



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

THAÍS CARVALHO DE ABREU

**APLICAÇÃO DO ÍNDICE DE ARIDEZ E ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR
DIFERENÇA NORMALIZADA PARA ANÁLISE DA SUSCEPTIBILIDADE À
DESERTIFICAÇÃO NO MUNICÍPIO DE IRAUÇUBA-CE**

FORTALEZA

2018

THAÍS CARVALHO DE ABREU

APLICAÇÃO DO ÍNDICE DE ARIDEZ E ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA
NORMALIZADA PARA ANÁLISE DA SUSCEPTIBILIDADE À DESERTIFICAÇÃO NO
MUNICÍPIO DE IRAUÇUBA-CE

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Ambiental do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª Cely Martins Santos de Alencar

FORTALEZA

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- A99a Abreu, Thaís Carvalho de.
Aplicação do Índice de Aridez e Índice de Vegetação por Diferença Normalizada para análise da susceptibilidade à desertificação no município de Irauçuba-CE / Thaís Carvalho de Abreu. – 2018.
80 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Ambiental, Fortaleza, 2018.
Orientação: Profa. Dra. Cely Martins Santos de Alencar.
1. Desertificação. 2. Geoprocessamento. 3. Índice de Aridez. 4. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada. I. Título.

CDD 628

THAÍS CARVALHO DE ABREU

APLICAÇÃO DO ÍNDICE DE ARIDEZ E ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA
NORMALIZADA PARA ANÁLISE DA SUSCEPTIBILIDADE À DESERTIFICAÇÃO NO
MUNICÍPIO DE IRAUÇUBA-CE

Trabalho de Conclusão de Curso referente ao curso de Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Aprovada em: __/__/____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr^a Cely Martins Santos de Alencar (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Francisco Osny Enéas da Silva
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Joaquim Torres Filho
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)

À minha mãe, Regina Cláudia Albano de Abreu, ao meu irmão Filipe Abreu, aos meus avós Fca. Dulcinéa e Milton Ferreira por serem meus pilares.

AGRADECIMENTOS

À minha mãe Regina Cláudia Carvalho de Abreu, por seu esforço para me proporcionar uma educação de qualidade e uma vida digna.

Aos meus avós Milton Ferreira de Abreu e Francisca Dulcinéa Albano de Abreu por seu carinho e cuidados.

Ao meu irmão Filipe Abreu pela inspiração de vida.

Ao meu companheiro João Paulo Lopes pelo incentivo, paciência e suporte emocional nesse período.

À minha orientadora Dr^a Cely Martins pela disponibilidade, paciência com as frequentes dúvidas e orientação.

À minha amiga Vanessa Stefani de Moura, pelos anos de amizade e apoio mútuo.

Aos meus amigos Ruth Maria Maranhão, Larissa Ellen Cruz, Lucas Romão Alves por estarem ao meu lado me apoiando (vai dar certo!) e me fazendo sorrir.

À Carlos Eduardo Macedo pelo auxílio na finalização deste trabalho, muito obrigada.

Aos meus amigos adquiridos ao longo da graduação Ana Gabriela Aguiar Gata, Verlane Maria Lima super meiga, Daniel Moraes pela sua ajuda e risada fácil, Allan Maia, o melhor mentor, um super apoio na minha graduação, obrigada por tudo; Gabriel Garcia com suas caronas e conversas mais divertidas, Petrucio Xenofonte e suas dicas, Helísia Pessoa e sua gentileza, Carol Ninja e seu jeito extrovertido, Mardonio Marques e seu super astral, Clara de Amorim e toda sua elegância, pelos almoços do RU, pelos inúmeros risos, pelas festas na piscina, pelos rodízios, pelos aniversários surpresa, pelos passeios aleatórios, pelas angústias, apoio e conhecimento compartilhados, obrigada.

“[...] O dia desponta mostrando-se ingrato,
Um manto de cinza por cima da serra
E o sol do Nordeste nos mostra o retrato
De um bolo de sangue nascendo da terra.

Porém, quando chove, tudo é riso e festa,
O campo e a floresta prometem fartura,
Escutam-se as notas agudas e graves
Do canto das aves louvando a natura. ”

Patativa do Assaré

RESUMO

O presente projeto de pesquisa tem como objetivo principal a aplicação dos índices de aridez e de vegetação por diferença normalizada para a análise temporal da suscetibilidade à desertificação no município de Irauçuba/CE, por meio da utilização de geoprocessamento para auxiliar na gestão ambiental do objeto de estudo. Caracterizou-se o nível de desertificação em que se encontram os distritos do município de Irauçuba através do Índice de Aridez. Além disso, foi realizada uma análise temporal do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) para avaliar onde ações mitigadoras e preventivas devem ser concentradas, além da proposição de algumas destas ações. Para isto, utilizou-se o *software* Quantum Gis 3.0.1 para a elaboração dos mapas, imagens provenientes do satélite *Landsat 4-5* e *Landsat 8* sensor *Thematic Mapper – TM*, além de informações da pluviometria do município. O processamento de imagens de satélite para o cálculo do NDVI mostrou-se eficiente e preciso para a classificação da situação da cobertura vegetal do município de Irauçuba – CE. Neste estudo o NDVI apresentou-se mais eficiente do que o Índice de Aridez, visto que seus resultados são mais específicos quanto a espacialização, e assim pode-se focar diferentes atividades preventivas e mitigadoras de acordo com as necessidades e características locais, em áreas menores, economizando-se assim recursos por exemplo. O Índice de Aridez apresenta-se vantajoso na análise de dados mais antigos, dada a ausência de imagens de satélite.

Palavras-chave: Desertificação. Geoprocessamento. Índice de Aridez. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada.

ABSTRACT

The present research project has as main objective the application of the aridity and vegetation indexes by normalized difference for the temporal analysis of the susceptibility to desertification in the city of Irauçuba / CE, through the use of geoprocessing to assist in the environmental management of the object of study. The level of desertification in the districts of the municipality of Irauçuba was characterized by the Aridity Index. In addition, a temporal analysis of the normalized difference vegetation index (NDVI) was carried out to evaluate where mitigating and preventive actions should be concentrated, in addition to proposing some of these actions. For this, the software Quantum Gis 3.0.1 was used for the elaboration of the maps, images from the satellite Landsat 4-5 and Landsat 8 sensor Thematic Mapper - TM, besides information of the pluviometria of the municipality. The satellite image processing for NDVI calculation was efficient and accurate for the classification of the vegetation cover situation of the city of Irauçuba - CE. In this study the NDVI was more efficient than the Aridity Index, since its results are more specific regarding the spatialisation, and thus different preventive and mitigating activities can be focused according to the local needs and characteristics, in smaller areas, thus saving resources for example. The Aridity Index is advantageous in the analysis of older data, given the absence of satellite images.

Keywords: Desertification. Geoprocessing. Index of Aridity. Index of Vegetation by Normalized Difference.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ciclo vicioso resultante de relação bicausal entre desertificação e empobrecimento	16
Figura 2 – Mapa de Irauçuba/CE	17
Figura 3 – Mapa Global da Vulnerabilidade à Desertificação	26
Figura 4 – Áreas suscetíveis à desertificação no Brasil	27
Figura 5 – Áreas fortemente degradadas em processo de desertificação nas Áreas Suscetíveis à Desertificação do Brasil	28
Figura 6 – Áreas fortemente degradadas em processo de desertificação no Estado do Ceará	30
Figura 7 – Nova delimitação do semiárido brasileiro	31
Figura 8 – Localização do município de Irauçuba – CE e seus distritos	33
Figura 9 – Mapa de solos de Irauçuba	37
Figura 10 – Unidades Fitoecológicas do Ceará	36
Figura 11 – Unidades geoambientais de Irauçuba	39
Figura 12 – Índice de Aridez por distritos de Irauçuba – CE	59
Figura 13 – Mapa do NDVI de Irauçuba em Abril de 1984	62
Figura 14 – Mapa do NDVI de Irauçuba em Outubro de 1984	63
Figura 15 – Mapa do NDVI de Irauçuba em Abril de 1994	64
Figura 16 – Mapa do NDVI de Irauçuba em Novembro de 1994	65
Figura 17 – Mapa do NDVI de Irauçuba em Março de 2004	66
Figura 18 – Mapa do NDVI de Irauçuba em Outubro de 2004	67
Figura 19 – Mapa do NDVI de Irauçuba em Abril de 2014	68
Figura 20 – Mapa do NDVI de Irauçuba em Setembro de 2014	69
Figura 21 – Mapa do NDVI de Irauçuba em Maio de 2018	70
Figura 22 – Mapa do NDVI de Irauçuba em Outubro de 2018	71

Figura 23 – Terraços - MBH Pesqueiro – CE	71
Figura 24 – Visão Geral dos Cordões de Pedra em Solos de Relevo Ondulado MBH do Rio Cangati, Canindé – CE	72
Figura 25 – Sulcamento com Arado: Tração Motora	73
Figura 26 – Terraços Vegetados Pentecoste – CE	73

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Climograma de Irauçuba	34
Gráfico 2 – Produto Interno Bruto per capita de Irauçuba de 2011-2015	41
Gráfico 3 – Organograma das atividades	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação do clima das regiões terrestres segundo o Índice de Aridez ...	24
Tabela 2 – Quantificação das áreas fortemente degradadas	29
Tabela 3 – População de Irauçuba por situação de domicílio e sexo	40
Tabela 4 – Produto Interno Bruto de Irauçuba em 2015	41
Tabela 5 – BHC Estação Boa Vista do Caxitoré de 2009	53
Tabela 6 – BHC Estação Irauçuba de 2009	54
Tabela 7 – BHC Juá de 2009	54
Tabela 8 – BHC Estação Missi de 2009	55
Tabela 9 – Índice de Aridez por estações em Irauçuba	56
Tabela 10 – Classificação climática dos distritos de Irauçuba com base nas suas estações meteorológicas	56
Tabela 11 – Nível de susceptibilidade à desertificação	56
Tabela 12 – Nível de suscetibilidade à desertificação dos distritos de Irauçuba	57

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ASD	Área Suscetível à Desertificação
CAGECE	Companhia de Água e de Esgoto do Ceará
CGEE	Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
CNUMAD	Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
FUNCEME	Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
IA	Índice Ambiental
IA	Índice de Aridez
ICS	Índice de Capital Social
IQV	Índice de Qualidade de Vida
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPECE	Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará
MMA	Ministério do Meio Ambiente
NDVI	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada
ONU	Organização das Nações Unidas
PAM	Plano de Ação Municipal de Combate à Desertificação de Irauçuba
PIB	Produto Interno Bruto
PEA	População Economicamente Ativa
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
SIG	Sistemas de Informações Geográficas
UNCCD	Convenção das Nações Unidas para o Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos das Secas
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	REFERENCIAL TEÓRICO	11
2.1	A desertificação	11
2.1.1	<i>O conceito de desertificação</i>	11
2.1.2	<i>Indicadores</i>	11
2.1.2.1	<i>Indicadores socioeconômicos</i>	11
2.1.2.2	<i>Indicadores biofísicos e Bioindicadores</i>	11
2.1.3	<i>O índice de aridez no estudo da desertificação</i>	11
2.1.4	<i>Distribuição geográfica das áreas susceptíveis à desertificação</i>	11
2.1.5	<i>A desertificação o semiárido e o clima</i>	11
2.2	A região de Irauçuba	11
2.2.1	<i>Localização</i>	11
2.2.2	<i>Caracterização ambiental</i>	11
2.2.3	<i>Caracterização socioeconômica</i>	11
2.2.4	<i>As características da área de estudo associadas ao processo de desertificação</i>	11
2.3	Geotecnologias como ferramenta de gestão nas análises espaciais	11
2.3.1	<i>Índice de Vegetação Ajustado para o Solo (SAVI)</i>	11
2.3.2	<i>Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)</i>	11
3	MATERIAIS E MÉTODOS	38
3.1	Metodologia para estudo da desertificação	39
3.2	Organograma das atividades desenvolvidas	39
3.3	Procedimentos metodológicos	39
3.3.1	<i>Base climatológica</i>	39
3.3.2	<i>Base cartográfica</i>	39
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	38
4.1	Análise do balanço hídrico climatológico e do índice de aridez	39
4.2	Classificação climática e nível de susceptibilidade à desertificação a partir do índice de aridez	39
4.3	Análise temporal da cobertura vegetal de Irauçuba a partir do NDVI	39
4.4	Propostas mitigadoras diante a desertificação	39

5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	39
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39

1 INTRODUÇÃO

As atividades antrópicas envolvendo o uso dos recursos naturais e ocupação do solo geram impactos nas regiões secas, provocando efeitos como a perda de vegetação, diminuição da água disponível e degradação do solo. Esses processos se intensificaram, levando estas regiões à classificação de áreas degradadas, especialmente devido ao fenômeno da desertificação, resultante de causas antrópicas e naturais (BRASIL, 2018).

Durante a Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento (CNUMAD) definiu-se desertificação da seguinte forma: “degradação das terras em regiões áridas, semiáridas e subúmidas secas, desencadeada por fatores diversos, tais como variações climáticas e ação antrópica”.

Dentre as causas dessa degradação, em geral acentuadas pela ação antrópica, estão: uso inadequado da terra, desmatamento, queimadas, mineração, poluição, extrativismo vegetal e animal e ocorrência de secas.

Como consequências, podem ser citados: aumento da temperatura, diminuição do nível da umidade do ar e da produção de alimentos, aumentando a fome e a pobreza, perda da biodiversidade, perturbações no ciclo hidrológico, redução das áreas cultivadas, dentre outras.

Oliveira (2017) aponta segundo o relatório de *Brundtland* uma relação viciosa entre degradação e prosperidade econômica, ao afirmar que:

A pobreza é uma das principais causas e um dos principais efeitos dos problemas ambientais no mundo. Portanto, é inútil tentar abordar esses problemas sem uma perspectiva mais ampla, que englobe os fatores subjacentes à pobreza mundial e à desigualdade internacional (CMMAD, 1991, p. 4).

Esta relação encontra-se detalhada na Figura 1 a seguir:

Figura 1 – Ciclo vicioso resultante da hipótese de relação entre desertificação e empobrecimento



Fonte: Ceará (2010).

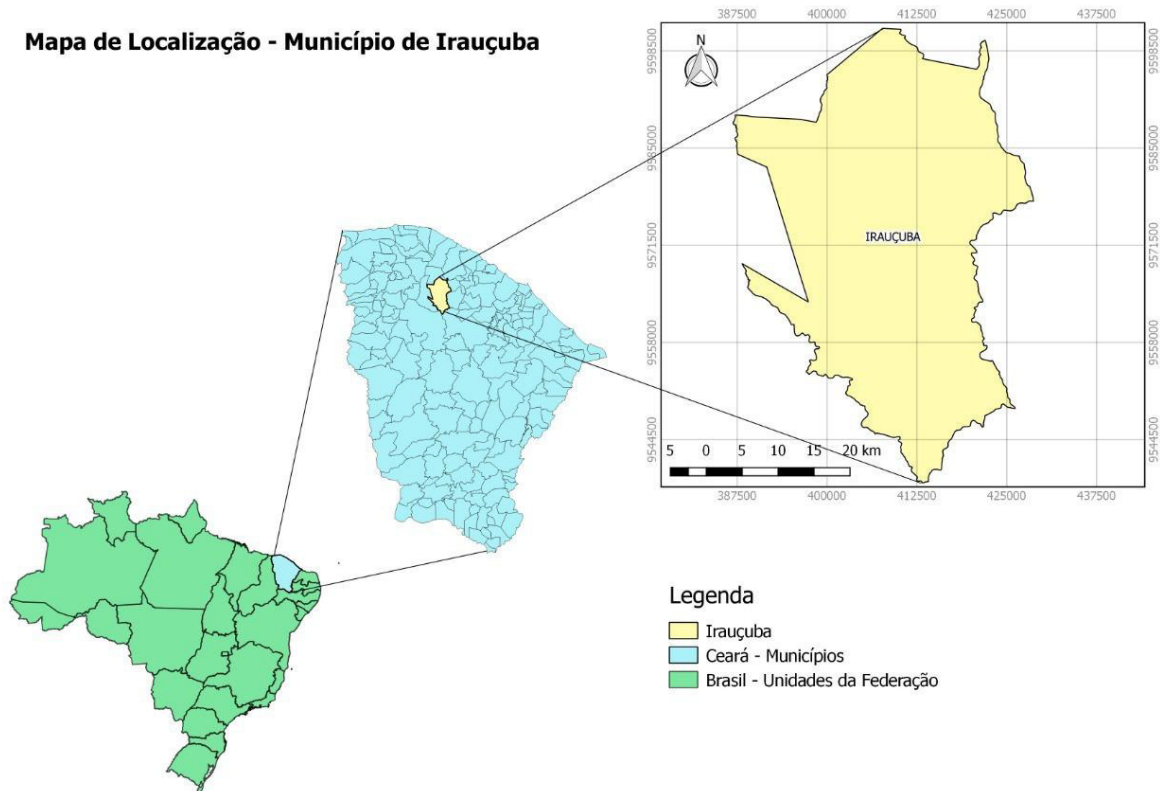
Dessa forma, destaca-se a importância do estudo sobre a desertificação e sua expansão com o objetivo de reduzir e se possível conter este processo, visando a diminuição dos impactos ambientais e socioeconômicos.

A escolha do município de Irauçuba (Figura 2) para um estudo de desertificação encontra justificativa nos fatos:

- A área de estudo está localizada em um dos núcleos de desertificação do Estado do Ceará (Inhamuns, Irauçuba e Médio Jaguaribe). As características ambientais da área de estudo tornam favorável o processo de desertificação, como por exemplo, baixas precipitações anuais e concentradas em alguns meses do ano, vegetação rala e de pequeno porte característica da caatinga do semiárido, elevado índice de evaporação devido à intensa insolação (INSTITUTO CACTOS, 2009);
- A localização a sotavento da serra de Uruburetama, em “sombra de chuva” produzida pelo efeito orográfico desta serra, interceptando os ventos úmidos oceânicos, o que deixa a região mais seca (OLIVEIRA, 2015);

- A maior parte do seu posicionamento na depressão sertaneja, uma compartimentação geomorfológica que favorece a prática agropastoril e pecuária extensiva, que intensificam a degradação do solo (CAETANO, 2014).

Figura 2 – Mapa de localização de Irauçuba/CE



Fonte: Elaborada pela autora.

Diante dos aspectos supramencionados, esse trabalho foi desenvolvido com os objetivos:

- **Geral:**

O presente projeto de pesquisa tem como objetivo principal a aplicação dos índices de aridez e de vegetação por diferença normalizada para a análise temporal da suscetibilidade à desertificação no município de Irauçuba/CE, por meio da utilização de geotecnologias como subsídio para auxiliar na gestão ambiental do objeto de estudo.

- **Específicos:**

- Caracterizar o nível de desertificação em que se encontra o município de Irauçuba através do índice de aridez;
- Realizar uma análise temporal do índice de vegetação por diferença normalizada do município para avaliar onde ações mitigadoras e preventivas devem ser concentradas;
- Propor ações mitigadoras e preventivas que possam aumentar a capacidade de resiliência e minimizar a degradação ambiental.

Nesse contexto, a pesquisa encontra-se estruturada na seguinte forma: inicialmente tratou-se do conceito de desertificação e as áreas susceptíveis a esse fenômeno no mundo e concentrando-se no Nordeste brasileiro, na região de Irauçuba – Ceará. Em seguida, caracterizou-se a área de estudo, com foco nos atributos que tenham relevância frente a problemática da desertificação. Adiante se apresenta como as geotecnologias podem ser utilizadas no estudo da desertificação.

A metodologia utilizada por esse estudo está baseada no uso de geotecnologias como ferramenta para a gestão ambiental. O primeiro passo realizado corresponde ao levantamento bibliográfico acerca do fenômeno de desertificação, e neste processo selecionou-se como objeto de estudo a Cidade de Irauçuba por suas características relevantes perante o processo de desertificação. O segundo passo consistiu no levantamento de dados climatológicos da base de estudo para a elaboração de mapas para a análise do fenômeno da desertificação em Irauçuba. O momento seguinte envolveu a elaboração da base cartográfica da pesquisa, através do software Quantum Gis 3.0.1. A etapa posterior consistiu na análise do processo de desertificação em Irauçuba a partir dos dados obtidos. A finalização da pesquisa consistiu na proposição de medidas mitigadoras e conservacionistas para serem aplicadas no local.

Assim, no primeiro capítulo, foi realizada a introdução do conceito de desertificação, as características do município de Irauçuba relacionadas a este fenômeno como justificativa para a realização deste estudo, finalizando com os objetivos geral e específicos esperados.

O segundo capítulo conta com o referencial teórico desta pesquisa, que está dividido em três itens. O primeiro item chamado A desertificação conta com as subdivisões com seu conceito, definição de índice de aridez, distribuição geográfica das áreas suscetíveis à

desertificação, sua relação com o semiárido e o clima, além das geotecnologias como ferramenta de gestão nas análises espaciais.

O segundo item é chamado de “A região de Irauçuba”, e seus subitens apresentam sua localização, caracterização ambiental e socioeconômica, e com as características da área de estudo associadas ao processo de desertificação.

Seu terceiro item aborda as geotecnologias como ferramenta de gestão nas análises espaciais.

O terceiro capítulo dispõe sobre a metodologia utilizada no presente estudo, classificada como um estudo de caso, com o objetivo de ser uma pesquisa aplicada e exploratória, explicando os passos realizados para se alcançar as metas do estudo.

O quarto capítulo apresenta as discussões sobre os resultados obtidos, com a proposição de medidas mitigadoras e conservacionistas para retenção da degradação do solo e da água, como pode ser visto mais adiante.

O quinto capítulo possui as considerações finais relativas a este trabalho.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A desertificação

2.1.1 O conceito de desertificação

A definição acerca do que seria a desertificação é controversa, existem diversas abordagens de autores e organizações que adotam critérios humano/climáticos com ênfases diferentes como pode ser visto em Vasconcelos Sobrinho (1978), Ab'Saber (1977), e na Agenda 21 (1992) desenvolvida pela Organização das Nações Unidas (ONU).

Existem diferentes causas associadas à desertificação, especialmente as de natureza antrópica e mudanças climáticas, podendo atuar simultaneamente. Estas causas estão associadas às características do ambiente e do uso e ocupação do solo (PINHEIRO, 2011).

Na visão de mundo de grande parte das pessoas, há um estereótipo de associação do deserto à presença de dunas, areia e vazio. Dessa forma, muitos não diferenciam as evidências que caracterizam a desertificação.

De acordo com Vasconcelos Sobrinho (1978), a desertificação é um processo de fragilidade dos ecossistemas das terras secas devido à elevada pressão antrópica, que leva a perda de produtividade e a capacidade de se restabelecerem.

Conforme Ab'Saber (1977), desertificação são processos parciais, pontuais, que são suficientes para ocasionarem degradações irreversíveis da paisagem e dos tecidos ecológicos naturais.

A ONU criou a Convenção das Nações Unidas para o Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos das Secas - UNCCD (sigla em Inglês), que definiu desertificação como a degradação das terras localizadas nas regiões áridas, semiáridas e subúmidas secas, decorrente de fatores variados, dentre eles as flutuações climáticas e as atividades humanas (AGENDA 21, 1992). E se compreende degradação da terra como: degradação dos solos e recursos hídricos, da vegetação e biodiversidade e redução da qualidade de vida da população afetada (SCHENKEL, 2003).

2.1.2 Indicadores

Sousa (2014, p. 27) comenta que a variável do indicador interpreta um fenômeno, quantificando-o e explicando-o, preferencialmente uma variável quantitativa, mas que pode

ser qualitativa na ausência de dados quantitativos, e dentre suas funções estão: “avaliar condições ou tendências; comparar regiões ou situações; fomentar informações preventivas e antecipar condições e tendências futuras”.

Shenkel (2003) afirma que um indicador deve ter significado próprio, ser claro, simples. Além disso, deve ser quantificável e sensível a alterações com o tempo, mostrando tendências, e os dados devem estar disponíveis e de fácil obtenção.

Sousa (2014) enfatiza que os indicadores devem apresentar as seguintes características: fáceis de manejar e medir, ser interdisciplinar, ter alto grau de agregação com outros indicadores, além de dados locais e temporais para avaliar a variação do fenômeno no tempo.

2.1.2.1 Indicadores socioeconômicos

Sousa *et al.* (2005) realizaram pesquisas sobre a sustentabilidade da agricultura familiar em assentamentos de reforma agrária no município de Mossoró – RN, aplicando questionário aos agricultores. Através de determinados índices relacionados a educação, saúde, habitação, aspectos sanitários, dentre outros, encontrou-se: Índice de Qualidade de Vida, Índice de Capital Social e Índice Ambiental, encontrando o Índice de Sustentabilidade da Agricultura em cada comunidade.

O Índice de Qualidade de Vida expressa as necessidades primárias de sobrevivência cumpridas, a partir de índices resultantes da agregação de indicadores como: educação, saúde, habitação, aspectos sanitários, lazer e posse de bens duráveis. O índice varia de 0 a 1, no qual o intervalo de 0 a 0,5 representa um baixo nível de qualidade de vida; de 0,5 até 0,8, médio nível de qualidade de vida, e acima de 0,8 significa elevado nível de qualidade de vida (SOUSA *et al.*, 2005).

Sousa *et al.* (2005, p. 101) utilizaram o Índice de Capital Social como medição da:

[...] intensidade com que os produtores assentados se inter-relacionam através de associações, cooperativas, sindicatos etc., utilizando essas “redes” de conexões, como instrumentos capazes de gerar benefícios às suas comunidades.

O Índice de Capital Social tem valor situado entre 0 e 1, sendo que de 0 a 0,5 informa um baixo nível de capital social; $0,5 < \text{ICS} < 0,8$ um índice de capital social médio, e $\text{ICS} > 0,8$ significa elevado nível de capital social (SOUSA *et al.*, 2005).

Conforme Sousa (2014, p. 30), o Índice Ambiental expressa: “[...] o nível de pressão que uma população pode exercer sobre o meio ambiente em função de seu nível de consciência preservacionista e as agressões efetivamente realizadas que contribuem para a degradação ambiental e aumento da pobreza”.

O Índice Ambiental varia de zero a um, e classifica-se como baixo nível de preservação ambiental se $0 < \text{Índice Ambiental} < 0,50$, médio nível de preservação ambiental: se $0,50 < \text{Índice Ambiental} < 0,80$; elevado nível de preservação ambiental: se $0,80 < \text{Índice Ambiental} < 1,00$;

Para Schenkel (2003), dentre os indicadores sociais que podem ser usados na compreensão dos efeitos da desertificação sobre a população, está a Estrutura de idades, expressando o percentual por faixas entre crianças, homens, mulheres e idosos. Este indicador pode representar as transformações da área quando a produtividade cai, pois a população economicamente ativa (PEA) tende a migrar. Pode-se assim ajudar na formulação de políticas para estimular a permanência da PEA.

Além deste indicador, Schenkel (2003) propõe o uso da Taxa de Mortalidade Infantil, que pode ser usada como parâmetro da qualidade de vida da população, acompanhando-se assim a situação social nas áreas susceptíveis a desertificação.

Schenkel (2003) propõe ainda o uso do Nível Educacional como indicador, medido pelo número de anos com educação formal, que pode ser relacionado à aceitação de novas informações, como novas tecnologias.

Como indicador econômico, Schenkel (2003) sugere a utilização da Renda Per Capita, que pode medir o acesso a bens e serviços, ou seja, o nível de vida. Este indicador tem como limitação não demonstrar a concentração de renda existente.

2.1.2.2 Indicadores biofísicos e Bioindicadores

O Índice de Erosão é definido por Schenkel (2003, p. 74) como aquele que “[...] identifica do processo de desagregação e transporte de sedimentos da água ou dos ventos. Permite identificar locais com maiores índices de desagregação”, e sua relevância se explica pois permite a identificação das áreas mais erodidas, para formulação de medidas de contenção e prevenção.

A Redução da disponibilidade hídrica conforme Schenkel (2003) indica a degradação de recursos hídricos de superfície e subterrâneos, e pode ajudar a diagnosticar sua evolução.

Oliveira (2011) em um diagnóstico geoambiental da Ilha de Santiago de Cabo Verde, selecionou como indicadores biofísicos a geologia, geomorfologia, cobertura vegetal (estratificação), cobertura vegetal (percentual de ocupação), solos (espessura e erosão).

Já a pesquisa de Martins *et al.* (2010) envolveu a variabilidade de atributos químicos e microbianos de solos: químicas - pH, bases trocáveis, acidez potencial, C orgânico do solo, estoque de C, P disponível e capacidade de troca de cátions; microbianas - C da biomassa microbiana, respiração basal, quocientes microbiano e metabólico indicadores de processos de desertificação na região semiárida do Estado de Pernambuco, chegando a sugestão de que os melhores indicadores do nível de degradação do solo foram o C da biomassa microbiana do solo, a acidez potencial e a saturação por bases.

Sousa (2014, p. 32) propõe que um desequilíbrio ambiental atua diretamente na biodiversidade local, justificando o uso da fauna do solo como indicador da qualidade ambiental, pois a diversidade pode revelar o nível de qualidade ambiental, porque estes dependem diretamente da umidade do solo e da matéria orgânica. Além disso, afirma que os insetos são importantes indicadores devidos “sua diversidade, função de degradação da matéria orgânica, sensibilidade em relação à qualidade ambiental e facilidade de amostragem”.

Schenkel (2003) define a cobertura vegetal como o percentual de uma área com cobertura vegetal nativa, cuja importância se deve à proteção do solo contra os efeitos erosivos. Desta forma, sua eliminação ou diminuição inicia ou acelera a desertificação. Este indicador pode representar o grau de ocupação humana, e ajudar na formulação de políticas de conservação de recursos naturais e áreas de preservação permanente.

Ainda em relação a vegetação, Schenkel (2003) denomina a Estratificação da Vegetação como o número de estratos existentes numa área. Esse indicador tem relevância dado o fato que a desertificação uniformiza a vegetação em termos de estratos e número de espécies.

Com relação à Composição Específica, Schenkel (2003) define-a como espécies nativas existentes. Sua importância se dá pela relação com o antropismo e métodos inadequados de manejo, contribuindo para que se conheçam as espécies ameaçadas.

Schenkel (2003) afirma que Espécies Indicadoras são aquelas associadas ao fenômeno de degradação de um ecossistema. Este indicador pode ser medido pelo número de espécies e ajudar na identificação das áreas em degradação e sua prevenção.

2.1.3 O índice de aridez no estudo da desertificação

Em conformidade com Schenkel (2003), a definição de aridez surgiu da metodologia desenvolvida por Thornthwaite (1941), e utilizada pela Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO) para a elaboração do Mapa Mundial de distribuição das regiões áridas.

De acordo com esta definição, estas regiões são determinadas pelo Índice de Aridez (IA), que é calculado pela razão entre a precipitação média anual e a evapotranspiração potencial total anual (P/ETP), e apresenta cinco classes, que são apresentadas na Tabela 1 :

Tabela 1 – Classificação do clima das regiões terrestres segundo o Índice de Aridez

Tipos de clima	Índice de Aridez
Hiper-árido	< 0,05
Árido	0,05-0,20
Semi-árido	0,21 – 0,50
Sub-úmido e seco	0,51 – 0,65
Sub-úmido e úmido	>0,65

Fonte: Schenkel (2003).

Assim, as áreas consideradas suscetíveis a este fenômeno são aquelas com IA entre 0,05 e 0,65, e quanto mais seco, maior é a suscetibilidade á desertificação.

Além do critério climático, também devem ser considerados outros fatores para áreas de risco, como densidade demográfica, formas de manejo, integração aos mercados, índices tecnológicos, dentre outros (SCHENKEL, 2003). Com a consideração de ambos estes fatores, torna-se possível a elaboração de medidas mitigadoras, com foco na prevenção.

As regiões áridas possuem grande potencial de produção, que é prejudicado pelo fenômeno da desertificação, que impacta na vida das populações diminuindo sua qualidade de vida e gera grandes perdas econômicas, além do alto custo de recuperação destas terras (SCHENKEL, 2003).

O Nordeste brasileiro é uma das áreas mundiais que possui alta tendência ao processo de desertificação devido a diferentes fatores, como o uso da vegetação nativa como lenha e carvão, a concentração fundiária, a ocorrência de secas frequentes, práticas como queimadas e uso de agrotóxicos e máquinas pesadas (LEMOS, 2000).

Por meio da análise de indicadores de desertificação no Nordeste do Brasil, Vasconcelos Sobrinho (1971) designou como núcleos de desertificação os municípios: Cabrobró/PE, Gilbués/PI, Irauçuba/CE e Seridó/RN.

Pesquisas mais recentes realizadas no Brasil apontaram núcleos de desertificação os locais: Cabrobró/PE, Cariris Velhos/PB, Irauçuba/CE, Gilbués/PI, Seridó/RN e PB e Sertão do São Francisco (BA) (PEREZ-MARIN *et al.*, 2012).

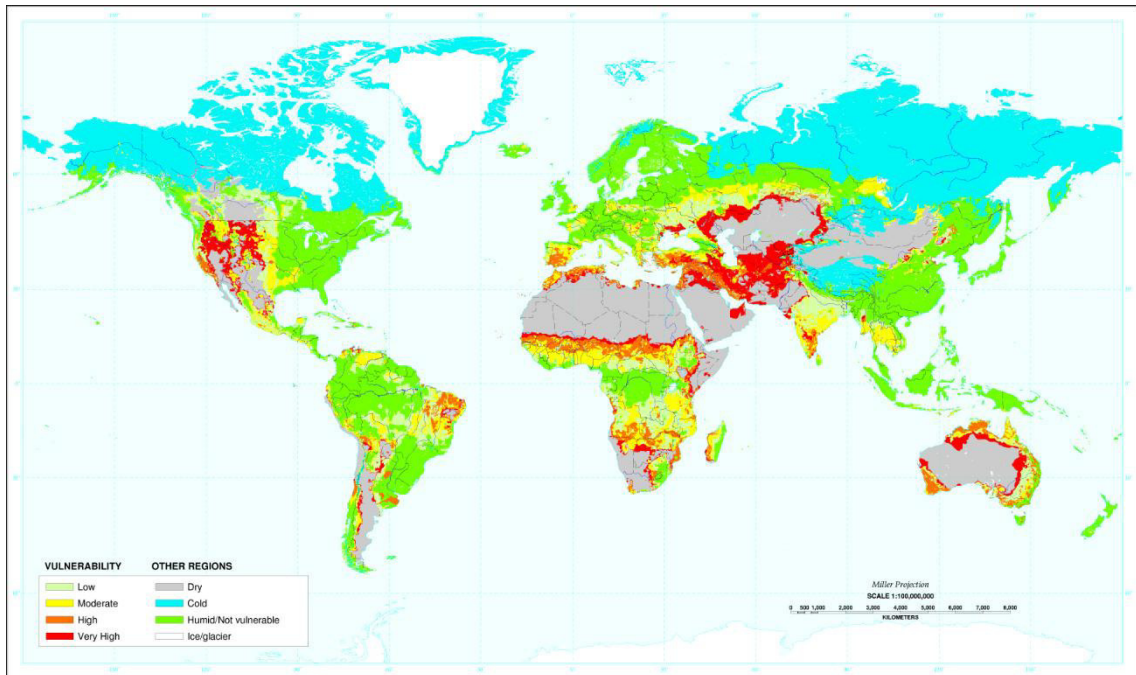
Percebe-se assim que o processo de desertificação está expandindo ao longo do tempo, sobretudo na região deste estudo, e que a análise deste fenômeno é justificada pelos impactos socioeconômicos, como a diminuição da produtividade agropecuária, destruição da fauna e da flora, redução dos recursos hídricos, êxodo rural, aumento das doenças devido à falta de água potável e subnutrição, dentre outros.

A identificação do processo tardiamente é de difícil intervenção, devido aos altos custos envolvidos ou mesmo impossibilidade de realização de processos de recuperação de áreas altamente degradadas. Dessa forma, são necessários estudos sobre este processo, suas causas e elaboração de alternativas viáveis de contenção.

2.1.4 Distribuição geográfica das áreas susceptíveis à desertificação

O IA serviu como base para a concepção do Atlas Mundial da Desertificação, publicado pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente - PNUMA, que serve como parâmetro em todo o mundo (Figura 3).

Figura 3 – Mapa Global da Vulnerabilidade à Desertificação

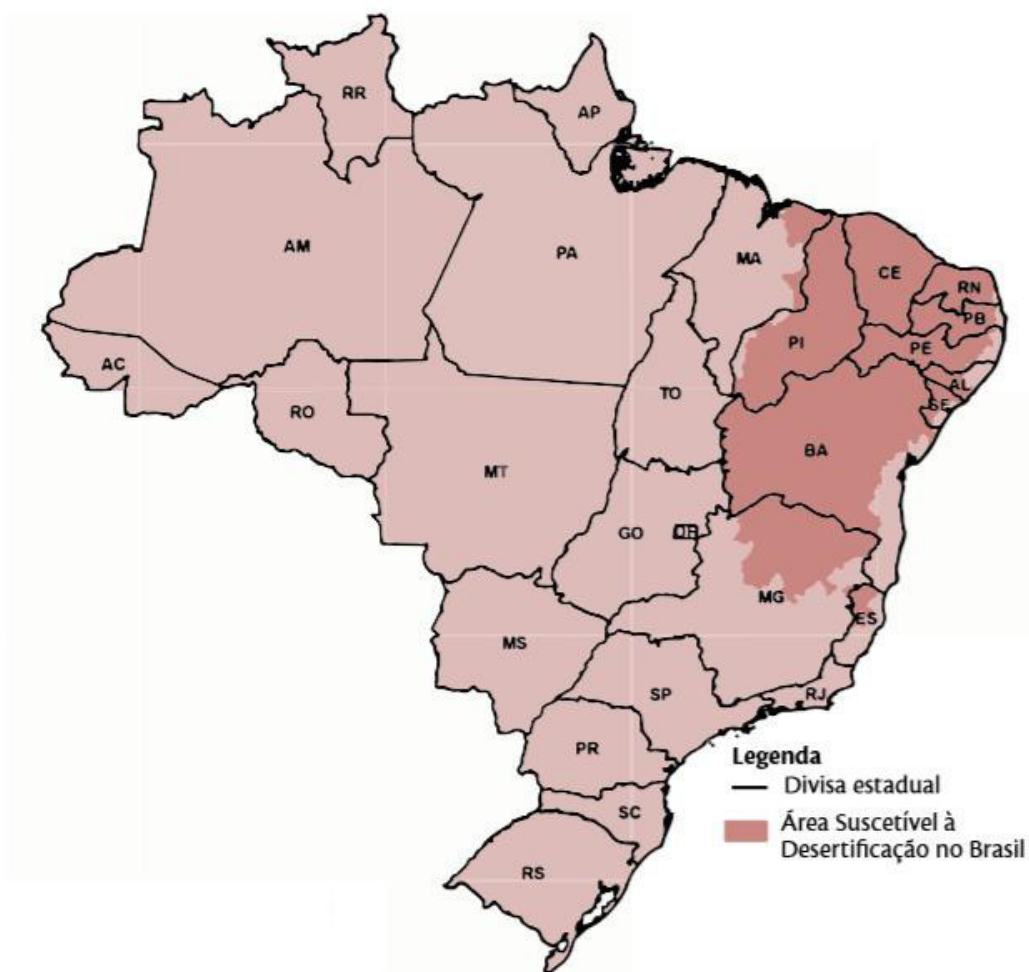


Fonte: Dourado (2017).

Com foco no Brasil, a maior parte da área que se encontra enquadradas como suscetíveis à desertificação são as regiões semiárida e subúmida seca do Nordeste brasileiro, como mostra a Figura 4.

A intensa exploração dos recursos naturais e o uso inadequado das terras, sem considerar suas potencialidades e limitações, são os principais fatores que estão conduzindo à degradação ambiental na Área Suscetível à Desertificação do Brasil. À essa realidade somam-se os impactos da variabilidade e da mudança climática.

Figura 4 – Áreas suscetíveis à desertificação no Brasil



Fonte: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (2016).

Segundo Schenkel (2003), a formação geológica básica da região de área suscetível à desertificação é composta por:

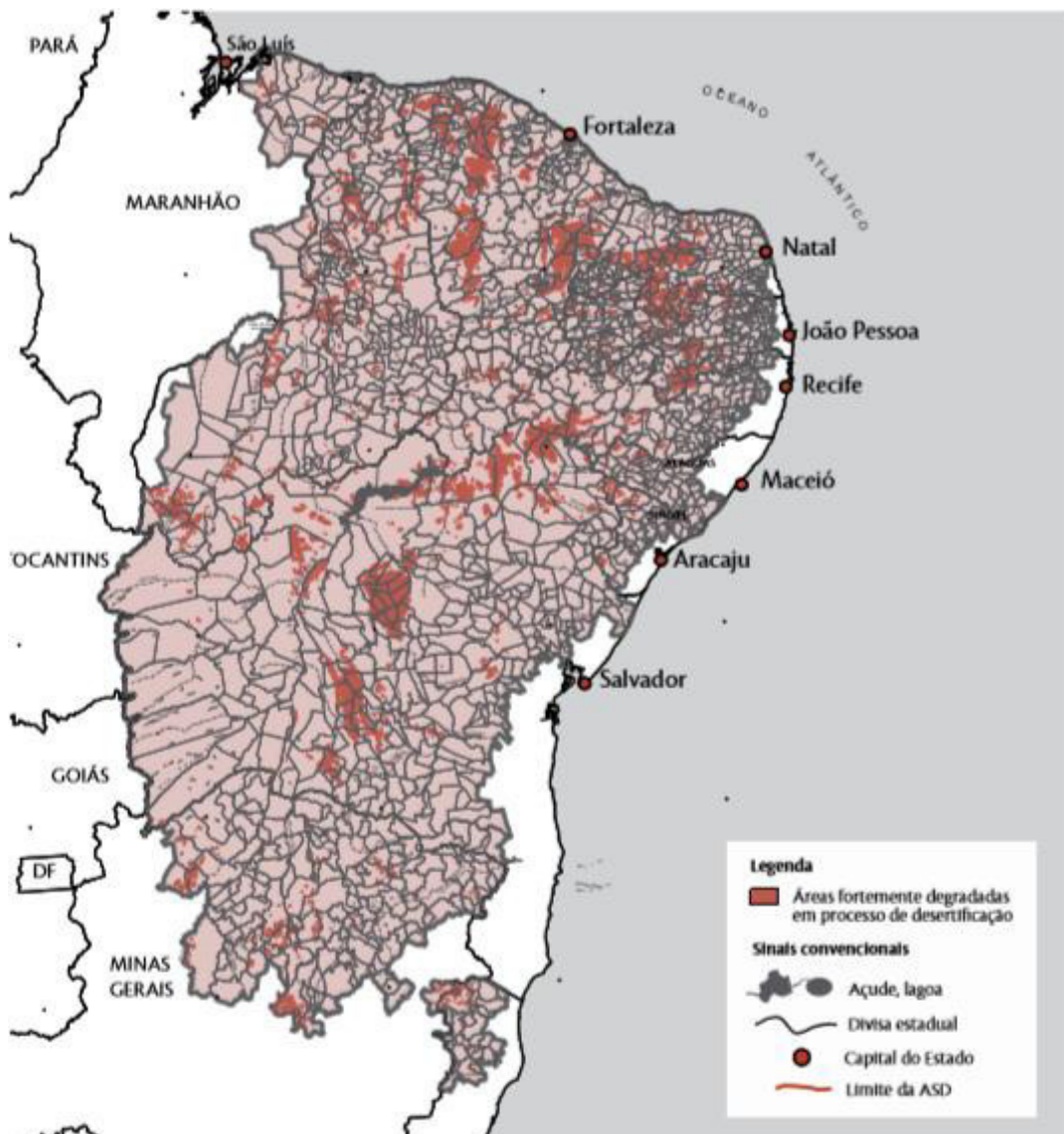
- Bacia sedimentar, com solos profundos, bem drenados, com capacidade boa de retenção de água e topografia plana, cobrindo cerca de 890000 km² nos estados do Maranhão e parte do Piauí e Bahia;
- Terrenos cristalinos, com solos rasos e pedregosos, raros lençóis de água com pouco volume e águas superficiais e subterrâneas muito mineralizadas, com área de 720000 km² nos demais estados.

Além disso, o regime de chuvas concentrado num período de três a quatro meses por ano, com forte irregularidade ao longo dos anos e a existência de solos cristalinos

provocam estiagens dos rios rapidamente e cheias violentas. As temperaturas médias são altas (média de 23°C a 27°C), com insolação anual que chega a até 2800h. Estas características conjuntamente provocam altas taxas de evapotranspiração, com um déficit hídrico em quase toda a região, com exceção na Zona da Mata e parte oriental do Maranhão.

A Figura 5 adiante mostra mais detalhadamente como estas áreas fortemente degradadas em processo de desertificação identificadas estão concentradas na região Nordeste, estendendo-se até o norte de Minas Gerais, representando assim uma grande área do território brasileiro.

Figura 5 – Áreas fortemente degradadas em processo de desertificação nas Áreas Suscetíveis à Desertificação do Brasil



Fonte: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (2016).

A quantificação dessas áreas suscetíveis a desertificação e de áreas fortemente degradadas inseridas nestas pode ser analisada na Tabela 2 a seguir:

Tabela 2 – Quantificação das áreas fortemente degradadas

Estado	Área Suscetível à Desertificação (ASD) por estado (km ²) ^(*)	Proporção de ASD em relação à área total do estado (%)	Áreas fortemente degradadas na ASD (Km ²) ^(**)	Proporção de áreas fortemente degradadas em relação à ASD (%)
Alagoas	17.670,4	63,62	425,16	2,41
Bahia	491.741,4	87,07	26.751,59	5,44
Ceará	148.886,31	100,00	17.042,16	11,45
Espírito Santo	16.724,3	36,28	216,59	1,30
Maranhão	40.809,6	12,29	360,05	0,88
Minas Gerais	178.850,93	30,49	2.741,61	1,53
Paraíba	53.421,9	94,60	4.339,09	8,12
Pernambuco	89.571,7	91,26	3.286,42	3,67
Piauí	238.901,5	94,94	7.592,90	3,18
Rio Grande do Norte	51.977,2	98,42	6.689,14	12,87
Sergipe	16.211,4	73,96	834,75	5,15
Resultado	1.344.766,64	61,37	70.279,46	5,23

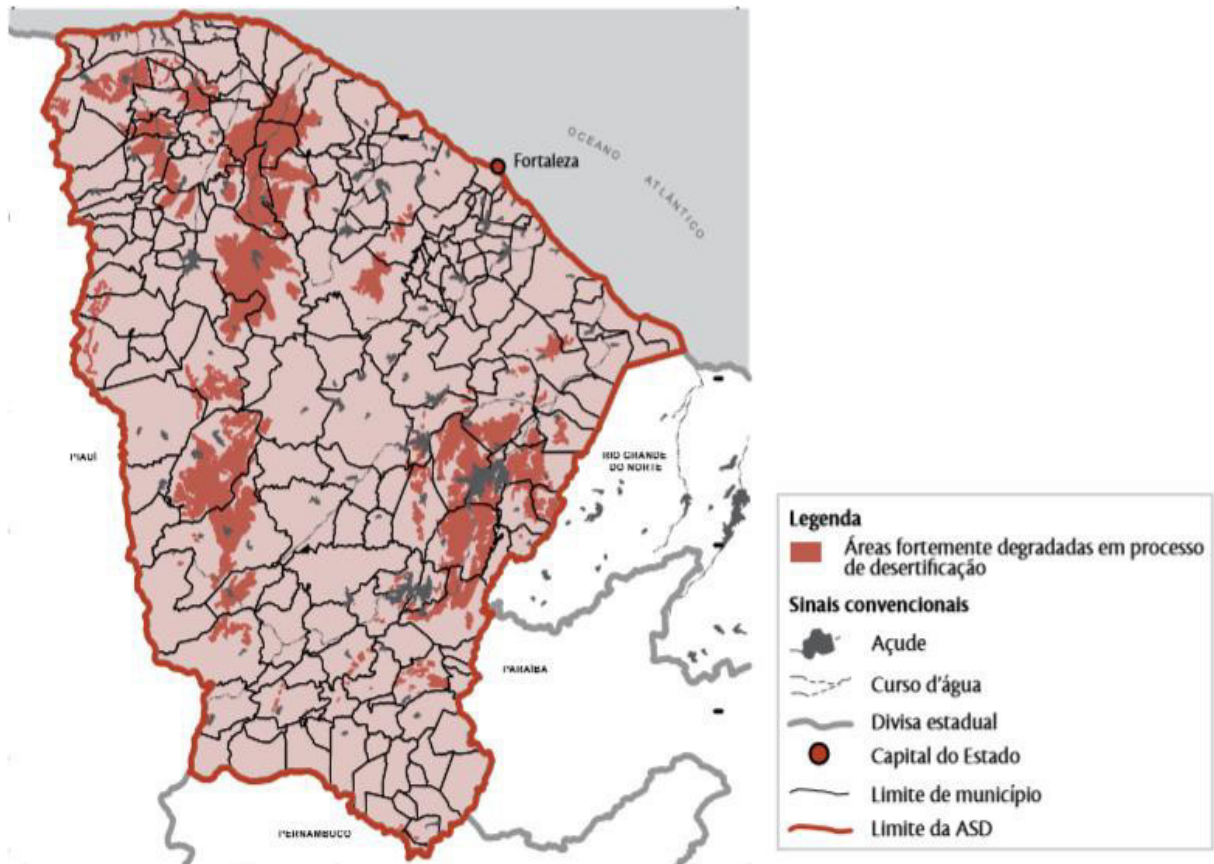
Fonte: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (2016).

Analisando a Tabela 2, observa-se que o estado do Ceará é o que possui maior proporção de Área Suscetível à Desertificação (ASD) em relação à área total do estado, com 100% de seu território suscetível, enquanto o estado do Maranhão possui a menor proporção, com cerca de 12,29% de ASD. Porém o estado da Bahia é o que possui a maior área em ASD (491741,4 km²) e Sergipe conta com a menor área, com 16211,4 km². Somando-se todas as áreas suscetíveis à desertificação, temos como resultado 1344766,64 km², aproximadamente 15% do território nacional.

O MMA classificou o estado do Ceará, localizado na região Nordeste do Brasil, com o maior número de municípios inseridos em ASD com 100% dos seus municípios inseridos (BRASIL, 2004).

Segundo o CGEE (2016), no estado do Ceará existem três regiões com alto comprometimento da preservação dos seus recursos naturais, sendo estas: Inhamuns/Sertões de Crateús; o município de Irauçuba e regiões circunvizinhas; e o Médio Jaguaribe. Além disso, o referido órgão afirma que 17.042,16 km², equivalentes a 11,45% de sua ASD, estão associados a processos de degradação suscetíveis à desertificação (Figura 6).

Figura 6 – Áreas fortemente degradadas em processo de desertificação no Estado do Ceará



Fonte: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (2016).

2.1.5 A desertificação e o semiárido

Lima (2015, p. 18) comenta que:

No ano de 2004, criou-se o Grupo de Trabalho Interministerial, diretamente ligado ao Ministério da Integração Nacional, para redefinição do semiárido brasileiro, tendo em vista ser considerada área semiárida, definida pela (SUDENE), em 1989, quando o critério pluviométrico foi adotado como principal caracterizador da área nesse momento. Até 2004, área com média pluviométrica anual, igual ou inferior a 800 mm, seria tida pertencente ao semiárido brasileiro.

O produto final do estudo do GT foi a nova delimitação do semiárido, em 2005. [...] constata-se insuficiência do índice pluviométrico como critério exclusivo de seleção dos municípios inclusos na região.

Assim, a nova delimitação do Semiárido nordestino utilizou como critérios:

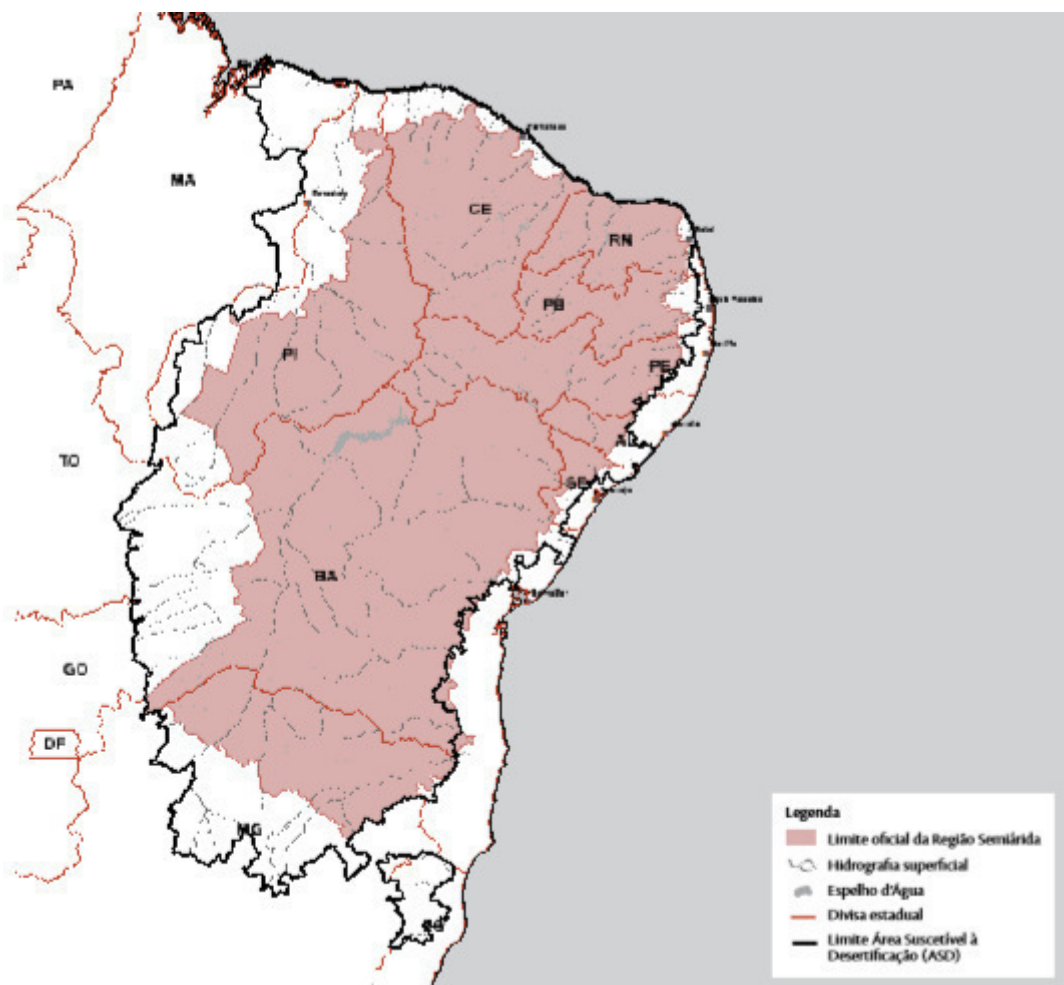
- a) Precipitação pluviométrica média anual inferior a 800 mm (isoieta de 800 mm);

- b) Índice de Aridez de até 0,5 calculado pelo índice que relaciona as precipitações e a evapotranspiração potencial, no período entre 1961 e 1990;
- c) Risco de seca maior do que 60%, tomando-se por base o período entre 1970 e 1990.

Atualmente o Ministério da Integração utiliza esses três critérios, porém as datas dos dados analisados foram modificadas, sendo assim, o período de análise passou a ser de 1981 a 2010 (BRASIL, 2017).

Dessa forma, o Semiárido nordestino passou a abranger 982. 563,30 km², com cerca de 22 milhões de habitantes. Como resultado da aplicação desses critérios, a área oficialmente classificada como semiárida aumentou de 892.309 km² para 982.563,30 km², cuja delimitação pode ser observada na Figura 7 (CGEE, 2016).

Figura 7 – Nova delimitação do semiárido brasileiro



Fonte: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (2016).

Ao analisar-se a fronteira referente ao limite da área suscetível à Desertificação (Figura 7) e ao novo semiárido brasileiro, nota-se uma grande sobreposição de área. Isso se deve a fatores antrópicos e naturais, que levam este território a ser favorável ao processo de desertificação.

Entre estas características, destacam-se as temperaturas altas bastante regulares, com baixa amplitude térmica, as altas taxas de evaporação e de evapotranspiração, com valores em torno de 2.000 mm (CGEE, 2016). Além disso, são relevantes a irregularidade pluviométrica e ocorrência de estiagens, com precipitações médias anuais entre 350-800 mm, que varia ao longo dos anos em uma mesma localidade e cuja pluviometria se concentra em poucos meses do ano. Ademais, a presença de estruturas geológicas cristalinas e solos rasos influenciam criticamente o potencial hidrogeológico da região (LIMA, 2015).

Além disso, existem outras vulnerabilidades históricas como a exploração do solo predominante do nordeste brasileiro que concentrou-se na pecuária e na agricultura de subsistência e com a retirada da vegetação para produção de carvão, o que facilita o processo de desertificação.

Conforme Schenkel (2003), a pecuária é extensiva, na qual o gado consome o pasto de uma vegetação rasteira, expondo o solo, além de gerar sua compactação. Durante a seca, o gado consome fruto e vagens de espécies arbustivas. A agricultura itinerante devido ao esgotamento rápido dos solos agrava essa situação, pois há uma superexploração dos recursos naturais como compensação, e a região Nordeste possui alta densidade populacional, o que é outro fator de pressão sobre estes recursos.

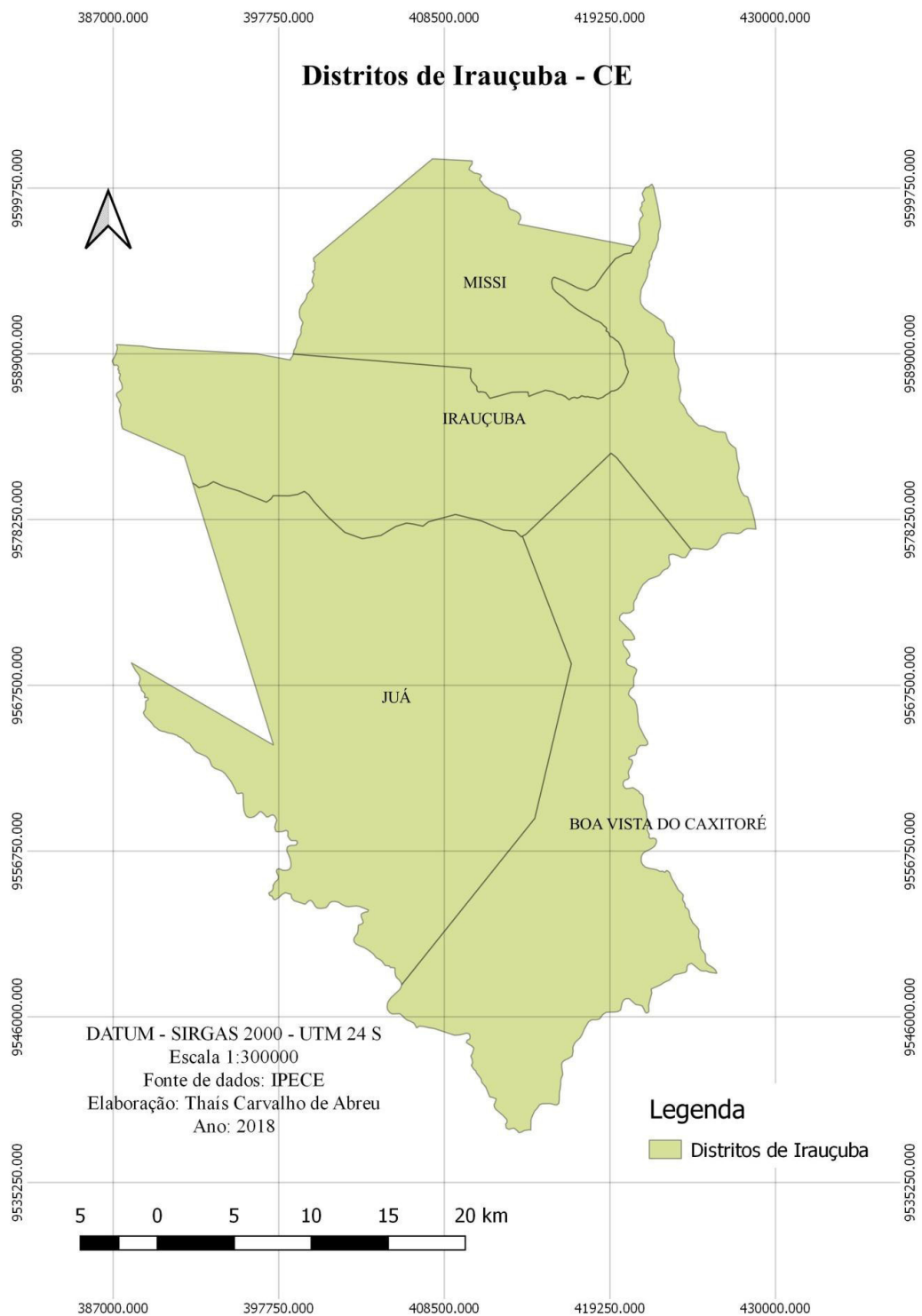
2.2 A região de Irauçuba

2.2.1 Localização

A área de estudo, o município de Irauçuba, citado como um dos núcleos de desertificação no semiárido brasileiro está localizado na Região Nordeste do Brasil, no estado do Ceará, a 157 km de Fortaleza, com latitude de 3° 44' 46'' e longitude de 39° 47' 00'' e área de 1.461,3 km, tendo como fronteiras os municípios ao norte: Itapajé, Itapipoca e Miraíma; ao sul: Sobral e Canindé; a leste: Tejuçuoca e Itapajé e a oeste o município de Sobral (IPECE,2017).

O IBGE cita que em divisão territorial datada de 31-12-1968, o município é constituído de quatro distritos: Irauçuba, Boa Vista do Caxitoré, Juá e Missi, observados na Figura 8 adiante.

Figura 8 – Município de Irauçuba - CE e seus distritos



Fonte: Elaborada pela autora.

2.2.2 Caracterização ambiental

Segundo a Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME) e Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE), o município de Irauçuba – CE apresenta as seguintes características ambientais:

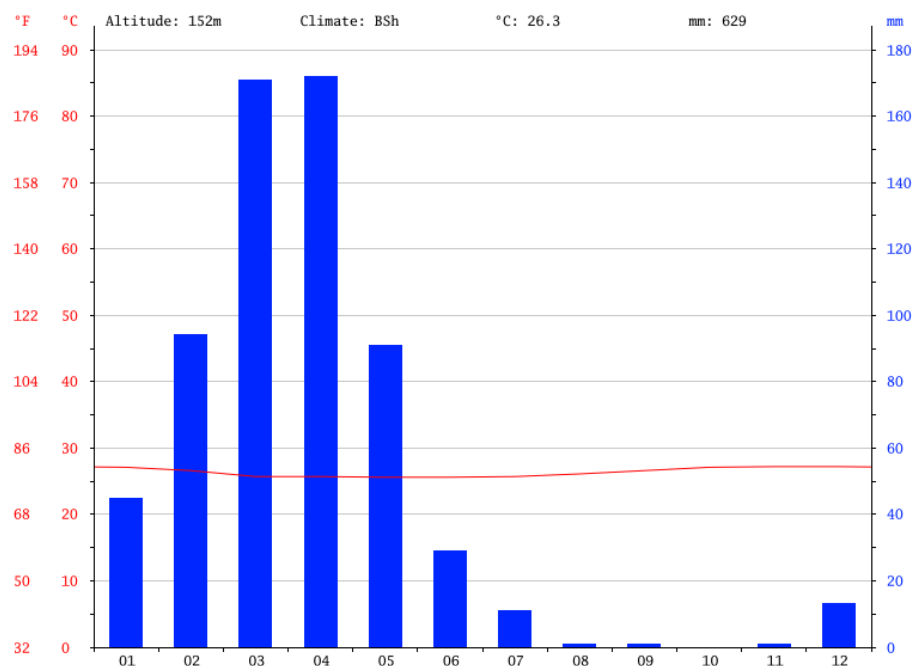
a) Hidroclimática

A cidade de Irauçuba está localizada a sotavento do Maciço de Uruburetama, região também conhecida como zona de sombra de Uruburetama, dificultando a entrada de sistemas atmosféricos favoráveis.

O clima de Irauçuba pode ser caracterizado por duas estações distintas: uma seca (verão) de longa duração, compreendendo os meses de junho a dezembro, e outra chuvosa, predominando no período de janeiro a maio (INSTITUTO CACTOS, 2009).

O período chuvoso está concentrado entre fevereiro e maio, com pluviosidade aproximada de 539,5 mm. Seu clima é classificado como Tropical Quente Semiárido, com uma temperatura média alta, variando entre 26° a 28° C, o que pode ser observado no Gráfico 1 a seguir.

Gráfico 1 – Climograma de Irauçuba



Fonte: DATA, 201?

A umidade relativa do ar no período de chuva está por volta de valores superiores a 80% e no período de estio, de 50%, segundo o Instituto Cactos (2009).

O Instituto Cactos (2009) cita que:

A irregularidade das chuvas contribui para favorecer o escoamento de superfície, que junto às condições geológicas, predominantemente cristalinas, favorecem o escoamento rápido das águas pluviais, inviabilizando o acúmulo de água subterrâneas em quantidade razoáveis. A ausência de barragens de porte representativo faz com que a pequena açudagem assumam um papel relevante. Destacam-se dentre essas os Açudes São Gabriel, do Mocó, do Cairú, Jerimum, dentre outros.

A velocidades do vento mais forte na época seca em conjunto com estas características causam a evaporação da água e aumentam a evapotranspiração.

b) Fauna

Oliveira (2017) discorre que a fauna da região está fortemente degradada, ao contrário de relatos históricos de alta diversidade, resultante da caça predatória e alterações no meio ambiente com a ação antrópica.

c) Solo e cobertura vegetal

Segundo Ceará (2017), assim como em grande parte do semiárido brasileiro, a vegetação predominante em Irauçuba é do tipo caatinga arbustiva aberta, com a presença de arbustos e árvores de pequeno porte sobre um extrato herbáceo, como pode ser observado, por exemplo no mapa de Unidades Fitoecológicas do estado do Ceará (Figura 10).

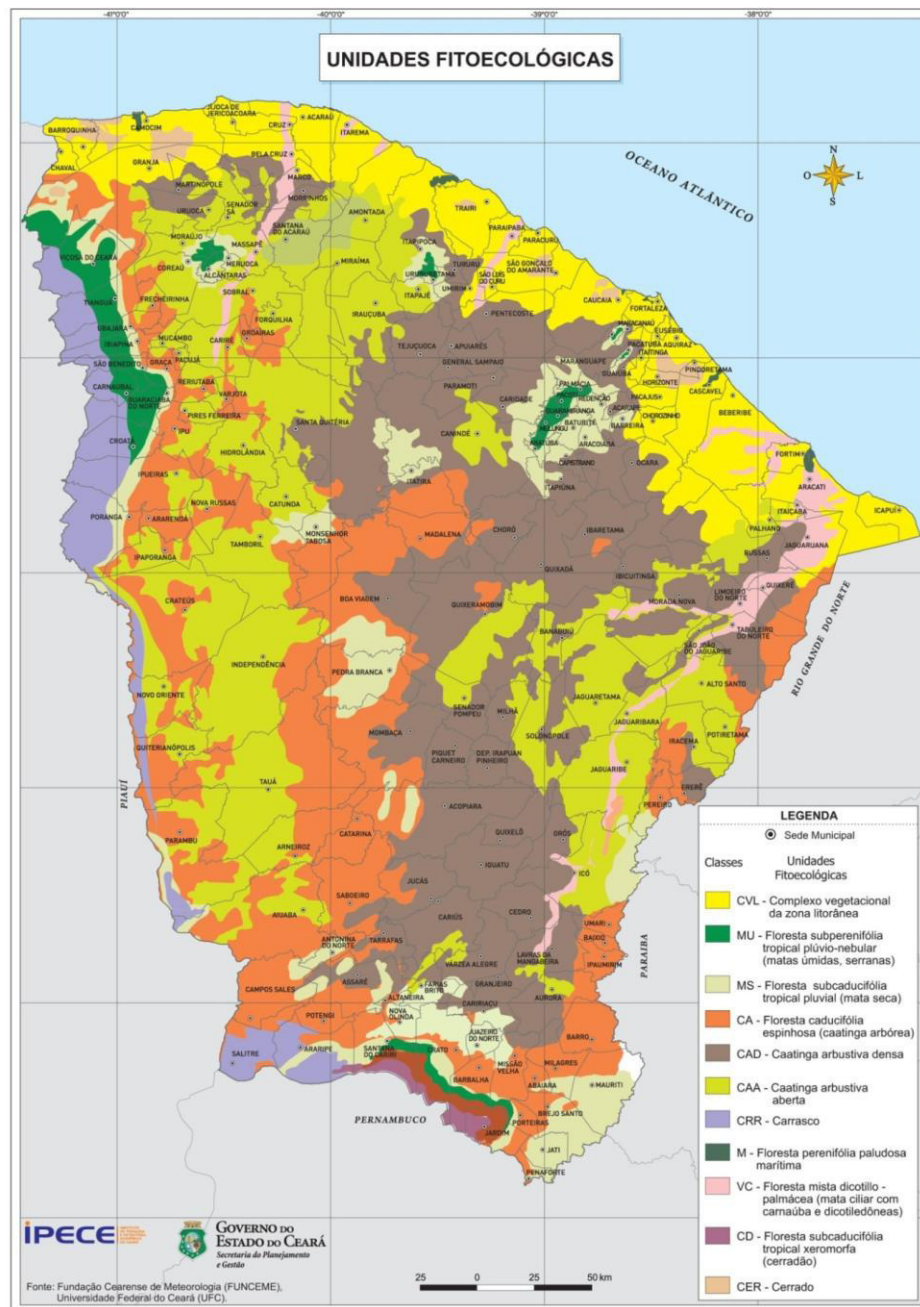
Conforme o Instituto Cactos (2009), dentre as espécies dominantes no município de Irauçuba podem ser encontradas:

[...] *Myracrodruon urundeuva* (aroeira), *Shinopsis brasiliensis* (baraúna), *Auxemma oncocalyx* (pau-branco), *Commiphora leptophloeos* (imburana), *Mimosa tenuiflora* (jurema preta), *Zizyphus joazeiro* (juazeiro), *Anadenanthera macrocarpa* (angico), *Aspidosperma pirifolium* (aroeiro), *Cróton sonderianus* (marmeleiro), *Cnidoculus urens* (cansação), dentre outras.

O Instituto Cactos (2009) cita que entre as características intrínsecas a esta vegetação, estão a adaptação da maior parte das espécies com a perda das folhas na época seca, o que expõe ainda mais o solo ao sol e ao vento, e consequentemente à desertificação.

O gado impacta fortemente na variedade da cobertura vegetal, pois sua pastagem tem como consequências a compactação e a retirada da proteção do solo, o que o torna mais vulnerável à degradação e compromete sua fertilidade (OLIVEIRA, 2017).

Figura 10 – Unidades Fitoecológicas do Ceará



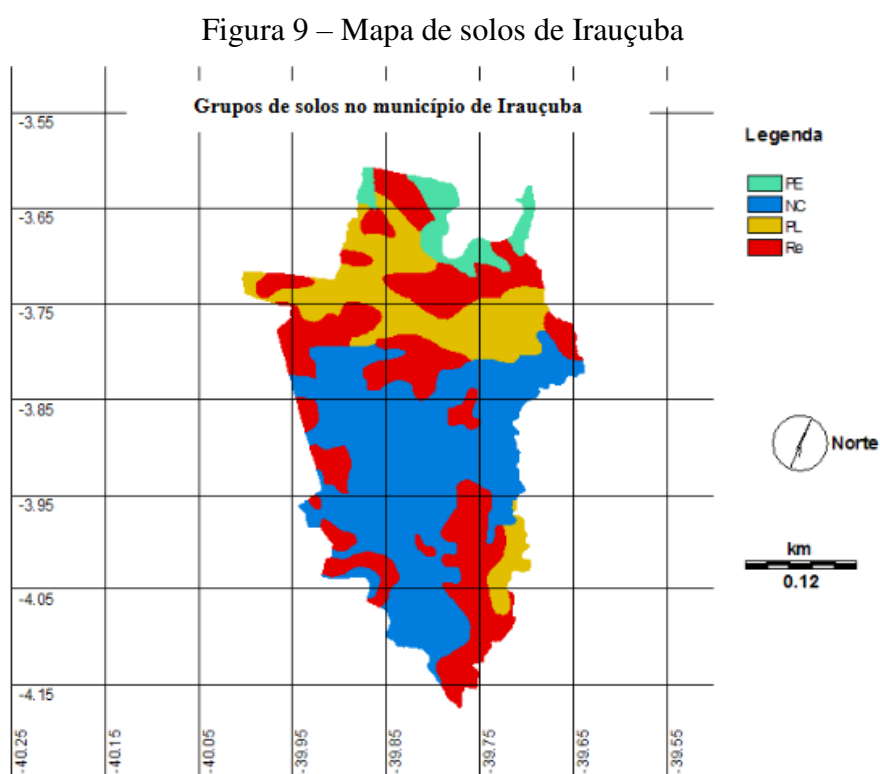
Fonte: Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (2007).

Os solos do município são geralmente rasos e pobres em nutrientes, um atributo que prevalece na região semiárida. Além do mais, possuem características físico-químicas e morfológicas que facilitam a erosão, como a composição de predominância arenosa ou pedregosa. De acordo com Alencar (2012), apenas os solos aluvionais escapam dessa característica.

Segundo Ceará (2017), dentre seus tipos de solos, podem ser encontrados predominantemente o Bruno não Cálcico, Solos Litólicos, Planossolo Solódico, Podzólico Vermelho-Amarelo.

De acordo com Oliveira (2017), em Irauçuba se destacam como tipos de solos: luvisolos (43,2%), planossolos (18,7%) e litólicos (33,2%), cobrindo 95,1 % de sua área.

Conforme Saraiva (2013), em Irauçuba existem quatro grandes grupos de solo, sendo estes: Podzólico vermelho amarelo equivalente eutrófico (PE), Bruno não cálcico (NC), Planossolo (PL) e Solos litólicos (Re), como podem ser vistos na Figura 9.



Fonte: Saraiva (2013).

d) Relevo

Conforme o Instituto Cactos (2009), o local é composto por três unidades geoambientais: a planície fluvial com aproximadamente 16 km², os maciços residuais com

cerca de 238 km² de área e a depressão sertaneja com cerca de 1.165 km² do total do território do município. Estas unidades geoambientais podem ser observadas na Figura 11 adiante.

Ainda segundo o Instituto Cactos (2009), a planície fluvial é uma:

Área plana de acumulação fluvial sujeita à inundação períodica que bordeja as calhas dos riachos; com solos aluviais profundos, imperfeitamente drenados, associados   planossolos medianamente profundos e com problemas de saliniza o; revestida por mata ciliar, onde se pratica atividades agroextrativas.

Já os maciços residuais são colocados como:

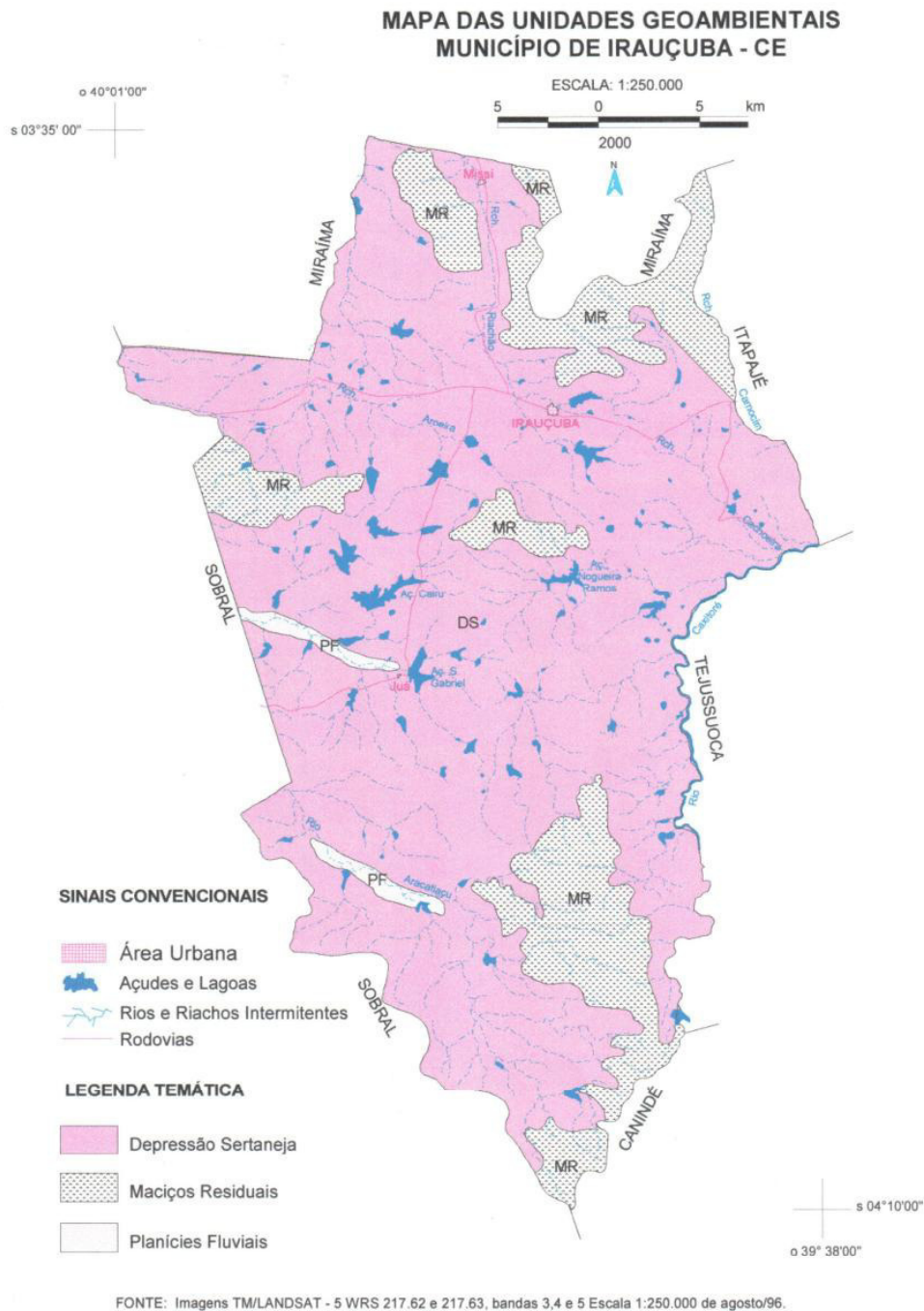
 reas serranas dispersas na depressão sertaneja, derivados do trabalho de erosão diferencial em setores de rochas muito resistentes, ocasionando a elabora o de relevos rochosos dissecados, com altitudes entre 400 – 600m; rede fluvial muito densa intermitente e baixo potencial de águas subterrâneas; com solos podzólicos vermelho-amarelo de fertilidade natural média e solos litólicos (rasos) e afloramentos rochosos; revestidos de caatinga arbórea e arbustiva com forte limita o ao uso agrícola em razão do relevo fortemente acidentado (INSTITUTO CACTOS, 2009).

Por fim, sobre a unidade geoambiental da depressão sertaneja   dito que   a:

Superfície de aplainamento em rochas do embasamento cristalino, com altitudes entre 150 a 200m; clima semi- rido quente, com precipita es médias anuais entre 600-800 mm, com chuvas entre fevereiro a maio; rede fluvial densa com fluxo hídrico intermitente sazonal e baixo potencial de águas subterrâneas; solos brunos não cálcicos de fertilidade natural média a alta; moderadamente profundos; planossolos e solos litólicos de baixa fertilidade com afloramentos rochosos e ch os pedregosos, rasos e susceptíveis   erosão; caatinga arbustiva (INSTITUTO CACTOS 2009).

Conforme Oliveira (2017), nos planossolos seu relevo varia de plano a suave-ondulado, argissolos e luvisolos de suave-ondulado a ondulado e li ticos em relevo forte-ondulado.

Figura 11 – Unidades geoambientais de Irauçuba



Fonte: Instituto Cactus (2009).

2.2.3 Caracterização socioeconômica

Segundo o IBGE (2018), o município de Irauçuba contava em 2015 com o Produto Interno Bruto (PIB) per capita de R\$ 6.309,99; Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDH) de 0,605 e percentual da população com rendimento nominal mensal per capita de até ½ salário de 56,8% da população em 2010. Esta diferença entre o PIB per capita e o da população com rendimento até ½ salário, mostram a grande disparidade de renda na população de Irauçuba, que se repete em território brasileiro.

A pobreza está relacionada com o processo de desertificação, como mostra a Figura 1, pois gera maior desmatamento e extrativismo vegetal e animal, com práticas produtivas que degradam o meio ambiente, ou seja, um mau uso dos recursos naturais, que tem como uma das consequências a desertificação, que gera a perda da capacidade produtiva dos recursos naturais, redução da área produtiva e da renda agrícola, queda na oferta de alimentos, o que aumenta seu preço, e este conjunto de fatores agrava o empobrecimento, gerando assim um ciclo vicioso.

Enfatiza-se que a pobreza não deixa alternativa aos pequenos agricultores que não seja aproveitar a terra ao máximo para satisfazer necessidades imediatas de subsistência, mesmo que isso prejudique seu sustento com o tempo, e são eles os mais vulneráveis às consequências da desertificação (SCHENKEL, 2003).

Além disso, a área de estudo contava no último censo do IBGE em 2010 com uma população de 22324 pessoas e densidade demográfica de 15,8 hab/km², com estimativa de crescimento para 24003 pessoas em 2018, como visto na Tabela 3. A densidade demográfica de Irauçuba é bem menor que a do estado do Ceará, que possui 56,76 hab/km², já o seu IDH é semelhante ao mesmo que possui 0,682 como valor do índice.

Tabela 3 – População de Irauçuba por situação de domicílio e sexo

População residente de Irauçuba em 2010 por situação do domicílio e sexo				
Total	Urbana	Rural	Homens	Mulheres
22324	14343	7981	11347	10977

Fonte: Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (2017)

Conforme Ceará (2017), a população é predominantemente urbana, representando 64,25 % do total. Em 2010, 8.008 habitantes faziam parte da população extremamente pobre,

ou seja, apresentando rendimento domiciliar per capita mensal menor que R\$ 70,00, com 44,58% sendo da população rural do município.

De acordo com o IBGE e o IPECE, em 2015 o PIB do município de Irauçuba se distribuiu em: setor agropecuário 10,15%, setor industrial 10,65 % e o setor de serviços a 79,20%, o que pode ser observado na Tabela 4 adiante. A cidade apresentou um crescimento do PIB ao longo dos anos, o que pode ser observado no Gráfico 2.

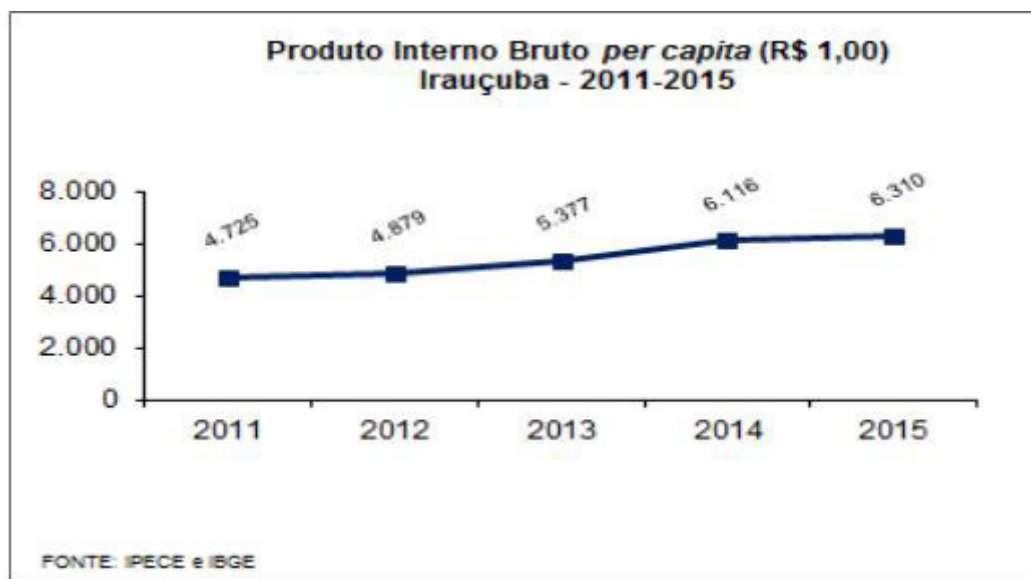
Tabela 4 – Produto Interno Bruto de Irauçuba em 2015

Discriminação	Município	Estado
PIB (R\$ mil)	148.556	130.620.788
PIB <i>per capita</i> (R\$ 1,00)	6.310	14.669
Valor Adicionado Básico		
Agropecuária	10,15	4,49
Indústria	10,65	19,56
Serviços	79,20	75,95

Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)/Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará.

Fonte: Ceará (2017).

Gráfico 2 – Produto Interno Bruto per capita de Irauçuba de 2011-2015



Fonte: IPECE, 2017.

Ceará (2017) revela que o município possui poucos especialistas na área de saúde, com uma proporção de 0,76 médicos para cada 1.000 habitantes, em 2016. A taxa de mortalidade infantil é de 6,58 para cada 1.000 nascidos vivos, sendo menor que a taxa do estado (12,69).

Com relação ao saneamento básico, segundo a Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE), a taxa de cobertura d'água urbana é de 99,41%, porém quanto ao

esgotamento sanitário ligado à rede geral ou pluvial a cobertura é de apenas 34,1% (IBGE). O percentual de municípios com energia elétrica é alto, sendo de 95,89%, já a coleta de lixo apresenta percentual de 65,99%.

Os indicadores de saneamento e saúde mostram como a população está exposta a doenças epidemiológicas e parasitárias, especialmente devido a contaminação das águas, pelo saneamento básico precário.

2.2.4 As características da área de estudo associadas ao processo de desertificação

Nolêto (2005) cita como características que podem ser destacadas como fatores intervenientes do processo de desertificação de Irauçuba: o regime pluviométrico de baixas precipitações, altas taxas anuais de temperatura e rebanhos significativos e áreas rurais exploráveis para atividades agropastoris.

Ceará (2014, p 137) associa este fenômeno a: “baixos índices pluviométricos, altas taxas de evapotranspiração e práticas inadequadas de uso do solo, como retirada da cobertura vegetal e pecuária extensiva”.

Alencar (2012, p. 722) cita que:

[...] segundo a folha de Irauçuba (2010), a localidade sempre esteve inserida no contexto de pecuária intensiva com predomínio de bovinos e caprinos, o relevo relativamente plano era favorável as praticas pastoris, porém os solos que compõem essa região são relativamente frágeis e sofreram com o processo de pisoteio do gado, ou processo de compactação, que fez com que boa parte do solo desse município perdesse a fertilidade natural impossibilitando assim a reprodução de cobertura vegetal.

Relativo às condições climáticas e de cobertura vegetal o município se encontra inserido em regiões de clima semi-árido onde a vegetação do tipo caatinga formada por plantas adaptáveis as grandes estações secas capazes de criar mecanismos como absorção e retenção de água e criação de espinhos pra se manter vivas no período de estiagem.

Além do clima desfavorável com baixos índices pluviométricos o processo de desertificação atuante em Irauçuba está intimamente ligado ao uso inadequado dos recursos naturais [...].

Além disso, o posicionamento da cidade de Irauçuba está a sotavento da serra de Uruburetama, que intercepta os ventos úmidos oceânicos e contribui para deixar mais seca esta região (OLIVEIRA, 2015).

Atualmente, ainda se faz uso das práticas de desmatamento e queimadas, que são técnicas utilizadas desde a época dos indígenas que ateavam fogo para afugentar as cobras e facilitar a caça, o que expõe ainda mais o solo a degradação (OLIVEIRA, 2015).

Seu posicionamento na depressão sertaneja, uma compartimentação geomorfológica favorável à prática agropastoril e pecuária extensiva, também intensifica a degradação do solo (CAETANO, 2014).

Assim, essas características contribuem para que a área de estudo esteja em um dos núcleos de desertificação do Estado do Ceará (Inhamuns, Irauçuba e Médio Jaguaribe).

2.3 Geotecnologias como ferramenta de gestão nas análises espaciais

A metodologia de utilização de SIG integra dados, pessoas e informações, permite coleta, armazenamento, processamento e análise para produção de nova informação, tendo como vantagens segurança/confiabilidade, facilidade de uso e agilidade nas atividades (ALENCAR, 2017).

Oliveira (2017) discorre que:

As geotecnologias constituem as tecnologias atreladas às informações espaciais e envolve a coleta, processamento, análise e oferta destas informações (ROSA, 2005). Os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), o Global Navigation Satellite System (GNSS), a cartografia digital e o Sensoriamento Remoto são exemplos de geotecnologias utilizadas na análise ambiental ou ainda na chamada Geografia Aplicada.

Para Sousa (2014), o sensoriamento remoto e sistemas de informação geográfica (SIG) têm sido adotados como alternativa aos elevados custos de trabalhos de campo e laboratório para obtenção de dados primários. Ou seja, como grande vantagem o sensoriamento remoto possibilita a obtenção de informações sem contato com o objeto de estudo e de forma rápida.

O sensoriamento remoto possibilita a avaliação no espaço e tempo da manifestação da desertificação, é cada vez mais utilizado com essa finalidade. Com dados climáticos e de outros componentes ambientais, é possível se realizar o monitoramento e até mesmo previsões de comportamento do fenômeno.

Os dados obtidos através do sensoriamento remoto podem ser utilizados para estudar mudanças no ambiente e assim servir como uma ferramenta de gestão de fenômenos como a desertificação, sendo possível analisar seu comportamento no espaço e tempo. Um procedimento bastante utilizado é a classificação de imagens e uso de índices de vegetação de imagem, como afirmam Aquino *et al.* (2018).

O geoprocessamento utiliza ferramentas para tratar as informações geográficas, que posteriormente culminam em informações georreferenciadas que possibilitam a melhor compreensão de um fenômeno sendo possível sua aplicação como, por exemplo, em estudos de impactos ambientais e ecológicos através de elaborações de mapas e bancos de dados, que podem servir de subsídio para tomada de decisões mais eficientes.

2.3.1 Índice de Vegetação Ajustado para o Solo (SAVI)

O SAVI possui como objetivo mensurar a atividade vegetacional e sua variação sazonal e resulta da combinação matemática entre duas bandas espectrais (vermelho e infravermelho). Segundo Viganó, Borges e Franca-Rocha (2011) este índice é o que melhor retrata a variabilidade do solo em um ambiente que apresenta o bioma caatinga, pois possui uma constante de ajuste ao solo, que realça as variações de cores facilitando a análise dos dados.

Segue a equação (1) que representa o SAVI:

$$\text{SAVI} = \frac{(1+L)(\text{NIR}+\text{VER})}{\text{NIR}+\text{VER}+L} \quad (1)$$

Onde:

NIR = Reflectância na banda do infravermelho próximo;

VER = Reflectância na banda do vermelho;

L = O fator de ajuste para o substrato do dossel.

Leite, R. Santos e O. Santos (2017) em estudo sobre a análise temporal dos índices de vegetação NDVI e SAVI na estação experimental de Itaitinga utilizaram Imagens Landsat 8, e seus resultados obtiveram poucas alterações antrópicas, ambos NDVI e SAVI próximos da realidade, porém com uma maior adequação com o uso do NDVI pelo alto adensamento vegetal local.

Viganó, Borges e Franca-Rocha (2011) em pesquisa sobre o desempenho dos Índices de Vegetação NDVI e SAVI a partir de imagem *raster* para identificar qual melhor representa e discrimina a cobertura vegetal da área de estudo, elegeram o SAVI como o que melhor discriminou os alvos, uma vez que apresentou maior número de classes de valores correspondentes à área vegetada, mas ressaltam que se deve considerar a área de estudo.

Sabe-se que a vegetação está intimamente relacionada com o fenômeno da desertificação, visto que o desmatamento provoca a maior exposição do solo ao intemperismo, facilitando assim este fenômeno. Desta forma, o SAVI é uma possível forma de se analisar a variação no espaço e tempo da cobertura vegetal local e conseqüentemente uma expansão desta área exposta.

Barros (2010) utilizou o Índice de Aridez como indicador da susceptibilidade à desertificação na mesorregião de Minas Gerais. Para isto, utilizou dados meteorológicos do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET para inicialmente caracterizar o clima por dados de pluviosidade e temperatura médias mensais. Em seguida, utilizou-se para calcular o IA os valores anuais de precipitação e valores obtidos da evapotranspiração por Balanço Hídrico Climatológico – BHC para as estações e classificou o clima e o nível de susceptibilidade à desertificação por meio do IA.

Com o software ArcGis 9.2 elaboraram-se mapas temáticos para caracterização e mapas de espacialização dos valores do índice de aridez e de susceptibilidade ao fenômeno em questão (BARROS, 2010). Utilizou-se o modelo climático ECHAM para projeções de comportamento para o IA, da susceptibilidade à desertificação e classificação climática, para a mesorregião Norte de Minas.

Sousa (2014) realizou uma comparação entre duas áreas em processo de desertificação no semiárido nordestino por meio do Índice de Desertificação. Os indicadores utilizados foram: Índice de Qualidade de Vida, Índice de Capital Social, Índice Ambiental e Índice Biofísico de Desertificação.

O estudo de Sousa (2014, p. 07) apontou que “a geoestatística indicou o teor óxido de ferro na superfície do solo como bom indicador da degradação do solo, baixo custo para a avaliação da degradação ambiental e monitoramento”.

2.3.2 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada ou *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) é um índice calculado a partir dos valores de reflectância das bandas do infravermelho próximo (NIR) e do vermelho (RED), como pode ser visto na equação 2:

$$\mathbf{NDVI} = \frac{\mathbf{NIR-RED}}{\mathbf{NIR+RED}} \quad (2)$$

Em que:

NDVI = Índice de Vegetação por Diferença Normalizada;

NIR = Reflectância no comprimento de onda correspondente ao infravermelho próximo (760 – 900 nm);

RED = Reflectância no comprimento de onda correspondente ao vermelho (630 a 690 nm).

Melo e Sales (2011) afirmam que o NDVI é o índice de vegetação mais utilizado e conhecido, pois permite que se monitore a densidade e o estado da vegetação verde na superfície e caracterizar sua espacialização e evolução no tempo. Este índice varia de -1 a 1, no qual quanto mais próximo do valor 1, mais densa a vegetação.

As imagens do satélite *Landsat 5*, *Landsat 7* e *Landsat 8* disponíveis gratuitamente no site da instituição *United States Geological Survey* (USGS) serão utilizadas para elaboração do NDVI.

O *software* Quantum GIS 3.0.1 (gratuito) proporcionará tanto o processamento e manipulação, quanto auxiliará na análise integrada dos dados e informações obtidas, através dos seguintes órgãos e instituições: IBGE, IPECE, INMET, INPE, FUNCEME.

Nesta perspectiva, este estudo pretende realizar uma análise temporal da vegetação no território de Irauçuba/CE com uso de técnicas de geoprocessamento e através imagens de satélites para o cálculo do NDVI, e assim identificar as áreas mais sensíveis a desertificação e realizar proposições de ações mitigadoras com foco nestas. Além disso, pretende-se realizar a determinação do Índice de Aridez, sendo uma opção ao estudo de épocas mais antigas nas quais não existiam imagens de satélites.

3 METODOLOGIA

3.1 Metodologia para o estudo da desertificação

Do ponto de vista do procedimento técnico, esta pesquisa se caracteriza como um Estudo de caso, conforme Gil (1994), pois se realiza um estudo profundo e exaustivo sobre a cidade de Irauçuba, para o amplo e detalhado conhecimento sobre esta. Quanto a sua natureza, esta é uma pesquisa aplicada, pois objetiva gerar conhecimentos para a solução de um problema específico, no caso o processo de desertificação em Irauçuba.

Primeiramente foi realizado um levantamento bibliográfico para a melhor compreensão acerca do fenômeno da desertificação, quais suas causas, sua distribuição geográfica no mundo e a relação das características do semiárido com este fenômeno, visto que é uma área grande de suscetibilidade.

Nesta pesquisa foi escolhido como área de estudo do fenômeno da desertificação o município de Irauçuba – CE, devido às peculiaridades deste local, localizado em um dos núcleos de desertificação do Estado do Ceará (Inhamuns, Irauçuba e Médio Jaguaribe).

Dentre estas características, estão: os baixos índices pluviométricos, altas taxas de evapotranspiração, práticas inadequadas de uso do solo, como retirada da cobertura vegetal e pecuária extensiva, presença de vegetação rala e de pequeno porte, localização a sotavento da serra de Uruburetama, em uma “sombra de chuva” produzida pelo efeito orográfico desta serra, interceptando os ventos úmidos oceânicos o que deixa a região mais seca.

Porém, Sousa (2014) afirma que não existe:

[...] uma metodologia de consenso para diagnosticar se uma área está ou não sofrendo processos de desertificação ou em qual grau ela se encontra. A principal dificuldade está na escolha dos indicadores, na escassa existência de variáveis consideradas boas indicadoras, ou seja, possuam representatividade, disponibilidade e confiabilidade espacial e temporal, além de facilidade de acesso.

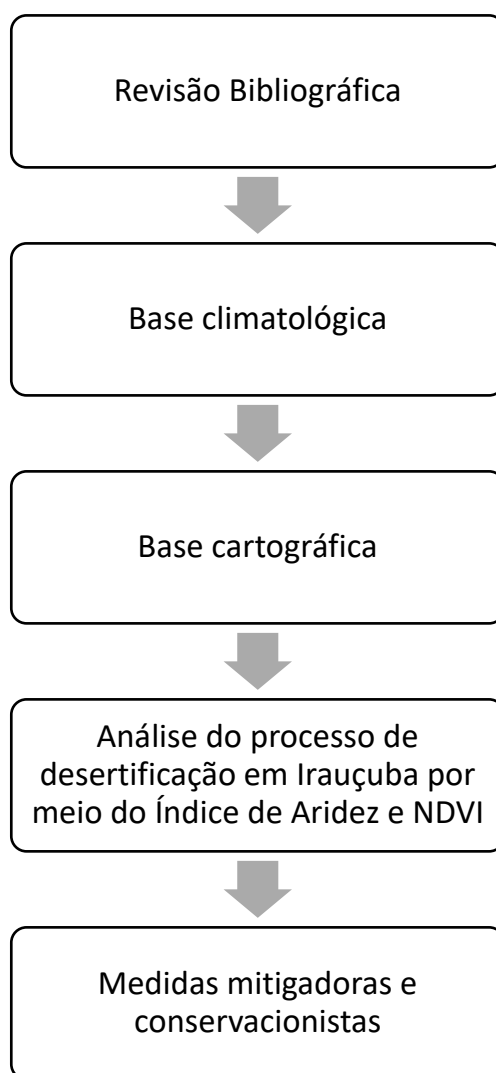
Com base no texto da Resolução nº 238/97 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), pode-se afirmar que esta dificuldade metodológica está relacionada à falta de decisão política além do consenso da comunidade científica e órgãos responsáveis pela elaboração de políticas, dificultando-se assim os esforços em relação ao assunto quanto aos recursos e definição de áreas de estudo.

A metodologia utilizada por esse estudo está baseada no uso de geotecnologias como ferramenta para a gestão ambiental e tem como objetivo principal a análise temporal da

suscetibilidade à desertificação no município de Irauçuba/CE, por meio da utilização de geotecnologias como subsídio para auxiliar na gestão ambiental do objeto de estudo, e como objetivos específicos, caracterizar o nível de desertificação em que se encontra o município de Irauçuba através do índice de aridez, realizar uma análise temporal do índice de vegetação por diferença normalizada do município para avaliar onde ações mitigadoras e preventivas devem ser concentradas e propor ações mitigadoras e preventivas que possam aumentar a capacidade de resiliência e minimizar a degradação ambiental.

3.2 Organograma das atividades desenvolvidas

Gráfico 3 – Organograma das atividades



Fonte: Elaborada pela autora

O primeiro passo, portanto, foi o levantamento bibliográfico acerca do fenômeno de desertificação, para a escolha do objeto de estudo, a Cidade de Irauçuba. A segunda etapa realizada consistiu no levantamento de dados climatológicos da base de estudo para a elaboração de mapas para a análise do fenômeno da desertificação em Irauçuba. O terceiro passo envolveu a elaboração da base cartográfica da pesquisa, através do *software* Quantum Gis 3.0.1. A etapa seguinte consistiu na análise do processo de desertificação em Irauçuba a partir dos dados obtidos anteriormente. A finalização da pesquisa consistiu na proposição de algumas medidas mitigadoras e conservacionistas para serem aplicadas no local.

3.3. Procedimentos metodológicos

3.3.1. Base climatológica

Utilizou-se uma série de dados de temperatura média mensal de Irauçuba obtidos através da base de dados do site *Climate Data*. As pluviosidades mensais médias para cada estação meteorológica foram obtidas através da base de dados da FUNCEME (2010), disponível no Atlas Eletrônico dos Recursos Hídricos do Ceará.

Primeiramente, realizou-se o Balanço Hídrico Climatológico - BHC para cada um dos postos do Município, através da planilha “BHnorm” criada por Rolim e Sentelhas (1999) e assim foi calculado o Balanço Hídrico Climatológico - BHC, segundo Thornthwaite & Mather (1955). Assim como adotado por Barros (2010), a água disponível (CAD) utilizada corresponde a 100 mm. Através da planilha obteve-se a evapotranspiração real para posterior cálculo do índice de aridez, que culminou na elaboração da base cartográfica.

Para a obtenção das imagens da cobertura vegetal, realizou-se a obtenção da série temporal através do site *Earth Explorer* da Instituição *United States Geological Survey* (Serviço Geológico dos Estados Unidos), apresentadas no capítulo a seguir. Foram utilizadas as imagens dos satélites *Landsat 4-5*, que disponibiliza as imagens mais antigas e *Landsat 8*, que possui uma melhor qualidade de imagens.

3.3.2. Base cartográfica

O *software* Quantum Gis 3.0.1 foi utilizado para a elaboração da base cartográfica. Utilizou-se como base de dados para o Índice de Aridez o IBGE, INMET e IPECE. Com os dados obtidos através da Tabela 10 com os índices de aridez por distrito de Irauçuba, foi gerada uma camada atribuindo o IA ao *shape* correspondente aos distritos. Assim, gerou-se o mapa de Índice de Aridez por distritos de Irauçuba (Figura 12).

Para o cálculo do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), foram utilizadas as bandas 3 e 4 para os satélites *Landsat 4-5* e *Landsat 7*, e para o satélite *Landsat 8* as bandas 4 e 5.

As imagens dos meses de abril e outubro ao longo dos anos foram selecionadas com o objetivo de se comparar o NDVI nos meses com maior e menor precipitação respectivamente para se observar o comportamento vegetativo. Porém, em abril a cobertura de nuvens apresenta-se mais intensa, dando interferência na obtenção e interpretação do NDVI. Assim, selecionou-se a imagem referente à menor presença de nuvens disponível do período.

Elaborou-se através destas imagens de satélite a classificação do NDVI, calculado através da ferramenta calculadora *raster*. A partir da camada gerada com o resultado, utilizou-se o arquivo *shape* correspondente a delimitação do município de Irauçuba como máscara para se realizar os recortes das imagens TIFF e assim eliminando-se as áreas que não interessavam ao estudo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Definiu-se como objetivo principal deste trabalho a aplicação dos índices de aridez e de vegetação por diferença normalizada para a análise temporal da suscetibilidade à desertificação no município de Irauçuba/CE, por meio da utilização de geotecnologias como subsídio para auxiliar na gestão ambiental do objeto de estudo.

Este objetivo pode ser considerado alcançado, pelos bons resultados obtidos com os mapas de NDVI ao longo dos anos na área de estudo, nos quais é possível se observar as regiões mais sensíveis à desertificação. Como objetivos específicos, se esperava:

Caracterizar o nível de desertificação em que se encontra o município de Irauçuba através do índice de aridez, que foi realizado através da associação do IA por distritos da área de estudo, e calculado através do BHC. Porém, os resultados obtidos quanto ao IA podem ser considerados contraditórios, visto que Irauçuba está localizada em um dos núcleos de desertificação do Ceará, e a classificação obtida quanto à suscetibilidade à desertificação foi de moderada. Dessa forma, pode-se concluir nesse estudo que o índice de aridez não foi satisfatório isoladamente para a compreensão do processo de desertificação em Irauçuba.

Assim, seriam necessárias pesquisas mais aprofundadas, por exemplo, quanto às características socioeconômicas e ambientais de cada distrito. Uma possibilidade apresentada é a análise temporal da cobertura vegetal no município, para a identificação de áreas mais degradadas e cuja atuação de medidas mitigadoras e preventivas deveriam ser concentradas.

Segue-se assim para o segundo objetivo específico, que era realizar uma análise temporal do índice de vegetação por diferença normalizada do município para avaliar onde ações mitigadoras e preventivas devem ser concentradas. Este objetivo foi concluído com sucesso, pois foi possível produzir mapas de NDVI de Irauçuba ao longo dos anos, apresentados mais adiante, e assim auxiliar na gestão ambiental do local.

Outro objetivo específico foi a proposição de algumas ações mitigadoras e preventivas para aumentar a capacidade de resiliência e minimizar a degradação ambiental, objetivo alcançado pela proposição de práticas de manejo de solo, dentre outras, que podem ser vistas no fim deste capítulo.

4.1. Análise do balanço hídrico climatológico e do índice de aridez

a) Dados pluviométricos de Irauçuba

A partir dos gráficos de chuvas dos postos pluviométricos obtidos na base de dados da FUNCEME, observa-se a irregularidade das chuvas no município de Irauçuba, fator relevante para a susceptibilidade à desertificação pois a pluviometria está relacionada com a erosão do solo, além da cobertura vegetal, que protege o solo da desertificação.

O índice de aridez pode ser calculado a partir da razão entre a precipitação hídrica anual (Pr) e evapotranspiração potencial anual (ETP), como pode ser observado na Equação 3 adiante:

$$Ia = Pr/ETP \quad (3)$$

Realizou-se o cálculo do Índice de Aridez para cada estação meteorológica dos distritos de Irauçuba, e com os resultados obtidos interpretou-se a susceptibilidade à desertificação de acordo com a tabela 1, de Schenkel (2003), e produziu-se o mapa encontrado na Figura 12. Após o cálculo de todos os valores do índice de aridez para as quatro estações presentes no município, espacializou-se esta informação para análise do comportamento do índice no território.

Enfatiza-se que a série de dados de precipitação demonstrada nas tabelas para o BHC refere-se ao ano de 2009, por ser a série mensal completa mais recente disponível no banco de dados da FUNCEME, porém o cálculo do índice de aridez foi realizado utilizando a média dos anos disponíveis no site da FUNCEME, com menor quantidade de dados referentes às estações de Missi e Boa Vista do Caxitoré, o que pode tornar o resultado tendencioso a discrepâncias. Isto mostra uma das dificuldades de estudo do processo de desertificação, a falta de informações disponíveis e atualizadas. A seguir, apresentam-se os resultados referentes às quatro estações de Irauçuba e suas análises, além do cálculo do Índice de Aridez.

b) Estação Boa Vista do Caxitoré

A presente estação apresentou como valor para precipitação média dos anos de 2000 a 2009 o valor de 19,23 mm, sendo o segundo menor das estações pluviométricas. Além disso, obteve o menor valor de excedente hídrico, com 16,6 mm e o maior valor de deficiência hídrica, com 85,5mm, como pode ser visto na Tabela 5, que demonstra o cálculo para o ano de 2009.

Tabela 5 – BHC Estação Boa Vista do Caxitoré de 2009

Meses	Num De dias	T oC Atual	P Mm	I	A	ETP Thornthwaite 1948	P-ETP Mm	DEF mm	EXC mm	
Jan	30	27,1	0,0	12,9	3,7	162,29	-162,3	162,3	0,0	
Fev	28	26,6	0,0	12,6	3,7	137,88	-137,9	137,9	0,0	
Mar	31	25,7	139,0	11,9	3,7	128,92	10,1	0,0	0,0	
Abr	30	25,7	320,0	11,9	3,7	117,96	202,0	0,0	112,1	
Mai	31	25,6	237,0	11,9	3,7	113,81	123,2	0,0	123,2	
Jun	30	25,7	46,0	11,9	3,7	107,23	-61,2	15,4	0,0	
Jul	31	26,1	72,0	12,2	3,7	116,39	-44,4	25,0	0,0	
Ago	31	26,1	12,0	12,2	3,7	119,88	-107,9	84,9	0,0	
Set	30	26,6	0,0	12,6	3,7	131,12	-131,1	122,5	0,0	
Out	31	27,1	0,0	12,9	3,7	153,43	-153,4	150,9	0,0	
Nov	30	27,2	0,0	13,0	3,7	158,40	-158,4	157,9	0,0	
Dez	31	27,2	0,0	13,0	3,7	169,13	-169,1	169,0	0,0	
TOTAIS		316,7	826,0	149,0	44,3	0,0	1616,44	-790,4	1025,7	235,3
MÉDIAS		26,4	68,8	12,4	3,7		134,70	-65,9	85,5	19,6

Fonte: Elaborada pela autora.

c) Estação Irauçuba

A estação do posto Irauçuba possuiu o segundo menor valor para precipitação média, com 4,04 mm. O excedente hídrico apresentado para 2009 foi de 21,4 mm e deficiência hídrica de 67,5 mm, vistos na Tabela 6 a seguir.

Tabela 6 – BHC Estação Irauçuba de 2009

Meses	Num de dias	T oC Atual	P mm	I	a	ETP Thornthwaite 1948	P-ETP mm	ETR mm	DEF Mm	EXC mm	
Jan	30	27,1	114,8	12,9	3,7	162,29	-47,5	114,8	47,5	0,0	
Fev	28	26,6	89,4	12,6	3,7	137,88	-48,5	89,4	48,5	0,0	
Mar	31	25,7	211,5	11,9	3,7	128,92	82,6	128,9	0,0	0,0	
Abr	30	25,7	283,7	11,9	3,7	117,96	165,7	118,0	0,0	148,3	
Mai	31	25,6	204,3	11,9	3,7	113,81	90,5	113,8	0,0	90,5	
Jun	30	25,7	125,2	11,9	3,7	107,23	18,0	107,2	0,0	18,0	
Jul	31	26,1	33,8	12,2	3,7	116,39	-82,6	90,0	26,4	0,0	
Ago	31	26,1	0,0	12,2	3,7	119,88	-119,9	30,6	89,3	0,0	
Set	30	26,6	0,0	12,6	3,7	131,12	-131,1	9,6	121,5	0,0	
Out	31	27,1	0,0	12,9	3,7	153,43	-153,4	2,8	150,6	0,0	
Nov	30	27,2	0,0	13,0	3,7	158,40	-158,4	0,6	157,8	0,0	
Dez	31	27,2	0,0	13,0	3,7	169,13	-169,1	0,1	169,0	0,0	
TOTAIS		316,7	1062,7	149,0	44,3	0,0	1616,44	-553,7	805,9	810,5	256,8
MÉDIAS		26,4	88,6	12,4	3,7		134,70	-46,1	67,2	67,5	21,4

Fonte: Elaborada por autora.

d) Estação Juá

A estação com localização em Juá teve como resultado a segunda maior deficiência hídrica, com 74,1 mm, excedente hídrico de 32 mm e a menor precipitação média com 3,42 mm, cujos dados para o ano 2009 estão presentes na Tabela 7.

Tabela 7 – BHC Juá de 2009

Meses	Num de dias	T oC Atual	P mm	I	A	ETP Thornthwaite 1948	P-ETP Mm	DEF mm	EXC Mm	
Jan	30	27,1	106,0	12,9	3,7	162,29	-56,3	56,3	0,0	
Fev	28	26,6	61,4	12,6	3,7	137,88	-76,5	76,5	0,0	
Mar	31	25,7	231,2	11,9	3,7	128,92	102,3	0,0	2,3	
Abr	30	25,7	440,0	11,9	3,7	117,96	322,0	0,0	322,0	
Mai	31	25,6	173,0	11,9	3,7	113,81	59,2	0,0	59,2	
Jun	30	25,7	65,2	11,9	3,7	107,23	-42,0	7,7	0,0	
Jul	31	26,1	34,0	12,2	3,7	116,39	-82,4	45,5	0,0	
Ago	31	26,1	0,0	12,2	3,7	119,88	-119,9	99,8	0,0	
Set	30	26,6	0,0	12,6	3,7	131,12	-131,1	124,8	0,0	
Out	31	27,1	0,0	12,9	3,7	153,43	-153,4	151,6	0,0	
Nov	30	27,2	0,0	13,0	3,7	158,40	-158,4	158,0	0,0	
Dez	31	27,2	0,0	13,0	3,7	169,13	-169,1	169,0	0,0	
TOTAIS		316,7	1110,8	149,0	44,3	0,0	1616,44	-505,6	889,2	383,5
MÉDIAS		26,4	92,6	12,4	3,7		134,70	-42,1	74,1	32,0

Fonte: Elaborada pela autora.

e) Estação Missi

A estação Missi apresentou a maior precipitação média, com 60,3 mm. Sua deficiência hídrica em 2009 foi de 67,1 mm e seu excedente foi 78,7 mm, dados apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – BHC Estação Missi de 2009

Meses	Num De dias	T oC Atual	P Mm	I	a	ETP Thornthwaite 1948	P-ETP mm	ETR mm	DEF mm	EXC mm
Jan	30	27,1	125,0	12,9	3,7	162,29	-37,3	125,0	37,3	0,0
Fev	28	26,6	125,0	12,6	3,7	137,88	-12,9	125,0	12,9	0,0
Mar	31	25,7	304,0	11,9	3,7	128,92	175,1	128,9	0,0	75,1
Abr	30	25,7	686,0	11,9	3,7	117,96	568,0	118,0	0,0	568,0
Mai	31	25,6	415,0	11,9	3,7	113,81	301,2	113,8	0,0	301,2
Jun	30	25,7	97,0	11,9	3,7	107,23	-10,2	106,7	0,5	0,0
Jul	31	26,1	0,0	12,2	3,7	116,39	-116,4	62,1	54,3	0,0
Ago	31	26,1	0,0	12,2	3,7	119,88	-119,9	19,7	100,2	0,0
Set	30	26,6	0,0	12,6	3,7	131,12	-131,1	6,2	124,9	0,0
Out	31	27,1	0,0	12,9	3,7	153,43	-153,4	1,8	151,6	0,0

Nov	30	27,2	0,0	13,0	3,7	158,40	-158,4	0,4	158,0	0,0	
Dez	31	27,2	4,0	13,0	3,7	169,13	-165,1	4,1	165,0	0,0	
TOTAIS		316,7	1756,0	149,0	44,3	0,0	1616,44	139,6	811,7	804,8	944,3
MÉDIAS		26,4	146,3	12,4	3,7		134,70	11,6	67,6	67,1	78,7

Fonte: Elaborada por autora.

f) Cálculo do índice de Aridez para as estações de Irauçuba

Assim como citado anteriormente, o Índice de Aridez foi calculado para cada estação existente em Irauçuba, em cada um de seus distritos, resultando na Tabela 9 adiante. A partir desses valores, foi realizada a classificação climática e do nível de susceptibilidade à desertificação, cujos resultados constam no item 4.2 a seguir. Os distritos de Juá e Irauçuba apresentaram os menores IA, enquanto Missi teve o maior IA e Boa Vista do Caxitoré o segundo maior IA.

Tabela 9 – Índice de Aridez por estações em Irauçuba

Estação	Precipitação	Evapotranspiração potencial	Índice de aridez
Boa Vista do Caxitoré	19,23	134,7	0,14
Irauçuba	4,04	134,7	0,03
Juá	3,42	134,7	0,03
Missi	60,03	134,7	0,45

Fonte: Elaborada pela autora.

4.2. Classificação climática e nível de susceptibilidade à desertificação a partir do índice de aridez

Conforme a Tabela 1, os distritos em que se encontram as estações possuem a seguinte classificação climática encontrada na Tabela 10. Os distritos de Boa Vista do Caxitoré e Irauçuba foram classificados com clima sub-úmido e seco, enquanto os distritos de Juá e Missi como climas sub-úmido e úmido.

Tabela 10 – Classificação climática dos distritos de Irauçuba com base nas suas estações meteorológicas

Estação	Índice de aridez	Tipo de clima
Boa Vista do Caxitoré	0,14	Árido
Irauçuba	0,03	Hiper-árido
Juá	0,03	Hiper-árido

Missi	0,45	Sub-úmido e seco
-------	------	------------------

Fonte: Elaborada pela autora.

Adotou-se a proposta de Matallo Júnior (2003) como parâmetro quanto ao nível de susceptibilidade à desertificação a partir do Índice de aridez adiante na Tabela 11, obtendo-se como classificação os resultados presentes na Tabela 12:

Tabela 11 – Nível de susceptibilidade à desertificação

Nível de susceptibilidade à desertificação	Índice de aridez
Muito alta	0,05 até 0,20
Alta	0,21 até 0,50
Moderada	0,51 até 0,65

Fonte: Matallo Júnior (2003).

Através da Tabela 12, pode-se concluir que os níveis de suscetibilidade à desertificação dos distritos de Irauçuba classificam-se como moderados. Além disso, o distrito com maior suscetibilidade é o da Boa Vista do Caxitoré, com IA de 0,51 e o com menor é o distrito de Missi, que apresenta IA de 1,09. A localização dos distritos e suas respectivas classificações podem ser vistas na Figura 12.

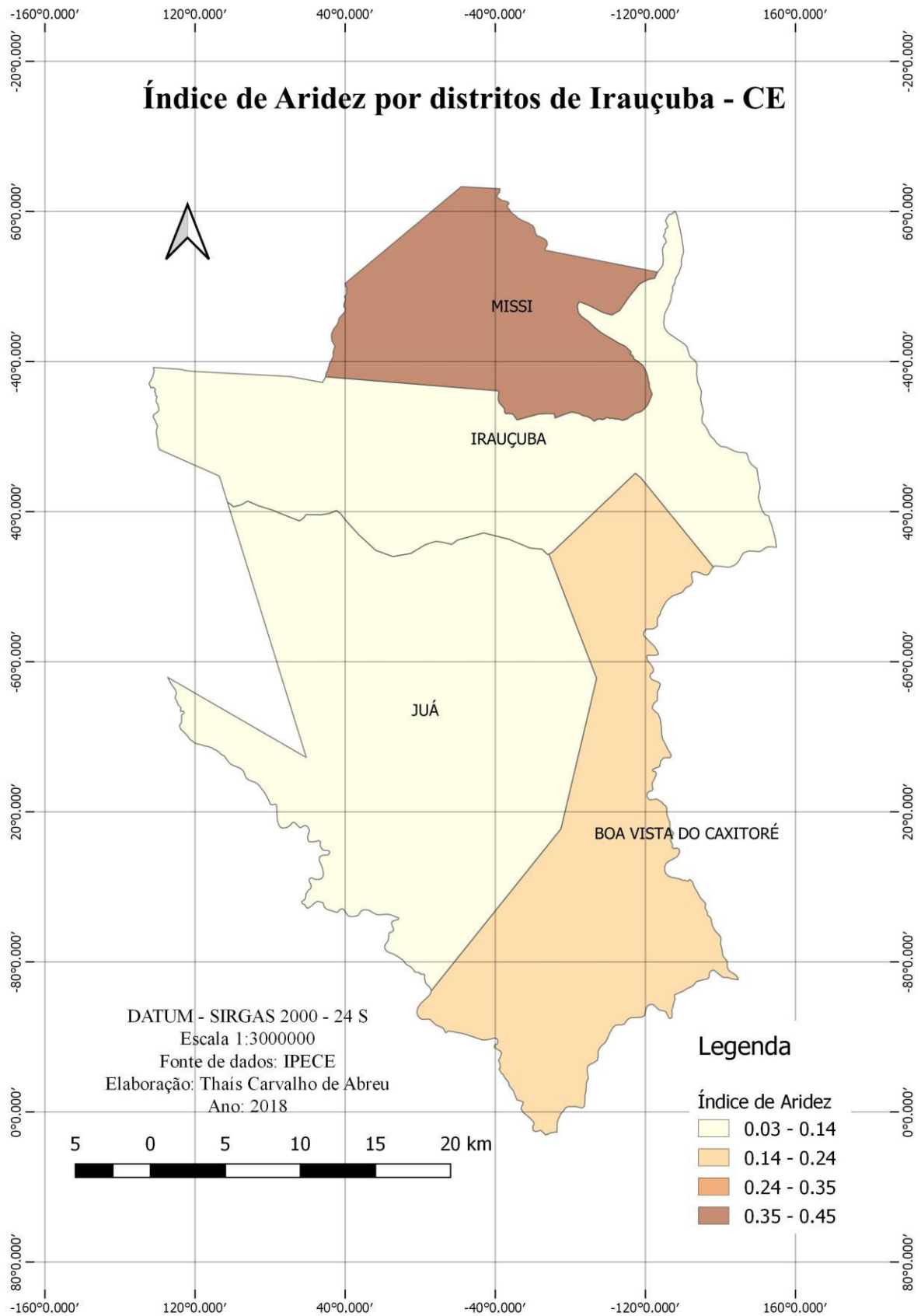
Tabela 12 – Nível de suscetibilidade à desertificação dos distritos de Irauçuba

Distritos	Índice de aridez	Nível de suscetibilidade à desertificação
Boa Vista do Caxitoré	0,14	Muito alta
Irauçuba	0,03	Muito alta
Jua	0,03	Muito alta
Missi	0,45	Alta

Fonte: Elaborada pela autora.

Outra forma de se analisar o processo de desertificação é através de sua cobertura vegetal, que está intimamente relacionada à proteção do solo contra a desertificação. No tópico adiante, apresenta-se a série temporal da cobertura vegetal de Irauçuba obtida a partir dos satélites *Landsat* e sua análise.

Figura 12 – Índice de Aridez por distritos de Irauçuba – CE



Fonte: Elaborada pela autora.

4.3. Análise temporal da cobertura vegetal de Irauçuba a partir do NDVI

A primeira observação a ser realizada sobre os mapas obtidos do NDVI refere-se ao fato da interferência das nuvens nas imagens de satélite. O estudo tinha como foco avaliar o NDVI nos meses de abril e outubro, por ser respectivamente o mês mais chuvoso e mais seco em Irauçuba, e assim se observaria a variação na cobertura vegetal devido ao clima. Eventualmente adotou-se o mês mais próximo destes, quando a imagem de satélite apresentou muitas nuvens, pois isso geraria grande erro no cálculo do NDVI.

O primeiro mapa de NDVI (Figura 13) refere-se ao mês de abril de 1984. Comparando-se às demais imagens referentes a este mês, este se apresenta ser como o de pior situação segundo o NDVI obtido em relação a cobertura vegetal, com grande parte da cidade com baixo índice de cobertura vegetal. O mapa referente à figura 14 compreende o mês de Outubro de 1984, e demonstra que este foi um período de intensa seca na região.

Já em relação a abril de 1994, os valores de NDVI aproximaram-se mais de 1 (Figura 15), ou seja, havia uma maior densidade da cobertura vegetal, úmida e bem desenvolvida. Observa-se também na imagem a interferência de nuvens (assim como nos meses próximos), indicando-se uma boa quadra chuvosa.

Para outubro de 1994 não havia disponibilidade de imagem de satélite. Assim, foi elaborado o mapa para o mês de novembro de 1994 (Figura 16), o mês mais próximo disponível. Comparando-se ao mês de outubro de 1984, este mapa demonstra uma maior cobertura vegetal neste ano mesmo no mês mais seco.

Em março de 2004 (Figura 17) a cobertura também se encontrava densa, porém menos do que em 1994. Destaca-se também a interferência de algumas nuvens na imagem, além da interferência gerada na extremidade oeste devido a falhas nas bordas das imagens de satélites, que ocorre também nos meses próximos a abril, deixando assim a análise desse período prejudicada. No mês de outubro de 2004 (Figura 18) havia um pouco mais de cobertura vegetal do que em novembro de 1994.

Durante abril de 2014 (Figura 19), ao se comparar com os mapas referentes aos demais meses de abril, percebe-se que este foi o segundo pior resultado do mês da quadra chuvosa em relação ao NDVI. Em setembro 2014 (Figura 20) observa-se que a vegetação se encontrava bastante escassa, com NDVI próximo a zero predominante.

Em comparação ao mês de maio 2018 (Figura 21) com os dos demais anos, classifica-se este como o terceiro pior resultado referente ao NDVI. Já outubro 2018 (Figura

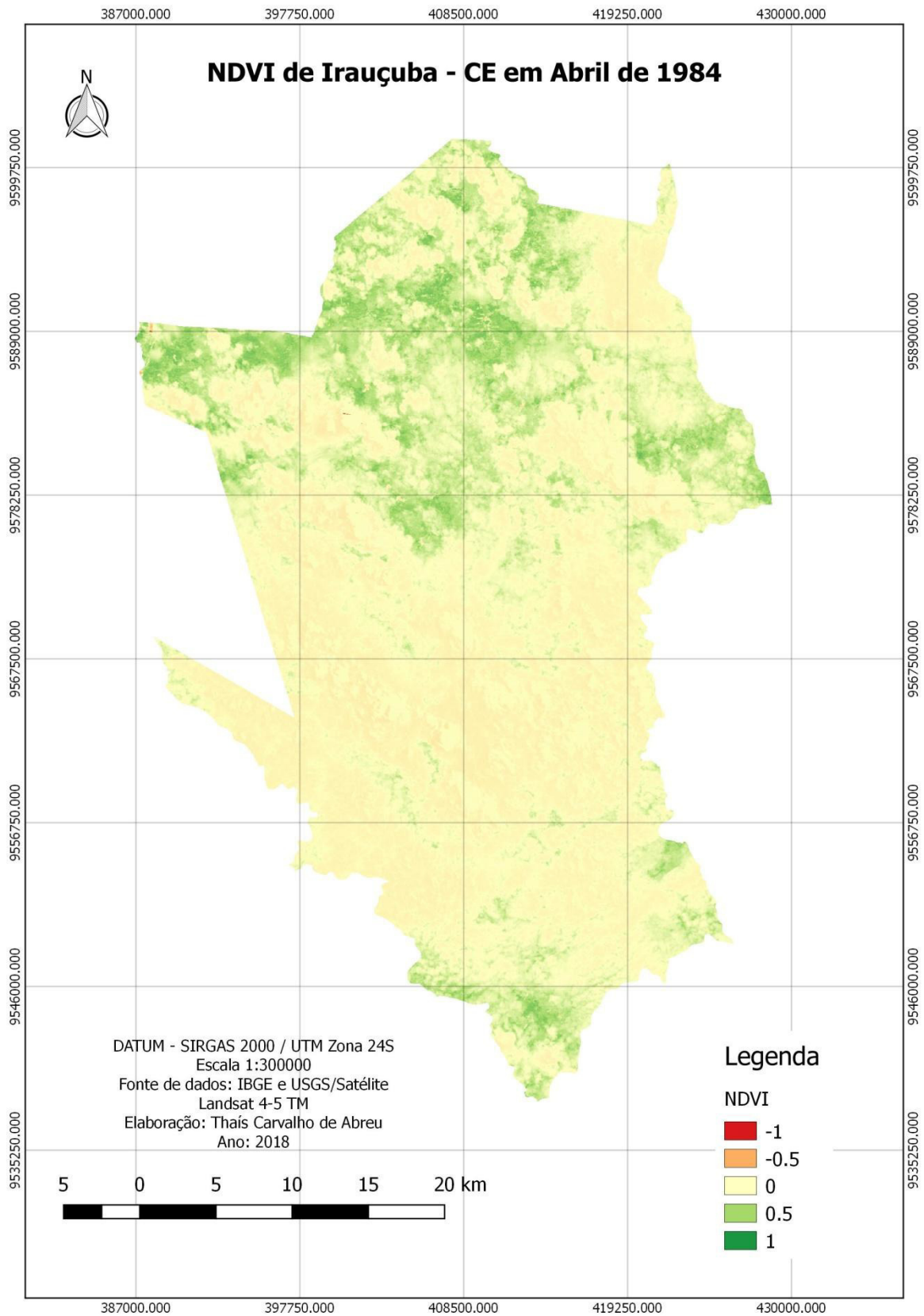
22) teve comportamento semelhante ao de 2014, com a maior parte da região com NDVI igual a zero.

Comparando-se as imagens, percebe-se que ao norte do município, no distrito de Missi, o NDVI mostra-se mais próximo de 1, o que é coerente com o IA obtido para este distrito, que apresentou a menor suscetibilidade à desertificação.

Isto se deve ao fato que a cobertura vegetal tem grande importância na manutenção do ciclo da água, na proteção do solo contra o impacto das gotas de chuva, no aumento da porosidade e permeabilidade do solo devido suas raízes, o que reduz o escoamento superficial e assim mantém a umidade e fertilidade do solo.

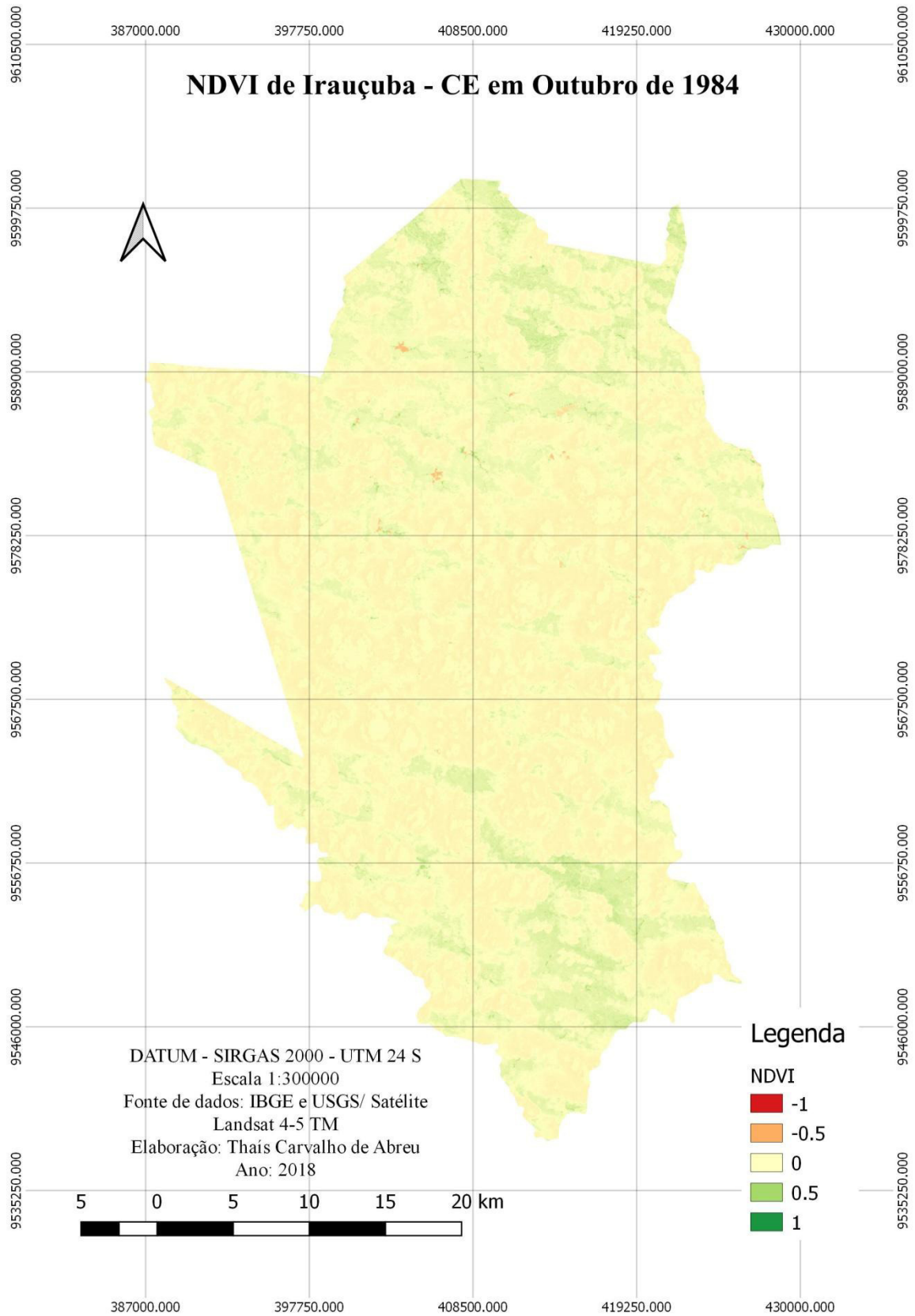
Assim, compreende-se que a cobertura vegetal está intimamente relacionada com a desertificação e sua análise é uma forma importante de estudo para gestão ambiental. No capítulo adiante se apresentam algumas propostas de medidas mitigadoras diante à desertificação.

Figura 13 – Mapa do NDVI de Irauçuba em Abril de 1984



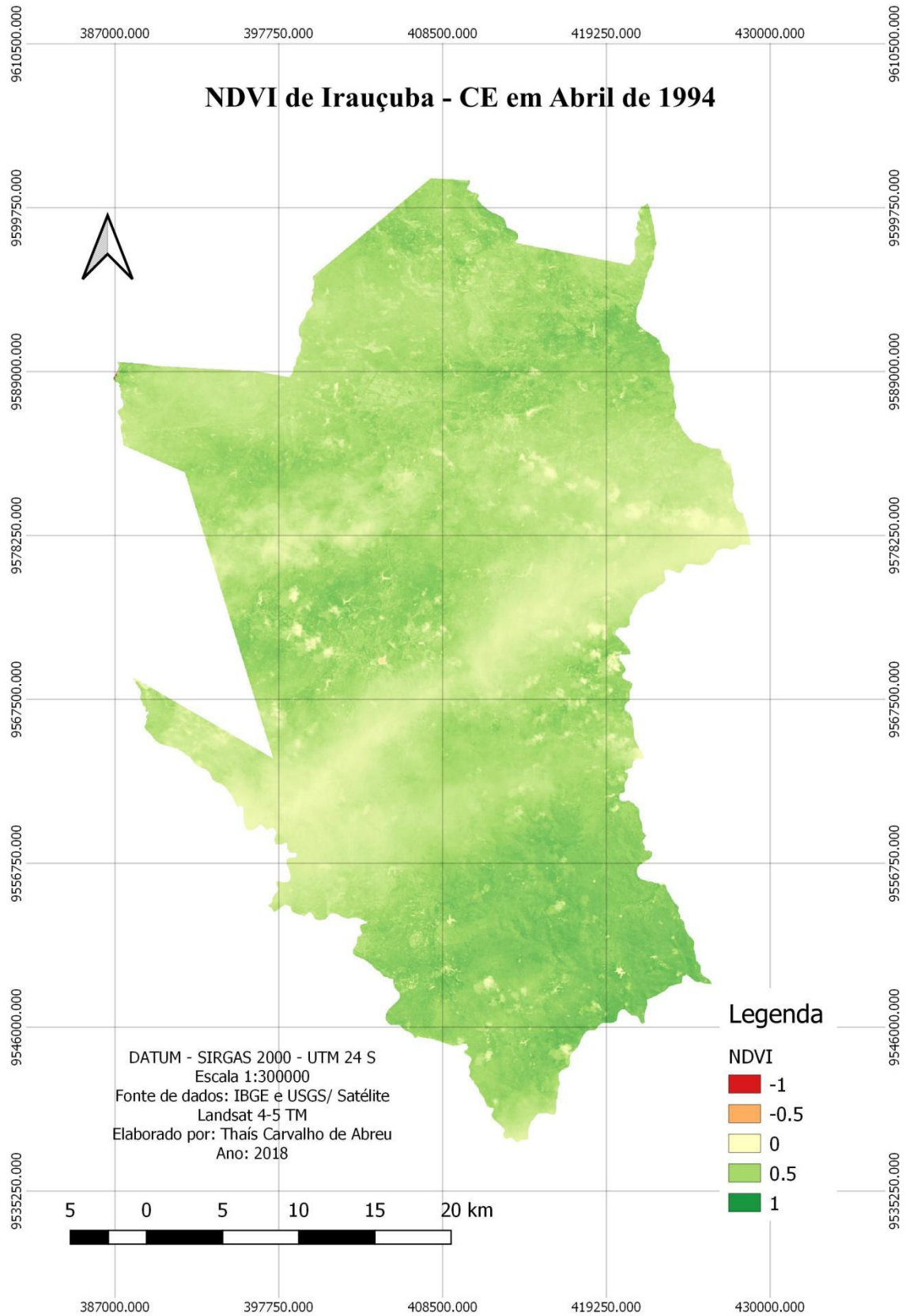
Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 14 – Mapa do NDVI de Irauçuba em Outubro de 1984



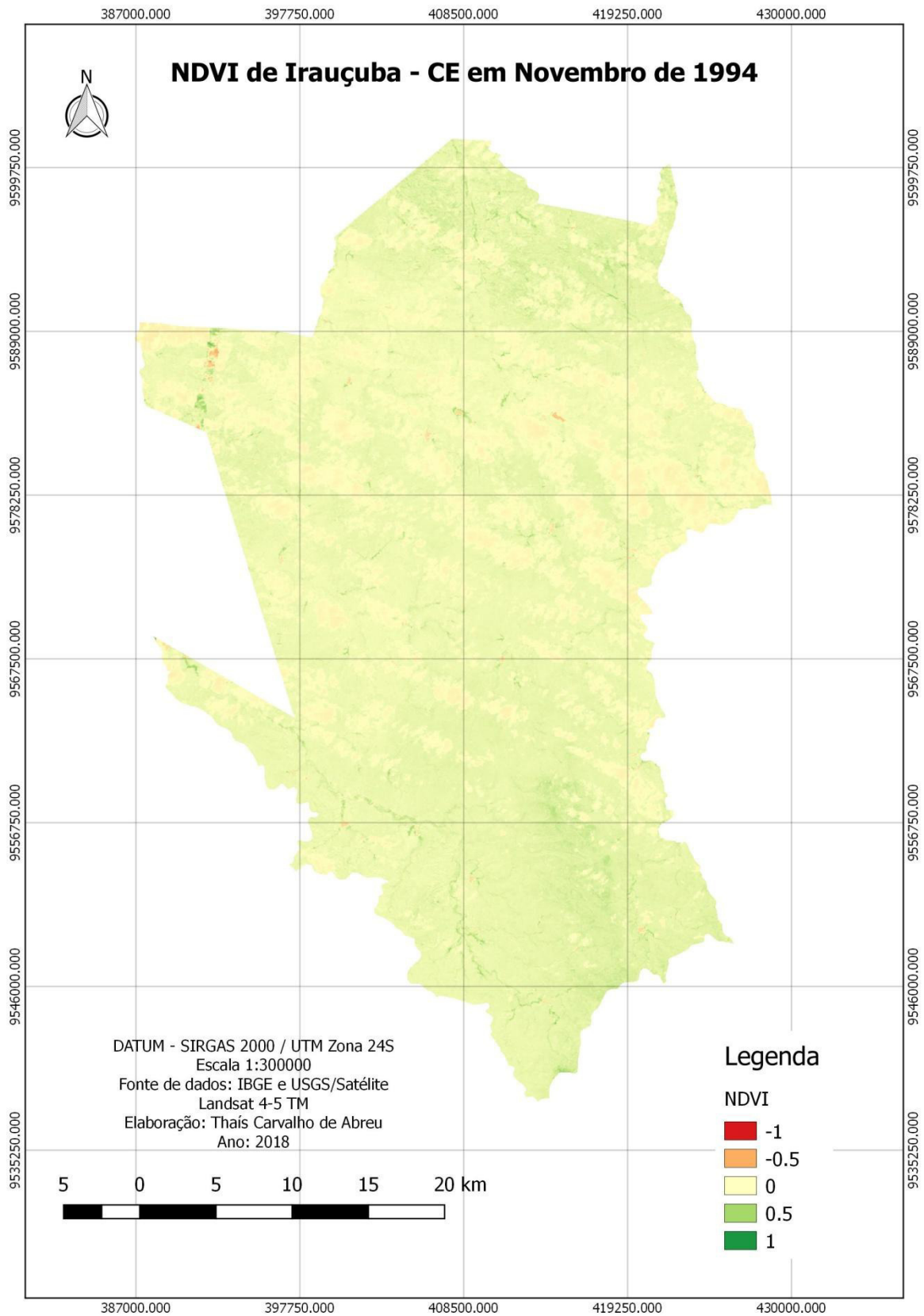
Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 15 – Mapa do NDVI de Irauçuba em Abril de 1994



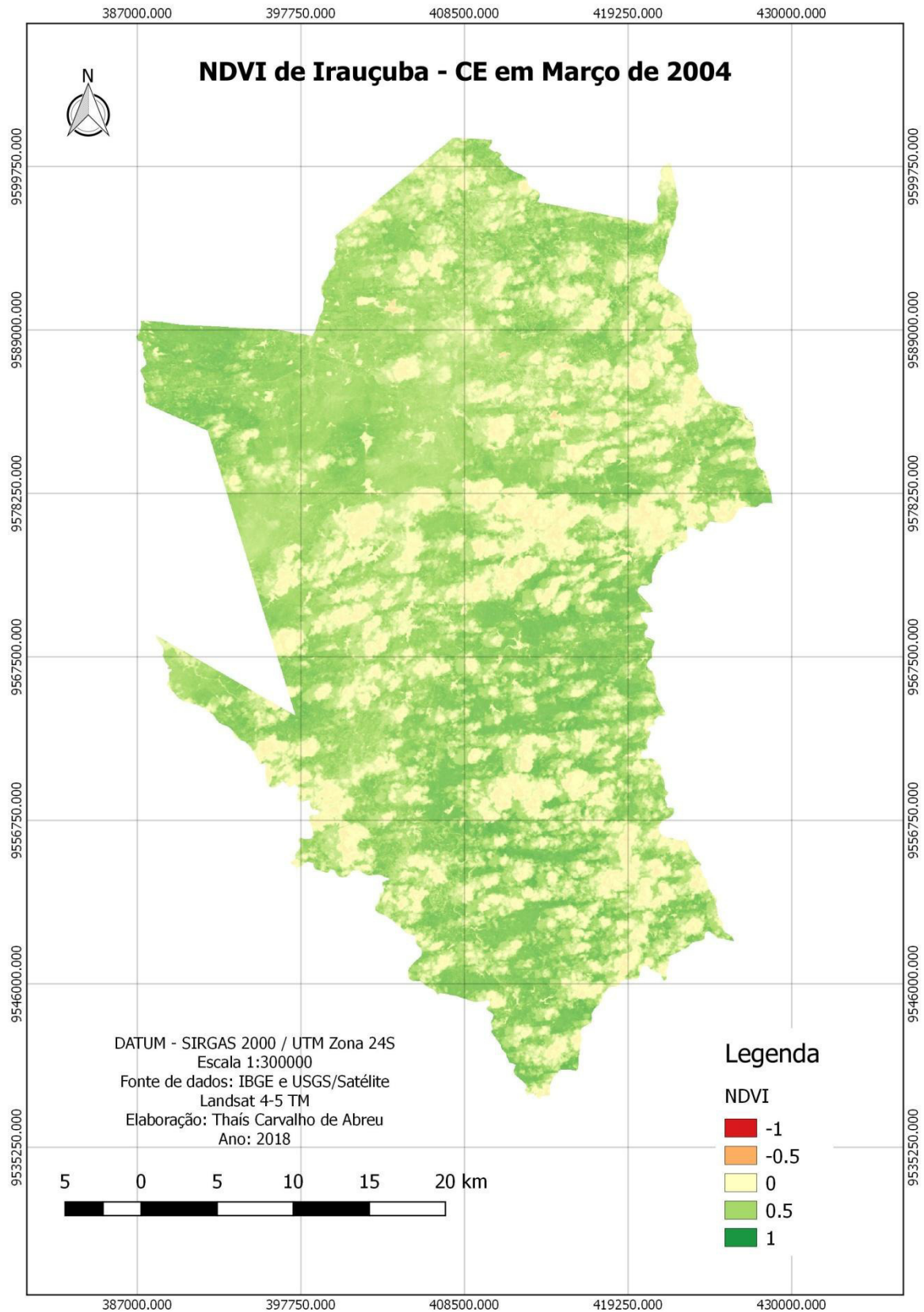
Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 16 – Mapa do NDVI de Irauçuba em Novembro de 1994



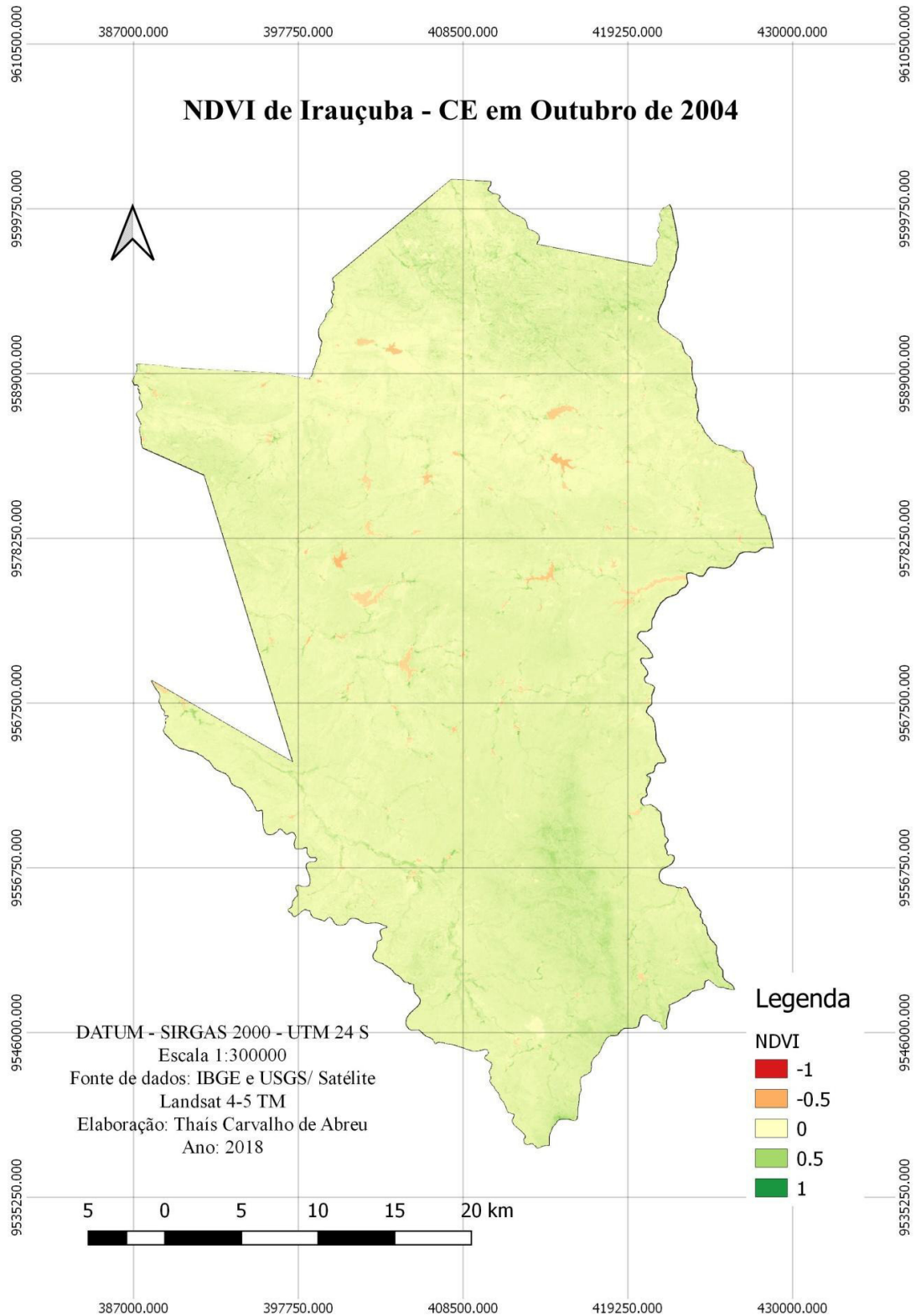
Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 17 – Mapa do NDVI de Irauçuba em Março de 2004



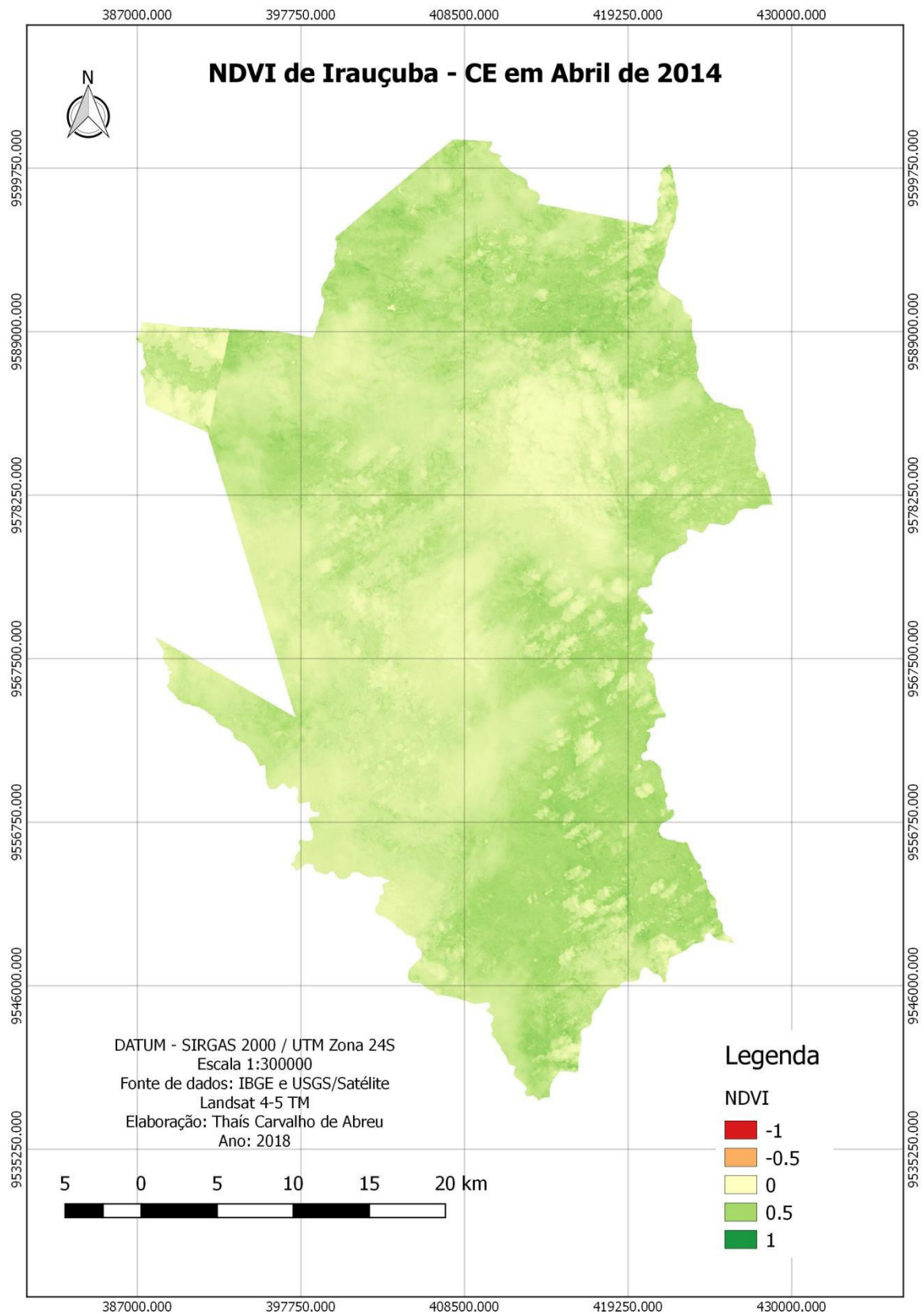
Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 18 – Mapa do NDVI de Irauçuba em Outubro de 2004



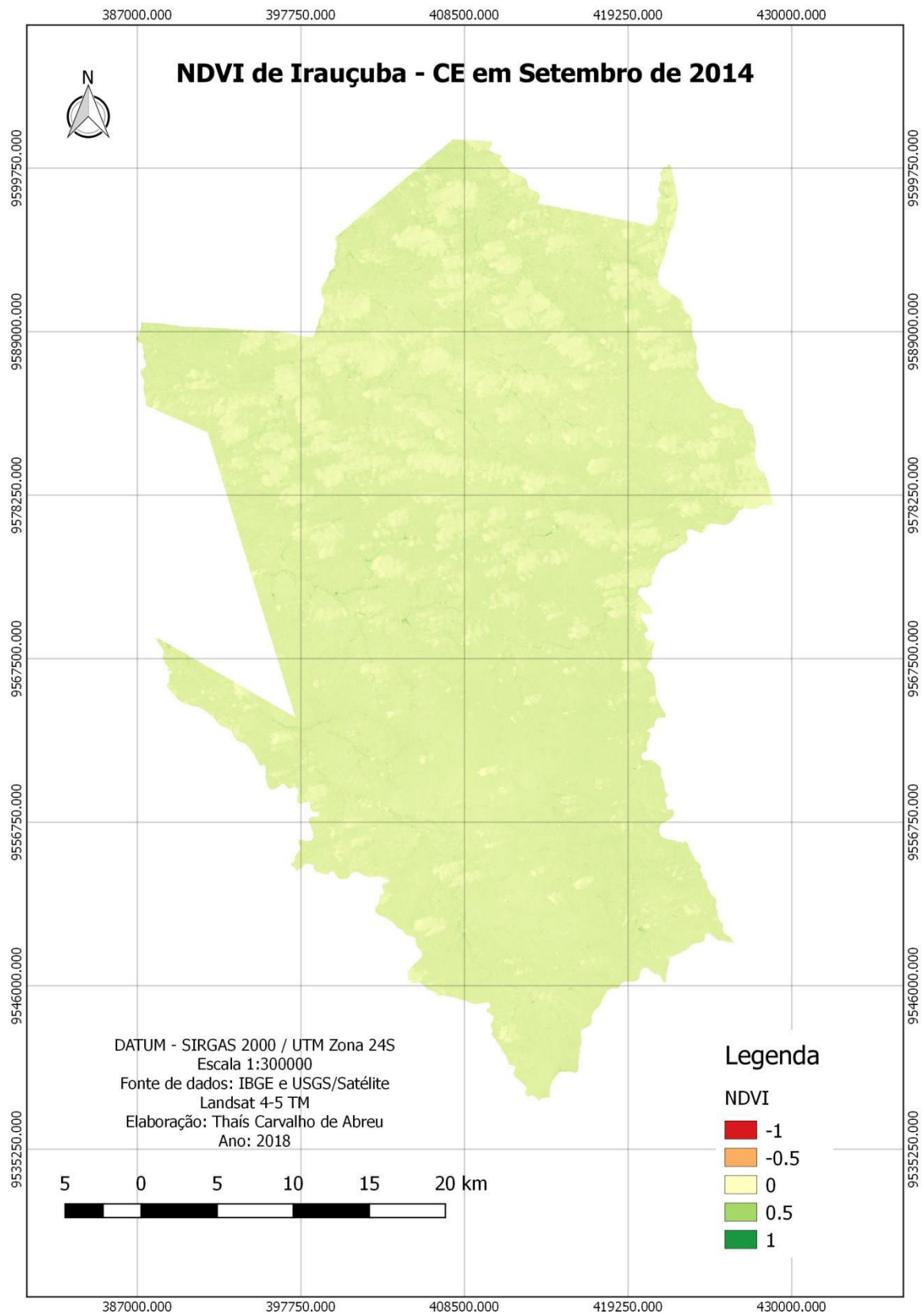
Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 19 – Mapa do NDVI de Irauçuba em Abril de 2014



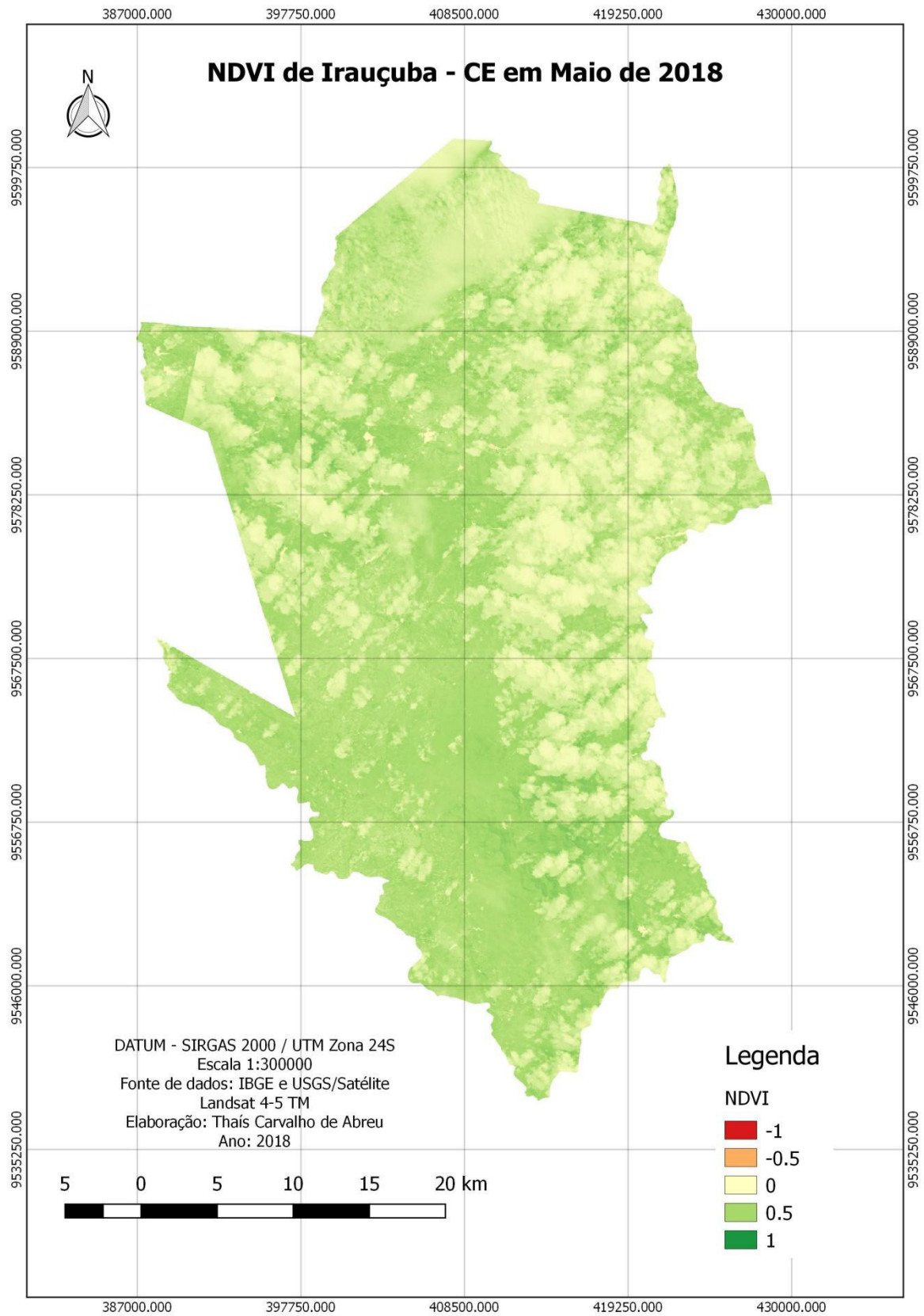
Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 20 – Mapa do NDVI de Irauçuba em Setembro de 2014



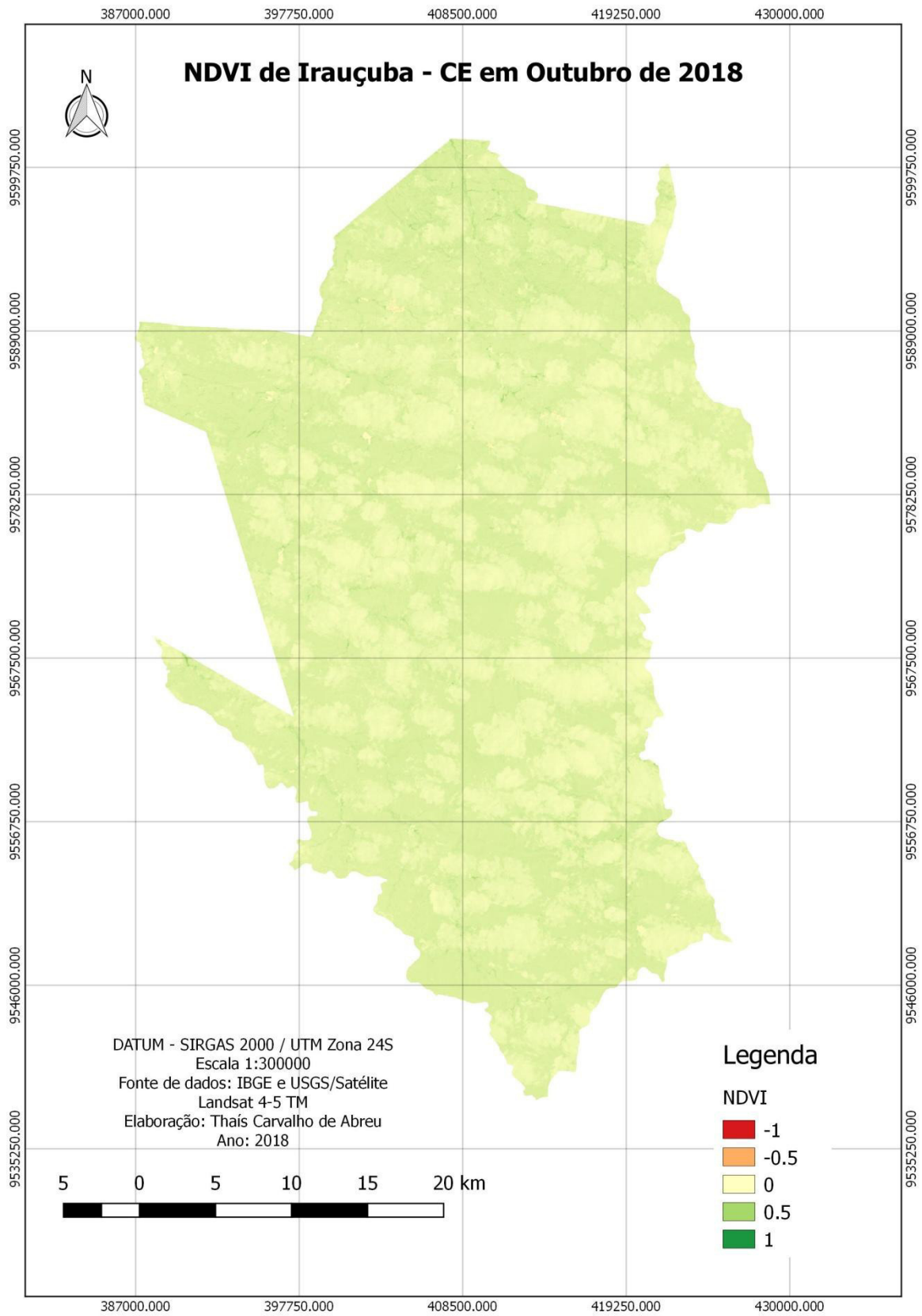
Fonte: Elaborada pela autora

Figura 21 – Mapa do NDVI de Irauçuba em Maio de 2018



Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 22 – Mapa do NDVI de Irauçuba em Outubro de 2018



Fonte: Elaborada pela autora

4.4. Propostas mitigadoras diante a desertificação

Conforme Shenkel (2003), os prejuízos ambientais, sociais e econômicos provocados pela desertificação possuem grande impacto, que provocam migrações, a diminuição do potencial da capacidade produtiva, coloca em risco o desenvolvimento, redução da disponibilidade hídrica e aumento da variação climática. Como problemática, encontram-se os altos custos de controle e recuperação destes processos. Assim, são necessárias soluções eficazes para este fenômeno para o melhor desenvolvimento das áreas semi-áridas, como a região de Irauçuba, tendo como foco a prevenção da expansão deste processo.

Conforme a cartilha de Práticas de manejo e conservação de solo e água no semiárido do Ceará (CEARÁ, 2010), cita-se:

As práticas conservacionistas, sejam mecânicas, edáficas ou vegetativas, são as principais medidas utilizadas para o controle dos processos erosivos nas áreas ocupadas com as atividades agrícolas, pois resultam na melhoria das condições da terra e sua adaptação aos modelos de exploração adotados pelo agricultor. [...]terraços de retenção, cordões de pedras, captação da água in situ – Método Guimarães Duque e os cordões vegetados, tecnologias essas materializadas, pelo PRODHAM, nas microbacias dos rios Cangati, município de Canindé; Batoque, município de Paramoti; Salgado/Oiticica, municípios de Pacoti e Palmácia; e riacho Pesqueiro, município de Aratuba.

Os terraços de retenção (Figura 23) são bastante eficientes no controle da erosão e escoamento superficial, pois aumentam a infiltração de água no solo. Tem melhor aplicação em áreas de baixa precipitação e solos com boa drenagem. Porém é necessária a associação deste com outras práticas agrícolas.

Figura 23 – Terraços de retenção – MBH Pesqueiro – CE



Fonte: Ceará (2010).

Os cordões de pedra (Figura 24) segmentam o comprimento dos declives, fazem diminuir o volume e a velocidade das enxurradas, forçam a deposição de sedimentos, nas áreas onde são construídos, e formam patamares naturais. É uma prática mais adequada para áreas com solos de pedregosidade superficial. É vantajosa por ser uma prática simples, que consiste na abertura de um canal, geralmente em nível, aonde as pedras vão sendo empilhadas.

Figura 24 – Visão Geral dos Cordões de Pedra em Solos de Relevo Ondulado MBH do Rio Cangati, Canindé – CE



Fonte: Ceará (2010).

A prática da Captação in situ: Método Guimarães Duque é um dos mais utilizados na área semiárida do Ceará. Prepara-se o solo, associando-se à captação e ao armazenamento

da água de chuva em sulcos construídos em curva de nível, fechados e nivelados, que resulta na retenção da umidade por um período mais longo, para um aproveitamento melhor pelas plantas. Tem como vantagens o baixo custo de implantação e de manutenção, porém não se recomenda para áreas com declividade superior a 8%. Difícil de ser realizada em solos pedregosos, e não deve ser usada em solos muito arenosos, pois a água se perde por infiltração. Realizado o sulcamento da área (Figura 25), após o terreno oferecer umidade suficiente para a realização da semeadura, efetua-se o plantio depositando as sementes no terço superior do sulco.

Figura 25 – Sulcamento com Arado: Tração Motora



Fonte: Ceará (2010).

Os cordões de vegetação permanente (Figura 26) são faixas em contorno intercaladas à cultura principal, mantidos com plantas perenes de densa massa vegetal, uma prática simples, recomendada para a pequena e média propriedade, em áreas que não possibilitam a construção de terraços, devido à declividade ou nas quais a mecanização é realizada por tração animal. O cordão vegetal funciona como barreira física, evitando que a água da chuva que não se infiltrar ganhe velocidade e provoque erosão. Portanto, é considerada uma prática conservacionista complementar.

Figura 26 – Terraços Vegetados Pentecoste – CE



Fonte: Ceará (2010).

Como atividades mitigadoras sugeridas relativas ao problema da desertificação em Irauçuba, pode-se citar a elaboração de estudos mais aprofundados sobre a região, material de sensibilização para a população, cursos de capacitação, apoio a ações de nível local e acordos de cooperação entre instituições, geração de empregos não agrícolas, como por exemplo, aqueles ligados ao turismo e artesanato, alterando em longo prazo o perfil produtivo da região, subsídios para tecnologias produtivas ligadas a melhoria de produtividade para os pequenos produtores, revisão dos mecanismos de sustentação social nos períodos de escassez, dentre outros mecanismos (SCHENKEL, 2003).

Especificamente, podem ser citados como exemplos destas possíveis ações a ser realizadas em Irauçuba implantados em outros locais: treinamentos de agricultores em práticas de conservação de solo e água em Guilbés, estudos de controle de erosão em Sobral.

Dessa forma, faz-se necessária a efetiva implementação da Política Nacional de Controle da Desertificação, aprovada pela Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente Nº 238, de 22 de dezembro de 1997 (CONAMA, 2018), para que se possa administrar de melhor forma a questão da desertificação em Irauçuba.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir desta pesquisa, pode se concluir que a problemática da desertificação é um fenômeno que aumentou significativamente nas últimas décadas, exigindo uma maior atenção à mesma.

Dentre seus maiores impactos, está o declínio da produtividade da terra, exigindo-se cada vez mais água e nutrientes para que se mantenha a segurança alimentar, gerando consequências como, por exemplo, o aumento dos preços dos alimentos.

Há grande relação da desertificação com o clima, visto que quanto menos frequente a pluviosidade, maior o potencial de desertificação. Além disso, os fatores ambientais como a estrutura e textura do solo, topografia e tipos de vegetação são também importantes variáveis neste processo.

Porém, não se pode deixar de enfatizar que a desertificação também é um fenômeno antrópico acima de tudo, visto que sua propensão tem intensa relação com o uso da terra, densidade da população, pecuária e grau de mecanização da agricultura.

Além disso, seus impactos atingem regiões mais afastadas, como as inundações causadas a longas distâncias pela ausência de vegetação gerando maior velocidade e alcance da água, e o alcance de nuvens de pó do solo degradado, com impactos na saúde da população por exemplo.

Concluiu-se também que outras características influenciam mais do que o IA no que se refere à susceptibilidade à desertificação, e que este não poderia ser o único indicador para políticas ambientais.

Visto que os impactos da desertificação são bastante dispendiosos, destaca-se a importância da contenção deste fenômeno. A recuperação destes locais é de alto custo, porém seus benefícios os superam. Porém, a prevenção é uma ação menos dispendiosa, devendo-se dar preferência a esta.

A importância destas ações se dá, pois, a desertificação pode alimentar-se e tornar-se auto acelerada, piorando assim cada vez mais a situação. Necessita-se assim de uso de práticas apropriadas do uso do solo, além de ações socioeconômicas e ambientais para impedir essa expansão.

As medidas para o combate à desertificação devem envolver as comunidades locais para o seu sucesso, aproveitando-se também do conhecimento local destes, envolvendo-os e orientado especialmente sobre práticas de uso do solo, adaptando-as aos sistemas de vida

locais, com operações de baixo custo, execução simples e boa adaptabilidade, ao invés de inovações radicais com maior dificuldade de aceitação, prática e maiores custos, com provável insucesso.

O processamento de imagens de satélite para o cálculo do NDVI mostrou-se eficiente e preciso para a classificação da situação da cobertura vegetal do município de Irauçuba – CE. Porém houve limitações, como a falta de análise na extremidade oeste do município por falha nas imagens de satélite. Ainda assim, o NDVI apresentou-se mais eficiente do que o IA, visto que seus resultados são mais específicos quanto a espacialização, e assim pode-se focar diferentes atividades preventivas e mitigadoras de acordo com as necessidades e características locais, em áreas menores, economizando-se assim recursos por exemplo. O IA apresenta-se vantajoso na análise de dados mais antigos, dada a ausência de imagens de satélite.

A partir deste trabalho, conclui-se que as medidas para o combate à desertificação devem envolver as comunidades locais para o seu sucesso e integrar o conhecimento local, e que em suma, a desertificação pode ser contida e suas áreas recuperadas, mas necessita-se de intervenção política para isso.

Ademais, percebeu-se que o processamento de imagens de satélite para o cálculo do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) mostrou-se eficiente para a identificação da cobertura vegetal de Irauçuba - CE. Elaborou-se produtos para a análise ambiental da área, que espera-se que sirvam de subsídio para a gestão ambiental. O Índice de Aridez neste trabalho não foi satisfatório para subsídio da gestão ambiental.

Em suma, a desertificação pode ser contida e suas áreas recuperadas, mas necessita-se de intervenção política para isso. Onde não há água, não há riqueza, e desta forma, os ambientes em processo de desertificação não são foco das políticas do governo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SABER. Aziz Nacib. **Problemática da Desertificação e da Savanização no Brasil Intertropical**. Geomorfologia. São Paulo, n. 53, p. 1-20, 1977.

AGENDA 21. **Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento**. 1992 – Rio de Janeiro. 598 p.

ALENCAR, C. M. S. de. **Introdução ao Geoprocessamento**. Fortaleza: Ufc, 2017. 21 slides, color.

ALENCAR, V. B de. CRUZ, M. L. B da. Impactos sócio- espaciais oriundos do processo de desertificação: a dinâmica das unidades geoambientais e suas conseqüências no município de Irauçuba-Ce. **Revista GeoNorte**, Edição Especial, V.1, N.4, p.721 – 729, 2012.

AQUINO, D. do N. *et al.* Use of remote sensing to identify areas at risk of degradation in the semi-arid region. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 49, n. 3, p.420-429, jul-set, 2018. Disponível em: <www.scielo.br/pdf/rca/v49n3/1806-6690-rca-49-03-0420.pdf>. Acesso em: 02 out. 2018.

BARROS, K. de O. **Índice de aridez como indicador da susceptibilidade à desertificação na mesorregião de Minas Gerais**. 2010. 89 f. TCC (Graduação) - Curso de Geografia, Universidade Federal de Viçosa – Mg, Viçosa, 2010.

BRASIL. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Atlas das áreas susceptíveis à desertificação do Brasil/MMA**, Secretaria de Recursos Hídricos, Universidade Federal da Paraíba; Marcos Oliveira Santana, organizador. Brasília: MMA, 2007.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. **Grupo de Trabalho para Delimitação do Semiárido**. Brasília: Ministério da Integração Nacional, 2017. 429 p. Disponível em: <<http://www.integracao.gov.br/documents/10157/4209601/E6-Relat%C3%B3rio+final+do+GT+Delimita%C3%A7%C3%A3o+do+Semi%C3%A1rido.pdf>>. Acesso em: 02 set. 2018.

BRASIL, PAN. **Programa de Ação Nacional de combate à desertificação**. Brasília, DF:Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos, 2004.

BRASIL. **Combate à Desertificação**. Elaborado por: Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/gestao-territorial/combate-a-desertificacao>>. Acesso em: 02 out 2018.

CAETANO, F. A. de O. **Desertificação e pobreza rural: Uma análise do município de Irauçuba- Ceará**. 2014. 65 f. Monografia (Especialização) - Curso de Ciências Econômicas, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014. Disponível em: <<http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/33441>>. Acesso em: 21 set. 2018.

CEARÁ. Secretaria dos Recursos Hídricos; OLIVEIRA, João Bosco de; ALVES, Jesualdo Justino; FRANÇA, Francisco Mavignier Cavalcante. **Práticas de manejo e conservação de**

solo e água no semiárido do Ceará. Fortaleza: SRH, 2010. 37 p. (Cartilhas Temáticas Tecnologias e Práticas Hidroambientais para Convivência com Semiárido; v. 4)

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

CEARÁ. INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ. **Perfil Geossocioeconômico: Um olhar para as Macrorregiões de Planejamento do Estado do Ceará.** Fortaleza: Ipece, 2014. 174 p.

CEARÁ. Instituto de Pesquisas e Estratégia Econômica do Ceará. **Perfil Municipal 2017 Irauçuba.** 2017. Disponível em: <http://www.ipece.ce.gov.br/perfil_basico_municipal/2017/Iraucuba.pdf>. Acesso em: 01 set. 2018.

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS – CGEE. **Desertificação, degradação da terra e secas no Brasil.** Brasília, DF: 2016. 252p.

COMISSÃO MUNDIAL SOBRE O MEIO AMBIENTE E O DESENVOLVIMENTO. **Nosso Futuro Comum.** 2. ed. Rio de Janeiro: Editora da Fundação Getúlio Vargas, 1991. 430 p.

Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. **PROGRAMA LEVANTAMENTOS GEOLÓGICOS BÁSICOS DO BRASIL.** Brasília: Brasília, 1999.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **RESOLUÇÃO CONAMA nº 238, de 22 de dezembro de 1997.** Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=238>> Acesso em: 04/09/2018.

DATA, Climate. **Clima de Irauçuba.** 201?. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/ceara/irauçuba-27484/>>. Acesso em: 19 set. 2018.

DOURADO, Camila da Silva. **Áreas de risco de desertificação: cenários atuais e futuros frente às mudanças climáticas.** 2017. 141 f. Tese (Doutorado) - Curso de Doutorado em Engenharia Agrícola, Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2017. Disponível em: <www.repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/330998/1/Dourado_CamilaDaSilva_D.pdf>. Acesso em: 20 set. 2018.

GIL, A.C. Métodos e técnicas de pesquisa social. 4 ed. São Paulo: Atlas, 1994. 207 p.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Histórico de Irauçuba.** Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/irauçuba/historico>>. Acesso em: 06 set. 2018.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Panorama da cidade de Irauçuba - Ce.** Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/irauçuba/panorama>>. Acesso em: 19 set. 2018.

INSTITUTO CACTOS. **Plano de Ação Municipal de Combate a Desertificação de Irauçuba**. Irauçuba, CE, 2009. 40p.

LEITE, Ana Paula; SANTOS, Glaucia Regina; SANTOS, Jannaylton Éverton Oliveira. ANÁLISE TEMPORAL DOS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO NDVI E SAVI NA ESTAÇÃO EXPERIMENTAL DE ITATINGA UTILIZANDO IMAGENS LANDSAT 8. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, Curitiba, v. 6, n. 4, p.606-623, abr./maio 2017. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/rber/article/view/45830/pdf>>. Acesso em: 03 out. 2018.

LEMOS, J. J. S. Desertificação e Pobreza no Semi-árido do Nordeste. In: OLIVEIRA, T. S., ASSIS Jr., R. M. *et al.* (org). **Agricultura, sustentabilidade e o semi-árido**. Minas Gerais: Editora Folha de Viçosa, 2000, p. 114-136.

LIMA, Jáder Ribeiro de. **Uma proposta de delimitação da área de degradação/desertificação de Canindé, Ceará**. 2015. 102 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado Acadêmico em Geografia, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2015. Disponível em: <http://www.uece.br/mag/dmdocuments/jader_ribeirode_lima.pdf>. Acesso em: 09 set. 2018.

MARTINS, Carolina Malala *et al.* ATRIBUTOS QUÍMICOS E MICROBIANOS DO SOLO DE ÁREAS EM PROCESSO DE DESERTIFICAÇÃO NO SEMIÁRIDO DE PERNAMBUCO. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa, v. 34, n. 6, p.1883-1890, Não é um mês valido! 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-06832010000600012&script=sci_arttext&tlng=pt>. Acesso em: 17 set. 2018.

MATALLO JUNIOR. H. A desertificação no mundo e no Brasil. In: SCHENKEL, C. S. e MATALLO JR, H (Org). **Desertificação**. Brasília: UNESCO, 2a. Ed. 2003, p. 12-25.

MELO, Ewerton Torres; SALES, Marta Celina Linhares. **Aplicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para análise da degradação ambiental da microbacia hidrográfica do Riacho dos Cavalos, Crateús - CE**. 2011. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/raega/article/view/24919/16717>>. Acesso em: 10 nov. 2018.

NOLÊTO, T. M. S. de J. **Suscetibilidade geoambiental das terras secas da microrregião de Sobral / Ce à desertificação**. 2005. 145 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Departamento de Geografia, Fortaleza-CE, 2005.

OLIVEIRA, M. J. M. de. **Degradação ambiental, sucessão ecológica e sistemas de uso da terra no semiárido brasileiro**: Enfoques ao município de Independência, estado do Ceará. 2017. 136 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2017. Disponível em: <http://uece.br/mag/dmdocuments/maria_jaqueline_martinsde_oliveira.pdf>. Acesso em: 01 set. 2018.

OLIVEIRA, Vlândia Pinto Vidal de. INDICADORES BIOFÍSICOS DE DESERTIFICAÇÃO, CABO VERDE/ÁFRICA (biophysical indicators of desertification, Cape Verde/Africa). **Mercator**, Fortaleza, v. 10, n. 22, p. p. 147 a 168, June 2011. ISSN 1984-2201. Available at: <<http://www.mercator.ufc.br/mercator/article/view/623>>. Date accessed: 20 set. 2018.

OLIVEIRA, J. G. B. de; SALES, M. C. L. (Org.). **Monitoramento da desertificação em Irauçuba**. Fortaleza: Imprensa Universitária da UFC, c2015. 369 p.

PEREZ-MARIN, A. M *et al.* **Núcleos de desertificação no semiárido brasileiro: ocorrência natural ou antrópica?**. *Parc. Estrat.*, Brasília, v. 17, n. 34, p. 87-106, jan-jun, 2012.

PINHEIRO, R. A. B. **Análise do processo de degradação/desertificação na bacia do riacho Feiticeiro, com base no DFC, município de Jaguaribe - Ceará**. 129 f. Dissertação (mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

SARAIVA, Isabelle Marinho Quinderé. **O emprego da reserva legal no município de Irauçuba - CE**. 2013. 122 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/16285/1/2013_dis_imqsaraiva.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2018.

SCHENKEL, C. S.; MATALLO JUNIOR, H. (Org.). **A Desertificação no mundo**. Brasília, UNESCO, 2a. Ed. 2003. 80p.

Secretaria dos Recursos Hídricos. **Atlas Eletrônico dos Recursos Hídricos do Ceará**. 2010. Disponível em: <<http://atlas.srh.ce.gov.br/gestao/postos-pluviometricos/index.php>>. Acesso em: 30 set. 2018.

SOUSA, S. C. de. **Avaliação da degradação/desertificação causada pelo uso e ocupação do solo em áreas dos Rios São Francisco (PE) e Jaguaribe (CE): propostas de recuperação**. 2014. 373 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós- Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

SOUSA, M. C. *et al.* Sustentabilidade da agricultura familiar em assentamentos de reforma agrária no Rio Grande do Norte. **Revista Econômica do Nordeste**, Fortaleza, v. 36, no 1, 96 a120 p.jan-mar. 2005.

SOUZA, B. I. de, SUERTEGARAY, D. M. A. **Desertificação: considerações sobre o estado atual do conhecimento e a repartição do processo**. Rio Grande do Sul: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Boletim Gaúcho de Geografia. 2005. 12 pg.

THORNTHWAITE, C.W. **Atlas of Climatic Types in the United States**. Miscel Publ. N° 421. U.S. Departamento f Agriculture, Forest Service.1941.

TRIGUEIRO, Eliedir Ribeiro da Cunha. **Vulnerabilidade aos processos de degradação/desertificação no município de Tauá/Ce. Estudo de caso**: Escola Agrícola de Tauá. 2004. 126 f. Dissertação de Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal do Ceará.

VASCONCELOS SOBRINHO, J. Núcleos de desertificação no polígono das secas - nota prévia. In: **ICB – UFPE**, 1971, p. 69-73.

_____. **Metodologia para identificação dos processos de desertificação: manual de indicadores**. Recife: SUDENE, 1978.

VIGANÓ, H. A.; BORGES, E. F.; ROCHA, W. J. S. F. Análise do desempenho dos Índices de Vegetação NDVI e SAVI a partir de imagem. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. abr.-mai. 2011, Curitiba. **Anais...**Curitiba, 2011. Disponível em: <<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte/2011/07.14.17.45/doc/p1364.pdf>>. Acesso em: 12 out. 2018