



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO AMBIENTAL
MESTRADO PROFISSIONAL EM GESTAO AMBIENTAL**

ANA CÉLIA SARAIVA DE MOURA GARCIA

**ESTUDO ESPAÇO TEMPORAL DE ÁREAS SUSCEPTÍVEIS À DESERTIFICAÇÃO
NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

Recife, 2018

ANA CÉLIA SARAIVA DE MOURA GARCIA

**ESTUDO ESPAÇO TEMPORAL DE ÁREAS SUSCEPTÍVEIS À DESERTIFICAÇÃO
NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Gestão Ambiental, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Gestão Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco.

Prof. Dr. José Coelho de Araújo Filho
Orientador - IFPE

Prof. Dr. Hernande Pereira da Silva
Coorientador – IFPE

Prof^ª. Dra. Renata Maria Caminha M. de O. Carvalho
Coorientador – IFPE

Recife, 2018

G216e Garcia, Ana Célia Saraiva de Moura.
Estudo espaço temporal de áreas susceptíveis à desertificação do semiárido brasileiro. / Ana Célia Saraiva de Moura Garcia. – Recife, PE: O autor, 2018.
136 f.: il., color. ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. José Coelho de Araújo Filho

Dissertação (Mestrado) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco - IFPE, Campus Recife, Coordenação de Pós-Graduação - Mestrado Profissional em Gestão Ambiental, 2018.

Inclui referências e apêndices.

I. Bacia Hidrográfica. 2. Gestão Ambiental. 3. Temperatura Superficial. 4. Índice de Vegetação I. Araújo Filho, José Coelho de (Orientador). II. Título.

363.7 CDD (22 Ed.)

ANA CÉLIA SARAIVA DE MOURA GARCIA

**ESTUDO ESPAÇO TEMPORAL DE ÁREAS SUSCEPTÍVEIS À DESERTIFICAÇÃO
NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

Dissertação submetida ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Gestão Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco como parte integrante dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Gestão Ambiental.

Data da aprovação: 24 / 04 / 2018

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. José Coelho de Araújo Filho
Orientador – MPGA

Prof^ª. Dra. Manuella Vieira Barbosa Neto
Examinador Externo – IFPE

Prof^ª. Dra. Marília Regina Costa Castro Lyra
Examinador Interno – MPGA

Prof^ª. Dra. Josiclêda Domiciano Galvêncio
Examinador Externo – UFPE

Dedico

Aos meus pais, Célio Moura e Carmem Spíndola. Ao meu esposo, Francisco Garcia Júnior e a minha filha Ana Cecília Garcia.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE) e ao Programa de Pós-Graduação em Gestão Ambiental (MPGA), pela oportunidade do estudo.

A GEOSERE/UFRPE, na pessoa do Prof. Dr. Hernande Silva, pelo acolhimento e apoio em nossa formação. E, pela oportunidade de cursar a disciplina Geoprocessamento de bacias hidrográficas, disciplina muito importante no direcionamento dessa pesquisa.

À EMBRAPA Solos, pela oportunidade de participar do curso Diagnóstico ambiental do Nordeste do Brasil, e pela disponibilização de materiais instrucionais.

À Fundação Joaquim Nabuco (FUNDAJ), pela oportunidade de ser selecionada e participar do Curso de Sensoriamento Remoto e Monitoramento Ambiental, cujos conteúdos contribuíram no aporte teórico desse trabalho.

À Coordenação do MPGA, sempre disposta a ajudar os alunos na mediação dos problemas surgidos, bem como nas questões burocráticas da pós-graduação.

Ao meu Orientador, Prof. Dr. José Coelho pela paciência e orientação das diretrizes para a elaboração e conclusão desse trabalho.

Aos meus Coorientadores Prof. Dr. Hernande Silva e Prof. Dr.^a Renata Carvalho na orientação e realização dessa pesquisa.

Aos Professores do MGPA, Eduardo Alecio, Hernande Pereira, José Coelho, Marília Lira, Núbia Frutuoso, Renata Carvalho, Ronaldo Faustino, Sofia Brandão, pelas disciplinas ofertadas, que muito contribuíram nos aportes teóricos.

À bibliotecária Amanda Tavares Silva Lima, ao servidor Albany Moraes da Silva e a estagiária da biblioteca especializada Silvia Barbosa de Melo: Marília Gondim pelas orientações e apoio para entrega e publicação da dissertação.

Ao Prof. Dr. Neison Freire, pelos ensinamentos e discussões durante o Curso de Sensoriamento Remoto e Monitoramento Ambiental.

Aos Engenheiros da DNOCS, Sr. José Borges de Azevedo e Sr. José Wilton dos Santos, por me acompanhar na realização do trabalho de campo, realizado nas áreas salinizadas, e no Açude Francisco Saboia.

Ao Sr. Múcio Costa, Engenheiro Técnico do IPA, por me acompanhar no trabalho de campo nas áreas degradadas e nas áreas produtivas do perímetro irrigado de Ibimirim-Inajá.

Ao Sr. Genivaldo Silva, guia turísticos do município de Buíque, no acompanhamento da atividade de campo, nas áreas antropizadas do Parque Nacional do Catimbau.

Aos meus pais Célio Saraiva de Moura e Carmem Spíndola, por todos os ensinamentos, e por estar comigo em momentos especiais da minha vida.

Ao meu esposo Francisco Garcia Júnior, pelo amor, carinho e companheirismo em todas as horas, e em especial a nossa filha, Ana Cecília Garcia, amor de nossas vidas.

Aos meus irmãos, Glawbber Moura, Glewbber Moura e Albert Moura, pelo incentivo de sempre e, minhas cunhadas Mirelle Moura, Fleviane Moura e Késsia Moura.

As crianças da família, Glewbber Moura Júnior, Guilherme Moura, Marianna Moura, Davi Moura, Luiza Moura, Gustavo Moura e Albert Moura Filho, agradeço pela alegria constante.

Aos amigos do curso de mestrado pela amizade, companheirismo, e trocas de saberes.

Aos amigos do ProRural, Verônica Aquino, Simone Miranda, Murilo Carlos, Letícia Melo, Lurdinha Santos, João Emanuel, Daniella Almeida, Carlos Soares, Ana Paula Brandão, Alzira Almeida, e Alexandre Ramos, agradeço a grande torcida na minha trajetória e conclusão do curso de mestrado.

Aos novos amigos da Secretaria Executiva de Gestão Urbana e Meio Ambiente da Prefeitura de Jaboatão dos Guararapes.

E, a todas as pessoas que, direta e indiretamente, estiveram comigo durante esse processo, que não tiveram seus nomes divulgados, um beijo no coração.

RESUMO

A desertificação é um problema ambiental grave da degradação das terras, que afeta muitos países em todo o mundo, mas é nas regiões de clima árido, semiárido e subúmido de países em desenvolvimento, que esse fenômeno vem causando verdadeiros desastres em decorrência da ação conjugada das fragilidades naturais, das ações antrópicas e mudanças climáticas. No estado de Pernambuco, a desertificação encontra-se instalada, no chamado núcleo de desertificação em Cabrobó, entretanto, 136 municípios fazem parte de áreas susceptíveis à desertificação. A bacia do rio Moxotó, faz parte do submédio São Francisco e, está totalmente inserida nas áreas susceptíveis à desertificação. Essa pesquisa teve como foco realizar um estudo espaço temporal de áreas susceptíveis à desertificação, na bacia do rio Moxotó. Foi criado um banco de dados georreferenciado com imagens de satélites LANDSAT 5 TM e LANDSAT 8 OLI. No SPRING, aplicou-se a técnica de Modelo Linear de Mistura Espectral – MLME. A Linguagem Espacial de Geoprocessamento Algébrico – LEGAL foi utilizada no cruzamento de mapas e obtenção dos índices de vegetação IVDN e IVAS. A espacialização da temperatura superficial (Ts) e a finalização dos mapas foram realizadas no software QGIS 2.18. Os resultados mostraram que a bacia do rio Moxotó apresenta aproximadamente 32% de áreas vegetadas, conservadas durante os 21 anos de estudo, 28% de áreas degradadas, 21% de áreas que foram recuperadas, 9% de áreas com potenciais à desertificação, e 10% de áreas de corpos hídricos, nuvens e sombras durante o período de estudo. Os municípios mais afetados na bacia do rio Moxotó, estão situados no Estado de Pernambuco e compreendem Ibimirim, Inajá e Custódia. No Estado de Alagoas, os municípios afetados são Mata Grande, Pariconha e Delmiro Gouveia. Nesse sentido, o banco de dados fomentado, fornece informações que corroboram para o estudo da desertificação no semiárido brasileiro. No âmbito da gestão ambiental, os resultados poderão contribuir na discussão sobre as formas de manejo sustentáveis em áreas degradadas e subsidiar a tomada de decisão quanto à implantação de ações e programas que possam apoiar o desenvolvimento territorial com sustentabilidade.

Palavras-chave: Bacia hidrográfica. Gestão ambiental. Temperatura superficial. Índice de vegetação.

ABSTRACT

Desertification is a serious environmental problem of land degradation, which affects many countries around the world, but it is in the arid, semi-arid and sub-humid regions of developing countries that this phenomenon has been causing real disasters due to the natural fragility, anthropic actions and climate change. In the state of Pernambuco, desertification is installed, in the so-called desertification nucleus of Cabrobó, however, 136 municipalities are part of areas susceptible to desertification. The basin of the Moxotó river, is part of the San Francisco sub-region and is totally inserted in areas susceptible to desertification. This research had as its focus a study of the temporal space of areas susceptible to desertification, in the Moxotó river basin. A georeferenced database was created with images of LANDSAT 5 TM and LANDSAT 8 OLI satellites. In SPRING, the technique of Linear Spectral Mixture - MLME was applied. The Spatial Language of Algebraic Geoprocessing - LEGAL was used in the crossing of maps and obtaining indices of vegetation IVDN and IVAS. The spatialisation of the surface temperature (Ts) and the finalization of the maps were performed in the QGIS 2.18 software. The results showed that the Moxotó river basin presents approximately 32% of vegetated areas, conserved during the 21 years of study, 28% of degraded areas, 21% of areas that were recovered, 9% of areas with potential to desertification, and 10 % of water bodies, clouds and shadows during the study period. The most affected municipalities in the Moxotó river basin are located in the State of Pernambuco and include Ibimirim, Inajá and Custódia. In the State of Alagoas, the affected municipalities are Mata Grande, Pariconha and Delmiro Gouveia. In this sense, the database provides information that corroborates the study of desertification in the Brazilian semi-arid region. In the context of environmental management, the results may contribute to the discussion on sustainable management practices in degraded areas and to support decision making regarding the implementation of actions and programs that can support territorial development with sustainability.

Key words: Hydrographic basin. Environmental management. Surface temperature. Vegetation index.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Principais eventos globais que abordaram a problemática da desertificação, no período de 1992 a 2015	21
Quadro 1 - Descrição dos principais eventos a nível global em que se discutiu a desertificação entre 1992 a 2015	22
Quadro 2 - Divisão do espectro eletromagnético em intervalos, comprimento de onda e características dos intervalos espectrais.....	25
Figura 2 - Curva espectral da vegetação, da água e do solo.....	26
Quadro 3 - Características foto interpretativas dos níveis de degradação das terras.....	30
Quadro 4 - Parâmetros para indicadores de desertificação por sensoriamento remoto.....	36
Quadro 5 - Registro histórico da intensidade e data de ocorrência do El Niño e La Niña no mundo.....	42
Figura 3 - Localização da área de estudo.....	45
Quadro 6 - Reservatórios da bacia do rio Moxotó com capacidade máxima acima de 1 milhão de m ³	48
Figura 4 - Mapa de Elevação da bacia do rio Moxotó.....	49
Figura 5 - Mapa dos principais tipos de solo predominantes na bacia do rio Moxotó.....	53
Quadro 7 - Características de eventos ENOS no período de estudo – órbita 216/215	55
Figura 6 - Fluxograma da metodologia	57
Figura 7 - Fluxograma das etapas para obtenção da Temperatura superficial.....	61
Figura 8 - Gráfico de representação da pluviometria na bacia do rio Moxotó - Estação meteorológica de Arcoverde (INMET).....	67
Figura 9 - Gráfico de representação da pluviometria na bacia do rio Moxotó - Estação meteorológica de Ibimirim (IPA).....	68
Figura 10 - Gráfico de representação da pluviometria na bacia do rio Moxotó - Estação meteorológica de Inajá (CHESF)	69
Figura 11 - Espacialização do desmatamento do bioma Caatinga dos anos de 1995, 2006 e 2016 na bacia do rio Moxotó.....	72
Figura 12 - Representação das medidas de classe referente ao mapeamento do desmatamento da vegetação do bioma caatinga para os anos de 1995, 2006 e 2016.....	73
Figura 13 - Áreas salinizadas, situadas no perímetro irrigado de Ibimirim: (A) Mapa de localização de áreas salinizadas ponto GPS nº 45, (B) e (C) solos desnudos salinizados aproximadamente a 4,5m de distância do ponto nº 45, próximo a mata de <i>Prosopis juliflora</i> (algaroba)	75
Figura 14 - Mapeamento do desmatamento da caatinga nas áreas do Parque Nacional do Catimbau : 1995 (não consolidado), 2006 e 2016.....	77
Figura 15 - Mapeamento das mudanças ocorridas entre os anos de 1995, 2006 e 2016.....	79
Figura 16 - Gráfico das mudanças ocorridas entre os anos de 1995, 2006 e 2016.....	82
Figura 17 - Espacialização das mudanças ocorridas na Bacia Sedimentar do Jatobá : Localização de áreas de propensão à desertificação identificadas no ponto GPS nº 61 (A) e Imagens de áreas com propensão à desertificação nos domínios dos Planossolos (B) e (C).....	83
Figura 18 - Mapa das mudanças ocorridas na Bacia Sedimentar do Jatobá - PE. localização de áreas propensas à desertificação, ponto GPS Nº 55 (A), Área de produção de carvão (B) e área de armazenamento de madeira da <i>P. juliflora</i> (C)	86
Figura 19 - Criação de bovino em área pertencente ao PARNA do Catimbau/Buíque	88
Figura 20 - Residência situada no PARNA do Catimbau/Buíque.	88

Figura 21 - Área antropizada com residência, plantação de milho e caju situada no PARNA do Catimbau/Buíque	89
Figura 22 - Presença de Barreiro construído para a dessedentação animal - área do chapadão do PARNA do Catimbau/Buíque	89
Figura 23 - Área degradada situada no Chapadão- PARNA do Catimbau	90
Figura 24 - Vegetação rupestre presente no afloramento rochoso, situada no Parque Nacional do Catimbau, Buíque-PE	91
Figura 25 - Vegetação rupestre presente na formação arenítica conhecida como Morro do cachorro, situada no Parque Nacional do Catimbau, Buíque-PE.....	92
Figura 26 - Foto do açude Francisco Saboia situado na unidade geoambiental da Depressão Sertaneja	93
Figura 27 - Espacialização das mudanças ocorridas na unidade geoambiental – Depressão Sertaneja -PE	94
Figura 28 - Área desmatada em função da construção do canal da transposição, município de Sertânia.....	95
Figura 29 - Solo degradado com presença de erosão e caatinga com estresse hídrico, município de Custódia-PE	95
Figura 30 - Localização de área de alta propensão à desertificação: (A) Localização do ponto nº 59 (GPS), no mapa mudanças ocorridas no perímetro irrigado de Ibimirim, (B) Foto de área de alta propensão à desertificação	97
Figura 31 - Extração de material argiloso em áreas de alta propensão à desertificação situado no ponto nº 58 (GPS), no município de Ibimirim.....	98
Figura 32 - Plantação de coco em áreas produtivas situadas no perímetro irrigado de Ibimirim	99
Figura 33 - Foto da caatinga arbustiva no Parque nacional do Catimbau	97
Figura 34 - Histograma de frequência do IVAS para o ano de 1995.....	100
Figura 35 - Histograma de frequência do IVAS para o ano de 2006.....	100
Figura 36 - Histograma de frequência do IVAS para o ano de 2016.....	101
Figura 37 - Mapeamento da espacialização do Índice de Vegetação Ajustado ao solo (IVAS) dos anos de 1995, 2006 e 2016.....	102
Figura 38 - Presença de áreas de queimadas no perímetro irrigado /Ibimirim.....	105
Figura 39 - Mapeamento da espacialização da temperatura superficial da bacia do rio Moxotó referente aos anos de 1995, 2006 e 2016.....	109
Figura 40 - Espacialização da Ts para o ano de 2016, com os pontos nº 59 e 76 localizado nas coordenadas x e y, no município de Ibimirim:(A) Mapa da Ts com pontos GPS Nº 59 e 76, foto da localização do ponto nº 76 no Pavimento desértico – Luvissolo Crômico, no intervalo de classe: $40^{\circ}\text{C} < Ts < 45^{\circ}\text{C}$ (B), e foto da localização do ponto nº 59 situado no Planossolo no intervalo de classe: $37^{\circ}\text{C} < Ts < 40^{\circ}\text{C}$ (C).	111
Figura 41 - Mapa de monitoramento de secas do nordeste - setembro de 2016.....	112
Figura 42 - Gráfico do volume hídrico do Açude Francisco Saboia – 2016 / 2017.....	113
Figura 43 - Variação da Ts entre os anos de 1995, 2006 e 2016 no entorno do Açude Francisco Saboia.....	114
Figura 44 - Espacialização da Ts no Açude Francisco Saboia: Mapa de espacialização de Ts (A), Paisagem foto do Açude (B) e (C), tiradas a partir do ponto GPS nº 39.....	115
Figura 45 - Imagem da variação da Temperatura superficial (C°) de trecho da Reserva REBIO Serra Negra, situada na bacia do rio Moxotó durante os anos de 1995, 2006 e 2016.....	116
Figura 46 - Variação da Temperatura superficial (C°) nas áreas do PARNA do Catimbau: 1995, 2006 e 2016.....	117

Figura 47 - Espacialização da Ts do PARNA do Catimbau, (A) Mapa de Ts do ano de 2016, (B) e (C) fotos tiradas a partir do ponto GPS nº 93.....	119
Figura 48 - Área de solo arenoso situada no interior dos paredões do PARNA do Catimbau com difícil recuperação da caatinga.....	120

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Municípios e populações situadas na bacia do rio Moxotó.....	46
Tabela 2 - Municípios situados na bacia do rio Moxotó com grande percentual de famílias vulneráveis a pobreza residentes na bacia do rio Moxotó.....	46
Tabela 3 - Descrição das bandas do Mapeador Temático (TM) do satélite Landsat 5, com intervalo de comprimento de onda, coeficiente de calibração (radiância mínima -a; radiância máxima - b) e irradiância espectrais no topo da atmosfera (TOA).....	55
Tabela 4 - Descrição das bandas do satélite Landsat 8 (OLI-TIRS), com intervalo de comprimento de onda, coeficiente de calibração (radiância mínima - a; radiância máxima - b) e irradiância espectrais no topo da atmosfera (TOA).....	56
Tabela 5 - Tabulação cruzada entre os principais tipos de solo (colunas) com as geoclasses do mapeamento das mudanças ocorridas (linhas) em km ² e %, na bacia do rio Moxotó- PE.....	82
Tabela 6 - Tabulação cruzada entre os principais tipos de solo (colunas) com as geoclasses do mapeamento das mudanças ocorridas (linhas) em km ² e %, na bacia do rio Moxotó - AL.....	83
Tabela 7 - Comparação dos valores estatísticos do IVAS e do IVDN para o mosaico das órbitas 215/66 e 66 do mês de setembro dos anos de 1995, 2006 e 2016.....	96
Tabela 8 - Quantitativo de áreas para cada classe de IVAS-Bacia do rio Moxotó.....	103
Tabela 9 - Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (IVAS).....	103
Tabela 10 - Representação dos valores estatístico mínimo e máximo da Ts da bacia do rio Moxotó.....	106

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APAC	Agência Pernambucana de Águas e Clima
ASD	Áreas suscetíveis à desertificação
BID	Banco Interamericano de Desenvolvimento
BIRD	Banco Internacional para Reconstrução e Desenvolvimento
CPRM	Serviço Geológico do Brasil
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
CSD	Comission on Sustainable Development
DNOCS	Departamento Nacional de Obras contra a seca
ETM+	Enhanced Thematic Mapper
ICMBIO	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
INPE	Instituto de Pesquisas Espaciais
IVAS	Índice de Vegetação Ajustado ao Solo
IVDN	Índice de vegetação Normalizado
LEGAL	Linguagem Espacial de Geoprocessamento Algébrico
MLME	Modelo Linear de Mistura Espectral
ONU	Organização das Nações Unidas
PANBRASIL	Programa Nacional de Combate à Desertificação
PARNA	Parque Nacional
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
SEMAS	Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade Ambiental
SIG	Sistema de informação geográfica
SUDENE	Superintendência de desenvolvimento do Nordeste
REBIO	Reserva Biológica
TM	Thematic Mapper
UNCCD	Convenções das Nações Unidas para o Combate à Desertificação
UNCD	Convenção das Nações Unidas para o Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos das Secas
WMO	World Meteorological Organization

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1 A DESERTIFICAÇÃO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO.....	19
2.2 SENSORIAMENTO REMOTO NA ANÁLISE DE ÁREAS DEGRADADAS.....	24
2.2.1 Processamento digital de imagens	28
2.2.2 Índices de vegetação	30
2.2.3 Temperatura superficial	31
2.2.4 Modelo linear de mistura espectral	32
2.2.5 Linguagem espacial para geoprocessamento algébrico	33
2.3 GESTÃO AMBIENTAL DE ÁREAS SUSCEPTÍVEIS A DESERTIFICAÇÃO EM BACIAS HIDROGRÁFICAS.....	34
2.3.1 Desmatamento da vegetação do bioma Caatinga	37
2.3.2 Solos predominantes nas áreas susceptíveis à desertificação	39
2.3.3 Mudanças climáticas	40
3 METODOLOGIA	44
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	44
3.1.1 Divisão político-administrativa e população urbana e rural	45
3.1.2 Famílias vulneráveis a pobreza na bacia do rio Moxotó	46
3.1.3 Clima	47
3.1.4 Vegetação	47
3.1.5 Hidrografia	47
3.1.6 Reservatórios	48
3.1.7 Característica morfométrica - elevação	48
3.1.8 Caracterização geoambiental	50
3.1.9 Solos predominantes na bacia do rio Moxotó	51
3.2 VISÃO GERAL DA METODOLOGIA.....	54
3.3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	58
3.3.1 Aplicação do modelo linear de mistura espectral	58
3.3.2 Uso da programação LEGAL	59

3.3.3	Tabulação cruzada.....	59
3.3.4	Aplicação dos índices de vegetação.....	60
3.3.5	Temperatura superficial (Ts).....	61
3.3.6	Dados pluviométricos	65
3.3.7	Trabalho de campo.....	66
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	67
4.1	CARACTERÍSTICAS PLUVIOMÉTRICAS PARA AS DATAS EM ESTUDO.....	67
4.2	MAPEAMENTO DA ÁREA DESMATADA NA BACIA DO RIO MOXOTÓ.....	70
4.2.1	Contribuição do PARNA do Catimbau na preservação da biodiversidade da Caatinga.....	76
4.2.2	Mapeamento das mudanças ocorridas entre os anos de 1995, 2006 e 2016.....	78
4.3	ESPACIALIZAÇÃO DOS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO AJUSTADO AO SOLO-IVAS E ÍNDICE DE VEGETAÇÃO NORMALIZADO – IVDN.....	96
4.3.1	Espacialização do IVAS para a bacia do rio Moxotó.....	100
4.4	TEMPERATURA SUPERFICIAL DA BACIA DO RIO MOXOTÓ.....	106
4.4.1	Temperatura superficial nas áreas de alta propensão à desertificação.....	110
4.4.2	Temperatura superficial nas áreas de proteção ambiental.....	116
5	CONCLUSÕES.....	121
	REFERÊNCIAS.....	124
	APÊNDICE A - Programação em legal- cruzamento dos mapas.....	134
	APÊNDICE B - Algoritmo para cálculo do IVDN/ IVAS no SPRING.....	136

1 INTRODUÇÃO

A desertificação é um problema ambiental grave da degradação das terras, que afeta muitos países em todo o mundo, mas é nas regiões de clima árido, semiárido e subúmido de países em desenvolvimento, que esse fenômeno vem causando verdadeiros desastres em decorrência da ação conjugada das fragilidades naturais, das ações antrópicas e mudanças climáticas.

Um dos desafios de se entender e combater o fenômeno da desertificação é conhecer a sua forma de instalação e seu processo de desenvolvimento, só assim, poderá se fazer uso adequado de instrumentos e estratégias preventivas e corretivas, no âmbito da Gestão ambiental, na prevenção de áreas propensas e no combate ao fenômeno.

No cenário pernambucano, 135 municípios fazem parte das áreas susceptíveis a desertificação - ASD (PERNAMBUCO, 2011; CGEE, 2016), e um núcleo de desertificação, encontra-se instalado, o “Núcleo de desertificação de Cabrobó”. No estado de Alagoas, 65 municípios estão inseridos nas ASD (CGEE, 2016). Tal situação é decorrente da ação conjugada das condições edafoclimáticas com a degradação ambiental antropizada dos solos, água e vegetação.

A desertificação é um processo de deterioração ambiental induzida pelo homem, mesmo em regiões de clima não desértico, através do uso inadequado do espaço físico, que são fenômenos mais comuns em um deserto, resultante do rompimento da estabilidade de uma paisagem, dando origem a eventos catastróficos de erosão de vertentes, denudação de solos cultiváveis, formação de campos de dunas (RETALLACK, 1991).

De acordo com Sousa (2003), o sensoriamento remoto e o SIG auxiliam na caracterização e localização integrada de áreas potencialmente degradadas. Mas, o maior propósito para o seu uso conjugado, está em fornecer subsídios para a gestão dos processos dos aspectos ambientais que podem provocar a desertificação.

De acordo com Rosa (2001), o sensoriamento remoto é um conjunto de atividades cujo objetivo consiste na caracterização das propriedades físico-químicas dos elementos naturais, através da detecção, registro e análise de fluxo de energia radiante, por eles refletido e/ou emitido.

Na região semiárida, e especialmente em áreas sob processos de desertificação, o solo constitui o principal componente da resposta espectral nos sistemas sensores, porque o índice

de cobertura vegetal do terreno em geral é menor do que 30%. Solos claros ou avermelhados são mais frequentes, devido ao baixo teor de matéria orgânica e umidade. Essas características permitem a utilização de sensoriamento remoto nesse tipo de estudo, por permitir caracterizar com detalhe mudanças de uso do solo e alterações na cobertura vegetal (CARVALHO; ALMEIDA, 2007).

Estudo realizado por NOBRE (2011), sobre a avaliação dos impactos das mudanças climáticas nos biomas brasileiros, revela que, no Brasil, o bioma mais vulnerável à degradação ambiental, no cenário de aumento das temperaturas globais, é o bioma Caatinga. Para o pesquisador, a região semiárida do Nordeste do Brasil está em estado de alerta, já que a vulnerabilidade do bioma Caatinga aos efeitos das mudanças climáticas representa fator de pressão para a desertificação na região.

Estudos realizados por Freire (2015), mostram a vulnerabilidade desse bioma, mesmo em áreas de proteção ambiental, o autor alerta que a caatinga está em risco.

Nesse sentido, a área de estudo escolhida foi a Bacia do rio Moxotó, localizada totalmente na região semiárida. A bacia do rio Moxotó sofre com vários impactos ambientais, de ordem natural e antrópica, já evidenciadas e comprovadas como a supressão da caatinga e aumento do Albedo (OLIVEIRA; GALVINÍCIO, 2009), a erodibilidade e erosividade (PEDROSA et al., 1998; ABREU et al., 2011) e a salinidade (CERQUEIRA, 2015; SIVA, 2014).

Diagnóstico realizado por Pedrosa et al. (1998), revela que a bacia do rio Moxotó apresenta-se com sérias restrições às demandas hídricas locais, devido a instabilidades das precipitações, proeminentes valores de evapotranspiração local, e baixa capacidade de retenção hídrica pelos solos. Essa situação, agravam a disponibilidade hídrica, que é revelada através da intermitência de seus afluentes, e das baixas vazões do leito principal do rio Moxotó, apesar de possuir mais de 9.000 km² de área de drenagem.

Estudo realizado por Abreu et al. (2011), na bacia do Rio Moxotó revela traços de desertificação na região, em consequência da supressão da caatinga e favorecimento dos agentes erosivos.

Outro problema presente na bacia do rio Moxotó é salinização dos solos situados, especialmente, no perímetro irrigado do Moxotó (PIMOX). Esse problema é o mais grave da região do vale do Moxotó, entre Ibimirim e Inajá que precisa ser estudado, buscando-se meios de mitigá-lo ou mesmo evitá-lo.

Esse problema é oriundo da forma inadequado do sistema de irrigação e tem ocasionado problemas de salinização do solo em extensas áreas do Perímetro, sobretudo nas áreas de ocorrências dos Planossolos, que possuem drenagem deficiente e risco de salinidade associados às diferenças texturais entre seus horizontes e à concentração de sais em subsuperfície (SILVA; VASCONCELOS, 2016).

De acordo com Accioly (2010), a salinização é a principal causa da deterioração dos solos, e conseqüente a desertificação nas áreas de agricultura irrigada. Assim, a desertificação associada à salinização dos solos tem maior ocorrência nas áreas irrigadas do Nordeste Brasileiro, embora sua espacialização seja consideravelmente menor em relação às áreas de sequeiro afetadas pelo problema.

Diante dos cenários apresentados, na bacia do rio Moxotó, esse estudo se justifica em investigar áreas susceptíveis à desertificação em bacias hidrográficas. A susceptibilidade de áreas à desertificação, nessa pesquisa é compreendida como a possibilidade de ocorrência de processos desertificativos. Assim, partiu-se do pressuposto que a estabilização de solos degradados, desnudos ou com vegetação muito rala, ao longo dos anos, no contexto de mudanças climáticas, podem potencializar processos desertificativos nas regiões semiáridas.

Nesse sentido, a gestão ambiental como área do conhecimento sobre o meio ambiente que gerencia as interações dos fenômenos ecológicos com os processos antrópicos, tem o papel fundamental no âmbito da prevenção, recuperação e reabilitação de áreas degradadas. Para tanto, conta com o aporte do geoprocessamento, por meio das contribuições do sensoriamento remoto e SIG na identificação e, análise do comportamento espacial e temporal de áreas susceptíveis à desertificação e áreas desertificadas.

Nesse contexto, a pesquisa teve como objetivo geral analisar áreas em processo de degradação ambiental susceptíveis à desertificação nos municípios situados na bacia do rio Moxotó.

Os objetivos específicos desta pesquisa foram:

- Mapear a espacialização do desmatamento para três períodos distintos (1995, 2006 e 2016).
- Caracterizar as mudanças ocorridas.
- Indicar as áreas propensas à desertificação relacionando com os principais tipos de solos.
- Mapear a espacialização do IVAS nas datas em estudo.

- Mapear a espacialização da temperatura superficial (Ts).

As hipóteses que nortearam este estudo foram:

- A estabilização de áreas desnudas ou de vegetação rala, no bioma caatinga ao longo dos anos podem sinalizar áreas de grande potencial à desertificação.
- Áreas degradadas, estabilizadas ao longo dos anos, apresentam maiores valores de Ts e menores valores de IVAS.

1.1 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A dissertação foi estruturada, de acordo com a seguinte organização: Introdução, Revisão bibliográfica, Metodologia, Resultados e discussão, Conclusões, Referências bibliográficas.

Na introdução são apresentados a problemática, a justificativa e os objetivos gerais e específicos, assim como as hipóteses que norteiam esta pesquisa.

Na revisão bibliográfica foram abordados temas sobre a desertificação, sensoriamento remoto, processamento de imagens orbitais e gestão de bacias hidrográficas como aportes teóricos contribuintes com a pesquisa. Assim, a revisão bibliográfica foi estruturada em 4 seções. A primeira seção, intitulada “A desertificação como problema global”, traz uma breve revisão sobre a desertificação, enquanto um problema de discussão global, salientando os principais eventos da história que abordaram a problemática. A segunda seção aborda o sensoriamento remoto e a resposta espectral dos alvos na cobertura terrestre. A terceira seção enfatiza o processamento digital de imagens orbitais na obtenção e análise de áreas degradadas, descreve a importância da aplicação de modelos matemáticos como os índices de vegetação e a sensibilidade da temperatura superficial como parâmetro de mudança e uso da cobertura do solo. A quarta seção, intitulada “A Gestão ambiental de áreas susceptíveis à desertificação em bacias hidrográficas”, aborda a conceituação da gestão ambiental e enfatiza a importância das técnicas de sensoriamento remoto como um instrumento de gestão no apoio à identificação e análise de áreas susceptíveis e desertificadas.

Em metodologia são apresentados a caracterização da área de estudo, os materiais e métodos. São mostradas todas as etapas e fluxograma da pesquisa, tais como: as técnicas, as programações e fórmulas na obtenção do processamento e análise dos dados.

Os resultados e discussão foram organizados em quatro seções, a primeira seção aborda as características pluviométricas durante as datas em estudo, a segunda seção faz referência ao desmatamento da caatinga, as mudanças ocorridas e investiga, sobretudo, a estabilização de áreas degradadas para o período de 21 anos; a terceira seção aborda os resultados e discussão sobre a espacialização do IVAS, relacionando a estabilização das áreas degradadas, e a quarta seção mostra os resultados da variação da temperatura superficial para as áreas degradadas e áreas com proteção ambiental.

As conclusões mostram a percepção geral dos resultados obtidos na pesquisa. Por fim, são apresentados as referências bibliográficas e os apêndices.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A DESERTIFICAÇÃO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

A desertificação é um problema ambiental grave que ocupa lugar de destaque entre as grandes preocupações contemporâneas sobre os problemas ambientais nas regiões áridas e semiáridas. A desertificação ocorre em muitos países do mundo, mas o fenômeno é intensificado nos países subdesenvolvidos, causando impactos negativos no âmbito econômico, social e ambiental.

Na região Nordeste do Brasil, esse fenômeno se propaga na região semiárida, pela integração do clima com a vasta combinação da vulnerabilidade dos recursos naturais e impactos das ações antrópicas, que juntos constituem o cenário de suscetibilidade à desertificação.

A desertificação é um problema global, simultaneamente um fenômeno natural e um processo induzido por atividades antrópicas, oriundos de processos envolvendo erosão do solo e degradação das terras, em regiões de baixo regime pluviométrico (BRABANT, 2010).

A classificação de suscetibilidade à desertificação das áreas brasileiras foi determinada seguindo as orientações da Convenção das Nações Unidas para o Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos das Secas – UNCCD. Esta convenção propôs a adoção do índice de aridez (IA), fundamentada na classificação climática de Thorntwaite, a partir de sua obra “Atlas of climactic types in the United States”, publicada em 1941. A classificação climática calcula o índice de aridez pela razão entre a precipitação pluviométrica e a evapotranspiração (SANTANA, 2007).

De acordo com Costa e Brito (2002), o primeiro mapa de susceptibilidade à desertificação foi elaborado pelo Núcleo Desert/ IBAMA em 1992, por ocasião da realização da Conferência Internacional sobre o Impacto das Variações Climáticas no Desenvolvimento Sustentável do Semiárido-ICID. O Nordeste do Brasil apresenta grande diferenciação ecológica, com secas e estiagens atingindo grande parte do território. Simplificadamente a região pode ser dividida em quatro grandes conjuntos fisiográficos: Mata, Agreste, Cerrado e Sertão (BRITO, 2000).

A porção semiárida do Nordeste brasileiro compreende uma área de cerca de 900.000 km², abrangendo ambientes do embasamento cristalino e áreas sedimentares sob forte

irregularidade climática. Além disso, verifica-se que o clima e a qualidade das terras apresentam limitações muito fortes para o desenvolvimento de atividades de cunho agropecuário que possam competir com os produtos oriundos de outras regiões. A não ser em algumas áreas específicas e, contando com significativos investimentos em tecnologia, a produtividade agrícola é baixa e a produção incerta (COSTA; BRITO, 2002).

Os parâmetros para a determinação do índice de aridez, adaptados para a região nordeste do Brasil, foram estimados por Brito (2000), a partir da compatibilidade de equações empíricas com a climatologia da região, sendo os processos de desertificação mecanismos de mudanças climáticas regionais e locais, em terras áridas, semiáridas e subúmidas (BRITO; BRAGA, 2002).

A região semiárida oficial brasileira foi criada pela Lei Federal nº 7.827, de 27 de setembro de 1989 em substituição ao Polígono das Secas. O critério adotado para sua delimitação foi à precipitação pluviométrica média anual inferior a 800 mm, ficando a cargo da SUDENE a tarefa de definir os limites desta região. Na década de 90, em vários momentos, a SUDENE alterou sua delimitação, muitas vezes por critérios técnicos, mas também por pressões políticas de prefeituras (SANTANA, 2007).

A desertificação foi conceituada pela Convenção das Nações Unidas para o Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos das Secas – UNCCD como "a degradação da terra nas regiões áridas, semiáridas e subúmidas secas, resultante de vários fatores, entre eles as variações climáticas e as atividades humanas" (BRASIL, 1999).

O entendimento da propagação desse fenômeno é tão complexo que nos dias atuais ainda há dificuldade de intervir em sua propagação, o que Matallo Júnior no ano de 2001, em sua obra "Indicadores de desertificação: histórico e perspectivas, chamou atenção às fragilidades teóricas e/ou metodológicas, acerca do tema, tais como a "amplitude conceitual", a "ausência de métodos de estudo universalmente aceitos", "ausência de métodos confiáveis para a identificação de processos de desertificação", e a "falta de uma metodologia de avaliação econômica da desertificação" (MATALLO, 2001).

Brabant (2010) descreve a desertificação como sendo um declínio irreversível ou processo de destruição que afeta o potencial biológico das terras e sua capacidade de produção de alimentos.

Contudo, a temática da desertificação vem sendo abordada ao longo das décadas, passou a ser um fenômeno alvo das discussões internacionais, a partir da década de 1970, em virtude de uma grande seca que atingiu o Sahel africano no período de 1968 a 1973,

provocando a morte de mais de 500 mil pessoas e causando forte impacto econômico, social e ambiental (NEVES; ROXO, 2010).

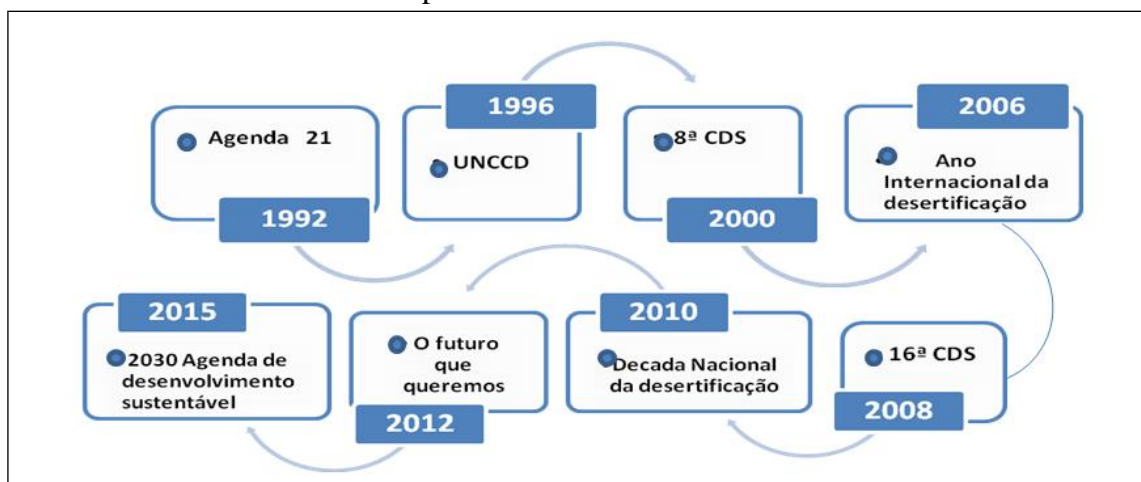
Esse desastre fez com que o mundo temesse a expansão do fenômeno nos países, de condições climáticas com similaridade ao clima da África, assim o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente - PNUMA, em 1977 realizou em Nairóbi (Quênia) a 1ª Conferência das Nações Unidas sobre Desertificação, tentando desenvolver ação integrada, em nível mundial, para combater a expansão deste fenômeno. Os objetivos desta conferência foram registrados no documento intitulado Plano de Ação de Combate à Desertificação – PACD. Participaram desse evento, diversos países, inclusive o Brasil (LIMA et al., 2010).

Durante a conferência, foram disseminadas metodologias que apontaram, naquela época, a solução para identificação da desertificação, assim o método desenvolvido por Thornthwaite no ano de 1941, e posteriormente atualizado por Penman no ano de 1953, o Grau (ou Índice) de Aridez entre 0,21 e 0,65 para a aplicação do PACD. Com base neste índice, foi criado nesta reunião um mapeamento preliminar, onde esse processo poderia ocorrer (MATALLO JÚNIOR, 2001).

Assim, a Convenção limita a ocorrência da desertificação às áreas que se situam nas zonas áridas, semiáridas e subúmidas secas; áreas que apresentam a razão entre a precipitação anual e a evapotranspiração potencial entre 0,05 e 0,65 (SAMPAIO et al., 2003).

A Figura 1 representa os eventos globais que aconteceram a partir da pactuação da CNUCD, desde a Rio 92 até a agenda 2030 em 2015, que abordaram o tema da desertificação.

Figura 1 - Principais eventos globais que abordaram a problemática da desertificação, no período de 1992 a 2015



Fonte: Modificado pelo autor com base nas United Nations (2016).

Durante esses eventos foram construídos relatórios que de certa forma apresentam instrumentos de apoio ao planejamento para o combate à desertificação.

Todos eles, com características peculiares representando as discussões e diálogos do conhecimento científico na época de realização, e resumidos no Quadro 1, abaixo:

Quadro 1 - Descrição dos principais eventos a nível global em que se discutiu a desertificação entre 1992 a 2015

Evento/Ano	Descrição
Agenda 21/1992	A agenda representou o consenso e parceria global dos países para o desenvolvimento sustentável. Um programa dinâmico a ser implementado com o compromisso político no mais alto nível de desenvolvimento e cooperação ambiental.
UNCCD/ 1996	A conversão foi considerada como o único acordo internacional juridicamente que integra o ambiente e o desenvolvimento ao manejo sustentado da terra. A convenção aborda especificamente as áreas áridas, semiáridas, e subúmidas secas, conhecidas como áreas secas, onde alguns dos ecossistemas e povos mais vulneráveis podem ser encontrados
8ªCDS/2000	A CSD –Comissão das nações unidas para o desenvolvimento sustentável foi criada pela Assembleia Geral das Nações unidas em dezembro de 1992 para assegurar o acompanhamento efetivo da conferência das Nações Unidas sobre o meio ambiente e desenvolvimento (UNCED), também conhecida como Cúpula da Terra, em sua 8ª reunião, abordou em seu capítulo 4, a importância de agricultura sustentável e a gestão de terras, integrando planejamento e gerenciamento de recursos de terra e recursos financeiros, comércio e investimento e crescimento econômico.
Ano internacional dos desertos e da desertificação	Ano internacional dos desertos e da desertificação foi lançado para destacar a ameaça representada pelo avanço dos desertos e a perda que pode causar à biodiversidade. As ações Unidas visaram sensibilizar o público sobre esta questão e reverter à tendência da desertificação, estabelecendo um mundo num caminho de desenvolvimento mais seguro e sustentável.
16ª CSC	Nessa reunião o foco temático centrou-se na agricultura, no desenvolvimento rural, na terra, na seca e na desertificação e da África.
Década Nacional da desertificação/2010	Abordou a preocupação das partes quanto à piora da situação de desertificação e seu impacto negativo na realização dos objetivos de desenvolvimento do Milênio. Assim, a década que começou em janeiro de 2010 e terminará em dezembro de 2020 com o objetivo de promover ações que garantam a proteção das terras secas.
O futuro que queremos	Nos parágrafos 207 e 208 os estados Membros incentivam e reconhecem a importância de parcerias e iniciativas para as salvaguardas dos recursos fundiários, desenvolvimento e implementação de métodos e indicadores cientificamente baseados, sólidos e socialmente inclusivos para monitoramento e avaliação, a extensão da desertificação da terra e seca.

Fonte: Elaborado pelo autor com base nas United Nations (2016).

No Brasil, os estudos sobre a desertificação se intensificaram a partir da Rio 92, onde foi discutida e pactuada a Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação nos

Países afetados por seca grave e/ou Desertificação, principalmente na África (SANTANA, 2007).

Com isso, foram desenvolvidos Programas para combater a desertificação, como é o exemplo do Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca -PAN- Brasil, criado em 2005, cujo objetivo geral estabelece diretrizes e instrumentos legais e institucionais que permitam apoiar a formulação e execução de políticas públicas e investimentos privados nas áreas suscetíveis à desertificação (ASD), no âmbito da política de combate à desertificação e mitigação dos efeitos da seca e de promoção do desenvolvimento sustentável (PAN-BRASIL, 2004).

O evento 2030, conhecido como Agenda de desenvolvimento sustentável, aborda no parágrafo 33 a ligação entre a gestão sustentável dos recursos naturais do planeta e desenvolvimento social e econômico, bem como apresenta aspectos para reforçar a cooperação dos países no combate à desertificação, assim como a degradação dos solos e tempestades de areia (ASSEMBLY UN GENERAL, 2015).

A nova delimitação do semiárido brasileiro, conforme o MIN (2005) aumentou oficialmente, em 8,66%, passando de 892.309 km² para 982.563 km². A nova delimitação leva em consideração três índices, isto é, o da precipitação pluviométrica média anual inferior a 800 milímetros (isoieta de 800 mm); o índice de aridez de até 0,5 calculado pelo balanço hídrico que relaciona as precipitações e a evapotranspiração potencial, no período entre 1961 e 1990; e o risco de seca maior que 60%, tomando-se por base o período entre 1970 a 1990.

Um dos pioneiros no estudo da desertificação no Brasil foi Vasconcelos Sobrinho que a partir do resultado de sua pesquisa, implantou seis áreas pilotos, onde existiam processos de degradação de solo e da cobertura vegetal. Esses núcleos compreendem os estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco e Bahia. Dentre esses núcleos, os de Gilbués (PI), Irauçuba (CE), Seridó (PB) e Cabrobó (PE), foram caracterizados como de alto risco à desertificação, devido à constatação de ações antropogênicas que favoreceram intensa degradação, como exemplo, a substituição da caatinga por práticas de agricultura, pecuária e exploração de madeira para produção de lenha e carvão (SANTANA, 2007).

No Estado de Pernambuco, o núcleo de desertificação compreende os municípios: Belém de São Francisco, Cabrobó, Carnaubeira da Penha, Floresta e Itacuruba (PERNAMBUCO, 2011).

A preocupação com a intensificação do processo da desertificação é um fator crescente nos estados situados no semiárido brasileiro (SANTANA, 2007). No Estado de Pernambuco,

o combate à desertificação passou a ser um eixo temático do plano estadual de mudanças climáticas, em 2007, com a criação da Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade Ambiental (SEMAS).

O estado de Pernambuco apresenta 135 municípios inseridos nas áreas suscetíveis à desertificação (ASD), onde vivem, conforme resultados do censo demográfico de 2000, cerca de 2.622.519 milhões de habitantes, apresentando densidade demográfica de 35,34 hab./km² (PERNAMBUCO, 2011).

2.2 SENSORIAMENTO REMOTO NA ANÁLISE DE ÁREAS DEGRADADAS

O sensoriamento remoto pode ser definido como a tecnologia que possibilita a aquisição de imagens e outros tipos de dados, oriundos da superfície terrestre, através da captação e do registro da energia refletida ou emitida dos objetos terrestres (FLOREZANO, 2013). Constitui-se na utilização conjunta de sensores, equipamentos para processamento e transmissão de dados e plataformas, com o objetivo de estudar o ambiente terrestre através do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias componentes do planeta terra, em suas mais diversas manifestações (NOVO, 2010).

O uso do sensoriamento remoto na detecção, avaliação e monitoramento da desertificação nas regiões de climas áridos e semiáridos é amplamente reconhecido e aplicado, isto porque as radiações eletromagnéticas refletidas, transmitidas, absorvidas, dispersas dos alvos da superfície da terra, respondem de formas diferentes nos comprimentos de ondas (NEGASH, 2016).

A energia eletromagnética se origina da transformação de outras formas de energia, e varia ao longo do espectro eletromagnético (NOVO, 2010). Contudo, espectro eletromagnético representa a distribuição da radiação eletromagnética, por regiões, seguindo o comprimento de onda e a frequência (FLOREZANO, 2013).

Dessa forma, a representação do espectro eletromagnético foi arbitrariamente organizada em intervalos de comprimentos de onda com base nos mecanismos físicos geradores da energia eletromagnética e nos mecanismos físicos de sua detecção (MENEZES et al., 2012).

O Quadro 2 mostra a divisão do espectro eletromagnético em intervalos espectrais, comprimento de ondas e características dos intervalos, possíveis de serem usados pelos sensores remotos.

Quadro 2 - Divisão do espectro eletromagnético em intervalos, comprimento de onda e características dos intervalos espectrais.

Intervalo Espectral	Comprimento de Onda	Características dos intervalos espectrais
Visível	0,38 – 0,76 μm	Alta intensidade de fluxo radiante e onde há a melhor janela atmosférica, bastante transparente, deixando passar uma grande quantidade de radiação. É a região responsável pela interação com os minerais e que dá origem às suas cores e com os pigmentos da vegetação. É chamada de visível, porque o olho humano é sensível a essa região espectral
Infravermelho próximo	0,76 – 1,2 μm	Região do espectro solar onde a atmosfera também é bastante transparente. É o intervalo onde ocorrem importantes interações da REM com os níveis de energia eletrônica dos átomos, gerando feições espectrais que são diagnósticas para identificar a natureza de vários tipos de rochas, principalmente as de composição mineral com metais de transição (Fe, Ni, Cr, Mn...)
Infravermelho de ondas curtas	1,2 – 3,0 μm	É a região espectral geológica, porque é nesta faixa espectral que os vários minerais de alteração hidrotermal têm as suas diagnósticas feições de absorção. É a região onde os comprimentos de ondas em 1,4 μm e em 1,9 μm são totalmente absorvidos pelas moléculas de vapor d'água da atmosfera, proibindo o uso do sensoriamento remoto e, por consequência, de se determinar nos materiais terrestres a presença de água molecular nas suas estruturas.
Infravermelho médio	3,0 – 5,0 μm	Região onde o Sol e a Terra não emitem quantidades suficientes de energia que possam ser detectadas pelos sensores. Somente alvos com elevadas temperaturas, como vulcões e incêndios, podem ser detectados, pois agem como fontes próprias de emissão de radiação. É uma região espectral pouco usada no sensoriamento remoto, à exceção de sensores meteorológicos ou atmosféricos.
Infravermelho termal	5,0 μm – 1 mm	É conhecido como a região termal, devido à radiação emitida pelos objetos terrestres em função das suas temperaturas de superfícies. A melhor janela atmosférica nessa região espectral para imageamento orbital é o intervalo de 8,0 Pm a 14,0 Pm, porque acima de 30 km, a camada de ozônio absorve toda a radiação além de 14 Pm emitida pela Terra. Ótima faixa espectral para detecção de quartzo de veios nas rochas.
Microondas	1 mm – 100 cm	Região de uso de sensores ativos (radar), que utilizam fontes artificiais para a geração da REM. Por causa do tamanho do comprimento de onda, o radar tem a habilidade de operar em condições atmosféricas adversas, com coberturas de nuvens ou chuvas, e pode operar tanto de dia como à noite. Importante para a geologia estrutural e mapeamento geológico, porque a interação das micro-ondas com as rochas é controlada pelas texturas de relevo.

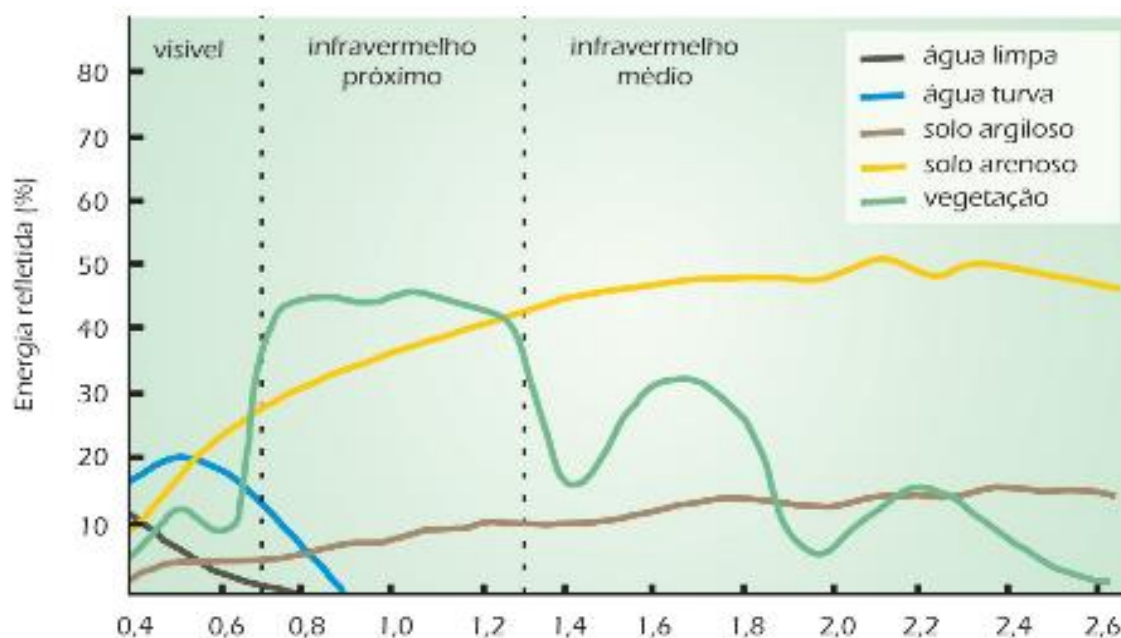
Fonte: Elaborado pelo autor a partir de Meneses et al. (2012).

De acordo com o Quadro 2, é possível perceber que os intervalos espectrais representam comprimento de ondas que correspondem a determinadas características. Isso,

explica a importância de se conhecer bem o comportamento espectral dos elementos na superfície terrestre para a qual se pretende obter dados para determinada aplicação, os objetos na superfície terrestre interagem de maneira diferenciada espectralmente com a energia eletromagnética incidente, devido as suas propriedades físico-químicas e biológicas (MORAES, 2002).

A Figura 2 mostra a variação da energia refletida dos elementos água limpa, água turva, solo argiloso, solo arenoso e vegetação, representada por curvas.

Figura 2 - Curva espectral da vegetação, da água e do solo



Fonte: Florezano (2011).

A partir da Figura 2, percebe-se a diferença do comportamento espectral dos elementos: água limpa, água turva, solo argiloso, solo arenoso e vegetação. São essas variações de energia refletida dos elementos que apoiam a identificação e diferenciação dos mesmos em imagens de sensoriamento remoto.

A vegetação verde e sadia reflete mais energia na faixa do visível (0,38-0,76 µm). Mas, é na faixa do infravermelho próximo que a vegetação reflete mais energia e se destaca dos outros elementos (PONZONI et al., 2007; FLORENZANO, 2011; MENESES et al., 2012).

Os solos arenosos e argilosos apresentam comportamentos diferentes na curva espectral, isso porque a curva espectral é o resultado da interação da radiação eletromagnética

com os atributos dos solos, ou seja, os solos argilosos têm maior teor de matéria orgânica por isso apresentam menor intensidade de reflectância, quando comparado com o solo arenoso que tem pouco teor de matéria orgânica e por isso apresentam uma maior reflectância (DEMATTÊ et al., 2005).

Em relação à reflectância da água, o comportamento espectral da água pura reflete pouca energia na região do visível, mas a água turva reflete mais energia, devido à presença de matéria orgânica e inorgânica (BARBOSA et al., 2003). As regiões de comprimento de onda do infravermelho próximo e o infravermelho médio são as melhores regiões para se diferenciar a terra da água pura (JENSEN, 2009).

Ainda conforme, o quadro 1, no espectro magnético há uma região entre o visível e o microondas, que compreende valores entre (0,7-1,0 μ m), denominado infravermelho. Essa região subdivide-se em 3 partes, infravermelho próximo (0,7-3,0 μ m), o infravermelho termal (0,3-20,0 μ m) e o infravermelho distante (20,0 μ m-1000 μ m).

A região do infravermelho próximo em termos de interação com a REM com os objetos da superfície terrestre é trabalhada de modo semelhante à radiação do visível, diferente mente a região do infravermelho distante não é usada em sensoriamento remoto (JESSEN, 2009).

O infravermelho termal compreende o comportamento térmico dos materiais que compõem a superfície da terra. Isso, devido ao fato que todos os objetos com temperatura acima de zero absoluto, emitem energia eletromagnética, por meio da movimentação de suas partículas (NOVO, 2010). Portanto alterações na superfície terrestre, como supressão da vegetação, degradação dos solos e dos espelhos d'água, queimadas podem ser detectadas pelo estudo termal da superfície.

No entanto, as alterações na superfície terrestre, a partir do estudo das respostas espectrais dos alvos obtidos pelas imagens brutas adquiridas por sensoriamento remoto, necessitam de tratamento e processamento para poderem ser compreendidas e analisadas.

As imagens obtidas por sensoriamento remoto são representações matriciais cujos valores correspondem à intensidade de energia refletida ou emitida pelos objetos da superfície terrestre (FLOREZANO, 2013). São compostas por pixels, e a visão humana permite a extração de informação mediante a análise de inúmeros pixels em conjunto e não de forma isolada, como também o limite de resolução radiométrica fornecido pelos sensores (PONZONI, 2015).

Assim, são utilizados softwares especializados, por exemplo, o Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (SPRING), constituído pelo INPE. O SPRING é um SIG (Sistema de Informações Geográficas) que possibilita realizar funções, tais como: processamento de imagens, análise espacial, modelagem numérica de terreno e consulta a bancos de dados espaciais; e permite por meio da Programação de Álgebra de Mapas - LEGAL efetuar operações aritméticas entre as bandas das imagens (CÂMARA, 1996).

2.2.1 Processamento digital de imagens

O Processamento Digital de Imagens (PDI), consiste no tratamento de uma imagem por computador de modo que a entrada e a saída do processo resultem em imagens. O objetivo de se usar processamento digital de imagens é melhorar o aspecto visual de certas feições estruturais para o analista humano e fornecer outros subsídios para a sua interpretação, inclusive gerando resultados que possam ser posteriormente submetidos a outros processamentos (CÂMARA, 1996).

Conforme Jessen (2009), os principais tipos de processamento digital de imagens incluem o pré-processamento (correções radiométricas e geométricas), o realce das imagens, o reconhecimento de padrões usando estatísticas inferenciais, o processamento fotogramétrico de imagens usando estereoscópicos, sistemas neurais especialistas (árvores de decisão) e análise de imagens usando redes neurais, análise de dados hiperespectrais, e detecção de mudanças.

A técnica de realce tem como objetivo principal preparar as imagens brutas em imagens adequadas para uso, e recebem a aplicação de algoritmos que visam corrigir imperfeições geométricas e radiométricas (PONZONI, 2015).

Enquanto que as técnicas de classificação digital constituem um processo de reconhecimento de padrões de objetos homogêneos, e os algoritmos responsáveis pela efetiva realização da classificação digital, são conhecidos por “classificadores” e podem ser divididos por “regiões” e “pixel a pixel”. Os classificadores pixel a pixel utilizam a informação espectral de cada pixel para definir regiões homogêneas, enquanto que os classificadores por regiões utilizam, além de informações espectral de cada pixel, a informação espacial que envolve a relação com os seus vizinhos (PONZANI; SHIMABUKURO, 2015).

Os produtos obtidos com o processamento digital de imagens na detecção de áreas degradadas por meio do comportamento espectral dos alvos por sensores, nos diferentes níveis de observação, permitem detectar as modificações no albedo, na temperatura superficial, índices de vegetação e de brilho, mudanças do uso e ocupação das terras, dentre outros, na identificação de áreas degradadas e em estado de desertificação (FREIRE; PACHÊCO, 2011).

As operações aritméticas entre as bandas como a adição, subtração, multiplicação e divisão de imagens, são técnicas simples e permite a detecção de muitos fenômenos ambientais, inclusive a degradação. A adição e multiplicação, por exemplo, realçam as similaridades espectrais e são eficientes para destacar as unidades de relevo e drenagem. A subtração e a divisão realçam as diferenças espectrais e eliminam ou suavizam a textura da imagem, e pode ser usada para destacar os processos de cicatrização de erosão (CRÓSTA, 1993; FLOREZANO, 2013).

A subtração entre bandas na detecção de padrões de mudança na imagem pode identificar uma infinidade de degradações, tais como: desmatamento, expansão urbanas, degradação hídrica, dentre outros (CRÓSTA, 1993).

Para os autores Bursztyn e Bursztyn (2012) a degradação ambiental ocorre na medida em que os efeitos resultantes destes fatores de pressão sobre o meio ambiente não podem ser atenuados pela capacidade de absorção dos meios receptores ou compensadores pela resiliência dos ecossistemas, comprometendo a qualidade ambiental ou o estoque de recursos ambientais.

Um exemplo, entre as técnicas de processamento digital, com uso de operações aritméticas entre bandas para obtenção da degradação da vegetação, foi aplicado por Freire e Pacheco (2011), que realizaram a razão entre as bandas (divisão) do NDVI de 1989 e 2003 para detectar a degradação da vegetação, na região de Xingó.

De acordo com Brabant (2010), a degradação das terras pode ser entendida como um processo de minimização ou destruição do potencial produtivo agrícola /pecuária e da capacidade de produção florestal da terra.

Para apoiar a interpretação de imagens processadas digitalmente, pesquisadores desenvolveram “chaves de interpretação”. Essas chaves constituem um conjunto de informações que apoia a identificar os objetos e atribuir significado. As chaves de interpretação são úteis na análise de imagens realçadas e/ou integradas por técnicas de processamento digital (FLOREZANO, 2013).

Nas imagens de satélites, as degradações das terras podem ser percebidas por meio das características foto interpretativas (VENEZIANI; ANJOS, 1982), em que a textura e os níveis de cinza ajudam a identificar a degradação das terras pela refletância dos alvos, como mostra o Quadro 3.

Quadro 3 - Características foto interpretativas dos níveis de degradação das terras

Nível de Degradação	Textura	Nível de Cinza
Muito baixo	Fina	Muito escuro
Baixo	Fina	Escuro
Moderado- baixo	Fina-média	Escuro médio
Moderado	Média	Média
Moderado-grave	Grosseira	Médio- claro
Grave	Média -grosseira	Médio claro-claro
Núcleos de desertificação	Fina	Muito claro

Fonte: Moura (2006).

2.2.2 Índices de vegetação

A aplicação dos índices de vegetação no monitoramento da paisagem terrestre por sensores remotos, ocorrem desde a década de 70. Sua utilização tem sido bem sucedida, não apenas na avaliação da condição da vegetação, mas no aporte de vários estudos relacionados como por exemplo, no uso e cobertura da terra, na detecção das alterações climáticas e no monitoramento da seca (GLENN et al., 2008).

Os índices de vegetação são caracterizados como medidas radiométricas adimensionais, as quais indicam a abundância relativa e a atividade da vegetação verde, incluindo índice de área foliar (IAF), porcentagem da cobertura verde, teor de clorofila, biomassa verde, e radiação fotossinteticamente ativa absorvida (JESSEM, 2009).

Embora exista muitas variações, os índices de vegetação relacionam os valores refletidos da banda do infravermelho próximo do espectro, que permite detectar na paisagem a água, o solo e a vegetação. Diversos estudos mostram que os índices estão relacionados quase linearmente com a radiação fotossinteticamente ativa absorvida pelos processos fisiológicos que dependem da luz como a fotossíntese, que ocorre no dossel superior (GLENN et al., 2008).

Os índices de vegetação, por exemplo, constituem um dos elementos importantes no estudo das áreas degradadas, pois permite monitorar alterações que ocorrem nas superfícies vegetadas, terrestres, sejam elas de causas antrópicas ou naturais (FEITOSA et al., 2004).

Esses índices podem ser utilizados para apoiar estudos que tratem de temática da desertificação, pois há uma alta correlação com a fitomassa verde e com o grau de cobertura do solo por vegetação (KUNDU et al., 2011; BEZERRA et al., 2014).

2.2.3 Temperatura superficial

Durante o processo de interação terra-atmosfera, a temperatura da superfície terrestre (T_s) é um indicador fundamental para caracterizar a energia, bem como a troca de massa entre a atmosfera e a superfície do solo, sendo imprescindível no estudo de uma variedade de campos, como: meteorologia, geologia, hidrologia e ecologia (TOMLINSON et al., 2011).

A energia eletromagnética captada pelos sensores térmicos, emitida por um objeto é a sua temperatura radiante (JESSEM, 2009). Essa radiação eletromagnética é função basicamente, da temperatura de corpo e sua emissividade (ϵ) (NOVO, 2015). Nesse sentido, os objetos na superfície terrestre em função de sua emissividade terão comportamento termais distintos.

A emissividade espectral refere-se à capacidade relativa de uma superfície emitir radiação de forma variável devido a heterogeneidade dos objetos presentes na terra, influenciado pela composição de seus elementos (TOMLINSON et al., 2011), como áreas de corpos de água, áreas com vegetação densa, solos expostos, áreas construídas.

Vários estudos apontam a relação entre os índices de vegetação com a temperatura superficial (WENG et al., 2004), isso porque a densidade da vegetação é um fator influente de controle de medidas da temperatura superficial.

Nas regiões de clima árido e semiárido a T_s é um dos indicadores de aumento do estresse hídrico (HONG; LAKSHMI; SMALL, 2007), pois a vegetação adapta-se as condições climáticas. Assim, durante os períodos de baixa pluviometria, algumas espécies da caatinga reduz a evapotranspiração, fechando os estômatos para controlar a perda de umidade, isso faz com que ela absorva menos a energia, aumentando assim sua energia irradiante.

Temperatura Superficial– T_s vem ganhando relevância nos trabalhos de sensoriamento remoto. Na visão de Oliveira e Rosa (2013), o estudo da distribuição da temperatura na

paisagem propicia a avaliação da qualidade ambiental, alterações no uso da terra por análise espaço temporal indicando ações de conservação ou de recuperação do solo, da vegetação e dos recursos hídricos.

2.2.4 Modelo linear de mistura espectral

A técnica Modelo linear de mistura espectral-MLME, de acordo com Shimabukuro et al. (1997), estima a proporção dos componentes, tais como solo, vegetação e sombra ou água, para cada pixel, a partir da resposta espectral nas diversas bandas do TM, constituindo as frações de imagens solo, vegetação e sombra (SHIMABUKURO; PONZONI, 2017; SHIMABUKURO; SMITH, 1991), que corroboram a informação espectral em informação física.

As imagens-fração, também chamadas de endmembers são produtos oriundos da aplicação dos algoritmos matemáticos, cujos resultados são imagens frações geradas :vegetação, solo e água, no intervalo de 0 a 1. Os endmembers são monocromáticos, e os Nd que os compõem diretamente associado às proporções de cada um dos respectivos componentes da cena selecionados para o modelo de mistura espectral realça as áreas. (SHIMABUKURO; PONZONI, 2017).

Essa técnica pode ser representada como:

$$ri = a * vegei + b * soloi + c * sombrai + ei \quad (1)$$

Onde:

ri = É a resposta do pixel na banda i da imagem tm/landsat;

a, b e c = Proporções de vegetação, solo e sombra (ou água), em cada pixel;

$vegei, soloi$ e $sombrai$ = são as respostas espectrais das componentes vegetação, solo e sombra (ou água), respectivamente; ei é o erro na banda i e i indica a banda do TM. Após a aplicação do MLME, faz-se, a segmentação e classificação da fração solo.

De acordo com Florezano (2013) a técnica de segmentação de imagens permite dividir a imagem em regiões espectralmente homogêneas. Na aplicação devem ser definidos dois limiares: de similaridade (limiar mínimo, abaixo do qual duas regiões são consideradas

similares e agrupadas em uma única região; e o limiar de área, valor de área mínima, dado em número de pixels, para que uma região seja individualizada.

Classificação é o processo de extração de informação em imagens para reconhecer padrões e objetos homogêneos. Os Classificadores "pixel a pixel" utilizam apenas a informação espectral isoladamente de cada pixel para achar regiões homogêneas.

O resultado de um processo de classificação é uma imagem digital que constitui um mapa de "pixels" classificados, representados por símbolos gráficos ou cores (CÂMARA, 1996).

Aplicação dessa técnica tem apoiado pesquisadores na identificação de áreas degradadas e desertificadas. Nos trabalhos realizados por Metternicht e Fermont (1998), permitiu a identificação de áreas degradadas com erosão. Na pesquisa de Carvalho e Almeida Filho (2007), os autores conseguiram com sucesso estimar a extensão do processo de desertificação que ocorre na região de Gilbués.

2.2.5 Linguagem espacial para geoprocessamento algébrico

O Programa de Linguagem Espacial de Geoprocessamento Algébrico - Legal no aplicativo SPRING, é definido como uma ferramenta que possibilita a realização de análises espaciais através de álgebra de mapas. A análise espacial utiliza os atributos espaciais e não espaciais das entidades gráficas armazenadas na base de dados espaciais para fazer simulações sobre os fenômenos do mundo real (MEDEIROS; CÂMARA, 2001).

A álgebra de mapas é implementada através do LEGAL (Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico), uma linguagem de consulta e manipulação espacial que realiza operações sobre dados dos tipos mapa temático, modelo numérico de terreno e imagem INPE (2016).

De acordo Medeiros e Câmara (2001) a linguagem de programação é composta de três partes: declaração, instanciações e operações.

Declaração: Nesta parte definem-se os dados. Cada plano de informação (PI) a ser manipulado é declarado explicitamente, dando-lhe um nome e associando-o à sua categoria no esquema conceitual.

Instanciação: Nesta parte recuperam-se os dados existentes do banco de dados ou criam-se os PIs. Um novo PI pode então ser associado ao resultado de operações em LEGAL.

Operação: Nesta parte, realizam-se as operações da álgebra de mapas. As seguintes operações estão disponíveis: transformação, booleana, condicional, matemática, classificação contínua, vizinhança, reclassificação por atributos.

O uso da programação LEGAL permite a aplicação de sequências operacionais que envolve símbolos, operadores, funções e dados espaciais, possibilitando um grande leque de aplicabilidade, dentre eles nos diversos cenários de problemática ambiental.

2.3 GESTÃO AMBIENTAL DE ÁREAS SUSCEPTÍVEIS A DESERTIFICAÇÃO EM BACIAS HIDROGRÁFICAS

A gestão ambiental pode ser entendida como a integração de parâmetros, instrumentos e normas que norteiam a tomada de decisão, visando reduzir, controlar e erradicar impactos oriundos das atividades antropizadas ou dos fenômenos naturais sobre o meio ambiente.

Recorrendo à etimologia, a palavra *gestão* advém da expressão latina *gesfio* como ação de administrar, dirigir, controlar, gerenciar, enquanto *ambiental* refere-se a tudo que seja relativo ao *meio ambiente*, um conceito que, na língua portuguesa, assumiu uma forma redundante e controversa, quando investigamos a origem das palavras (ADISSI; NETO; ALMEIDA, 2013).

Na visão Bursztyn e Bursztyn (2012), a gestão ambiental pode ser definida como um conjunto de ações envolvendo políticas públicas, setor produtivo e sociedade civil, para garantir a sustentabilidade dos recursos ambientais, da qualidade de vida e do próprio processo de desenvolvimento, dentro de um complexo sistemas de interações da humanidade com os ecossistemas.

Para os autores Philippi Jr, Romero e Bruna (2014), a gestão ambiental é o ato de administrar, de redigir ou reger os ecossistemas naturais e sociais em que se insere o homem, individual e socialmente, em processo de interação entre as atividades que exerce, e o objetivo último é manter, recuperar o equilíbrio entre a natureza e o homem.

No tocante a desertificação em Bacias hidrográficas, pode dizer que a Gestão ambiental tem como foco a gerência e monitoramento dos aspectos ambientais, situados em áreas da bacia, ou seja, dos impactos oriundos das atividades antropizadas, que possam gerar a insustentabilidade dos recursos naturais.

Entendendo que os recursos naturais representam uma parte do conjunto de capitais que pode ser convertido em matéria prima para uso de processos produtivos, no entanto, nem

sempre alguns desses recursos podem ser restaurados, e outros dependem de sua capacidade de suporte, levando longo tempo de recuperação (BURSZTYN; BURSZTYN, 2012).

A gestão ambiental ao lidar com a tomada de decisões, requer usos de instrumentos e estratégias de caráter político, jurídico, legislativo, executivo, econômico, de ciência, tecnologia e inovação, de educação, de formação de recursos humanos, de informação, de participação, de cooperação e de articulação entre os diferentes atores e níveis de atuação (BURSZTYN; BURSZTYN, 2012).

No estudo de degradação ambiental em bacias hidrográficas, a gestão ambiental pode fazer uso de instrumentos técnicos como o sensoriamento remoto e SIG. Além disso, na gestão ambiental a ação conjunta dos procedimentos e normas aliadas com a aplicação das técnicas de sensoriamento remoto e SIG podem propiciar o planejamento, gerenciamento e o monitoramento de ações que visem à recuperação e prevenção dos recursos naturais em bacias hidrográficas.

No monitoramento ambiental de bacias hidrográficas, a análise espaço temporal dos diversos parâmetros biofísicos, possibilita a avaliação no ambiente, dos impactos e das degradações decorrentes do uso e ocupação do solo (RIBEIRO et al., 2015).

Como se sabe a bacia hidrográfica é uma área de captação natural da água de precipitação que faz convergir o escoamento para um único ponto de saída. Assim ela é formada por um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar em um leito único no seu exutório (TUCCI, 1997).

De acordo com Souza e Fernandes (2000), o solo, a água, a vegetação e fauna são os elementos principais das bacias hidrográficas; eles coexistem de forma permanente numa dinâmica interação respondendo às interferências naturais (intemperismo e modelagem da paisagem) e interferências antrópica (uso/ocupação da paisagem), impactando os ecossistemas como um todo. Nesses compartimentos naturais - bacias/sub-bacias hidrográficas, os recursos hídricos constituem indicadores das condições dos ecossistemas no que se refere aos efeitos do desequilíbrio das interações dos respectivos componentes.

Assim, no contexto das bacias situadas nas regiões semiáridas, o processo de degradação ambiental, principalmente a desertificação terá implicações para a segurança hídrica da própria bacia.

Nas bacias hidrográficas, o uso e ocupação do solo têm do ponto de vista da hidrologia, a classificação de bacias hidrográficas em grandes e pequenas não é vista somente na sua superfície total, mas considerando os efeitos de certos fatores dominantes na geração

do deflúvio, tendo as microbacias como características distintas uma grande sensibilidade tanto às chuvas de alta intensidade, como também ao fator uso do solo (TEODORO et al., 2007).

Em relação ao uso do SIG para apoiar à gestão das bacias hidrográficas, Schiavetti e Camargo (2002), argumentam que o SIG é muito utilizado.

Carvalho (2001), com base nos estudos de análise de indicadores de desertificação susceptíveis de serem percebidos por sensoriamento remoto, propôs parâmetros climáticos, hidrológicos, pedológicos, biológicos/agronômicos e sociológicos. Os parâmetros estão descritos no Quadro 4.

Quadro 4 - Parâmetros para indicadores de desertificação por sensoriamento remoto

Indicadores	Parâmetros
Climáticos	radiação solar e líquida; temperatura seca e úmida; velocidade do vento; precipitação horária e eventual
Hidrológicos	quantidade total de sólidos dissolvidos na água, mudanças de fluxos de água e dos depósitos sedimentares nos canais de escoamento, profundidade do lençol freático, qualidade da água, descarga dos rios, umidade do solo, fluxo subsuperficial, água de escoamento e produção de sedimentos
Pedológicos	presença de crostas na superfície; profundidade efetiva do solo; capacidade de acumulação de água; modificações do aspecto; composição dos horizontes superficiais; estado da superfície; teor de matéria orgânica; reflectância relativa (albedo); grau de salinização e alcalinização; teor de pedregosidade e sua posição na superfície do solo, encrostamento, fendilhamento; compactação; permeabilidade da crosta.
Biológicos/agronômicos	grau de cobertura e altura da vegetação; biomassa aérea e subterrânea; rendimentos; distribuição e frequência de espécies; produção de litiére; medidas sazonais de decomposição de litiére, índice de área foliar; organização e profundidade das raízes, queda e organização de folhas, produção primária, assinatura espectral, padrões e densidade de pastoreio, composição de espécies, atraso de germinação, e medidas esporádicas do padrão espacial da vegetação.
Sociológicos /socioeconômicos	distribuição espacial dos aspectos ambientais antrópicos

Fonte: Elaborada pelo autor, com base dos estudos de Carvalho (2001).

Esses indicadores são importantes, pois norteiam as diversas técnicas e metodologias a serem adotadas, e que pode contribuir numa modelagem ambiental para estudo em bacias hidrográficas.

A gestão ambiental das bacias hidrográficas situadas na região semiárida no Nordeste do Brasil tem fundamental importância na sustentabilidade das reservas hídricas e recursos naturais, tendo em vista a fragilidade da região nordeste quando a variabilidade climática.

De acordo com Marengo (2008), a “região semiárida do Nordeste está na rota para a desertificação”, conforme projeções futuras, a variabilidade climática interanual, associada aos fenômenos El Niño e La Niña, ou a variabilidade da temperatura da superfície do mar no Atlântico Tropical e do Sul, é uma das contribuintes na geração das anomalias climáticas.

Os impactos dessas anomalias, no nordeste brasileiro, se refletem em severas secas, assim a região semiárida, será bastante afetada e tenderá a tornar-se mais árida, com fortes impactos na vegetação, na biodiversidade e nas atividades que dependem dos recursos naturais (MARENGO, 2016).

Em relação aos impactos da variabilidade climática nas bacias hidrográficas da região nordeste, Magalhaes (2016) explica que os vários modelos indicam a redução do fluxo de água em importantes bacias, como no São Francisco. “Com mais secas, menos umidade, menos água, os impactos poderão ser maiores sobre a agricultura, sobre a economia, sobre as condições de vida”.

Essa revelação é muito significativa, principalmente para nortear ações de Gestão ambiental em áreas susceptíveis à desertificação, principalmente no âmbito das bacias hidrográficas.

A susceptibilidade à desertificação, diz respeito a possibilidade de ocorrer nas áreas degradadas processos desertificativos, ou como definiu Grigio, Didato e Amaro (2013), a susceptibilidade é a maior ou menor tendência de uma determinada área perder a sua capacidade de regeneração.

Nesse contexto, o desmatamento da caatinga, a fragilidade dos solos e as mudanças climáticas, constituem parâmetros importantes para a gestão ambiental de bacias hidrográficas, no sentido de poder planejar ações de prevenção nas áreas susceptíveis à desertificação, assim como na restauração e reabilitação das áreas degradadas e desertificadas.

2.3.1 Desmatamento da vegetação do bioma Caatinga

A vegetação tem uma ação passiva como agente atenuante da agressividade climática, mas é como agente ativo na formação do solo que ela se destaca. Na região semiárida a vegetação da caatinga, por sua vulnerabilidade natural, exerce um efeito mais passivo na

proteção dos solos. Assim, as precipitações, raras e usualmente torrenciais, ocasionam forte poder erosivo nos solos (OLIVEIRA, 1992).

Assim, os curtos períodos de chuvas irregulares e torrenciais, aumentam os processos erosivos nas áreas de caatinga desmatada, causando diminuição da retenção hídrica pelos solos e redução de biomassa vegetal, contudo, a cobertura vegetal torna-se cada vez mais rala, pobre em biodiversidade, e conseqüentemente o solo passa a receber diretamente à radiação solar, que acelera a erosão, aumentando a aridez (FREIRE;PACHÊCO, 2011).

De acordo com o vídeo documentário, “Caatingas em risco (2017)” a Caatinga ocupa uma área de 734.478 km², único bioma exclusivamente brasileiro, cujo patrimônio biológico não é encontrado em outro lugar do mundo. No entanto, a caatinga corre o risco de extinção, pois a antropização do uso e cobertura de solo nesse bioma, vem ocasionando o seu desflorestamento, pondo em risco a sobrevivência de várias espécies endêmicas. E, sua preservação tem sido sempre colocada em segundo plano quando se discutem políticas para o estudo e a conservação da biodiversidade do país (MAURY, 2002).

Como consequência das profundas devastações ocorridas no bioma Caatinga, desde 1995, a CCD já alertava a existência de grandes extensões de áreas de desertificação instalada, existindo uma relação estreita entre a desertificação, a vegetação e os solos, sendo o seu desenvolvimento iniciado devido às modificações ocasionadas com a supressão da cobertura vegetal (SOUZA et al., 2015).

Contudo, grande parte do desmatamento do bioma caatinga é ocasionada para suprir demandas energéticas e aberturas de novas áreas para pastagem (FREIRE, 2011). Pressupõe-se que 80% da vegetação do bioma caatinga encontram-se modificadas, devido ao extrativismo e a agropecuária, apresentando-se a maioria dessas áreas em estádios iniciais ou intermediários de sucessão ecológica (ARAÚJO FILHO, 1996).

Importante ressaltar, que a Lei 11.284, que aborda a gestão de florestas públicas para a produção sustentável, entrou em vigor em 2006 e definiu, o manejo florestal sustentável como a administração da floresta para a obtenção de benefícios econômicos, sociais e ambientais, respeitando-se os mecanismos de sustentação dos ecossistemas objeto de manejo e considerando-se, cumulativa ou alternativamente, a utilização de múltiplas espécies madeireira, de múltiplos produtos e subprodutos madeireiros, assim como a utilização de outros bens e serviços de natureza florestal (BURSZTYN ; BURSZTYN, 2012).

2.3.2 Solos predominantes nas áreas susceptíveis à desertificação

O clima constitui um dos fatores ativos de formação dos solos. Os elementos do clima, como a temperatura, a precipitação pluvial, a deficiência e o excedente hídrico, tem papel fundamental na geração e diferenciação dos solos (OLIVEIRA; JACOMINE; CAMARGO, 1992).

Na região semiárida, a escassez de umidade contribui para a baixa velocidade e intensidade dos processos pedogenéticos, resultando em solos pouco desenvolvidos, rasos ou pouco profundos, cascalhentos e pedregosos, com relativa abundância de minerais primários pouco alterados e minerais de argila de elevada atividade coloidal (OLIVEIRA, JACOMINE, CAMARGO, 1992; MOREIRA, 2004).

Assim, “a geologia torna-se um dos principais fatores que exerce grande controle na natureza e nas propriedades dos solos. Aqueles mais desenvolvidos a partir de sedimentos pobres são, por consequência, de fertilidade natural baixa, sejam solos profundos ou rasos” (ARAÚJO FILHO et al., 2014).

De acordo com Santana (2007), os solos que mais se destacam nas áreas susceptíveis a desertificação são: Latossolos, Argissolos, Luvisolos Crômicos, Neossolos Litólicos, Neossolos Quartzarênicos, Planossolos.

As definições desses tipos de solos, estão descritos abaixo, de acordo com Araújo Filho et al. (2014) e Oliveira, Jacomine, Camargo (1992).

- Latossolos - Solos normalmente profundos, bem drenados e bastante uniformes no conjunto de suas características morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas no horizonte diagnóstico muito intemperizados, com textura de média até muita argilosa, geralmente de origem sedimentar, e em geral com fertilidade natural baixa a muito baixa.
- Argissolos - Solos geralmente profundos, com horizonte superficial variável e B textural. Alguns desses solos podem apresentar problemas de salinidade.
- Luvisolos Crômicos (antigos Brunos não Cálcicos) - São solos normalmente pouco profundos a rasos, de baixa permeabilidade e muito suscetíveis à erosão. Sua ocorrência é marcante na região mais afetada pela seca, principalmente nos Estados de Pernambuco, Paraíba, Ceará e Rio Grande do Norte.
- Neossolos Litólicos - Solos pouco desenvolvidos, rasos ou muito rasos, normalmente pedregosos e rochosos. Acontecem na região semiárida em relevos ondulados a fortemente ondulados ou acidentados, por isto são muito susceptíveis à erosão.

- Neossolos Quartzarênicos - Solos tipicamente arenoquartzosos, profundos, excessivamente drenados, com baixa capacidade de retenção de água e infiltração muito elevada, além de baixa fertilidade natural.
- Planossolos - Solos que tem como característica marcante uma mudança textural abrupta entre os horizontes superficiais e o horizonte B plânico. Esse horizonte é extremamente duro quando seco e constitui um impedimento a drenagem. Em geral está associado saturação por sódio elevado no ambiente semiárido.

Na visão Brito e Braga (2002), a região semiárida do Nordeste possui solos com alta variabilidade espacial conforme a natureza do seu material de origem.

Em conformidade com o zoneamento agroecológico do Nordeste do Brasil (SILVA et al., 1993), no semiárido onde predominam rochas cristalinas, são dominantes solos rasos (Neossolos Litólicos) a pouco profundos (Luvisolos), pedregosos, muito suscetíveis aos processos erosivos, além de solos com problemas de drenagem e sodicidade (Planossolos).

Nas áreas onde ocorrem bacias sedimentares, como na do Jatobá-Tucano, destacam-se solos arenosos com baixa capacidade de armazenamento hídrico e uma pequena parcela de Latossolos Amarelos. Já nas chapadas, ocorrem solos profundos, mas com fertilidade natural baixa. Na Chapada do Araripe, destacam-se Latossolos Amarelos; na Diamantina destacam-se Latossolos Amarelos e Vermelho-Amarelos; nas chapadas do sul do Piauí, destacam-se Latossolos Amarelos e Neossolos Quartzarênicos.

Cabe salientar, também, algumas áreas do semiárido com rochas cristalinas onde se destaca uma cobertura pedimentar, como no oeste pernambucano. Neste ambiente, os solos são, em geral, profundos das classes dos Latossolos Amarelos e Vermelho-Amarelos, dos Argissolos Amarelos e Vermelho-Amarelos. Em menor proporção ocorrem Neossolos Quartzarênicos e Plintossolos.

2.3.3 Mudanças climáticas

O clima do Nordeste é muito influenciado pelo fenômeno El Niño e pelas temperaturas da superfície do Oceano Atlântico (MAGALHÃES, 2016). A região semiárida é a região mais vulnerável aos extremos observados da variabilidade climática, em virtude do clima, adensamento populacional e a pobreza (MARENGO, 2016).

O clima do Semiárido brasileiro é pouco diversificado, mesmo considerando a sua imensa extensão territorial. As características do relevo modelam os locais com maiores

altitudes, como também, os microclimas específicos, considerando ainda que a proximidade com o oceano, em algumas áreas, resulta na influência das frentes frias e maiores índices pluviométricos (MOURA et al., 2007).

A região semiárida brasileira é composta por um conjunto de espaços que se caracterizam pelo balanço hídrico negativo, resultante das precipitações médias anuais inferiores a 800 mm, insolação média de 2800 h ano⁻¹, temperaturas médias anuais de 23° a 27°C, evaporação de 2.000 mm ano⁻¹ e umidade relativa do ar média em torno de 50% (MOURA et al., 2007).

No entanto, os instrumentos adotados para obter e avaliar projeções climáticas passadas e futuras são os modelos de clima, distribuídos como: Modelos Globais Atmosféricos (GCMs) ou Modelos Globais Acoplados Oceano-Atmosfera (AOGCMs) (MARENGO, 2006).

Estudos realizados por Nobre (2007), a partir do resultado dos 15 modelos acoplados Oceano-atmosfera (ADGCMs), preparados para o painel intergovernamental sob mudanças climáticas, supõem para os 4 cenários previsto, o aquecimento projetado para a América do Sul entre 1°C a 4°C, constatando-se a projeção, no caso do nordeste do Brasil, a substituição da caatinga por semideserto no núcleo mais árido, ou seja no núcleo de desertificação de Cabrobó.

O aquecimento global traz sérias consequências, uma vez que o aquecimento gradual da atmosfera causa alterações nos ciclos de balanço climático, que incluem processos de retroalimentação positiva como, a alteração do albedo planetário, por meio do derretimento das geleiras continentais e da diminuição da cobertura do gelo marinho os quais, por sua vez e através da diminuição do albedo, permitem maior absorção das modificações climáticas e consequentemente, a desertificação (NOBRE, 2011).

Nesse sentido, as grandes estiagens, nas regiões semiáridas, corroboram o aumento das áreas susceptíveis à desertificação devido aos fenômenos meteorológicos (NICHOLSON, 1999), sendo as mudanças na temperatura da superfície do mar (TSM) no Pacífico tropical que se manifestam com os extremos em casos de El Niño-Oscilação Sul (ENOS), um dos contribuintes na diminuição da precipitação das chuvas (MARENGO et al., 2016).

O El Niño, fenômeno oceânico-atmosférico, caracteriza-se pelo aquecimento anormal das águas superficiais no oceano Pacífico Tropical, provocando enfraquecimento dos ventos alísios no Pacífico Equatorial e, formando ramo ascendente da célula de Walker na parte central do Oceano Pacífico (INPE-CPTEC, 2016).

Este fenômeno tem sua relevância, pois não há consenso científico de sua causa, e, sua periodicidade, intensidade e duração possui grande alternância (INPE-CPTEC, 2016). Estudos realizados por Brito, Braga e Velozo (2002), mostram que o período de atuação do fenômeno El Niño, as condições climáticas do Nordeste tornam-se bastante vulneráveis aos processos de desertificação.

O processo inverso ao El Niño, a La Niña, verifica-se aumento da precipitação e uma redução da evapotranspiração potencial, produzindo um menor grau de aridez, fazendo com que áreas climatologicamente subúmida convertam-se em áreas úmidas (BRITO;BRAGA;VELOZO, 2002).

O registro histórico de ocorrência de El Niño La Niña pode ser visto no Quadro 5, abaixo.

Quadro 5 - Registro histórico da intensidade e data de ocorrência do El Niño e La Niña no mundo

Intensidade	Anos El Niño	Anos La Niña
Fraco	1952-53, 1953-54, 1958-59, 1969-70, 1976-77, 1977-78, 1979-80, 2004-05, 2006-07, 2014-15	1954-55, 1964-65, 1971-72, 1974-75, 1983-84, 1984-85, 2000-01, 2005-06, 2008-09, 2016-17
Moderado	1951-52, 1963-64, 1968-69, 1986-87, 1994-95, 2002-03, 2009-10	1955-56, 1970-71, 1995-96, 2011-12
Forte	1957-58, 1965-66, 1972-73, 1987-88, 1991-92	1973-74, 1975-76, 1988-89, 1998-99, 1999-00, 2007-08, 2010-11
Muito forte	1982-83, 1997-98, 2015-16	

Fonte: Null (2017).

De acordo com Marengo et al. (2016), nem sempre as grandes secas estão associadas com os eventos de El nino, outros eventos de seca podem ser associados a uma posição anormalmente devido a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), porém as causas das secas são climáticas (CGEE, 2017).

De acordo com WHO (2007), as alterações climáticas causadas pelo dióxido de carbono estão intimamente ligadas a degradação das terras e desertificação, devido a efeitos

indiretos entre degradação da terra e pluviosidade, e os recursos hídricos estão intimamente ligados ao clima.

Contudo, os impactos resultantes da variabilidade climática são mais acentuados nas regiões mais vulneráveis, não só pela sensibilidade dos recursos naturais como a vegetação, o solo e água, mas sobretudo um problema na gestão insustentável desses recursos pelos aspectos antropizados, que ao longo dos anos vem aumentando a concentração dos Gases de efeito Estufa (GEE) na atmosfera (MARENGO, 2006; WHO, 2007).

3 METODOLOGIA

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A bacia do rio Moxotó está localizada na região fisiográfica, Submédio da bacia do Rio São Francisco. A bacia do rio Moxotó está localizada, em sua maior parte, no Estado de Pernambuco, estendendo-se na sua porção sudeste para o Estado de Alagoas até o rio São Francisco. Por cortar dois estados, o curso de água está sob domínio da União.

A bacia situa-se entre as coordenadas 07° 52' 21" e 09° 19' 03" de latitude sul, e entre 36° 57' 49" e 38° 14' 41" de longitude oeste, com sua porção pernambucana constituindo a Unidade de Planejamento Hídrico UP8. A UP8 limita-se: ao norte, com o Estado da Paraíba e com a bacia do rio Pajeú (UP9); ao sul, com o Estado de Alagoas e com o grupo de bacias de pequenos rios interiores 2 - GI2 (UP21); a leste, com as bacias dos rios Ipojuca (UP3) e Ipanema (UP7); e a oeste, com a bacia do rio Pajeú e o grupo de bacias de pequenos rios interiores 3 - GI3 /UP22 (APAC, 2017).

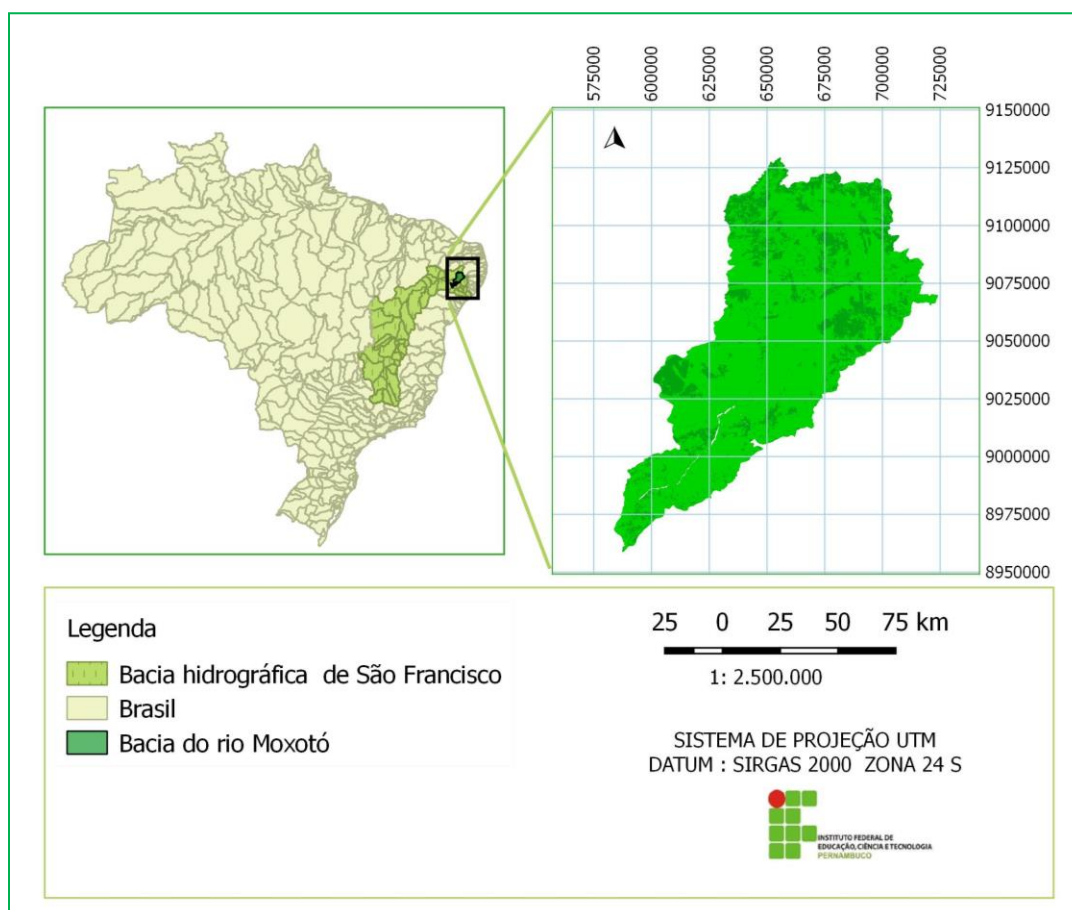
O rio Moxotó nasce no município de Sertânia, próximo à divisa entre os estados de Pernambuco e Paraíba. Percorre cerca de 200 km no sentido Nordeste-sudoeste até desembocar no rio São Francisco, entre os municípios de Jatobá-PE e Delmiro Gouveia/AL (ANA, 2017).

Da nascente até sua foz, no rio São Francisco, o rio possui uma extensão de cerca de 226 km. Seus principais afluentes pela margem direita, de montante para jusante, são riacho do Saquinho, riacho do Lajedo, riacho da Custódia, riacho do Capiti e riacho Juazeiro. Pela margem esquerda, destacam-se riacho do Feliciano, rio Piutá, riacho Salgado, riacho do Pioré, rio Priapé e riacho do Parafuso APAC (2017).

Com sua nascente situada no município de Sertânia, o rio Piutá é o afluente mais importante do rio Moxotó. Após percorrer cerca de 54 km de extensão, esse rio deságua no reservatório Engenheiro Francisco Saboia, também conhecido como Poço da Cruz, no rio Moxotó, e de 204 km até desaguar no São Francisco.

A Figura 3 mostra a localização da área de estudo, destacando a bacia do rio Moxotó no submédio da bacia do rio São Francisco e nas outras bacias hidrográficas do Brasil.

Figura 3- Localização da área de estudo



Fonte: Elaborado pelo autor.

3.1.1 Divisão político-administrativa e população urbana e rural

A bacia do rio Moxotó possui uma área total de 9.744,01 km², abrange áreas de 12 municípios do Estado de Pernambuco e 4 municípios do Estado de Alagoas, dos quais Inajá e Sertânia estão totalmente inseridos na bacia. Os municípios com sede na bacia são Arcoverde, Custódia, Ibimirim, Manari e Tacaratu, enquanto os parcialmente inseridos são: Buíque, Floresta, Jatobá, Igaraci, Tupanatinga, Água Branca, Delmiro Gouveia, Mata Grande e Pariconha.

A Tabela 1 mostra os municípios e populações residentes nas áreas rurais e urbanas situados na bacia do rio Moxotó.

Tabela 1 - Municípios e populações situadas na bacia do rio Moxotó

Municípios	UF	População		Área na Bacia
		Urbano	Rural	
Arcoverde	PE	62.899	6.258	186,55
Buíque	PE	21.121	30.869	427,97
Custódia	PE	21.947	12.358	1.294,99
Ibimirim	PE	14.897	12.062	1.818,81
Inajá	PE	7.958	11.123	1.649,90
Manari	PE	3.844	14.343	
Petrolândia	PE	23.615	8.870	146,00
Sertânia	PE	18.548	15.175	2.0588,16
Tacaratu	PE	9.197	12.876	685,77
Tupataninga	PE	8.496	15.758	379,11
Água Branca	AL	5.100	14.276	169,00
Delmiro Gouveia	AL	34.849	13.241	48,60
Mata Grande	AL	5.676	19.026	617,30
Pariconha	AL	2.796	7.450	137,00
TOTAL				9.619,16

Fonte: CENSO (2010).

3.1.2 Famílias vulneráveis a pobreza na bacia do rio Moxotó

Embora com dados diferenciados, todos os municípios da bacia do rio Moxotó apresentam grande percentual de famílias vulneráveis à pobreza, conforme pode ser visto na Tabela 2.

Tabela 2 - Municípios situados na bacia do rio Moxotó com grande percentual de famílias vulneráveis a pobreza

Município	2010				
	Proporção extremamente pobres %	Proporção de pobres%	Renda domiciliar per capita média dos extremamente pobres%	Renda domiciliar per capita média dos pobres%	Renda domiciliar per capita média dos vulneráveis à pobreza%
Arcoverde	13,31	28,8	37,94	74,43	129,61
Buíque	38,73	62,2	31,48	58,06	90,49
Floresta	16,24	35,02	31,27	71,45	121,84
Ibimirim	25,84	47,87	35,43	67,98	112,44
Inajá	41,19	63,21	30,9	55,88	83,91
Itaíba	27,48	49,22	31,57	64,98	106,3
Manari	41,05	60,91	30,29	53,81	87,9
Petrolândia	16,39	34,12	37,68	71,43	124,7
Sertânia	21,81	39,73	24,85	60,74	113,36
Tacaratu	28,74	45,82	28,31	56,27	106,05
Tupanatinga	45,08	62,13	27,42	48,69	81,92
Delmiro Gouv.	16,76	33,10	30,34	68,55	123,16
Mata Grande	41,39	58,03	30,97	52,83	87,26

Pariconha	28,06	45,24	29,78	58,15	106,02
-----------	-------	-------	-------	-------	--------

Fonte: BRASIL, Atlas (2013).

Destacando-se o município de Tupanatinga (PE) e Mata Grande (AL) por apresentar maior proporção de pessoas extremamente pobres.

3.1.3 Clima

De acordo com Costa Filho et al. (2008), os municípios inseridos na bacia do rio Moxotó, possui clima que diferem de um município para outro, devido as características morfológicas, sendo classificado em BShw' (classificação de Köppen) em escala regional e As' nas bordas orientais desde Tacaratu até Buíque, numa faixa serrana.

No zoneamento árido, segundo classificação de De Martonne, a região se enquadra no índice de aridez entre 15 e 20, indicando condições de extremo rigor climático (COSTA FILHO et al., 2008).

3.1.4 Vegetação

Na região semiárida a vegetação do bioma Caatinga designa o conjunto de espécies vegetais de porte arbóreo com altura do dossel maior que 10m, e arbustivo com árvores esparsas, apresentando porte médio de 2,5 metros de altura (NEILSON, 2011).

A vegetação predominante na bacia do rio Moxotó é a Floresta Estacional Caducifólia (Caatinga). Nas áreas da Depressão Sertaneja predominam a caatinga hiperxerófila (SA et al., 2003). No âmbito da Bacia Sedimentar do Jatobá a vegetação predominante é do tipo hipoxerófila, na sua porção inserida no Agreste do Estado.

Encontra-se ainda, uma Floresta Estacional Sub-caducifólia Tropical, no brejo de altitude como na Serra Negra (Inajá) e em Tacaratu.

3.1.5 Hidrografia

A bacia hidrográfica do rio Moxotó, tem como principais afluentes, dentro da bacia sedimentar, os riachos do Piore, da Alexandra, Gameleira, Manarí e Juazeiro (DUARTE FILHO, 2005).

Além do rio Moxotó, banham as formações da bacia sedimentar na borda ocidental, os riachos dos Mandantes, da Chapada e das Barreiras, que escoam diretamente para o Rio São Francisco, além de pequenos tributários das bacias dos rios Pajeú a oeste e Ipanema a leste (COSTA FILHO; DUARTE, 2008).

3.1.6 Reservatórios

No quadro 6 descrito abaixo, são apresentados os reservatórios da bacia do Rio Moxotó, com capacidade máxima acima de 1 milhão de m³.

Quadro 6 - Reservatórios da bacia do rio Moxotó com capacidade máxima acima de 1 milhão de m³

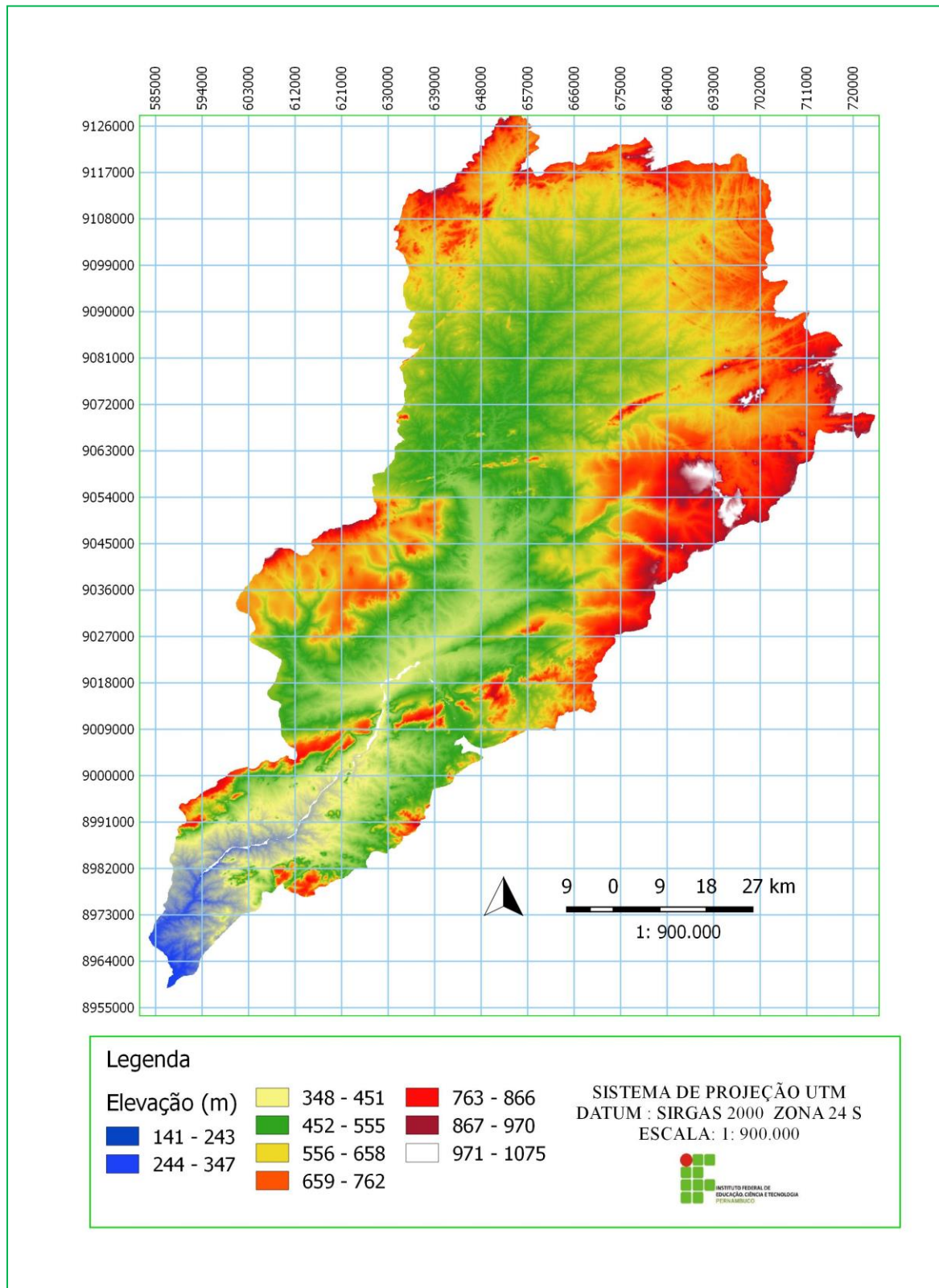
Reservatório	Capacidade (m3)	Município
Barra	2.738.160	Sertânia
Cachoeira	5.950.000	Sertânia
Custódia/Marrecos	21.623.100	Custódia
Eixo da Serra	1.637.808	Custódia
Eng. Francisco Sabóia	504.000.000	Ibimirim
Pariconha	1.270.000	Pariconha
Delmiro Gouveia	5.040.000	Delmiro Gouveia
Gravatá	8.370.000	Gravatá

Fonte: APAC (2017), ANA(2017).

3.1.7 Característica morfométrica- elevação

A bacia do rio Moxotó apresenta cotas que variam entre 145 m a 1.075 m, e altitude média de 535.886 m, como mostra a Figura 4.

Figura 4 - Mapa de Elevação da bacia do rio Moxotó



Fonte: Elaborado pelo autor com imagens SRTM/USGS (2016).

Como pôde ser visto na Figura 4, o mapa de elevação da bacia do rio Moxotó foi distribuído em 10 geoclasses de elevação.

3.1.8 Caracterização geoambiental

A bacia do rio do Moxotó apresenta uma compartimentação geomorfológica representada pela Depressão Sertaneja e a Bacia Sedimentar do Jatobá. Ambas as unidades, possuem características naturais e problemas ambientais das áreas suscetíveis à desertificação (CGEE, 2016).

Uma pequena parte da bacia, em seu limite leste, insere-se na região do Agreste, enquanto, a maior parte, no Sertão. Essa unidade caracteriza-se por apresentar diferentes feições geomórficas, incluindo topos aplanados na forma de chapadas; áreas com relevo movimentado nas encostas dos vales, que dissecam de forma esparsa a região sedimentar; encostas suaves na forma de rampas alongadas nas bordas da bacia; serras e serrotes areníticos, que emergem com relevos comumente escarpados (ARAÚJO FILHO et al., 2014).

A bacia do Jatobá, é uma unidade de paisagem com grande importância, por conter o sistema aquífero Tacaratu /Inajá, a unidade de conservação de Serra Negra e o Parque Nacional Vale do Catimbau com grande importância na conservação do ambiente natural.

Nessas unidades de paisagem, estão inseridos a REBIO Serra Negra e o PARNA Nacional do Catimbau.

A REBIO de Serra Negra se insere na região do semiárido pernambucano, e em seus 1.044 ha abrange os municípios de Floresta, Inajá e Tacaratu, estando subordinada ao Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. A Reserva é a segunda menor UC da categoria na região Nordeste. Destaca-se entre as três REBIO existentes em Pernambuco por ser a única UC federal de floresta serrana (ICMBIO, 2011).

A Unidade de Conservação de Serra Negra tem como objetivo a preservação integral da biota e demais atributos naturais existentes em seus limites, sem interferência humana direta ou modificações ambientais, excetuando-se as medidas de recuperação de seus ecossistemas alterados e as ações de manejo necessárias para recuperar e preservar o equilíbrio natural, a diversidade biológica e os processos ecológicos naturais (ICMBIO, 2011).

O Parque Nacional do Catimbau é uma das unidades de conservação do bioma Caatinga no Estado de Pernambuco, possui 62.294,14 hectares, sua paisagem natural é marcada pela exuberante geomorfologia de seu relevo. O PARNA do Catimbau abrange áreas dos municípios de Buíque (12.438 ha), Tupanatinga (23.540 ha), na microrregião do Vale Ipanema e Ibimirim (21.438 ha), no Estado de Pernambuco (FREIRE, 2015).

3.1.9 Solos predominantes na bacia do rio Moxotó

Os solos se formam por meio da interação de sua geologia, do clima, do relevo da ação dos organismos e do tempo. E, possuem horizontes pedogenéticos e/ou camadas que se diferenciam entre si e em relação ao material de origem (rochas ou sedimentos) (ARAÚJO FILHO et al., 2014).

De acordo com o banco de dados de Silva et al. (1993), a bacia do rio Moxotó é formada por 10 classes de solos, tidos como principais, como mostra a Figura 5 e outras derivações de solos resultantes da mistura entre os mesmos.

Definição das principais classes de solo, presentes na bacia do rio Moxotó, conforme Araújo Filho et al. (2000), e Silva et al. (1993):

Os Neossolos Flúvicos são solos profundos derivado de sedimentos aluviais recentes e estratificados, possuem fertilidade natural média alta, relevo plano, que permite a mecanização agrícola. Apresenta risco de inundações periódicas, salinização, solonização e restrição de drenagem ou de uso agrícola devido à legislação ambiental. Utilizado para pastagens, agricultura irrigada, pecuária extensiva e preservação ambiental de mata ciliar.

Os Neossolos Quartzarênicos são solos derivados de rochas ou sedimentos de natureza quartzosa, são profundos, com drenagem acentuada a excessiva e profundidade mínima do contato lítico (camada R) maior que 50 cm. Possuem sérias limitações quanto à retenção de água e nutrientes, além de acentuada erodibilidade. Utilizado para a agricultura irrigada, pastagem, preservação ambiental e fonte de areia para construção civil.

Os Latossolos Amarelos são solos bem drenados e profundos. Apresenta baixos teores de óxido de ferro (inferior a 9% para solos de textura argilosa) e textura média predominante e, apesar das boas características morfológicas, apresentam baixa a muito baixa fertilidade natural, além de limitada capacidade de retenção de água. Potencialidades: aterro sanitário, produção agrícola intensiva, pastagem, silvicultura.

Os Luvisolos são solos raso a pouco profundo típico do ambiente semiárido, rico em

bases e com argila de atividade alta. Apresenta como limitação alta suscetibilidade à erosão, pedregosidade superficial. Quando seco apresenta consistência dura, quando molhado se torna muito pegajoso e risco de salinização e de solonização. Potencialidades: agricultura de sequeiro, pastagem, pecuária e preservação ambiental.

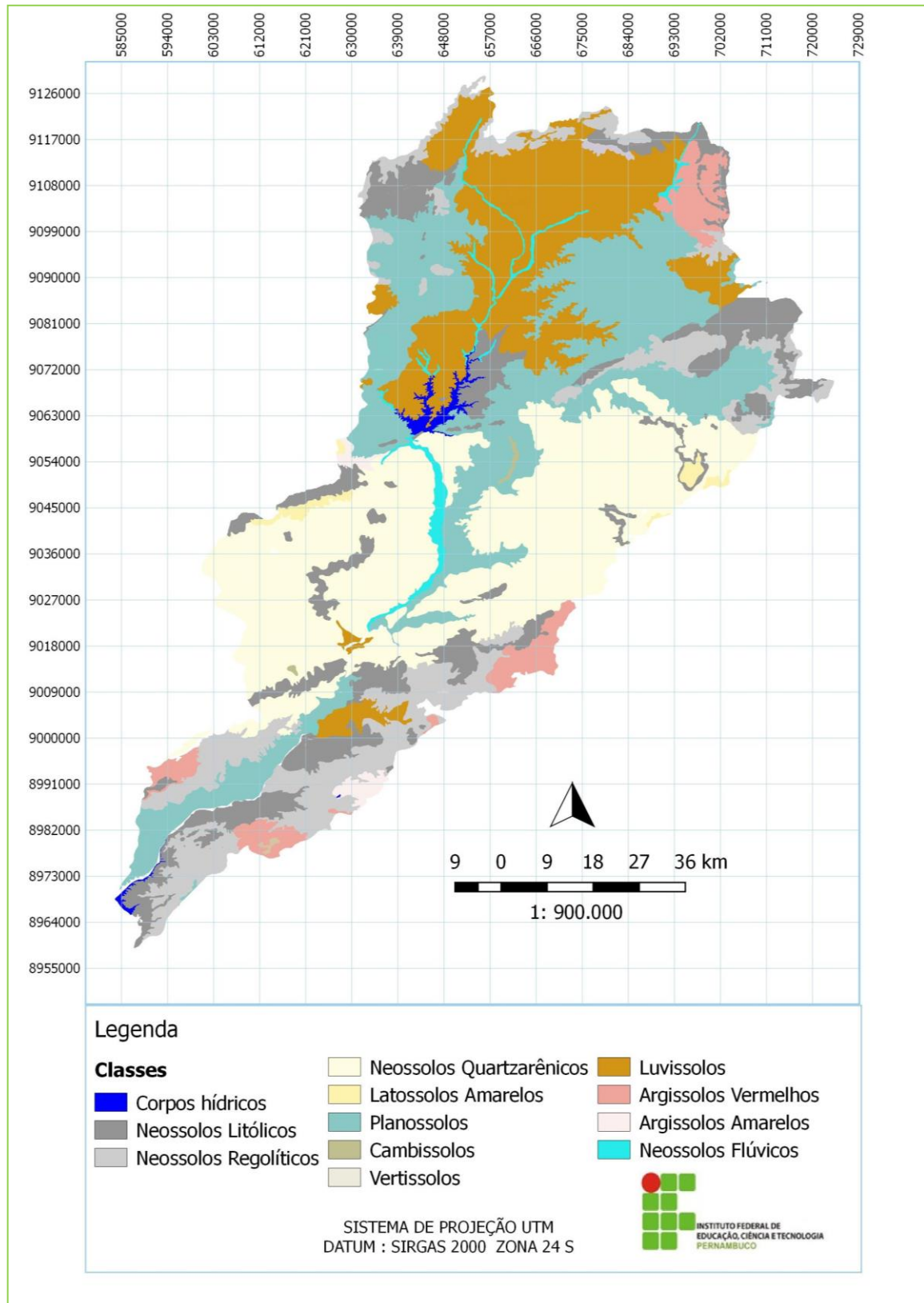
Os Planossolos são solos imperfeitamente ou mal drenados e se caracterizam por apresentar uma transição abrupta, geralmente associada a uma mudança textural abrupta, entre a camada superficial, horizontes (A) ou (A+E), e o horizonte B plânico (Bt plânico) praticamente impermeável. Apresenta potencialidade para uso artesanal. A principal limitação é a deficiência de drenagem, além de fatores limitantes como a alta suscetibilidade de erosão, elevado risco de salinização e de solonização, têm sido usados para pastagem, pecuária, culturas de subsistência.

Os Neossolos Litólicos são solos de pequena espessura, jovens, com horizonte A sobreposto diretamente à rocha (A, R) ou sobre um horizonte C pouco espesso (A, C, R). Espacialmente, são predominantemente eutróficos, com grande reserva de nutrientes, porém a reduzida profundidade efetiva, associada ao relevo movimentado e à presença de pedras e/ou rochas, geralmente impedem seu uso com culturas agrícolas.

Os Neossolos Regolíticos - Possuem boa reserva de nutrientes, com potencial de baixo a médio para a agricultura irrigada, e, em geral ocorrem em relevo pouco movimentado. Possuem limitações como a baixa fertilidade natural e capacidade de retenção de água. Usos: pastagens, cultivo de subsistência, pecuária extensiva, base para construção de casas e estradas.

Os Vertissolos - Possuem alta fertilidade natural e alta disponibilidade de nutrientes em relevo pouco movimentado, apresentando potencial médio para agricultura irrigada. Apresenta limitações como as elevadas plasticidades e pegajosidade, risco de salinização e de solonização, consistência dura a extremamente dura. Utilizado como agricultura irrigada e de sequeiro, pecuária extensiva e preservação ambiental.

Figura 5 - Mapa dos principais tipos de solos predominantes na bacia do rio Moxotó



Fonte: Elaborado pelo autor com dados de Silva et al. (1993).

3.2 VISÃO GERAL DA METODOLOGIA

A metodologia utilizada nessa pesquisa analisa as áreas susceptíveis à desertificação na bacia do rio Moxotó, por meio do estudo espaço temporal de imagens orbitais. As principais atividades realizadas na pesquisa foram a revisão bibliográfica, aquisição de mapas, dados numéricos e alfanuméricos, criação do banco de dados no Spring, inserção dos mapas temáticos, pré-processamento, aplicação do MLME, índices de vegetação (IVDN, IAF, IVAS), temperatura superficial.

De acordo com o fluxograma, Figura 6, a primeira etapa realizada foi a pesquisa bibliográfica. Na segunda etapa, foram adquiridas informações, shapefiles, para compor o banco de dados no software Spring. Foram criados o banco de dados, e o projeto, ambos denominados Moxotó.

Na segunda etapa foram realizados o registro, o pré-processamento de imagens, como o georreferenciamento das imagens, correção atmosférica, normalização radiométrica, técnicas de contraste de imagens.

Para o geoprocessamento foi utilizado o Spring - Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (CÂMARA, 1996), na versão 5.2.6. E, o uso do QGIS na versão 2.18 para apoiar na elaboração dos mapas de temperatura superficial e finalização dos mapas de espacialização do desmatamento e da espacialização dos índices de vegetação ajustado ao solo-IVAS.

Foi criado um banco de dados georreferenciado com imagens de satélites LANDSAT 5 TM e LANDSAT 8 OLI com órbita/pontos 215/66 e órbita/ponto 216/66, em datas distintas (1995, 2006 e 2016), adquiridas gratuitamente no catálogo de imagens do INPE.

As imagens foram escolhidas em função da menor ocorrência de nuvens e com diferentes intensidades de eventos ENOS (El Niño fraco, moderado e forte). Em virtude da ocorrência de muitas nuvens no período chuvoso nas orbitas 215 e 216, foram escolhidas as imagens referentes ao mês de setembro, período menos chuvoso na região, além disso, as áreas ficam vulneráveis a degradação.

Utilizou-se intervalo de tempo entre 10 a 9 anos para cada imagem em virtude da capacidade de regeneração da caatinga em áreas desmatadas, nas regiões semiáridas.

O quadro 7 mostra a ocorrência de eventos ENOS no período de estudo para as órbitas 216/215, assim como as datas e o tipo do satélite Landsat.

Quadro 7 – Ocorrência de eventos ENOS no período de estudo - órbitas 216/215

Evento ENOS	Data	Órbita/ponto	Landsat
El Niño moderado	20-09-1995	216/66	5
El Niño moderado	27-09-1995	215/66	5
El Niño fraco	18-09-2006	216/66	5
El Niño fraco	25-09-2006	215/66	5
El Niño forte	20-09-2016	216-66	8
El Niño forte	29-09-2016	215/66	8

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Null (2017).

Constituição do projeto e importação das bandas espectrais do Landsat 5 para o SPRING (bandas 1, 2, 3, 4, 5), com resolução de 30 metros, e a banda 6-termal com resolução de 120 metros, cuja características principais estão representadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Descrição das bandas do Mapeador Temático (TM) do satélite Landsat 5, com intervalo de comprimento de onda, coeficiente de calibração (radiância mínima-a; radiância máxima-b) e irradiância espectrais no topo da atmosfera (TOA)

Bandas	Comprimento de Onda (μm)	Coeficiente de calibração ($\text{Wm}^{-2} \text{sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$)				Irradiância Espectral no Topo da atmosfera ($\text{Wm}^{-2}\mu\text{m}^{-1}$)
		a	b	b	b	
1 (azul)	0,452-0,518	-1,52	152,10	193,0	169,0	1983
2 (verde)	0,528-0,609	-2,84	296,81	365,0	333,0	1796
3 (vermelho)	0,626-0,693	-1,17	204,30	264,0	264,0	1536
4 (IV-próximo)	0,776-0,904	-1,51	206,20	221,0	221,0	1031
5 (IV-médio)	1,567-1,784	-0,37	27,19	30,2	30,2	220
6 (IV-termal)	10,450-12,420	1.2378	15,303	15,303	15,303	-
7 (IV-médio)	2,097-2,349	-0,15	14,38	16,5	16,5	83,44

Fonte: Adaptado de Chander et al. (2009).

Do Landsat 8 OLI foram importadas para o banco de dados as bandas 1, 2, 3, 4, 5, 6,7,8, 9 todas com resolução de 30 metros e as bandas termiais do sensor TIRS 10 e 11 com resolução de 100 m.

A imagem datada de 2016, cuja órbita se encontra georreferenciada, serviu de base para o registro das demais bandas referentes às datas anteriores do estudo. Para georreferenciamento das imagens termiais do Landsat 5, foi utilizada imagens registradas de 2007, adquiridas pelo INPE.

A Tabela 4 apresenta a descrição das bandas do satélite Landsat 8 (OLI-TIRS), com intervalo de comprimento de onda, coeficiente de calibração (radiância mínima- a; radiância máxima –b) e irradiância espectrais no topo da atmosfera (TOA).

Tabela 4 - Descrição das bandas do satélite Landsat 8 (OLI-TIRS), com intervalo de comprimento de onda, coeficiente de calibração (radiância mínima- a; radiância máxima –b) e irradiância espectrais no topo da atmosfera (TOA)

Bandas	Comprimento de Onda (μm)	Coeficiente de calibração ($\text{Wm}^{-2} \text{sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$)		Irradiância Espectral no Topo da atmosfera- ($\text{Wm}^{-2}\mu\text{m}^{-1}$)
		a	b	
1 -Costeira/Aerossol	0,43-0,45	-62,49131	756,73364	1627,3
2 -Azul	0,45-0,51	-63,72469	771,66919	1812,5
3 - Verde	0,53-0,59	-58,35032	706,58862	1932,1
4 -Vermelho	0,64-0,67	-49,41915	598,43732	1579,9
5 -NIR	0,85-0,88	-29,98809	363,13843	905,3
6 -SWIR	1,57-1,65	-7,55550	91,49276	242,6
7-SWIR	2,11-2,29	-2,45779	29,76242	56,0
8 -PAN	0,50-0,68	-55,66755	674,10181	-
9-Cirrus	1,36-1,38	-12,32335	149,22865	-
10-TIR	10,60-11,19	0,10033	22,00180	-
11-TIR	11,50-12,51	0,10033	22,00180	-

Fonte: Adaptado do site USGS (2017).

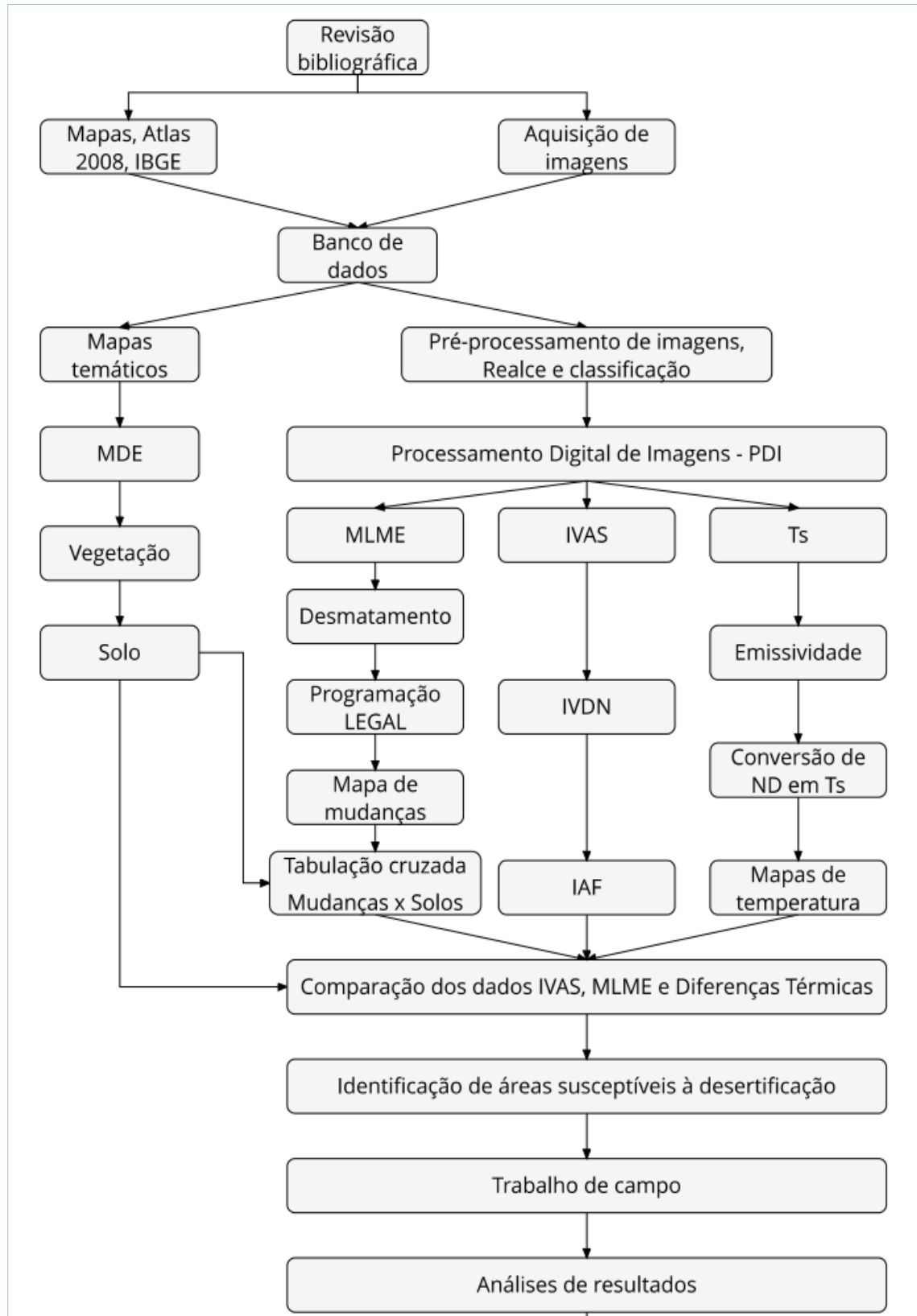
Para elaboração do mapa de elevação, realizou-se um mosaico das imagens da SRTM de 30m para mapeamento do modelo digital de elevação. As cenas foram: S09_W037_1arc_V3, S10_W039_1arc_V3, S09_W038_1arc_V3, S09_W038_1arc_V3, S10_W038_1arc_V3, S08_W038_1arc_V3, S09_W040_1arc_V3, datadas no dia 27 de agosto de 2014, para composição dos mapas de elevação e visualização 3D.

Os dados do Modelo de Elevação Digital –MED da área de estudo foram adquiridos do site do USGS (2016), a partir das imagens da Shuttle Radar Topography Mission- SRTM com resolução 1-ARC (30m), obtidos do site: <https://Ita.cr.usgs.gov/SRTM>.

Os dados referentes aos índices pluviométricos foram adquiridos do site da APAC (2017).

Foi aplicada a técnica MLME e realizado o mosaico das órbita/pontos 215/66 e órbita/ponto 216/66, em datas distintas (1995, 2006 e 2016). O recorte da bacia do rio Moxotó foi realizado com uso do shapefile disponibilizados pelo site da ANA (2017). Após o mapeamento do desmatamento da caatinga foi utilizado o método de edição matricial.

Figura 6 - Fluxograma da metodologia



Fonte: Elaborado pelo autor.

3.3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.3.1 Aplicação do modelo linear de mistura espectral

Para a aplicação do modelo de mistura espectral, no SPRING 5.5, foi realizada uma composição RGB (5,4,3) para as imagens do Landsat 5 e uma composição RGB (6,5,4) para as imagens do Landsat 8. A coleta de informação (pixels) dos componentes: água, solo e vegetação foram realizados na própria imagem, onde foi coletada pixel do açude poço de cruz, representando a água; pixels da vegetação caatinga e pixels de solo exposto.

Com essa aplicação, foram geradas três bandas, representando a proporção de vegetação, de solo e de sombra (água) existente em cada pixel da imagem, para cada data em estudo.

A fração solo realça as áreas sem cobertura vegetal, escolhida para compor o mapa do desmatamento. Foi aplicado o algoritmo de segmentação (isoseg) e classificação de imagens (crescimento de regiões), e edição matricial para correção dos polígonos mal classificados

Foram realizados alguns testes com a segmentação, sendo os valores de área 8 e limiar de similaridade igual a 16, os mais representativos.

Para o mapeamento do desmatamento da caatinga, nesse estudo, foram consideradas as classes caatinga arbórea, caatinga arbustiva, solo exposto, água, nuvem e sombra. O solo exposto foi caracterizado como área com ausência de vegetação.

A classe água e sombra englobou todos os recursos hídricos superficiais, as nuvens e áreas de sombreamento de relevo e áreas com umidade. Para o mapeamento do desmatamento da caatinga, a classe água a princípio não foi separada da classe sombra em função da captação da umidade da água presente nas elevações das rochas areníticas, no entanto após a edição matricial foi obtido os valores em km² dos corpos de água superficiais presentes na bacia do rio Moxotó. Os valores dos corpos de água superficiais em km² foram obtidos, também com a aplicação dos índices de vegetação.

O mapeamento teve como foco, enfatizar o desmatamento da vegetação do bioma Caatinga entre os anos de 1995, 2006 e 2016.

3.3.2 Uso da programação- LEGAL

Com o resultado da espacialização do desmatamento do bioma Caatinga referente aos anos de 1995, 2006 e 2016, foi criado um algoritmo, (Apêndice A) para compor um mapa representando a evolução do desmatamento, contudo as mudanças ocorridas do período de 1995 a 2016 na bacia do rio Moxotó, tais como:

Áreas da bacia que estavam desmatadas e que tiveram recuperação na cobertura vegetal, para esse cenário a classe temática foi denominada de recuperação. As áreas que permaneceram sem alterações significativas quanto à cobertura vegetal, mantendo-se vegetadas durante todos os anos de estudo, a classe temática foi caracterizada como sem alteração. As áreas vegetadas e que foram desmatadas, foram representadas na classe temática como degradadas. E, as áreas que permaneceram desnudas com solos exposto em todas as datas foram classificadas como áreas propensas à desertificação.

Esse método, da detecção de mudanças, com uso da programação legal foi utilizado nos trabalhos de Freire e Pachêco (2011), no mapeamento de áreas de desertificação na região de Xingó- PE, para o período de 13 anos.

A programação em legal, também foi usada para o computo das radiâncias e reflectâncias das imagens do Landsat 5 e 8 (Apêndice B) no Spring, como também no computo dos índices de vegetação IVDN e IVAS.

3.3.3 Tabulação cruzada

Com o mapeamento das mudanças ocorridas, fez-se uma tabulação cruzada, no software Spring, com os principais tipos de solos situados na bacia do rio Moxotó, a intenção foi identificar nas áreas onde houve estabilização da degradação que tipos de solos predominavam, assim como nas áreas que houve recuperação ambiental e estabilização de áreas vegetadas.

Contudo, foram obtidos o IVDN e o IVAS na bacia do rio Moxotó, posteriormente foi realizado o mapeamento da espacialização do IVAS e da Ts, no intuito de averiguar que intervalos as geoclasses (degradação, recuperação, propensão à desertificação) correspondiam.

3.3.4 Aplicação dos Índices de Vegetação

Os índices de vegetação utilizados no trabalho foram o Índice de Vegetação Ajustado ao Solo - IVAS, Índice de Vegetação Normalizado (IVDN) e o índice de Área Folhear (IAF). Esses índices foram usados para averiguar a quantidade da vegetação na área de estudo, e como parâmetro nas diferenças de temperatura na degradação das terras, assim também foram utilizados os dados do IVAS e o IAF no cálculo da emissividade superficial.

Para obtenção dos índices de vegetação foram realizadas as calibrações radiométricas das bandas 3 e 4 (Landsat 5) expressa na equação (5) e calculadas as reflectâncias expressa na equação (6). As conversões para a radiância e reflectância do topo da atmosfera para a banda 10 (Landsat 8) foram descritas nas equações (8) e (9). O IVDN, IVAS e o IAF foram obtidos com as equações (2), (3) e (4).

Todos os cálculos foram realizados na Programação em Legal do SPRING 5.5.

3.3.4.1 Índice de Vegetação Normalizada - IVDN

$$IVDN = \frac{(IVP - V)}{(IVP + V)} \quad (2)$$

(1) Onde: IVP é a reflectância no infravermelho e V- a reflectância do vermelho.

3.3.4.2 Índice de Vegetação Ajustado ao Solo - IVAS

O IVAS é um índice de vegetação ajustado para os efeitos do solo (Soil Adjusted Vegetation Index - SAVI), que ameniza os efeitos do “background” do solo. É calculado por meio da relação das bandas do infravermelho próximo e do vermelho (HUETE, 1988).

$$IVAS = \frac{(IVP - V)}{(IVP + V + L)} * (1 + L) \quad (3)$$

(1) Onde: *L* é um fator de ajuste para o substrato do dossel, que leva em conta, para vermelho e para o infravermelho próximo, a extensão diferencial através do dossel (HUETE, 1988; KARNIELI et al., 2001). Nessa pesquisa foi usado o valor 0,5.

Huete e Liu (1994) afirmam que um valor de L igual a 0,5 no espaço reflectância (vermelho x infravermelho próximo) minimiza as variações de brilho dos solos, portanto elimina a necessidade de calibrações adicionais para diferentes solos.

3.3.4.3 Índice de Área Folhear (IAF)

O índice de área foliar (IAF) é obtido pela razão entre a área foliar de toda a vegetação por unidade de área utilizada por essa vegetação. Computado pela equação empírica formulada por Allen et al. (2002).

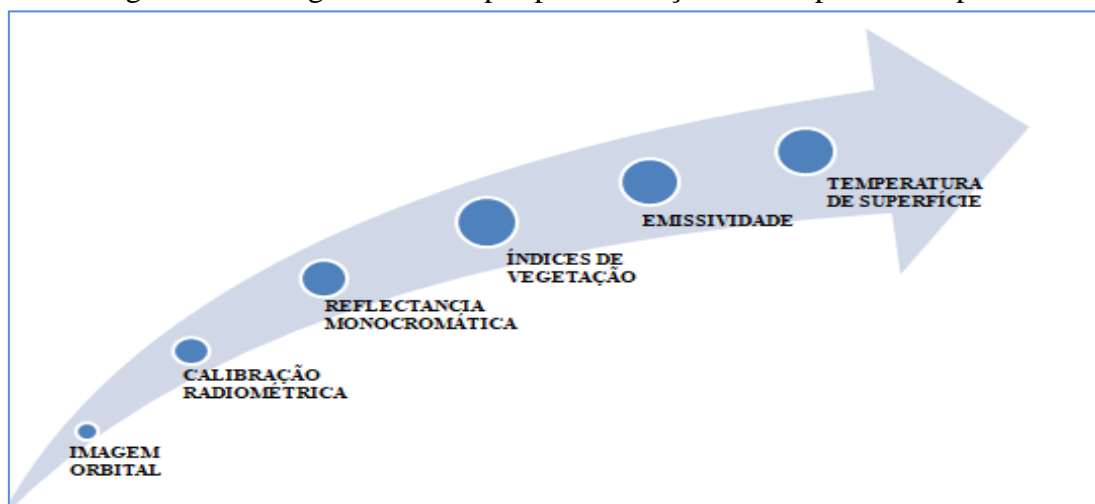
$$IAF = \left(\frac{\frac{0,69 - IVAS}{0,59}}{0,91} \right) \quad (4)$$

3.3.5 Temperatura Superficial (Ts)

A execução dos procedimentos para obtenção da temperatura superficial foi realizada no software QGIS 2.18.2.

A Figura 7 mostra as etapas que foram utilizadas para a obtenção da espacialização da temperatura superficial para as datas em estudo.

Figura 7 - Fluxograma das etapas para obtenção da Temperatura superficial



Fonte: Elaborado pelo autor.

A temperatura superficial (T_s), foi obtida a partir de informações de fluxo de energia à superfície das imagens orbitais, utilizando parte do algoritmo SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Landa), conforme Bastiaanssen et al. (2000).

3.3.5.1 Calibração radiométrica para o LANDSAT 5

Para a calibração radiométrica das imagens landsat 5, foi utilizada a equação de Markham e Baker (1987):

$$L\lambda_i = a_i + \frac{b_i - a_i}{255} ND \quad (5)$$

Onde:

a e b são as constantes de calibração de um determinado sensor- radiâncias espectrais mínimas e máximas ($Wm^{-2} sr^{-1}\mu m^1$);

ND é a intensidade do pixel (0 a 255);

i - corresponde às bandas do satélite TM-Landsat 5;

$L\lambda_i$ – Radiância espectral monocromática ($W/m^2.sr. \mu m$).

3.3.5.2 Calculo da reflectância monocromática

$$\rho\lambda = \frac{\pi.L\lambda}{E\lambda.\cos(z).dr} \quad (6)$$

Onde:

dr-Inverso do quadrado da distância relativa Terra sol em unidades astronômicas;

z-Ângulo solar zenital (graus) no momento da aquisição;

$E\lambda$ - Irradiância solar média no topo da atmosfera espectral monocromática ($mW/cm^2.\Omega.\mu m$);

$\rho\lambda$ - Reflectância monocromática.

3.3.5.3 Cálculo para obtenção da fórmula final obtida a partir da simplificação das equações da radiância equação (5) e refletância equação (6)

Com a simplificação das fórmulas (5) e (6) é possível calcular diretamente de ND em refletâncias, fórmula (7).

$$\rho\lambda = \frac{\pi \left[\left(\frac{L_{\text{máx}} - L_{\text{mín}}}{DN} \right) * (DN) + L_{\text{mín}} \right]}{E\lambda \cdot \cos(z) \cdot dr} \quad (7)$$

Onde:

$\rho\lambda$ - Refletância monocromática

dr - Inverso do quadrado da distância relativa Terra sol em unidades astronômicas;

z - Ângulo solar zenital (graus) no momento da aquisição;

$E\lambda$ - Irradiância solar média no topo da atmosfera espectral monocromática (mW/cm².Ω.μm);

$\rho\lambda$ - Refletância monocromática.

$L_{\text{máx}}$. e $L_{\text{mín}}$ – são constantes de calibração de um determinado sensor.

3.3.5.4 Conversão para a radiância do topo da atmosfera (TOA) para as imagens da banda 10 do sensor Thermal Infrared Sensor (TIRS) LANDSAT-8

De acordo com a USGS (2016):

$$\rho\lambda = M\rho Q_{\text{cal}} + A\rho \quad (8)$$

Onde:

$\rho\lambda$ = é o valor de radiância espectral no topo da atmosfera (TOA) medida em valores de (watts/m²*srad*μm);

ML = Banda - é o fator multiplicativo de escalamento específico obtido do metadado (RADIANCE_MULT_BAND_X, e X é o número da banda)

AL = Banda - é o fator aditivo de escalamento específico obtido do metadado (RADIANCE_ADD_BAND_X, onde X é o número da banda)

Q_{cal} = Produto quantificado e calibrado por pixel (DN). Este valor se refere a cada uma das bandas da imagem.

3.3.5.4 Conversão para a reflectância do topo da atmosfera (TOA) para as imagens LANDSAT 8

O cálculo da reflectância de uma área captada pelo sensor está condicionado pelas interferências da atmosfera, assim como o ângulo de observação. A equação (9) computa a reflectância no topo da atmosfera com uma correção para o ângulo solar.

$$\rho_{\lambda} = \frac{\rho_{\lambda}}{\cos(\theta_{sz})} = \frac{\rho_{\lambda}}{\sin(\theta_{se})} \quad (9)$$

Onde:

ρ_{λ} = reflectância no topo da atmosfera

θ_{se} = ângulo da elevação do sol, encontrado no metadado da imagem (sun elevation)

θ_{sz} = ângulo solar zenital: $\theta_{sz} = 90^\circ - \theta_{se}$

3.3.5.5 Emissividade

A emissividade da superfície representa a razão entre a radiação emitida pela superfície e aquela emitida pelo corpo negro à mesma temperatura, que cada pixel da área estudada foi computado por (TASUMI, 2003):

$$(\epsilon_0) = 0,95 + 0,01 IAF \quad (10)$$

Onde:

(ϵ_0) = emissividade no domínio da banda larga

IAF = índice de área foliar

O cálculo da temperatura da superfície (T_s) foi realizado por meio da equação de Planck invertida, que para um corpo negro a emissividade é igual a 1, todavia, como o pixel não constitui um corpo negro, precisa-se estabelecer a sua emissividade no domínio espectral da banda termal (ϵ_{NB}), para fins de cômputo da T_s .

De acordo com Allen et al. (2002) as emissividades (ϵ_{NB}) e (ϵ_0) podem ser obtidas, para $NDVI > 0$ e $IAF < 3$, sendo:

$$\epsilon_{NB} = 0,97 + 0,00331IAF \quad (11)$$

$$(\epsilon_0) = 0,95 + 0,01IAF \quad (12)$$

3.3.5.6 Temperatura de superfície

Para o cálculo da temperatura à superfície (T_s) foram utilizados dados da radiância espectral das bandas termal $L\lambda_6$ (LANDSAT 5) e $L\lambda_{10}$ (LANDSAT 8), e a emissividade ϵ_{NB} (LANDSAT 5 e LANDSAT 8), obtidas nas etapas anteriores. Para o computo da T_s têm se a seguinte expressão, tanto para o computo da T_s por meio das imagens do LANDSAT 5, como para o computo de imagens do LANDSAT 8.

$$T_s = \frac{k_2}{\ln\left(\frac{\epsilon_{NB}K_1}{L\lambda_6} + 1\right)} \quad (13)$$

Onde: K_1 e K_2 são constantes de calibração da banda termal, com valores iguais a $607,76 \text{ Wm}^{-2} \mu\text{m}^{-1}\text{sr}^{-1}$ e $1260,56 \text{ K}$ para o LANDSAT 5 (MARKHAN; BARKER, 1986).

Para o LANDSAT 8, a banda termal 10 apresenta as constantes de calibração K_1 e K_2 , respectivamente $774,88 \text{ K}$ e $1321,08 \text{ K}$.

ϵ_{NB} é a emissividade de cada pixel no domínio da banda termal (ALLEN et al., 2002), descrita anteriormente (equação 11) e $L\lambda$ é a radiância da banda termal.

3.3.6 Dados pluviométricos

Os dados pluviométricos referentes às datas em estudo foram obtidos juntamente à Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC). As estações meteorológicas foram Arcoverde (INMET), Ibimirim (IPA) e Inajá (CHESF).

3.3.7 Trabalho de campo

A partir dos resultados obtidos foi realizada atividade de campo, em algumas áreas da bacia do rio Moxotó. Foram escolhidas algumas áreas com degradação estável, comuns às três datas em estudo, resultado do mapeamento das mudanças ocorridas da fração solo com o uso da programação em Legal, assim como o resultado do IVAS. O trabalho de campo objetivou conhecer a paisagem, obter pontos representativos por meio do GPS, relacionar os dados obtidos da análise das imagens orbitais com a verdade em campo.

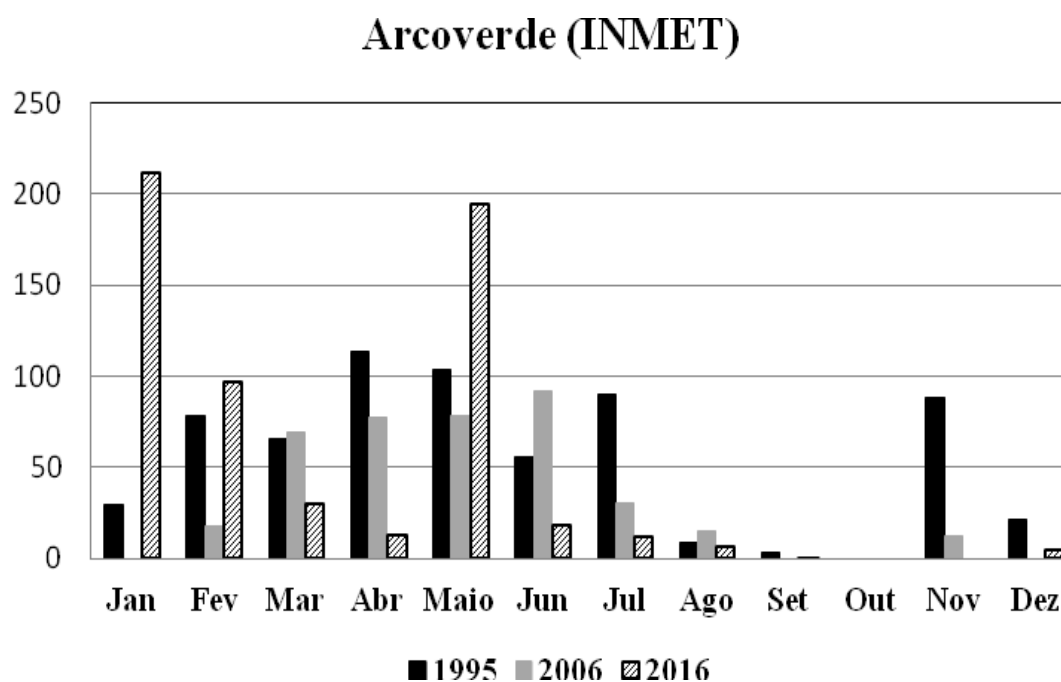
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERÍSTICAS PLUVIOMÉTRICAS PARA AS DATAS EM ESTUDO

Os resultados para as datas em estudo, indicam diferenciação do regime pluviométrico para a bacia do rio Moxotó, evidenciando heterogeneidade na distribuição das chuvas, captados pelas estações meteorológicas de Arcoverde (INMET), Ibimirim (IPA) e Inajá (CHESF), representados pelos gráficos nas Figuras 8, 9 e 10.

Na Figura 8, observa-se dados de pluviometria obtidos na Estação meteorológica de Arcoverde (INMET). Nota-se que os maiores registros de pluviosidade para o ano de 1995 ocorreram nos meses de abril (113,7 mm) e maio (103,5 mm). A precipitação mais baixa foi registrada no mês de setembro (3,3 mm), e no mês de outubro não houve registro de chuvas.

Figura 8 - Gráfico de representação da pluviometria na bacia do rio Moxotó - Estação meteorológica de Arcoverde (INMET)



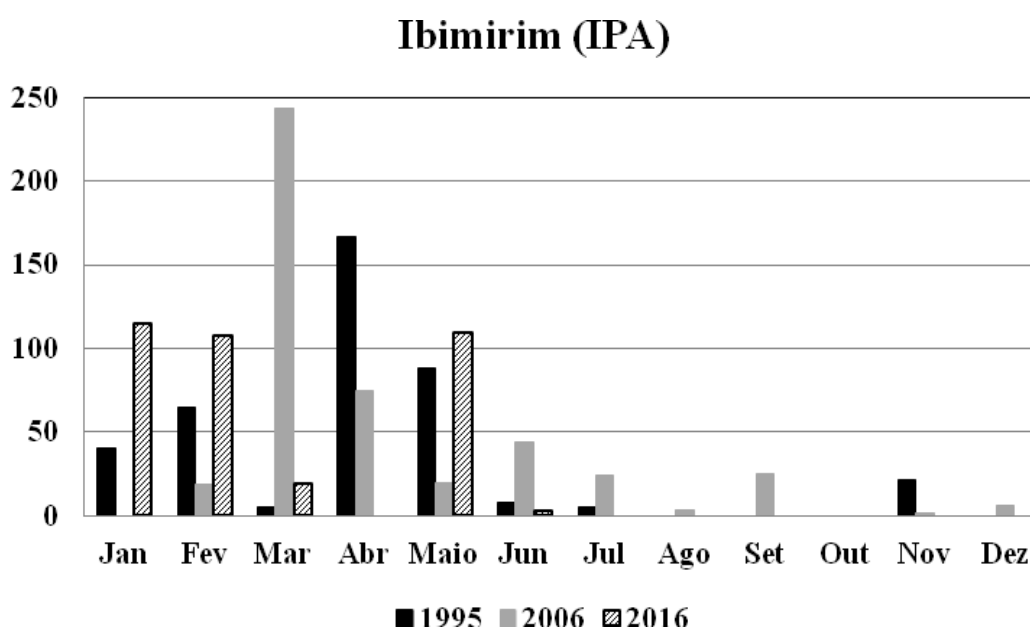
Fonte: Elaborado pelo autor.

Em 2006 os maiores valores pluviométricos registrados, na Estação Arcoverde (INMET), ocorreram nos meses de maio (78,2 mm) e junho (91,6 mm), e os meses sem registro de chuva foram os meses de janeiro, setembro, outubro e dezembro.

Para o ano de 2016, os maiores volumes de chuvas captados foram para os meses de janeiro (211 mm) e fevereiro (96,6 mm), e os menores valores registrados foi no mês de setembro (0,3 mm). Os meses de outubro e dezembro não tiveram registro pluviométrico.

Na Estação meteorológica de Ibimirim (IPA), representada pela Figura 9, os maiores registros pluviométricos referente ao ano de 1995, foram nos meses de fevereiro (64,5 mm), abril (167 mm) e maio (88 mm).

Figura 9 - Gráfico de representação da pluviometria na bacia do rio Moxotó – Estação meteorológica de Ibimirim (IPA)



Fonte: Elaborado pelo autor.

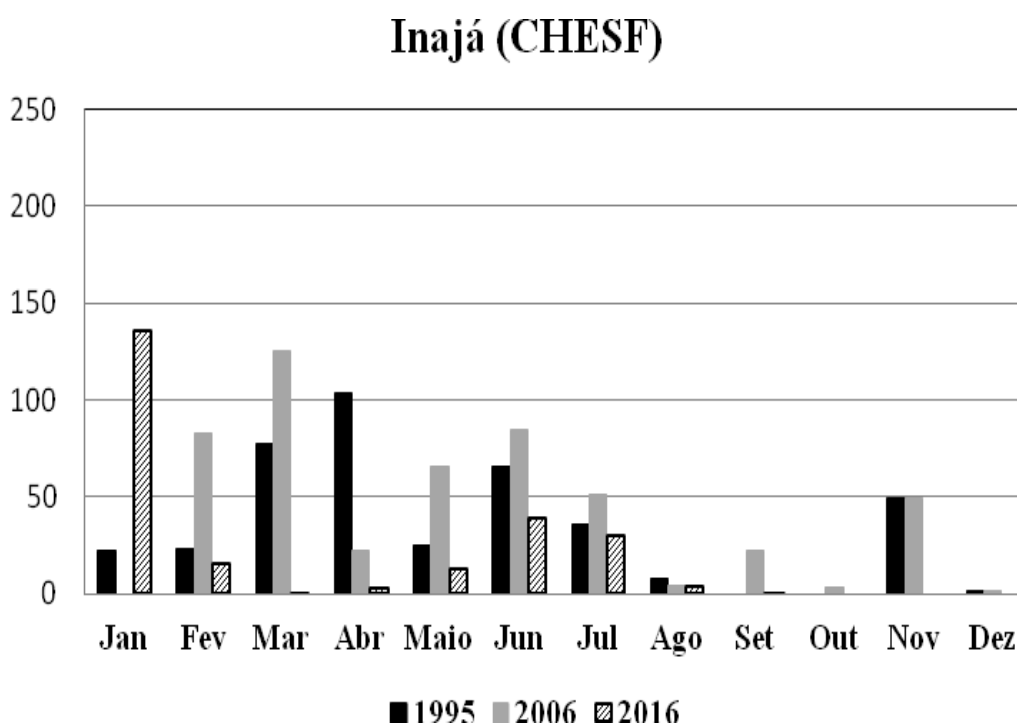
O ano de 2006 apresentou maiores registros pluviométricos nos meses de março (243 mm), abril (77 mm), junho (44,3 mm). Os menores valores de ocorrência de chuvas foram nos meses de julho (23,9 mm), agosto (3 mm), setembro (25,4 mm), novembro (1,6 mm) e dezembro (6 mm). Os meses de janeiro e outubro não tiveram registro pluviométrico.

Os maiores registros de precipitação para o ano de 2016, na Estação Ibimirim, ocorreram nos meses de janeiro (114,3 mm), fevereiro (107,7 mm), maio (109,3 mm). Os

menores registros foram nos meses de Março (19 mm) e junho (2,7 mm). Não apresentaram registro de chuvas os meses de abril, julho, agosto, outubro, novembro e dezembro.

Na Estação meteorológica de Inajá (CHESF), Figura 10, observa-se maior registro de pluviosidade, referente ao ano de 1995, nos meses de março (77,6 mm), abril (103,5 mm), junho (65,8 mm), julho (36,3 mm) e novembro (49,5 mm). Os valores mais baixos foram nos meses de janeiro (22,6 mm), fevereiro (23,5 mm), março (24,8 mm), agosto (7,7 mm) e dezembro (1,5 mm). Os meses de setembro e outubro não tiveram registro pluviométrico.

Figura 10- Gráfico de representação da pluviometria na bacia do rio Moxotó – Estação meteorológica - Inajá (CHESF)



Fonte: Elaborado pelo autor.

Em 2006 os maiores valores foram registrados nos meses de fevereiro (82,7 mm), março (125,4 mm), junho (84,8 mm), julho (51,4 mm) e novembro (49,1 mm). Os menores registros foram nos meses de abril (22,1 mm), agosto (4,3 mm), setembro (22,1 mm), outubro (3,6 mm) e dezembro (1,3 mm). Não houve registro pluviométrico no mês de janeiro.

Para o ano de 2016, os maiores volumes de chuvas captados foram para os meses de janeiro (135,5 mm), junho (38,9 mm) e julho (29,9 mm). Os menores valores de chuvas registrados foram nos meses de fevereiro (15,1 mm), março (0,5 mm), abril (2,4 mm), maio

(12,2 mm), agosto (3,2 mm) e setembro (0,7 mm). Os meses de outubro, novembro e dezembro não tiveram registro pluviométrico.

4.2 MAPEAMENTO DA ÁREA DESMATADA NA BACIA DO RIO MOXOTÓ

O desmatamento do bioma Caatinga na bacia do rio Moxotó pôde ser evidenciado a partir do estudo espaço temporal das respostas espectrais, com o mosaico órbita/ponto 215/66 e 216/66 dos satélites landsat 5 para os anos de 1995 e 2006, e mosaico órbita/ponto 215/66 e 216/66 de imagens do landsat 8 para o ano de 2016, com o mapeamento da fração solo, do Modelo linear de mistura espectral.

A espacialização do desmatamento da caatinga na bacia do rio Moxotó pode ser visto na Figura 11, e as medidas de classe na Figura 12. As classes caatinga arbórea, caatinga arbustiva, solo, água/nuvem totalizam aproximadamente 9.782 km² de classes situadas na bacia do rio Moxotó. E, foram representadas nas seguintes cores: a cor verde-escura corresponde a classe da caatinga arbórea, a cor verde claro a caatinga arbustiva, o solo está representado pela cor magenta e a classe água-nuvem pela cor azul.

Dados obtidos do mapeamento da fração solo para o ano de 1995, indicam que a maior classe em extensão de áreas foi a caatinga arbustiva, representando 42% das áreas, correspondendo ao total de 4.110,42 km². A caatinga arbórea apresentou 32%, equivalente a 3.177,75 km². A classe solo correspondeu a 20% e seus valores foram de 1.952,89 km². Os corpos d'água, nuvens e sombra presentes na bacia somaram valores de 541,26 km², representando 6% das classes.

Em relação ao ano de 2006, os resultados mostraram aumento de extensão dos corpos hídrico na bacia correspondendo a 668,51 km², em relação ao ano de 1995 e 2016, tal aumento se explica pelo aporte pluviométrico na região, conforme dados históricos de pluviometria da APAC (2017). A extensão de áreas representadas pela caatinga arbórea ficou em torno de 2.853,17 km², as áreas de caatinga arbustiva 3.445,27 km² e os solos apresentaram resultado em torno de 2.814,72 km².

O mapeamento do desmatamento para o ano de 2016 mostrou diminuição da caatinga arbórea, diminuição dos corpos hídricos e aumento dos solos exposto, indicando áreas degradadas quando comparada com os anos de 1995 e 2006. Assim, a classe caatinga arbórea, no ano de 2016, apresentou valores em extensão equivalente a 2.032,99 km², a caatinga

arbustiva correspondeu a 4.710,88 km², a classe solo ficou em torno de 2.976,71 km², e a classe água-nuvem sombra representaram 63,15 km². Com a edição matricial foi possível separar os corpos de água das nuvens e sombras presentes na bacia, assim para o ano de 1995 os corpos hídricos superficiais representavam aproximadamente 20,54 km² de extensão de áreas. Para o ano de 2006 os valores apresentados para os corpos hídricos aumentaram para 50,20 km². Em 2016 os valores passaram a corresponder a 13,85 km² em extensão de área.

Percebe-se maior presença de sombras na imagem de 2006, no ano de maior aporte pluviométrico (APAC, 2011) e El Niño fraco (NULL, 2017). Supõem-se que as áreas classificadas como sombra nas áreas de formações areníticas, podem representar ainda, não só a sombra da elevação das formações rochosas e das sobreposições de sucessão de plantas da caatinga, mas também a umidade da água absorvida por essas rochas porosas. A umidade presente nas rochas areníticas contribui na permanência da vegetação rupestre.

Verifica-se quase total ausência de sombra nessas formações para as imagens do ano de 2016, menor aporte pluviométrico (APAC, 2017) e influência do El Niño muito forte (NULL, 2017) e diminuição da vegetação rupestre nas elevações rochosas areníticas.

Os valores em extensão de áreas ocupadas com a caatinga arbórea, na bacia do rio Moxotó, vêm diminuindo desde o ano de 1995, resultado da supressão da caatinga por atividades antropizadas como o aumento de áreas de pasto e expansão de áreas agrícolas. Além disso, a exploração de madeira para comercialização e fabricação de carvão, é uma das atividades rentáveis, e em alguns povoados chegam a ser a principal atividade econômica.

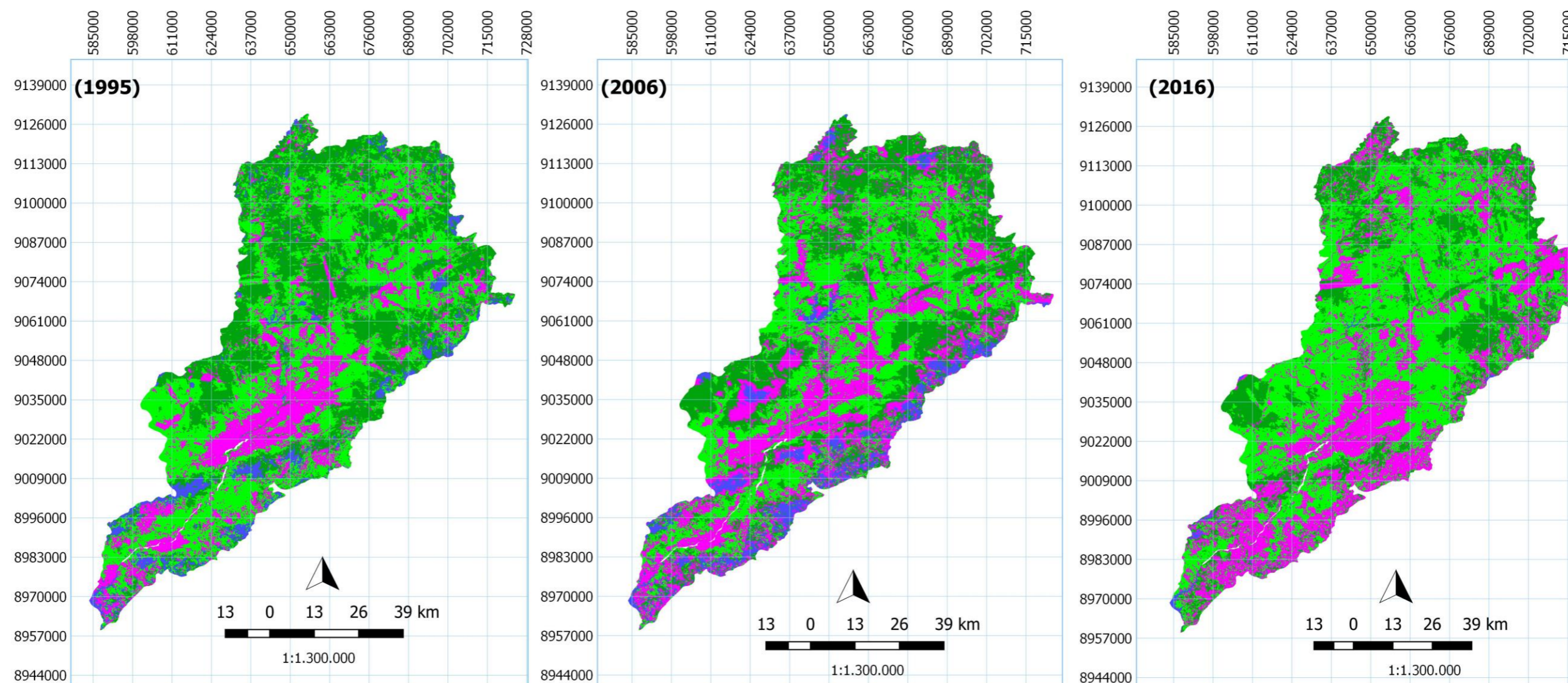
Em Caroalina, povoado situado no município de Sertânia, por exemplo, muitas famílias vivem da fabricação de carvão com a extração ilegal de madeira, fato evidenciado pela reportagem do Globo Rural (2011).

A espacialização do desmatamento da caatinga pode ser percebida, com uma análise comparativa entre as imagens de 1995, 2006 e 2016, contidas na Figura 11, que somam o espaço de tempo de 21 anos.

A diminuição da vegetação de porte arbóreo é visível em toda a área da bacia do rio Moxotó, todos os municípios inseridos, apresentam déficit de vegetação arbórea, o que põem em dúvida a efetivação dos planos de manejo florestal para as atividades extrativistas, principalmente para os produtores de carvão, no âmbito dessa região.

Nesse sentido, os impactos das variações climáticas podem estar interferindo a regeneração da caatinga, o que implica ainda a necessidade de rever o plano de manejo para essa região.

Figura 11 - Espacialização do desmatamento do bioma Caatinga dos anos de 1995, 2006 e 2016 na bacia do rio Moxotó



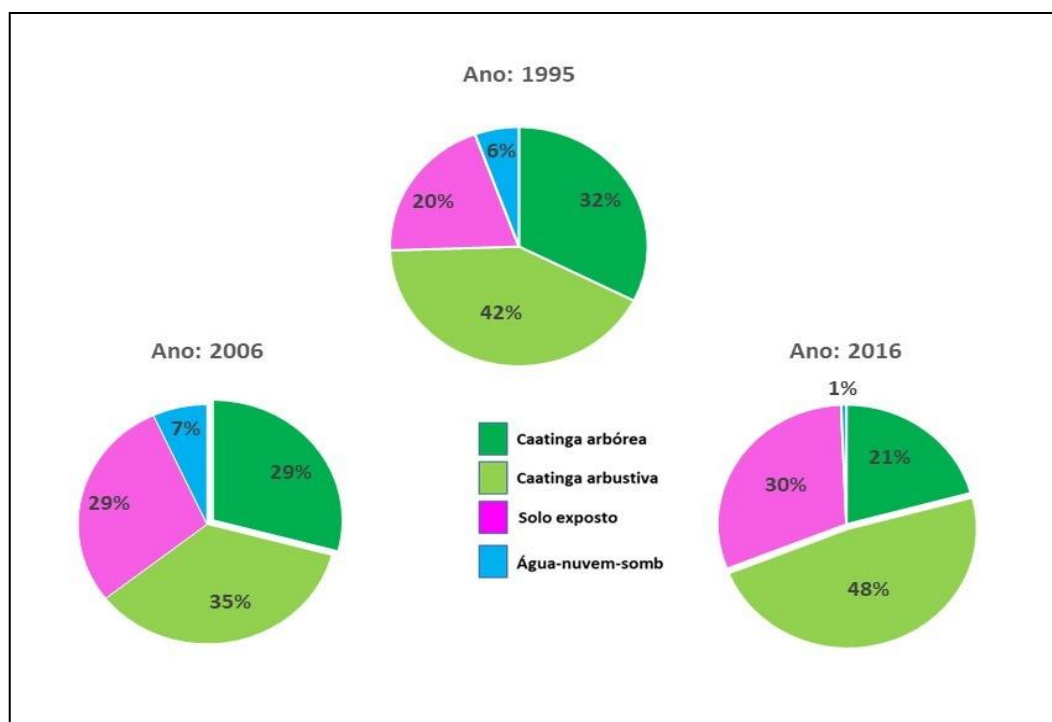
Legenda

- Caatinga arborea
- Caatinga arbustiva
- Solo
- Água- nuvem

SISTEMA DE PROJEÇÃO UTM
 DATUM : SIRGAS 2000 ZONA 24 S
 ESCALA: 1:1.300.000



Figura 12 - Representação das medidas de classe referente a espacialização do desmatamento da vegetação do bioma Caatinga para os anos de 1995, 2006 e 2016



Fonte: Elaborado pelo autor.

De acordo com a Figura 12, os solos expostos, ou de vegetação muito rala, a partir do ano de 1995 tiveram um aumento significativo de 9% em 2006. Do ano de 2006 para 2016 aumentaram ainda 1%, indicando a permanência de degradação ambiental em todo perímetro.

Sabendo-se, que os solos inseridos na bacia do rio Moxotó, tanto nos domínios da Depressão Sertaneja, quanto na Bacia Sedimentar do Jatobá, apresentam-se limitações e restrições quanto a ocupação e uso (SILVA et al., 1993), pode-se dizer que a persistência da ausência da cobertura vegetal foi comprometida pelo extrativismo da caatinga e excesso de sais, principalmente no trecho do perímetro irrigado que vai do município de Ibimirim ao município de Inajá, decorrente dos impactos ocasionados pelos processos de irrigação sem condições de drenagem adequadas (VASCONCELOS, 2013; CERQUEIRA, 2015; SILVA, 2014).

A degradação dos solos pela salinização leva à desertificação, processo comum nos climas áridos e semiáridos (SENTIS, 2005). A salinização se destaca como um grande potencial desencadeador da desertificação, pelo fato de dificultar a captação hídrica e de nutrientes do solo pela vegetação, causando desequilíbrio no desenvolvimento nas plantas e mortes destas, dificultando a distribuição de água no perfil dos solos, o que o torna estéril (SOUSA, 2015).

A Figura 13 retrata a localização de áreas salinizadas situadas no perímetro irrigado de Ibimirim, ocasionadas pela prática de irrigação inadequada, na imagem (A) mapa de localização de áreas salinizadas a partir do ponto registrado pelo GPS, e denominado ponto nº 45, nas imagens (B) e (C) presença de solos desnudos salinizados aproximadamente a 4,5m de distância do ponto nº 45, próximo a mata de *Prosopis juliflora* (algaroba). Na imagem (C) é possível perceber no solo áreas esbranquiçadas que são os sais suspensos na superfície, e ao fundo das imagens (B) e (C) predominância da vegetação densa da espécie de *Prosopis Juliflora* (Sw)D.C (algaroba), presente nos domínios dos Neossolos Flúvicos situados no leito do rio Moxotó.

Como os sensores do landsat 5 e 8 são de média resolução espacial, não há como separar as espécies vegetais, assim como descrito na metodologia as *Prosopis juliflora* compõem no mapeamento as espécies arbóreas situadas na bacia, todavia, os trabalhos de campo realizados em 18 e 19 de fevereiro de 2017, e 19 e 20 de janeiro de 2018, mostram o predomínio dessa espécie na bacia do rio Moxotó, principalmente nas margens do rio.

Com as atividades realizadas no campo, supõem-se que 80% das espécies arbóreas presente no município de Ibimirim e Inajá sejam da espécie *Prosopis juliflora*, o que implica uma grande devastação da caatinga na região. Salvo as áreas de proteção ambiental do Parque Nacional do Catimbau, no trabalho de campo percebeu-se baixa predominância dessa espécie entre a caatinga.

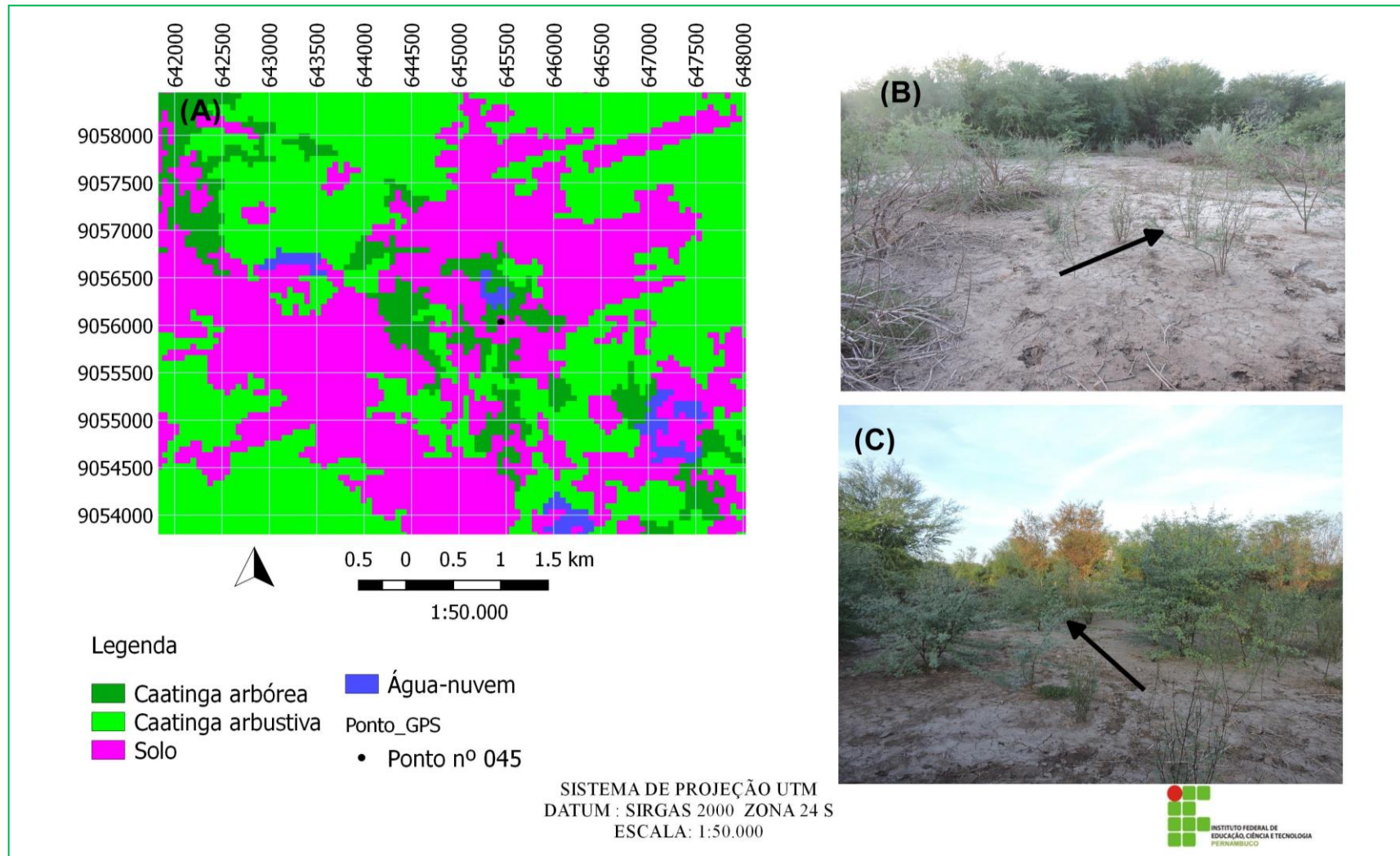
Estudos realizados por Santos e Diodato (2016), sobre a invasão de *Prosopis juliflora*, no bioma caatinga, no município de Fernando Pedroza, Rio Grande do Norte, mostrou que a proliferação da *Prosopis juliflora* está se constituindo um novo ecossistema formado apenas pelos seus indivíduos, contudo, afetando a biodiversidade da vegetação no bioma caatinga.

Os autores Santos e Diodato (2016), citam ainda, embasados com a pesquisa de Nascimento (2008) que a espécie expele substâncias químicas de suas folhas, com propriedades alelopáticas, prejudicando a germinação de diversas espécies da caatinga.

Na literatura existem muitas pesquisas referentes aos impactos negativos da proliferação da *Prosopis juliflora*, sendo liberado o desmatamento dessa espécie na região semiárida, até mesmo para conter a diminuição na disseminação da mesma.

Os benefícios da *P juliflora* em áreas degradadas foram relatadas por Pasiiecznik et al. (2004), conforme esses autores a planta controla e previne a erosão do solo, diminui e estabiliza dunas, melhora a fertilidade e reduz a salinidade do solo e aumenta o teor de matéria orgânica da camada superficial do solo.

Figura 13 - Áreas salinizadas, situadas no perímetro irrigado de Ibimirim: (A) Mapa de localização de áreas salinizadas ponto GPS nº 45, (B) e (C) solos desnudos salinizados aproximadamente a 4,5 m de distância do ponto nº 45 próximos a mata de *Prosopis juliflora* (algaroba)



Fonte: Elaborado pelo autor.

Por outro lado, o desmatamento descontrolado do porte arbóreo dessa espécie na bacia do Rio Moxotó, nas áreas degradadas, sem uma estratégia de recuperação do solo e reflorestamento da caatinga poderá corroborar ainda mais ao desequilíbrio ambiental, principalmente nas áreas salinizadas, por serem mais susceptíveis a processos desertificativos.

4.1.1 Contribuição do PARNA do Catimbau na preservação da biodiversidade da caatinga

A partir dos resultados do mapeamento da fração solo, na bacia do rio Moxotó, percebeu-se a contribuição de 622,9 km² de extensão de vegetação do bioma caatinga, oriundas das áreas da unidade de conservação do PARNA do Catimbau, situado nas áreas das unidades geoambientais da Bacia Sedimentar do Jatobá e Depressão Sertaneja.

É importante ressaltar, a relevância dessa unidade de conservação na bacia, pois atenuam a propensão à desertificação, além de não propicia a proliferação desordenada da *P. juliflora*.(Sw) D.C em suas áreas, tendo em vista a dificuldade das espécies *P. juliflora* se desenvolverem em comunidades vegetais nativas (PASIECZNIK et al., 2004), ainda que, essas espécies estejam em pequeno número presentes em algumas áreas do parque.

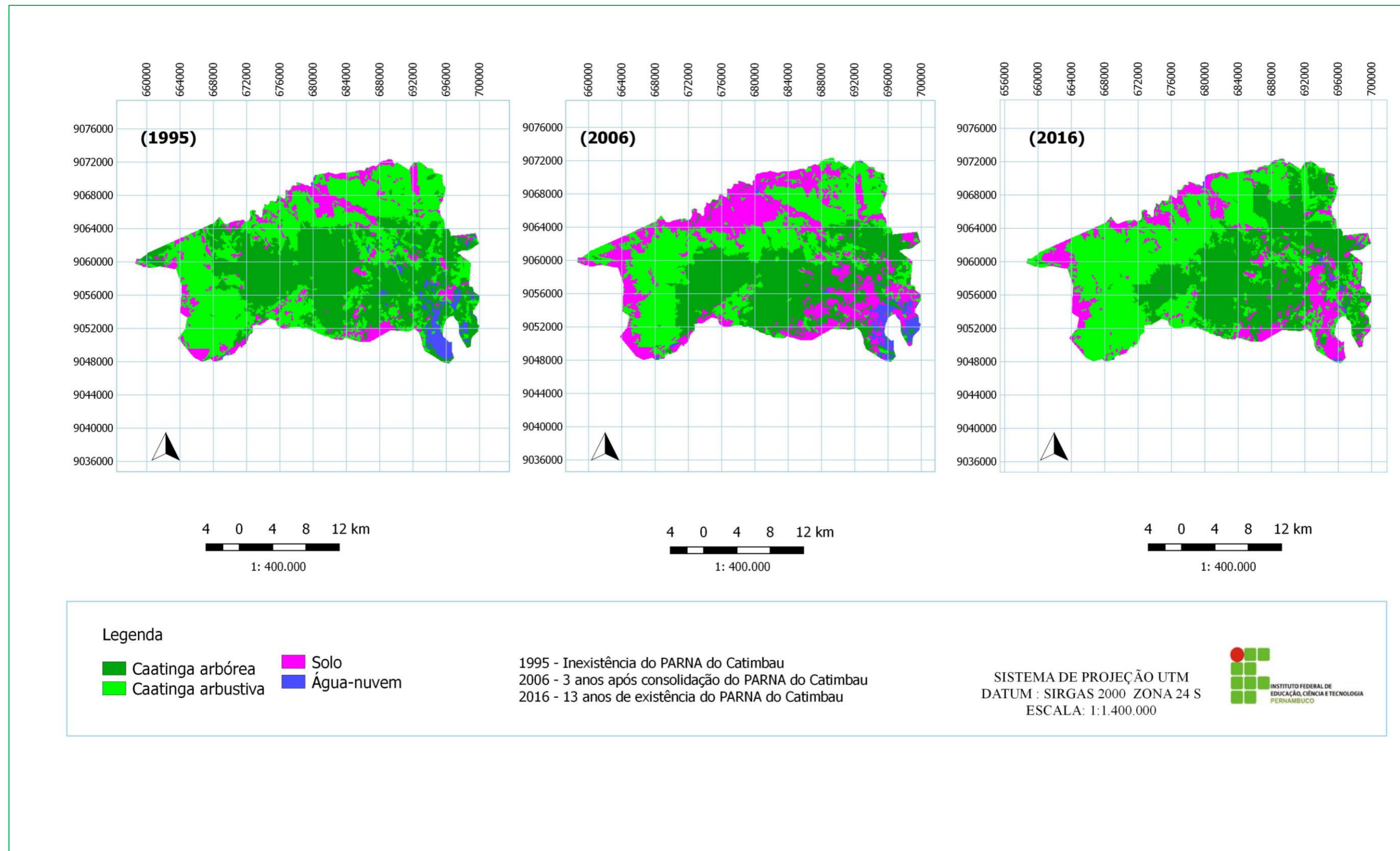
A exploração da *P. juliflora*.(Sw) D.C é permitida pela ICMBio pelas familiar residentes e do entorno do Catimbau, fato que contribui , na região, a possibilidade de preservação e regeneração da caatinga nas áreas de entorno.

Em 1995, as áreas do PARNA do Catimbau (ainda não instituída), como mostra a Figura 18, contribuía com 266,03 km² de caatinga arbórea, 266,69 km² de caatinga arbustiva, para a bacia do rio Moxotó. E, apresentava 71,04 km² de solo exposto/antropizado, e 19,09 km² de água/sombra.

Supõem-se, pela análise das imagens que entre os anos de 1995 a 2006, ocorreu aumento de áreas degradadas no PARNA do Catimbau , essas observações corroboram com os dados da pesquisa realizada por Freire (2015), que observou em seu estudo degradação entre os anos de 2003 a 2014, descrevendo ainda, a situação preocupante sobre os conflitos impulsionados sobre a conservação da biodiversidade da caatinga e a população do entorno.

Segundo o mesmo autor, parte da degradação ocorrida entre essas datas, foi caracterizada pelo aumento de áreas de atividades agropastoris, por alguns proprietários, como também a incursão de atividades econômicas não compatíveis com áreas de proteção integral, no intuito de valorizar as terras para negociar valores de indenização.

Figura 14 - Mapeamento do desmatamento da caatinga nas áreas do Parque Nacional do Catimbau: 1995 (não consolidado), 2006 e 2016



Fonte: Elaborado pelo autor.

Entre os anos de 2006 a 2016, Figura 14, observa-se ganhos em recuperação da cobertura vegetal.

Os valores de contribuição do PARNA do Catimbau identificados nas imagens de 2006 para a bacia do rio Moxotó foram: 7% da caatinga arbórea, 6% da caatinga arbustiva, o PARNA apresentou ainda 6 % de solos desnudos ou de cobertura vegetal muito rala degradada, e 2% de água nas áreas úmidas.

Em 2016, as contribuições da preservação e recuperação da caatinga aumentam, a caatinga arbórea passou a ser representada por 11%, a caatinga arbustiva com 6% e os solos expostos, ou com cobertura vegetal rala, representando apenas 3%.

Importante ressaltar que a mancha de sombra, representada na cor azul, presente na imagem de 2006, não constitui um erro de mistura, mas sinaliza a presença de grande umidade nas rochas areníticas, essas rochas são muito porosas e acumulam água em alguns pontos, como se fosse uma esponja, isso beneficia a vegetação rupestre presente nessas elevações.

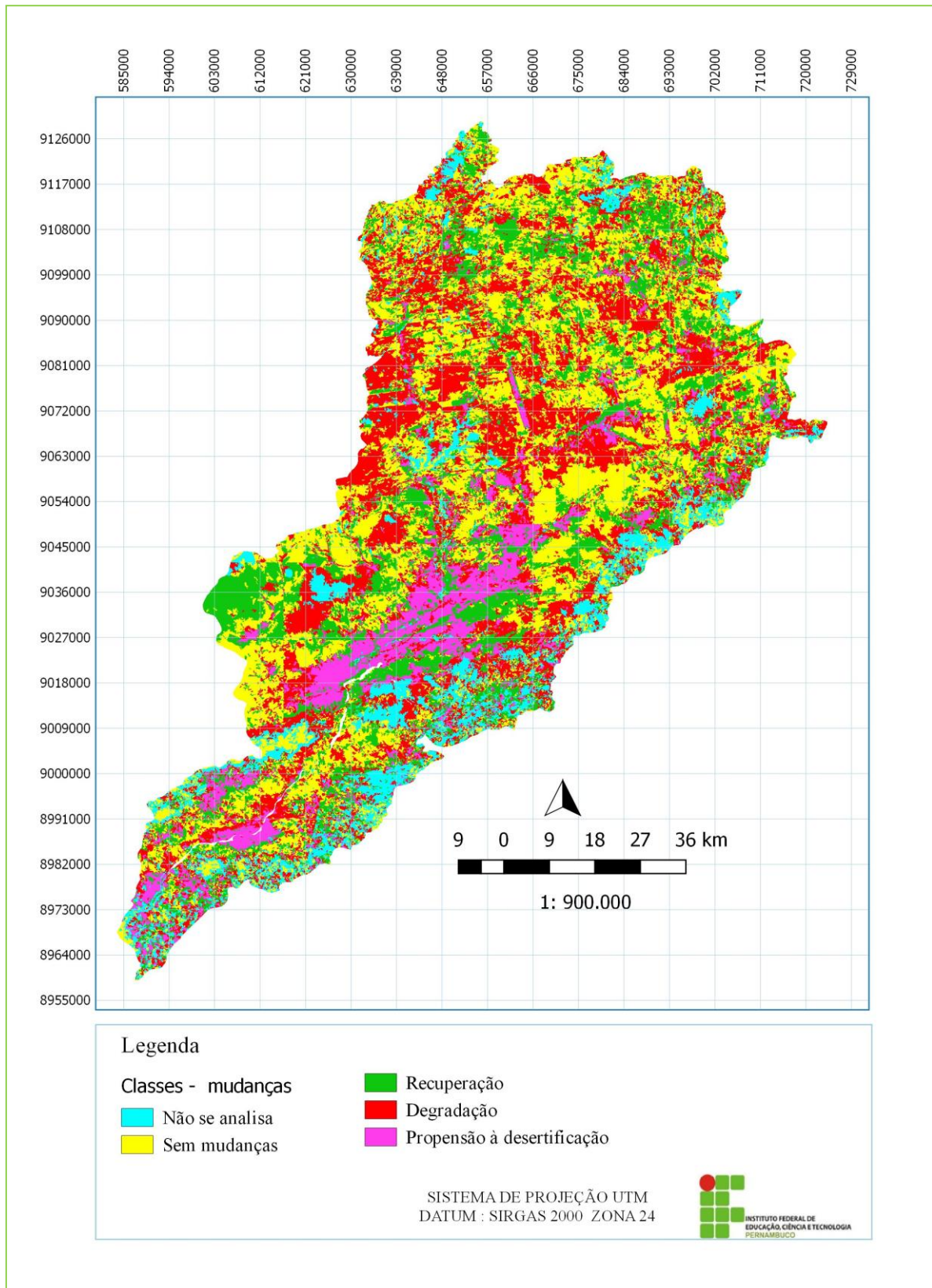
4.1.2 Mapeamento das mudanças ocorridas entre os anos de 1995, 2006 e 2016

O resultado da análise espaço temporal das mudanças ocorridas, a partir do cruzamento dos mapas da espacialização dos desmatamentos dos anos de 1995, 2006 e 2016, com uso da programação LEGAL pôde ser observado na Figura 15, e as medidas para cada classe do mapeamento estão representadas na Figura 16.

De acordo com a representação do mapeamento das mudanças ocorridas, Figura 15, as áreas na cor vermelha, representa a classe “degradação” e corresponde aproximadamente a 2.758 km² de áreas. As áreas que não apresentaram mudanças, estão na cor amarela, representam 3.168 km² e foram denominadas “sem mudanças”. As áreas denominadas “não se analisam”, representadas pela cor azul foram áreas que tiveram presença de água, sombra e nuvem em alguns pontos nas áreas em estudo, essa classe apresentou valores de 933 km². As áreas que tiveram recuperação, estão representadas na cor verde e correspondem aproximadamente a 2.022 km².

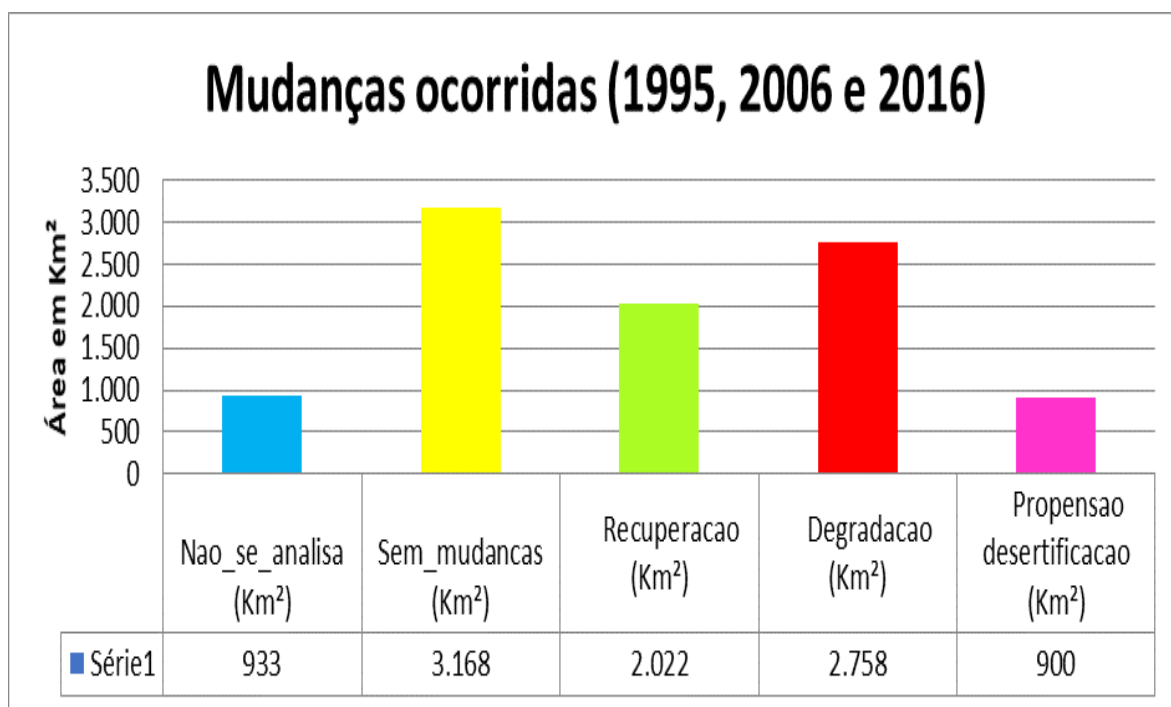
As áreas de solo exposto ou com cobertura vegetal extremamente rala, que permaneceram ao longo desses 21 anos, comuns às três datas, foram consideradas como áreas de alta propensão a desertificação. Essas áreas estão representadas na cor magenta e correspondem aproximadamente a 900 km².

Figura 15 - Mapeamento das mudanças ocorridas entre os anos de 1995, 2006 e 2016



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 16 - Gráfico das mudanças ocorridas entre os anos de 1995, 2006 e 2016



Fonte: Elaborado pelo autor.

No Estado de Pernambuco, a bacia do rio Moxotó apresenta-se com 771,45 km² de áreas com alta propensão à desertificação, 2.498,57 km² de áreas degradadas, 2.870,70 km² de áreas que mantiveram a predominância da vegetação constante e 1.779,81 km² de áreas recuperadas.

Nos domínios do Estado de Alagoas, a bacia do rio Moxotó apresenta-se com 116,62 km² de áreas com alta propensão à desertificação, 217,09 km² de áreas degradadas, 239,83 km² de áreas que mantiveram a predominância da vegetação constante e 202,99 km² de áreas recuperadas.

Os solos na região semiárida são solos de áreas suscetíveis à desertificação (SANTANA, 2007; SILVA, 2009), possuem fragilidades e potencialidades (SILVA et al., 1993 ; ARAÚJO FILHO et al., 2014), que dependendo de suas frações e horizontes, o mesmo solo poderá responder de forma diferenciada a um determinado impacto.

Nesse contexto, as tabulações cruzadas representadas na Tabela 5 e Tabela 6 mostram a distribuição dos principais solos nas classes das mudanças ocorridas para o Estado de Pernambuco e Alagoas.

Os Neossolos Quartzarênicos possuem maior extensão de áreas na bacia do rio Moxotó-PE, ou seja 32%. São solos derivados de rochas ou sedimentos de natureza quartzosa,

profundos e apresentam limitações quanto à retenção de água e nutrientes, além de acentuada erodibilidade.

E, foram distribuídos da seguinte forma: 10% desses solos estão presentes na classe denominada “sem mudanças” que no mapeamento representa as áreas de vegetação que mantém certa estabilidade, mesmo que ocorram ganhos e perca durante as variações climáticas durante o ano, estações chuvosas e secas, são solos que conseguem manter um comportamento estável, quando não degradados. 7,65% estão na classe “recuperação”, e 7,58% na classe “degradação”, mostrando pouca diferença em termos percentuais entre as duas classes.

Os solos presentes na classe denominada “propensão à desertificação”, representam 4,50% de áreas. São solos degradados que não apresentam evolução significativa na cobertura vegetal, durante os 21 anos, mesmo em períodos chuvosos, pressupõem - se, ser solos que chegaram ao nível de esgotamento de suas propriedades, e que por si só não conseguem recupera-se, embora possa apresentar vegetação extremamente rala em alguns trechos.

O Planossolo é o 2º maior em extensão e apresenta aproximadamente 24,80% de áreas de solo na bacia do rio Moxotó- PE. Sendo que 8,31% dos solos estão situados na classe “sem mudanças”, 4,28% nas classes de “recuperação”, e 9,24% na classe degradação e 2,44 % na classe desertificação.

Os Luvisolos compreendem aproximadamente 1.490,20 km² de solos na bacia, representam 17%. São solos considerados de boa fertilidade, e sua distribuição para as classes foram: 6,68% áreas com vegetação preservadas, 4,15% de áreas com recuperação, 5,34% áreas de degradação, e 2,85 % das áreas propensas à desertificação.

Os demais solos presentes na bacia possuem menores extensões de áreas, e todos apresentaram percentuais para as “áreas propensas a desertificação”.

Na bacia do rio Moxotó no Estado de Alagoas as áreas com alta propensão à desertificação, conforme, a Tabela 8, estão situadas em maiores extensões nos Neossolos Litólicos com 47,69 km² e nos Neossolos Regolíticos com 53,61 km².

O solo com menor percentual de áreas propensas à desertificação está sob domínio dos Cambissolos, representando apenas 5 km².

Tabela 5 - Tabulação cruzada entre os principais tipos de solo (colunas) com as geoclasses do mapeamento das mudanças ocorridas (linhas) em km² e %, na bacia do rio Moxotó- PE

Classe / Situação	N_análise		S_mudança		Recuperação		Degradação		P_desertificação		Total por solo	
	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%
Água	19,27	0,23	16,28	0,19	7,24	0,08	8,16	0,10	3,58	0,04	54,53	0,64
Neossolo Litólico	137,95	1,61	304,28	3,56	129,87	1,52	298,23	3,48	27,44	0,32	897,78	10,49
Neossolo Regolítico	85,80	1,00	224,43	2,62	141,09	1,65	166,44	1,94	63,96	0,75	681,73	7,97
Neossolo Quartzarênico	209,79	2,45	890,78	10,41	654,74	7,65	648,43	7,58	385,27	4,50	2789,01	32,59
Latossolo Amarelo	13,31	0,16	36,99	0,43	6,58	0,08	8,28	0,10	0,23	0,00	65,39	0,76
Planossolo	45,54	0,53	711,04	8,31	366,32	4,28	791,05	9,24	208,52	2,44	2122,47	24,80
Vertissolo	0,00	0,00	4,07	0,05	1,19	0,01	2,45	0,03	2,85	0,03	10,55	0,12
Luvissolo	66,70	0,78	572,05	6,68	355,34	4,15	457,47	5,34	38,65	0,45	1490,20	17,41
Argissolo Vermelho	53,91	0,63	72,33	0,85	80,17	0,94	73,60	0,86	14,74	0,17	294,75	3,44
Argissolo Amarelo	0,00	0,00	9,88	0,12	1,67	0,02	10,98	0,13	0,65	0,01	23,17	0,27
Solo Aluvial	6,03	0,07	28,56	0,33	35,60	0,42	33,48	0,39	25,57	0,30	129,24	1,51
Total por situação	638,30	7,46	2870,70	33,54	1779,81	20,80	2498,57	29,19	771,45	9,01	8558,83	100,00

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 6 - Tabulação cruzada entre os principais tipos de solo (colunas) com as geoclasses do mapeamento das mudanças ocorridas (linhas) em km² e %, na bacia do rio Moxotó- AL

Classe / Situação	N_análise		S_mudança		Recuperação		Degradação		P_desertificação		Total por solo	
	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%
Água	3,33	0,32	3,82	0,37	0,34	0,03	0,91	0,09	0,70	0,07	9,10	0,89
Neossolo Litólico	75,92	7,38	80,37	7,82	63,52	6,18	53,19	5,17	47,69	4,64	320,70	31,19
Neossolo Regolítico	109,98	10,70	83,60	8,13	93,13	9,06	106,00	10,31	53,61	5,21	446,32	43,41
Neossolo Quartzarênico	13,63	1,33	3,14	0,31	17,76	1,73	9,06	0,88	8,03	0,78	51,62	5,02
Planossolo	1,48	0,14	6,52	0,63	3,11	0,30	3,41	0,33	0,42	0,04	14,94	1,45
Luvissolo	0,13	0,01	33,82	3,29	16,58	1,61	19,85	1,93	3,13	0,30	73,51	7,15
Argissolo Vermelho	28,21	2,74	16,74	1,63	5,13	0,50	15,09	1,47	2,09	0,20	67,26	6,54
Argissolo amarelo	17,01	1,65	10,75	1,05	3,11	0,30	8,00	0,78	0,84	0,08	39,71	3,86
Cambissolos	1,94	0,19	1,07	0,10	0,30	0,03	1,58	0,15	0,11	0,01	5,00	0,49
Total por situação	251,62	24,47	239,83	23,33	202,99	19,74	217,09	21,11	116,62	11,34	1028,16	100,00

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.1.2.1 Mudanças ocorridas na Bacia Sedimentar do Jatobá

As grandes extensões de áreas propensas à desertificação estão predominantemente situadas na unidade geoambiental da Bacia Sedimentar do Jatobá, (Figura 17) no trecho do perímetro irrigado Ibimirim e Inajá, nas áreas baixas da bacia, entre os intervalos 348 m a 541m do modelo digital de elevação, como já visto na Figura 4.

Observa-se, também grande extensão de áreas que mantém a preservação da cobertura vegetal, nos Neossolos Quartzarênicos, mesmo ocorrendo mudanças de perda e ganho da biomassa vegetal, em função da variação climática, em períodos de alto a baixo regime pluviométrico. A vegetação nessas áreas consegue recuperar-se, pois, há agregação de suas partículas com frações de outros tipos de solos, argila e matéria orgânica que permite a sustentabilidade da planta.

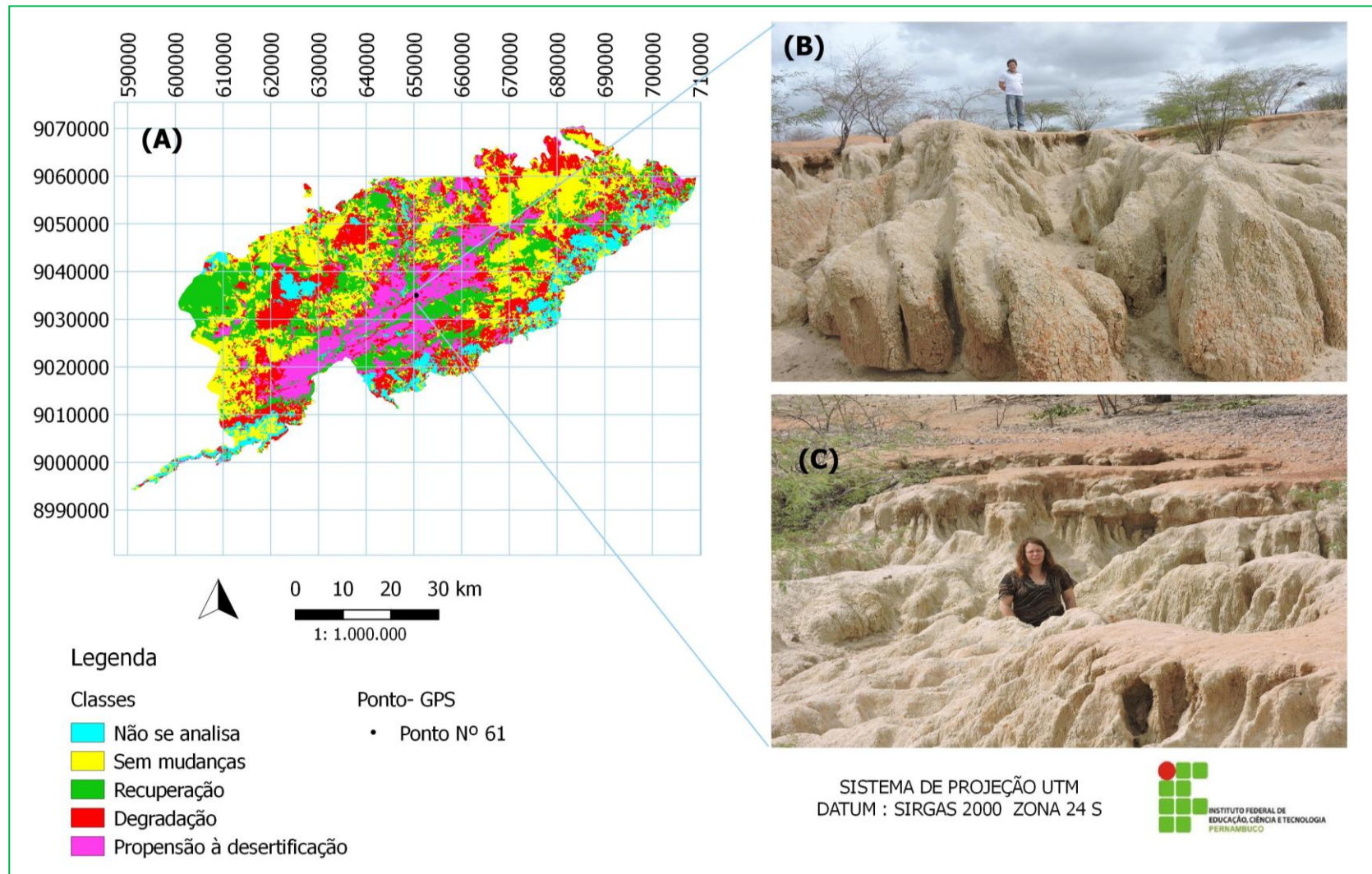
Importante, ressaltar que nas extensões dos horizontes dos principais solos, existe ainda frações de solos, que dão suporte na manutenção da vegetação.

As Figuras 17 e 18 retratam a localização de áreas de alta propensão à desertificação, situadas no trecho do perímetro irrigado Ibimirim - Inajá, em ambas as imagens, situadas nos domínios dos Planossolos, representam áreas que ao longo dos 21 anos, mantém certa estabilidade de solos nus, ou com predominância de vegetação muito esparsa.

A Figura 17 mostra a localização de áreas de propensão à desertificação identificadas no ponto GPS nº 61 (A), e imagens de áreas com propensão à desertificação nos domínios dos Planossolos (B) e (C).

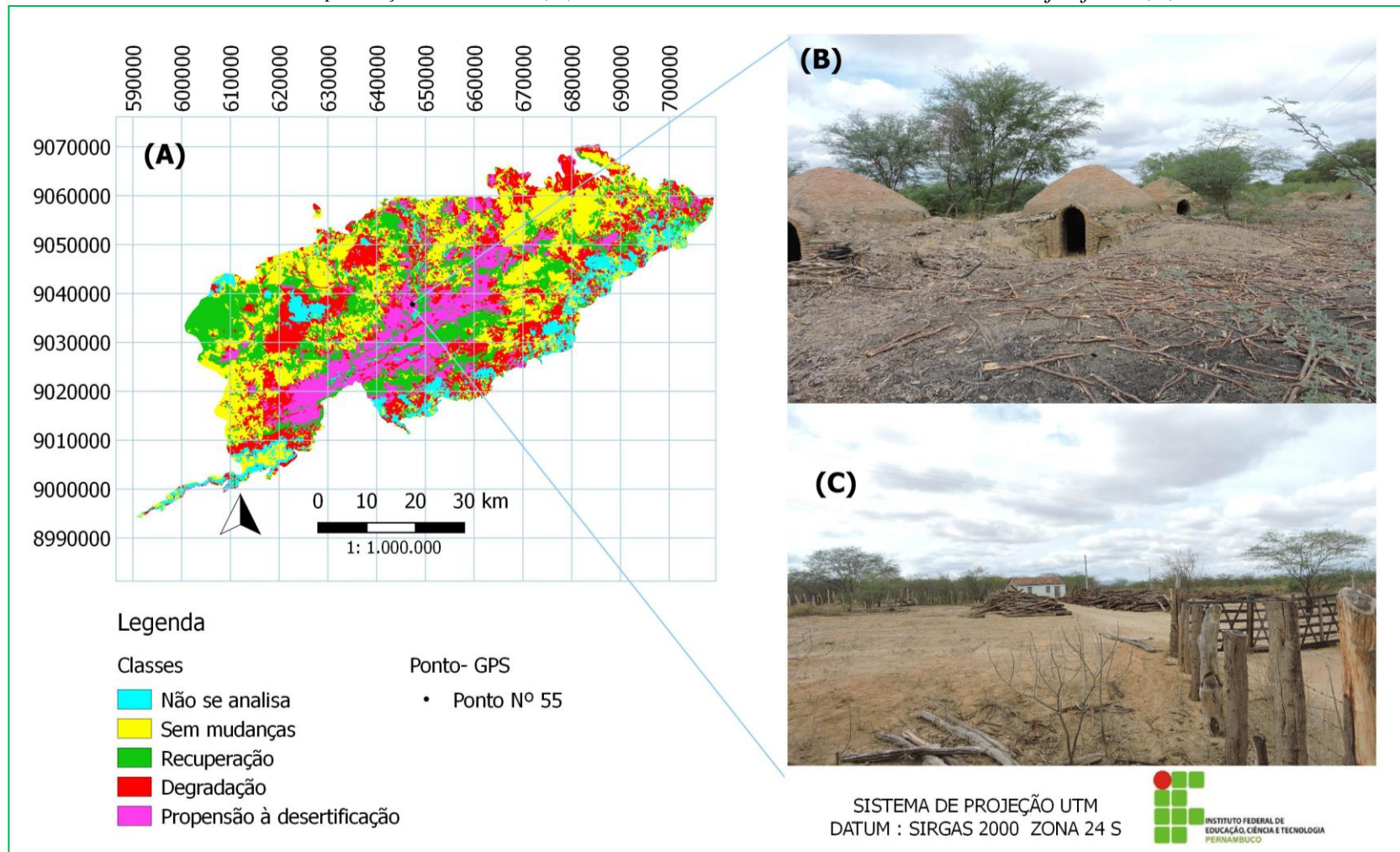
A Figura 18 mostra área de grande extrativismo da algaroba, localizados no ponto nº 55 a partir do GPS (A), área de produção de carvão (B) e área de armazenamento de madeira da *P. juliflora* (C), na qual pressupõem-se que a retirada dessas espécies nas áreas degradadas nos domínios dos Planossolos, corroborem ainda mais na propensão à desertificação.

Figura 17 - Espacialização das mudanças ocorridas na Bacia Sedimentar do Jatobá : Localização de áreas de propensão à desertificação identificadas no ponto GPS nº 61 (A), e imagens de áreas com propensão à desertificação nos domínios dos Planossolos (B) e (C)



Fonte: Elaborado pelo autor.

18 - Mapa das mudanças ocorridas na Bacia Sedimentar do Jatobá - PE. Localização de áreas propensas à desertificação, ponto GPS n° 55 (A), Área de produção de carvão (B) e área de armazenamento de madeira da *P. juliflora* (C)



Fonte: Elaborado pelo autor.

Em relação ao PARNA do Catimbau, as contribuições em extensão de áreas de caatinga recuperada e mantida pôde-se ser observada no mapeamento das mudanças ocorridas entre os anos de 1995, 2006 e 2016, e correspondem a 368,93 km². As áreas com degradação ambiental correspondem a 191,08 km². E as áreas com as mesmas semelhanças de áreas de propensão à desertificação representam 41,68 km², estão situadas nos domínios dos Planossolos, na unidade geoambiental da Depressão Sertaneja, nos limites com os municípios Ibimirim, Tupanatinga.

O município de Buíque, portal de acesso ao Parque Nacional do Catimbau, possui menos áreas degradadas quando comparado com outros municípios que fazem parte do PARNA. Contudo, o trabalho de campo identificou algumas áreas antropizadas, ocasionados pela população residente, que merecem ser discutidas pois evidenciam ocupação numa área de proteção integral protegida por lei.

De acordo com Freire (2015), a questão ambiental na área do PARNA do Catimbau, ainda impulsiona conflitos, entre o ICMBio e a população residente de dentro e do entorno do PARNA. Ações como desmatamento para exploração da madeira, produção de carvão, lenha para uso doméstico, exploração de novas áreas agrícolas e de pastagem ainda são praticadas pela população, mesmo sendo combatida pela fiscalização que obriga e contrata regulamente equipes de brigadistas entre a população local, por parte da IMCBio.

Esses conflitos socioambientais vêm a corroborar com a vulnerabilidade a degradação ambiental, ocasionada pelo descaso de uma área protegida por lei, criada há 15 anos. Durante o contato com alguns moradores da área, os mesmos revelaram que não foram indenizados, e nenhuma família foi realocadas para outros espaços que garantissem a subsistência. Os mesmos reafirmaram a inexistência de um plano de manejo e convivência com a caatinga, que permita mesmo que provisoriamente, as relações mais sustentáveis, entre as famílias e o bioma. Outro fato observado, durante o trabalho de campo refere-se à falta de infraestrutura local e controle de acesso ao Parque.

As Figuras 19, 20, 21 e 22 retratam algumas áreas antropizadas registradas durante o trabalho realizado no campo, na via de acesso ao sítio chapadão, no dia 19 de janeiro de 2018.

Figura 19 - Criação de bovino em área pertencente ao PARNA do Catimbau/Buíque



Fonte: Foto do autor (2018).

Como as famílias não foram indenizadas, as atividades agropastoris continuam na área de preservação ambiental, assim como as queimadas e pequenos plantios.

Figura 20 - Residência situada no PARNA do Catimbau/Buíque



Fonte: Foto do autor (2018).

Figura 21 - Área antropizada com residência, plantação de milho e caju situada no PARNA do Catimbau/Buíque



Fonte: Foto do autor (2018).

Na Figura 21 é possível perceber pequena plantação de milho na imagem, ao fundo vários cajueiros, e ao longe os paredões do Catimbau.

Figura 22 - Presença de Barreiro construído para a dessedentação animal - área do chapadão do PARNA do Catimbau/Buíque



Fonte: Foto do autor (2018).

Na Figura. 22, percebe-se a presença de um barreiro para dessedentação animal, construído pelo proprietário do Sítio Chapadão. Área situada, aproximadamente a 800 metros de altitude.

Figura 23 - Área degradada situada no Chapadão- PARNA do Catimbau



Fonte: Foto do autor (2018).

Algumas áreas, impactadas pela supressão da caatinga para o plantio de roças como milho, macaxeira e pasto, estão ainda em processo de recuperação, que de acordo com o guia turístico da região, essas áreas chegam até 20 anos para compor a vegetação.

A Figura 23 mostra uma área de vegetação arbórea esparsa, foto tirada aproximadamente a uma distância de 1 km², após o barreiro (Figura 22).

Esses resultados apontam para uma situação alarmante de vulnerabilidade socio ambiental do Parque Nacional do Catimbau, que nesses 16 anos de existência, as famílias que residentes nas áreas do Parque, não foram indenizadas e nem preparadas num plano de manejo sustentável da caatinga. Tais famílias vivem do estrativismo local, sem um plano de manejo sustentável, principalmente no contexto das mudanças climáticas, onde as baixas precipitações não estão contribuindo na recarga hídrica dos corpos de água situados no perímetro.

Supõem-se que a persistência da degradação ambiental pela diminuição da cobertura vegetal nos Neossolos Litólicos, presentes nas elevações areníticas, pode estar relacionado

com os impactos das mudanças climáticas, em que a sustentabilidade da vegetação rupestre da caatinga depende da absorção hídrica dos arenitos. Embora que haja na composição da paisagem natural a existência de elevações rochosas sem cobertura vegetal (FREIRE, 2015).

No mapa das mudanças ocorridas, as áreas do PARNA do Catimbau, também apresentaram áreas de degradação ambiental, principalmente nas mudanças de áreas predominantes da vegetação arbórea em arbustiva, e a diminuição da vegetação rupestre nas formações das estruturas areníticas.

Essas áreas, constituem grande potencial de pesquisa principalmente em relação a degradação da vegetação rupestre presente nas superfícies areníticas, supondo diminuição dessa vegetação endêmica por aumento de temperatura superficial.

A Figura 24 mostra a vegetação rupestre presente nos afloramentos rochosos a 100 m do ponto registrado pelo GPS, no sítio do Chapadão e a Figura 25 mostra a vegetação rupestre presente na formação arenítica conhecida como Morro do cachorro.

Figura 24 -Vegetação rupestre presente no afloramento rochoso, situada no Parque Nacional do Catimbau, Buíque-PE



Fonte: Foto do autor (2018).

Figura 25 -Vegetação rupestre presente na formação arenítica conhecida como Morro do cachorro, situada no Parque Nacional do Catimbau, Buíque-PE



Fonte: Foto do autor (2018).

Contudo, importante ressaltar que a Gestão ambiental das unidades de conservação deve ser alinhada em função dos objetivos que as UCs se propõem, em relação ao PARNA do Catimbau, por ser uma área de proteção integral, requer um plano manejo para áreas de proteção integral, diferentemente dos planos de manejo sustentável das reservas extrativistas.

As ações antrópicas não devem interferir na diversidade natural do PARNA do Catimbau, e os impactos causados pelos fenômenos naturais, como eventos extremos devem ser monitorados e estudados.

4.1.2.2 Depressão Sertaneja

A Depressão Sertaneja corresponde a uma vasta superfície rebaixada, pouco movimentada, com ligeira inclinação voltada para a calha do rio São Francisco, posicionada entre o Planalto da Borborema e a Chapada do Araripe, com altitudes dominantes na faixa de 300 a 500 m.

A Figura 26 mostra o registro da paisagem da unidade geoambiental Depressão Sertaneja, área situada no município de Ibimirim-PE. Observa-se nas margens do açude Francisco Saboia ausência de mata ciliar.

Com o clima semiárido mais acentuado, a predominância de vegetação hiperxerófila, torna essa unidade de paisagem muito vulnerável as atividades antropizadas como por exemplo as queimadas, durante o período de latência da caatinga.

Figura 26 - Foto do açude Francisco Saboia situado na unidade geoambiental da Depressão Sertaneja

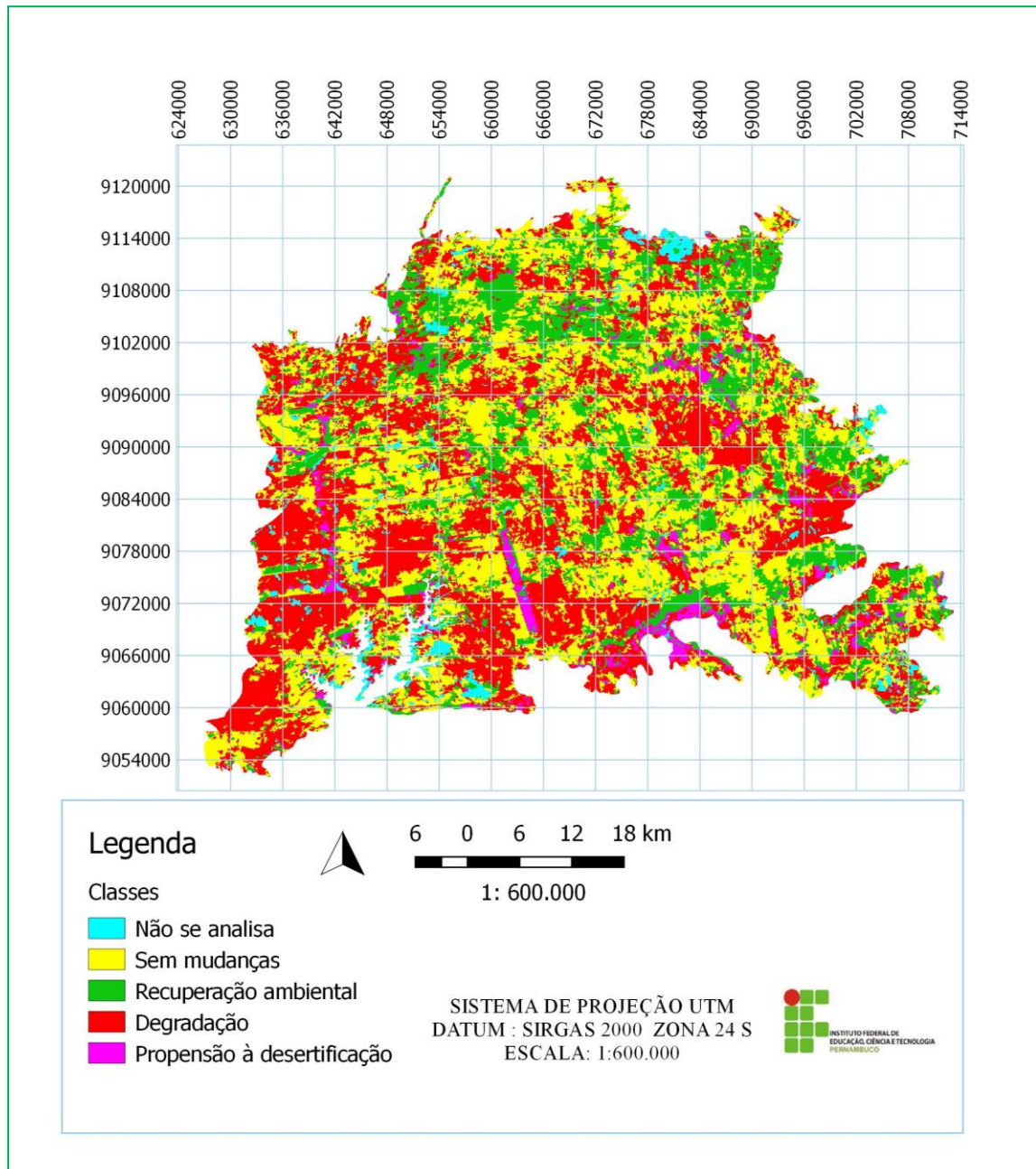


Fonte: Foto do autor (2017).

Os resultados das mudanças ocorridas na Bacia do rio Moxotó, mostram nas áreas de predominância da depressão sertaneja que a caatinga apresenta maior dificuldade de recuperação ambiental, quando comparada com a unidade geoambiental da Bacia Sedimentar do Jatobá, duante os anos de estudo.

Assim, a espacialização das mudanças ocorridas na depressão sertaneja estão representadas na Figura 27 e evidenciaram os seguintes resultados: 675,98 km² de áreas recuperadas, 2.139,05 km² de áreas estão degradadas. E, 117 km² de áreas com potencialidades à desertificação. Sendo, o município de Sertânia com maior expressão em áreas degradadas apresentando 581,24 km² e 59,19 km² de áreas com potencialidade à desertificação.

Figura 27 - Espacialização das mudanças ocorridas na unidade geoambiental – Depressão Sertaneja -PE



Fonte: Elaborado pelo autor.

As Figuras 28 e 29 exemplificam a degradação ambiental nos domínios da depressão sertaneja

Figura 28 - Área desmatada em função da construção do canal da transposição, município de Sertânia



Fonte: Foto do autor (2017).

Figura 29 - Solo degradado com presença de erosão e caatinga com estresse hídrico, município de Custódia-PE



Fonte: Foto do autor (2017).

4.3 ESPACIALIZAÇÃO DOS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO AJUSTADO AO SOLO-IVAS E ÍNDICE DE VEGETAÇÃO NORMALIZADA-IVDN

Com base nos resultados obtidos com a aplicação dos índices de vegetação normalizado (IVDN) e índices de vegetação ajustado ao solo (IVAS) para a bacia do rio Moxotó, elaborou-se uma tabela (Tabela 7) que mostra a comparação dos valores estatísticos (valor máximos, valor mínimos, média e moda) do IVDN e IVAS para o mosaico das órbitas/ponto: 215/66 e 216/66, para as datas do presente estudo.

Tabela 7 - Comparação dos valores estatísticos do IVAS e do IVDN para o mosaico das órbitas 215/66 e 66 do mês de setembro dos anos de 1995, 2006 e 2016

Índice de vegetação ajustado ao solo - IVAS					Índice de vegetação Normalizada - IVDN			
Ano	Mínimo	Máximo	Média	Moda	Mínimo	Máximo	Média	Moda
1995	-0,282	0,651	0,177	0,158	-0,627	0,83	0,342	0,319
2006	-0,374	0,654	0,175	0,124	-0,58	0,79	0,320	0,253
2016	-0,188	0,715	0,175	0,165	-0,57	0,843	0,297	0,257

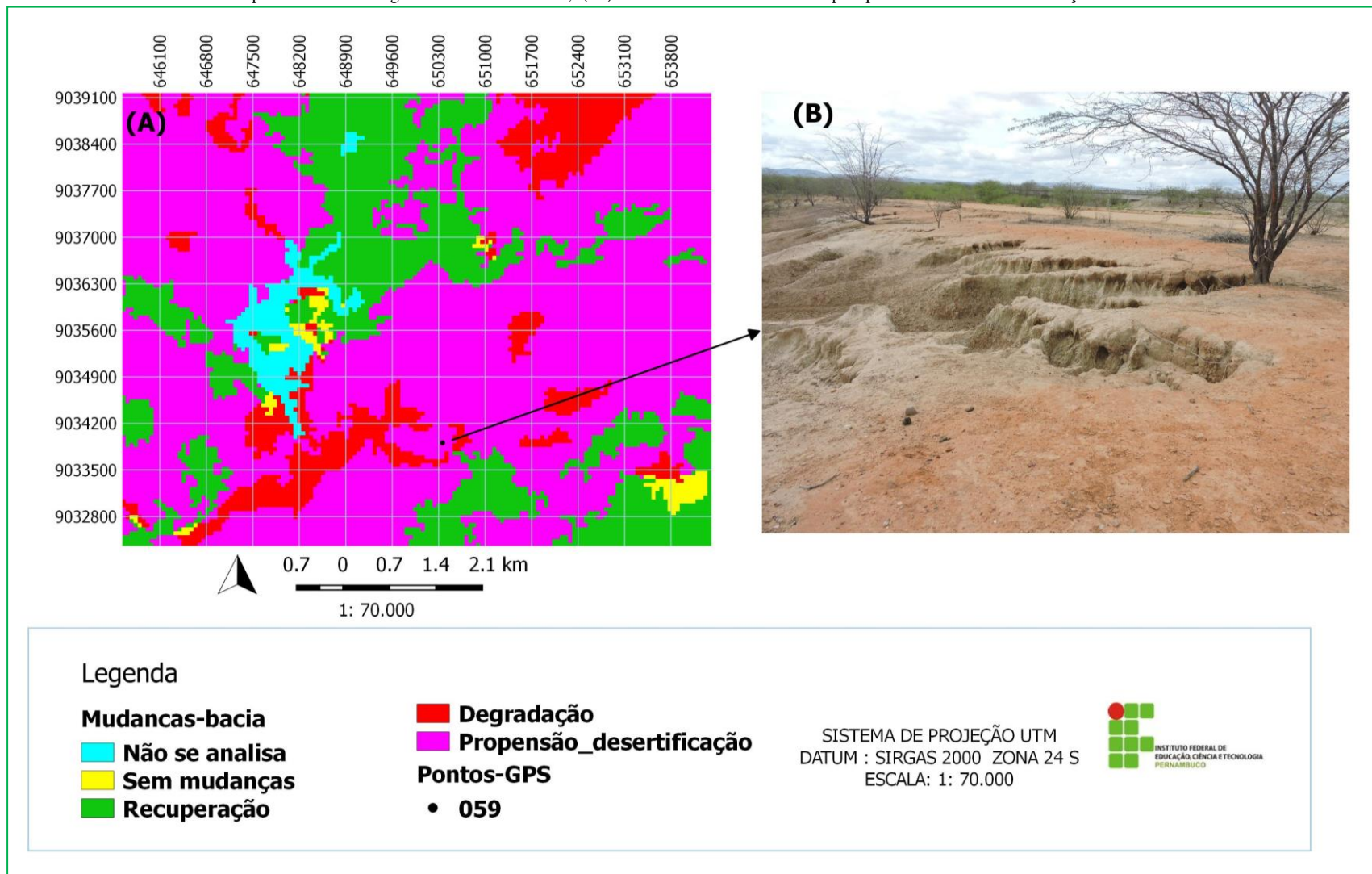
Fonte: Elaborado pelo autor.

De acordo com a Tabela 7, as diferenças entre os valores gerados pelo IVDN e IVAS para o ano de 1995 corresponderam a: -0,345 (mínimo) e 0,179 (máximo), 0,165 (média) e 0,161(modas). Para o ano de 2006, as diferenças entre os valores foram -0,206 (mínimo), 0,136 (máximo), 0,145(média) e 0,129 (modas). O ano de 2016 os valores foram: -0,382 (mínimo), 0,128 (máximo), 0,122 (média) e modas (0,092).

Em todos os resultados da Tabela 7 foram observados valores mais altos do IVDN quando comparados com os valores obtidos com o IVAS, fato justificado pelo fator de correção de ajuste ao solo (HUETE,1998) que possibilita melhor diferenciação entre as classes de solo exposto e vegetação do bioma Caatinga. A subestimação dos resultados da aplicação do IVDN, na região semiárida, foi observada por pesquisadores como Viganó et al. (2011), Silva e Galvínicio (2012), Rêgo (2012).

A Figura 30 mostra a localização do ponto nº 59, registrado pelo GPS, e retrata a paisagem situada nos domínios dos Planossolos, com grave processo de erosão.

Figura 30 - Localização de área de alta propensão à desertificação : (A) Localização do ponto nº 59 (GPS), no mapa mudanças ocorridas no perímetro irrigado de Ibimirim, (B) Foto de área de alta propensão à desertificação



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para o ano de 1995, esse ponto correspondeu a 0,121 (IVAS) e 0,222 (IVDN). No ano de 2006, esse ponto representava 0,110 (IVAS) e 0,181 (IVDN). E, para o ano de 2016 apresentou valores de 0,119 (IVAS) e 0,164 (NDVI). No mapa de mudanças ocorridas, o ponto nº 48, encontra-se situado na classe de “Alta propensão à desertificação”.

A Figura 31 mostra a extração de material argiloso em áreas de alta propensão à desertificação, registrada pelo GPS, representada pelo ponto nº 58, no município de Ibimirim.

Figura 31 - Extração de material argiloso em áreas de alta propensão à desertificação situada no ponto nº 58 (GPS), Lat:-8.537342 e Long:-37.678629, no município de Ibimirim



Fonte: Foto do autor (2017).

Devido ao fator de ajuste, como já abordado em parágrafos anteriores, o IVAS apresenta valores menores em relação aos valores do IVDN, mas a variação de ambos os índices de vegetação permanece numa mesma classe, ao passar dos anos. Fato evidenciado no mapeamento das mudanças ocorridas entre os anos de 1995, 2006 e 2016, como foi mostrado na Figura 27.

As Figuras 32 e 33 mostram áreas de classe entre o intervalo de 0,171 a 0,210 de IVAS, e IVDN em torno de 0,45, representam áreas dos projetos produtivos de Ibimirim a Figura 32, representa pequena plantação de coco com irrigação de água subterrânea. E, a Figura 33 mostra área de caatinga arbustiva, no PARNA do Catimbau.

Figura 32 - Plantação de coco em áreas produtiva do perímetro irrigado de Ibimirim



Fonte: Foto do autor (2018).

Figura 33 - Foto da caatinga arbustiva no Parque nacional do Catimbau

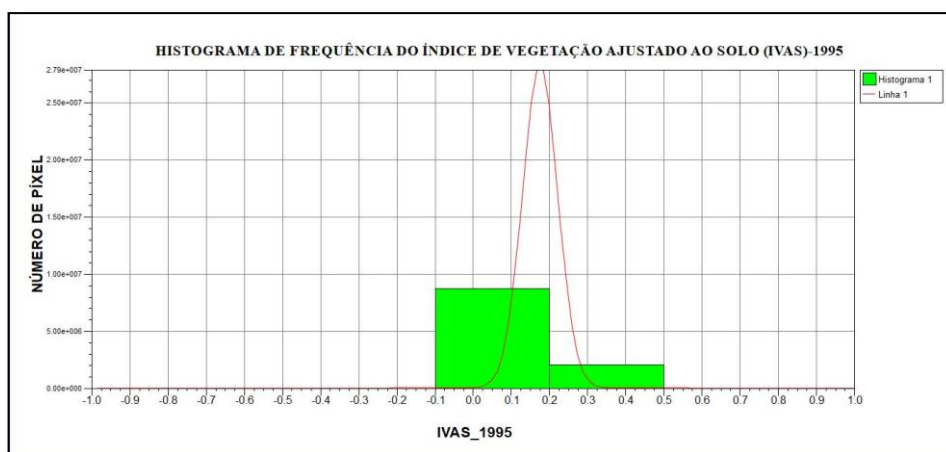


Fonte: Foto do autor (2018).

4.3.1 Espacialização do IVAS para a bacia do rio Moxotó

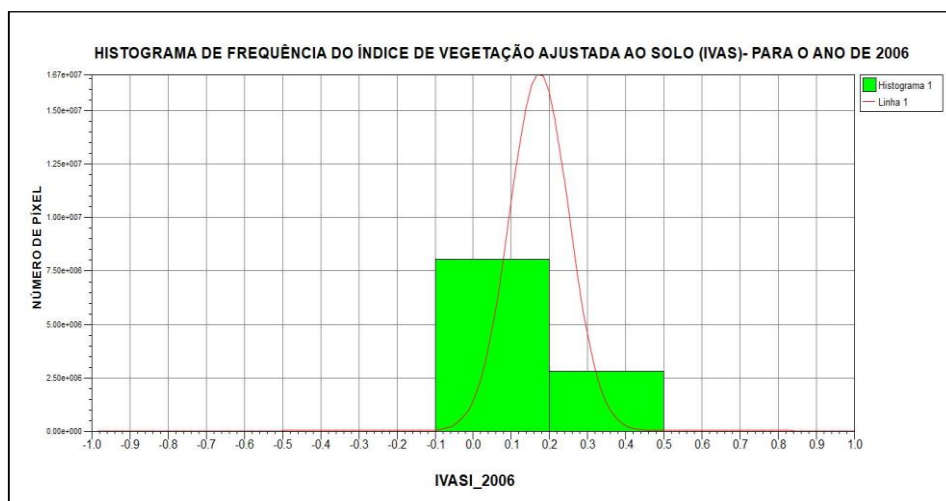
A variação entre os números de píxeis e os intervalos de uma data para outra, puderam ser observados a partir dos histogramas dos IVAS referentes aos anos de 1995, 2006 e 2016 (FIGURA 34, 35 e 36).

Figura 34 - Histograma de frequência do IVAS para o ano de 1995



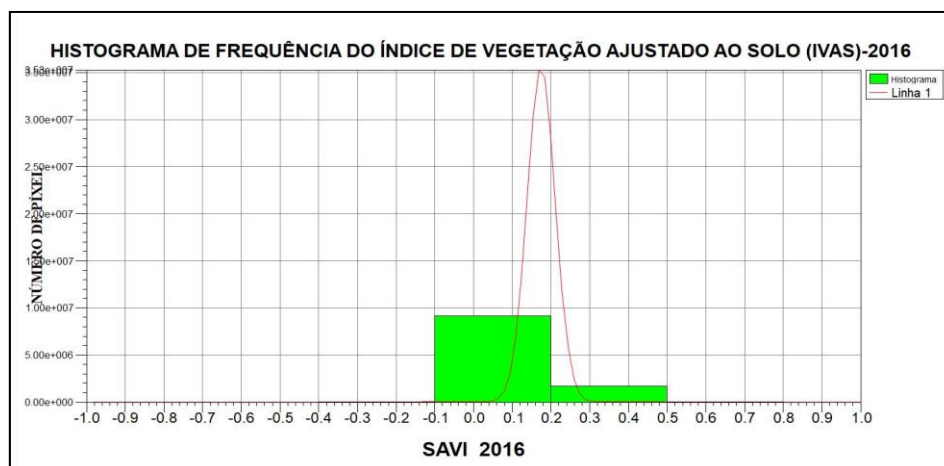
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 35 - Histograma de frequência do IVAS para o ano de 2006



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 36 - Histograma de frequência do IVAS para o ano de 2016



Fonte: Elaborado pelo autor.

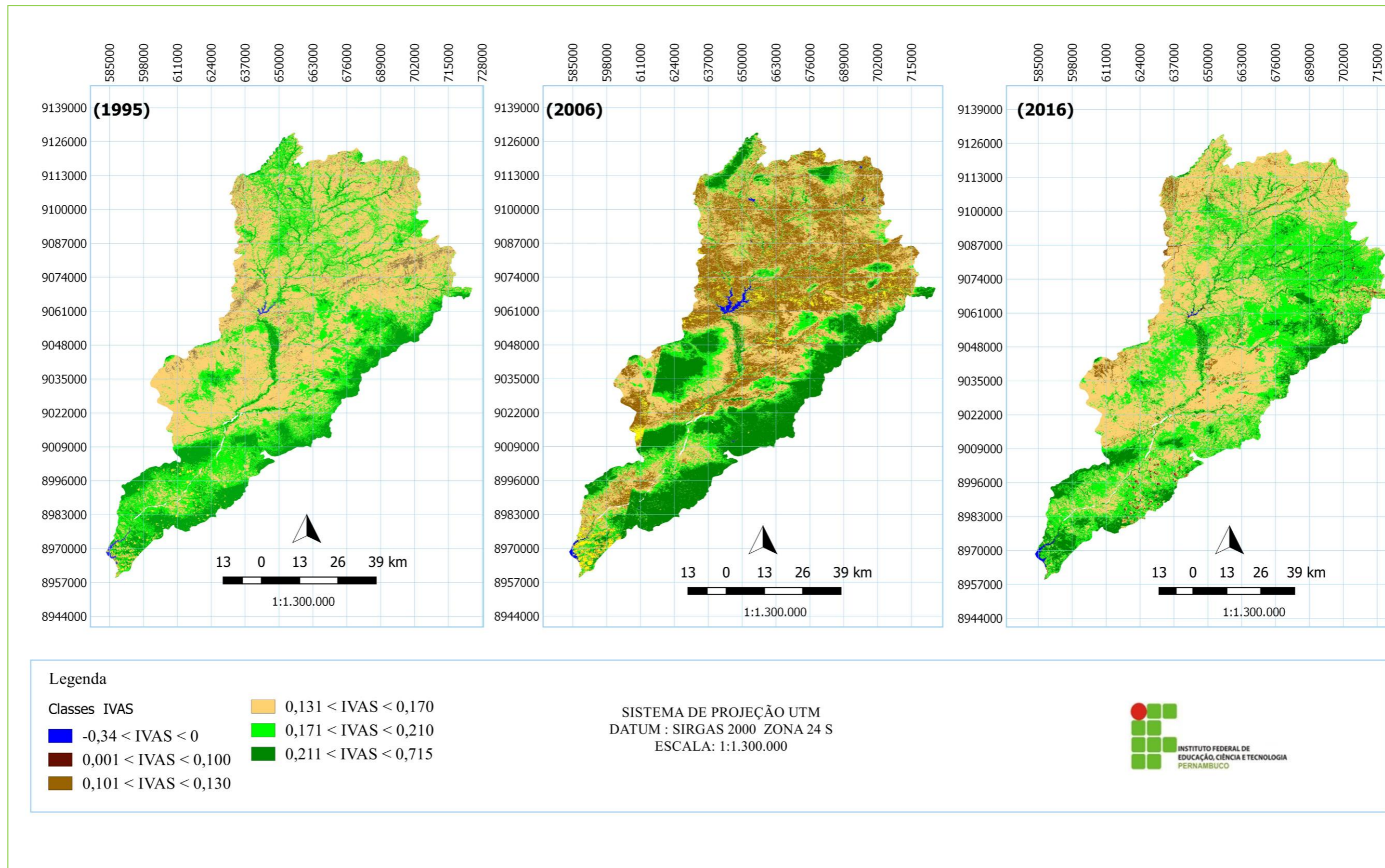
Nos mapas da espacialização dos IVAS, representados na Figura 37, a cor azul nas imagens representa áreas com valores negativos que correspondem aos corpos de água situados na bacia do rio Moxotó, no intervalo entre -0,282 e 0, tais como: o Açude Poço de Cruz situado em Ibimirim/PE, as margens do Rio São Francisco, situado no município de Delmiro Gouveia-Alagoas.

Resultado semelhante a esses valores negativos, atribuídos aos espelhos de água na região semiárida, podem ser vistos nos resultados do estudo de Oliveira et al. (2009), para os anos de 1992 e 2003, com imagens do Landsat 5 para a órbita 215/66. E, nos resultados de Figueirêdo (2013), para os anos de 2008 e 2010, para a órbita 215, ponto 66.

De acordo com a Figura 37, o intervalo entre 0,001 a 0,1, representada pela cor amarela correspondem às áreas de solo exposto, ou afloramentos rochosos. Enquanto que as áreas que representam os intervalos de 0,101 a 0,130, aparecem na cor caqui, referem-se a solos desnudos, úmidos, a afloramento rochoso. O intervalo entre 0,131 a 0,170, cor alaranjada, representam solos expostos ou com vegetação herbácea extremamente rala.

Os valores entre o intervalo de 0,171 a 0,20 correspondem à vegetação arbustiva aberta e estão representados na cor verde claro. As áreas de cor verde-escuras representam as áreas de vegetação arbustiva- fechada a arbórea, no intervalo de 0,211 a 0,22. E, os valores entre 0,4 a 0,7 corresponderam às classes arbórea- arbustiva densa.

Figura 37 - Mapeamento da espacialização do Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (IVAS) dos anos de 1995, 2006 e 2016



Fonte: Elaborado pelo autor.

De acordo com a Tabela 8, para o ano de 1995, o intervalo entre -0,37 a 0 correspondeu a 20,547 km², em 2006 as áreas situadas nesse intervalo aumentaram para 50.204 km², devido ao aporte pluviométrico na região, conforme registro das estações meteorológicas de Arcoverde (INMET), Ibimirim (IPA) e Inajá (CHESF), como visto nas Figuras 8, 9 e 10.

No ano de 2016, com a seca e baixo índice pluviométrico, essas áreas diminuíram para 13,85 km², indicando redução dos espelhos de água, e ou redução do volume hídrico em função das mudanças climáticas.

Tabela 8 - Quantitativo de áreas para cada classe de IVAS-Bacia do Rio Moxotó

Ano	Intervalo de classes (km ²)					
	-0,37- 0	0,001 – 0,100	0,101 – 0,130	0,131 – 0,170	0,171 -0,210	0,211 -0,73
1995	20,547	42,210	339,660	4.982,385	2.731,046	1.457,238
2006	50,204	369,769	2.683,863	2.964,604	1.260,966	2.272,485
2016	13,85	42,94	258,607	4.614,245	3.543,375	1.079,398

Fonte: Elaboração do autor.

Entre os anos de 2006 a 2016, nota-se diminuição das áreas em km² no intervalo de 0,211 a 0,73, que compreende as áreas densas da arbustiva e arbórea e aumento nas áreas situadas no intervalo de 0,171 a 0,210, herbácea–arbustiva aberta, indicando degradação ambiental. E, recuperação ambiental nas áreas de intervalo 0,001 a 0,100, e 0,101 a 0,130, conforme números apresentados na Tabela 8.

Nas unidades de paisagens, localizadas na bacia do rio Moxotó, o IVAS apresentou valores em torno de 0,610 (máximo) para a Depressão Sertaneja e 0,0607 (máximo) para a Bacia Sedimentar do Jatobá.

A Tabela 9 mostra os valores estatísticos do Índice de vegetação ajustado ao solo (IVAS) para o mosaico das órbitas 215/66 e 66 do mês de setembro dos anos de 1995, 2006 e 2016, nas unidades de paisagem da Bacia Sedimentar do Jatobá e Depressão Sertaneja.

Tabela 9 - Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (IVAS)

Ano	Bacia Sedimentar do Jatobá			Depressão Sertaneja		
	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	Média
1995	-0,282	0,607	0,179	-0,102	0,610	0,163
2006	-0,307	0,77	0,352	-0,58	0,71	0,259
2016	-0,180	0,678	0,177	-0,165	0,698	0,171

Fonte: Elaboração do autor.

Os intervalos obtidos com a aplicação do IVAS na unidade geoambiental da Depressão Sertaneja, assemelha-se com os intervalos identificados nas áreas potenciais à desertificação nos municípios de Santa Maria da Boa Vista e Lagoa Grande relatados por Silva et al. (2016).

No entanto, a variação dos resultados do IVAS para ambas as unidades geoambientais, não mostraram diferenças discrepantes, mas as extensões em km² entre os intervalos de 0,10 a 0,17 são as maiores em toda a bacia do rio Moxotó, para todas as datas em Estudo, considerando que o ano de 2006, as áreas tiveram um aporte pluviométrico relevante, mesmo assim algumas áreas de caatinga não conseguiram se recuperar, permanecendo nessa faixa de valores.

Dos municípios que fazem parte da unidade geoambiental da Depressão Sertaneja, o município de Custódia, apresenta-se muito degradado quanto a sua cobertura vegetal, pois apresenta-se com aproximadamente 808,96 km² de áreas situadas no intervalo de 1,71 a 0,210 do SAVI, ou seja 93% de suas áreas com solos exposto ou solos de vegetação muito rala. Tal situação, pode ser explicado pela supressão da caatinga para diversos uso de ocupação do solo, e impactos na vegetação devido grande estresse hídrico na região.

Outro dado, referente a este município é a pouca extensão de corpos de água superficial, apenas 0,050 km² de áreas hídricas (corpos de água superficial), ou seja, superfície praticamente seca.

Resultados de intervalos de índice de vegetação como um indicador potencial a identificação de áreas susceptíveis à desertificação pode ser vista na Pesquisa de Djaddaoui et al. (2017), no norte da Algeria. Esses autores, mostraram que o IVDN apresentou uma variação entre -0,54 e 0,92, porém as áreas desertificadas apresentaram valores entre 0,08 e 0,29, e mais de 96% apresentaram valores de IVDN inferior a 0,22.

Na bacia do rio Moxotó, apesar dos valores serem obtidos com o IVAS, a faixa que vai de -0,18 a 0,17 corresponde às áreas mais extensas em km², em todas as datas de estudo.

Para as áreas susceptíveis à desertificação, esses valores são preocupantes, pois corroboram para um estado de maior vulnerabilidade ambiental na bacia do rio Moxotó, tendo em vista que os baixos valores encontrados não são apenas causados pelas condições climáticas de evapotranspiração, contudo, pela ação conjunta das mudanças climáticas, fragilidades do solo e ações antropizadas, como as queimadas representada na Figura 38, expansão agrícola e desmatamento da vegetação, principalmente de porte arbóreo.

Figura 38 - Presença de áreas de queimadas no perímetro irrigado/Ibimirim



Fonte: Foto do autor (2017).

Os valores dos IVAS dos anos de 1995, 2006 e 2016, variaram durante os anos de estudo em toda a área da bacia do rio Moxotó, mas nos domínios da depressão sertaneja apresentaram pouca variação em relação aos valores encontrados na Bacia Sedimentar do Jatobá.

Os valores estimados pela alta presença vegetativa, na bacia do rio Moxotó, estão relacionados a alguns alvos indicando áreas de cultura, como já visto na Figura 32, que estão sendo irrigada por exploração de águas subterrâneas, vegetação arbórea densa, principalmente da espécie *Prosopis Juliflora* e caatinga arbustiva e arbórea densas presente nas unidades de proteção ambiental, como Serra Negra e Parque Nacional do Catimbau.

Na área de Serra Negra, trecho que compreende a Bacia Sedimentar do Jatobá, os valores variaram entre o intervalo de 0,149 a 0,61 para o ano de 2016. O Catimbau apresentou valor mínimo na ordem de 0,009 indicando a presença de nuvens, e valor máximo de a 0,60, nos bolsões da caatinga arbórea densa.

Nota-se com dados do IVAS, na bacia do Jatobá e trechos da Depressão Sertaneja a degradação de áreas de caatinga entre os anos de 1995 a 2006 e, recuperação ambiental no período de 2006 a 2016 nas áreas do Parque Nacional do Catimbau. Esses resultados também foram relatados nos resultados da aplicação do modelo de mistura linear.

O que chama atenção, em relação à aplicação do IVAS nas áreas susceptíveis à desertificação, não é a variação do IVAS de uma data para outra, cujos resultados variam com

a precipitação das chuvas, mas, a estabilidade desses intervalos de classe, sob influências climáticas diversas, ao longo dos anos.

4.4 TEMPERATURA SUPERFICIAL DA BACIA DO RIO MOXOTÓ

A temperatura superficial é de vital importância para a sobrevivência dos ecossistemas, a espacialização da Ts na bacia do rio Moxotó, no estudo espaço temporal é um parâmetro chave que pode corroborar em conjunto com outros dados biofísicos como albedo, evapotranspiração no monitoramento térmico, no âmbito das bacias hidrográficas.

O comportamento e extensão das áreas desmatadas na bacia do rio Moxotó, identificados nos resultados do modelo de mistura linear e IVAS, pôde ser percebida, a partir da análise do estudo espaço temporal com imagens termais dos sensores espectrais do Landsat 5 (banda 6) e com o sensor Thermal Infrared Sensor (TIRS) do Landsat-8, banda 10.

Supõem-se que as áreas de solos exposto, áreas vegetadas e corpos hídricos na bacia do rio Moxotó, tiveram variação significativa de Ts durante os anos no presente estudo, por estarem sob influência de evento ENOS. No entanto, as áreas com maiores variações de Ts, foram áreas degradadas, como: áreas de solos exposto, áreas de vegetação rala, áreas vegetadas sob forte estresse hídrico, e áreas de recuo hídrico.

Nesse contexto, a variabilidade da Ts para as datas do presente estudo, a partir do mapeamento da espacialização da temperatura superficial, mostram a variabilidade da Ts em diferentes alvos nas áreas da bacia do rio Moxotó.

Na tabela 10 são apresentados os valores estatísticos: mínimo, máximo da temperatura superficial a partir dos mosaicos das orbitas/ponto 215 e 216/66 para as datas 20 e 27 de setembro de 1995; 18 e 25 de setembro de 2006, e 20 e 29 de setembro de 2016.

Tabela 10 - Representação dos valores estatístico mínimo e máximo da Ts da bacia do rio Moxotó.

<i>Ano</i>	<i>Mínimo(°C)</i>	<i>Máximo (°C)</i>
1995	16,96	37,24
2006	17,39	39,90
2016	23,73	44,32

Fonte: Elaboração do autor.

Com a análise dos valores, percebe-se que a Ts mínima e máxima foram aumentando no decorrer dos anos. A diferença da Ts mínima entre o ano de 1995 e 2006, apresentou diferença em torno de 0,7°C, e para o intervalo entre 2006 a 2016 a diferença da Ts foi em torno de 6°C.

Vale ressaltar que os valores de Ts, obtidos pelo sensor para as datas em estudo, diferem dos valores obtidos das estações meteorológicas, fato observado por alguns autores que realizaram pesquisas envolvendo a Ts, como Oliveira (2009), Lins (2017).

Para a bacia do rio Moxotó, os valores históricos registrados pela Estação 82890-Arcoverde do BDMEP-Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa para as datas do presente estudo, não foram iguais aos valores de Ts obtidos pelas bandas termais 6 (Landsat5) e 10 (Landsat 8).

Os resultados obtidos da Estação 82890 - Arcoverde do BDMEP para o ano de 1995, referentes ao dia 20/09/2006 às 12:00hs, foram: Ts máxima 30,90°C e Ts mínima 15,8°C; e para o dia 27/09/2006 os valores foram: Ts máxima: 32,1°C e Ts mínimo:16,9°C. Referente ao ano de 2006, os dados não estavam disponíveis. Os valores de Ts para o ano de 2016 referente ao dia 20/09/2016 às 12:00hs, foram: Ts máxima 38,9°C e Ts mínima 20,5°C; e para o dia 25/09/2006 os valores foram: Ts máxima: 36°C e Ts mínimo:21°C.

Os valores adquiridos da Plataforma de coleta de dados - PDC, nº 32289/Estação Ibimirim referentes a data de 18/09/2006 às 12:00hs, foram: Ts máxima 38,5°C e Ts mínima 20,5°C; e para a data 25/09/2006, os resultados foram: Ts máxima: 36°C e Ts mínimo: 21°C.

Conforme, Tomlinson et al. (2011), há uma lacuna de pesquisa referente à quantificação e relação entre os resultados das temperaturas medidas no ar e os resultados de temperatura obtidas pelos sensores orbitais térmicos, os autores ressaltam ainda a importância de relacionar a temperatura de superfície e a temperatura do ar, pois são dados relevantes na tomada de decisão política.

A Figura 38 mostra a espacialização da temperatura superficial a partir do mosaico das órbitas/ponto-215/66 e 216/66 nas datas em estudo. As áreas com menores temperaturas detectadas pelo sensor estão representadas com a tonalidade azul escuro. A cor azul escuro representa na imagem a classe de intervalo entre 16°C a 19°C, compreende áreas de alvos da bacia do rio Moxotó, com temperaturas mais baixas, esses alvos foram identificados como trechos da REBIO da Serra Negra, na coordenada x 607619 e Y -957351, em algumas nuvens presentes na imagem, principalmente nos municípios do estado de Alagoas.

Em 2006, observa-se o aumento da extensão de corpos de água em toda a bacia, portanto, resfriamento destas e áreas de entorno. Mas, em alguns trechos já se observa diferença de temperatura acima de 2°C. Enquanto que para o ano de 2016, há a diminuição dos corpos de hídricos superficiais, como também redução do volume hídrico, em algumas áreas há um aumento de temperatura superficial maior que 5°C, quando comparados com a Ts de 1995.

A cor amarela refere-se às áreas de vegetação arbustivo-arbórea densa a semidensa, e está representada no intervalo entre 26,06°C a 29,22°C para o ano de 1995, para o ano de 2006 a cor amarela representa o intervalo de 27,95°C a 31,92°C e em 2016 passa a representar o intervalo de 27,16°C a 30,58°C.

A vegetação rala, e áreas de caatinga herbácea representada na cor laranja, no ano de 1995 apresentava intervalo entre 29,23°C a 32,38°C, em 2006 representa o intervalo de 31,93°C a 35,90°C, em 2016 esse intervalo apresenta o intervalo de 34,02°C a 37,44°C.

No entanto, fica evidente a deterioração da vegetação arbustiva e arbórea do ano de 1995 para o ano de 2006, apesar do ano de 2006 ter tido um maior aporte pluviométrico, quando comparado com os dados de 1995 e 2016, o aquecimento dessas áreas, reflete à supressão da caatinga para usos diversos.

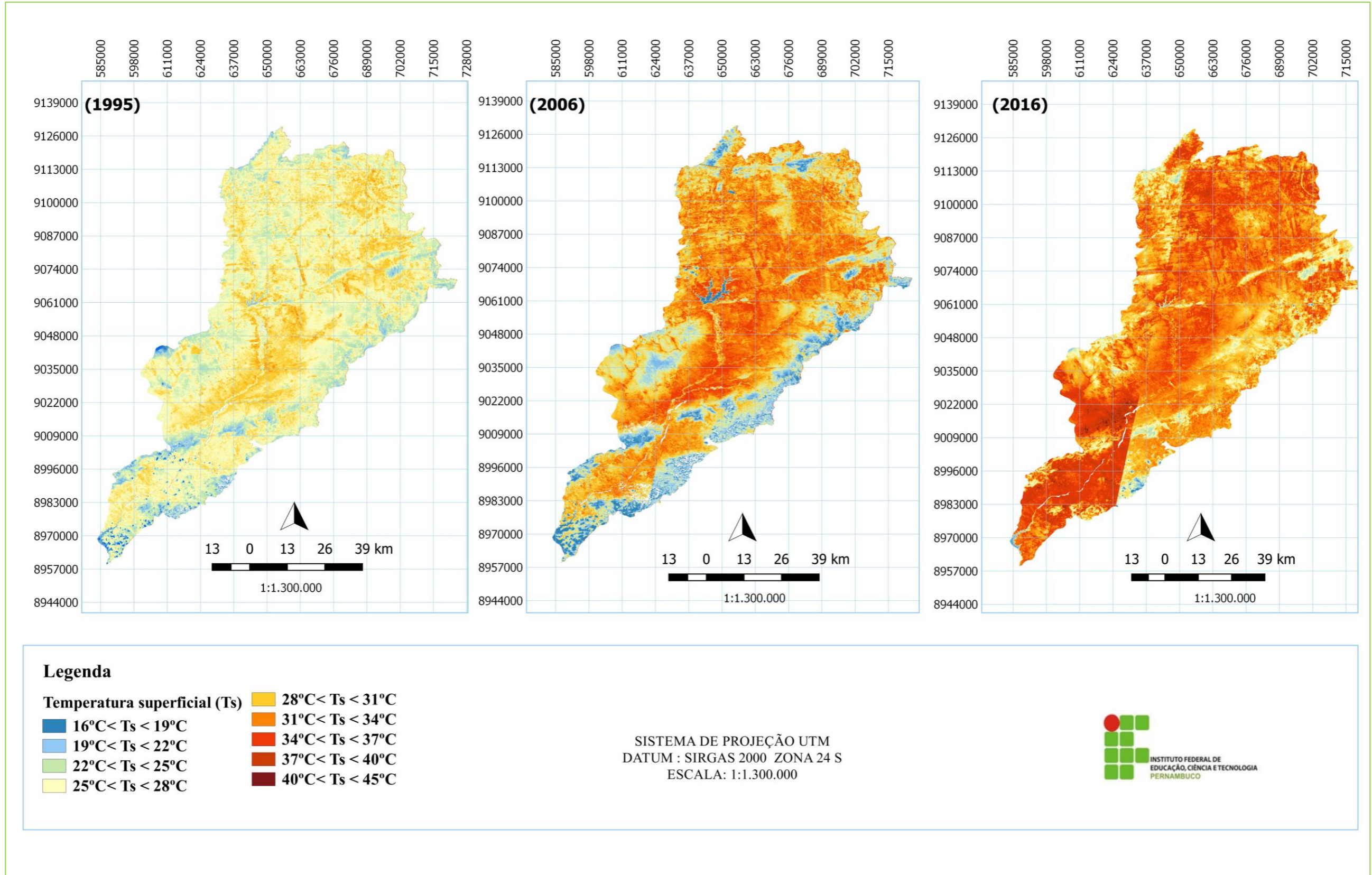
As áreas representadas na cor vermelha são áreas com temperaturas mais elevadas, e representam nas imagens solos expostos com vegetação rala, e áreas urbanas e pequenas povoadas que estão inseridos na bacia.

Comparando-se as imagens da Figura 36, percebe-se a diminuição em extensão dessas áreas de caatinga ao passar dos anos, principalmente para o ano de 2016.

Para o ano de 2016, pode-se constatar o aumento da Ts em toda a região do rio Moxotó. As diferenças de temperatura entre os anos de 2006 e 2016 mostram resultados de elevação da Ts mínima para 6°C e resultado para Ts máxima para 4°C.

O aumento da Ts do ano de 2016 na bacia do rio Moxotó está relacionado, além dos fatores degradativos presentes na bacia, com a situação climática que vem castigando a região nordeste desde o ano de 2010, sendo o ano de 2016 o mais impactado pelas grandes estiagens na região semiárida por estar sob influência do El Niño muito forte.

Figura 39- Mapeamento da espacialização da temperatura superficial da bacia do rio Moxotó referente aos anos de 1995, 2006 e 2016



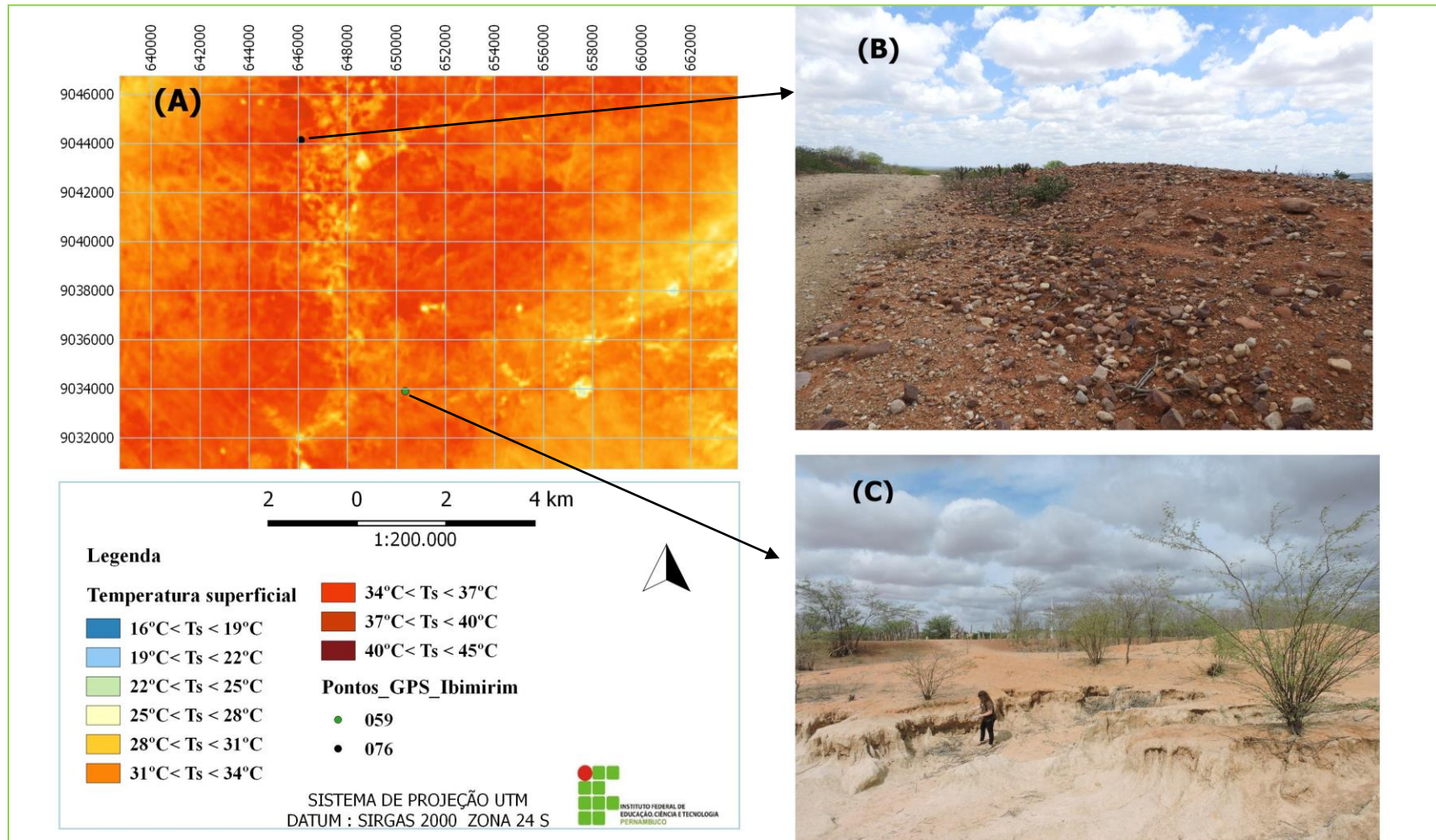
Fonte: Elaborado pelo autor.

4.4.1 Temperatura superficial nas áreas de alta propensão à desertificação

Nas áreas de alta propensão à desertificação, as áreas apresentaram maiores intervalos de temperatura superficial, e baixos intervalos de IVDN e IVAS para todas as datas em estudo.

A Figura 40 mostra fotos das paisagens situadas em diferentes tipos de solo e sua localização no mapa de temperatura superficial para o ano de 2016 (A). Paisagem situada no pavimento desértico (B), paisagem de áreas de alta propensão à desertificação situada nos domínios dos Planossolos (C). Imagem B registradas no dia 18/01/2018 retrata a situação da cobertura do solo, mostra a partir do ponto de GPS nº 76, o intervalo de temperatura desses solos no mapeamento da espacialização da temperatura em 2016 no intervalo de classe: $40^{\circ}\text{C} < T_s < 45^{\circ}\text{C}$.

Figura 40 - Espacialização da Ts para o ano de 2016, com os pontos nº 59 e 76 localizado nas coordenadas x e y, no município de Ibimirim:(A) Mapa da Ts com pontos GPS N° 59 e 76 , foto da localização do ponto nº 76 no Pavimento desértico - Luvissoleto Crômico, no intervalo de classe: $40^{\circ}\text{C} < T_s < 45^{\circ}\text{C}$ (B), e foto da localização do ponto nº 59 situado no Planossolo no intervalo de classe: $37^{\circ}\text{C} < T_s < 40^{\circ}\text{C}$ (C)

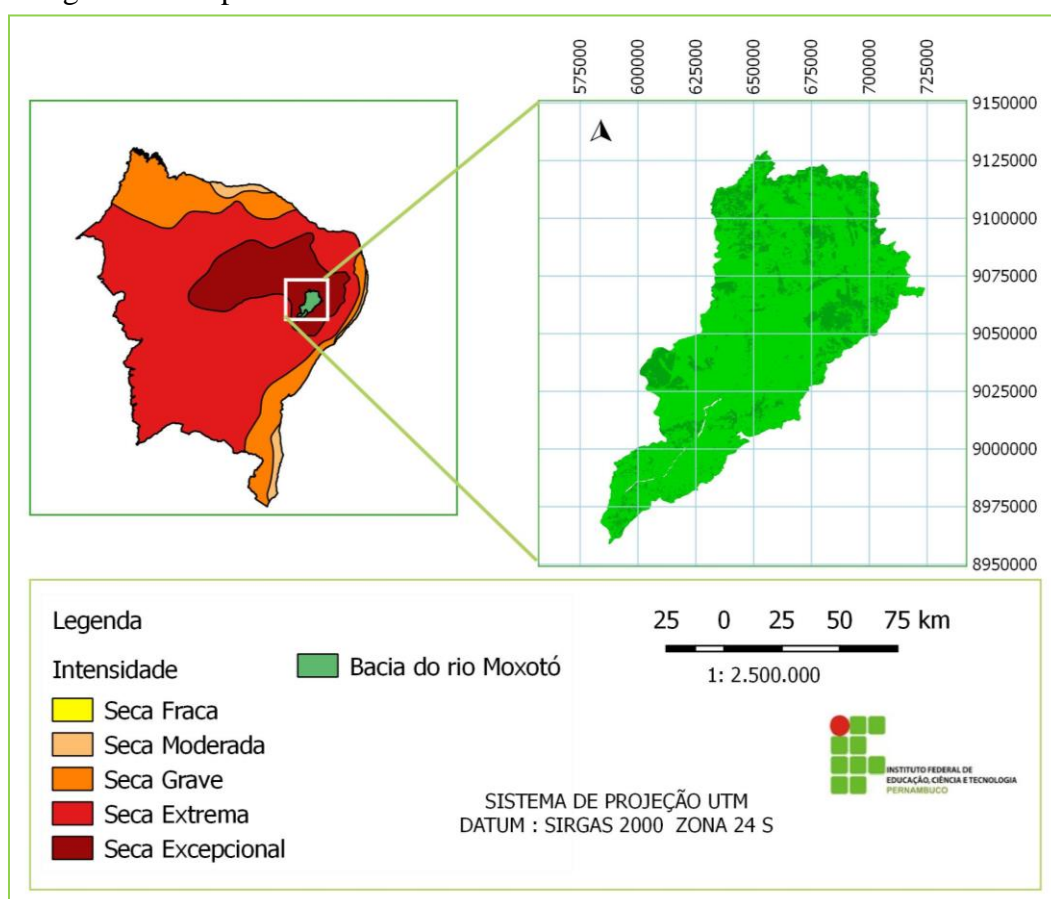


Fonte: Elaborado pelo autor.

No entanto para o mesmo período, dados obtidos do CPTEC/INPE (2018), sobre o Índice de Precipitação Padronizado-SPI, utilizado para o monitoramento de condições associadas à secas e excesso de chuva, para o mês de setembro de 2016, pode-se perceber a partir da Figura 41 que a região do nordeste do Brasil apresentou resultados na intensidade de seca, que variaram de intensidade de seca moderada a seca excepcional, e para a bacia do rio Moxotó observa-se a condição de seca excepcional.

A Figura 41, mostra o mapa representando a espacialização dos índices de seca para a região nordeste do Brasil, do mês de setembro de 2016 e a localização da bacia do rio Moxotó, situada no intervalo de seca excepcional.

Figura 41- Mapa de monitoramento de secas do Nordeste – setembro de 2016



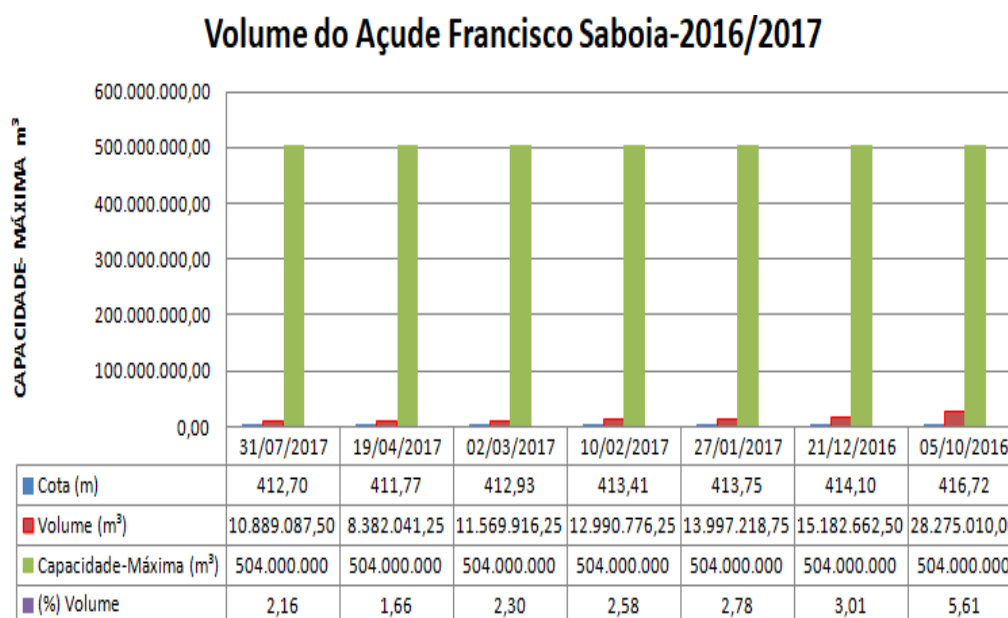
Fonte: Modificado pelo autor, FUNCEME (2016).

De acordo com a FUNCEME (2016), o monitoramento de secas do Nordeste referente ao mês de setembro do ano 2016, no estado de Pernambuco (PE), mostrou aumento significativo, a partir de seus indicadores, em relação a agosto, das condições de seca moderada (S1), grave (S2) e extrema (S3) em direção ao leste. Na porção central e noroeste de PE, os indicadores apontam para o aumento da área de seca excepcional (S4). Assim como

no estado da PB, na região central de PE, foram observadas anomalias de temperatura máxima superior a 6°C no mês de setembro, e no trimestre julho, agosto e setembro (JAS).

A Figura 42 revela a situação do volume hídrico do Açude Francisco Saboia dos anos de 2016 a 2017, comparando o volume máximo com os volumes coletados para os anos de 2016 e 2017.

Figura 42 - Gráfico do volume hídrico do Açude Francisco Saboia – 2016 / 2017



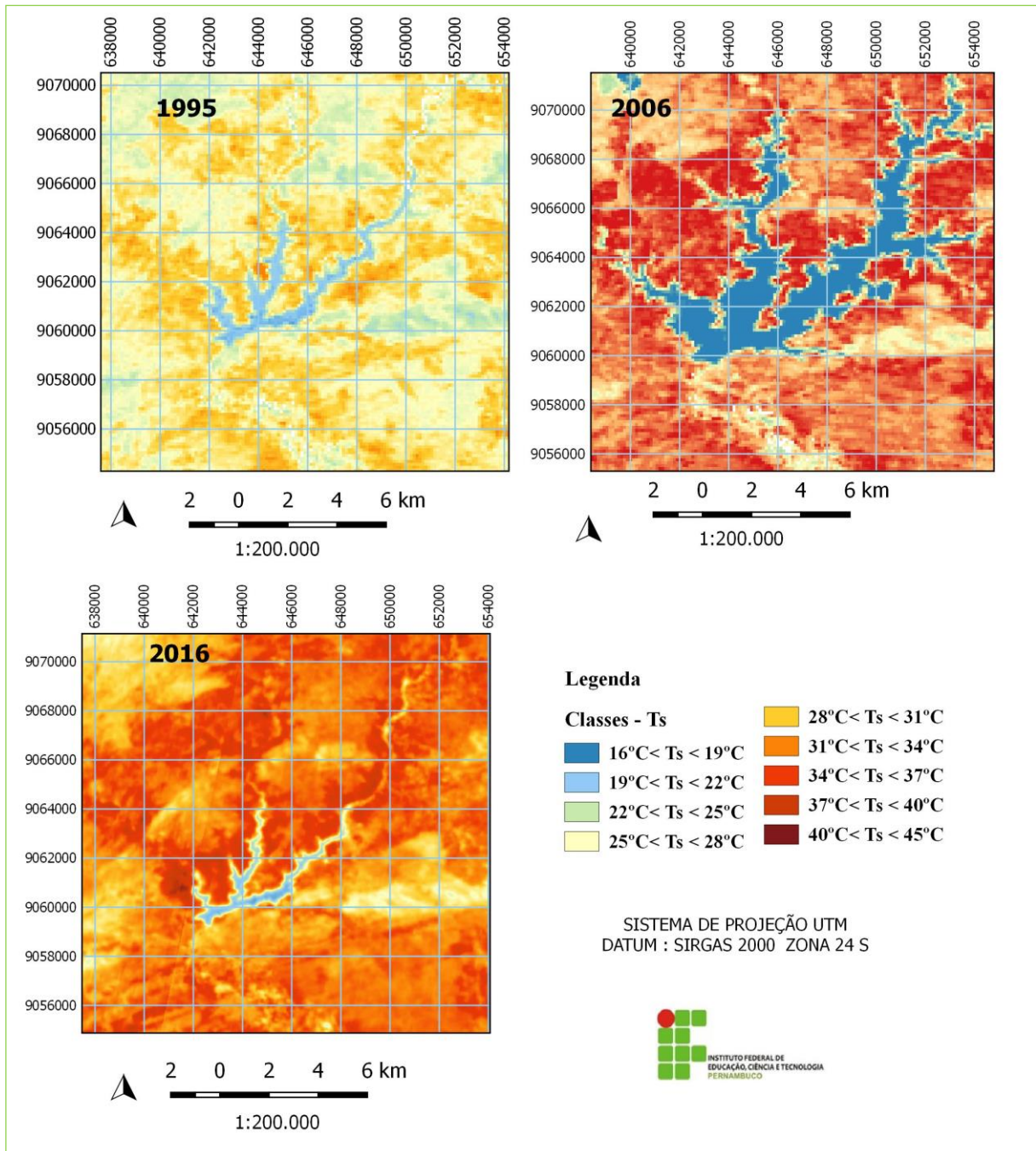
Fonte: APAC (2017).

Esse gráfico evidencia o declínio do volume hídrico do açude para a região, o açude encontra-se atualmente com as comportas fechadas.

Contudo, percebe-se que as mudanças climáticas afetaram significativamente, a região semiárida no ano de 2016, fato evidenciado no presente estudo, o aumento da Ts dos corpos hídricos, vegetação e solos degradados, na bacia do rio Moxotó. Contudo, podem ser observados, a partir da análise de comparação da espacialização das Ts em vários alvos, entre os anos de 1995, 2006 e 2016, como já mencionado.

O colapso hídrico do Açude Francisco Saboia, por exemplo, teve aumento de até 4°C em algumas áreas, e de 5°C nas áreas que foram sedimentadas. À medida que o volume hídrico do açude diminuiu, as tornaram-se mais quentes, (Figura 43).

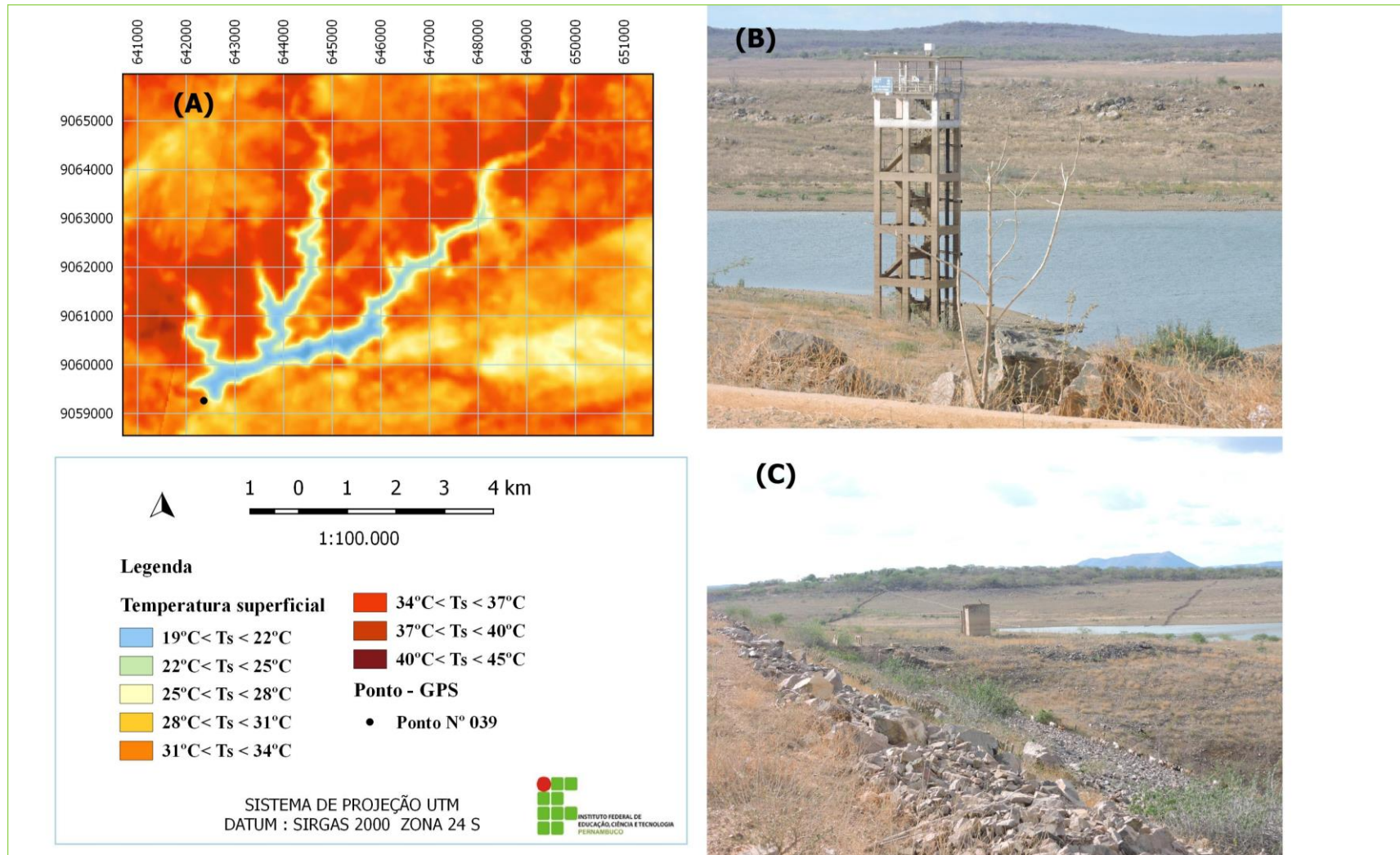
Figura 43 - Variação da Ts entre os anos de 1995, 2006 e 2016 no entorno do Açude Francisco Saboia



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 44, mostra o registro fotográfico do dia 16 de fevereiro de 2017, localização Ponto n°39, Lat -8.50788 e LONG -37.7129. Açude de acordo com integrantes do DNOCS, o açude em estado de colapso com capacidade de 2%, devido má gestão dos recursos hídricos na região, além da problemática da seca na região. Ponto n°39, Lat -8.50788 e LONG -37.7129.

Figura 44 - Espacialização da Ts no Açude Francisco Saboia: Mapa de espacialização de Ts (A), Paisagem foto do Açude (B) e (C), tiradas a partir do ponto GPS n° 039

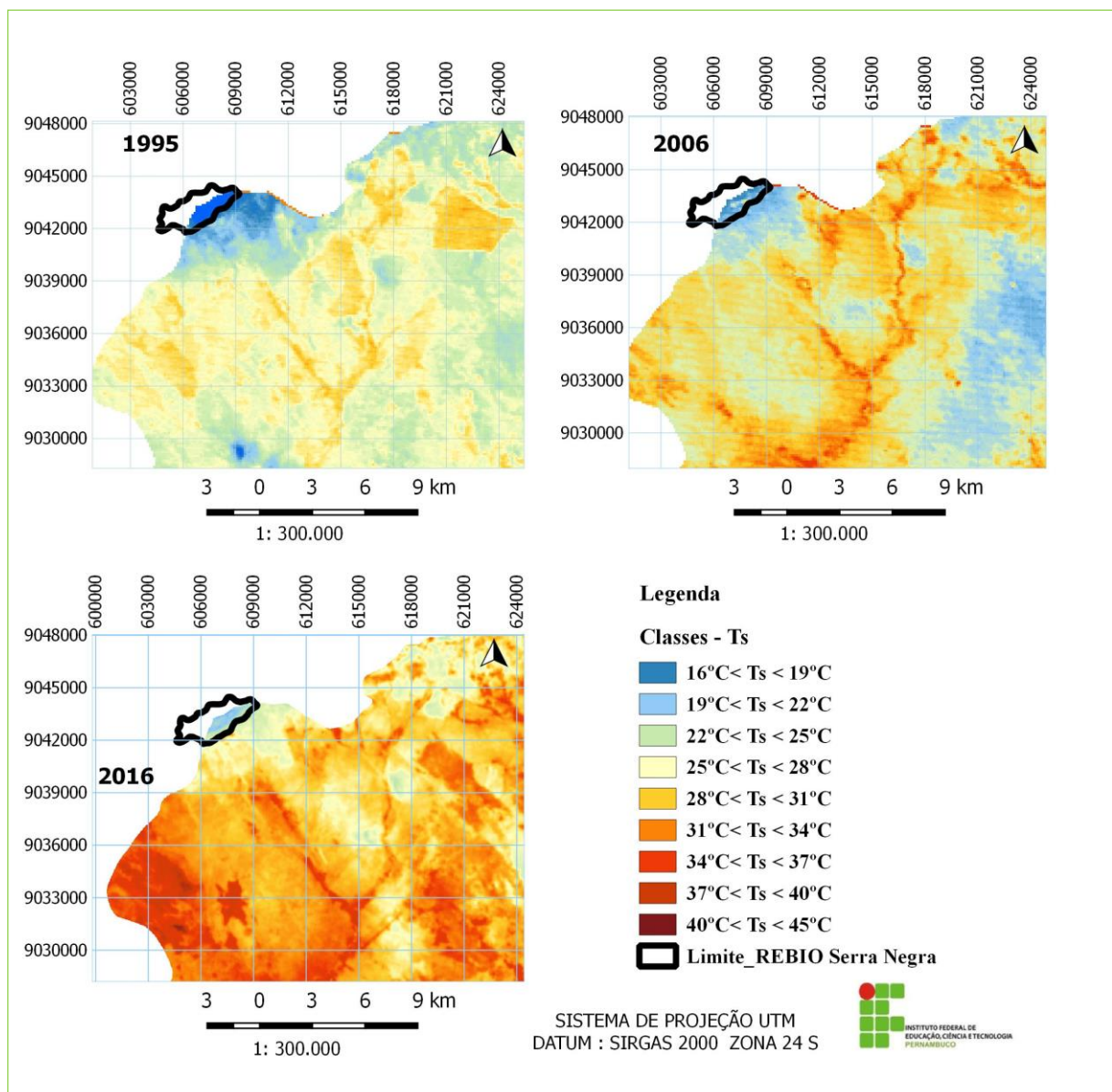


Fonte: Elaborado pelo autor.

4.4.2 Temperatura superficial nas áreas de proteção ambiental

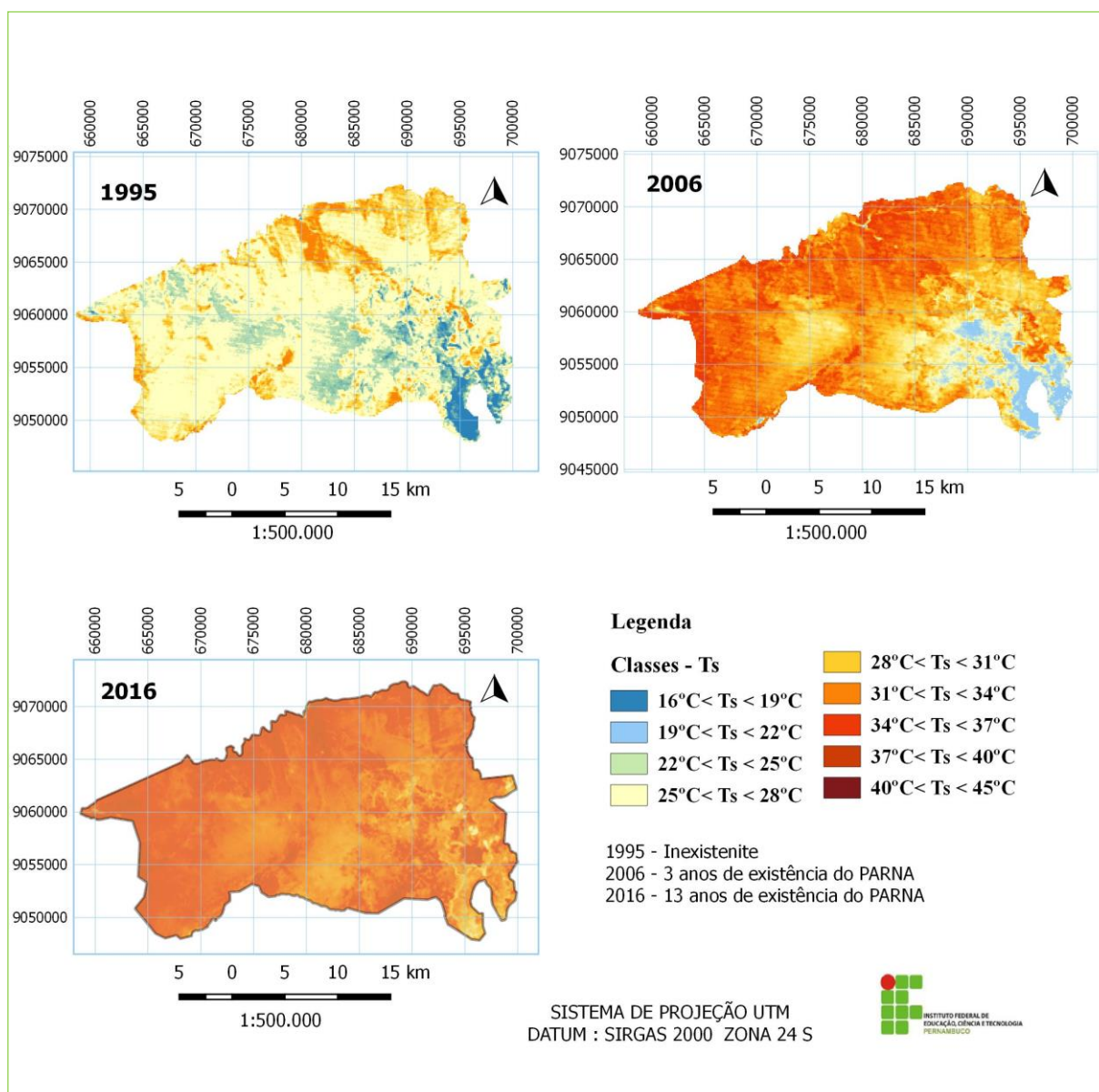
As áreas com temperaturas mais brandas situadas na bacia do rio Moxotó, compreendem as áreas de caatinga densa, e podem ser encontradas, por exemplo, nas áreas de preservação ambiental da REBIO Serra Negra (Figura 45) e PARNA do Catimbau (Figura 46).

Figura 45 - Imagem da variação da Temperatura superficial (C°) de trecho da Reserva REBIO Serra Negra, situada na bacia do Rio Moxotó durante os anos de 1995, 2006 e 2016



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 46 - Variação da Temperatura superficial (C°) nas áreas do PARNA do Catimbau:
1995, 2006 e 2016



Fonte: Elaborado pelo autor.

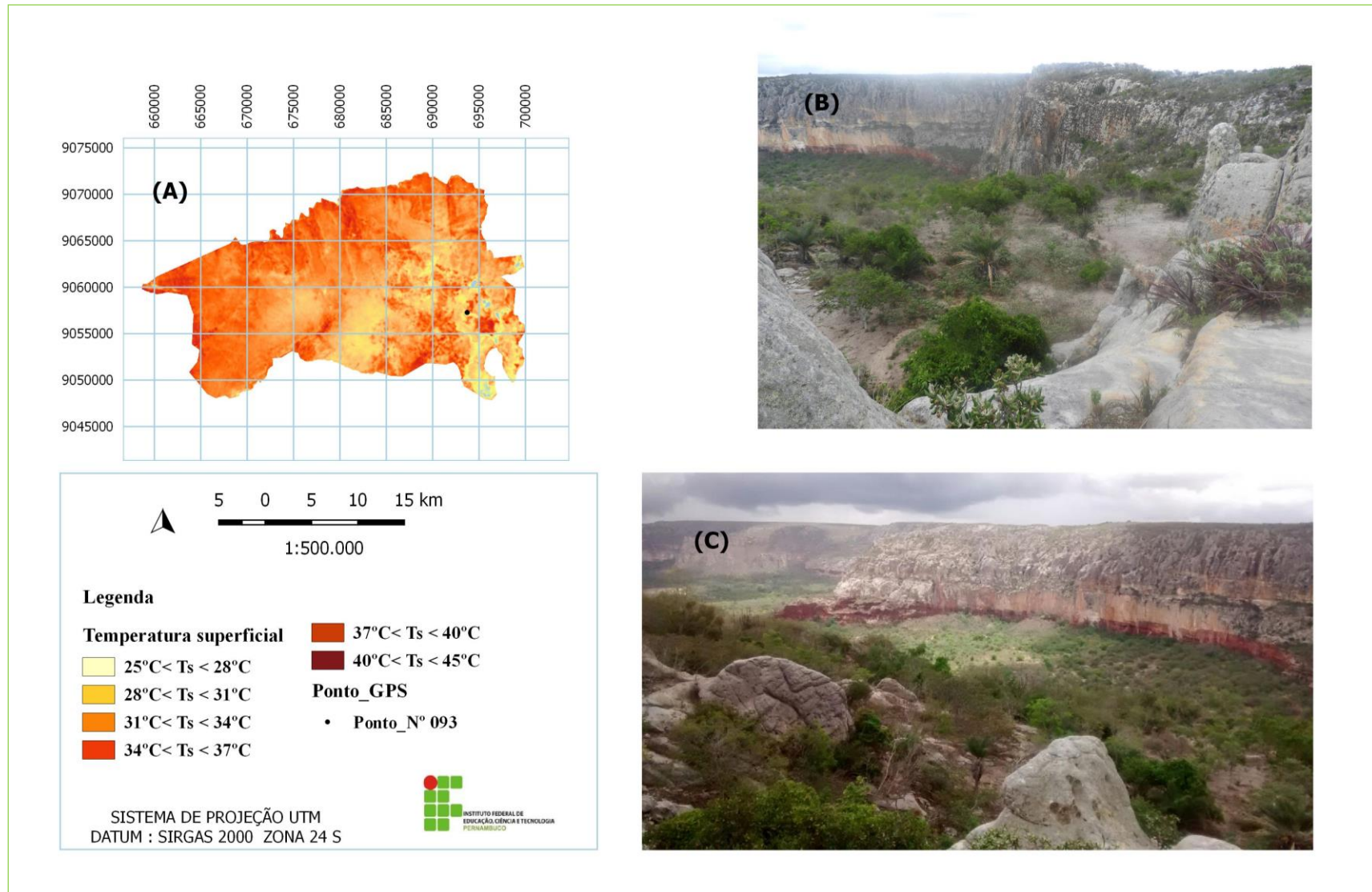
No entanto, percebe-se a variação do aumento da temperatura superficial para essas áreas, ao longo dos anos, principalmente para o ano de 2016, indicando grande estresse hídrico na vegetação, como mostra a Figuras 46.

Nas áreas do Parque do Catimbau, as maiores temperaturas situam-se nas áreas de manchas de solos exposto e caatinga rala, e estão nas áreas do domínio da Depressão Sertaneja, as áreas com menores temperaturas estão situadas na bacia do Jatobá.

Importante ressaltar que para o ano de 1995, 2006 e 2016 as maiores temperaturas estão centradas nas áreas antropizadas, e nos solos e rochas desnudos. Os arenitos cobertos com vegetação rupestre apresentam temperaturas amenas, e estão mais protegidos contra os processos erosivos, mesmo no ano de 2016, apesar do grande estresse hídrico, são áreas que permanecem com temperatura mais amena, quando comparadas com as áreas antropizadas e solos exposto.

A Figura 47, mostram as fotos das paisagens tiradas no dia 18/01/2018 no PARNA do Catimbau, observa-se a partir da espacialização da Ts de 2016 que as áreas que apresentam Ts mais altas representam solos expostos e rochas desnudas e as áreas com Ts mais baixa estão situadas nas encostas dos arenitos cobertos com a vegetação rupestre.

Figura 47 - Espacialização da Ts do PARNA do Catimbau: (A) Mapa de Ts do ano de 2016, (B) e (C) fotos tiradas a partir do ponto GPS n° 93



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 48 retrata a foto tirada a partir do registro pelo GPS, ponto n. 79 nos paredões do PARNA do Catimbau, com distância de 1000m aproximadamente. A seta em vermelho indica área degradada, com solo arenoso, difícil recuperação da caatinga, a pesar de estar inserido no centro das encostas dos paredões.

Figura 48 – Área de solo arenoso situada no interior dos paredões do PARNA do Catimbau com difícil recuperação da caatinga



Fonte: Foto do autor (2018).

5 CONCLUSÕES

O estudo espaço temporal de áreas susceptíveis à desertificação, na bacia do rio Moxotó, mostrou-se ser viável por meio do processamento digital das imagens orbitais de satélites de média resolução espacial da série Landsat 5 e Landsat 8. Dessa forma, as técnicas, MLME, IVAS e Ts, processadas nos softwares livres como o Spring 5.4 e QGIS 2.18, foram eficientes na detecção do desmatamento da caatinga, em áreas muito extensas, do semiárido brasileiro. E corroboram para possíveis planejamento de atuação da gestão ambiental.

Com a metodologia utilizada, constatou-se que a estabilização de áreas degradadas, ao longo de 21 anos, com solos desnudos ou com vegetação predominantemente rala, sob influência de variações climáticas, nos domínios de solos fragilizados, constitui áreas de alta potencialidade à desertificação. Essas áreas apresentam-se com baixos valores de IVAS e maiores valores de Ts.

Os municípios mais vulneráveis à desertificação na bacia do rio Moxotó, são os municípios de Ibimirim, Inajá, Custódia, situados no Estado de Pernambuco. No Estado de Alagoas, os municípios afetados são Mata Grande, Pariconha e Delmiro Gouveia.

As áreas que permaneceram com vegetação estáveis ao longo dos 21 anos, apresentaram variação de valores entre os intervalos de $0,21 < IVAS < 0,75$ e temperaturas amenas, principalmente, situadas nas áreas mais elevadas da bacia, a exemplo do PARNA do Catimbau e Serra Negra, são áreas de baixa propensão à desertificação.

Importante ressaltar que a vulnerabilidade ambiental existente nas áreas de proteção ambiental do PARNA do Catimbau e a REBIO Serra Negra, não é só ocasionado pelos impactos das mudanças climáticas, que evidenciam a variação do aumento de temperatura superficial em até 4°C em algumas áreas, nas datas em estudo. Mas pela ação conjugada dessas variações climáticas e dos impactos das ações antropizadas pela população residente nas áreas de proteção, e nas áreas de entorno. Resultado do descaso da gestão ambiental das áreas de proteção no âmbito do governo federal, e da efetivação de ações de desenvolvimento sustentável a nível governo estadual e municipal.

A Gestão ambiental das unidades de conservação do PARNA do Catimbau e REBIO Serra Negra, deve ser alinhada aos objetivos que essas UCs se propõem. No caso do PARNA do Catimbau como área de proteção integral, as ações antrópicas como atividades agropastoris não devem ser permitidas.

No entanto, o estudo comprova por meio do estudo espaço temporal e da análise dos dados espectrais a recuperação da caatinga nas áreas de proteção ambiental entre os anos de 2006 a 2016, e reconhece a importância da atuação e esforço da gestão ambiental por parte da IMCbio, e da grande contribuição de biodiversidade do bioma caatinga para a bacia do rio Moxotó.

A gestão ambiental e territorial, na bacia do rio Moxotó se faz necessária e urgente. Assim, o plano de manejo das unidades extrativistas da caatinga deve levar em consideração que os impactos dos eventos extremos sobre a caatinga dificultam sua recuperação de modo que a extração dessa vegetação, em tempos de aquecimento global, afetados por longas estiagens, e altas temperaturas superficiais, devem ser repensados.

Outro ponto relevante, é sobre a supressão de espécies arbóreas, supõem-se que nas áreas degradadas por salinização, a extração da madeira da *Prosopis juliflora* (SW)DC), sem o monitoramento ambiental do desmatamento dessa espécie, possa intensificar a instalação da desertificação, tendo em vista que a permanência dessa espécie contribua na amenização dos processos erosivos e da temperatura superficial.

Assim, os planos de manejos adotados deveriam contemplar espécies exóticas que exercem serviços ambientais em áreas degradadas, onde a caatinga não mais existe, ou prover a partir da extração das *Prosopis juliflora* (SW)DC), recuperação ambiental dessas áreas para reflorestamento da caatinga.

Por outro lado, percebe-se a necessidade de revitalização do rio Moxotó, e a extração das *Prosopis juliflora* (SW)DC), situada nos leitos do rio e em áreas de caatinga, deverá ser realizada, e a mata ciliar deverá ser restaurada com mata nativa.

Em relação à atuação dos Governos Federal, Estadual e Municipal, espera-se um esforço maior das Secretarias no cumprimento das ações do plano de desertificação consolidado em 2015, e a inserção da gestão ambiental nos programas que incentivem o fomento de cadeias produtivas nas regiões semiáridas, a ponto de não intensificar a degradação.

Dessa forma, o plano de desertificação deverá contemplar ações que visem a prevenção da instalação da desertificação em áreas susceptíveis, como as áreas degradadas da bacia do rio Moxotó, que necessitam de ações de recuperação da caatinga, dos solos salinizados e de um melhor gerenciamento dos recursos hídricos na região.

Contudo, os impactos resultantes da variabilidade climática acentuam, na bacia do rio Moxotó, a susceptibilidade de áreas à desertificação, não só pela vulnerabilidade dos recursos

naturais na região semiárida, como: a vegetação, o solo e os recursos hídricos, mas, sobretudo, com a gestão insustentável da caatinga, dos solos e dos recursos hídricos no perímetro da bacia

5.1 Sugestões para futuros estudos

Como sugestão para trabalhos de pesquisa futuros, recomenda-se, estudos focalizados na bacia do rio Moxotó, em extensões de áreas menores, que possa cruzar com dados em períodos chuvosos com menor/ou ausência de nuvens.

O Mapeamento da fração vegetação, a partir do modelo de mistura espectral poderá contribuir na espacialização fisiotipológico da caatinga na região, considerando as possíveis variação da vegetação nas unidades de paisagens da Depressão Sertaneja e Bacia Sedimentar do Jatobá, bem como na classificação da vegetação nos brejos de altitude, na bacia do rio Moxotó.

Ressaltam-se ainda, grandes potenciais de pesquisa que podem ser desenvolvidos no âmbito da gestão ambiental nas áreas do PARNA do Catimbau e na REBIO Serra Negra, no combate à desertificação, principalmente referente à recuperação de solos degradados nos domínios dos Planossolos, com espécies de caatinga, e pesquisa relacionada aos impactos da caatinga densa no bloqueio de proliferação da *Prosopis juliflora* (SW)DC).

REFERÊNCIAS

ACCIOLY, L.J.O. **Degradação do solo e desertificação no Nordeste do Brasil**. Portal Dia de Campo, 22 jun. 2010. Disponível em: <<http://www.diadecampo.com.br>>. Acesso em: 17 set. 2016.

ADISSI, P. et al. **Gestão ambiental de unidades produtivas**. Elsevier Brasil, 2013.

ALLEN, R.; BASTIAANSSEN, W.; WATERS, R.; Tasumi, M.; TREZZA, R. **Surface energy balance algorithms for land (SEBAL)**, Idaho implementation – Advanced training and users manual, v. 1.0, 2002. 97p.

ANA. Agência Nacional de Águas (Brasil). **Reservatórios do Semiárido brasileiro: Hidrologia, balanço hídrico e operação**. Anexo E/ Agência Nacional de águas-Brasília: ANA, 2017. Disponível em <http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/noticias/estudo-reservatorios/anexo-e-capibaribe-contas-ipojuca-jucuibe-vaza-barris-afluentes-do-sao-francisco.pdf>.> Acesso em 12 nov.2017.

ABREU, C.F.N.L; BELFORT, L; BARBOSA, BELTRÃO, I.R. Avaliação da Fragilidade Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Moxotó em Pernambuco Utilizando Geoprocessamento. In: **ANAIS XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR**, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE.

APAC-Agência Pernambucana de Águas e Clima. **Dados históricos- monitoramento pluviométrico**. Disponível em: <<http://www.apac.pe.gov.br/metereologia/monitoramento-pluvio.php>> Acesso em: 22.set.2017.

APAC- Agência Pernambucana de Águas e Clima. Rio Moxotó. In: **Bacias hidrográficas**. Disponível em: <http://www.apac.pe.gov.br/pagina.php?page_id=5&subpage_id=18>. Acesso em :11 de set. 2017.

ARAÚJO FILHO, J.C. et al. **Levantamento de reconhecimento de baixa e média intensidade dos solos do Estado de Pernambuco**, Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2000.

ARAÚJO FILHO, J.C. et al. Composição botânica e química da dieta de ovinos e caprinos em pastoreio combinado na região dos Inhamuns, Ceará. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**. Viçosa (MG): UFV, 25: 383-395, 1996.

ARAÚJO FILHO, J.C. et al. Solos In: **Geodiversidade do estado de Pernambuco / Org. Fernanda Soares de Miranda Torres [e] Pedro Augusto dos Santos Pfaltzgraff – Recife: CPRM, 2014. 282 p.; 30 cm + 1 DVD-ROM**. Disponível in: <www.cprm.gov.br/publique/media/geodiversidade_pernambuco.pdf>. Acesso em: 17 set. 2016.

ASSEMBLY, UN General. **Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development**. New York: United Nations, 2015.

BARBOSA, C.C.F. et al. Caracterização espectral das massas d'água amazônicas. **Simpósio brasileiro de sensoriamento remoto**, v.11, p.1099-1106, 2003.

BASTIAANSEN, W.G.M. SEBAL – based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey. **Journal of Hydrology**, v.229, p.87-100, 2000.

BEZERRA, J.M. et al. Parâmetros biofísicos obtidos por sensoriamento remoto em região semiárida do estado do Rio Grande do Norte, Brasil. . **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 1, p. 73-84, 2014.

BRABANT, P. **A land degradation assessment and mapping method. A standard guideline proposal. CSFD thematic report. CSFD / Agropolis International, Montpellier, France. 52pp, 2010.**

BRASIL, Atlas. **Atlas do desenvolvimento humano no Brasil 2013**. Disponível em: < <http://www.atlasbrasil.org.br/2013/pt/consulta/>>. Acesso em: 09/09/2016.

BRASIL, GOVERNO DO. **Desertificação – III Conferência das Partes da Convenção das Nações Unidas**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente/Prática, 1999. 23 p.

BRITO, J.I.B. **Modelo Regional de Estimativa do Balanço Hídrico Aplicado à Variabilidade Climática do Nordeste Brasileiro**. CCT/UFPB. Campina Grande. Tese de Doutorado em Recursos Naturais CCT/UFPB. 2000, 129p.

BRITO, J.I.B. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba-UFPB, 2000. (**Tese de Doutorado em Recursos Naturais**, defendida em 2000.)

BRITO, J.I.B.; BRAGA, C.C.; VELOSO, A.V.A. **Possíveis relações entre os múltiplos regimes climáticos e riscos de processos de desertificação em áreas do nordeste do Brasil (2002)**.

BURSZTYN, M.A.; BURSZTYN, M. **Fundamentos de política e gestão ambiental: caminhos para a sustentabilidade**. Garamond, 2012.

CAATINGAS EM RISCO. Direção: Augusto Amorim e Neilson Freire. Produção: Massangana Multimídia Produções Roteiro: Augusto Amorim, 1DVD (62MIN), Color HD. Realização: Fundação Joaquim Nabuco, 2017.

CÂMARA, Gilberto et al. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. **Computers & graphics**, v. 20, n. 3, p. 395-403, 1996.

CARVALHO, C.M. de; ALMEIDA-FILHO, R. Uso de imagens Landsat-TM para avaliar a extensão da desertificação na região de Gilbués, sul do estado do Piauí. **XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**, FLORIANÓPOLIS, BRASIL. ANAIS, p. 21-26, 2007.

CARVALHO, V.C. de. Abordagem multiescalar para o monitoramento de indicadores do processo de desertificação. **Anais do X SBSR**, Foz do Iguaçu, p. 1539-1551, 2001.

CENSO, I. B. G. E. **Censo 2010**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Fornecido em meio eletrônico:<www.IBGE.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/>. Acessado em, v. 20, n. 03, p. 2012, 2017.

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS APLICADOS-CGEE. **Desertificação, degradação das terra e secas no Brasil**. Brasília, DF:2016, 252p.

CERQUEIRA et al. Caracterização morfopedológica em topossequência - bacia do rio Moxotó - Sertão Pernambucano. In: São Paulo. **Anais**. 2015. Disponível em: http://www.evolvedoc.com.br/sbrh/detalhes-1126_caracterizacao-morfopedologica-em-toposseguencia-bacia-do-rio-Moxoto-sertao-pernambucano. Acesso em: 20/09/2017.

CHANDER, G; MARKHAN, B.L.; HELDER, D., L. Sumary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI Sensors. In: **ELSEVIER, Remote Sensing of Enviroment** 113,2009, p.896.Acrescentar

COSTA, D.C.; BRITO, J.I.B. **Contribuição do DCA/UFCEG ao Plano Nacional de Controle da desertificação**, Campina Grande, 2002.

COSTA FILHO, Waldir Duarte et al. **Hidrogeologia da bacia de Jatobá: sistema aquífero Tacaratu/Inajá**. 2008.

CRÓSTA, A. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Campinas, SP: IG/Unicamp, 1993.170p.

DEMMATTÊ, J.A. M. et al. Uso de imagens de satélite na discriminação de solos desenvolvidos de basalto e arenito na região de Paraguaçu Paulista. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, p.697-706, 2005.

DJEDDAOUI, F; CHADLI, M.; GLOAGUEN, R. Desertificativos Susceptibility Mapping Using Logistic Regression Analysis in the Djelfa Area, Algeria. **Remote Sensing**, v. 9, n. 10, p. 1031, 2017.

FEITOSA, J. R. P.; COSTA FILHO, JF da; SILVA, BB. Avaliação de índices de vegetação em área irrigada do sub-médio São Francisco, Petrolina-PE, a partir de imagens do satélite LANDSAT 5-TM. In: **Congresso Brasileiro de Meteorologia**. 2004. p. 2004.

FIGUEIRÊDO, C. A. et al. Determinação de índices de vegetação para a análise da cobertura vegetal em bacia hidrográfica do Agreste pernambucano. In: **Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR**, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 2013.

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

FLORENZANO, T.G. **Iniciação em sensoriamento remoto**. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

FREIRE, N.C.F.; PACHÊCO, A.P. **Desertificação: análise e mapeamento**. Editora Universitária UFPE, 2011.

FREIRE, N. C. F. **Mapeamento e Análise Espectro-Temporal das Unidades de Conservação de Proteção Integral da Administração Federal no Bioma Caatinga**. 2015..

FUNCEME – CEARÁ. **Narrativa do monitor de secas do mês de setembro de 2016**. Disponível em: <[msne.funceme.br/uploads/mapas/narrativa_final_monitotot_de_secas_setembro de 2016](http://msne.funceme.br/uploads/mapas/narrativa_final_monitotot_de_secas_setembro_de_2016)>. Acesso em: 12/12/2017.

GLENN, E. P. et al. Relationship between remotely sensed vegetation indices, canopy attributes and plant physiological processes: what vegetation indices can and cannot tell us about the landscape. *Sensors*, v. 8, n.4, p. 2136-2160, 2008.

GLOBO RURAL. **Povoado em PE sobrevive da extração ilegal de madeira**.2011. Disponível em: <<http://g1.globo.com/economia/agronegocios/vida-rural/noticia/2011/07/povoado-em-pernambuco-sobrevive-da-extracao-ilegal-de-madeira.html>>. Acesso em 10 ago.2016.

GRIGIO,M.A.;DIODATO,M.A.; AMARO,V.E. Determinação dos índices de vulnerabilidade e de geodiversidade do baixo curso do Rio Piranhas-Assu(RN). In: **Gestão Ambiental: caminhos para uma sociedade sustentável**. Márcia R. S. et al. São Paulo.2013.

HONG, S.; LAKSHMI, V.; SMALL, E. E. Relationship between vegetation biophysical properties and surface temperature using multisensor satellite data. *Journal of climate*, v. 20, n. 22, p. 5593-5606, 2007.

HUETE, A.R. **A soil-adjusted vegetation index (SAVI), remote sensing of environment**,1988.

HUETE, A.R.; LIU, H. Q. **A error and sensivity analysis of the atmospheric and soil-correcting variants of the NDVI for the MODIS-EOS, IEEE Transactions on Geoscience and remote sensing**, 1994.

ICMBBIO. Instituto Chico Mendes de Conservação da biodiversidade. **Plano de manejo da Reserva Biológica da Serra Negra**. Volume1.2011. Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/imgs-unidades-conservacao/serra%20negra_contextualiza%C3%A7%C3%A3o.pdf>. Acesso em: 12 fev. 2017.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Softwares livres, Spring, Manuais, **Tutorial. Linguagem Legal**. Disponível em :<<http://www.inpe.br/spring>>. Acesso em 09 jun. 2016.

INPE-Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos. INPE-CPTEC. **ENOS**. Cachoeira Paulista: CPTEC-INPE, 2016. Disponível em: <<http://enos.cptec.inpe.br/#>>. Acesso em: 07 jul.2016.

INPE-DPI. **SPRING, Manual do usuário**, São José dos Campos, 1996. Disponível em:<<http://www.inpe.br/spring>>. Acesso em: 20 jun.2016.

JENSEN, J. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos, SP: Parêntese, 2009.

KARNIELI, A. et al. AFRI—Aerosol free vegetation index. **Remote Sensing of Environment**, v. 77, n. 1, p. 10-21, 2001.

KUNDU, Arnab; DUTTA, Dipanwita. Monitoring desertification risk through climate change and human interference using remote sensing and GIS techniques. **International journal of geomatics and GeoSciences**, v. 2, n. 1, p. 21, 2011.

LINS, Frederico Abraão Costa et al. Estimativa de parâmetros biofísicos e evapotranspiração real no semiárido Pernambucano utilizando sensoriamento remoto. **IRRIGA**, v. 1, n. 1, p. 64-75, 2017.

LIMA, E.R.V; SOUZA, B. I.; Suertegaray, D.M.A. Mapeamento da desertificação nos Cariris Velhos – PB – Brasil. In: **Desertificação, desenvolvimento sustentável e agricultura familiar: recortes no Brasil, em Portugal e na África** / Emília Moreira, Ivan Targino (Organizadores). - João Pessoa: Editora Universitária da UFPB; Ministério do Meio Ambiente. 2010. 344p. Edição Bilingue.

MAGALHÃES, A.R. Vida e seca no Brasil. In: NYS, E.; ENGLE, N. L.; MAGALHÃES, A. R. **Secas no Brasil: política e gestão proativas**. Brasília, DF: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos-CGEE, 2016.

MARKHAM, B.L.; BARKER, L. L. Thematic mapper bandpass solar exoatmospherical irradiances. **International Journal of Remote Sensing**, v.8, n.3, p.517-523, 1987

MATALLO JUNIOR, H. **Indicadores de Desertificação: histórico e perspectivas**. – Brasília: UNESCO, 2001.

MAURY, C.M. **Avaliação e identificação de áreas e ações prioritárias para a conservação, utilização sustentável e repartição dos benefícios da biodiversidade dos biomas brasileiros**. MMA/SBF, 2002.

MEDEIROS, J. S. de; CÂMARA, G. **Geoprocessamento para projetos ambientais**. 2001.

MENESES, P.R. et al. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília: UNB/CNPq, 2012.

METTERNICHT, G.I.; FERMONTE, A1. Estimating erosion surface features by linear mixture modeling. **Remote Sensing of Environment**, v. 64, n. 3, p. 254-265, 1998.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. **Nova delimitação do semiárido brasileiro**. Brasília: MIN/Secretaria de Políticas de Desenvolvimento Regional, 2005.

MOREIRA, M.A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologia de aplicação**. 2. ed. São José dos Campos, Viçosa: UFV, 2004. 307p.

MARENGO, J.A. **Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI**. Brasília: MMA, 2007.

MARENGO, J.A.; CUNHA, A. P.; ALVES, Lincoln M. A seca de 2012-15 no semiárido do Nordeste do Brasil no contexto histórico. **Climanálise**, v. 3, p. 1-6, 2016.

MARENGO, J.A. **Water and climate change. Estud. av.**, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 83-96, 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142008000200006&lng=en&nrm=iso>. access on 24 Feb. 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-40142008000200006>.

MORAES, E.C. **CAPÍTULO 1- Fundamentos de sensoriamento remoto**. 2002.

MOURA, G.S. **Geoprocessamento no estudo da desertificação: município de Prata, PB**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola. Campina Grande, PB, 2006.

MOURA, M.S.B. et al. Clima e água de chuva no semiárido. p. 37-59, 2007. In: BRITO, L.T L.; MOURA, M.S.B.; GAMA, G.F.B. **Potencialidades da água de chuva no Semiárido brasileiro**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2007.

NASCIMENTO, C.E.S. **Comportamento invasor da algarobeira Prosopis juliflora (Sw) Dc. Nas planícies aluviais da caatinga**. 2008. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado em Biologia Vegetal) –Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco.

NEVES, A.M.A; Roxo, J.M (2010). A percepção do fenômeno da desertificação em Portugal e no Brasil: a importância de informar a sociedade. In: **Desertificação, desenvolvimento sustentável e agricultura familiar: recortes no Brasil, em Portugal e na África / Emília Moreira, Ivan Targino (Organizadores)**. - João Pessoa: Editora Universitária da UFPB; Ministério do Meio Ambiente. 2010. 344p. Edição Bilíngüe.

NEGASH, S.G **Spatial assessment of NDVI as an indicator of desertification in Ethiopia using remote sensing and GIS**. Master Thesis in Geographical Information Science, 2016.

NOBRE, C. et al. **Mudanças Climáticas Globais e Possíveis Alterações nos Biomas da América do Sul**. 2007.

NOBRE, C. **Mudanças climáticas e desertificação: os desafios para o Estado brasileiro**. In. LIMA, R.C.C.; CAVALCANTE, A.M.B.; MARIM, A.M.P. (Edt.). **Desertificação e mudanças climáticas no semiárido brasileiro**. Campina Grande: ISNA/PB, 2011.

NOVO, E.M.L. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. São Paulo:Blucher,2010.

NULL,J. **El Niño winter precipitation and temperature climatology**.2017.Disponível em: <http://ggweather.com/enso2016/us_elnino.html>.Acesso em 20 de Jan.2017.

OLIVEIRA, D.A.; ROSA, R. Temperatura de superfície obtida com técnicas de geoprocessamento. In: **ANAIS XVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR**, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013, INPE.

OLIVEIRA, J.B; JACOBINE, P.K.T; CAMARGO, M.N. **Classes Gerais de solos do Brasil: guia auxiliar para seu reconhecimento**. 2 ed. Jaboticabal, FUNEP, 1992.

OLIVEIRA, G.M. et al. Germinação de sementes de espécies arbóreas nativas da caatinga em diferentes temperaturas. **Scientia plena**, v. 10, n. 4 (A),2014.

OLIVEIRA, J.B.; JACOMINE, P.K.T.; CAMARGO, M.N. **Classes gerais de solos do Brasil: guia auxiliar para seu reconhecimento**. FUNEP, 1992. 201 p., 1992.

OLIVEIRA, T.H.; GALVÍNCIO, J.D. Caracterização ambiental da bacia hidrográfica do rio Moxotó-PE usando sensoriamento remoto termal. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 1, n. 2, p. 30-49, 2009.

PAN BRASIL. Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca. Ministério do Meio Ambiente. Brasília – DF. p. 213. 2004.

PASIECZNIK, N.M. et al. **Identifying tropical Prosopis species: a field guide**. Coventry, England: HDRA Publishing, 2004.

PEDROSA, V; SANTOS, J; VIANNA, W. Diagnóstico das disponibilidades hídricas do rio Moxotó. In: **SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS**, Gramado. Porto Alegre: ABRH, 1998.

PEREIRA JÚNIOR, J.S. **Nova delimitação do semiárido brasileiro**. 2007.

PERNAMBUCO (ESTADO). **Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade Ambiental-SEMAS. Plano Estadual de mudanças climáticas**. 2011.

PHILIPPI JR, A; ROMERO, M. A.; BRUNA, G.C. Curso de gestão ambiental. 2014.

PONZONI, F.J.; SHIMABUKURO, Y.E. **Sensoriamento remoto aplicado ao estudo da vegetação**. 1.ed. S. J. dos Campos: Parêntese. v.1, 2007. 135 p.

PONZONI, F.J; SHIMABUKURO, Y.E.; KUPLICH, T.M. **Sensoriamento remoto da vegetação**. Oficina de Textos, 2015.

RÊGO, S.C.A. et al. Análise comparativa dos índices de vegetação NDVI e SAVI no município de São Domingos do Cariri-PB. **Revista Geonorte**, v. 2, n. 4, p. 1217-1229, 2012.

RETALLACK, G.J. Soils of the past: an introduction to paleopedology. London, UK: Harper Collins Academic, 1991.

RIBEIRO, E.P. et al. Parâmetros biofísicos na detecção de mudanças ambientais na bacia hidrográfica do rio Pajeú. **Revista de Geografia (Recife)**, v. 32, n. 1, 2015.

ROSA, R. **Introdução ao sensoriamento remoto**. 4 ed. Uberlândia: Ed. da Universidade Federal de Uberlândia, 2001. 210 p.

SA, Iêdo Bezerra; RICHE, Gilles Robert; FOTIUS, G.A. As paisagens e o processo de degradação do semi-árido nordestino. **Embrapa Semiárido - Capítulo em livro científico (ALICE)**, 2003.

SANTANA, M.O. **Atlas das áreas susceptíveis à desertificação do Brasil**. Brasília: MMA/SRH/UFPB, 2007.

SANTOS, J.P.S; DIODATO, M.A. Análise da invasão de *Prosopis juliflora* (SW). DC na caatinga, município de Fernando Pedroza, Rio Grande do Norte. **AGROPECUÁRIA CIENTÍFICA NO SEMIÁRIDO**, v. 12, n. 1, p. 1-9, 2016.

SENTIS, I. **Soil salinization and land desertification. Soil degradation and desertification in Mediterranean environments**. Geoforma Ediciones. Logroño, Spain, 1996.

SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A.F.M. **Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações**. 2002.

SHIMABUKURO, Y.E; PONZONI, F.J. **Mistura Espectral: Modelo linear e aplicações**. São Paulo: Oficina de textos, 2017.

SHIMABUKURO, Y.E. et al. **Segmentação e classificação da imagem sombra do modelo de mistura para mapear desflorestamento na Amazônia**. INPE, 1997.

SHIMABUKURO, Y.E.; SMITH, J.A. The least-square mixing models to generate fraction images derived from remote sensing multispectral data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 29, n. 1, p. 16- 20, 1991.

SILVA, S.G; GALVÍNCIO, J.D. Análise Comparativa da Variação nos Índices NDVI e SAVI no Sítio PELD-22. Petrolina-PE, na Primeira Década do Século XXI. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 5, n. 6, p. 1446-1456, 2012.

SILVA, F.B.R. et al. **Zoneamento agroecológico do nordeste: diagnóstico do quadro natural e agrossocioeconômico**. Petrolina: EMBRAPA-CPATSA; Recife: EMBRAPA-CNPS. Coordenadoria Regional Nordeste, 1993. 2 v. (Embrapa Solos. Documentos, 80).

SILVA, F.L.M; VASCONCELOS, P.B. A relação entre ritmos climáticos e ritmos sociais e produtivos em um projeto de agricultura irrigada. In: **ANAIS DO XI- ENCONTRO NACIONAL DA ANPEGE**. Disponível em:< www.enanpege.ggt.br/2015>. Acesso em 17 set.2016.

SILVA, H.P. da **Mapeamento das áreas sob risco de desertificação no semiárido de Pernambuco a partir de imagens de satélites**. Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2009. 153f. Tese de Doutorado, Pós-Graduação em Ciências do Solo. Recife, 2009.

SILVA, J.D.G. et al. Distribuição de sais em área degradada do perímetro irrigado do Moxotó, Ibimirim–Pernambuco. In: **II Inovagri international meeting** –fortaleza-Brasil (2014).

SOUSA, C.L. **Avaliação da pressão antrópica sobre a cobertura vegetal nos municípios de Cedro e Solidão (sertão pernambucano) com o uso de imagens TM Landsat e Sistemas de Informações Geográficas** / C. L. Sousa. – São José dos Campos: INPE, 2003.

SOUZA, Bartolomeu Israel de; ARTIGAS, Rafael Cámara; LIMA, Eduardo Rodrigues Viana de. CAATINGA E DESERTIFICAÇÃO. **Mercator** (Fortaleza), Fortaleza, v. 14, n. 1, p. 131-150, Apr. 2015. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1984-22012015000100131&lng=en&nrm=iso>. Access em 20 de Mar. 2018. <http://dx.doi.org/10.4215/RM2015.1401.0009>.

SOUZA, I. A. **Influência da Variabilidade Climática no Avanço e Recuo dos Processos de Desertificação no Estado do Rio Grande do Norte**. Mestrado: Departamento de Ciências Atmosféricas, UFPB, 1997.

SOUZA, ER de; FERNANDES, M.R. Sub-bacias hidrográficas: unidades básicas para o planejamento e a gestão sustentáveis das atividades rurais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 21, n. 207, p. 15-20, 2000.

SOUSA, M.L.M.; NASCIMENTO, F.R. Estudios geoambientales de cuencas hidrográficas en áreas susceptibles a la desertificación en el noreste de Brasil. **Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía**, v. 24, n. 1, p. 13-27, 2015

TASUMI, M. **Progress in operational estimation of regional evapotranspiration using satellite imagery**. Idaho: University of Idaho, 2003. 378p. PhD thesis

TEODORO, V.L.I. et al. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista Uniar**, v. 20, p. 137-156, 2007.

TOMLINSON, C.J. et al. Remote sensing land surface temperature for meteorology and climatology: A review. **Meteorological Applications**, v. 18, n. 3, p. 296-306, 2011.

TUCCI, C. EM. (org.) **Hidrologia: ciência e aplicação**. 1997.

VASCONCELOS, R. et al. Características físicas de solos salino-sódicos do semiárido pernambucano em função de diferentes níveis de gesso. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, v. 17, n. 12, 2013.

VASCONCELOS SOBRINHO, J. **Desertificação no Nordeste do Brasil**. Recife: Ed. Universitária da UFPE: FADURPE, 2002.

VENEZIANI, P.; ANJOS, C.E. dos. **Metodologia de interpretação de dados de sensoriamento remoto e aplicações em geologia**. INPE. São José dos Campos, 1982. 61p.

VIGANÓ, H. A.; BORGES, E. F.; FRANCA-ROCHA, W. J. S. Análise do desempenho dos Índices de Vegetação NDVI e SAVI a partir de imagem Aster. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, v. 15, p. 1828-1834, 2011.

WENG, Q.; LU, D.; SCHUBRING, J. Estimation of land surface temperature–vegetation abundance relationship for urban heat island studies. **Remote sensing of Environment**, v. 89, n. 4, p. 467-483, 2004.

WMO. World Meteorological Organization. **Climate Change and desertification**. 2007. Disponível em :<<http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/agm/publications/documents/wmo>>. Acesso em: 04 jun.2016.

UNITED NATIONS. **Desertification, land degradation and drought**. Disponível em:<<https://sustainabledevelopment.un.org/topics/desertificationlanddegradationanddrought>>. Acesso em: 20 jul. 2016.

USGS - United States Geological Survey . **Shuttle Radar Topography Mission- SRTM com resolução 1-ARC (30m)**. Disponível em <https://Ita.cr.usgs.gov/SRTM>. Acesso em: 20. agos.2016.

USGS - United States Geological Survey. **Using the USGS Landsat 8 Product**. Disponível em: https://landsat.usgs.gov/Landsat8_Using_Product.php. Acesso em: 20. agos.2017.

APÊNDICE A - Programação em legal – cruzamento dos mapas

Programação em Legal- Cruzamento dos mapas

```
{
//Data: 25-07-2017
//Cruzamento de PIs temáticos _fracao_solo_MLME_p/ desmatamento da vegetação do bioma
Caatinga entre 1995, 2006 e 2016
//
//Declaração de variáveis:
Tematico T1995 ("TM_fracao_solo_1995");
Tematico T2006 ("TM_fracao_solo_2006");
Tematico T2016 ("OLI_fracao_solo_2016");
Tematico TMudancas ("Fracao_mudanca");
//Instanciações de variáveis:
T1995 = Recuperacao (Nome = "classi_1995_60_95-T");
T2006 = Recuperacao (Nome = "classi_solo_2006_60_95-T");
T2016 = Recuperacao (Nome = "classi_solo_2016_95-T");
//Operações
TMudancas = Novo (Nome = "Mudancas", ResX=30, ResY=30, Escala=100000);
TMudancas = Atribua (CategoriaFim="Fracao_mudanca")
//Comandos:
{
"Nao_se_analisa": ((T1995.Classe=="Agua_nuvem" && T2006.Classe=="Caatinga_arborea"
&&T2016.Classe=="Caatinga_arborea")
||(T1995.Classe=="Agua_nuvem"&&T2006.Classe=="Caatinga_arbustiva"&&T2016.Classe=="Caati
nga_arborea")
||(T1995.Classe=="Agua_nuvem"&& T2006.Classe=="Solo" &&T2016.Classe=="Caatinga_arborea")
||(T1995.Classe=="Caatinga_arbustiva"&&T2006.Classe=="Agua_nuvem"&&T2016.Classe=="Caati
nga_arborea")
||(T1995.Classe=="Caatinga_arborea"&&T2006.Classe=="Agua_nuvem"&&T2016.Classe=="Caatin
ga_arborea")
||(T1995.Classe=="Solo"&& T2006.Classe=="Agua_nuvem"&&T2016.Classe=="Caatinga_arborea")
||(T1995.Classe=="Agua_nuvem"&&T2006.Classe=="Caatinga_arbustiva"&&T2016.Classe=="Agua
_nuvem")
||(T1995.Classe=="Agua_nuvem"&&T2006.Classe=="Agua_nuvem"&&T2016.Classe=="Agua_nuve
m")
||(T1995.Classe=="Solo"&&T2006.Classe=="Caatinga_arbustiva"&&T2016.Classe=="Agua_nuvem"
)
||(T1995.Classe=="Agua_nuvem"&&T2006.Classe=="Solo"&&T2016.Classe=="Solo")
||(T1995.Classe=="Solo"&&T2006.Classe=="Caatinga_arborea"&&T2016.Classe=="Agua_nuvem")
||(T1995.Classe=="Solo"&&T2006.Classe=="Agua_nuvem"&&T2016.Classe=="Solo")
),
"Sem_mudancas":((T1995.Classe=="Agua_nuvem" &&
T2006.Classe=="Agua_nuvem"&&T2016.Classe=="Agua_nuvem")
||
(T1995.Classe=="Caatinga_arbustiva"&&T2006.Classe=="Caatinga_arbustiva"&&
T2016.Classe=="Caatinga_arbustiva")
||
(T1995.Classe=="Caatinga_arborea"&&T2006.Classe=="Caatinga_arborea"&&T2016.Classe=="Caati
nga_arborea")
),
"Recuperacao":
((T1995.Classe=="Solo"&&T2006.Classe=="Caatinga_arbustiva"&&T2016.Classe=="Caatinga_arbo
rea")
||(T1995.Classe=="Solo"&&T2006.Classe=="Caatinga_arborea"&&T2016.Classe=="Caatinga_arbo
rea")
}
```

```

||(T1995.Classe=="Caatinga_arbustiva"
&&T2006.Classe=="Caatinga_arborea"&&T2016.Classe=="Caatinga_arborea")
||(T1995.Classe=="Solo"
&&T2006.Classe=="Caatinga_arbustiva"&&T2016.Classe=="Caatinga_arbustiva")
||(T1995.Classe=="Caatinga_arbustiva"&&T2006.Classe=="Caatinga_arbustiva"&&T2016.Classe=="
Caatinga_arborea")
||(T1995.Classe=="Caatinga_arborea"&&T2006.Classe=="Caatinga_arbustiva"&&T2016.Classe=="C
aatinga_arborea")
||(T1995.Classe=="Caatinga_arborea"&&T2006.Classe=="Solo"&&T2016.Classe=="Caatinga_arbust
iva")
||(T1995.Classe=="Caatinga_arbustiva"&&T2006.Classe=="Solo"&&T2016.Classe=="Caatinga_arbu
stiva")
||(T1995.Classe=="Caatinga_arbustiva"&&T2006.Classe=="Solo"&&T2016.Classe=="Caatinga_arbo
rea")
||(T1995.Classe=="Caatinga_arborea"&&T2006.Classe=="Solo"&&T2016.Classe=="Caatinga_arbore
a")
||(T1995.Classe=="Solo"&&T2006.Classe=="Solo"&&T2016.Classe=="Caatinga_arborea")
||(T1995.Classe=="Solo"&&T2006.Classe=="Solo"&&T2016.Classe=="Caatinga_arbustiva"
),
"Degradacao":((T1995.Classe=="Caatinga_arbustiva"          &&          T2006.Classe=="Solo"
&&T2016.Classe=="Solo")
||(T1995.Classe=="Caatinga_arborea"                                &&
T2006.Classe=="Caatinga_arbustiva"&&T2016.Classe=="Solo")
||(T1995.Classe=="Caatinga_arborea" && T2006.Classe=="Solo"&&T2016.Classe=="Solo")
||(T1995.Classe=="Caatinga_arborea"&&T2006.Classe=="Caatinga_arborea"&&T2016.Classe=="Sol
o")
||(T1995.Classe=="Caatinga_arborea"&&T2006.Classe=="Caatinga_arborea"&&T2016.Classe=="Ca
atinga_arbustiva")
||(T1995.Classe=="Caatinga_arbustiva"&&T2006.Classe=="Caatinga_arborea"&&T2016.Classe=="C
aatinga_arbustiva")
||(T1995.Classe=="Caatinga_arbustiva"&&T2006.Classe=="Caatinga_arbustiva"&&T2016.Classe=="
Solo")
||(T1995.Classe=="Solo"&&T2006.Classe=="Caatinga_arborea"&&T2016.Classe=="Caatinga_arbust
iva")
),
"Propensao_desertificacao":((T1995.Classe=="Solo"
T2006.Classe=="Solo"&&T2016.Classe=="Solo"))
};
}

```

APÊNDICE B - Algoritmo para cálculo do IVDN/ IVAS

Ano - 1995 Órbita 215

```

{
//Declaração de variáveis:
Imagem B31995 ("TM_1995");
Imagem B41995 ("TM_1995");
Numerico B3reflec ("SAVI_1995");
Numerico B4reflec ("SAVI_1995");
Numerico SAVIreflec ("SAVI_1995");
//Instanciações de variáveis:
B31995 = Recuperar (Nome = "B3_215");
B41995 = Recuperar (Nome = "B4_215");
pi = 3.1415926;
cosz = 0.745215359;
dr = 1.032897033;
lmin3 = -1.17;
lmax3 = 204.30;
lmin4 = -1.51;
lmax4 = 206.20;
e3 = 1554;
e4 = 1036;
ndmax = 255;
//Operações:
B3reflec = Novo (Nome = "1995_215_B3_REFLEC", ResX=30, ResY=30, Escala=100000);
B4reflec = Novo (Nome = "1995_215_B4_REFLEC", ResX=30, ResY=30, Escala=100000);
SAVIreflec = Novo (Nome = "SAVI_1995_215", ResX=30, ResY=30, Escala=100000,
Min=-1, Max=1);
//Conversão de ND para reflectância
B3reflec = Numerico
((((lmax3-lmin3)/ndmax)*B31995)+lmin3)*pi)/(e3*cosz*dr));
B4reflec = Numerico
((((lmax4-lmin4)/ndmax)*B41995)+lmin4)*pi)/(e4*cosz*dr));
//Cálculo final SAVI com as reflectâncias
SAVIreflec = ((1+0.5)*(B4reflec-B3reflec)/(B4reflec+B3reflec+0.5));
//Cálculo final NDVI com as reflectâncias
NDVIreflec = ((B4reflec-B3reflec)/(B4reflec+B3reflec));
}

```

Ano 1995 - Órbita 216

```

{
//Declaração de variáveis:
Imagem B31995 ("TM_1995");
Imagem B41995 ("TM_1995");
Numerico B3reflec ("1995_NDVI");
Numerico B4reflec ("1995_NDVI");

```



```

Numerico NDVIreflec ("1995_NDVI");
//Instanciações de variáveis:
B31995 = Recuperar (Nome = "216_b3");
B41995 = Recuperar (Nome = "216_b4");
pi = 3.1415926;
cosz = 0.758237896;
dr = 1.032891482;
lmin3 = -1.17;
lmax3 = 204.30;
lmin4 = -1.51;
lmax4 = 206.20;
e3 = 1554;
e4 = 1036;
ndmax = 255;
//Operações:
B3reflec = Novo (Nome = "1995_216_B3_REFLEC", ResX=30, ResY=30, Escala=100000);
B4reflec = Novo (Nome = "1995_216_B4_REFLEC", ResX=30, ResY=30, Escala=100000);
NDVIreflec = Novo (Nome = "1995_216_NDVI_REFLEC", ResX=30, ResY=30,
Escala=100000, Min=-1, Max=1);
//Conversão de ND para reflectância
B3reflec = Numerico
((((((lmax3-lmin3)/ndmax)*B31995)+lmin3)*pi)/(e3*cosz*dr));
B4reflec = Numerico
((((((lmax4-lmin4)/ndmax)*B41995)+lmin4)*pi)/(e4*cosz*dr));
//Cálculo final IVDN e IVAScom as reflectâncias
NDVIreflec = ((B4reflec-B3reflec)/(B4reflec+B3reflec));
SAVIreflec = ((1+0.5)*(B4reflec-B3reflec)/(B4reflec+B3reflec+0.5));
}

```

Ano 2006- (órbita 215)

```

{
//Declaração de variáveis:
Imagem B32006 ("2006_registro");
Imagem B42006 ("2006_registro");
Numerico B3reflec ("2006_NDVI");
Numerico B4reflec ("2006_NDVI");
Numerico NDVIreflec ("2006_NDVI");
//Instanciações de variáveis:
B32006 = Recuperar (Nome = "B3_215");
B42006 = Recuperar (Nome = "B4_215");
pi = 3.1415926;
cosz = 0.8684913920;
dr = 1.032895757;
lmin3 = -1.17;
lmax3 = 264;
lmin4 = -1.51;
lmax4 = 221;
e3 = 1554;

```

```

e4 = 1036;
ndmax = 255;
//Operações:
B3reflec = Novo (Nome = "32006_215_B3_REFLEC", ResX=30, ResY=30,
Escala=100000);
B4reflec = Novo (Nome = "32006_215_B4_REFLEC", ResX=30, ResY=30,
Escala=100000);
NDVIreflec = Novo (Nome = "32006_215_NDVI_REFLEC", ResX=30, ResY=30,
Escala=100000, Min=-1, Max=1);
//Conversão de ND para reflectância
B3reflec = Numerico
((((((lmax3-lmin3)/ndmax)*B32006)+lmin3)*pi)/(e3*cosz*dr));
B4reflec = Numerico
((((((lmax4-lmin4)/ndmax)*B42006)+lmin4)*pi)/(e4*cosz*dr));
//Cálculo final NDVI com as reflectâncias
NDVIreflec = ((B4reflec-B3reflec)/(B4reflec+B3reflec));
}

```

Ano 2006 - Cálculo – IVAS/IVDN – 2006 (órbita-216)

```

{
//Declaração de variáveis:
Imagem B32006 ("TM_2006");
Imagem B42006 ("TM_2006");
Numerico B3reflec ("2006_NDVI");
Numerico B4reflec ("2006_NDVI");
Numerico NDVIreflec ("2006_NDVI");
//Instanciações de variáveis:
B32006 = Recuperar (Nome = "216_b3");
B42006 = Recuperar (Nome = "B4_216");
pi = 3.1415926;
cosz = 0.881301802;
dr = 1.032890094;
lmin3 = -1.17;
lmax3 = 264;
lmin4 = -1.51;
lmax4 = 221;
e3 = 1536;
e4 = 1031;
ndmax = 255;
//Operações:
B3reflec = Novo (Nome = "2006_216_B3_REFLEC", ResX=30, ResY=30, Escala=100000);
B4reflec = Novo (Nome = "2006_216_B4_REFLEC", ResX=30, ResY=30, Escala=100000);
NDVIreflec = Novo (Nome = "2006_216_NDVI_REFLEC", ResX=30, ResY=30,
Escala=100000, Min=-1, Max=1);
//Conversão de ND para reflectância
B3reflec = Numerico
((((((lmax3-lmin3)/ndmax)*B32006)+lmin3)*pi)/(e3*cosz*dr));

```

```

B4reflec = Numerico
((((lmax4-lmin4)/ndmax)*B42006)+lmin4)*pi)/(e4*cosz*dr));
//Cálculo final NDVI com as reflectâncias
NDVIreflec = ((B4reflec-B3reflec)/(B4reflec+B3reflec));
//Cálculo final SAVI com as reflectâncias
SAVIreflec = ((1+0.5)*(B4reflec-B3reflec)/(B4reflec+B3reflec+0.5));
}

```

Algoritmo para cálculo do IVDN / IVAS- 2016

```

{
//Programação Legal
// Cálculo da reflectância planetária para correção do ângulo solar e NDVI-
OLI_2016_215_66
//Declaração de variáveis:
Imagem B42016 ("OLI_2016");
Imagem B52016 ("OLI_2016");
Numerico B4reflecA ("2016_NDVI2");
Numerico B5reflecA ("2016_NDVI2");
Numerico NDVIreflecA ("2016_NDVI2");
//Instanciações de variáveis:
B42016 = Recuperar (Nome = "2016_215_b4");
B52016 = Recuperar (Nome = "2016_215_b5");
RMB4 = 0.000020;
RAB4 = -0.10;
RMB5 = 0.000020;
RAB5 = -0.10;
tt = 0.0194404414;
// Operações:
B4reflecA = Novo (Nome = "2016_B4_reflec_215", ResX=30, ResY=30, Escala=100000);
B5reflecA = Novo (Nome = "2016_B5_reflec_215", ResX=30, ResY=30, Escala=100000);
}
NDVIreflecA= Novo (Nome = "2016_NDVI_REFLEC_215", ResX=30, ResY=30,
Escala=100000, Min=-1, Max=1);
//Conversao de ND para reflectância com elevação do sol
B4reflecA = Numerico
(((RMB4*Digital(B42016)+(RAB4))/(tt));
B5reflecA = Numerico
(((RMB5*Digital(B52016)+(RAB5))/(tt));
//Cálculo final do NDVI com reflectância e correção elevação do Sol:
NDVIreflecA= ((B5reflecA-B4reflecA)/(B5reflecA+B4reflecA));
//Cálculo final SAVI com as reflectâncias
SAVIreflec = ((1+0.5)*(B4reflec-B3reflec)/(B4reflec+B3reflec+0.5));
}

```

```

//Declaração de variáveis:
Imagem B42016 ("OLI_2016");
Imagem B52016 ("OLI_2016");
Numerico B4reflecA ("NDVI_2016");
Numerico B5reflecA ("NDVI_2016");
Numerico NDVIreflecA ("grad");
//Instanciações de variáveis:
B42016 = Recuperar (Nome = "2016_B4");
B52016 = Recuperar (Nome = "2016_B5");
RMB4 = 0.00002;
RAB4 = -0.1;
RMB5 = 0.00002;
RAB5 = -0.1;
rinose = 0.897554523;
// Operações:
B4reflecA = Novo (Nome = "2016_B4_REFLEC_A", ResX=30, ResY=30, Escala=100000);
B5reflecA = Novo (Nome = "2016_B5_REFLEC_A", ResX=30, ResY=30, Escala=100000);
NDVIreflecA= Novo (Nome = "2016_NDVI_REFLEC_A", ResX=30, ResY=30,
Escala=100000,
Min=-1, Max=1);
//Conversao de ND para reflectância com elevação do sol
B4reflecA = Numerico
((((RMB4) * B42016)+(RAB4))/(rinose));
B5reflecA = Numerico
((((RMB5) * B52016)+(RAB5))/(rinose));
//Cálculo final do NDVI com reflectância e correção elevação do Sol:
NDVIreflecA=((B5reflecA-B4reflecA)/(B5reflecA+B4reflecA));
//Cálculo final SAVI com as reflectâncias
SAVIreflec = ((1+0.5)*(B4reflec-B3reflec)/(B4reflec+B3reflec+0.5));

```