corpos Hídricos	4,1	47,5	8,7	3,2	15,0	19,6	16,6	5,5	128,9	11,5	25,3	15,1	16,4
	Vegetação Arbustiva densa	209,5	48,7	76,0	13,4	110,7	113,4	27,8	242,5	952,5	151,7	656,1	241,3	205,7
	Vegetação Arbustiva aberta	36,4	632,0	209,3	3,2	662,5	85,6	205,2	873,2	1681,5	175,5	506,5	626,3	206,5
NEGATIVO	Solos expostos e/ou Área Urbana	4,9	73,4	10,9	1,6	16,5	40,9	39,3	9,2	296,4	31,4	62,2	29,8	70,5
	Vegetação Arbustiva Rala	47,0	584,3	94,2	25,2	203,6	65,0	409,9	341,6	1369,0	11,4	262,8	371,5	150,6
	Agricultura	1,3	166,4	0,0	0,0	27,6	30,8	90,4	0,0	523,6	93,6	25,7	29,4	67,2

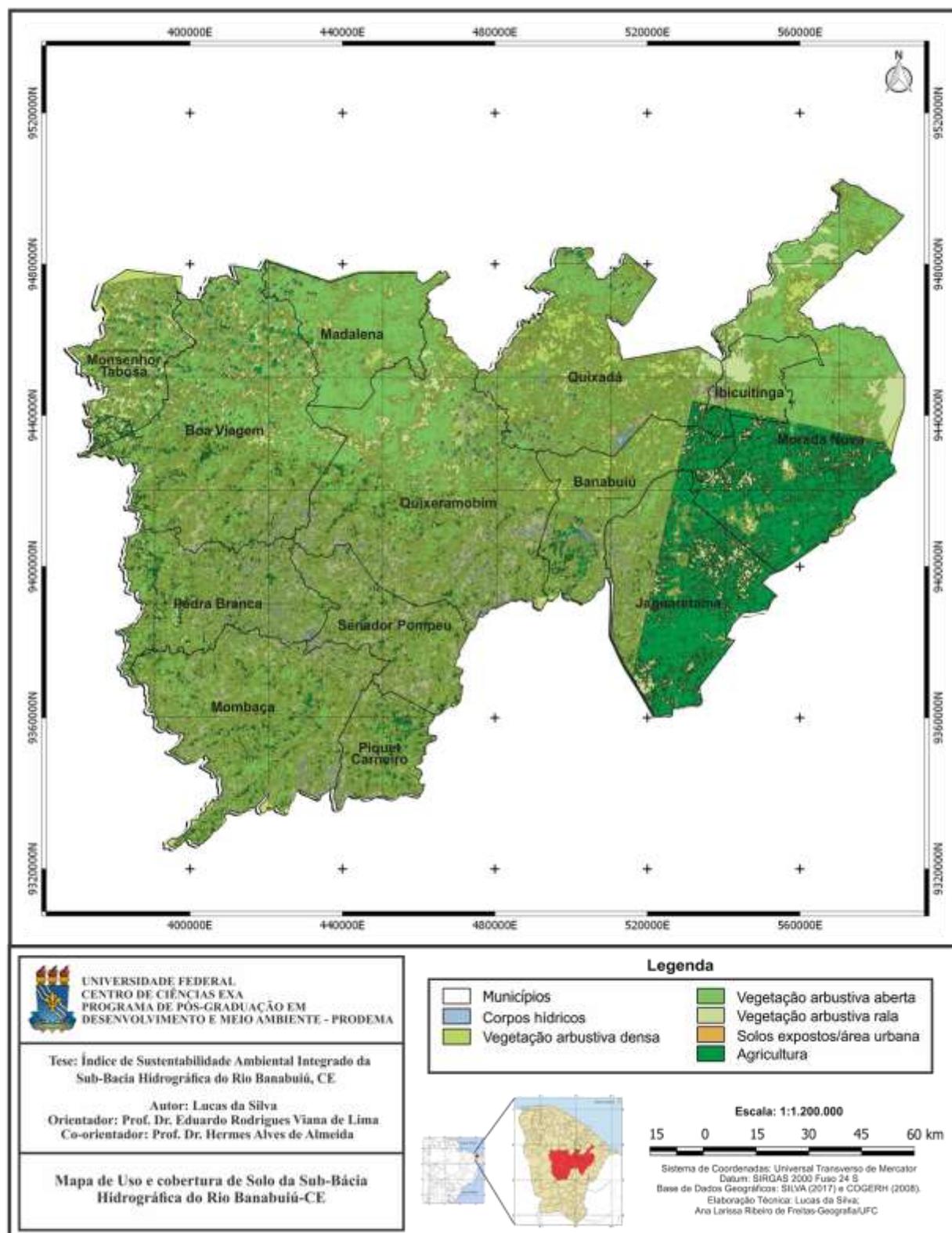


Figura 30: Uso da Terra dos municípios que compõem a Sub-bacia Hidrográfica do rio Banabuiú.

Entre as classes de uso do solo, o indicador Solos expostos e/ou área urbana é mais presente no município de Mombaça, que apresentou 11,52%, seguido pelos municípios de Senador Pompeu, com 9,83 e Piquet Carneiro, com 6,61%. Esse indicador se caracteriza por solos rasos pedregosos, com elevado grau de degradação, devido à forma inadequada que os solos desses municípios são utilizados, principalmente pela agricultura. Segundo Guimarães *et al* (2016), essa situação é agravada na estação seca, pois o uso da terra para o manejo agrícola é dificultado, causando lentidão e retardando a regeneração da vegetação natural.

Os municípios de Pedra Branca, Monsenhor Tabosa, Boa Viagem e Quixadá apresentaram percentual de áreas de 5,99%, 4,98%, 4,73%, e 4,04%, respectivamente. Morada Nova foi o que apresentou menor percentual neste indicador, com 0,62%, seguido pelos municípios de Madalena (1,59%), Banabuiú (1,62%) e Quixeramobim (2,27%).

A classe de uso vegetação arbustiva rala é mais frequente no município de Jaguaratama, em que apresentou 53,95% de sua área com essa cobertura, seguido pelo município de Monsenhor Tabosa com 51,94%.

Os municípios que apresentaram menores percentuais no indicador uso da terra foram Piquet Carneiro (2,41%), Banabuiú (15,49), Quixadá (17,08) e Mombaça (18,28%). Os demais apresentaram percentuais entre 21% a 38%, são eles: Senador Pompeu (21,01), Morada Nova (23,59%), Ibicuitinga (23,59%), Pedra Branca (27,65%), Quixeramobim (28,28%) e Boa Viagem (37,64%).

A agricultura é uma atividade bastante praticada nos municípios que compõem a sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú, prevalecendo agricultura itinerante. Segundo Guimarães *et al* (2016), essa forma de cultivo retira toda a vegetação e o solo é queimado para novo plantio, deixando, com isso, o solo cada vez mais suscetível à erosão. Nessa região, os processos erosivos são mais preocupantes, uma vez que a erosão dos solos torna-se mais vulnerável, pois, somada às pressões antrópicas, existe a própria fragilidade do material pedológico: solos rasos, cascalhentos e arenoargilosos (COSTA, 2009).

Entre os municípios da sub-bacia, a agricultura é o uso mais freqüente em Piquet Carneiro, que apresentou 19,7% de seu território ocupado por agricultura, seguido pelos municípios de Monsenhor Tabosa (11,45%), Boa Viagem (10,72%), Pedra Branca (10,57%), Senador Pompeu (9,38%), Mombaça (8,66%) e Madalena (2,66%). Estes são os que mais contribuem para a insustentabilidade da sub-bacia neste indicador, já que esse indicador é considerado como negativo na dimensão uso da terra.

Já os municípios que menos contribuem para a insustentabilidade da Sub-bacia no indicador em questão, por apresentarem percentuais de áreas menores no uso de seus solos com atividades agrícolas, são: Morada Nova, Ibicuitinga, Jaguaratama, Banabuiú, Quixadá e Quixeramobim, respectivamente.

6.2.14. Índice de sustentabilidade Geoambiental da dimensão “Uso da terra”

O índice de sustentabilidade geoambiental da dimensão uso da terra foi obtido a partir das análises dos indicadores desta dimensão, e são apresentados na Figura 31, onde se observa que os índices médios variam entre 0,44 e 0,62. Apenas o município de Quixadá apresenta índice superior a 0,60. Já Morada Nova, Madalena, Quixeramobim, Banabuiú e Ibicuitinga apresentam os seguintes índices, respectivamente: 0,59; 0,56; 0,55; 0,53; e 0,52. Já os municípios de Mombaça e Piquet Carneiro apresentam índices 0,51, enquanto que Pedra Branca e Jaguaretama apresentam ambas índice de 0,50.

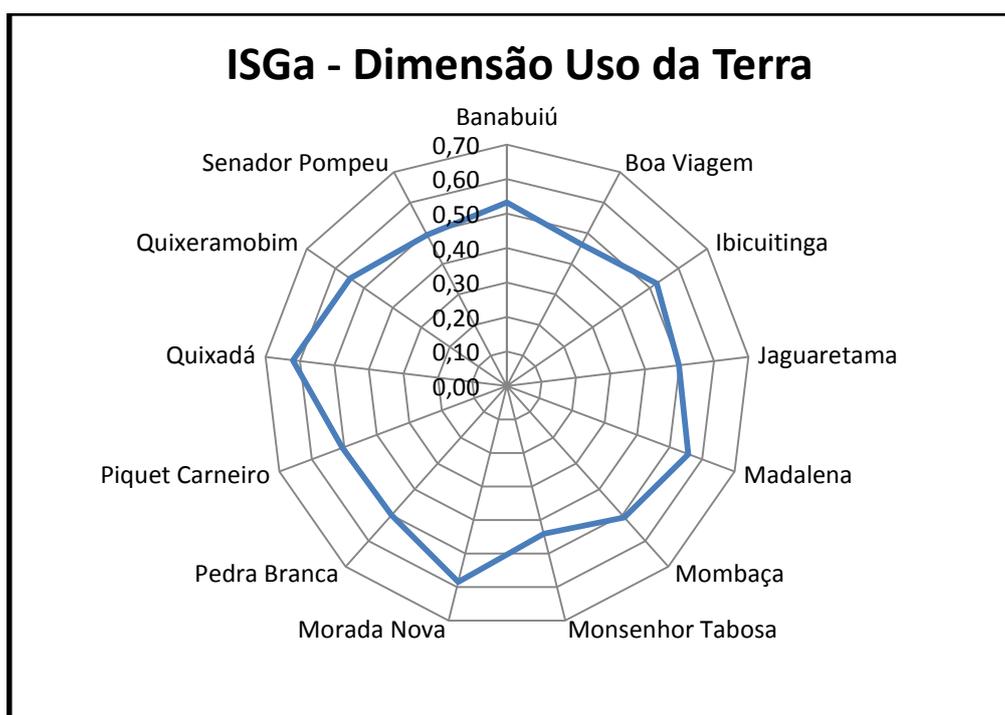


Figura 31: Índice de Sustentabilidade Geoambiental da dimensão “uso da terra” dos municípios que compõem a Sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.

A Figura 31 mostra, ainda, que os municípios que apresentam menores índices são Piquet Carneiro e Madalena, com 0,16 e 0,17, respectivamente. Com isso, esses são os municípios que mais contribuem para insustentabilidade geoambiental da sub-bacia do rio Banabuiú, na dimensão geomorfológica, por apresentam as piores taxas nos indicadores positivos e altas taxas nos indicadores negativos. Isto indica que as características geomorfológicas desses municípios não são favoráveis à sustentabilidade da Sub-bacia Hidrográfica do Rio Banabuiú.

Com relação aos níveis de sustentabilidade geoambiental na dimensão uso da terra, o maior nível alcançado foi de “Potencialmente Sustentável”, obtido apenas pelo município de Quixadá. Este se destaca por apresentar índices mais elevados nos indicadores relacionados aos usos e ocupações, se comparado aos demais municípios, pois apresentou mais áreas de corpos hídricos, vegetação

arbustiva densa e vegetação arbustiva aberta. Estes indicadores foram os considerados positivos, uma vez que, quanto maior for a área de ocupação, mais contribuem para o índice de sustentabilidade geoambiental da sub-bacia na dimensão acima exposta (ver Figura 32).

Com exceção de Quixadá, todos os municípios apresentaram nível de sustentabilidade Sustentabilidade Média na dimensão uso da terra. Com isso, esses municípios estão em “alerta” e necessitam, portanto, de manejos adequados à utilização e ocupação de seus solos, principalmente nas áreas consideradas como indicadores negativos, como nos solos expostos, nas áreas de vegetação arbustiva rala e nas áreas utilizadas com agricultura. A diminuição dessas áreas contribuirá para elevação do índice nessa dimensão e, conseqüentemente, para a elevação dos níveis de sustentabilidade, pois esses indicadores são classificados como negativos e, com isso, são os que menos contribui para a sustentabilidade da sub-bacia.

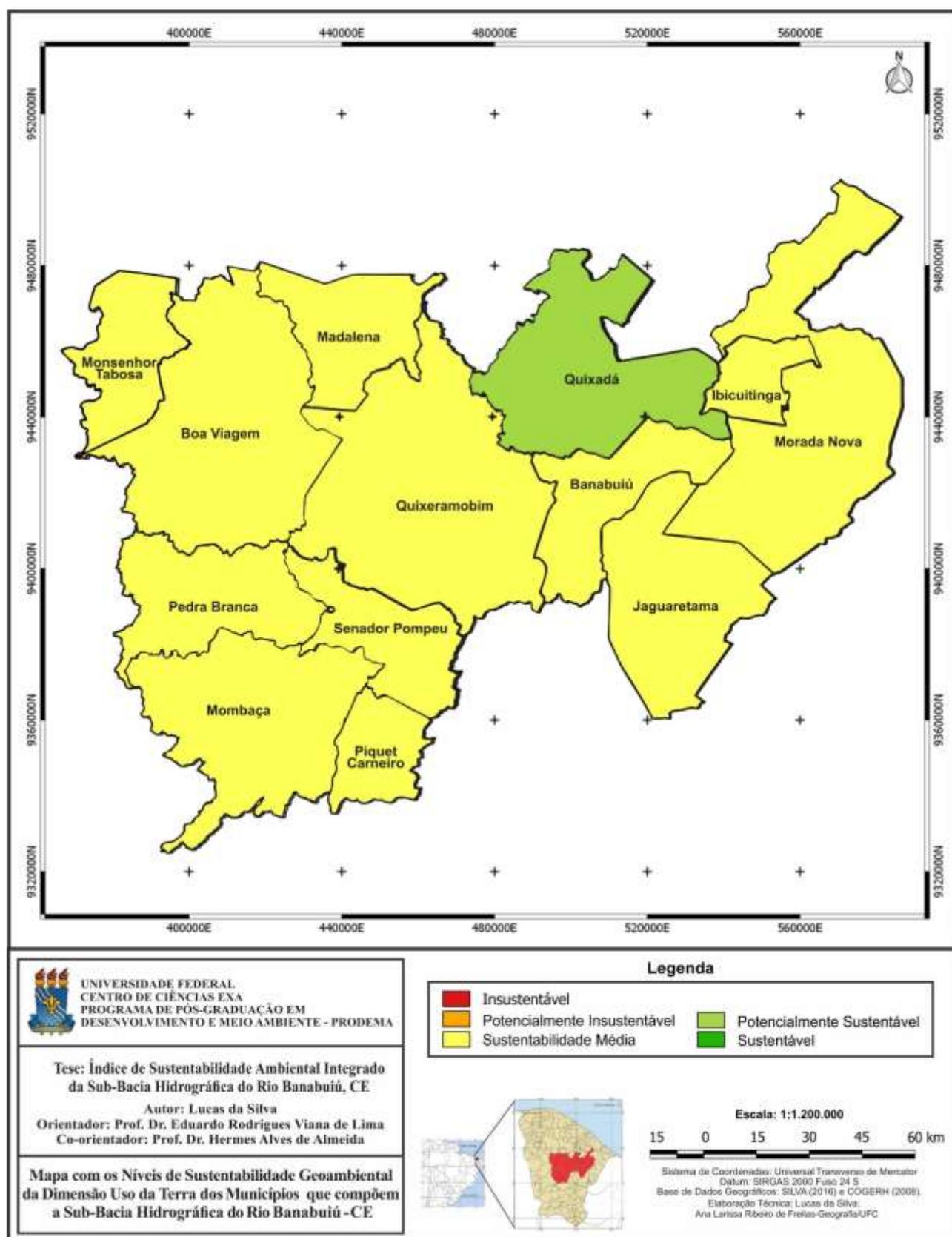


Figura 32: Nível de Sustentabilidade Geoambiental da dimensão “uso da terra” dos municípios que compõem a Sub-bacia Hidrográfica do rio Banabuiú.

6.2.15 Índice de sustentabilidade Geoambiental médio geral da Sub-bacia hidrográficoado rio Banabuiú

O índice sustentabilidade geoambiental geral (médias das dimensões solos, vegetação, clima, geomorfologia e geologia) da sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú é apresentado na Figura 33, onde é possível observar que os maiores índice foram apresentados pelos municípios de Morada Nova (0,58), Jaguaretama (0,50) e Ibicuitinga (0,50). Esses municípios se localizam mais próximos à região da chapada do apodi, onde se encontram características geoambientais mais favoráveis ao desenvolvimento agrícola e ao armazenamento de água para manutenção da biota da região.

Essa região se caracteriza por ser uma grande superfície cárstica, onde predominam os cambissolos e os latossolos eutróficos, ambos fertilizados e de alta fragilidade natural (BACCARO et al 2009). Esses mesmos autores afirmam que os topos planos desta chapada apresentam depressões rasas, com água ocupada por carnaúbas. Nesses topos a drenagem não é concentrada devido a grande permeabilidade dos calcáreos e não há uma rede fluvial organizada.

Mesmo tendo características positivas, essa região apresenta fragilidades como o rebaixamento de seus aquíferos, contaminação das águas superficiais pelos esgotos domésticos, industrial e fossas e exploração imobiliária sem controle ambiental (BACCARO et al 2009).

Para essa região, os autores supracitados apresentam como potencialidades ambiental e econômica, o desenvolvimento sustentável da indústria salineira, a cultura de cultivos comerciais, a exploração sustentável do petróleo, o desenvolvimento do turismo ecológico e cultural. Entre as propostas de conservação e recuperação das áreas degradadas verificamos como primordial o controle no uso da água dos aquíferos e pesquisas para avaliação de seu potencial e monitoramento (BACCARO et al 2009).

Já os municípios de Boa Viagem, Madalena, Piquet Carneiro, Quixeramobim e Pedra Branca apresentam índice de 0,45.

Os menores índices de sustentabilidade geoambiental foram apresentados pelos municípios de Senador Pompeu (0,40), Monsenhor Tabosa (0,41), Banabuiú (0,41), Quixadá (0,43) e Mombaça (0,44). Estes são os que apresentam piores índices de sustentabilidade. Destaca-se que, com exceção do município de Morada Nova, todos apresentam índice igual ou inferior a metade (0,5), que mostram que os municípios, em geral, exercem uma influência negativa na sub-bacia. Isso mostra que é uma área vulnerável do ponto de vista geoambiental, necessitando, portanto, de ações de conservação e recuperação das áreas degradadas, bem como de um manejo e uso adequado dos solos, como também alternativas eficazes na utilização da água de superficial e subterrânea. Também se torna indispensável um aplaneamento de reposição das matas ciliares e da cobertura vegetal das áreas de proteção permanente, conforme mostra a Figura 31.

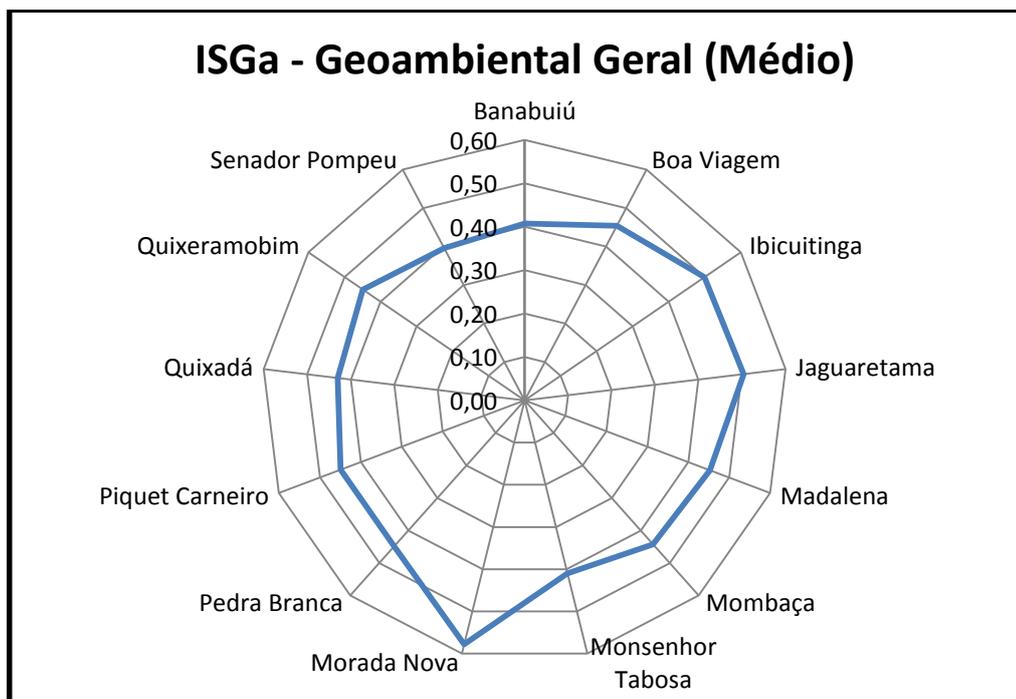


Figura 33: Índice de sustentabilidade geoambiental médio dos municípios que compõem a Sub-bacia Hidrográfica do rio Banabuiú.

Os níveis de sustentabilidade de todas as dimensões geoambientais (solos, vegetação, clima, geomorfologia e geologia) estão na Figura 34, que mostra que os municípios da sub-bacia apresentam apenas dois níveis de sustentabilidade geoambiental geral: Sustentabilidade Média e Potencialmente insustentável. Os municípios que apresentaram nível Sustentabilidade Média foram Morada Nova, Ibicuitinga, Jaguaretama, Pedra Branca, Monsenhor Tabosa, Piquet Carneiro, Boa Viagem, Madalena, Banabuiú, Quixeramobim, Quixadá e Mombaça. Em tese, esses são os municípios mais sustentáveis geoambientalmente da Sub-bacia hidrográfica e que mais contribuem e influenciam na sustentabilidade geoambiental.

Apenas o município de Senador Pompeu apresenta índice geoambiental diferente dos demais, sendo este o menos sustentável geoambientalmente, pois apresenta nível de sustentabilidade Potencialmente insustentável. Com isso, este município apresenta limitações ambientais e é o que mais influencia e contribui negativamente para a sustentabilidade geoambiental geral da sub-bacia hidrográfica do rio banabuiú.

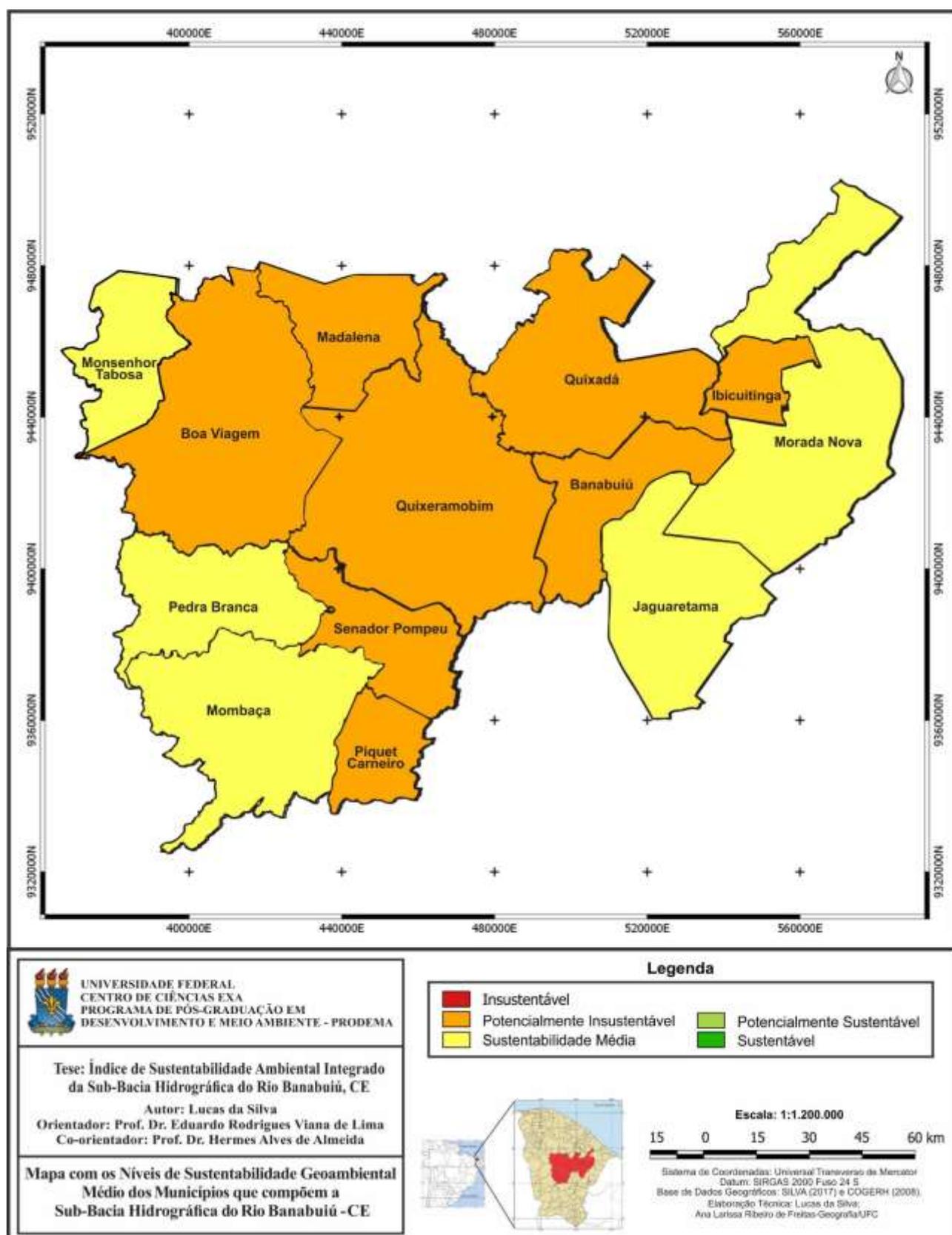


Figura 34: Níveis de Sustentabilidade Geoambiental Médio (média das dimensões geoambientais) dos municípios que compõem a Sub-bacia Hidrográfica do rio Banabuiú.

6.3. Índices de Sustentabilidade Ambiental Integrados da Sub-bacia hidrográfica do Rio Banabuiú

Os Índices de sustentabilidade ambiental integrados da sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú, que é a média ponderada dos índices das dimensões socioambientais e das dimensões geoambientais, são apresentados na Figura 35. Nela é possível observar que o maior índice é do município de Quixadá, que apresenta sustentabilidade ambiental 0,80.

Este município se destacou principalmente no índice socioambiental, em que apareceu como primeiro na dimensão ambiental, com índice 0,94; e na dimensão econômica, com índice 0,68; e em segundo na dimensão social. Já no índice geoambiental não aparece bem, pois seu índice médio é 0,43. Com isso, o município de Quixadá é o que mais contribuiu e influencia com a sustentabilidade da Sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.

O município de Quixeramobim apresentou o segundo melhor índice (0,66), tendo seu principal desempenho no índice socioambiental na dimensão social, sendo o melhor por ter apresentado melhores indicadores nesta dimensão. Já na sustentabilidade geoambiental, este município apresenta o segundo melhor índice na dimensão drenagem e o quarto melhor na dimensão uso da terra. Nas demais dimensões da sustentabilidade geoambiental, apresenta baixo desempenho, devido a ter apresentado valores baixos na maioria dos indicadores positivos e altos nos negativos e, com isso, não apresenta bons índices. Nessa categoria, seus melhores desempenhos foram nas dimensões uso da terra e vegetação, como o sétimo melhor.

O terceiro melhor índice foi apresentado pelo município de Morada Nova (0,64), tendo melhor índice de sustentabilidade geoambiental, principalmente por ter se destacado nos indicadores da dimensão vegetação, em que apresenta o melhor índice. Nas dimensões geologia e uso da terra apresenta o segundo melhor índice e na dimensão drenagem apresenta o terceiro melhor.

Já nos indicadores do índice de sustentabilidade socioambiental, esse município se destaca na dimensão econômica e social, pois apresenta o segundo melhor índice nessas duas dimensões. No entanto, na dimensão ambiental é o que apresenta o seu menor índice comparado com as demais dimensões do índice de sustentabilidade socioambiental, o que demonstra uma fragilidade, por ser uma dimensão em que as consequências comprometem diretamente a qualidade ambiental da Sub-bacia hidrográficado rio Banabuiú.

Senador Pompeu foi o município que obteve o quarto melhor índice geral, tendo seu melhor desempenho na sustentabilidade socioambiental, na dimensão ambiental que obteve o segundo melhor e o terceiro melhor da dimensão ambiental. No entanto, na dimensão econômica, esse município apresenta apenas a antepenúltima posição, alcançando a décima primeira posição entre os treze municípios que compõem a Sub-bacia do rio Banabuiú. Com isso, fica evidente a necessidade de implementação de políticas públicas nos setores da atividade econômica desse município,

principalmente naquelas que compõem os indicadores selecionados para mensurar este índice e que apresentaram baixos valores na categoria positiva e altos valores na negativa.

Já na sustentabilidade geoambiental, o município de Senador Pompeu obteve o quarto melhor desempenho na dimensão clima. No entanto, apresenta o pior índice na dimensão geologia e nas demais dimensões aparece nas últimas posições, o que indica necessidade de cuidados na utilização de seus componentes geoambiental, para que a situação não se agrave, como também implementação de melhorias de adequação e recuperação ambiental.

O município de Pedra Branca é o que apresenta o quinto melhor índice: 0,53. No entanto seus melhores índices foram obtidos na sustentabilidade geoambiental, sendo o segundo nas dimensões clima e vegetação.

Já os municípios de Ibicuitinga e Jaguaretama apresentam índices de sustentabilidade ambiental de 0,48, sendo Ibicuitinga o município que apresentou os melhores indicadores nas dimensões solos e geologia, da sustentabilidade geoambiental. Jaguaretama se destaca nas dimensões clima e geomorfologia, obtendo o melhor índice desta dimensão. Porém, esses municípios não apresentam índices expressivos em sustentabilidade socioambiental.

Os municípios que apresentaram o sexto, o sétimo e o oitavo melhor índices foram: Madalena (0,52), Ibicuitinga (0,49) e Jaguaretama (0,49). Madalena apresenta seu melhor desempenho na dimensão social (o quinto melhor) e seu pior desempenho na dimensão geomorfologia (o segundo mais baixo).

Ibicuitinga aparece com melhor índice nas dimensões solos e geologia. É o quinto melhor na dimensão ambiental da categoria socioambiental. No entanto, aparece como o antepenúltimo na dimensão clima. Já Jaguaretama apresenta seus melhores desempenhos nas dimensões clima e geomorfologia. No entanto, apresenta o pior desempenho na dimensão vegetação.

Piquet Carneiro obteve o nono melhor índice de sustentabilidade ambiental da sub-bacia, apresentando os melhores índices nas dimensões clima, em que aparece em terceiro; vegetação; e social, em que alcançou o terceiro melhor índice. No entanto, apresenta o menor índice na dimensão geomorfologia da categoria socioambiental.

Já Boa Viagem apresenta seu melhor desempenho na dimensão drenagem. No entanto, apresenta o pior desempenho na dimensão clima, e é o penúltimo na dimensão uso da terra e o antepenúltimo da dimensão social.

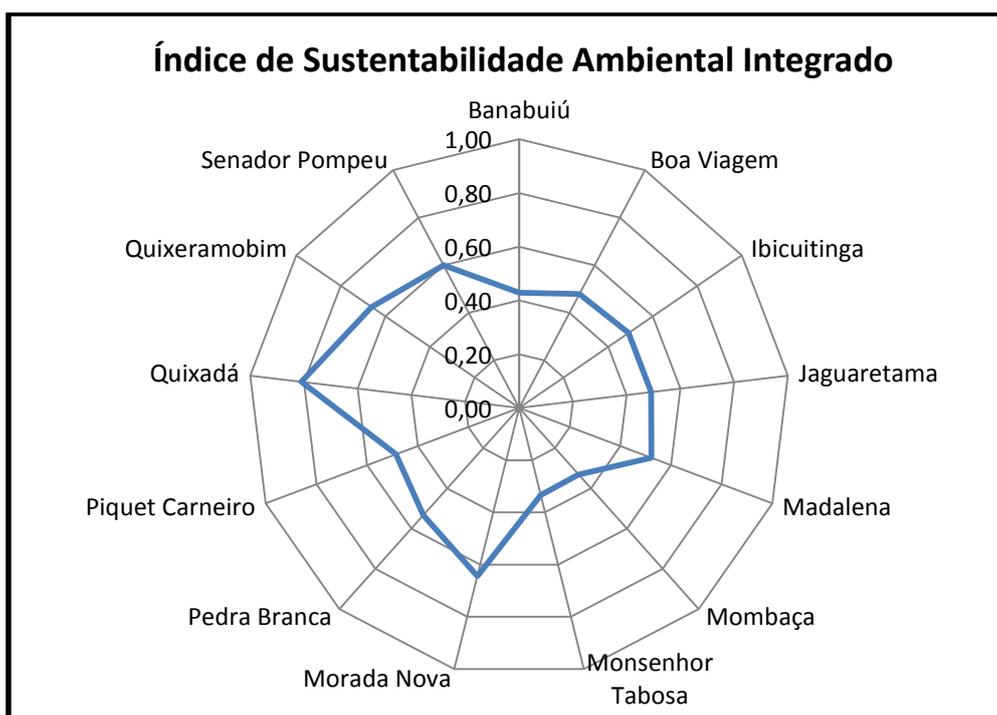


Figura 35: Índice de sustentabilidade ambiental integrado dos municípios que compõem a Sub-bacia Hidrográfica do rio Banabuiú.

Os menores índices foram apresentados pelos municípios de Mombaça, Monsenhor Tabosa e Banabuiú, com 0,33, 0,33 e 0,43 respectivamente. O município de Banabuiú apresenta o penúltimo pior desempenho na dimensão vegetação, no entanto, foi o terceiro melhor na dimensão econômica.

O pior índice de sustentabilidade ambiental foi apresentado pelo município de Mombaça, que obteve o pior índice de sustentabilidade socioambiental e um dos piores índices de sustentabilidade geoambiental. Analisando por dimensões, este município apresenta o pior desempenho na dimensão social e o segundo pior nas dimensões ambiental e econômica. Apenas na dimensão solos é que conseguiu aperceber entre os cinco melhores índices.

Com relação ao nível de sustentabilidade ambiental geral integrado dos municípios que compõem a Sub-bacia do Rio Banabuiú, verifica-se a que os municípios Quixadá, Quixeramobim e Morada Nova apresentam nível de sustentabilidade Potencialmente Sustentável, o melhor nível apresentado entre todos (ver Figura 36).

No entanto, a maioria dos municípios se apresenta com sustentabilidade média, são eles: Senador Pompeu, Pedra Branca, Ibicuitinga, Jaguaretama, Madalena, Piquet Carneiro, Boa Viagem e Banabuiú. Estes são os municípios que, em geral, apresentam melhores contribuições e influências para a sustentabilidade ambiental da Sub-bacia do Rio Banabuiú.

Já Monsenhor Tabosa e Mombaça, que apresentam sustentabilidade Potencialmente insustentável, são os que mais influenciam e contribuem negativamente para a sustentabilidade da sub-bacia. Destes, destaca-se o município de Mombaça, que é o menos sustentável entre todos.

Com isso, tornam-se necessárias ações de planejamento e gestão ambiental para esses municípios, com o foco na sustentabilidade ambiental, por meio de intervenções efetivas e eficazes capazes de melhorarem esses indicadores, provendo o uso sustentável dos solos, da água, da vegetação e dos recursos minerais e ambientais da sub-bacia.

Entretanto, para que as ações sejam efetivamente eficazes, é necessária, de fato, a integração das diferentes dimensões, com várias informações relacionadas às questões que afetam a sustentabilidade dos ecossistemas dos municípios que compõem a Sub-bacia Hidrográfica do Rio Banabuiú, principalmente dos recursos hídricos, vital para o desenvolvimento da região. A importância da necessidade de integração das diferentes dimensões, principalmente as sociais, econômicas e ambientais é evidenciado por Chaves e Alipaz (2007), que reforçam a ideia que essas dimensões são muitas vezes tratadas separadamente, e não como um processo integrado, dinâmico.

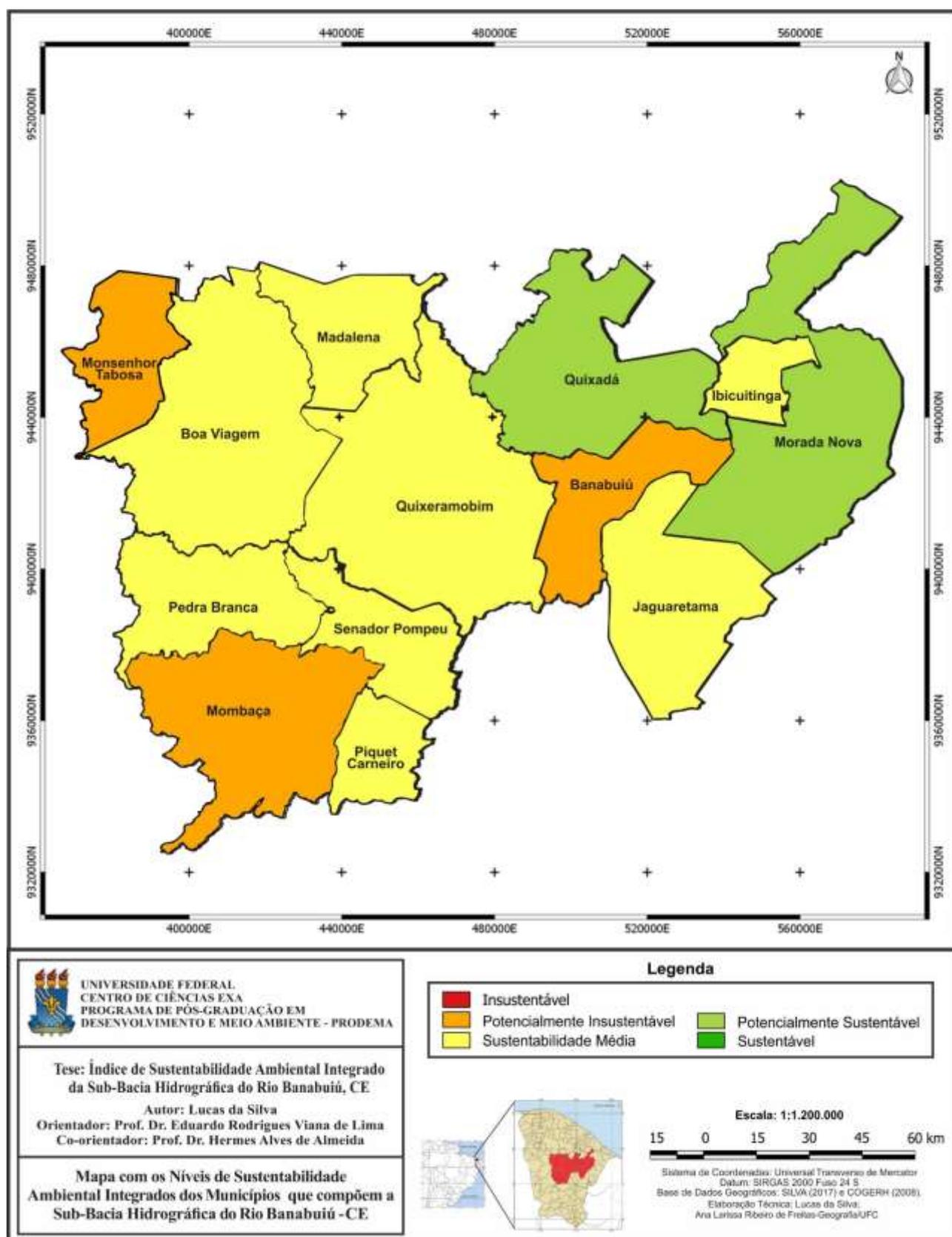
Ainda para os mesmos autores, a integração das questões hidrológicas, ambientais, de vida e de políticas, bem como as pressões e respostas políticas existentes num indicador quantitativo, dinâmico e agregado, forma um índice de sustentabilidade de bacias hidrográficas e, com isso, pode ser utilizada para tomada de decisões pelos gestores de forma eficiente, apresentando-se como uma estratégia eficaz e atuando na dinâmica pressão-estado-resposta.

No entanto, para integração dos índices de sustentabilidade requer-se uma análise complexa, que se avalie a relação de cada indicador com a degradação ambiental e seu potencial de causar impactos ao ecossistema e aos recursos hídricos de cada município que compõem a Sub-bacia. Também sistematizar as dimensões analisando individualmente, isso porque cada dimensão tem relação diferenciada com o grau de impactos antropogênicos. Com isso, têm-se os índices socioambientais (ambiental, social e econômico) como os mais significativos por terem uma maior relação com os impactos antropogênicos já citados, permitindo, assim, estabelecer meios concretos de recuperações, melhoria e preservação ambiental.

Já os vários índices de sustentabilidade geoambiental evidenciam aspectos e fragilidades de processos naturais, principalmente se tratando dos municípios que compõem a Sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú, que estão localizados na região semiárida, que apresenta características fitogeográficas com limitações ambientais e escassez hídrica. Desta forma, as dimensões relacionadas com o índice de sustentabilidade geoambiental são importantes parâmetros para mensurar a sustentabilidade ambiental, concebida por um processo natural e não haverá, portanto, forma de gestão que altere suas características naturais. Com isso, torna-se imprescindível a integração desses índices com os socioambientais (ambiental, social e econômico). No entanto, para que haja uma integração de índices de sustentabilidade ambiental é necessário que se tenha um conjunto de indicadores satisfatório, capaz de apresentar um cenário de sustentabilidade ambiental próximo da realidade da área que se quer estudar.

Assim, a obtenção de indicadores e índices que representem adequadamente a sustentabilidade de uma região requer uma sistematização complexa do maior número possível de indicadores para se obter informações relacionadas com diversas dimensões, pois para Sichea et al (2008), atualmente ainda não há um índice completamente satisfatório que represente adequadamente a sustentabilidade de uma região, apesar dos esforços para obter um. Com isso, esses autores sugerem a possibilidade de se obter um melhor índice de sustentabilidade através da junção de vários índices de sustentabilidade ambiental.

Vários municípios apresentaram baixos índices de sustentabilidade ambiental, em várias dimensões e, com isso, são os mais instáveis ambientalmente, pois apresentam limitações ambientais e mais influenciam e contribuem negativamente para a sustentabilidade geoambiental geral da sub-Sub-bacia Hidrográfica do rio Banabuiú. Desse modo, tornam-se necessárias ações de planejamento e gestão ambiental para tais municípios, com o foco na sustentabilidade ambiental, por meio de intervenções efetivas e eficazes, capazes de melhorarem esses indicadores, provendo o uso sustentável dos recursos e bens ambientais. Como também há a de melhoria dos indicadores de todas as dimensões, por meio de ações de políticas públicas que contribuam com a melhoria das condições de vida da população.



36: Níveis de sustentabilidade ambiental integrados dos municípios que compõem a Sub-bacia Hidrográfica do rio Banabuiú.

7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Devido à heterogeneidade das dimensões, dos indicadores e dos índices estabelecidos para a formulação do índice geral de sustentabilidade ambiental, exige-se, necessariamente, para a efetivação do planejamento estratégico e gestão ambiental da Sub-bacia Hidrográfica do Rio Banabuiú que sejam feitos de forma dimensional, analisando cada indicador por dimensão. Desta forma, é possível propor soluções e manejo adequado para cada realidade específica de cada município que compõe a Sub-bacia Hidrográfica do Rio Banabuiú.

Os índices de sustentabilidade socioeconômicos e geoambientais, compreendidos e estabelecidos de forma integrada, podem orientar no processo de planejamento e gestão ambiental da Sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú, contribuindo no processo decisório dos gestores e na formulação de políticas públicas capazes de promover o desenvolvimento sustentável da bacia em questão.

Torna-se necessário que sejam incluídos mais indicadores e mais dimensões de acordo com a disponibilidade e acessibilidade das informações. Ademais, é importante que cada indicador seja, de forma contínua, avaliado, monitorado e reordenado conforme necessidade de compreender e de tornar mais ampla a realidade ambiental de cada município que compõe a Sub-bacia hidrográfica em estudo.

É evidente a necessidade de reorganizar os indicadores de acordo com as potencialidades e fragilidades de cada Sub-bacia hidrográfica, arranjando-os nas dimensões ambiental, social e econômica, selecionando indicadores disponíveis e atuais e, sempre que possível, utilizando valores médios.

Neste sentido, a metodologia proposta é simples e eficaz na obtenção de cenários de sustentabilidade ambiental em bacias hidrográficas, por meios de parâmetros e indicadores existentes, capazes de medir e representar a atual situação socioeconômica e ambiental dos municípios que compõem a sub-bacia.

Por isso, os resultados oriundos desta pesquisa podem ser um instrumento eficaz, para formulação de políticas públicas específica para área da sub-bacia, pois pode auxiliar nas tomadas de decisões para melhoria da qualidade de vida das pessoas e prover a sustentabilidade ambiental em todos os municípios que compõem a Sub-bacia hidrografia do rio Banabuiú, visando, assim a prover a preservação, conservação e proteção do meio ambiente e seus atributos naturais, principalmente a água.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SÁBER. **Sertões e sertanejos: uma geografia humana sofrida**. In: ESTUDOS AVANÇADOS. Dossiê Nordeste seco. São Paulo: IEA/USP, v. 13, n. 36, maio/agosto, 1999.

ADLARD, P.G. Monitoring. London: SIPC/WWF, 1990. 46p.(Study Shell/WWF Tree Plantation Review No.11), 1990.

ALENCAR, Maria Tereza de (Org.). Caracterização da Macrorregião do Semiárido Piauiense. In: SILVA, Conceição de Maria de Sousa e et al (Org.). **Semiárido Piauiense: Educação e Contexto**. (Instituto Nacional do Semiárido – INSA). Campina Grande: Triunfal Gráfica e Editora, 2010. Cap. 1, p. 236.

ALENCAR, Maria Tereza de (Org.). Caracterização da Macrorregião do Semiárido Piauiense. In: SILVA, Conceição de Maria de Sousa e et al (Org.). **Semiárido Piauiense: Educação e Contexto**. (Instituto Nacional do Semiárido – INSA). Campina Grande: Triunfal Gráfica e Editora, 2010. Cap. 1, p. 236.

ALMEIDA, Iaponan Cardins de Sousa. **Susceptibilidade Sócioambiental à Desertificação nos Municípios de Junco do Seridó e Santa Luzia, Estado da Paraíba – Brasil**. 2012. 158 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós- Graduação em Geografia da Universidade Estadual do Ceará, Departamento de Geociências, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2012.

ALMEIDA, S.B. Barragens e reservatórios de uso múltiplo: aspectos técnicos e político-institucionais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE HIDROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS, 6, 1985, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira de Hidrologia e Recursos Hídricos, 1985. P. 306-14.

ALVES, Jose Jakson Amâncio. Caatinga do Cariri Paraibano. **Geonomos**, Belo Horizonte, MG, v. 1, n. 17, p.19-25, 2009. Disponível em: <www.igc.ufmg.br/geonomos/PDFs/17_1_19_25_Alves.pdf>. Acesso em: 01 jan. 2016.

AMORIM, R. R.; OLIVEIRA, R. C. Análise Geoambiental dos setores de encosta da área urbana de São Vicente-SP. **Sociedade e Natureza**. Ano 19, n. 37. 19-40p. 2007.

ANO INTERNACIONAL DA AGRICULTURA BRASILEIRA (AIAF, 2014). **Comitê Brasileiro, Agricultura familiar no Brasil**. Disponível em: <<http://www.aiaf2014.gov.br/aiaf/agricultura-familiar>>. Acesso em: Setembro de 2014.

AQUINO, L., PINTO, S. Caracterização de indicadores de erosão na Bacia do Rio Santa Bárbara, entorno imediato do reservatório de Peti (MG) – artigo. **Anais...** XI SBSR, Belo Horizonte, Brasil, 05 - 10 abril 2003.

ARAÚJO, G. J. F.; CARVALHO, C. M.; CASTRO, V. A importância da prática da sustentabilidade e de seus indicadores para implementação e consolidação de vantagem competitiva nas organizações empresariais. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 9, n. 10, p. 01-09, 2013.

ARAÚJO, José Carlos de. **Variações Climáticas e suas Implicações para o Semiárido Brasileiro: Água e Desenvolvimento Sustentável no Semiárido**. Fortaleza -CE: Impresso Brasil, 2002. 24 v. (Série Debates). Disponível em: <<http://www.kas.de/wf/doc/kas>>. Acesso em: 10 jan. 2016.

ASTOS, Bianca Sá Freire et al. Saúde e Meio Ambiente: o Impacto Ambiental Provocado pelo Acúmulo de Lixo no Município de Duque de Caxias – RJ. In: Congresso Nacional de Meio Ambiente de Poços de Caldas, 10., 2013, Poços de Caldas. **Anais...** .2013.

BACCARO, Claudete. Aparecida Dallevedove. SILVA, Paulo César Moura da. CAMACHO, - Mapeamento Geomorfológico da Bacia do Apodimossoró - RN – NE do Brasil - **Mercator** - Revista de Geografia da UFC, ano 08, número 16, 2009.

BANCO DO NORDESTE DO BRASIL. **Perspectivas de Desenvolvimento do Nordeste ate 1980**. Fortaleza: ETENE/BNB, 1971.

BELLEN, H. Indicadores de Sustentabilidade: uma análise comparativa. Rio de Janeiro: FGV, 2006.

BENETTI, L. B. **Avaliação do Índice de Desenvolvimento Sustentável (IDS) do Município de Lages/SC Através do Método do Painel de Sustentabilidade**. 2006. 215p. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental)- Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

BERTRAND, G. **Paisagem e Geografia Física Global** - Esboço Metodológico. Caderno de Ciências da Terra. n ° 13, IGEOG-USP, São Paulo, 1969.

BESSA Jr. O.; MULLER. A.C de P. Indicadores Ambientais Georreferenciados para a Área de Proteção Ambiental de Guaraqueçaba. **Paraná Desenvolvimento**, Curitiba, n. 99, p. 105-119, jul 2000.

BOLLAMNN, Harry Alberto et alii: orgs. Nilson Borlina Maia, Henry Lesjak Martos, Walter Barrella. **Indicadores ambientais: conceitos e aplicações**. São Paulo: EDUC/COMPED/INEP, 2001.

BOMFIM, Eudes de Oliveira. **Sustentabilidade hidroambiental de áreas de captações de nascentes na bacia hidrográfica do Rio Gramame-PB**. 2013. 127 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pósgraduação em Engenharia Urbana e Ambiental, Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2013.

BORMANN, B.T.; BROOKES, M.H.; FORD, E.D. A framework for sustainable ecosystem management. Portland: Department of Agriculture, Pacific Northwest Research Station, 1994. 61 p. (General technical report- PNW – GTR – 331)

BOSSSEL, H. Indicators for sustainable development: theory, method, applications: a reporter to the Balaton Group, International Institute for Sustainable Development. Canadá, 1999

BRANDÃO, C. J. Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos. São Paulo: CETESB, 2011.

BRANDÃO, Ricardo de Lima; FREITAS, Luis Carlos Bastos (Org.). **Geodiversidade do Estado do Ceará**: Programa Geologia do Brasil Levantamento da Geodiversidade. Fortaleza -CE: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2014. 214 p.

BRASIL, Ministério das Cidades. Programa de Modernização do Setor de Saneamento-PMSS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: diagnóstico dos serviços de água e esgotos – 2003. Brasília, MCIDADES/PMSS, 2004.

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF, Senado, 1998.

BRASIL. LEI Nº 11.326, DE 24 DE JULHO DE 2006. **Estabelece as diretrizes para a formulação da Política Nacional da Agricultura Familiar e Empreendimentos Familiares Rurais.** Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 24 de Julho de 2006.

BRASIL. LEI Nº 9.985, DE 18 DE JULHO DE 2000. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o **Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências.** Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19985.htm> Acesso em: Setembro de 2014

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. Cianobactérias tóxicas na água para consumo humano na saúde pública e processos de remoção em água para consumo humano. Brasília, 2003. 56 p. Disponível em: Acesso em: 01 outubro. 2016.

BUZELLI, G. M.; CUNHA-SANTINO, M. B. Análise e diagnóstico da qualidade da água e estado trófico do reservatório de Barra Bonita (SP). **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 8, n. 1, p. 186-205, 2013. (<http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.930>)

CÂMARA, G. & MEDEIROS, J. S. **Geoprocessamento para projetos ambientais.** São José dos Campos: INPE, 1996. 39p. (Relatório do INPE).

CAMPOS, S.; FELIPE, A. C.; CAMPOS, M.; RECHE, A. M. Geoprocessamento aplicado na caracterização morfométrica da microbacia do Ribeirão Descalvado–Botucatu, SP. **IRRIGA**, v. 1, n. 1, p. 52, 2015

CANEDO DE MAGALHÃES, P. Comunicação pessoal, em 13 Abr. 2006.

CARDOSO, C. A.; DIAS, H. C. T.; SOARES, C. P. B.; MARTINS, S. V. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 30, n. 2, p. 241-248, 2006.

CARDOSO, Vitor Campos et al. Focos de Calor na Região Centro-Oeste no Período de 2006 até 2012. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 4., 2013, Salvador. **Anais...** . Salvador: Congea, 2013. v. 1, p. 1 - 6.

CARDOSO, Vitor Campos. SOUZA, Suellem Aline de, BIUDES. Marcelo Scardi, MACHADO. Nadja Gomes, Focos de Calor na Região Centro-Oeste no Período de 2006 até 2012. In: Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, 4 (ConGeA), 2014, Feira de Santana – BA. IBEAS – Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais. **Anais...** 2013. Online. Disponível em: <<http://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2013/IV-008.pdf>>. Acesso em: 09 fev. 2016.

CARTA MAIOR. **Economia, Lições de uma década maior.** Disponível em: <<http://www.cartamaior.com.br/?/Editoria/Economia/Licoes-de-uma-decada-ingular/7/25958>>. Acesso em: Setembro de 2014.

CARVALHO, J. R. M.; CURI, W. F. Construção de um índice de sustentabilidade hidroambiental através da análise multicritério: estudo em municípios paraibanos. **Sociedade & Natureza**, v. 25, n. 1, p. 91-105, 2013.

CARVALHO, J.R. M. CURI. W. F. Carvalho. E.K. M.A. Proposta e Validação de Indicadores Hidroambientais para Bacias Hidrográficas: Estudo de Caso na Bacia do Alto Curso do Rio Paraíba, PB. **Revista Sociedade .& Natureza.**, Uberlândia, ano 23 n. 2, 295-310, maio/ago. 2011

CARVALHO, R. G.; KELTING, F. M. S.; SILVA, E. V. Indicadores Socioeconômicos e Gestão Ambiental nos Municípios da Bacia Hidrográfica do Rio Apodi-Mossoró, RN. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 23, n.1, p. 143-159, 2011.

CEARÁ. Assembleia Legislativa. Caderno regional da Sub-bacia do Banabuiu / Conselho de Altos Estudos e Assuntos Estratégicos, Assembleia Legislativa do Estado do Ceará; Eudoro Walter de Santana (Coordenador). – Fortaleza : INESP, 2009.

CEARÁ. FUNCEME. Litólicos eutróficos e distróficos. In <http://www.funceme.br/index.php/areas/578-lit%C3%B3licos>. Acessado em 10 de novembro de 2015.

CEARÁ. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos - Funceme. Governo do Estado do Ceará. **Litólicos Eutróficos e Distróficos**. Disponível em: <<http://www.funceme.br/index.php/areas/578-lit%C3%B3licos>>. Acesso em: 10 jan. 2016.

CEARÁ. Governo do Estado do Ceará. Secretaria de Recursos Hídricos. **Programa de Ação Estadual de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca, PAE-CE**. Fortaleza: Ministério do Meio Ambiente / Secretaria dos Recursos Hídricas, 2010. 372 p

CHAVES, H.M.L. & Alipaz, S. Water Resour Manage. An Integrated Indicator Based on Basin Hydrology, Environment, Life, and Policy: The Watershed Sustainability Index. **Water Resources Management**. May 2007, Volume 21, Issue 5, pp 883–895. 2007.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Ed. Edgard Blucher Ltda e EDUSP, 1974.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.

COLMAN, D.; NIXSON, F. **Desenvolvimento econômico**: uma perspectiva moderna. Rio de Janeiro: Campus; São Paulo: USP, 1981.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Relatório de qualidade das águas subterrâneas do Estado de São Paulo**. CETESB, São Paulo, 1997.

CORTÉS, A.E., et al.,. Application of the Watershed Sustainability Index to the Elqui river basin, North-Central Chile. **Obras y Proyectos** n° 12, p. 57-69, 2012.

COSTA, A. S. 2009 - Levantamento da Capacidade de Uso da Terra na Fazenda Afluente do Quipauá, em Ouro Branco (RN). Monografia. Universidade Federal de Campina Grande, Patos. 41 p.

COSTA, J. R. Índice de sustentabilidade para pequenas propriedades agrícolas em condições amazônicas. **Revista Inclusão social**, vol. 6, N° 2. 2013.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; FILHO, P. H.; FLORENZANO, T. G; DUARTE, V.; BARBOSA, C. C. F. **Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao Ordenamento Territorial**. São José dos Campos: INPE, 2001.

CREPANI, E.; Medeiros, J.S.; Azevedo, L.G.; Duarte, V.; Hernandez, P.; Florenzano, T. “Curso de Sensoriamento Remoto Aplicado ao Zoneamento Ecológico-Econômico”. INPE, São José dos Campos, SP, 1996

DALMOLIN, R.S.D. & PEDRON, F.A. **Solos do município de Santa Maria**. Ci. Amb., 38:59-78,2009.

- DANIEL, O. **Definição de indicadores de sustentabilidade para sistemas agroflorestais**. 2000. Tese (Doutorado em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa. 113p.
- DEPPE, F. PAULA, E. V. de; MENEGHETTE, C. R.; VOSGERAU, J. Comparação de índice de risco de incêndio florestal com focos de calor no Estado do Paraná. **FLORESTA**, v. 34, n. 2, p. 119-126, 2004.
- DUARTE, J.J. Desertificação do Semiárido paraibano. *Revista Conceitos*. João Pessoa. v. 9. nº9. p. 53-60. jan/jun. 2003.
- EGLER, Walter Alberto. Contribuição ao Estudo da Caatinga Pernambucana. **Revista Brasileira de Geografia**. Rio de Janeiro: IBGE. Ano 13, n.4, p. 577-590, out./dez. 1951.
- ESTEVES, F.A. 1988. **Fundamentos de Limnologia**. Rio de Janeiro: Editora Interciência/FINEP, 575p.
- FAUSTINO, A. B.; RAMOS, F. F.; SILVA, S. M. P. Dinâmica temporal do uso e cobertura do solo na Bacia Hidrográfica do Rio Doce (RN) com base em sensoriamento remoto e SIG: uma contribuição aos estudos ambientais. **Sociedade e Território**, v. 26, n. 2, p. 18-30, 2014.
- FERNANDES, A. BEZERRA, P. 1990. **Estudo fitogeográfico do Brasil**. Stylos Comunicações, Fortaleza.
- FERREIRA, R. Vicente. **Utilização de sistemas de informação geográfica na identificação de unidades geoambientais do município de Analândia (SP)**. 2005. Dissertação (mestrado) Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências. Campinas, SP.: [s.n.], 2005.
- FERREIRA, R.; MOURA, M.; CASTRO, F. Uso de plataforma SIG na caracterização morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Pancas–Brasil. **Nativa**, v. 3, n. 3, p. 210-216, 2015.
- FILHO, P.; FLORENZANO, T.G.; DUARTE, V. & BARBOSA, C.C.F. 2001. Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao Ordenamento Territorial. São José dos Campos: INPE, jun. 113p. (INPE-8454-RPQ/722).
- FONSECA, G. P. S; ZEILHOFER, P. Técnicas de geoprocessamento aplicadas na análise de poluição difusa da bacia do Teles Pires – MT. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8., 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: INPE, 2007
- FUCK JÚNIOR, S.C. de F. Subsídio à Gestão Ambiental: descrição fisiográfica e análise funcional das bacias hidrográficas do Ceará. **Revista Eletrônica do Curso de Geografia do Campus Jataí - UFG**. Jataí, GO, N.10. jan-jun. 2008. Geoambiente On-Line. Disponível em: <http://www.jatai.ufg.br/geografia>. Acesso em: 2012
- FUNCEME. **Compartimentação Geoambiental do Estado do Ceará**. Fortaleza, 2009. 37 p.
- FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS-FGV. Centro Internacional de Desenvolvimento Sustentável-Cids. Indicadores de Sustentabilidade para a Gestão dos Recursos Hídricos no Brasil. Rio de Janeiro, Cids/FGV, 2000.
- GALLOPIN, G. C. Environmental and sustainability indicators and the concept of situational indicators. A system approach. *Environmental Modelling & Assessment*, v.1, p.101-117, 1996

GAVIÃO, L. O.; LIMA, G. B. A. Indicadores de sustentabilidade para a educação básica por modelagem fuzzy. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, v. 19, n. 3, p. 274-297, 2015

GOCIC, M.; TRAJKOVIC, S. Software for estimating reference evapotranspiration using limited weather data. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 71, p. 158-162, 2010.

GOMES, Jaíra Maria Alcobaça, CERQUEIRA, Emiliana Barros CARVALHO, José Natanael Fontenele de. Análise Privada do Uso Direto do Carnaubais Nativos Nordestinos Viii. In: Encontro da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica, 8., 2009, Cuiabá - MT . **Anais...2009**.

GOMES, P. R.; MALHEIROS, T. F. Proposta de análise de indicadores ambientais para apoio na discussão da sustentabilidade. *Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional*, v. 8, n. 2, p. 151-169, 2012.

GONÇAVEZ, E. M. **Avaliação da qualidade da água do rio Uberabinha – Uberlândia – MG**. 2009. 159 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia dos Processos Químicos e Bioquímicos). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

GUIMARÃES, Clécia Cristina Barbosa et al. Uso da Terra e Declividade no Sertão Central do Ceará, Brasil. **Revista Nordestina de Biologia**, João Pessoa, PB, v. 24, p.3-18, 2016.

GUIMARÃES, L. T.; MAGRINI, A. A proposal of indicators for sustainable development in the management of river basins. **Water Resources Management**, v. 22, n. 9, p. 1191-1202, 2008

GUIMARÃES, L. T.; TURETTA, A. P. D.; COUTINHO, H. L. C. Uma proposta para avaliar a sustentabilidade da expansão do cultivo da cana-de-açúcar no Estado do Mato Grosso do Sul. **Revista Sociedade & Natureza, Uberlândia**, v. 22, n. 2, p. 313-327, ago. 2010.

GUIMARÃES, M. **Sustentabilidade e Educação Ambiental**. In: CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. (orgs.). *A questão ambiental: diferentes abordagens*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003.

HAMMOND, A.; ADRIAANSE, A.; RODENBURG, E.; BRYANT, D.; WOODWARD, R. Environmental indicators : a systematic approach to measuring and reporting on environmental policy performance in the context of sustainable development. Washington: **World Resources Institute**, 1995.

HARUM, T.; SACCON, P. ; REGO, N. A. C. ; DEPAULA, F. ; SANTOS, J. W. B. **Modelos de Vulnerabilidade Hidrológica para a bacia hidrográfica do Rio Cachoeira (Bahia) Utilizando Sistemas de Informações Geográficas**. **Gaia Scientia**, v. 1, p. 89-95, 2008

HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: Hydrographical approach to quantitative morphology. **Geological Society of America Bulletin**, v.56, n.2, p.275-370, 1945.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Indicadores de Desenvolvimento Sustentável. 443p. Rio de Janeiro, 2010.

INSTITUÍDO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Painel cidades**. Disponível em:<<http://cidades.ibge.gov.br/painel/painel.php?codmun=231130>> Acessado em Setembro de 2014.

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ (IPECE). **Perfil básico municipal.** Disponível em: <http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/perfil_basico/pbm-2012/Quixada.pdf> Acessado em Setembro de 2014.

IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. 2014. Disponível em; <http://www.ipea.gov.br>. Acesso em 10 nov.2016.

ISAIAS, F. B. **A Sustentabilidade da Água: Proposta de um índice de Sustentabilidade em Bacias Hidrográficas.** 2008. 169p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável), Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade Estadual de Brasília, Brasília.

JANNUZZI, P.M. **Indicadores sociais no Brasil: conceitos, fonte de dados e aplicações.** Campinas: Alínea, 2001.

KAGEYAMA, A.; REHDER, P. O bem-estar rural no Brasil na década de 80. **Revista de Economia e Sociologia Rural.** Brasília-DF, v-31, n. 1, p. 23-44, jan./mar.1993.

KESSELEV, N. S; PICCININ, Y; ROSSATO, M. V; DORR, A. C; FREITAS, L. A. R; MARIN, A. **Práticas sustentáveis nas pequenas propriedades de agricultura familiar: um estudo de caso.** (REGET/UFSM), v. 17, n. 17, p. 3367 – 3375, Dez 2013.

KHANNA, N. Measuring environmental quality: an index of pollution. **Ecological Economics**, v. 35, n. 2, p. 191-202, 2000.

KLAMT, E.; FLORES, C.A. & CABRAL, D.R. **Solos do Município de São Pedro do Sul: Características, classificação, distribuição geográfica e aptidão de uso agrícola.** Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2001. 96p.

LAMPARELLI, M. C. **Grau de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento.** 2004. 238 p. Tese (Doutorado em Ecologia Aplicada) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal.** RIMA, São Carlos, 2000.

LAURA, A. A. **Um Método de Modelagem de um Sistema de Indicadores de Sustentabilidade para Gestão dos Recursos Hídricos – MISGERH: O Caso da Bacia dos Sinos.** 2004. 519p. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

LEAL, C., PEIXE, B. Indicadores de Sustentabilidade Ambiental no Paraná – Brasil com recorte territorial das Bacias Hidrográficas e uso de Sistema de Informações Geográficas (artigo). 2010.

LEITE et al. Sensoriamento Remoto Aplicado ao Mapeamento da Dinâmica do Uso do Solo na Bacia do Rio Pacuí, no Norte de Minas Gerais, nos Anos de 1989, 1999 e 2009. **Revista do Departamentode Geografia** - USP, V. 23, P. 217-231, 2012.

LEITE, M. A. Impacto Ambiental das Usinas Hidrelétricas. II Semana do Meio Ambiente. UNESP. Ilha Solteira, junho 2005

LEWIS, T.E. Selecting and testing indicador of forest health. IN: Aguirre-Bravo, C. (ed.) Proceedings of the Nort American Workshop on monitoring for ecological assessme of report, n. 284, p. 140-156, 1995.

LIMA, Antonio Agostinho Cavalcanti; OLIVEIRA, Francisco Nelsieudes Sombra; AQUINO, Antonio Renes Lins de. **Limitações do Uso dos Solos do Estado do Ceará por Suscetibilidade à Erosão**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2010. 19 p. (Documentos, 54). Disponível em: <www.cnptia.embrapa.br/digital/>. Acesso em: 10 jan. 2016.

LIMA, Flávia Jorge de. CESTARO, Luiz Antônio. ARAÚJO, Paulo Cesar de. Sistemas Geoambientais do Município do Crato/CE - **Mercator** - volume 9, número 19, 2010: mai./ago. p. 129 a 142.

LIMA, H. V.; SILVA, A. P.; JACOMINE, P. T. K.; ROMERO, R. E.; LIBARDI, P. L. Identificação e caracterização de solos coesos no Estado do Ceará. **Rev. Bras. Ciênc. Solo** vol.28 n° 3 Viçosa May/June, 2004.

LIMA, M. I. C. de. **Análise de drenagem e seu significado geológico-geomorfológico**. Belém, Pará, UFPA, 2016.

LIMA, W.P. **Princípios de hidrologia florestal para o manejo de bacias hidrográficas**. São Paulo: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1986. 242p.

LOPES, H.; CANDEIAS, A.L.B.; ACCIOLY, L.J.O.; SOBRAL, M. do C.M. & PACHECO, A.P. Parâmetros biofísicos na detecção de mudanças na cobertura e uso do solo em bacias hidrográficas. In: **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.11, 2010, p.1210–1219.

LORANDI, R. & CANÇADO, C.J. **Parâmetros Físicos para Gerenciamento de Bacias Hidrográficas**. In: SCHIAVETTI, A., Camargo, A.F.M (Editores). **Conceitos de Bacias Hidrográficas: Teorias e Aplicações**. Ilhéus, Ba: Editus. 2002. Cap. 2. 293p.

LUCENA, Leandro R.R.; CAMPOS, Ana C.P. Análise de Lacunaridade da Precipitação de Bacias Hidrográficas do Estado de São Paulo. **Biomatemática: DEINFO – UFRPE**, Recife - Pe, n. 24, p.1-8, 2014.

LUZ, C. N. **Uso e ocupação do solo e os impactos na qualidade dos recursos hídricos superficiais da bacia do rio Ipitanga**. 2009. P 131. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana), Universidade Federal da Bahia, Salvador. 2009.

MACÊDO, Nívea Marcela Marques Nascimento; CÂNDIDO, Gesinaldo Ataíde. Índice de Desenvolvimento Sustentável Local e suas influências nas políticas públicas: um estudo exploratório no município de Alagoa Grande – PB. **Gest. Prod.**, São Carlos, v. 18, n. 3, p.619-632, 2011.

MACHADO, N.G.; SILVA, F.C.P.; BIUDES, M.S.(INPRESS). Relações entre queimadas urbanas e condições meteorológicas em Cuiabá/MT no período de 2005 a 2009.

MAGALHÃES JÚNIOR, A. P. **Indicadores Ambientais e Recursos Hídricos: Realidade e Perspectivas para o Brasil a partir da Experiência Francesa**. 2. ed. Bertrand Brasil, 636 p; 2010.

MANSOR, M. T. C. **Potencial de poluição de águas superficiais por fontes não pontuais de fósforo na bacia hidrográfica do ribeirão do Pinhal, Limeira-SP**. 2005. 171 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

MANZATTO, Celso Vainer; FREITAS JUNIOR, Elias de; PERES, José Roberto Rodrigues. **Uso Agrícola dos Solos Brasileiros**. Rio de Janeiro, RJ: Embrapa Solos, 2002. 174 p.

MARANGON, M. et al. Indicadores de Sustentabilidade como instrumento para avaliação de comunidades em crise: aplicação à comunidade de Serra Negra (artigo). Avaliação – Revista Educação & Tecnologia. Curitiba, Editora do CEFET-PR, v.8, p. 143 - 161, 2004.

MARTINS, M. F.; CÂNDIDO, G. A. **Índice de Desenvolvimento Sustentável para Municípios (IDSM): metodologia para análise e cálculo do IDSM e classificação dos níveis de sustentabilidade – uma aplicação no Estado da Paraíba.** João Pessoa: Sebrae, 2008.

MARTINS, Maria de Fatima; CANDIDO, Gesinaldo Ataíde. Índices de Desenvolvimento Sustentável para Municípios: Uma Proposta - Metodológica de Construção e Análise. In: Encontro Nacional da ECOECO, 09., 2011, Brasília - Df. **Anais...** Brasília - Df: Ecoeco, 2011.

MATALLO JUNIOR., H. **Adesertificação no mundo e no Brasil.** In: SCHENKEL, C. S. e MATALLO JR, H (Org). Desertificação. Brasília: UNESCO, 2003.

MDS 2013 - ESTUDO TÉCNICO N.º 20/2013 - Análise do IDH-M e possibilidades de aprimoramento para captação mais apurada dos efeitos das Políticas de Desenvolvimento Social - MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO SOCIAL E COMBATE À FOME SECRETARIA DE AVALIAÇÃO E GESTÃO DA INFORMAÇÃO (http://aplicacoes.mds.gov.br/sagirms/simulacao/estudos_tecnicos/pdf/67.pdf)

MENDES, J. Dimensões da Sustentabilidade (artigo). Avaliação – Revista das Faculdades Santa Cruz, v. 7, n. 2, julho/dezembro 2009.

MIRAGLIA, E. Ninguém mais é inocente. **Boletim Qualidade de Vida.** Piracicaba-SP, ano 4, n. 39, p. 1-4, ago. 2002.

MIRANDA, A. B.; TEIXEIRA, B. A. N. Indicadores para o monitoramento da sustentabilidade em sistemas urbanos de abastecimento de água e esgotamento sanitário. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 9, n. 4, p. 269-279. 2004

MMA 2010 - Fevereiro de 2010 Relatório dos Trabalhos Desenvolvidos pelo Grupo Técnico do Fósforo Total Relatório final Grupo de Monitoramento de Fósforo Resolução CONAMA 359/05 - http://www.mma.gov.br/port/conama/reuniao/dir1242/RelatFinalFosforo_99RO_25e26ago10.pdf acesso 3m 29/11/2015

MOTA, S. **Preservação de recursos hídricos.** Rio de Janeiro: ABES, 1988.

MUELLER, C.; TORRES, M.; MORAIS, M. **Referencial básico para a construção de um sistema de indicadores urbanos.** Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), 1997.

NASCIMENTO, W., VILLAÇA, M. Bacias Hidrográficas: Planejamento e Gerenciamento (artigo). Avaliação – **Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros** – Seção Três Lagoas – MS – N° 7 – ano 5, Maio de 2008.

OECD (2013). Education at a Glance 2013: Indicadores da OCDE. Country Notes: Brasil. Disponível em: http://www.oecd.org/edu/Brazil_EAG2013%20Country%20Note%20%28PORT%29.pdf Acesso, 10 Nov 2016.

OLIVA JUNIOR, Elenaldo Fonseca de; FREIRE, Raiane Souza. Os Impactos Ambientais Decorrentes da Produção de Resíduos Sólidos Urbanos e seus Riscos a Saúde Human. **Revista Eletrônica da Faculdade José Augusto Vieira**, Lagarto, n. 8, p.158-171, set. 2013. Ano VI - ISSN 1983-1285.

- OLIVEIRA, A. et al. Caracterização de indicadores da erosão do solo em bacias hidrográficas com o suporte de geotecnologias e modelo predictivo (artigo). **Estudos Geográficos**, Rio Claro, 2007.
- OLIVEIRA, Cibeli Lunardeli de, **Adaptação do ISA, indicador de salubridade ambiental, ao município de Toledo**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da UFSC, Florianópolis, 2003.
- OLIVEIRA, J. B. de; MENK, J. R. F. **Latosolos Roxos do Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1984. 132 p. (IAC. Boletim Técnico, 82).
- OLIVEIRA, J. B. **Pedologia aplicada**. 3 a ed. Piracicaba: Fealq. 2008. 592 p.
- OLIVEIRA, J. B.; JACOMINE, P. K. T.; CAMARGO, M. N. **Classes gerais de solos do Brasil**. 2.ed. Jaboticabal: FUNEP, 1992. 201 p. RESENDE, M.; CURI, N.; SANTANA, D. P. Pedologia e fertilidade do solo: interações e aplicações. Brasília, DF: MEC; [Lavras].
- OLIVEIRA, M., FARIA, SUELI. Indicadores de sustentabilidade ambiental na formulação e avaliação de políticas de desenvolvimento sustentável (artigo). Avaliação – **Revista Brasileira de Ciências Ambientais** – número 11, dezembro 2008.
- OLIVEIRA, S. B. P.; SOUZA, M. J. N.; LEITE, F. R. B.; COSTA, R. N. S. Contribuição ao estudo da degradação ambiental no Município de Caridade-CE. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11. (SBSR)., 2003, **Anais...**Belo Horizonte. Anais... São José dos Campos: INPE, 2003. p. 1391 - 1398. Online. Disponível em: <<http://urlib.net/ltid.inpe.br/sbsr/2002/11.11.09.39>>. Acesso em: 09 fev. 2016.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **Ano internacional da agricultura**. Disponível em: <<http://www.fao.org/family-farming-2014/pt/>> Acessado em: Setembro de 2014.
- PACHÊCO, A.P.; FREIRE, N. C. F.; BORGES, U. N. A Transdisciplinaridade da Desertificação. **Geografia** (Londrina). v. 15, n. 1. p. 40-54. 2006. Disponível em: Acesso em: 20 jan. 2009.
- PARENTE . Francisco Bergson, **Gestão de Recursos Hídricos nas Regiões Áridas e Semiáridos como um Processo de Redução das Desigualdades Sociais**. In: Fundação Konrad Adenauer. Água e Desenvolvimento Sustentável no Semi-Árido. Fortaleza-CE: Expressão Gráfica. 2002. Cap.5, p. 69-86.
- PAULA, Makele Rosa de; CABRAL, João Batista Pereira; MARTINS, Alécio Perini. Uso de Técnicas de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento na Caracterização do Uso da Terra da Bacia Hidrográfica da Uhe Caçu – GO. **Revista Geonorte: Edição Especial**, Manaus - AM, v. 4, n. 4, p.1482-1490, 2012.
- PEDRON, F.A.; DALMOLIN, R.S.D.; AZEVEDO, A.C.; POELKING, E.L. & MIGUEL, P. **Utilização do sistema de avaliação do potencial de uso urbano das terras no diagnóstico ambiental do município de Santa Maria - RS**. Ci. Rural, 36:468-477,2006.
- PEREIRA, Marlos da Silva; SAUER, Leandro; FAGUNDES, Mayra Batista Bitencourt. Mensurando a sustentabilidade ambiental: uma proposta de índice para o Mato Grosso do Sul. **Interações (campo Grande)**, Campo Grande, Ms, v. 17, n. 2, p.327-338, 3 jun. 2016. Bimestral. Universidade Catolica Dom Bosco.
- PIRES, J.S.R.; SANTOS, J. E. Bacias Hidrográficas – integração entre meio ambiente e desenvolvimento. **Ciência Hoje**. V.19, n. 110, p.41-45, 1995

PIRES, José Salatiel Rodrigues; SANTOS, José Eduardo dos & DEL PRETTE, Marcos Estevan – **A utilização do conceito de bacia hidrográfica para a conservação dos recursos naturais**, 2005.

QUINTEIRO, F.L. Levantamento do uso da terra e caracterização de ambientes da bacia hidrográfica do rio Turvo Sujo, com a utilização de aerofotos não convencionais. Viçosa, MG: UFV, 1997, 91 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, 1997.

RABELO, L. Indicadores de Sustentabilidade: a possibilidade do desenvolvimento sustentável. Fortaleza: Prodema – UFC, 2008.

RAMOS, Tomás B.. **Sistemas de Indicadores e Índices Ambientais**. Comunicação apresentada no 4º Congresso Nacional dos Engenheiros do Ambiente. Organização: APEA, pp. IV33-IV43, Faro, Portugal:1997.

REIGOTA, Marcos Antonio dos Santos. Ciência e Sustentabilidade: a contribuição da educação ambiental (artigo). Avaliação – **Revista de Avaliação da Educação Superior**, v. 12, n. 02, p. 219-332, junho 2007.

REIS, A. L. Q. **Índice de sustentabilidade aplicado à Bacia do Rio Cuiá** - João Pessoa (PB). 2010. 137p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal da Paraíba, Paraíba.

RESCHILIAN, P. R.; Bevilacqua, A. F. A bacia hidrográfica como unidade territorial de planejamento e desenvolvimento sustentável. In:VI ENCONTRO NACIONAL DA ANPPAS, 6., 2012. **Anais...**Belém, 2012.

RESENDE, M.; CURTI, N.; SANTANA, D. P. **Pedologia e fertilidade do solo: interações e aplicações**. Brasília, DF: MEC; Lavras: ESAL; Piracicaba: POTAFOS, 1988. 81 p.

RIZZINI, C. T. 1979. **Tratado de fitogeografia do Brasil**. v.2. Aspectos ecológicos. Hucitec / Edusp, São Paulo.

ROCHA, J. L. S. **Indicador integrado de qualidade ambiental, aplicado à gestão da bacia hidrográfica do Rio Jiquiriça** – BA Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Santa Cruz. Programa Regional de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente. – Ilhéus, BA : UESC/PRODEMA, 2008.

ROCHA, J. L. S.; REGO, N. A. C.; SANTOS, J. W. B. Indicador integrado de qualidade ambiental aplicado à gestão da bacia hidrográfica do rio Jiquiriça, BA, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, v. 5, n. 1, p.89-101, 2010.

ROCHA, J. S. M.; KURTZ, S. M. J. M. **Manual de Manejo Integrado de bacias Hidrográficas**. Santa Maria: Editora da UFSM, 2001. 282 p.

ROCHA, Jadson Luiz Simões. **Indicador integrado de qualidade ambiental, aplicado à gestão da bacia hidrográfica do Rio Jiquiriça** – BA / Dissertação apresentada ao Programa Regional de Pós-graduação - PRODEMA daUESC em Ilhéus, 2008.

RODRIGUES, J.O; ANDRADE, E. M.; TEIXEIRA, A. S.; SILVA, B.B. Sazonalidade de variáveis biofísicas em regiões semiáridas pelo emprego do sensoriamento remoto. **Revista de Engenharia Agrícola**, v. 29, n. 3, p. 452-465, 2009.

- RODRIGUEZ, J. M. M. Análise e síntese da abordagem geográfica da pesquisa para o planejamento ambiental. **Revista do Departamento de Geografia da FFLCH/USP**. São Paulo, v. 9. 1994.
- RODRIGUEZ, J. M. M.; SILVA, E. D.; CAVALCANTI, A. P. B. **Geocologia da paisagem: uma visão geossistêmica da análise ambiental**. Fortaleza: EDUFC, 2002.
- ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. In **Revista do Depto. De Geografia - FFLCH-USP**. N 8, São Paulo. 1994.
- ROSS, J. L. S. **Geomorfologia: ambiente e planejamento**. 5ed. São Paulo: Ed. Contexto. 85p. 2000
- SACHS, I. Estratégias de transição para o século XXI. In: BURSZTYN, Marcel (Org.). Para pensar o desenvolvimento sustentável. São Paulo: IBAMA/ENAP/Brasiliense, 1993. p. 29-56.
- SAMPAIO, E. V. S. B.; SAMPAIO, Y.; ARAÚJO, T. V. S. B.; SAMPAIO, G. R. **Desertificação no Brasil: conceitos, núcleos e tecnologias de recuperação e convivência**. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2003. 202 p.
- SANCHES, S.M.; SILVA, C.H.T.P.; VESPA, I.C.G.; VIEIRA, E.M.. A Importância da Compostagem para a Educação Ambiental nas Escolas. Química Nova na Escola. São Paulo: Sociedade Brasileira de Química. no 23. maio de 2006. p. 10-13.
- SANTOS, J.F.; SOARES, R.V.; BATISTA, A.C. (2006). **Perfil dos incêndios florestais no Brasil em áreas protegidas de 1998 a 2002**. Floresta.
- SANTOS, J.F.; SOARES; R.V.; BATISTA, A.C. Perfil dos incêndios florestais no Brasil em áreas protegidas no período de 1998 a 2002. **Revista Floresta**, Curitiba, v.36, n.1, p.93 – 100, 2006
- SANTOS, R. F. **Planejamento Ambiental: teoria e prática**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.
- SANTOS, Valdenira Ferreira dos, SOUZA, Josiane do Socorro Aguiar de, FIGUEIRA, Zanandrea Ramos, ABDON, Luis Maurício e SILVA, Romeu Corrêa da. **Aplicação metodológica de indicadores e índices sócio-ambientais em diagnóstico no programa de gerenciamento costeiro: setor costeiro estuarino, Amapá, 2005**. Disponível em: <www.abequa2005.geologia.ufrj.br>. Acesso em 2012.
- SCHUMM, S. A. Evolution of drainage systems and slopes in badlands of Perth Amboy. **Geological Society of America Bulletin**, New York, v. 67, n. 5, p. 597-646, May 1956.
- SEPÚLVEDA, S. **Desenvolvimento microregional sustentável: métodos para planejamento local**. Brasília: IICA, 2005, 292 p.
- SEPÚLVEDA S. S. **Gestión del desarrollo sostenible en territorios rurales: métodos para la planificación**. San José, Costa Rica: IICA, 2008. 418 p.
- SHIELDS, D.J; SOLAR, S.V; MARTIN, W.E. The role of values and objectives in communicating indicators of sustainability. **Ecological Indicators**, n. 2, p. 149– 160. 2002.
- SICHE, R; AGOSTINHO, F; ORTEGA,H; ROMEIRO, A. Índices Versus Indicadores: Precisões Conceituais na Discussão da Sustentabilidade de Países. **Ambiente & Sociedade**, v. 10, n. 2 , p. 137-148. 2007.

SICHEA, J.R, AGOSTINHOB. F, ORTEGAB. E, ROMEIROC, A. Sustainability of nations by indices: Comparative study between environmental sustainability index, ecological footprint and the emergy performance índices. **Ecological Economics**. Volume 66, Issue 4, P. 628–637, 15 July 2008,

SILVA, Darllan Collins da Cunha e. **Proposta Metodológica para Elaboração de um Índice Espacial de Sustentabilidade Ambiental Aplicado a Bacias Hidrográficas**. 2016. 158 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-graduação em Ciências Ambientais, Instituto de Ciência e Tecnologia (câmpus de Sorocaba), Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Sorocaba, 2016. Cap. 6.

SILVA, E.C.; NOGUEIRA, R.J.M.C.; AZEVEDO NETO, A.D.; SANTOS, V.F. (2003). Comportamento estomático e potencial da água da folha em três espécies lenhosas cultivadas sob estresse hídrico. **Acta Botanica Brasilica**, v. 17, n. 2, p. 231-246.

SILVA, L da. ALMEIDA. H. A de, Estimativa do Potencial para a Captação de Água de Chuvas nas Microrregiões de Baturité do Cariri Cearense. In: Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva, 8 (SBCMAC)., 2014, Feira de Santana – BA. **Anais...2014**. Online. Disponível em: <<http://www.acquacon.com.br/9sbcmac/apresentacoes.php>>. Acesso em: 09 fev. 2016.

SILVA, Lucas da; ALMEIDA, Hermes Alves de. Índice de Seca, na Estação Chuvosa, na Bacia Hidrográfica do rio Banabuiú, C. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS NATURAIS DO SEMIÁRIDO – SBRNS, 3., 2017, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Massa, 2017. p. 1 - 6.

SILVA, Lucas da; LIMA, Eduardo Rodrigues Viana de. Índice de Sustentabilidade da Dimensão Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Banabuiú, CE. **Espaço Aberto**, Rio de Janeiro, v. 7, n. 1, p.71-85, 2017.

SILVA, M. G. da et al. Estimativa da Evapotranspiração de Referência pela Equação de Hargreaves-Samani Nno Estado do Ceará, Brasil. **Brazilian Journal Of Biosystems Engineering**. Tupã, p. 132-141. fev. 2015.

SILVA, Mairton Gomes da et al. Avaliação da evapotranspiração de referência por Penman-Monteith usando dados climáticos mínimos no sertão do Ceará. **Revista Agro@mbiente On-line**, Boa Vista, Rr, v. 7, n. 3, p.284-293, 2013. Setembro-dezembro. Disponível em: <<http://revista.ufrr.br/>>. Acesso em: 10 jan. 2016.

SILVA, R. M. Alves. **Entre o combate a seca e a convivência com o semi-árido: transições paradigmáticas e sustentabilidade do desenvolvimento**. (Tese de Doutorado). Brasília: UNB, 2006, 298p.

SILVA, Sebastião. **Queimadas: perguntas e respostas** – Viçosa, MG: Aprenda Fácil, 2007.

SILVA. M. G. da; OLIVEIRA, I. de S. CARMO, LÊDO. F. F. do; FILHO, E. R. F. SILVA, J. A. da. Estimativa da Evapotranspiração de Referência pela Equação de Hargreaves-Samani no Estado do Ceará, Brasil - **Brazilian Journal of Biosystems Engineering** v. 9(2): 132-141, 2015

SOUSA, Samuel Antônio Miranda de. **Avaliação de Implementação de Uma Unidade de Conservação de Proteção Integral: O caso do Monumento Natural dos Monólitos de Quixadá-CE**.2010. 130 f. il Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Geografia, Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza - CE, 2010.

SOUZA, P. G. C. ; FERREIRA, J. M. L. Uso do geoprocessamento na avaliação do desempenho ambiental de estabelecimentos rurais. In: IX Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica **Anais...**,

Belo Horizonte. Resumos expandidos IX Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica EPAMIG. Belo Horizonte: EPAMIG, 2012. v. 68.

SOUZA, Luciana Carla Ferreira de. **Verificação de Parâmetros Hídricos da Bacia do Rio Jaguari no Município de Jaguariúna**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Civil Arquitetura e Urbanismo da UNICAMP. Campinas, 2005.

SOUZA, M. A; RIBEIRO, R. J. C; CARNEIRO, P. J.R. Aplicações do sensoriamento remoto e do geoprocessamento. Estudo de caso: bacia do rio do Sono, TO – Brasil. In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto **Anais...**Natal: INPE, 2009

SOUZA, M. J. N. **Bases naturais e esboço do zoneamento geoambiental do Estado do Ceará**. In: Compartimentação territorial e gestão regional do Ceará: parte I. Fortaleza: FUNECE, 2000.

SOUZA, Marcos José Nogueira de et al. Prognóstico da Gestão Ambiental da Área de Influência Direta do Açude Castanhão. In: Cleyber Nascimento de Medeiros (Org.). Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE). **Os Recursos Hídricos do Ceará: Integração, Gestão e Potencialidades**. Fortaleza - CE: IPECE, 2011. p. 268.

STRAHLER, A. N. Dimensional analysis applied to fluvial eroded landforms. **Geological Society of America Bulletin**, v.69, p.279-300, 1958.

SUASSUNA, João. (Recife-PE). Fundação Joaquim Nabuco. **Semiárido: proposta de /convivência com a seca**. 2016. Disponível em: <<http://www.fundaj.gov.br>>. Acesso em: 07 fev. 2016.

SUGUIO, K.; NOGUEIRA, A.C.R. Revisão crítica dos conhecimentos geológicos sobre a Formação (ou Grupo?) Barreiras do Neógeno e o seu possível significado como testemunho de alguns eventos geológicos mundiais. **Geociências**, v.18, p.461-479, 1999.

SUPERINTENDÊNCIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE DO CEARÁ (SEMACE). **Monumento Natural dos monólitos de Quixadá**. Disponível em: <<http://www.semace.ce.gov.br/2010/12/1639/>> Acesso em: Setembro de 2014.

TANNURI, G.; VAN BELLEN, H. M. Indicadores de desempenho ambiental evidenciados nos relatórios de sustentabilidade: uma análise à luz de atributos de qualidade. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, v. 8, n. 1, p. 2-19, 2014.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE, 1977. 91p.

TUNSTALL, D. Developing and using indicators of sustainable development in Africa: an overview, doc mimeo. In: **The Network for Environment and Sustainable Development in Africa (NESDA), Thematic Workshop On Indicators Of Sustainable Development**. Banjul, Gambia: NESDA, 1994.

VAN BELLEN, H. M. **Indicadores de sustentabilidade: uma análise comparativa**. 2002. 235 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

VIEIRA, P. M. S.; STUDART, T. M. C. Proposta Metodológica para o Desenvolvimento de um Índice de Sustentabilidade Hidro- Ambiental de Áreas Serranas no Semiárido Brasileiro - Estudo de Caso: Maciço de Baturité, Ceará. RBRH – **Revista Brasileira de Recursos Hídricos** v.14, n.4, p. 125-136, out/dez, 2009.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245p.

VON SPERLING, MARCOS. Princípios de Tratamento Biológico de águas Residuárias: Introdução à Qualidade da Água e ao tratamento de esgotos Volume 1, 2005. DESA/UFMG.

WAQUIL, P. D.; et al. Para Medir o Desenvolvimento Territorial Rural: Validação de Uma Proposta Metodológica. In: XLV CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL. **Anais...** Universidade Estadual de Londrina, PR, 22 a 25 de jul. 2007, 22 p.

WOLFFENBÜTTEL, Andréa. (IPEA). O que é? - Índice de Gini. **Desafios do Desenvolvimento**, Brasília - Df, v. 4, n. 1, p.0-0, 2004. Disponível em: <http://desafios.ipea.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=2048:catid=28&Itemid=23>. Acesso em: 10 jan. 2016

XAVIER, A. L.; TEIXEIRA, D. A. Diagnóstico das nascentes da sub-bacia hidrográfica do rio São João em Itaúna, MG. In: CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 7, 2007, Caxambu. **Anais...** Caxambu: SEB, 2007. p. 1-2.

ZONNEVELD, I. S. The Land Unit – A fundamental concept in landscape ecology, and its applications. **Landscape Ecology**, v. 3, n. 1, p. 67-86, 1989.