



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

YRVING BRANDÃO FERREIRA

**VARIABILIDADE PLUVIOMÉTRICA E DO BALANÇO HÍDRICO NO SISTEMA
AGROPECUÁRIO DO NÚCLEO DE DESERTIFICAÇÃO DO MÉDIO JAGUARIBE-
CE**

**FORTALEZA
2025**

YRVING BRANDÃO FERREIRA

VARIABILIDADE PLUVIOMÉTRICA E DO BALANÇO HÍDRICO NO SISTEMA
AGROPECUÁRIO DO NÚCLEO DE DESERTIFICAÇÃO DO MÉDIO JAGUARIBE-CE

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Geografia. Área de concentração: Natureza, Campo e Cidade no Semiárido.

Orientadora: Profa. Dra. Vládia Pinto Vidal de Oliveira.

Coorientador: Prof. Dr. Sulivan Pereira Dantas

FORTALEZA

2025

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

F444v Ferreira, Yrvning Brandão.

Variabilidade pluviométrica e do balanço hídrico no sistema agropecuário do núcleo de desertificação do médio Jaguaribe-ce / Yrvning Brandão Ferreira. – 2025.

200 f. : il. color.

Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Programa de Pós-Graduação em Geografia , Fortaleza, 2025.

Orientação: Profa. Dra. Vládia Pinto Vidal de Oliveira..

Coorientação: Prof. Dr. Sulivan Pereira Dantas.

1. Desertificação. 2. Balanço Hídrico. 3. Veranicos. 4. Ceará. I. Título.

CDD 910

YRVING BRANDÃO FERREIRA

VARIABILIDADE PLUVIOMÉTRICA E DO BALANÇO HÍDRICO NO SISTEMA
AGROPECUÁRIO DO NÚCLEO DE DESERTIFICAÇÃO DO MÉDIO JAGUARIBE-CE

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Geografia. Área de concentração: Natureza, Campo e Cidade no Semiárido.

Aprovada em: 25/09/2025.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dra. Vládia Pinto Vidal de Oliveira (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Diego Teixeira de Araujo
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)

Prof. Dra. Érika Gomes Brito
Universidade Estadual do Ceará (UECE)

Prof. Dr. Antonio Ferreira Lima Junior
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dra. Marta Celina Linhares Sales
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

Aos meus pais, Gilberto e Maria Augusta.

E amada esposa, Larisse Freitas Soares

AGRADECIMENTOS

À Instituição Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Funcap), pelo apoio financeiro com a manutenção da bolsa de auxílio.

A Deus, por ter me guiado e protegido durante toda a minha vida, e por ter me dado o maior presente de todos, uma família maravilhosa.

A Prof. Dra. Vládia Pinto Vidal de Oliveira, pela orientação, amizade e experiências compartilhadas em todos estes anos.

Ao Prof. Dr. Sulivan Pereira Dantas pela coorientação, conselhos e ajuda.

Aos professores participantes da banca examinadora, Érica, Junior, Diego e Marta, pelo tempo, amizade, pelas valiosas colaborações e sugestões.

Aos meus pais, Gilberto e Maria Agusta pela vida, aconselhamento e por todo amor recebido diariamente.

A minha irmã, Yasmim Brandão, pela amizade e carinho.

A minha esposa e grande amor da minha vida, Larrisse Freitas Soares, pelo amor, cumplicidade, respeito e carinho inestimáveis.

Aos amigos, Juliana, Sarah, Jackson e Jean, pela amizade e risadas compartilhadas.

A todos os meus tios, tias, primos, que sempre me ajudaram e me orientaram a ser uma pessoa mais íntegra e de caráter. Aos meus amigos de curso, por todos os bons momentos vividos, pelas discussões e aprendizado compartilhado.

“Lute com determinação, abrace a vida com paixão, perca com classe e vença com ousadia, porque o mundo pertence a quem se atreve e a vida é muito para ser insignificante.” (Augusto Branco)

RESUMO

A elevada evapotranspiração e a irregularidade espaço-temporal das precipitações provocam graves impactos no desenvolvimento da agropecuária do semiárido cearense, ocasionando aumento dos custos de produção, quebra de safras e redução da segurança alimentar. Os veranicos, que são os dias consecutivos com ausência de precipitação durante o período da estação chuvosa, agravam esse quadro de fragilidade ambiental, acarretando elevação das perdas nas safras agrícolas. O Balanço Hídrico Climatológico fornece importantes dados e informações acerca das potencialidades e limitações ambientais, auxiliando no planejamento agropecuário e hidroclimatológico regional. Esta pesquisa tem por objetivo avaliar as repercussões da semiaridez, a partir dos aspectos hidroclimáticos e socioeconômicos, no sistema agropecuário da área de Susceptibilidade à Desertificação do Médio Jaguaribe. Visando contribuir com o aprimoramento do Zoneamento Ecológico Econômico da ASD do Médio Jaguaribe. O núcleo de susceptibilidade à desertificação do Médio Jaguaribe apresenta um quadro persistente de acirramento do seu processo de desertificação e redução de produção agrícola. Para esta pesquisa, utilizaram-se de métodos estatísticos - Método de correlação de Pearson (r), Coeficiente de determinação (R^2) e Modelo de regressão linear (univariado e multivariado) com o intuito de correlacionar e discutir as variáveis estimadas. Além da utilização do balanço hidroclimatológico de Thornthwaite e Matther e dos cálculos de graus dos veranicos e perdas de safra. Diante do exposto, é possível concluir que os veranicos foram a variável climática que demonstrou maior impacto na produtividade das lavouras temporárias (Milho e Feijão), indicando que períodos prolongados de seca durante a estação chuvosa são os principais agentes climáticos responsáveis pela perda de produtividade agrícola. Este fato foi atestado no modelo de regressão linear univariado e multivariado. Observaram-se correlações mais expressivas entre as variáveis climáticas e a produção agrícola (Feijão e Milho), enquanto a produção pecuária (Bovino, Caprino, Ovino, Suíno, Leite, Mel) e florestal (Carvão vegetal e Lenha) apresentaram correlações mais fracas ou não significativas com os fatores climáticos analisados. Os déficits hídricos foram mais elevados durante o período de setembro a dezembro. Isto decorre da ausência ou redução drástica de precipitações durante estes meses. Logo, a partir da maior escassez pluviométrica durante este período, o déficit se acentua.

Palavras-chave: desertificação; balanço hídrico; semiárido; Ceará; veranicos.

ABSTRACT

High evapotranspiration and irregular spatiotemporal rainfall have serious impacts on agricultural development in the semi-arid region of Ceará, leading to increased production costs, crop failures, and reduced food security. Dry spells, which are consecutive days with no precipitation during the rainy season, exacerbate this environmental fragility, leading to increased crop losses. The Climatological Water Balance provides important data and information on environmental potential and limitations, aiding regional agricultural and hydroclimatic planning. This research aims to assess the impact of semiarid conditions, based on hydroclimatic and socioeconomic aspects, on the agricultural system in the area susceptible to desertification in the Middle Jaguaribe. This research used statistical methods—Pearson's correlation method (r), coefficient of determination (R^2), and linear regression models (univariate and multivariate)—to correlate and discuss the estimated variables. In addition to using the Thornthwaite and Mather hydroclimatological balance and calculating the degrees of drought and crop losses. Given the above, it is possible to conclude that dry spells were the climatic variable that demonstrated the greatest impact on the productivity of temporary crops (corn and beans), indicating that prolonged periods of drought during the rainy season are the main climatic agents responsible for the loss of agricultural productivity. This fact was confirmed in the univariate and multivariate linear regression models. Stronger correlations were observed between the climatic variables and agricultural production (beans and corn), while livestock production (cattle, goats, sheep, swine, milk, honey) and forestry production (charcoal and firewood) showed weaker or insignificant correlations with the analyzed climatic factors. Water deficits were highest during the period from September to December. This is due to the absence or drastic reduction of rainfall during these months. Therefore, with the greatest rainfall scarcity during this period, the deficit intensifies.

Keywords: desertification; water balance; semi-arid region; Ceará; dry spells.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Distribuição dos estabelecimentos agropecuários dos municípios de Alto Santo e Jaguaretama	66
Figura 2 – Distribuição dos estabelecimentos agropecuários dos municípios de Jaguaribara, Jaguaribe e Morada Nova	68
Figura 3 – Delimitação oficial do semiárido de acordo com a Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste	76
Figura 4 – Municípios Susceptíveis a Desertificação no Ceará	81
Figura 5 – Fluxograma de Etapas da Pesquisa	97
Figura 6 – Associação entre Graus e Pesos dos Veranicos	100

LISTA DE MAPAS

Mapa 1 – Núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe	22
Mapa 2 – Mapa Hipsométrico do Núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe	27
Mapa 3 – Bacias Hidrográficas Inseridas no Núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe	31
Mapa 4 – Drenagem Hídrica do Núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe	37
Mapa 5 – Associação de Solos do Núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe	40
Mapa 6 – Sistemas Ambientais do Núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe	47
Mapa 7 – Uso e Cobertura do Núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe	50
Mapa 8 – Distribuição das Estações Pluviométricas do Núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe	107
Mapa 9 – Distribuição da Precipitação Total Anual	116
Mapa 10 – Distribuição da Evapotranspiração Potencial Anual	119
Mapa 11 – Distribuição da Evapotranspiração Real Anual	122
Mapa 12 – Distribuição do Excedente Hídrico Anual	124
Mapa 13 – Distribuição do Déficit Hídrico Anual	127
Mapa 14 – Distribuição da Precipitação Durante os Anos-Padrão	130
Mapa 15 – Distribuição do Excedente Hídrico Durante os Anos-Padrão	131
Mapa 16 – Distribuição do Déficit Hídrico Durante os Anos-Padrão	133

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Distribuição do PIB a Preços Correntes em Morada Nova	56
Gráfico 2 – Distribuição do PIB a Preços Correntes em Jaguaribe	56
Gráfico 3 – Distribuição do PIB a Preços Correntes em Alto Santo	57
Gráfico 4 – Distribuição do PIB a Preços Correntes em Jaguaretama	57
Gráfico 5 – Distribuição do PIB a Preços Correntes em Jaguaribara	58
Gráfico 6 – Histograma de Dados de Precipitação	168
Gráfico 7 – Histograma de Dados do Excedente	169
Gráfico 8 – Histograma de Dados do Déficit	169
Gráfico 9 – Histograma de Dados do Indicador de Veranicos	170
Gráfico 10 – Boxplot das Variáveis de Produção	173
Gráfico 11 – Boxplot das Variáveis de Produção Separadas por Município	174

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Distribuição dos Empregos Formais de Morada Nova	51
Tabela 2 – Distribuição dos Empregos Formais de Jaguaribe	52
Tabela 3 – Distribuição dos Empregos Formais de Alto Santo	53
Tabela 4 – Distribuição dos Empregos Formais de Jaguaretama	54
Tabela 5 – Distribuição dos Empregos Formais de Jaguaribara	55
Tabela 6 – Distribuição do IDH de Morada Nova	59
Tabela 7 – Distribuição do IDH de Jaguaribe	59
Tabela 8 – Distribuição do IDH de Alto Santo	60
Tabela 9 – Distribuição do IDH de Jaguaretama	60
Tabela 10 – Distribuição do IDH de Jaguaribara	61
Tabela 11 – Distribuição do IDM de Morada Nova	63
Tabela 12 – Distribuição do IDM de Jaguaribe	63
Tabela 13 – Distribuição do IDM de Alto Santo	64
Tabela 14 – Distribuição do IDM de Jaguaretama	65
Tabela 15 – Distribuição do IDM de Jaguaribara	65
Tabela 16 – Variação da quantidade de municípios entre as delimitações do Semiárido de 2017 e 2021.	77
Tabela 17 – Estações Pluviométricas	106
Tabela 18 – Capacidades de Armazenamento de Água do Solo	108
Tabela 19 – Distribuição dos Anos-Padrão	109
Tabela 20 – Distribuição dos Índices de Veranicos e Perdas de Safra no Ano Super Seco	146
Tabela 21 – Distribuição dos Índices de Veranicos e Perdas de Safra no Ano Seco	149
Tabela 22 – Distribuição dos Índices de Veranicos e Perdas de Safra no Ano	149

Habitual	
Tabela 23 – Distribuição dos Índices de Veranicos e Perdas de Safra no Ano	
Úmido	150
Tabela 24 – Distribuição dos Índices de Veranicos e Perdas de Safra no ano Super	
Úmido	151
Tabela 25 – Estatísticas descritivas das variáveis Climáticas	167
Tabela 26 – Estatísticas descritivas das variáveis de Produção	171
Tabela 27 – Matriz de correlações das variáveis Climáticas e de Produção	175
Tabela 28 – Correlação entre as variáveis Climáticas	177
Tabela 29 – Resultados da regressão linear para (Feijão (t))	177
Tabela 30 – Resultados da regressão linear para (Feijão (kg por Ha))	180
Tabela 31 – Resultados da regressão linear para (Milho (t))	181
Tabela 32 – Resultados da regressão linear para modelar Milho (kg por ha)	182
Tabela 33 – Resultados da regressão linear para modelar Carvão vegetal (t)	184
Tabela 34 – Resultados da regressão linear para (Lenha (m ³))	185
Tabela 35 – Resultados da regressão linear para (Leite (100l))	185
Tabela 36 – Resultados da regressão linear para (Mel (kg))	186
Tabela 37 – Resultados da regressão linear para (Bovino (cabeças))	187
Tabela 38 – Resultados da regressão linear para (Caprino (cabeças))	187
Tabela 39 – Resultados da regressão linear para (Ovino (cabeças))	188
Tabela 40 – Resultados da regressão linear para (Suíno (cabeças))	189

LISTA DE PRANCHAS

Prancha 1 – Balanço Hídrico Climatológico do Ano Super Seco	136
Prancha 2 – Balanço Hídrico Climatológico do Ano Seco	138
Prancha 3 – Balanço Hídrico Climatológico do Ano Habitual	140
Prancha 4 – Balanço Hídrico Climatológico do Ano Úmido	142
Prancha 5 – Balanço Hídrico Climatológico no Ano Super Úmido	143
Prancha 6 – Distribuição das Lavouras Temporárias	148
Prancha 7 – Distribuição da Produção de Carvão Vegetal	153
Prancha 8 – Distribuição da Produção de Lenha	154
Prancha 9 – Distribuição da Produção de Leite	156
Prancha 10 – Distribuição da Produção de Mel	159
Prancha 11 – Distribuição da Produção Pecuária em Morada Nova, Alto Santo e Jaguaretama .	162
Prancha 12 – Distribuição da Produção Pecuária em Jaguaribe e Jaguariaba	163
Prancha 13 – Distribuição da Evolução do Produto Interno Bruto por Setor (Agropecuária, Indústria e Serviços)	166

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
2	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	24
2.1	Contexto Geoambiental do Núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe	24
2.1.1	<i>Condições Geológicas e Geomorfológicas</i>	24
2.1.2	<i>Condições Hidroclimáticas</i>	28
2.1.3	<i>Perímetros Irrigados no Ceará</i>	34
2.1.4	<i>Solos</i>	38
2.1.5	<i>Vegetação</i>	41
2.1.6	<i>Sistemas Ambientais</i>	42
2.1.7	<i>Uso da Terra</i>	48
2.2	Indicadores Socioeconômicos	51
2.2.1	<i>Distribuição dos Empregos Formais</i>	51
2.2.2	<i>Produto Interno Bruto (PIB) a Preços Correntes</i>	55
2.2.3	<i>Índice de Desenvolvimento Humano</i>	58
2.2.4	<i>Índice de Desenvolvimento Municipal</i>	61
2.2.5	<i>Estrutura Fundiária do Núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe</i>	65
2.3	Uso e Ocupação dos Sertões do Médio Jaguaribe	68
3	REFERENCIAL TEÓRICO	71
3.1	A Problemática da Desertificação	71
3.2	Áreas de Susceptibilidade a Desertificação no Ceará	78
3.3	Uso e Ocupação do Semiárido Cearense	82
3.4	Caatinga, Clima e Recursos Hídricos	85
3.5	Impactos da Variabilidade Climática no Sistema Agropecuário	89
3.6	Balanço Hídrico Climatológico	93
4	METODOLOGIA	96
4.1	Anos-Padrão	98
4.2	Indicador de Veranicos	99
4.3	Perdas de Safra	100
4.4	Balanço Hídrico Climatológico	101
4.5	Interpolação dos Dados	101

4.6	Correlações Estatísticas	102
4.6.1	<i>Modelo de Regressão Normal</i>	103
4.7	Tratamento dos Dados	105
5	DINÂMICA DO BALANÇO HÍDRICO NO SISTEMA AGROPECUÁRIO ...	112
5.1	Barreiras Orográficas	112
5.2	Precipitação Total Anual	114
5.3	Evapotranspiração Potencial Anual	117
5.4	Evapotranspiração Real Anual	120
5.5	Excedente Hídrico Anual	123
5.6	Déficit Hídrico Anual	125
5.7	Precipitação (Anos-Padrão)	126
5.8	Excedente Hídrico (Anos-Padrão)	129
5.9	Déficit Hídrico (Anos-Padrão)	132
5.10	Balanço Hídrico Climatológico nos Anos Padrão	134
5.10.1	<i>Ano Super Seco (2012)</i>	134
5.10.2	<i>Ano Seco (2005)</i>	137
5.10.3	<i>Ano Habitual (2018)</i>	139
5.10.4	<i>Ano Úmido (2002)</i>	141
5.10.5	<i>Ano Super Úmido (2009)</i>	141
5.11	Indicador de Veranicos	144
5.12	Lavora Temporária	145
5.12.1	<i>Perdas de Safra da Lavoura Temporária no Ano Super Seco</i>	146
5.12.2	<i>Perdas de Safra da Lavoura Temporária no Ano Seco</i>	147
5.12.3	<i>Perdas de Safra da Lavoura Temporária no Ano Habitual</i>	149
5.12.4	<i>Perdas de Safra da Lavoura Temporária no Ano Úmido</i>	150
5.12.5	<i>Perdas de Safra da Lavoura Temporária no Ano Super Úmido</i>	151
5.13	Produção de Lenha e Carvão Vegetal	152
5.14	Produção de Leite	155
5.15	Produção de Mel	157
5.16	Produção Pecuária	160
5.17	Setores Produtivos	164
5.18	Correlações Estatísticas	167
5.18.1	<i>Análise Exploratória e Descritiva</i>	167

5.18.2	<i>Análise Descritiva das Variáveis Climáticas</i>	167
5.18.3	<i>Análise Descritiva das Variáveis de Produção</i>	170
5.18.4	<i>Análise de Correlação</i>	175
5.18.5	<i>Modelo de Regressão Linear</i>	176
5.18.5.1	<i>Feijão (t)</i>	177
5.18.5.2	<i>Feijão (kg/ha)</i>	180
5.18.5.3	<i>Milho (t)</i>	181
5.18.5.4	<i>Milho (kg/ha)</i>	182
5.18.5.5	<i>Carvão Vegetal</i>	184
5.18.5.6	<i>Lenha</i>	184
5.18.5.7	<i>Leite</i>	185
5.18.5.8	<i>Mel</i>	186
5.18.5.9	<i>Bovinos</i>	187
5.18.5.10	<i>Caprinos</i>	187
5.18.5.11	<i>Ovinos</i>	188
5.18.5.12	<i>Suínos</i>	189
6	CONCLUSÃO	190
	REFERÊNCIAS	193

1 INTRODUÇÃO

O processo de desertificação gera impactos ambientais, econômicos e sociais. Entre eles, destaca-se a perda da biodiversidade (fauna, flora e microrganismos), comprometimento da produção de alimentos, quebra de safras, perda de capacidade produtiva de extensas áreas agrícolas e o agravamento do quadro de desnutrição. (Souza, 2006).

O semiárido nordestino é caracterizado, de modo geral, pela aridez climática, deficiência hídrica com imprevisibilidade das precipitações e produtividade agrícola e pela presença de solos rasos, cristalinos e pobres em nutrientes. (Silva, 2006).

Nessa região, a vegetação predominante é a caatinga, que tem uma diversidade maior que qualquer outro bioma do mundo sob as mesmas condições de clima e de solo, mas está entre os biomas brasileiros mais degradados pela ação antrópica. Este Bioma encontra-se em acentuado processo de degradação, ocasionado, principalmente, pelo desmatamento e uso inadequado dos recursos naturais (Araújo, 2010).

Conforme o Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos das Secas (PAN-Brasil), os espaços semiáridos e subúmidos secos do Nordeste brasileiro foram reconhecidos como as Áreas Susceptíveis à Desertificação (ASD's) (Pan Brasil, 2005).

De acordo com Ceará (2010), a desertificação no semiárido nordestino vem comprometendo uma área de mais de 180. 000 km², 13% da região, implicando na geração de impactos difusos e concentrados sobre o território.

A variabilidade climática, principalmente os eventos relacionados à escassez de chuvas, tem custos econômicos significativos para as atividades agrícolas do semiárido nordestino, levando a grandes custos macroeconômicos e reduções no crescimento econômico (Ochieng et al., 2016). Os riscos ocasionados por essa variabilidade da precipitação pluviométrica sobre a produção agrícola servem como uma motivação ao investimento em melhorias na tecnologia agrícola empregada e em estratégias para uma agricultura resiliente ao clima (Olayide et al., 2016).

Nessa região, as atividades agropecuárias são extremamente dependentes das condições climáticas, ficando assim sujeitas à variabilidade de precipitação pluviométrica (Tinôco et al., 2019). As oscilações nos padrões de precipitação pluviométrica são um dos principais fatores que levam a agricultura do SAB a apresentar baixos índices de rendimento (Casagrande; Souza, 2012). Durante as estiagens, os prejuízos relativos às percas de produção atingem cifras expressivas e comprometem a economia local (Santos et al., 2012).

A problemática hidroclimática no semiárido nordestino é tão grave que, mesmo em anos em que o total pluviométrico se encontra elevado, a distribuição dessa precipitação ao longo do período chuvoso pode impactar na produção agrícola e no abastecimento de água. Este é outro tipo de variabilidade pluviométrica que se manifesta de maneira menos evidente, é a chamada variabilidade pluviométrica intrasazonal que se expressa nos chamados veranicos, eles são dias dentro do período chuvoso em que não chove ou chove muito pouco (Rodrigues, 2016).

O Ceará é o estado brasileiro com maior susceptibilidade à desertificação, possuindo, aproximadamente, 98% do seu território, equivalente a 175 municípios, submetido à influência da semiaridez (Sudene, 2017).

Os recursos naturais do estado sofrem continuadamente transformações ocasionadas pelo histórico de uso e ocupação do território, que não tem mantido observância sobre suas limitações. Os solos e a cobertura vegetal de caatingas estão, em partes, significativamente degradados em função das pressões a que são submetidas que, aliadas às condições hidroclimáticas, ocasionam danos em áreas susceptíveis ao processo acentuado da desertificação (Ceará, 2010).

O Ceará, através do seu Programa de Ação Estadual de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca (PAE/CE), identificou em Irauçuba e Sertões Centro-Norte, Inhamuns e Médio Jaguaribe como Núcleos de Desertificação. De acordo com estudos feitos pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCUME) desde a década de 90, estas áreas encontram-se em avançado estado de degradação (Funceme, 2015).

Segundo Ceará (2010) as áreas de atuação do PAE/CE compreendem 3 núcleos, compostos de 14 municípios, localizados nos Sertões dos Inhamuns, de Irauçuba, e do Médio Jaguaribe, que correspondem a 23% do Estado, representando as áreas em processo mais avançado de desertificação, conforme critérios ambientais e socioeconômicos.

Segundo Oliveira (2006), a pecuária extensiva praticada nos núcleos de desertificação cearense provoca o aumento da exploração dos recursos naturais, tanto pela pressão gerada à vegetação nativa, consumida pelos rebanhos, quanto pela compactação do solo pelo pisoteio excessivo dos animais. Geralmente, os criadores aumentam o número de bovinos, caprinos e ovinos além da capacidade de suporte do ecossistema, que já é naturalmente baixa.

A degradação dos ecossistemas dos núcleos de desertificação cearense traz como consequência o declínio da produtividade agropecuária, da renda e da qualidade de vida do produtor rural (Araujo, 2010). O desmatamento e as queimadas são práticas comuns para a

preparação da terra com fins agropecuários, alterando esses ambientes e tendo como consequência a diminuição da diversidade vegetal e animal (Albuquerque et al., 2010).

O Núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe (Mapa 1) é constituído pelos municípios de Jaguaribe, Jaguaretama, Jaguariaba, Alto Santo e Morada Nova, com 8.422,77 km² de área (Ceará, 2018).

A ocupação dos sertões do Médio Jaguaribe é antiga e teve como expressão máxima o binômio gado-algodão. Este cenário foi marcado por uma conjuntura econômica que proporcionou riqueza para os proprietários sertanejos e, em contrapartida, pobreza para as caatingas (Guerra et al., 2012).

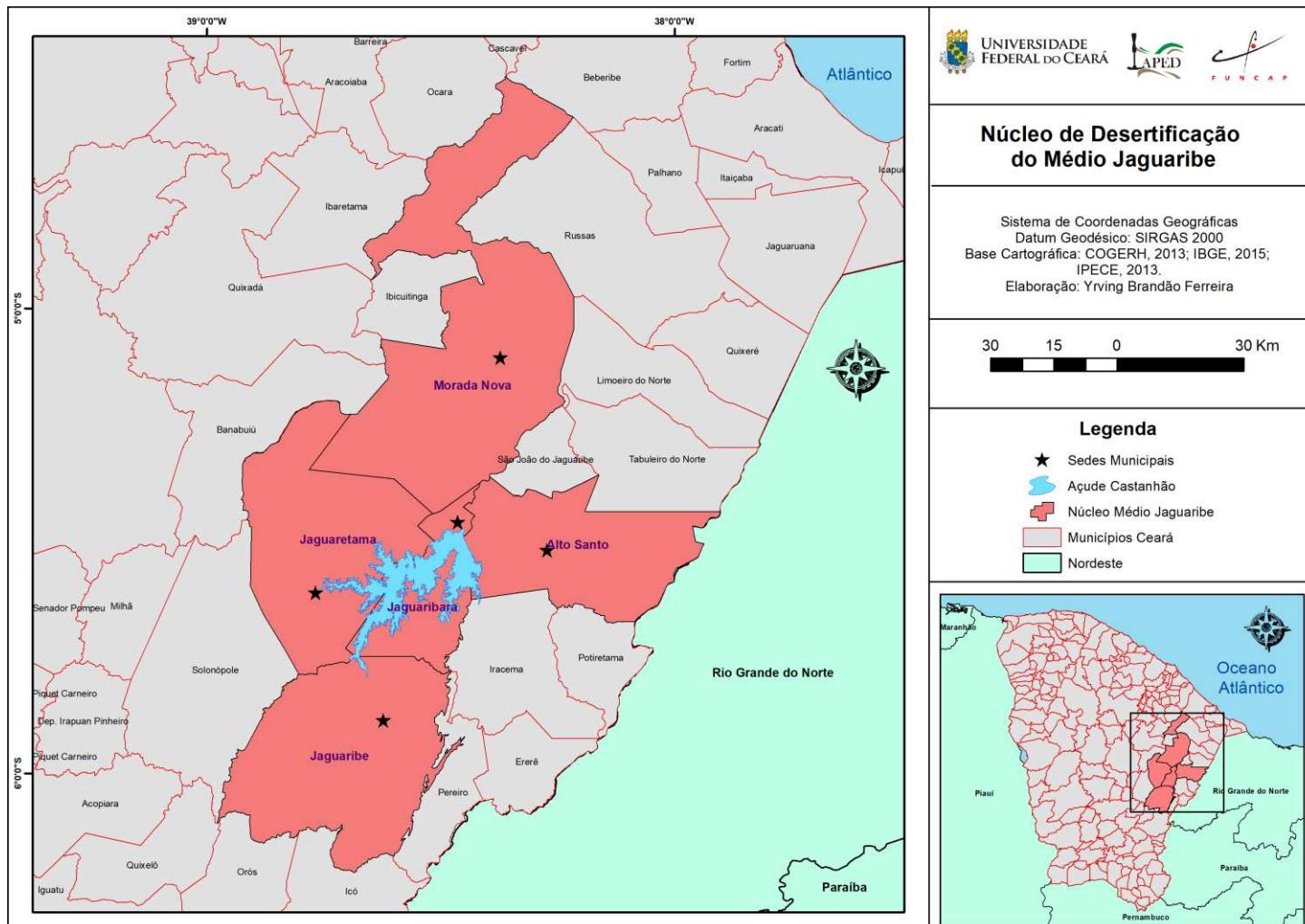
No conjunto, os sertões do Médio Jaguaribe formam um ambiente complexo, característico do semiárido. Em virtude das potencialidades naturais abrigadas por esse contíguo, fixaram-se os primeiros povoamentos, mais tarde fortalecidos pelas atividades econômicas (Guerra et al., 2012).

Guerra et al. (2012) apontaram que o núcleo de susceptibilidade à desertificação do Médio Jaguaribe apresenta um quadro contínuo de agravamento do seu processo de desertificação e perda de produção agrícola. Isto ocorre em razão das fragilidades naturais expressadas pela semiaridez e de maneira indistinta pelo uso e ocupação, tendo a pecuária e a cultura do algodão como vetores da supressão da vegetação e do aumento dos solos expostos.

O balanço hídrico climatológico tem-se mostrado uma ferramenta eficiente em compreender a variação hídrica do solo e, a partir disto, diagnosticar o seu respectivo grau de desertificação. Dentre as várias técnicas de cálculo do balanço hídrico climatológico o método que obteve maior aplicabilidade foi o de Thornthwaite & Mather (1955), por entender que a disponibilidade de água no solo é reduzida quando a capacidade de armazenamento dele também diminui, utilizando o solo como variável importante no cálculo do balanço hídrico.

A compreensão das variáveis que compõem o balanço hídrico climatológico favorece o planejamento agropecuário e as práticas de controle de produção, ou seja, fornece informações que possibilitam aos produtores reconhecer as fragilidades climáticas, sendo uma ferramenta imprescindível para o sucesso de um empreendimento agrícola (Santos et al., 2010).

Mapa 1 – Núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2025

A pesquisa justificou-se pela importância do diagnóstico dos impactos da semiaridez e da variabilidade pluviométrica no sistema agropecuário do Núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe. Visando contribuir com o aprimoramento do Zoneamento Ecológico Econômico da ASD do Médio Jaguaribe.

Trabalhou-se com a hipótese de que as características edáficas e geomorfológicas, em associação com seu respectivo balanço hídrico climatológico, e histórico de uso e ocupação, são eficientes indicadores das potencialidades e limitações dos sistemas agropecuários dos Núcleos de Desertificação.

O objetivo geral desta pesquisa foi avaliar as repercussões da semiaridez, a partir dos aspectos hidroclimáticos e socioeconômicos, no sistema agropecuário do Núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe. Visando contribuir com o aprimoramento do Zoneamento Ecológico Econômico da ASD do Médio Jaguaribe.

Os objetivos específicos consistem em examinar a evolução do Balanço Hídrico Climatológico (precipitação, evapotranspiração real, evapotranspiração potencial, déficit e excedente hídrico), em sua distribuição espacial anual, e compartimentado em anos-padrão (super seco, seco, habitual, úmido e super úmido).

Comparar os gráficos da intervenção do indicador de veranicos na evolução do Produto Interno Bruto (PIB) por setores produtivos durante os anos-padrão.

Mensurar a influência do indicador de veranicos na evolução da Produção Pecuária (Bovinos, Caprino, Ovino) e das lavouras temporárias (milho e feijão) durante os anos-padrão.

Identificar o impacto das correlações entre as variáveis climáticas e a produção agropecuária durante os anos padrão.

Entender a atuação do indicador de veranicos nas perdas de safra durante os anos-padrão (2002, 2005, 2009, 2012 e 2018).

O trabalho está apresentado da seguinte forma:

No segundo capítulo, descreve-se a caracterização ambiental, socioeconômica e o histórico de uso e ocupação do Núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe. São apresentadas as condições geológicas, geomorfológicas, hidroclimáticas e o uso e ocupação do núcleo, em conjunto com seus indicadores socioeconômicos (Distribuição de empregos formais, PIB, IDH, IDHM e distribuição de estabelecimentos agropecuários).

No terceiro capítulo, foi elaborado o referencial teórico da pesquisa, apresentando discussões acerca da problemática da desertificação, áreas de susceptibilidade à desertificação no Ceará, e o uso e ocupação do semiárido cearense. Além de discorrer sobre os impactos da variabilidade climática no sistema agropecuário, e a importância do estudo e utilização do balanço hídrico climatológico em áreas desertificadas.

No quarto capítulo, estão descritos a metodologia e os procedimentos operacionais utilizados no desenvolvimento da pesquisa, bem como os cálculos e equações utilizados para definição dos anos-padrão, indicador de veranicos, perdas de safra, balanço hídrico climatológico e interpolação de dados. Por fim, foram descritos os métodos e modelos estatísticos trabalhados.

No quinto capítulo, há a apresentação e discussão dos resultados obtidos na pesquisa. Estão apresentados os gráficos do balanço hídrico climatológicos em sua distribuição espacial anual, e compartimentado em anos-padrão; os gráficos da intervenção do indicador de veranicos na evolução do Produto Interno Bruto (PIB) por setores produtivos durante os anos-padrão; os gráficos da influência do indicador de veranicos na evolução da Produção Pecuária (Bovinos, Caprino, Ovino), e das lavouras temporárias (milho e feijão) durante os anos -padrão; o impacto das correlações entre as variáveis climáticas e a produção agropecuária durante os anos padrão.

No sexto capítulo, se encontram as considerações finais acerca da pesquisa, principais aplicações e propostas de expansão.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

2.1 Contexto Geoambiental do Núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe

2.1.1 Condições Geológicas e Geomorfológicas

O núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe possui uma área total de 8.422,77 Km² e é constituído pelos municípios de Jaguaribe, Jaguaretama, Jaguaribara, Alto Santo e Morada Nova (Brasil, 2010).

Segundo CPRM (1974), a região do núcleo está inserida no domínio das rochas cristalinas, predominantemente metamórficas, com grande variabilidade litológica,

prevalecendo o domínio dos escudos antigos. Vale destacar a presença de eventuais coberturas sedimentares correspondendo aos depósitos aluvionares.

O embasamento cristalino é constituído de rochas do Grupo Ceará – sequência de rochas metamórficas pré-Cambrianas, constituída de xistos argilosos e quartizitos; Complexo Caicó – constituído de biotita-gnaisses, gnaisses-fracoidais, gnaisses quartzo-feldspáticos, gnaisses leptoníticos, migmatitos variados, incluindo lentes de anfíbolitos e corpos granítoides (augen gnaisses); e Complexo Nordestino – compreende migmatitos, gnaisses, gnaisses migmatizados e granítoides, anfíbolitos, quartzitos, metarcóseos, calcários cristalinos, xistos, itabiritos, calcossilicatadas e rochas cataclásticas (Radambrasil, 1981).

A geologia do núcleo do médio Jaguaribe é composta pelo Complexo Caicó/Nordestino de Idade Arqueana (620 m.a), seguido do Grupo Orós, de Idade Proterozóica Média e capeado por coberturas sedimentares não metamorfizadas Tercio-Quaternárias nas áreas periféricas do rio Jaguaribe (Radambrasil, 1981)

As coberturas sedimentares do núcleo são pouco representativas espacialmente. São os Tabuleiros Interiores da Formação Faceira e os sedimentos aluvionares que formam os baixos níveis de terraços e as planícies fluviais. São representados por sedimentos argilosos, sendo estes tabuleiros penecontemporâneos aos Tabuleiros da Formação Barreiras. Ambos têm idades provavelmente plioquaternárias (Guerra, 2009).

As características naturais dominantes são: superfícies pediplanadas e parcialmente dissecadas em colinas rassas, intercaladas por planícies fluviais que recobrem vales de fundos planos em litotipos do Complexo Cristalino e em depósitos aluviais. Escoamento fluvial fortemente influenciado pelo baixo volume de chuvas anuais do semiárido (700-850 mm) com rede de drenagem de padrões dendríticos e subdendríticos e escoamento intermitente sazonal. Luvissolos Crônicos, Planossolos Háplicos, Neossolos Litólicos e Neossolos Flúvicos revestidos por caatinga arbórea-arbustiva aberta e fortemente degradada e com dinâmica ambiental influenciada por processos erosivos de morfogênese mecânica (Brasil, 2010).

No (Mapa 2) tem-se a distribuição topográfica do núcleo de desertificação do Médio Jaguaribe. Notou-se uma amplitude altimétrica de 547 metros, com 24 metros de cota altimétrica mínima e 571 metros de cota altimétrica máxima. A maior porção do núcleo está situada entre as cotas de 24 metros a 208 metros, em contrapartida, a menor porção do núcleo está situada entre as cotas de 209 metros e 571 metros.

No relevo evidencia-se a ocorrência de superfícies de aplinamento escalonadas, oriundas de uma herança que, grosso modo, corresponde a três condicionantes: eventos tectônicos remotos, evolução paleoclimática quaternária e a morfodinâmica atual (Guerra, 2009).

Os eventos tectônicos proporcionaram a formação de estruturas fortemente deformadas, em vastos anticlinais e sinclinais em litotipos, predominantemente metamórficos. Essas deformações plásticas são seguidas de deformações oriundas da tectônica ruptural, mascaradas pelos processos de pediplanação e pela ocorrência eventual de pedimentos detriticos com clásticos grosseiros frutos da morfogênese mecânica (Guerra, 2009).

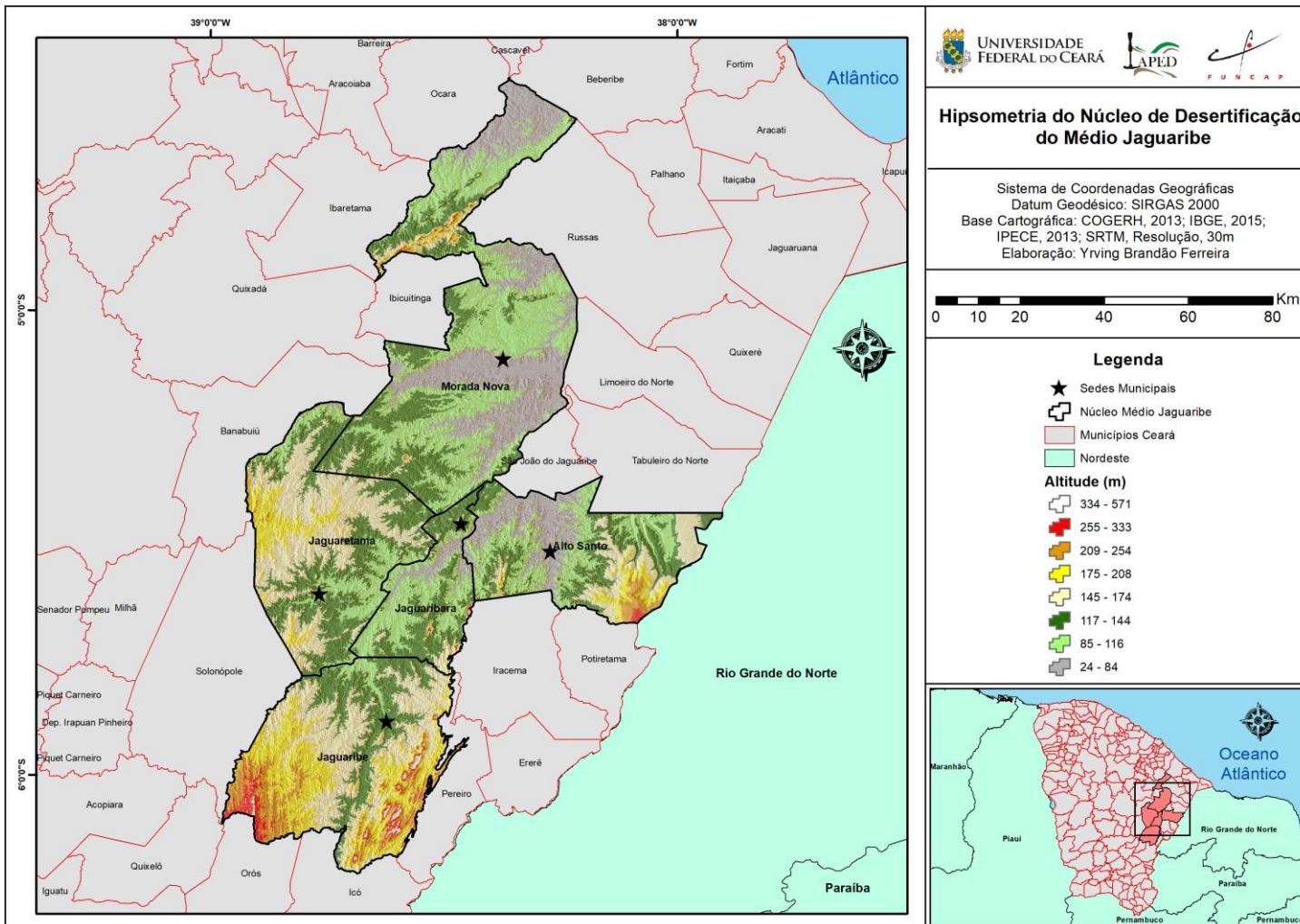
A evolução paleoclimática foi determinante para a morfoesculturação e a instalação de largas depressões embutidas nas periferias dos planaltos sedimentares, ora embutidas entre estes e maciços e cristas residuais, ora localizando-se nas áreas de sombra destas e daquelas estruturas. Constituem superfícies pediplanadas ou moderadamente dissecadas em colinas rasas (Guerra, 2009).

Trata-se de uma superfície morfológicamente recente, que teve o Pleistoceno como período-chave de sua evolução e o clima como elemento basilar. Como resultado, têm-se hoje os relevos pediplanados esculpidos como testemunho desta evolução. Em virtude desta evolução especialmente transfiguradora, dotada de elevado potencial erosivo, as áreas compostas de rochas tenras foram sendo desagregadas e entulhadas em depósitos a jusante, nas áreas mais rebaixadas da superfície (Guerra et al., 2012).

Para Guerra (2009, p. 96)

A morfodinâmica atual é fortemente influenciada pelos processos de morfogênese mecânica impostos pela semiaridez. Há também esculturações impostas por processos erosivos presentes, bem como as tensões motivadas por atividades socioeconômicas que têm repercussões na incidência e expansão dos processos de desertificação. É importante salientar que, na transição destas fases – tectônica, paleoclimática e morfodinâmica – é deixado um legado que repercute nas condições ambientais da atualidade, principalmente no comportamento climático de hoje, nas expressões dos solos e da vegetação, além do modelado do relevo. Justifica-se, portanto, a diversidade de unidades geomórficas, que se penetram ou compõem resíduos contínuos resultante dos efeitos das referidas fases evolutivas.

Mapa 2 – Mapa Hipsométrico do Núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2025

O relevo, a depender da altitude na qual está situado, atua como barreira orográfica da umidade proveniente das massas de ar regionais. A precipitação orográfica ocorre em regiões que apresentam elevadas variações altimétricas, podendo ocorrer em qualquer período ou durante o ano todo. A principal causa é a ascensão do ar úmido e quente sobre um terreno elevado. O modelo básico do processo de formação da chuva orográfica pontua que o ar úmido e quente, ao elevar-se perante a barreira orográfica, sofre o processo de expansão e resfriamento adiabático devido à descompressão ocasionada pela menor densidade do ar nos níveis mais elevados. O resfriamento leva a camada de ar ali presente ao ponto de saturação de vapor, ocorrendo assim a formação das nuvens que originam as precipitações (Tubelis; Nascimento, 1984; Roe, 2005; Mendonça; Danni-Oliveira, 2007).

O barlavento e o sotavento são fatores que modificam a dinâmica de distribuição da precipitação nas distintas porções do relevo e são definidos por Conti (2014, p. 241) como:

Barlavento e Sotavento são: As diferenças de altitude, a irregularidade e orientação do relevo também são fatores determinantes. Regiões deprimidas ou de fundos de vales tendem a ser mais secas que as elevadas, da mesma forma que as vertentes a barlavento ou sotavento são sempre contratantes paisagisticamente. Neste caso, o fator responsável é a maior ou menor exposição à radiação solar, ou aos ventos com diferentes teores de umidade, ou de sentido de fluxo, sendo os ascendentes (barlavento), estimuladores de condensação e da chuva e os descendentes (sotavento), inibidores do processo, provocando ressecamento da atmosfera na escala local. Nas altas montanhas, as paisagens se organizam em “andares”, refletindo os fenômenos naturais característicos dos diferentes níveis.

A variação altimétrica do relevo também exerce grande correlação com as variações nas temperaturas médias locais. A temperatura do ar é influenciada também pela altitude, latitude e longitude e, habitualmente, decresce com a elevação da altitude numa proporção de aproximadamente 1 °C/100m (gradiente adiabático do ar seco). Esta taxa de arrefecimento ocorre, pois, uma massa de ar seco em ascensão está sujeita a pressão cada vez menor, elevando seu volume e diminuindo a temperatura. Como este gradiente térmico depende da saturação do ar, o decréscimo da temperatura média com a altitude se dá em torno de 1 °C a cada 180 metros (Dury, 1972).

2.1.2 Condições Hidroclimáticas

Os principais sistemas atmosféricos que agem no Nordeste brasileiro são impulsionados, fundamentalmente, pelas flutuações da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT); pelas condições termodinâmicas dos oceanos Atlântico e Pacífico tropicais; por

invasões das frentes polares, além das influências dos alísios e dos anticíclopes do Atlântico Sul (sistemas de alta pressão) (Souza, 2003).

A ZCIT de acordo com Ferreira e Mello (2005), é o fator mais importante na determinação de quanto abundante serão as precipitações no Ceará, usualmente ela migra de posição no decorrer do ano de sua posição mais ao norte, aproximadamente 14°N em agosto-outubro para posições mais ao sul, aproximadamente 2° a 4°S entre fevereiro a abril. O deslocamento desse sistema atmosférico se relaciona com os padrões de temperatura da superfície do mar (TSM). No Ceará, ela define a quadra chuvosa do estado, que ocorre durante os meses de fevereiro a maio.

A ZCIT é uma banda de nuvens que circunda a porção equatorial do globo terrestre, formada principalmente pela confluência dos ventos alísios do hemisfério norte com os ventos alísios do hemisfério sul. De maneira geral, depreende-se que a convergência dos ventos faz com que o ar quente e úmido ascenda, carregando umidade do oceano para os altos níveis da atmosfera, ocorrendo a formação das nuvens. A ZCIT é mais atuante sobre os oceanos e, por isso, a Temperatura da Superfície do Mar-TSM é um dos fatores determinantes na sua posição e intensidade. (Ceará, 2002)

Segundo Guerra (2009, p. 97).

No Estado do Ceará, a ZCIT (Zona de Convergência Intertropical) é o principal sistema atmosférico, cuja migração define chuva ou seca. Quando a migração se dá ao sul do equador, as nuvens carregadas trazem chuvas para o semiárido nordestino. Quando a migração é ao norte, os períodos de estiagem ocorrem de modo evidente. Além do mais, o fator topográfico também interfere no deslocamento das massas de ar, funcionando como verdadeiras barreiras orográficas e diversificando micro e mesoclimas. Este fato agrava, em especial, as áreas sertanejas situadas a sotavento dos níveis serranos. As precipitações, além de irregulares e mal distribuídas no tempo, ficam também subordinadas à má distribuição espacial, gerando o ressecamento sazonal das fontes hídricas, dos solos e condicionando o xeromorfismo às espécies das caatingas.

O núcleo de desertificação do Médio Jaguaribe sofre às influências do clima semiárido e possui índices pluviométricos em média, inferiores a 800mm; coeficientes térmicos superiores a 28°C e taxas muito elevadas de evaporação e evapotranspiração, resultando em balanço hídrico deficitário durante quase todo o ano (Ceará, 2010).

Evidencia-se a atuação de duas estações bem definidas no núcleo: uma chuvosa, correspondente ao período verão outono, e outra seca, correspondente com o período de inverno primavera do estado. No geral, o trimestre mais chuvoso é o de março, abril e maio e o menos chuvoso compreende setembro, outubro e novembro (Funceme, 2015).

Nos meses de junho a agosto o principal sistema sinótico atuante no estado, e na ASD, são as ondas de leste, que segundo Xavier (2001), são ondas que se originam no campo de pressão atmosférica, na faixa tropical do globo terrestre, na área de influência dos ventos alísios e se locomovem de oeste para leste, ou seja, desde a costa da África até o litoral leste do Brasil. Ele provoca chuvas principalmente na Zona da Mata que se estende desde o Recôncavo Baiano até o litoral do Rio Grande do Norte, mas, quando as condições oceânicas e atmosféricas estão favoráveis, as Ondas de Leste também geram chuvas no estado do Ceará nos meses de junho, julho e agosto, principalmente na parte centro-norte do estado.

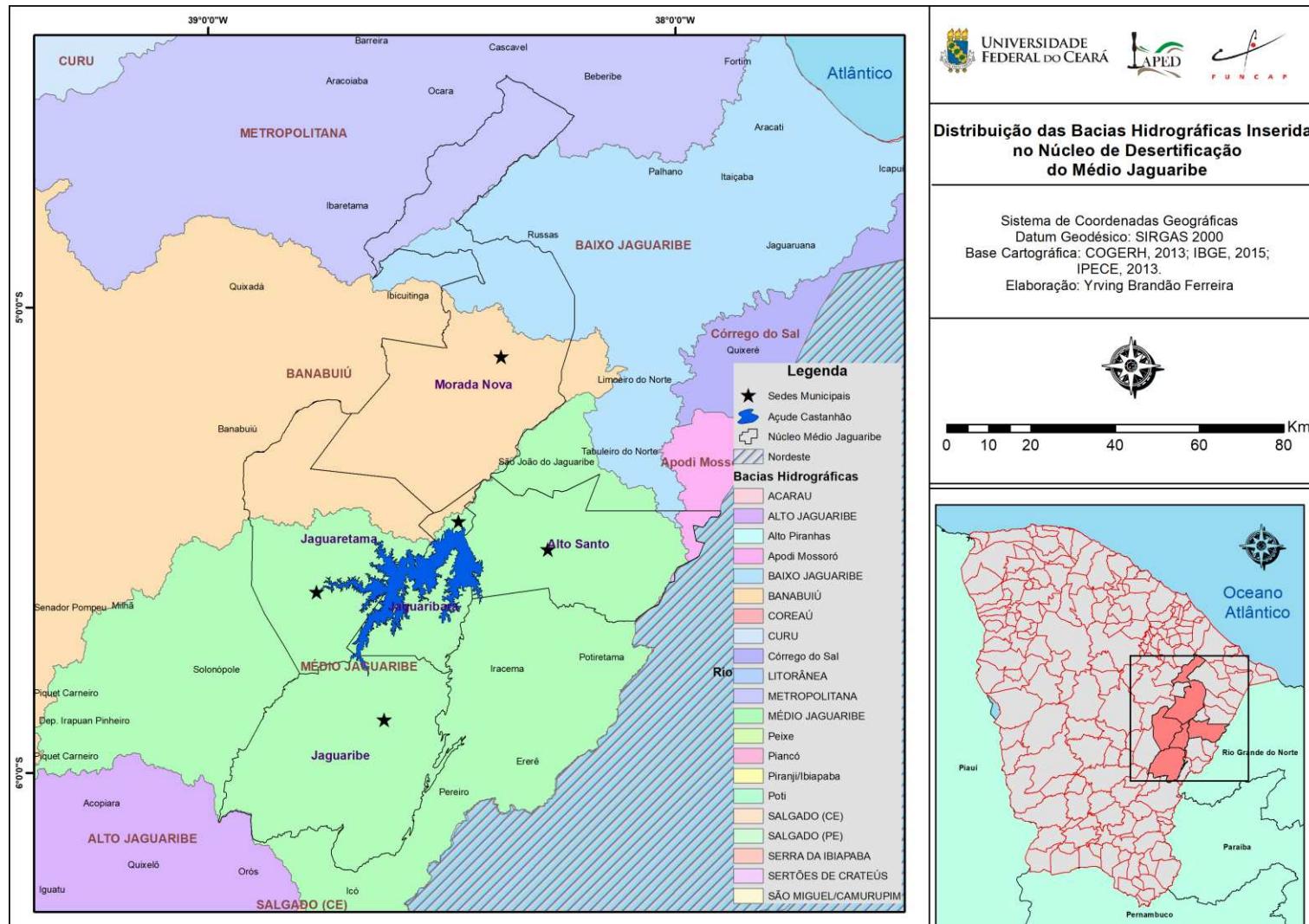
Entre os meses de setembro a novembro, não há habitualmente a ação de grandes sistemas sinóticos regionais no núcleo, logo, é o período de maior estiagem, e consequentemente com o maior déficit hídrico mensal. Entretanto, vale ressaltar que a partir do fim da quadra chuvosa a incidência das precipitações tem uma redução drástica, apresentando frequentemente precipitações pontuais e de baixa intensidade durante o restante do ano (Ferreira, 2021).

A passagem da estação seca é fortemente marcada no núcleo. Durante a estação chuvosa, o volume de água, frequentemente, não garante para a região ocupada pela vegetação de caatinga, um total de precipitação adequado no final do ano, tornando-se a água um recurso naturalmente carente. Do ponto de vista agroclimático, um fator negativo do regime hídrico da região no Bioma Caatinga, tem sido a ocorrência de secas na estação chuvosa. Este fenômeno, conhecido como “veranico”, pode persistir por meses sem chuvas. Uma condição que intensifica o efeito dos veranicos é a perda dos estoques de água armazenada através do processo intenso de evapotranspiração (Funceme, 2015).

Segundo a divisão das bacias hidrográficas estabelecida pela PERH – SRH (Plano Estadual dos Recursos Hídricos – Secretaria de Recursos Hídricos – 1992) os municípios pertencentes ao Núcleo de desertificação do Médio Jaguaribe são drenados pelas seguintes bacias hidrográficas: Metropolitanas; Banabuiú; Baixo Jaguaribe; e Médio Jaguaribe (Mapa 3).

As bacias Metropolitanas situam-se na porção nordeste do Estado, limitadas ao sul pela bacia do rio Banabuiú, a leste pela bacia do rio Jaguaribe, a oeste pela bacia do rio Curu, e ao norte, pelo Oceano Atlântico. São dezesseis as sub-bacias hidrográficas dessa região, dentre elas aquelas que possuem rio principal com maior extensão, são o Choró, com 200 km; o Pirangi, com 177,5 km; e o Pacoti, com 112,5 km, todos em sentido sudoeste-nordeste (Santana, 2009).

Mapa 3 – Bacias hidrográficas inseridas no Núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe



Fonte: Elabora pelo Autor, 2025

Segundo Santana (2009, p. 25),

Estas bacias apresentam dois sistemas aquíferos: o das rochas sedimentares (porosos e aluviais) e os das rochas cristalinas (fissurais). Os sedimentares se caracterizam como mais importantes por possuírem uma porosidade primária e, nos termos arenosos, uma elevada permeabilidade, traduzindo-se em unidades geológicas com excelentes condições de armazenamento e fornecimento d'água. Os cristalinos (fissurais) apresentam um “baixo potencial”, pois se encontram inseridos em áreas de rochas do embasamento cristalino, sendo as zonas de fraturas, os únicos condicionantes da ocorrência d'água nestas rochas. A recarga destas fraturas se dá através dos rios e riachos que estão encaixados nestas estruturas, o que ocorre somente no período chuvoso.

A Sub-bacia do rio Banabuiú compõem, essencialmente, os sertões centrais do Ceará. Por sua localização central, limita-se com quase todas as Bacias do Estado, excetuando-se as bacias do Coreaú, do Litoral e a sub-bacia do Salgado. É uma das cinco Sub-bacias que compõem a Bacia do Jaguaribe. O rio Banabuiú é o mais importante rio desta Sub-bacia. Drena uma área de 19.810 km², desenvolve-se no sentido oeste-leste, percorrendo um curso total de 314 km, até desaguar no rio Jaguaribe nas proximidades da cidade de Limoeiro do Norte. Sua área equivale a 13% do território cearense. Esta sub-bacia apresenta dois sistemas aquíferos: o das rochas sedimentares (aluviais) e os das rochas cristalinas (fissurais) (Ceará, 2009).

De acordo com Santana (2009, p. 24),

Esta sub-bacia caracteriza-se pelo alto nível de aqüadagem, possui um total de 5.825 reservatórios (COGERH, 2009), destes, 1.415 apresentam área superior a 5 há (Funceme, 2008). Destaca-se o açude Banabuiú, responsável por mais de 50% do volume de acumulação da sub-bacia, sendo esta a terceira reserva hídrica mais importante da bacia do Jaguaribe. A consolidação da oferta hídrica desta sub-bacia engloba 14 (quatorze) dos 18 (dezoito) principais reservatórios da sub-bacia (Figura 8), aqueles que possuem capacidade maior que 10 milhões de metros cúbicos, tendo em vista que os açudes com capacidade inferior a este valor têm como principal função a acumulação de volumes de água que ficam estocados, após a estação chuvosa (de fevereiro a maio), para serem depois utilizados na estação seca (demais meses) do mesmo ano. Não servem, no entanto, como reservas interanuais, pois, quando da ocorrência de anos secos consecutivos, tais reservatórios não apresentam volumes para o atendimento às demandas.

A sub-bacia do rio Baixo Jaguaribe localiza-se na porção oriental do Estado do Ceará, limitando-se com o Estado do Rio Grande do Norte a leste, o Oceano Atlântico ao norte, as Bacias Metropolitanas a oeste e ao sul e sudoeste com as Sub-bacias do Médio Jaguaribe e Banabuiú, respectivamente. Das cinco Sub-bacias que compõem a Bacia do Jaguaribe, é a de menor área. O rio Jaguaribe é o principal rio desta Sub-bacia. Drena uma área de 7.021 km², e situa-se no trecho entre a localidade de Peixe Gordo, onde este rio cruza

a rodovia BR 116, até a sua foz, percorrendo um curso total de 137 km, com um desnível de 40m. Sua área equivale a 4% do território cearense (Santana, 2009).

Este trecho do rio Jaguaribe apresenta extensa planície aluvial, resultante do alargamento do vale a jusante, com declividade média de 0,029%, tendo como principal afluente pela margem esquerda o rio Palhano, já a margem direita é mal definida, não se destacando nenhum curso. Está sub-bacia apresenta dois sistemas aquíferos: o das rochas sedimentares (aluviais) e os das rochas cristalinas (fissurais) (Santana, 2009).

A Sub-bacia do Médio Jaguaribe é uma das cinco Sub-bacias que compõem a Bacia do Jaguaribe, fazendo, inclusive, fronteira com todas as demais. Localiza-se na porção leste do Estado do Ceará e limita-se, em sua porção oriental, com o Estado do Rio Grande do Norte. O rio Jaguaribe é o principal rio desta Sub-bacia. Drena uma área de 10.335 km², e situa-se no trecho entre o açude Orós e a localidade Peixe Gordo, onde este rio cruza a rodovia BR 116, percorrendo um curso total de 171km. Sua área equivale a 13% do território cearense (Santana, 2009).

Para Santana (2009, p. 19)

De um modo geral, é possível identificar, nesta Sub-bacia, três feições de relevo: as Planícies Fluviais, que são formas resultantes das deposições fluviais e representadas pelas vazantes e várzeas constituídas de terras planas que se estendem por ambas as margens dos rios; a Depressão Sertaneja, predominante na área, resultado de um acentuado processo erosivo, sob condições de clima semiárido, com relevo variando de suave ondulado a ondulado; e os Maciços Residuais, que se referem às serras cristalinas, predominando o relevo forte ondulado. Apresenta, portanto, uma superfície de aplainamento conservada e moderadamente dissecada em colinas rasas e interflúvios tabulares com níveis altimétricos variando entre 200 m e 400 m. As variações de altitude são da ordem de 30 m a 502 m, entre as sedes dos municípios, respectivamente, nos municípios de Limoeiro do Norte e Pereiro.

Esta Sub-bacia caracteriza-se pela perenização do rio Jaguaribe através da vazão liberada pelo açude Orós a montante da bacia. É nela também que está localizado o açude Castanhão, o maior do Estado. Possui um total de 4.592 reservatórios (Cogerh, 2008), destes, 997 apresentam área superior a 5ha (FUNCEME, 2008). Destaca-se o açude Castanhão, responsável por mais de 97% do total armazenado nesta Sub-bacia. Esta sub-bacia apresenta dois sistemas aquíferos: o das rochas sedimentares (aluviais) e os das rochas cristalinas (fissurais) (Santana, 2009).

As características naturais da distribuição irregular de água no semiárido cearense resultantes das irregularidades pluviométricas, altas taxas de evapotranspiração e condições geológicas inadequadas para as reservas subterrâneas, têm resultado em um quadro de problemas referentes à escassez de água (Cabral et al., 2018).

Quanto as características da drenagem hídrica (MAPA 4) do Núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe podemos observar condições de pouca capacidade de infiltração pluviométrica, ocasionando em associação com o clima semiárido rios com características intermitentes, e solos rasos a pouco profundos.

Este quadro natural adverso explica os variados projetos de construção de barragens em açudes no semiárido ao longo da história. Dentre esses projetos, o Açude Castanhão destaca-se na paisagem cearense, tanto pela sua dimensão e capacidade de armazenamento, como pela função que exerce no estado do Ceará, isto é, amenizar os efeitos da seca e impulsionar o desenvolvimento regional (Cabral et al., 2018). Para Dantas (2017), próximo ao açude Castanhão, em ambiente terrestre, através da análise para o ano de 2015, foi possível observar que a média de evaporação para os períodos de pré e quadra chuvosa é de 4,20 mm dia⁻¹; para o período pós quadra chuvosa e estação de inverno no Ceará, a média de evaporação foi de 2,99 mm dia⁻¹; já para o período de estiagem no Ceará a média de evaporação estimada no em torno do açude Castanhão foi de 4,85 mm dia⁻¹.

De acordo com (Salinas et al., p. 3),

O açude barrou o Rio Jaguaribe, gerando o maior reservatório de superfície hídrica do estado. O Castanhão tem uma área de captação de 45.300 km² capaz de armazenar 6.700hm³ e inunda uma área de 325 km². Após oito anos de construção, em 2003, o reservatório começou a encher e, em 2004, a sua operação efetiva ocorreu. O reservatório foi construído sob o paradigma de usos múltiplos, incluindo o abastecimento de água de humanos e animais, indústria, pesca e irrigação. Inundou parcialmente quatro municípios, incluindo a área urbana de Jaguaribara. A cidade planejada nova (Nova) Jaguaribara foi construída perto do lago Castanhão para receber parte da população deslocada. Os reassentamentos rurais também foram construídos para aqueles moradores atingidos que optaram por não se mudar para a área urbana.

Deve-se atentar, ainda, para as alterações climáticas em curso e suas implicações sobre o ciclo hidrológico cearense, notadamente o agravamento dos extremos hidrológicos e o aumento da taxa de evapotranspiração. Estas mudanças requerem atenção especial, já que apontam para alterações acentuadas na economia dependente da disponibilidade e demanda dos recursos hídricos (Ceará, 2008).

2.1.3 Perímetros Irrigados no Ceará

Na produção agrícola da região Nordeste, é possível constatar não um só padrão de estabelecimento agropecuário. Embora exista um bolsão de pobreza significativo na agricultura familiar nordestina, percebe-se também o funcionamento de uma agropecuária

empresarial, integrada ao sistema de mercado, que propicia renda, empregos formais e empregos indiretos. Desse modo, a inserção de agricultores familiares nordestinos em perímetros públicos irrigados poderia diminuir a pobreza dos agricultores e impulsionar o crescimento econômico regional (Santos et al., 2014).

Segundo Lacerda e Lacerda (2004), a modernização do processo produtivo da agricultura efetivada pela irrigação, que tem atuado desde a implantação dos perímetros públicos e privados e desde os investimentos estatais em infraestrutura para a captação e distribuição de água e geração de energia elétrica, pode modificar a economia do Semiárido do Nordeste. A agricultura desenvolvida em perímetros irrigados pode produzir impactos significativos sobre a renda e emprego na região Nordeste.

Os principais perímetros públicos irrigados do Ceará são: Baixo Acaraú; Curú-Paraipaba; Curú-Pentecoste; Araras Norte; Tabuleiro de Russas; Jaguaribe-Apodi; Morada Nova; Icó-Lima Campos.

O perímetro irrigado de Morada Nova é o principal perímetro irrigado situado no Núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe.

O Perímetro Irrigado Morada Nova está situado nos municípios de Morada Nova e Limoeiro do Norte, no Ceará, na microrregião do Baixo Jaguaribe, no subvale Banabuiú, a 170 km de Fortaleza, com a maior porção (70%) situada no Município de Morada Nova. A implantação do perímetro iniciou em 1968, e os serviços de administração, operação e manutenção da infraestrutura de uso comum tiveram início em 1970. O sistema de irrigação utilizado no perímetro é, em 100% da área, por superfície (gravidade) (Ceará, 2013).

Em toda a região do perímetro irrigado, o relevo é plano, característico de solos aluviais, margeado por um relevo suavemente ondulado, característico do Município de Morada Nova (Ceará, 2013).

Os solos aluvionais do Perímetro Irrigado Morada Nova, em razão de sua textura diversificada, permitem a exploração de uma extensa gama de culturas. Sua fertilidade natural é, em geral, constante, embora seja necessário prover, em muitos casos, um melhoramento orgânico. Alguns solos exigem grande atenção, justo por apresentarem fenômenos de alcalinização e de salinidade. A área do Perímetro Irrigado Morada Nova é constituída por 22% de solos leves, 41% de solos de textura média e de 37% de solos pesados (Ceará, 2013).

O pH da água varia de 6,50 a 6,80, com média de 6,60 na camada de textura média, e de 6,70 a 7,10, com média 6,8 na camada pesada. O suprimento hídrico é feito através dos sistemas Açude Público Federal Arrojado Lisboa (Banabuiú), com uma

capacidade de armazenamento de 1.601.000.000 m³ e do Açude Público Federal Vinícius Berredo (Pedras Brancas) com capacidade de armazenamento de 434.049.000 m³ (Ceará, 2013).

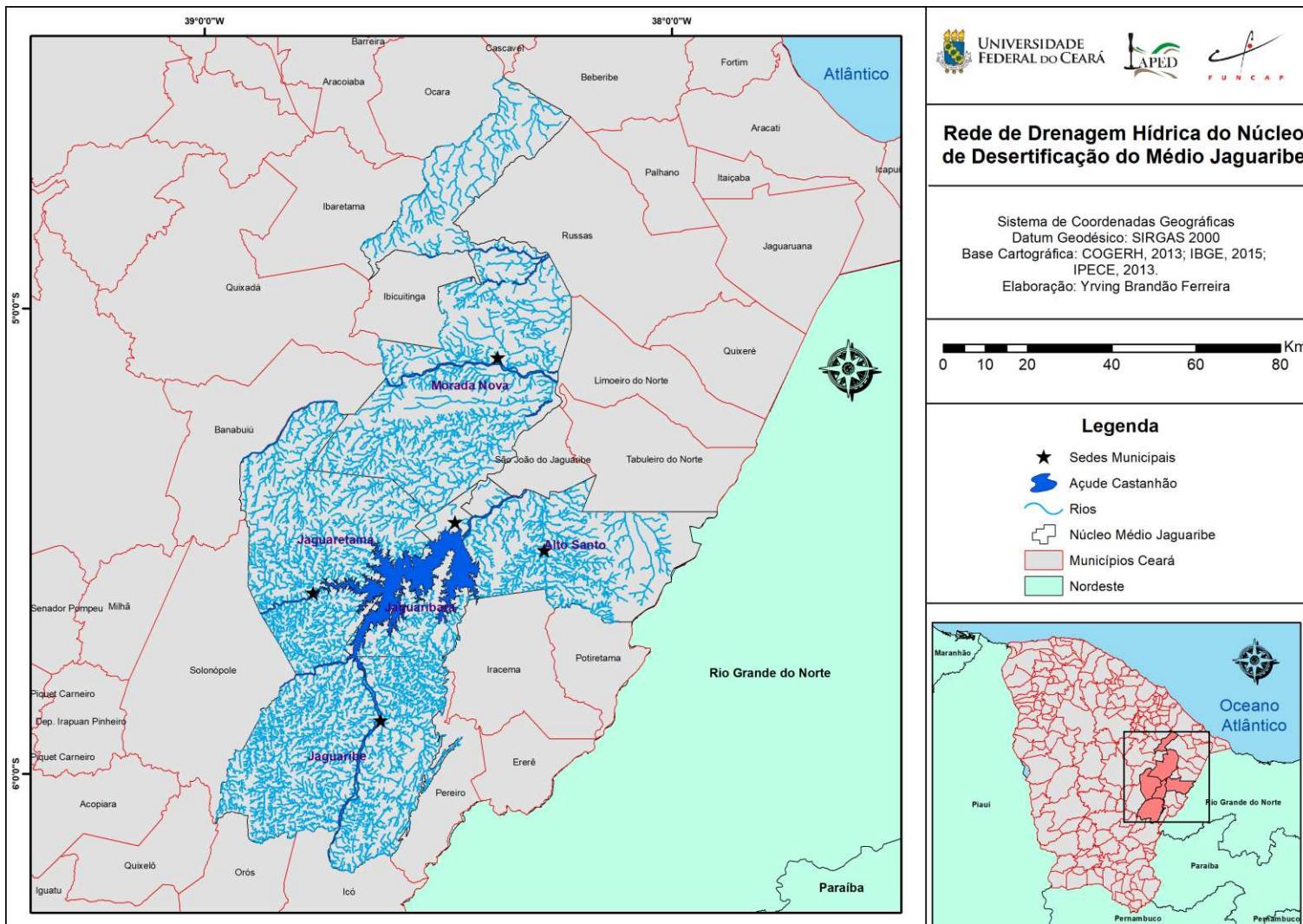
O delineamento do perfil agrícola do Perímetro Irrigado Morada Nova foi elaborado com base nas características dos solos, visando a uma produção econômica capaz de dar sustentabilidade às famílias dos irrigantes. Pela gama de culturas incluídas no planejamento, nota-se a preocupação com a diversificação da fonte de receita, tanto assim que, desde o início, que a intenção foi balisar a renda familiar por opções entre várias culturas (Ceará, 2013).

O perímetro irrigado produz, atualmente, arroz, feijão, banana, acerola, coco, graviola e capim-de-corte. Outras atividades: pecuária para produção de leite (bovinos), produção de carne (bovinos, caprinos, ovinos e suínos) e criação de animais para reprodução (bovinos e caprinos) (Ceará, 2013).

No Ceará e especificamente no seu semiárido, devido às suas peculiaridades, os recursos naturais apresentam uma real fragilidade às ações antrópicas. Áreas fundamentais no ciclo hidrológico estão degradadas, tais como: matas ciliares, mangues, encostas, rios e nascentes, especialmente devido às ações humanas, comprometendo os recursos hídricos em termos qualitativos e quantitativos (Ceará, 2008).

O quadro atual reproduz a utilização não sustentável dos recursos naturais de forma geral e, mais especificamente, dos recursos hídricos (como é o caso, por exemplo, da agricultura irrigada que apresenta geralmente uma eficiência baixa) com grande desperdício, contribuindo para a diminuição da disponibilidade da oferta de água (Ceará, 2008).

Mapa 4 – Rede de Drenagem Hídrica do Núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2025

2.1.4 solos

De acordo com o Levantamento Exploratório-Reconhecimento de Solos do Estado do Ceará, ocorrem no Núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe as seguintes classes de solos em associação: Argissolos Vermelho-amarelo Eutróficos e Distróficos, Argissolos Vermelhos Eutróficos e Distróficos, Luvissolos Crônicos, Cambissolos Háplicos, Neossolos Flúvicos, Neossolos Litólicos, Planossolos Háplicos, Planossolos Nátricos e Vertissolos Háplicos. Os solos do Núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe têm sua distribuição espacial e características fundamentais descritas no (Mapa 5) (FUNCEME, 2015).

Os solos dos municípios do Núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe são em sua maioria, rasos, com características químicas, físicas e morfológicas susceptíveis a erosão. A natureza cristalina dos materiais de origem dos solos dificulta a infiltração da água e estimula a concentração de sais (FUNCEME, 2015).

Os Luvissolos Crônicos são pouco profundos ou rasos, que apresentam horizonte B Textural com caráter crônico. Eles também possuem argilas de atividade alta e elevada saturação por base. Eles são solos quimicamente férteis, porém dada as condições morfoclimáticas do ambiente estes são vulneráveis aos processos de erosão e compactação. (Embrapa, 2013)

Os Neossolos Litólicos, são solos rasos, com horizontes A quase que diretamente sobre a rocha ou sobre um horizonte C. Estes costumam ter entre 40 a 60 cm de profundidade. Devido a essa característica do seu material mineral e sua pouca profundidade esses solos costumam ser pedregosos, fomentando assim a baixa disponibilidade hídrica e excessiva drenagem em seu perfil (Embrapa, 2013). Estes solos são resultantes de rochas do embasamento cristalino Pré-Cambriano, presentes em grandes porções dos sertões do Médio Jaguaribe e nas Serras Secas e Subúmidas. Seu uso voltado para a agricultura de subsistência e a pecuária extensiva acabam por aumentar os processos erosivos presentes nestes solos (Embrapa, 2013).

Os Neossolos Flúvicos são derivados de sedimentos aluviais. Possui um horizonte A mais espesso em relação aos outros Neossolos, esse horizonte está sobre o C, que apresenta caráter flúvico, com uma profundidade dentro de 150 cm. Apesar dos Neossolos flúvicos serem não hidromórficos e pouco drenados, eles mantêm uma relativa fertilidade dada sua proximidade com corpos hídricos e águas superficiais (Embrapa, 2013). Esses solos

se concentram, principalmente, nos aluviões do rio Jaguaribe e seus afluentes com sua origem nos sedimentos Cenozóicos do período Quaternário.

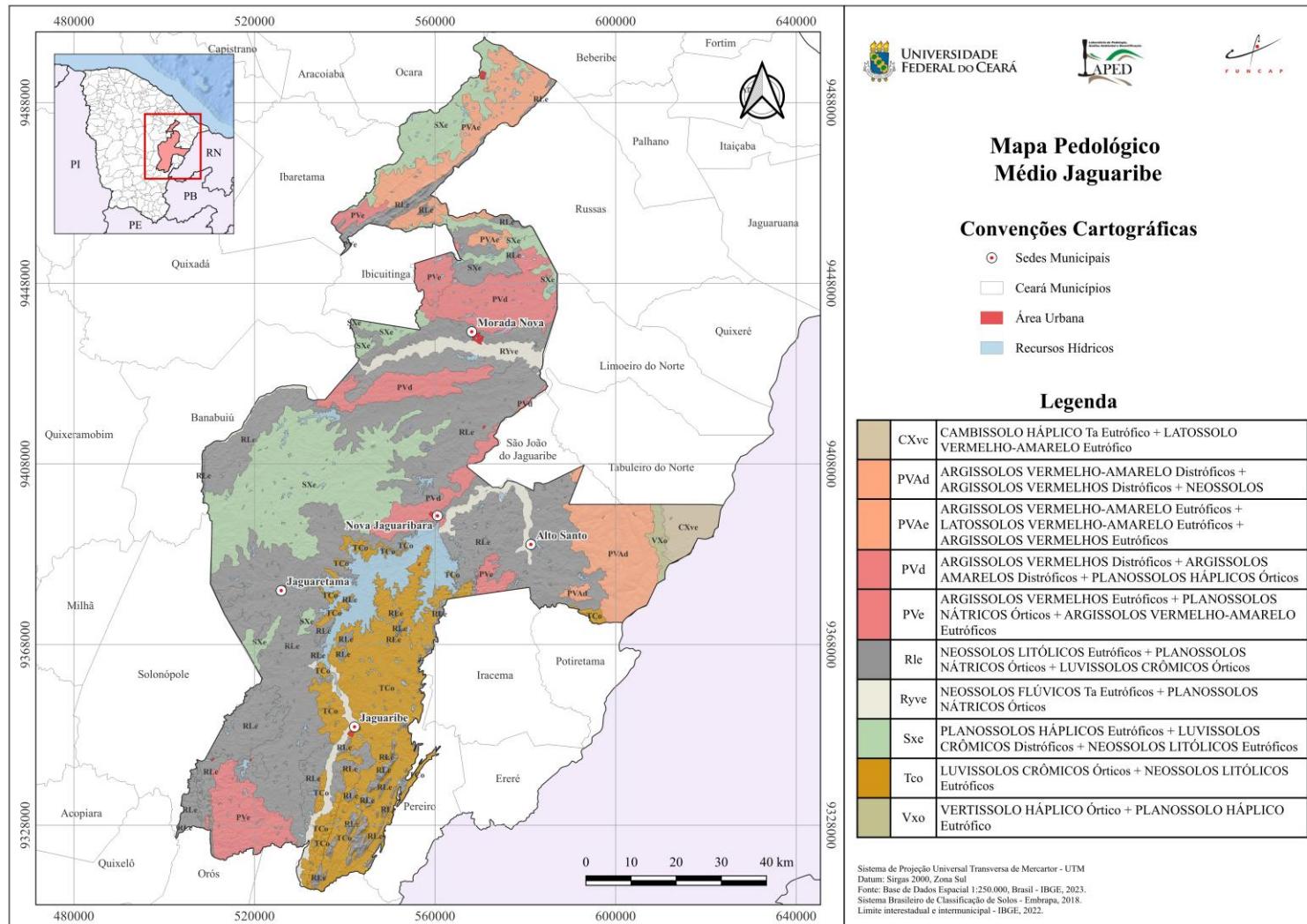
Os Argissolos Vermelho e Argissolos Vermelho-Amarelos são solos minerais que apresentam horizonte B textural com argila de alta atividade ou baixa, com saturação por base baixa. São solos de profundidade variáveis com boa drenagem e média fertilidade. Os vermelhos possuem matriz 2,5yr ou mais, já os vermelhos-amarelos tem em seus horizontais cores vermelho-amareladas e/ou amarelo-avermelhadas (Embrapa, 2013).

Os Argissolos (Vermelho e Vermelho-amarelo) são decorrentes dos sedimentos Mesozóicos do Grupo Apodi e Formação Barreiras, os quais são agricultáveis, com o uso de fertilizantes e correção de acidez. Eles estão presentes, em expressão significativa, nas porções Norte do Médio Jaguaribe que compreendem os domínios dos Tabuleiros Interiores e Tabuleiros Pré-litorâneos e da Chapada do Apodi (Embrapa, 2013).

Os Planossolos Háplicos se caracterizam pela sua constituição mineral, má drenagem e horizonte superficial ou subsuperficial eluvial. Já os Planossolos Nátricos apresentam horizonte plânico com caráter sódico (B plânico). Os Planossolos encontram-se em grandes faixas dos Sertões do Jaguaribe em associação aos Neossolos Litólicos e Luvissolos Crônicos. Devido a sua origem do embasamento Cristalino e das condições de vulnerabilidade físicas presentes, esses solos estão em sua maioria, degradados e compactados devido a prática histórica da pecuária bovina na região (Embrapa, 2013).

Os Cambissolos Háplicos possuem horizonte B incipiente subjacente, com argila de alta atividade e alta fertilidade (Embrapa, 2013). Encontram-se em relevos de declividade acentuada, que ocasionam nesses solos de baixas profundidades. Os Cambissolos têm como origem as rochas da bacia Potiguar na chapada do Apodi associados com manchas de Latossolos Vermelho-amarelo e como possuem alto potencial agrícola são frequentemente usados para cultivo de horticulturas e fruticulturas (Embrapa, 2013).

Mapa 5 – Associações de solos do Núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2025

2.1.5 Vegetação

A caatinga ocupa uma área de cerca de 750.000 Km² sob as latitudes subequatoriais compreendidas entre 2° 45' e 17° 21' Latitude Sul e engloba porções dos territórios pertencentes aos estados do Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Pernambuco, Paraíba, Alagoas, Sergipe, Bahia e parte de Minas Gerais. Sua área compreende 54% da Região Nordeste e 11% do território brasileiro (Alves, 2009).

Antigamente, acreditava-se que a caatinga seria o produto da degradação de formações vegetais mais exuberantes, como a Mata Atlântica ou a Floresta Amazônica. Esse pensamento sempre produziu a falsa impressão de que o bioma seria homogêneo, com biota pobre em espécies e em endemismos, estando pouco alterada ou ameaçada, desde o início da colonização do Brasil. Entretanto, estudos apontam a caatinga como rica em biodiversidade, endemismos e bastante heterogênea, considerada um bioma extremamente frágil (Alves, 2007).

A origem do nome caatinga vem do tupi-guarani, CAA= mata e TINGA= branca, mata branca, o que caracteriza a paisagem no período de estiagem, quando a vegetação sofre a perda das folhas e fica com um aspecto seco e sem vida (Alves, 2007).

Andrade-Lima (1981) define a caatinga como uma vegetação arbórea e arbustiva na qual, em quase toda a totalidade das espécies, predomina a caducidade das folhas sobre as outras formas de resistência às deficiências hídricas sem excluí-las; medianamente rica em cactáceas e bromeliáceas, com um grande número de outras espécies também espinhentas e vários endemismos.

De acordo com Alves (2009, p. 3).

As suas diferenças fisionômicas se devem não só penas às variações climáticas regionais e locais e à composição florística, mas, sobretudo, a certos fatores estacionais, como compartimentação topográfica e fenômenos de exposição e abrigo, condições edáficas e dos impactos das atividades humanas. A caatinga apresenta uma imensa variedade de vida e um acentuado grau de endemismo, mas ainda precisa ser estudada mais detalhadamente para suprir as carências de informações atualizadas sobre esse bioma. Pela falta de dados atualizados e estudos contínuos, é que prejudicam o desenvolvimento da conservação ambiental da caatinga.

No semiárido brasileiro estima-se que 30% do bioma Caatinga já tenha sido alterado em decorrência da agropecuária, destacando-se o ambiente da Vegetação Lenhosa Caducifólia Espinhosa. O uso inadequado do solo em conjunto com o clima semiárido vem gerando ao longo do tempo uma perda de espécies raras, endêmicas e de interesse

bioecológico dessa região, bem como originando grandes extensões de desertificação (Funceme, 2015).

Enquanto para Ceará (2010, p. 107) os principais problemas ambientais do núcleo são:

Degradação dos solos e do recobrimento vegetal primário; Sobrepastoreio; Desencadeamento e expansão de processos erosivos acelerados, exibindo solos parcialmente desnudos, frequentes afloramentos rochosos e chãos pedregosos; Biodiversidade empobrecida; Assoreamento dos fundos de vales e barragens; Baixa frequência de espécies lenhosas da caatinga; Paisagens com marcas configuradas da desertificação.

De acordo com Ceará (2010) as potencialidades do núcleo de desertificação do núcleo do Médio Jaguaribe são: Relevo favorável à implantação da infraestrutura viária; Atividade de produção mineral (brita e rochas ornamentais); pecuária extensiva controlada; Manejo florestal para recuperação de áreas degradadas; Bom potencial de utilização agrícola, extração mineral e extrativismo vegetal nas planícies fluviais

As limitações do núcleo podem ser definidas como: pluviometria escassa e muito irregular; baixo potencial dos recursos hídricos; solos e recobrimento vegetal degradados; solos muito rasos e frequentes afloramentos rochosos; ambiente com alta susceptibilidade à erosão; impedimentos à mecanização dos solos.

2.1.6 Sistemas Ambientais

A análise ambiental integrada vincula-se desta fonte e entende que para compreender a dinâmica dos sistemas ambientais é fundamental atinar as inter-relações entre as partes, ou seja, entre os componentes do sistema. Nessa perspectiva, não se pode apreender os sistemas ambientais sem conhecer profundamente os aspectos geológicos, geomorfológicos, climáticos, hidrológicos, pedológicos, fitogeográficos e de uso e ocupação. Ao mesmo tempo, essas informações não podem ser apenas colocadas de forma superposta, pois o que mostra a dinâmica dos sistemas ambientais não é o somatório dos aspectos anteriormente mencionados, mas, sim, fundamentalmente, as relações estabelecidas entre eles (Martins et al., 2022).

Para Oliveira (2012), cada sistema ambiental simboliza uma unidade de ordenação do ambiente natural, onde a correlação dos elementos abióticos, bióticos é dotada de potencialidades e limitações específicas, que caracterizam a fisionomia e dinâmica dos sistemas ambientais.

A caracterização geoambiental dos sistemas ambientais utilizou o critério hierárquico de unidades de paisagem: domínio natural, sistema ambiental e características naturais dominantes. Abaixo (Mapa 6) estão representados os principais sistemas ambientais do Núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe.

Domínio: Tabuleiros

Sistema: Tabuleiros Pré-Litorâneos

Situam-se no Centro-Norte de Morada Nova e Jaguaribara. Possui superfície tabuleiforme em sedimentos areno-argilosos da Formação Barreiras com Neossolos Quartizârenicos e argilosos revestidos por vegetação de tabuleiro (Ceará, 2006).

Domínio: Tabuleiros

Sistema: Tabuleiros Interiores

Situam-se no extremo norte de Morada Nova. Possui superfície tabuleiforme em sedimentos variegados da Formação Barreiras, com Argissolos e Neossolos Quartizârenicos revestidos por vegetação de tabuleiro. Suas principais características são: degradação da cobertura vegetal para fins de implementação de equipamentos variados; aumento da demanda pelos recursos hídricos em face da implementação de projetos de irrigação; áreas degradadas por exploração mineral; diversidade biológica empobrecida; recursos hídricos susceptíveis a contaminação pelos resíduos sólidos (Ceará, 2006).

Domínio: Chapadas

Sistema: Platô da Chapada do Apodi

Situam-se no extremo leste de Alto Santo. Possui superfície baixa, cuestiforme, em rochas da bacia potiguar, capeada por calcários da Formação Jandaíra, com Cambissolos e Latossolos revestidos por caatingas. Suas principais características são: conversão da cobertura vegetal para outras atividades; ações erosivas exacerbadas; feições Kársticas e matas contíguas, de valor cênico e de biodiversidade depredados; diversidade biológica empobrecida; aumento da demanda pelos recursos hídricos em face da implementação de

projetos de irrigação; áreas degradadas por exploração mineral (calcário Jandaíra); recursos hídricos susceptíveis à contaminação pelos resíduos sólidos; solos erodidos (Ceará, 2006).

Domínio: Chapadas

Sistema: Rebordos e Patamares da Chapada do Apodi

Situam-se no leste de Alto Santo. Possui patamares de acesso ao nível do Platô da chapada e rebordos escarpados em arenitos e outros litotipos da Formação Açu, com Neossolos Litólicos revestidos por caatingas arbustivas (Ceará, 2006).

Domínio: Vales

Sistema: Planícies Fluviais

Estão distribuídas por todo o perímetro do núcleo. Possui superfície baixa, bordejando calhas fluviais e formando largas faixas de acumulação de sedimentos aluviais com Neossolos Flúvicos, Planossolos e Vertissolos revestidos por matas ciliares. Suas principais características são: aumento da demanda pelos recursos hídricos; aumento da poluição hídrica; assoreamento de leitos fluviais e de áreas susceptíveis a inundação ou alagamento; ocupação urbana e periurbana desordenada; uso indiscriminado de agrotóxicos em áreas irrigadas, contaminando os mananciais dos solos (Ceará, 2006).

Domínio: Serras

Sistema: Cristas Residuais e Inselbergs

Situam-se no extremo leste e oeste de Jaguaribe, extremo oeste de Alto Santo e Norte de Morada Nova. Possui formas aguçadas com vertentes dotadas de declividades acentuadas e morros isolados oriundos de erosão diferencial, com Neossolos Litólicos e afloramentos rochosos revestidos por caatingas arbustivas e vegetação rupestre. Áreas degradadas por exploração mineral. Possui diversidade biológica empobrecida. Ações erosivas intensificadas resultando na perda progressiva dos solos. Redução, com tendência à extinção, das áreas cobertas por matas secas e caatinga arbórea. Possui como característica a aceleração dos processos de degradação ambiental nas vertentes e no entorno das nascentes fluviais (Ceará, 2006).

Domínio: Sertões do Médio Jaguaribe

Sistema: Sertões do Alto Santo

Situam-se no centro-oeste de Alto Santo. Possui superfície parcialmente dissecada em colinas, em rochas do embasamento cristalino, com Neossolos Litólicos, Luvissolos revestidos por caatinga. Ações erosivas intensificadas e perda contínua dos solos. Diversidade biológica progressivamente empobrecida. Exacerbação dos processos de degradação ambiental, culminando com a redução da biodiversidade e expansão das áreas susceptíveis à desertificação (Ceará, 2006).

Domínio: Sertões do Médio Jaguaribe

Sistema: Sertões de Morada Nova

Possuem porções no norte, sul, leste e oeste do município. Possui superfície plana parcialmente dissecada em rochas do embasamento cristalino, com Neossolos Litólicos, Luvissolos revestidos por caatingas. Redução, com tendência à extinção, das áreas cobertas por caatingas arbóreo arbustivas. Exacerbação dos processos de degradação ambiental, culminando com a redução da biodiversidade e expansão das áreas susceptíveis à desertificação (Ceará, 2006).

Domínio: Sertões do Médio Jaguaribe

Sistema: Sertões de Jaguaretama

Estão distribuídos por todo o perímetro do núcleo. Possui superfície plana parcialmente dissecada em rochas do embasamento cristalino, com Neossolos Litólicos, Luvissolos degradados e afloramentos rochosos revestidos por caatinga aberta degradada. Comprometimento progressivo da capacidade produtiva dos solos. Exacerbação dos processos de degradação ambiental, culminando com a redução da biodiversidade e expansão das áreas susceptíveis à desertificação (Ceará, 2006).

Domínio: Sertões do Médio Jaguaribe

Sistema: Sertões de Jaguaribe

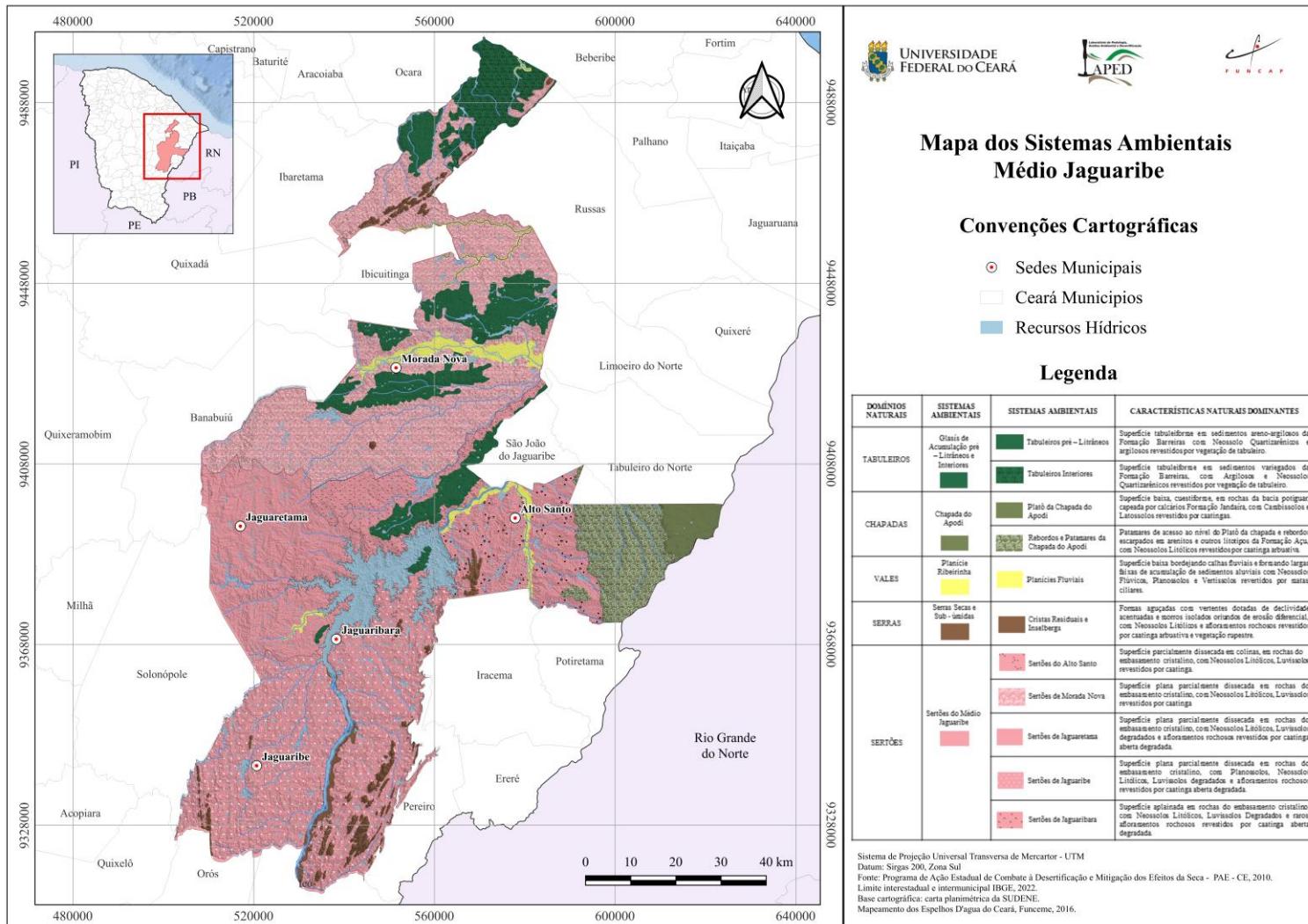
Estão distribuídas por todo o perímetro do núcleo. Possui superfície plana parcialmente dissecada em rochas do embasamento cristalino, com Neossolos Litólicos, Luvisolos degradados e afloramentos rochosos revestidos por caatinga aberta degradada. Inadequação crescente dos sistemas produtivos. Exacerbação dos processos de degradação ambiental, culminando com a redução da biodiversidade e expansão das áreas susceptíveis a desertificação (Ceará, 2006).

Domínio: Sertões do Médio Jaguaribe

Sistema: Sertões de Jaguaribara

Situam-se no centro-sul de Jaguaribara. Possui superfície plana parcialmente dissecada em rochas do embasamento cristalino, com Neossolos Litólicos, Luvisolos degradados e afloramentos rochosos revestidos por caatinga aberta degradada. Aumento do descompasso da capacidade produtiva dos recursos naturais em relação a sua capacidade de recuperação. Exacerbação dos processos de degradação ambiental, culminando com a redução da biodiversidade e expansão das áreas susceptíveis a desertificação (Ceará, 2006).

Mapa 6 – Sistemas Ambientais do Núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2025

2.1.7 Uso da Terra

Os conceitos de cobertura e uso da terra estão relacionados às ações desenvolvidas pelo homem, com objetivo de adquirir bens e produtos por meio do uso dos recursos extraídos da terra. A agricultura, pecuária, extração, são algumas das funções socioeconômicas que se relacionam com o uso da terra (Jensen et al., 1999).

De acordo com o Manual Técnico de Uso da Terra do IBGE (2006), quando se conceitua o uso da terra, sempre se remete às atividades realizadas pelo homem, almejando extrair seus recursos, benefícios e produtos. Ao retratar o conceito de cobertura da terra, se tem uma ligação direta com os elementos da natureza, tanto vegetação (natural ou plantada), como água, areia e as construções artificiais criadas pelo homem, que recobrem as superfícies da terra.

A caracterização do uso e cobertura da terra (Mapa 7) do Núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe está representada abaixo.

Carcinicultura

Área referente a lagos artificiais, onde predominam atividades aquícolas. No núcleo destaca-se a produção de tilápia e camarão. A aquiculcatura ocorre com maior intensidade em Alto Santo, Jaguaribe e Jaguaribara. A criação de Tilápia tem como principal reservatório o açude castanhão (Ceará, 2013).

Caatinga Fortemente Degradas/ Exposições Rochosas

Compreende áreas da caatinga que sofreram intensa degradação pela ação humana, resultando na perda da vegetação nativa e na exposição do solo. Esta classe indica um estágio avançado de perda de vegetação nativa e alterações no solo. Essa condição é frequentemente resultado de atividades humanas como desmatamento, uso inadequado da terra e pastoreio, além de fatores naturais como secas prolongadas. Esta classe também inclui afloramentos rochosos.

Mata Seca

Tipos de vegetação com predomínio de dossel contínuo. Enquanto uma maior quantidade de chuvas nas partes altas do barlavento das serras permite a ocorrência de matas úmidas, o sotavento das mesmas serras e as cotas altitudinais mais baixas recebem uma quantidade menor de chuvas. São nessas áreas e nas serras mais afastadas do oceano que ocorrem as matas secas. (Moro et al., 2015).

Caatinga

Tipos de vegetação com predomínio de espécies de dossel semicontínuo. Como resultado das profundas alterações pelas quais vêm enfrentando, a Caatinga apresenta grandes extensões onde a desertificação já se encontra presente, existindo uma relação estreita entre este tipo de degradação, a vegetação e os solos, sendo o seu desenvolvimento iniciado com as modificações que venham a diminuir a presença da cobertura vegetal por períodos prolongados, acirrando os processos erosivos e deteriorando as propriedades físicas, químicas, biológicas e econômicas do solo (Ccd, 1995).

Agropecuária/Caatinga Degradada

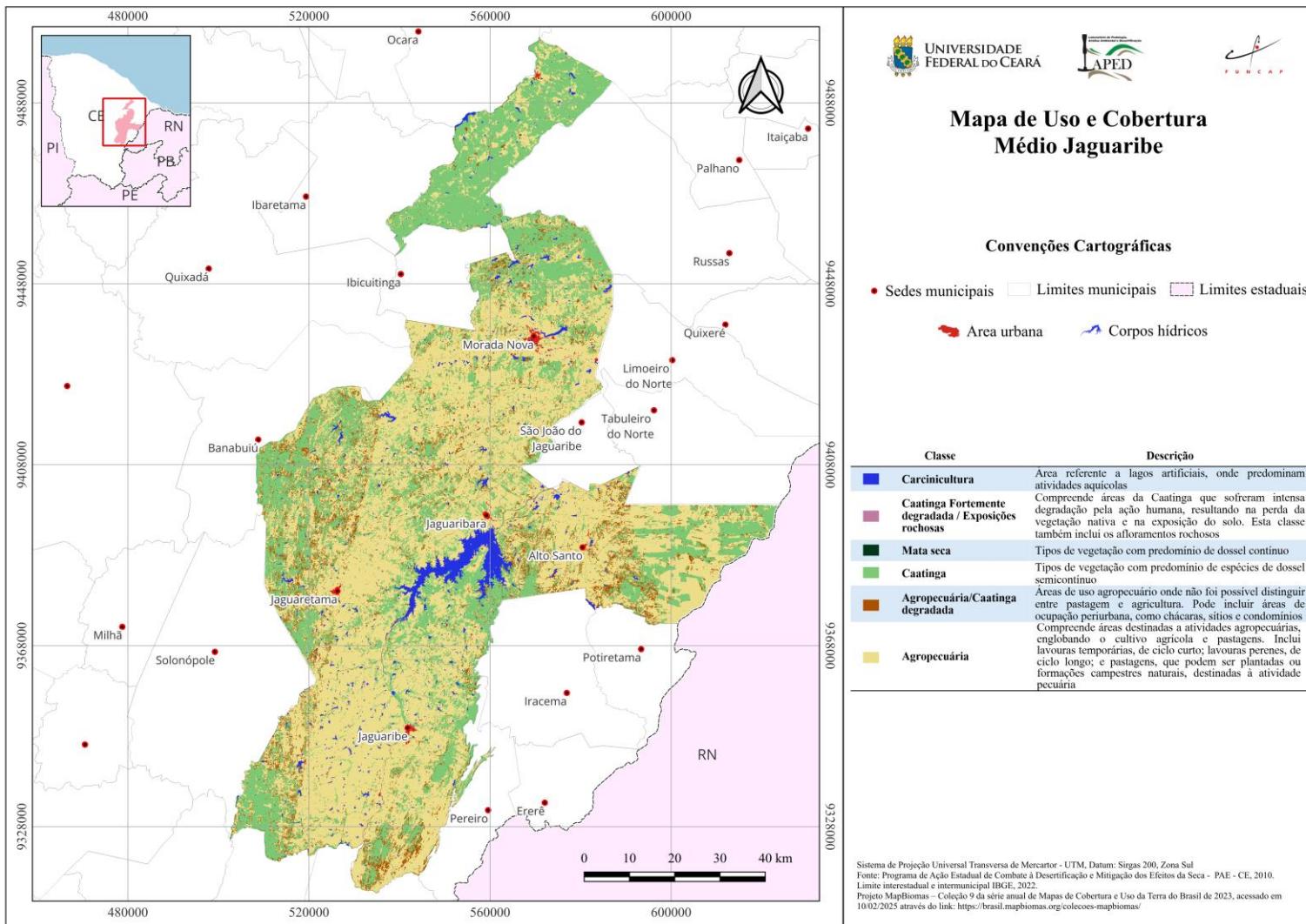
Áreas de uso agropecuário onde não foi possível distinguir entre pastagem e agricultura. Pode incluir áreas de ocupação periurbana, como chácaras, sítios e condomínios.

Agropecuária

Compreende áreas destinadas a atividades agropecuárias, englobando o cultivo agrícola e pastagens. Inclui lavouras temporárias, de ciclo curto; lavouras perenes, de ciclo longo; e pastagens, que podem ser plantadas ou formações campestres naturais, destinadas à atividade pecuária.

Evidencia-se que as classes de uso mais frequentes do núcleo são a caatinga e a agropecuária. A caatinga está distribuída, principalmente, nas periferias do núcleo, em seus extremos norte, sul, leste e oeste. A agropecuária está concentrada, majoritariamente, na porção central do núcleo, com indicativo de expansão para as suas periferias.

Mapa 7 – Mapa de Uso e Cobertura do Núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2025

2.2 Indicadores Socioeconômicos

2.2.1 Distribuição dos Empregos Formais

A população do núcleo enfrenta diversos problemas sociais, como pobreza, desigualdade social, elevada taxa de mortalidade infantil e falta de saneamento básico. Os indicadores socioeconômicos refletem este panorama e são criados com o intuito de auxiliar nas tomadas de decisão e ações emergências no núcleo (Ceará, 2010).

A análise da distribuição dos empregos formais é uma importante estratégia de estudo da economia, através dela pode-se mensurar o desenvolvimento dos principais setores econômicos e como estes afetam a produção de riqueza do município.

Abaixo (Tabela 1) está representada a distribuição dos empregos formais do município de Morada Nova durante o período de 2005 a 2022.

Tabela 1 – Distribuição dos Empregos Formais de Morada Nova

	INDÚSTRIA DE TRANSFORMAÇÃO	CONSTRUÇÃO CIVIL	COMÉRCIO	SERVIÇOS	ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA	AGROPECUÁRIA, EXTRAÇÃO VEGETAL, CAÇA E PESCA
ANOS	TOTAL	TOTAL	TOTAL	TOTAL	TOTAL	TOTAL
2005	473	343	73	170	2.005	18
2006	386	443	159	143	2.203	16
2007	311	471	179	131	2.418	14
2008	353	519	191	139	2.970	14
2009	430	228	210	194	2.946	30
2010	407	281	226	164	3.333	30
2011	483	240	289	171	3.171	36
2012	1.130	315	644	414	2.719	69
2013	1.780	399	721	441	3.943	68
2014	2.091	431	861	460	1.968	170
2015	1.997	314	875	453	2.381	238
2016	1.989	53	846	475	1.960	81
2017	2.633	169	859	487	2.201	68
2018	2.796	293	951	467	2.197	110
2019	3.309	365	981	498	2.342	190
2020	4.237	270	995	556	2.333	168
2021	4.848	267	1.080	584	2.323	113
2022	5.272	248	1.181	647	2.344	154

Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2025)

Morada Nova, em 2022, concentrava os empregos formais nos setores da indústria de transformação e administração pública, sendo o setor da indústria de transformação o que mais cresceu durante o período analisado. O comércio foi o terceiro setor com maior distribuição de empregos formais no município. Os serviços e a construção civil apareceram

logo em seguida. O setor da agropecuária, extração vegetal, caça e pesca foi o menos desenvolvido do município, contribuindo com a menor quantidade de empregos formais.

É importante esclarecer que as atividades agrícolas, de extração vegetal, caça e pesca são majoritariamente de subsistência, não promovendo, desta maneira, relações formais de trabalho, ocasionando o pequeno número de trabalhadores empregados nestas atividades.

Vale destacar que, em 2022, Morada Nova foi o município do núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe com maior distribuição de empregos formais em todos os setores da economia. Caracterizando o município como o mais desenvolvido economicamente do núcleo.

Jaguaribe, em 2022, foi o município que possuía a segunda maior indústria de transformação do núcleo. Entretanto, a distribuição de empregos formais deste setor foi bastante inferior à do município de Morada Nova (Tabela 2). Em 2022, os setores da economia com maior distribuição de empregos no município foram a administração pública e o comércio, sendo o comércio o setor que mais se desenvolveu na série histórica analisada. O setor da agropecuária, extração vegetal, caça e pesca obteve a menor distribuição de empregos do município.

Tabela 2 – Distribuição dos Empregos Formais de Jaguaribe

	INDÚSTRIA DE TRANSFORMAÇÃO	CONSTRUÇÃO CIVIL	COMÉRCIO	SERVIÇOS	ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA	AGROPECUÁRIA, EXTRAÇÃO VEGETAL, CAÇA E PESCA
ANOS	TOTAL	TOTAL	TOTAL	TOTAL	TOTAL	TOTAL
2005	58	0	144	30	975	0
2006	67	24	191	62	1.015	2
2007	70	0	201	124	1.386	4
2008	257	44	280	170	1.030	1
2009	318	13	250	146	1.130	19
2010	336	102	304	133	1.239	47
2011	395	34	362	128	1.270	58
2012	620	68	530	204	1.234	60
2013	637	46	614	262	1.268	14
2014	574	52	698	262	1.243	9
2015	531	141	707	259	1.259	21
2016	572	83	696	278	1.477	26
2017	534	64	783	267	1.194	30
2018	475	36	763	277	1.128	116
2019	485	32	745	362	1.095	120
2020	575	72	774	369	994	126
2021	570	81	813	377	1.558	109
2022	630	237	932	438	1.151	49

Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2025)

Em 2022, Jaguaribe possuía a segunda maior distribuição de empregos formais na construção civil, comércio, serviços e administração pública do núcleo, com distribuição de empregos formais próxima de Morada Nova nestes setores.

O setor da agropecuária, extração vegetal, caça e pesca também foi o segundo mais desenvolvido do núcleo.

Em 2022, Alto Santo possuía a terceira maior distribuição de empregos formais da indústria de transformação (Tabela 3). Na construção civil e comércio, a distribuição de empregos formais foi apenas superior a Jaguariaba.

Em 2022, os setores da economia com maior distribuição de empregos no município foram a administração pública e a indústria de transformação. Vale destacar que a administração pública do município sofreu severas variações na distribuição de empregos, apresentando pico de crescimento durante 2013 a 2016 e redução durante 2017 a 2021. O setor da agropecuária, extração vegetal, caça e pesca possuía a menor distribuição de empregos do município.

Tabela 3 – Distribuição dos Empregos Formais de Alto Santo

	INDÚSTRIA DE TRANSFORMAÇÃO	CONSTRUÇÃO CIVIL	COMÉRCIO	SERVIÇOS	ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA	AGROPECUÁRIA, EXTRAÇÃO VEGETAL, CAÇA E PESCA
ANOS	TOTAL	TOTAL	TOTAL	TOTAL	TOTAL	TOTAL
2005	18	0	18	3	0	0
2006	52	0	23	4	0	0
2007	120	0	19	4	0	0
2008	171	0	18	5	0	0
2009	165	0	21	10	453	0
2010	241	7	31	12	743	0
2011	225	23	35	13	759	15
2012	344	12	85	20	807	13
2013	248	16	96	21	1.176	27
2014	245	1	88	29	1.180	25
2015	220	7	110	28	1.079	17
2016	297	0	111	34	1.283	9
2017	234	4	100	40	915	10
2018	272	17	102	67	607	39
2019	260		110	70	572	46
2020	291		113	67	437	1
2021	223	6	109	56	550	20
2022	222	8	125	44	577	11

Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2025)

Em 2022, nos serviços e na administração pública, a distribuição de empregos formais foi a menor do núcleo. O setor da agropecuária, extração vegetal e caça e pesca possuía a terceira maior distribuição de empregos do núcleo.

Em 2022, Jaguaretama possuía a menor distribuição de empregos da indústria de transformação do núcleo (Tabela 4), a terceira maior distribuição no comércio, construção civil e administração pública, e estava em último lugar no setor da agropecuária, extração vegetal e caça e pesca. O setor de serviços superava apenas a distribuição de empregos de Alto Santo.

Em 2022, os setores da economia com maior distribuição de empregos no município foram a administração pública e o comércio, sendo o comércio o setor que mais se desenvolveu na série histórica analisada. O setor da agropecuária, extração vegetal, caça e pesca possuía a menor distribuição de empregos do município.

Tabela 4 – Distribuição dos Empregos Formais de Jaguaretama

	INDÚSTRIA DE TRANSFORMAÇÃO	CONSTRUÇÃO CIVIL	COMÉRCIO	SERVIÇOS	ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA	AGROPECUÁRIA, EXTRAÇÃO VEGETAL, CAÇA E PESCA
ANOS	TOTAL	TOTAL	TOTAL	TOTAL	TOTAL	TOTAL
2005	3	39	32	31	23	0
2006	3	10	40	27	26	0
2007	3	14	39	33	23	0
2008	3	33	36	35	20	0
2009	3	16	39	39	0	0
2010	2	60	56	21	0	0
2011	4	57	120	19	21	0
2012	5	14	172	32	696	0
2013	5	7	174	38	1.006	0
2014	9	17	162	34	850	0
2015	12	20	191	28	824	0
2016	15	18	197	32	834	0
2017	14	12	182	32	870	
2018	2	31	204	35	862	
2019	5	14	200	48	854	
2020	5	55	186	67	747	
2021	7	45	181	78	911	
2022	9	23	198	69	916	2

Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2025)

Em 2022, Jaguariaba possuía a quarta maior distribuição de empregos da indústria de transformação, serviços e administração pública do núcleo. A menor distribuição de empregos da construção civil e comércio (Tabela 5).

Em 2022, os setores da economia com maior distribuição de empregos no município foram a administração pública e os serviços. O setor da agropecuária, extração vegetal e caça e pesca possuía a segunda menor distribuição de empregos formais no núcleo.

Tabela 5 – Distribuição dos Empregos Formais de Jaguariaba

	INDÚSTRIA DE TRANSFORMAÇÃO	CONSTRUÇÃO CIVIL	COMÉRCIO	SERVIÇOS	ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA	AGROPECUÁRIA, EXTRAÇÃO VEGETAL, CAÇA E PESCA
ANOS	TOTAL	TOTAL	TOTAL	TOTAL	TOTAL	TOTAL
2005	5	0	38	13	555	0
2006	2	0	37	13	403	0
2007	1	0	35	23	420	0
2008	2	0	41	26	526	0
2009	4	0	43	22	594	0
2010	3	0	60	25	698	9
2011	1	0	73	29	692	30
2012	3	9	106	35	628	13
2013	6	1	105	45	733	20
2014	9	2	113	54	16	16
2015	12	4	111	43	501	39
2016	12	18	115	37	489	23
2017	9	2	130	93	506	24
2018	12	3	137	105	524	16
2019	12	4	129	135	520	13
2020	15	4	132	116	444	11
2021	18	3	113	129	667	11
2022	56	5	123	140	607	8

Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2025)

2.2.2 Produto Interno Bruto (PIB) a Preços Correntes

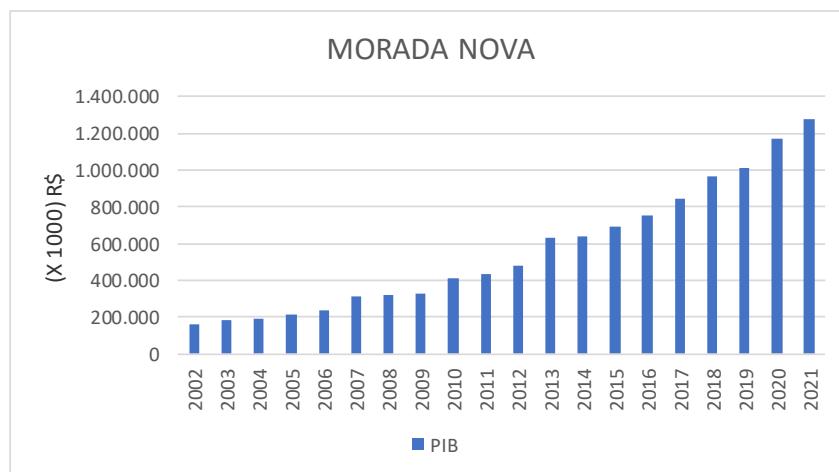
Uma maneira de evidenciar o quanto um país acumulou de riqueza durante uma série histórica é calcular o Produto Interno Bruto (PIB). Este é calculado a partir do acúmulo dos valores de três grandes setores: agropecuária, indústria e serviços (Ipece, 2020).

O Produto Interno Bruto é um indicador essencial para avaliar a produção econômica de um país, pois reflete a produção total de bens e serviços finais no território nacional. O PIB é utilizado para mensurar o crescimento econômico, comparar a produtividade de diferentes países e orientar ações públicas, como investimentos em infraestrutura e programas sociais (Ipece, 2020).

Em 2021, morada Nova (Gráfico 1) foi o município do Núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe que detinha o maior PIB a preços correntes, apresentando

crescimento econômico contínuo entre os anos de 2002 a 2021. Este PIB elevado é consequência direta da grande quantidade de empregos gerados em Mora Nova, sendo este município o possuidor da maior geração de empregos formais do núcleo.

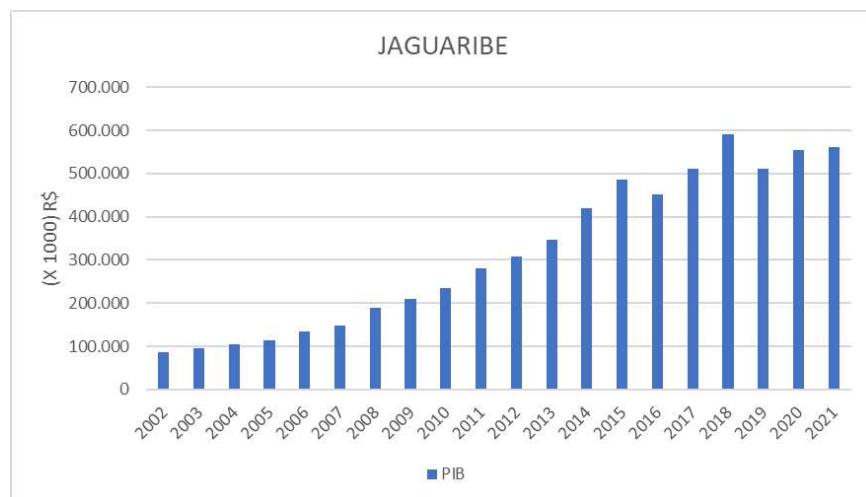
Gráfico 1 – Distribuição do PIB a Preços Correntes de Morada Nova



Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2025)

Em 2021, Jaguaripe foi o município com o segundo maior PIB do núcleo (Gráfico 2), possuindo a segunda maior distribuição de empregos formais na construção civil, comércio, serviços e administração pública do núcleo. Apresentou crescimento contínuo do PIB entre os anos de: 2002 a 2015; 2017 a 2018 e 2020 a 2021. Em 2016 e 2019, houve uma pequena redução do PIB de Jaguaripe.

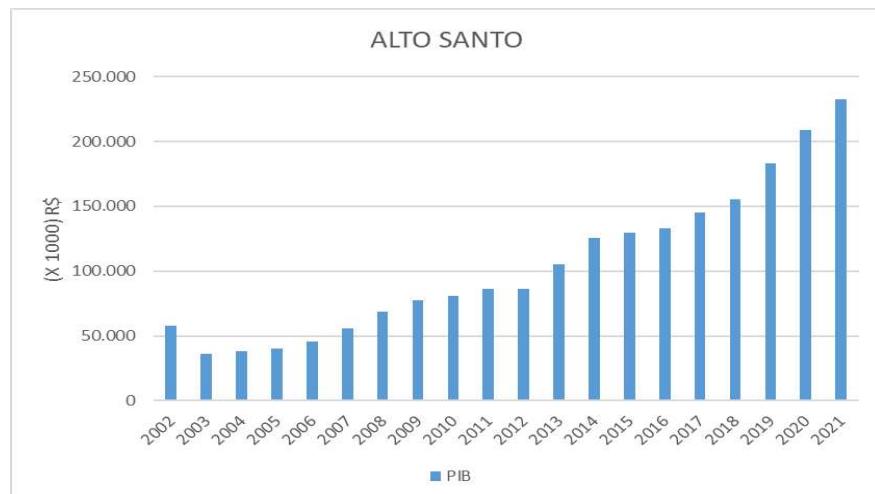
Gráfico 2 – Distribuição do PIB a Preços Correntes de Jaguaripe



Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2025)

Em 2021, Alto santo detinha o terceiro maior PIB do Núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe (Gráfico 3). Apresentou crescimento contínuo do PIB entre os anos de 2003 a 2011 e 2012 a 2021. Houve redução do PIB nos anos de 2003 e 2012.

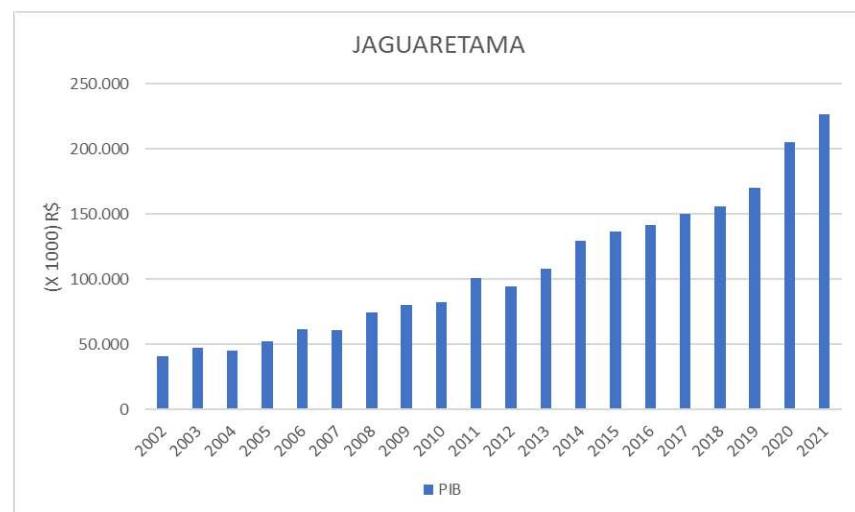
Gráfico 3 – Distribuição do PIB a Preços Correntes de Alto Santo



Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2025)

Em 2021, Jaguaretama possuía o quarto maior PIB do núcleo, possuindo elevada irregularidade econômica (Gráfico 4). Apresentou crescimento contínuo do PIB entre os anos de: 2002 a 2003; 2005 a 2006; 2008 a 2011 e 2013 a 2021. Houve redução do PIB nos anos de: 2004, 2007 e 2012.

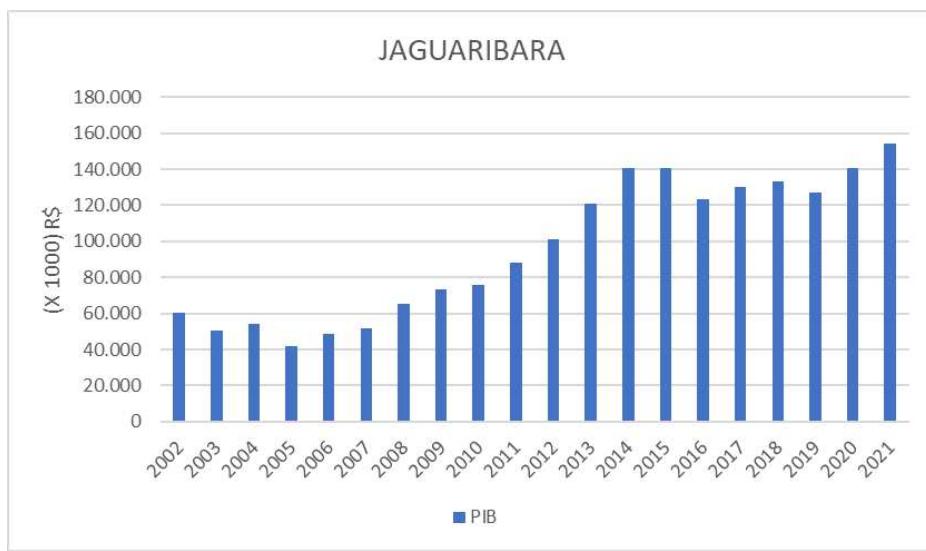
Gráfico 4 – Distribuição do PIB a Preços Correntes de Jaguaretama



Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2025)

Em 2021, Jaguariaba foi o município do núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe que possuía o menor PIB, possuindo, assim como Jaguaretama, elevada irregularidade na produção econômica (Gráfico 5). Apresentou crescimento do PIB entre os anos de: 2002, 2004, 2006 a 2015, 2017 a 2018 e 2020 a 2021. Houve redução do PIB nos anos de: 2003, 2005, 2016 e 2019.

Gráfico 5 – Distribuição do PIB a Preços Correntes de Jaguariaba



Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2025)

2.2.3 Índice de Desenvolvimento Humano

O Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) é um indicador que avalia o grau de desenvolvimento de um país ou região, norteando-se em três dimensões: saúde (expectativa de vida), educação (nível de escolaridade) e renda (PIB per capita) (Ipece, 2020).

O IDH varia de 0 a 1. Quanto mais próximo de 1 está o índice, maior é o seu nível de desenvolvimento. Esse índice é essencial para a criação de políticas públicas e para a implementação de ações que buscam o desenvolvimento socioeconômico dos territórios e países (Ipece, 2020).

O município de Morada Nova (Tabela 6) obteve um acréscimo no seu índice de desenvolvimento humano entre os anos de 2000 (0,485) e 2010 (0,610), entretanto, este aumento foi inferior à evolução do IDH de diversos municípios do estado. Este quadro se repete com os indicadores de educação, longevidade e renda do município.

Em 2010, Morada Nova possuía o quarto maior IDH, índice de educação e longevidade do núcleo. Possuindo também a terceira maior renda (PIB Per Capta) do núcleo.

Tabela 6 – Distribuição do IDH de Morada Nova

ÍNDICE DE DESENVOLVIMENTO HUMANO (IDH)									
MORADA NOVA									
	GLOBAL		EDUCAÇÃO		LONGEVIDADE		RENDAS		
ANOS	ÍNDICE	RANKING	ÍNDICE	RANKING	ÍNDICE	RANKING	ÍNDICE	RANKING	
2000	0,485	40	0,296	65	0,732	17	0,528	24	
2010	0,610	102	0,525	127	0,758	111	0,569	62	

Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2025)

Em 2010, Morada Nova possuía o maior PIB do Núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe, apesar disso, detinha apenas o quarto maior IDH do núcleo, isto é consequência da intensa desigualdade socioeconômica vivenciada no município.

Jaguaribe (Tabela 7) obteve um acréscimo no seu índice de desenvolvimento humano entre os anos de 2000 (0,518) e 2010 (0,621), entretanto, este aumento, novamente, foi inferior à evolução do IDH de diversos municípios do estado.

Tabela 7 – Distribuição do IDH de Jaguaribe

ÍNDICE DE DESENVOLVIMENTO HUMANO (IDH)									
JAGUARIBE									
	GLOBAL		EDUCAÇÃO		LONGEVIDADE		RENDAS		
ANOS	ÍNDICE	RANKING	ÍNDICE	RANKING	ÍNDICE	RANKING	ÍNDICE	RANKING	
2000	0,518	17	0,354	22	0,723	36	0,543	15	
2010	0,621	70	0,543	102	0,760	94	0,58	45	

Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2025)

Em 2010, Jaguaribe possuía o maior IDH e renda per capita do núcleo. Com o segundo e o terceiro melhores índices de educação e longevidade, respectivamente. Jaguaribe, em 2010, também detinha o segundo maior PIB e o melhor IDH do núcleo, sendo consequentemente o município menos desigual. Os índices de educação, longevidade e renda de Jaguaribe atestam a posição de destaque que este município possui no núcleo.

Alto Santo (Tabela 8) obteve um acréscimo no seu índice de desenvolvimento humano entre os anos de 2000 (0,438) e 2010 (0,601), seguindo o mesmo padrão de Morada Nova e Jaguaribe. Em 2010, Alto Santo possuía o pior IDH e índice de educação do núcleo.

Com o segundo e quarto melhores indicadores de longevidade e renda, respectivamente. Alto Santo, em 2010, detinha o terceiro maior PIB do núcleo e o pior IDH, apresentando consequentemente uma elevada desigualdade socioeconômica.

Tabela 8 – Distribuição do IDH de Alto Santo

ÍNDICE DE DESENVOLVIMENTO HUMANO (IDH)								
ALTO SANTO								
	GLOBAL		EDUCAÇÃO		LONGEVIDADE		RENDAS	
ANOS	ÍNDICE	RANKING	ÍNDICE	RANKING	ÍNDICE	RANKING	ÍNDICE	RANKING
2000	0,438	106	0,229	147	0,727	26	0,506	46
2010	0,601	130	0,499	163	0,774	53	0,563	75

Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2025)

Jaguaretama (Tabela 9) obteve um acréscimo no seu índice de desenvolvimento humano entre os anos de 2000 (0,445) e 2010 (0,612), seguindo o mesmo padrão de Morada Nova, Jaguaribe e Alto Santo. Em 2010, Jaguaretama possuía o terceiro melhor IDH e indicador de educação do núcleo. Com o melhor indicador de longevidade e o pior de renda.

Em 2010, Jaguaretama possuía o quarto maior PIB do núcleo, o terceiro melhor IDH e o pior indicador de renda, caracterizando este município como altamente desigual.

Tabela 9 – Distribuição do IDH de Jaguaretama

ÍNDICE DE DESENVOLVIMENTO HUMANO (IDH)								
JAGUARETAMA								
	GLOBAL		EDUCAÇÃO		LONGEVIDADE		RENDAS	
ANOS	ÍNDICE	RANKING	ÍNDICE	RANKING	ÍNDICE	RANKING	ÍNDICE	RANKING
2000	0,445	96	0,248	123	0,723	37	0,492	59
2010	0,612	92	0,535	113	0,776	44	0,552	97

Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2025)

Jaguaribara (Tabela 10) obteve um acréscimo no seu índice de desenvolvimento humano entre os anos de 2000 (0,468) e 2010 (0,618), seguindo o mesmo padrão de Morada Nova, Jaguaribe, Alto Santo e Jaguaretama. Em 2010, Jaguaribara possuía o segundo melhor IDH e indicador de renda do núcleo. Com o melhor indicador de educação e o pior de longevidade.

Em 2010, Jaguaribara detinha o pior PIB e o segundo melhor IDH do núcleo, demonstrando que este município, apesar da reduzida produção de riqueza, a distribui de maneira mais igualitária, diminuindo o abismo financeiro entre os moradores ricos e pobres.

Tabela 10 – Distribuição do IDH de Jaguaribara

ÍNDICE DE DESENVOLVIMENTO HUMANO (IDH)								
JAGUARIBARA								
	GLOBAL		EDUCAÇÃO		LONGEVIDADE		RENDAS	
ANOS	ÍNDICE	RANKING	ÍNDICE	RANKING	ÍNDICE	RANKING	ÍNDICE	RANKING
2000	0,468	57	0,290	72	0,723	38	0,489	66
2010	0,618	80	0,559	74	0,735	157	0,575	49

Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2025)

Os municípios do Núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe apresentaram evolução do IDH entre os anos de 2000 a 2010, bem como dos seus indicadores de educação, longevidade e renda, entretanto, esta evolução não acompanhou o maior desenvolvimento dos demais municípios do estado, esse quadro pode ser evidenciado pelo decaimento do ranking global dos indicadores no município.

2.2.4 Índice de Desenvolvimento Municipal

O Índice de Desenvolvimento Municipal (IDM) carrega em seu âmago a ideia de uma análise multidimensional, que por meio de técnicas estatísticas traduz o nível de desenvolvimento relativo de cada um dos municípios cearenses em um indicador sintético. Ao todo, são trabalhados 30 indicadores agrupados em quatro grupos ligados aos aspectos fisiográficos, fundiários e agrícolas; demográficos e econômicos; de infraestrutura de apoio; e sociais (Ipece, 2020).

Esta característica faz do IDM um índice que pode ser amplamente utilizado no acompanhamento das condições de desenvolvimento dos municípios cearenses, constituindo-se, assim, em um instrumento para diagnósticos e de referência para a proposição e orientação de políticas públicas (Ipece, 2020).

Para o cálculo do IDM são empregados trinta indicadores relacionados a aspectos fisiográficos, fundiários e agrícolas; demográficos e econômicos; de infraestrutura e sociais (Ipece, 2020).

Os indicadores fisiográficos, fundiários e agrícolas abrangem os seguintes elementos: precipitação pluviométrica média observada; percentual da área explorável utilizada sobre a área dos imóveis; percentual do valor da produção vegetal sobre o total do Estado; percentual do valor da produção animal sobre o total do Estado; salinidade média da água (mg/l); quociente locacional da energia rural; índice de distribuição de chuvas (Ipece, 2020).

Os indicadores demográficos e econômicos abrangem os seguintes elementos: densidade demográfica (hab./km²); taxa de urbanização; Produto Interno Bruto (PIB) per capita (R\$/habitante); receita orçamentária per capita (R\$/habitante); percentual do Consumo de energia industrial e comercial sobre o total do município; percentual do produto interno bruto do setor industrial sobre o PIB total; percentual de trabalhadores do emprego formal recebendo mais de 2 salários mínimos (Ipece, 2020).

Os indicadores de infraestrutura de apoio abrangem os seguintes elementos: agências de Correios por dez mil habitantes (unid. / 10.000 habitantes); agências bancárias por dez mil habitantes (unid. / 10.000 habitantes); veículos de carga por cem habitantes (unid. / 100 habitantes); coeficiente de proximidade; percentual de domicílios com energia elétrica; rede rodoviária pavimentada relativa à área do município; emissoras de radiodifusão (unid.) (Ipece, 2020).

Os indicadores sociais abrangem os seguintes elementos: taxa de escolarização no ensino médio (%); taxa de aprovação no 9º ano do ensino fundamental; percentual de escolas com bibliotecas, salas de leitura e laboratórios de informática; equipamentos de informática por escola (unid.); percentual de função docente no ensino fundamental com grau de formação superior; médicos por mil habitantes (unid. / 1.000 habitantes); leitos por mil habitantes (unid. / 1.000 habitantes); taxa de mortalidade infantil por mil nascidos vivos (unid. / 1.000 nascidos vivos); taxa de cobertura de abastecimento de água (%)) (Ipece, 2020).

O município de Morada Nova (Tabela 11) sofreu uma pequena variação do seu IDM no período de 2008 a 2018, variando da quadragésima oitava à trigésima segunda posição do ranking global nesse período.

Em 2018, Morada Nova possuía o melhor IDM do núcleo, em conjunto com os melhores indicadores fisiográficos, fundiários, agrícolas, demográficos, econômicos e de infraestrutura. Obtendo, ainda, o segundo melhor indicador social. Neste ano, Morada Nova era o município mais desenvolvido do núcleo, sendo um atestado das potencialidades dos

municípios inseridos no Núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe, que apesar de sofrerem ativamente com a desertificação, podem contribuir substancialmente com o desenvolvimento socioeconômico do estado.

Tabela 11 – Distribuição do IDM de Morada Nova

ÍNDICE DE DESENVOLVIMENTO MUNICIPAL (IDM)										
MORADA NOVA										
	GLOBAL		FISIOGRÁFICOS, FUNDIÁRIOS E AGRÍCOLAS		DEMOGRÁFICOS E ECONÔMICOS		INFRAESTRUTURA		SOCIAL	
ANOS	ÍNDICE	RANKING	ÍNDICE	RANKING	ÍNDICE	RANKING	ÍNDICE	RANKING	ÍNDICE	RANKING
2008	33,87	48	46,9	87	25,5	23	23,16	103	47,2	49
2010	25,63	60	29,74	52	22,65	31	30,65	48	19,26	135
2012	32,02	43	48,31	39	23,19	34	31,43	47	27,6	99
2014	27,29	55	24,14	81	21,58	39	32,3	44	32,44	99
2016	32,79	43	25,63	78	23,46	25	35,77	31	53,09	52
2018	32,67	32	25,69	74	25,78	19	35,25	36	47,97	48

Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2025)

Jaguaribe (Tabela 12) também sofreu uma pequena variação do seu IDM no período de 2008 a 2018, variando da quinquagésima primeira à quinquagésima quarta posição do ranking global nesse período. Em 2018, Jaguaribe possuía o terceiro melhor IDM; a quarta colocação dos índices fisiográficos, fundiários e agrícolas; a segunda colocação dos índices demográficos, econômicos e de infraestrutura; e a terceira posição dos indicadores sociais. Jaguaribe, em 2018, detinha o terceiro maior IDM do núcleo, alcançando posição intermediária de desenvolvimento socioeconômico local.

Tabela 12 – Distribuição do IDM de Jaguaribe

ÍNDICE DE DESENVOLVIMENTO MUNICIPAL (IDM)										
JAGUARIBE										
	GLOBAL		FISIOGRÁFICOS, FUNDIÁRIOS E AGRÍCOLAS		DEMOGRÁFICOS E ECONÔMICOS		INFRAESTRUTURA		SOCIAL	
ANOS	ÍNDICE	RANKING	ÍNDICE	RANKING	ÍNDICE	RANKING	ÍNDICE	RANKING	ÍNDICE	RANKING
2008	32,8	51	61,95	34	19,36	43	30,6	38	28,39	114
2010	23,29	80	19,09	105	18,57	42	33,49	32	22,5	120
2012	23,31	91	14,23	151	26,48	22	36,11	29	14,77	158
2014	26,22	61	14,47	137	26,54	22	35,41	31	28,66	119
2016	28,77	59	14,12	153	23,88	23	34,13	41	48,61	79
2018	27,71	54	13,43	144	20,74	26	33,68	41	47,94	49

Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2025)

Alto Santo, assim como Morada Nova e Jaguaribe, sofreu uma pequena variação do seu IDM no período de 2008 a 2018 (Tabela 13), variando da centésima septuagésima à centésima quinquagésima quinta posição do ranking global nesse período. Em 2018,

Jaguaribe possuía o pior IDM do núcleo, além dos derradeiros indicadores demográficos, econômicos, de infraestrutura e social. Os indicadores fisiográficos, fundiários e agrícolas do município estavam na segunda colocação do núcleo.

Alto Santo, em 2018, era o município mais vulnerável do Núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe, necessitando, em caráter de urgência, de ações de desenvolvimento econômico e social.

Tabela 13 – Distribuição do IDM de Alto Santo

ÍNDICE DE DESENVOLVIMENTO MUNICIPAL (IDM)										
ALTO SANTO										
	GLOBAL		FISIOGRÁFICOS, FUNDIÁRIOS E AGRÍCOLAS		DEMOGRÁFICOS E ECONÔMICOS		INFRAESTRUTURA		SOCIAL	
ANOS	ÍNDICE	RANKING	ÍNDICE	RANKING	ÍNDICE	RANKING	ÍNDICE	RANKING	ÍNDICE	RANKING
2008	18,19	170	48,89	73	11,73	104	8,16	180	12,56	169
2010	16,23	150	21,63	85	13,78	81	13,1	163	16,83	151
2012	19,34	133	22,86	116	9,53	125	21,96	117	24,79	118
2014	15,4	163	11,09	151	10,18	112	23,99	101	17,23	166
2016	19,95	143	17,2	128	12,01	83	19,61	132	36,76	152
2018	16,65	155	16,97	117	4,1	163	18,79	135	31,57	130

Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2025)

Jaguaretama, assim como Morada Nova, Jaguaribe e Alto Santo, sofreu uma pequena variação do seu IDM no período de 2008 a 2018 (Tabela 14), variando da centésima quinquagésima quinta à centésima quinquagésima primeira posição do ranking global nesse período. Em 2018, Jaguaretama possuía o quarto IDM do núcleo, além dos piores indicadores fisiográficos, fundiários e agrícolas. Os indicadores demográficos, sociais, econômicos e de infraestrutura estavam na quarta colocação do núcleo.

Jaguaretama, em 2018, era o município com o segundo pior IDM do núcleo, inserindo-o em um quadro de extrema vulnerabilidade, necessitando de políticas públicas eficazes de desenvolvimento socioeconômico e redução da desigualdade social.

Jaguaribara, assim como Morada Nova, Jaguaribe, Alto Santo e Jaguaretama, sofreu uma pequena variação do seu IDM no período de 2008 a 2018 (Tabela 15), variando da sexagésima sétima à octogésima posição do ranking global nesse período. Em 2018, Jaguaribara possuía o segundo melhor IDM do núcleo, além do melhor indicador social. Os indicadores fisiográficos, fundiários, agrícolas, demográficos, econômicos e de infraestrutura estavam na terceira colocação do núcleo. Este município, em 2018, se encontrava em posição

de destaque, apresentando o segundo maior IDM do núcleo, sendo o mesmo fundamental para a economia e prosperidade da região.

Tabela 14 – Distribuição do IDM de Jaguaretama

ÍNDICE DE DESENVOLVIMENTO MUNICIPAL (IDM)										
JAGUARETAMA										
	GLOBAL		FISIOGRÁFICOS, FUNDIÁRIOS E AGRÍCOLAS		DEMOGRÁFICOS E ECONÔMICOS		INFRAESTRUTURA		SOCIAL	
ANOS	ÍNDICE	RANKING	ÍNDICE	RANKING	ÍNDICE	RANKING	ÍNDICE	RANKING	ÍNDICE	RANKING
2008	21,12	155	45,47	91	6,65	161	16,44	157	25,05	130
2010	14,75	164	15,99	123	11,51	110	18,66	124	13,02	163
2012	16,6	154	20,57	124	11,2	110	20,57	128	15,04	157
2014	17,29	150	10,6	155	8,23	128	20,14	132	33,05	93
2016	19,01	146	12,13	164	7,68	127	20,02	129	44,89	99
2018	18,24	151	10,95	159	8,97	103	20,1	125	38,21	95

Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2025)

Tabela 15 – Distribuição do IDM de Jaguaribara

ÍNDICE DE DESENVOLVIMENTO MUNICIPAL (IDM)										
JAGUARIBARA										
	GLOBAL		FISIOGRÁFICOS, FUNDIÁRIOS E AGRÍCOLAS		DEMOGRÁFICOS E ECONÔMICOS		INFRAESTRUTURA		SOCIAL	
ANOS	ÍNDICE	RANKING	ÍNDICE	RANKING	ÍNDICE	RANKING	ÍNDICE	RANKING	ÍNDICE	RANKING
2008	30,07	67	43,1	99	14,46	76	32,86	24	36,27	81
2010	27,22	47	19,31	104	19,09	40	25,48	75	47,75	26
2012	20,27	120	20,06	127	14,92	72	23,2	103	23,7	127
2014	23,63	80	10,96	153	12,55	93	23,12	107	52,4	16
2016	26,09	80	16,01	133	15,52	64	25,78	92	56,81	35
2018	26,61	45	14,77	132	15,4	53	26,48	84	67,17	7

Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2025)

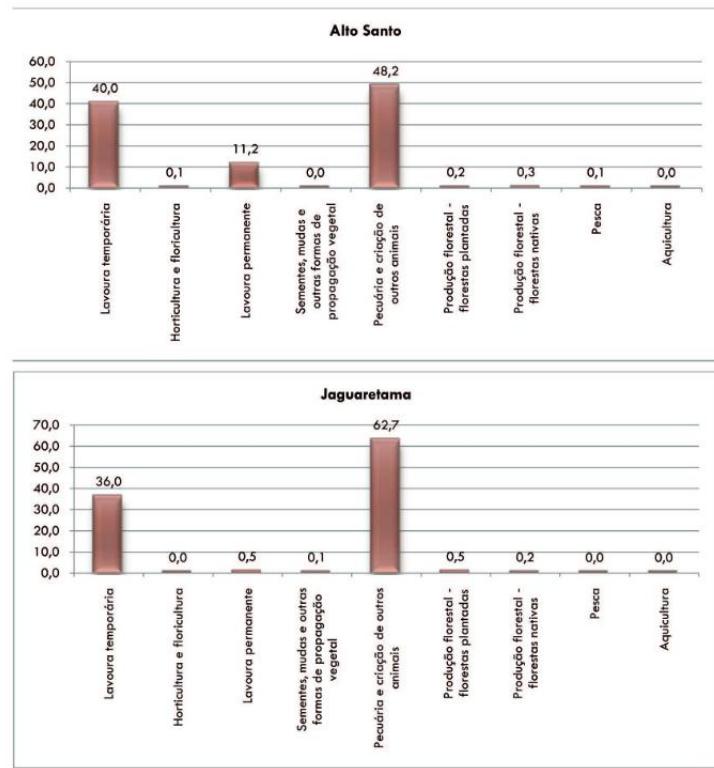
2.2.5 Estrutura Fundiária do Núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe

Na distribuição dos estabelecimentos agropecuários dos municípios inseridos no Núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe, há predominância de atividades rurais ligadas à lavoura temporária e à criação de animais. As atividades agropecuárias se tornam ameaças quando praticadas de forma inadequada, podendo levar à perda de produtividade do solo, carreamento deste solo, contaminação do lençol freático por agrotóxicos. No caso particular dos pequenos agricultores, é importante ressaltar que as formas de degradação são

relativamente mais amenas, consistindo em restos da produção, no chorume da pocalga que eutrofiza a água e o solo, extração da lenha para subsistência (Ceará, 2010).

Como dito anteriormente, os municípios inseridos no Núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe possuem predominância de atividades rurais ligadas à lavoura temporária e criação de animais. Em 2010, no município de Alto Santo (Figura 1), a atividade possuidora de mais estabelecimentos foi a pecuária e criação de outros animais (48,2%), em seguida, a lavoura temporária (40%), e na terceira colocação estava a lavoura permanente (11,2%). Neste ano, em Alto Santo, com relação à quantidade de estabelecimentos por atividade no núcleo, estava na terceira colocação da pecuária e criação de outros animais, quarta de lavouras temporárias e primeira de lavouras permanentes.

Figura 1 – Distribuição dos estabelecimentos agropecuários dos municípios de Alto Santo e Jaguaretama



Fonte: PAE/CE (2010)

Em Jaguaretama, no ano de 2010, a atividade possuidora de mais estabelecimentos foi a pecuária e criação de outros animais (62,7%), em seguida, a lavoura temporária (36%), e na terceira colocação estava a lavoura permanente (0,5%). Neste ano, em Jaguaretama, com relação à quantidade de estabelecimentos por atividade no núcleo, estava

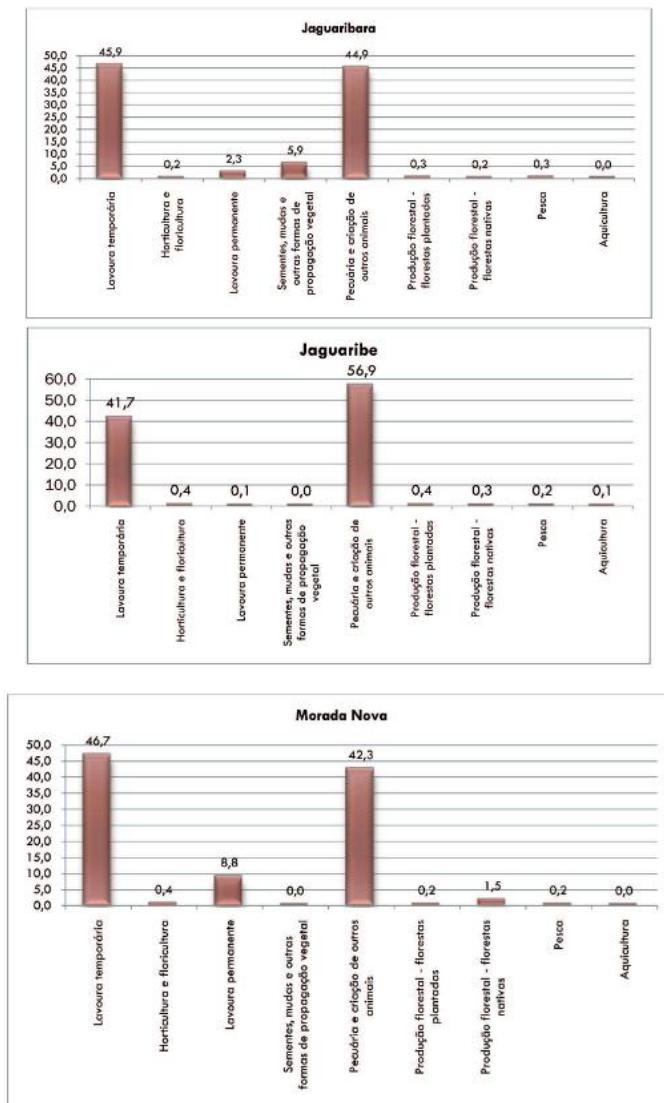
na primeira colocação da pecuária e criação de outros animais, quinta de lavouras temporárias e quarta de lavouras permanentes.

Em Jaguaribara (Figura 2), no ano de 2010, a atividade possuidora de mais estabelecimentos foi a lavoura temporária (45,9%), em seguida estava a pecuária e criação de outros animais (44,9%), e na terceira colocação estava a lavoura permanente (2,3%). Neste ano, em Jaguaribara, com relação à quantidade de estabelecimentos por atividade no núcleo, estava na quarta colocação da pecuária e criação de outros animais, segunda de lavouras temporárias e terceira de lavouras permanentes.

Em Jaguaribe, no ano de 2010, a atividade possuidora de mais estabelecimentos foi a pecuária e criação de outros animais (56,9), em seguida estava a lavoura temporária (41,7%) e na terceira colocação estava a horticultura e floricultura (0,4%). Neste ano, em Jaguaribe, com relação à quantidade de estabelecimentos por atividade no núcleo, estava na segunda colocação da pecuária e criação de outros animais, terceira de lavouras temporárias e quinta de lavouras permanentes.

Em Morada Nova, no ano de 2010, a atividade possuidora de mais estabelecimentos foi a lavoura temporária (46,7), em seguida estava a pecuária e a criação de outros animais (42,3%), e na terceira colocação estavam as lavouras permanentes (8,8%). Neste ano, em Morada Nova, com relação à quantidade de estabelecimentos por atividade no núcleo, estava na quinta colocação da pecuária e criação de outros animais, primeira de lavouras temporárias e segunda de lavouras permanentes.

Figura 2 – Distribuição dos estabelecimentos agropecuários dos municípios de Jaguaribara, Jaguaribe e Morada Nova.



Fonte: PAE/CE (2010)

2.3 Uso e Ocupação dos Sertões do Médio Jaguaribe

As margens do rio Jaguaribe, desde o princípio da colonização do estado do Ceará, foram o epicentro de muitas atividades socioeconômicas, tendo sofrido continuamente com a intervenção e as formas de ocupação do homem, cada vez mais agressivas e capazes de comprometer sua integridade funcional para as futuras gerações (Pantaleão; Maia, 2014).

A partir deste quadro, o rio Jaguaribe foi um importante facilitador da entrada e fixação dos colonizadores “sertão adentro”; em seus leitos secos, os primeiros colonizadores foram estabelecendo suas fazendas, lavouras e implementando seus rebanhos. Às suas

margens passava a Estrada Geral do Jaguaribe, que conectava a cidade de Aracati, no litoral, ao sertão. Era a principal via de escoamento de gado e cavalos para a zona do Médio São Francisco e minerações de Minas Gerais (Studart, 1903).

Com o decorrer dos séculos, a região do Jaguaribe passou por inúmeros ciclos econômicos, sofrendo diversos tipos de impactos ambientais em razão do acelerado e mal-planejado ritmo de expansão e prática agropastoril. Acarretando problemas, muitas vezes, irreparáveis, capazes de impactar economicamente e ecologicamente nesse importante recurso hídrico cearense (Guerra, 2009).

Para Pantalena e Maia (2014), vários ciclos agroeconômicos foram marcantes no desenvolvimento da região jaguaribana no decorrer dos últimos séculos. O rio Jaguaribe foi, e ainda é, palco de várias atividades antrópicas e representa um importante catalisador econômico para a região.

A ocupação dos sertões do Médio Jaguaribe teve como expressão máxima o binômio gado-algodão, caracterizando uma conjuntura econômica que trouxe riqueza para os proprietários sertanejos e, em consequência, pobreza para o cenário das caatingas (Guerra et al., 2012).

Em 1681, foram realizadas as primeiras doações de sesmarias pelo rei de Portugal para incentivar o povoamento do Vale do Jaguaribe pelos criadores de gado, dando partida ao ciclo agropastoril, com as primeiras fazendas de gado, cana-de-açúcar e as primeiras indústrias de charque (Girão, 1986).

Segundo Pantalena e Maia (2014, p. 464),

O modo de exploração da pecuária, aliado às características geológicas, geomorfológicas e climáticas da região, mostra-se de extrema relevância ao analisarmos os atuais impactos ambientais. A criação de gado era feita de maneira extensiva e os latifundiários sobrecrejavam o pasto natural (caatinga), colocando um grande número de cabeças de gado em uma mesma área. Aliado ao inadequado plano de manejo, inexistia mão de obra especializada e era comum a prática de queimadas para “limpar” o terreno. As consequências dessas práticas inadequadas de manejo por vários anos foram agravando seus efeitos com o passar dos tempos. O desmatamento da vegetação natural e o pisoteio do gado foram provocando a degeneração do solo e a erosão do terreno, o que contribui diretamente para a diminuição da capacidade produtiva (econômica e biológica) e da disponibilidade hídrica superficial/ subterrânea, contribuindo diretamente, por fim, para o assoreamento dos cursos de água, a extinção da fauna e flora nativa e o surgimento dos efeitos da desertificação. Essa situação se mostra presente nas proximidades da cidade de Jaguaribe e nos municípios vizinhos.

A pecuária foi definitivamente o grande marco inicial da formação territorial do vale do Jaguaribe, porém a maior expressão econômica deste vale surgiu posteriormente com o cultivo do algodão, principalmente pelo fato de o gado nordestino ter dado lugar ao

gado gaúcho, em razão do enfraquecimento da atividade causado pelos longos períodos de estiagem (Guerra, 2009).

O algodão se tornou, ao lado do boi, a maior fonte de renda da Capitania, tornando o binômio gado-algodão o maior representante do ciclo agropecuário do Ceará (Girão, 2000).

O algodão teve grande ascensão no Maranhão, mas o Ceará também mostra sua preciosa participação no movimento das exportações. "No Ceará, elas invadem a bacia do Jaguaribe, e seu principal centro localizar-se-á no alto interior, Icó" (Prado Júnior, 1960, p. 83)

Segundo Luetzelburg (1923, p. 100),

Os centros algodoeiros mais importantes ficam ao sul do estado, limitados pela serra do Araripe; Crato, Joazeiro, Ingazeira, Barbalha, Lavras, Iguatú, se dedicam principalmente ao verdão, quebradinho e inteiro. A partir destes centros se estende uma região em direção á Nordeste, ao longo do rio Jaguaribe, tendo como principaes centros as cidades de Icó, Limoeiro, União, Aracati. No Valle do rio Jaguaribe encontramos, nas proximidades de suas margens, a cultura do inteiro e o herbáceo; mais distintamente cultiva-se o azulão e quebradinho, nas encostas das serras, o mocó.

O algodão era conhecido como o principal suporte da economia da zona semiárida do Nordeste, que compreende desde o plantio até a industrialização, dada a sua ponderação na renda da região". (Barros, 1988, p. 7).

A importância do algodão para o Nordeste motivou a SUDENE a elaborar planos para o desenvolvimento continuado desta cultura. Tendo dois planos efetivos, sendo um de longo e outro de curto prazo (Banos, 1998).

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 A Problemática da Desertificação

As terras sob influência dos climas áridos, semiáridos e subúmidos secos podem ser denominadas, segundo a Convenção das Nações Unidas para o Combate à Desertificação (UNCCD), como terras secas (United Nations, 2011).

De acordo com o Centro de Gestão e estudos estratégicos (Cgee, 2016), estas terras cobrem cerca de 41% dos continentes e das ilhas do planeta, além de abrigar aproximadamente um terço da população mundial. O Cgee (2016) ainda destaca que foram identificados em terras secas expressivos núcleos de pobreza, especialmente na África, na Ásia e na América Latina.

Na América Latina, um quarto da superfície da região corresponde às terras secas e três quartos apresentam problemas de degradação, onde vivem aproximadamente 83 milhões de pessoas, grande parte em situação de pobreza e, consequentemente, vulneráveis a processos de mudanças climáticas e desertificação (Cgee, 2016).

Para a Organização das Nações Unidas (Onu, 2015), essas áreas são essenciais para a economia global, pois concentram parcela significativa da população mundial, além de serem grandes produtoras de alimentos e matérias-primas.

As terras secas têm por características a irregularidade espaço-temporal das precipitações, a elevada amplitude térmica diária, os solos secos e pobres em nutrientes, além de possuírem fauna e flora adaptadas às variações climáticas e resistentes às secas (United Nations, 2011).

Matallo Júnior (2001) esclarece que as terras secas foram as primeiras a serem povoadas em toda a história humana e, em muitas delas, ergueram-se suntuosos impérios e majestosas civilizações, que deixaram como legado a moderna cultura ocidental e oriental.

Apesar do rico histórico de desenvolvimento sociocultural nas terras secas, nos últimos séculos, essas áreas estiveram isoladas dos processos de produção de excedentes econômicos para o mercado de alimentos e manufaturados sendo, quase que exclusivamente, fornecedoras de matérias-primas e escravos (Matallo Júnior, 2001).

As potências colonialistas da Europa exploraram durante séculos as reservas de recursos naturais e população dessas regiões, com o objetivo de alavancar seus lucros e fortalecer seu sistema capitalista. Essa expropriação causou disputas pela hegemonia política

e econômica do mundo, desembocando nos grandes conflitos armados deste século. (Matallo Júnior, 2001).

A consequência desta política colonizatória para as terras secas foi o atraso tecnológico e a instauração de um padrão de exploração dos recursos naturais insustentáveis, face às demandas que deveria atender. Dessa forma, o consenso científico é de que os recursos dessas áreas são bastante limitados e os investimentos necessários para tornar as atividades produtivas rentáveis muito elevados para garantir competitividade nos mercados que estão se tornado cada vez mais exigentes em produtividade (Matallo Júnior, 2001).

Esse quadro, de contínua exploração predatória, em conjunto com as condições climáticas adversas, produz o fenômeno da desertificação. O conceito oficial da desertificação foi proposto pela Convenção das Nações Unidas para o combate à Desertificação (UNCCD), que a define como: degradação de terras nas zonas áridas, semiáridas, e subúmidas secas, resultantes de vários fatores, incluindo as variações climáticas e as atividades humanas (Ceará, 2010).

Brasil (2010, p. 22) define a desertificação como:

Um processo perverso de degradação de terras, que ocorre em regiões áridas, semiáridas e subúmidas secas, em decorrência de alguns fatores como sobrepastoreio, desmatamento indiscriminado, agravado pelos recentes de pesquisa que apontam para o aquecimento global, tendo a nossa região como uma das mais afetadas.

As Nações Unidas estimam que a desertificação custa 42 bilhões de dólares por ano, em contrapartida, a prevenção representa um custo de apenas US\$ 10-20 bilhões por ano. Acredita-se que entre cinco e seis milhões de hectares de terra agricultável e produtiva perde-se anualmente em razão da desertificação e decadência da produtividade (Roxo, 2006).

As terras secas ao redor do mundo possuem grande potencial produtivo, atualmente são responsáveis por 22% da produção mundial de alimentos. A desertificação afeta catastroficamente este potencial, diminuindo a qualidade de vida das populações, preferencialmente as comunidades rurais e de baixa renda, nos seus aspectos sociais, econômicos e ambientais (Matallo Júnior; Schenkel, 2003).

No território brasileiro, o processo de desertificação está relacionado ao conjunto de condições geoambientais, bem como substrato rochoso, solos, feições geomorfológicas, vegetação e clima. Além desses aspectos, as diferentes formas de uso e ocupação das terras potencializam o processo de desertificação na região (Santos; Aquino, 2017).

Para Mérega (2003), as causas da desertificação não podem ser compreendidas de forma isolada, mas devem ser analisadas levando-se em consideração três fatores: socioeconômico (que envolve todos os aspectos antrópicos), biológico (flora e fauna) e físico (clima e solo).

As condições naturais de determinadas áreas, como a sua pré-disposição geoecológica e o forte rigor climático, dentre outros aspectos, são condicionantes e estimulantes ao desenvolvimento da desertificação, desencadeada por determinadas práticas humanas desenvolvidas nestes ambientes de extrema fragilidade ecológica. Dentre as várias atividades antrópicas que desencadeiam o processo, podem-se destacar: o cultivo intensivo; o pastoreio intensivo; o desmatamento; a mineração; e o uso de técnicas inadequadas de manejo do solo (Barros et al., 2008).

As causas da desertificação no mundo incluem o sobrepastoreio intensivo, o desmatamento, a gestão inadequada da agricultura, o consumo de lenha como combustível, a indústria e urbanização (Millennium Ecosystem Assessment- Ma, 2005).

A desertificação acarreta à perda de biodiversidade e, consequentemente, contribui com as mudanças climáticas globais por meio da perda da capacidade de retenção de carbono pelas plantas. Estima-se que 300 milhões de toneladas de carbono são perdidos para a atmosfera pelas terras secas como resultado da desertificação, o que corresponde a cerca de 4% do total das emissões globais (Ma, 2005).

Ainda em relação às consequências da desertificação Silva (1999) ressalta que esta conduz à formação de terras com potencial produtivo limitado. Assim sendo, a desertificação está relacionada não somente ao fator ambiental, mas também ao social e ao econômico, e diante de sua abrangência faz-se de extrema importância a mobilização social em prol do combate a tal fenômeno e as suas consequências, onde a criação, desenvolvimento e investimento de recursos em programas e alternativas de minimização dos seus impactos são extremamente importantes.

Ma (2005) afirma que as mudanças climáticas podem, adversamente, influenciar a biodiversidade e acelerar a desertificação devido à redução na evapotranspiração e, consequentemente, à diminuição das chuvas nas terras secas.

O fenômeno da desertificação aflige grande porção do território brasileiro e, de acordo com Galindo et al. (2008), a grande maioria das terras susceptíveis à desertificação no país encontra-se nas regiões semiáridas e subúmidas secas do Nordeste. Este problema vem se agravando em razão das secas sucessivas que devastam o Nordeste e, principalmente, das pressões antrópicas em um ecossistema frágil.

Segundo o (Cgee, 2016), no Nordeste do Brasil, não ocorrem áreas hiperáridas ou áridas, que são definidas como aquelas onde a relação entre a chuva e a evapotranspiração (Índice de Aridez) é menor, respectivamente, do que 0,05 ou 0,20. Em compensação, há áreas semiáridas e subúmidas secas, com Índice de Aridez entre 0,21 e 0,50 e 0,50 e 0,65.

O Nordeste Político é frequentemente confundido com o Semiárido. A maior porção da região semiárida brasileira faz parte do Nordeste Político, e apesar de ter grande influência sobre o mesmo, não o define em sua totalidade e complexidade.

De acordo com o Cgee (2016, p. 18), é preciso diferenciar o Nordeste político do semiárido brasileiro.

Aliás, quando se fala de Nordeste, é preciso dizer exatamente o que se entende por isso, uma vez que o Nordeste político envolve vários ecossistemas. A região como um todo inclui nove Estados da Federação brasileira - Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia -, com 1,5 milhão de quilômetros quadrados (km^2) e 53 milhões de habitantes, segundo o Censo Demográfico de 2010.

O Nordeste, em decorrência de sua grande extensão territorial, apresenta configurações heterogêneas quanto à sua geologia, geomorfologia, rede hidrográfica, vegetação e clima. Isto acarreta uma enorme diversidade paisagística e cultural, o que torna a região diversa em potencialidades e limitações (Ferreira, 2021).

De acordo com o Cgee (2016, p. 10).

O Semiárido, que abriga quase 23 milhões de pessoas, é um subconjunto do Nordeste representado pela área mais seca, onde as estiagens são mais severas e com significativo déficit hídrico, sendo caracterizado pelo bioma da Caatinga. A região avança um pouco pelo sudeste, incorporando o norte do Estado de Minas Gerais. A Área Suscetível à Desertificação (ASD), por sua vez, incorpora o Semiárido e áreas vizinhas, que também podem sofrer com os efeitos das secas, em especial o oeste da Bahia, sul do Piauí, leste do Maranhão e norte do Espírito Santo. Vivem aí 35 milhões de pessoas. As secas, que impactam mais o Semiárido, também têm efeitos sobre as demais regiões.

O Semiárido caracteriza-se por elevadas taxas de evapotranspiração, ocorrência de períodos de secas, solos com pouca profundidade e reduzida capacidade de retenção de água, o que limita consequentemente seu potencial produtivo. Todos esses elementos unidos evidenciam um ecossistema muito frágil, o qual se agrava principalmente devido à degradação da cobertura vegetal e do uso incorreto das terras, através da exploração predatória da caatinga, dos desmatamentos e queimadas (Silva et al., 2009).

Geograficamente, o Semiárido brasileiro tem uma extensão de 969.589 Km² e abrange 70% do território do Nordeste e 63% de sua população. O mesmo é, portanto, constituído pelos Estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco,

Alagoas, Sergipe e Bahia, além do norte de Minas Gerais e oeste do Espírito Santo (Brasil, 2010).

A delimitação do semiárido brasileiro foi realizada de acordo com a Lei Complementar nº 185/2021 (Figura 3), que incluiu 84 municípios na Área de atuação da Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE). Os trabalhos desenvolvidos nesta Delimitação tiveram como resultado a identificação de 1.427 municípios que atingiram pelo menos um dos critérios para classificação de pertencimento do Semiárido (Sudene, 2021).

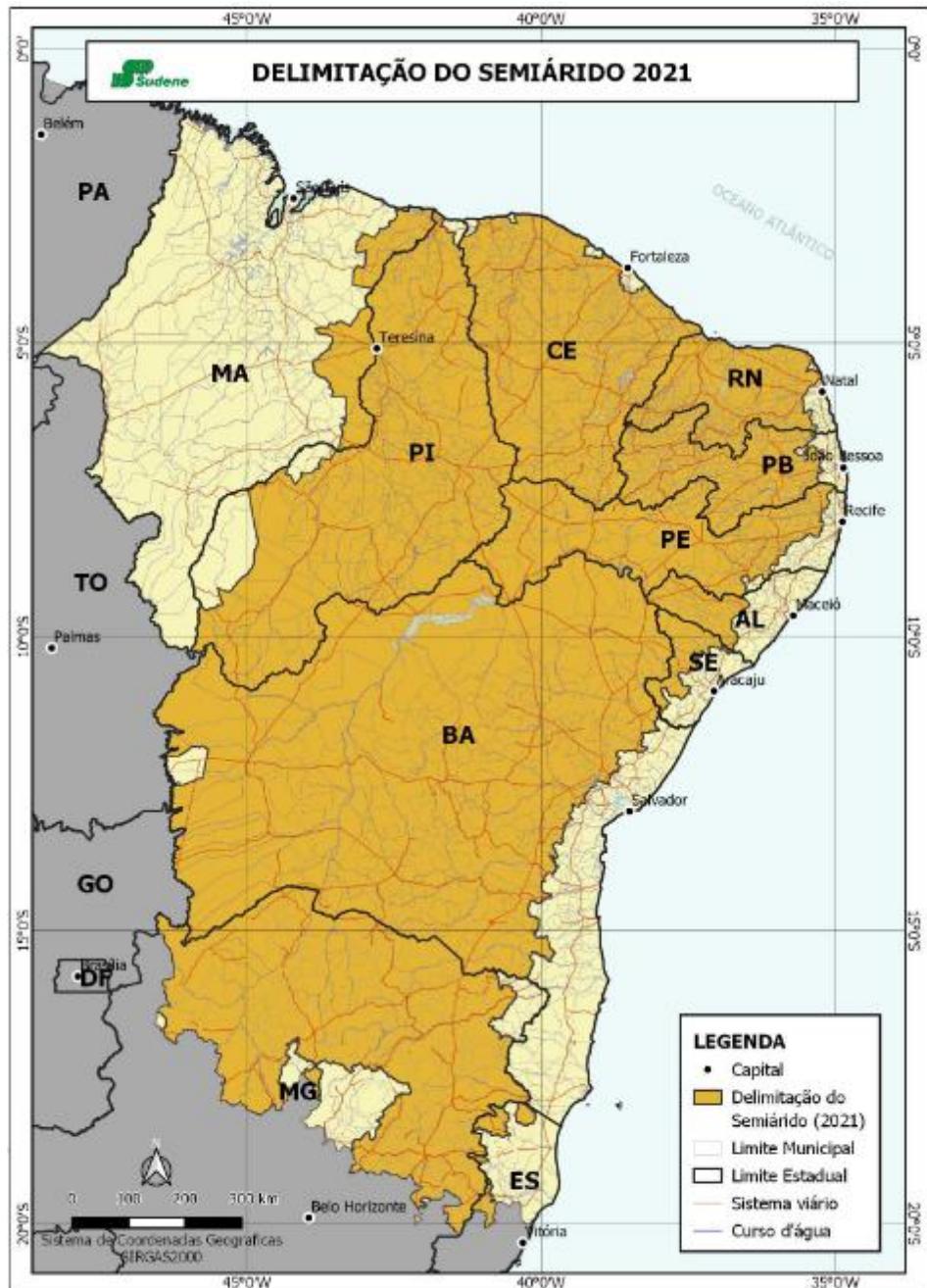
A delimitação atual do semiárido brasileiro levou em consideração os seguintes critérios (Sudene, 2021, p. 13).

Tomou-se por base três critérios técnicos: a) precipitação pluviométrica média anual inferior a 800 milímetros; b) índice de aridez de até 0,5, calculado pelo balanço hídrico, que relaciona a precipitação e a evapotranspiração potencial, no período entre 1961 e 1990; e c) risco de seca maior que 60%, tomado-se por base o período entre 1970 e 1990.

Para Conti (2005, p. 8), o semiárido se manifesta de forma mais característica.

Em uma área que se estende do litoral setentrional, da foz do rio Jaguaribe (latitude de 04° 30' S) à Ponta dos Três Irmãos (município de São Bento do Norte, RN, latitude de 05° 10' S), avançando pelo continente em direção ao vale do rio São Francisco até a latitude de 12° S), apresentando-se de forma descontínua. A região semiárida é envolvida a Oeste, ao Sul e a Leste, por áreas mais úmidas, definindo uma faixa transicional muito variável. Em direção a Noroeste, vai se descaracterizando, a partir da Chapada do Ibiapaba, onde a estação seca se reduz a seis meses, passando para um quadro físico subúmido e cobertura vegetal de cerrado, embora ainda ocorram bolsões de vegetação xerofítica na bacia do rio Parnaíba, principalmente nos vales dos rios Piauí e Gurguéia. A partir da depressão sanfranciscana, em direção a Oeste, o domínio semiárido é limitado pelos chapadões cretáceos da Serra Geral, de clima subúmido e vegetação arbustiva, do tipo cerrado. Para Leste, no rumo do Atlântico, a transição é mais rápida, sendo constituída por uma faixa subúmida, de largura variando entre cinquenta e cem quilômetros, correspondente à região colinosa conhecida como agreste, originalmente coberta por formações florestais caducifólias, hoje praticamente extintas.

Figura 3 – Delimitação oficial do semiárido de acordo com a Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste



Fonte: SUDENE, 2021

Entre a delimitação do semiárido de 2017 (resolução nº 115, de 23/11/2017) e a vigente de 2021 (Lei Complementar nº 185/2021), houve uma alteração na quantidade de municípios inseridos e excluídos (Tabela 16).

Tabela 16 –Variação da quantidade de municípios entre as delimitações do Semiárido de 2017 e 2021.

UF	Semiárido 2017	Semiárido 2021			Total
		Já constavam 2017	Inseridos	Excluídos	
AL	38	34	4	4	38
BA	278	274	9	4	283
CE	175	171	0	4	171
ES	0	0	6	0	6
MA	2	2	14	0	16
MG	91	83	126	8	209
PB	194	184	4	10	188
PE	123	118	19	5	137
PI	185	184	31	1	215
RN	147	140	1	7	141
SE	29	22	1	7	23
Total	1.262	1.212	215	50	1.427

Fonte: SUDENE, 2021

Nota-se que 50 municípios não mais integrarão o Semiárido nesta revisão da Delimitação. Apesar destes municípios fazerem parte da delimitação vigente, a exclusão ocorre, pois nenhum deles atingiu os critérios técnicos estabelecidos para 2021 (Sudene, 2021).

O Semiárido brasileiro possui níveis de precipitação relativamente elevados - de 400mm a 800 mm por ano e, em algumas ocasiões, até 1.000 mm anuais – (Mma, 2010), as atividades agrícolas estão fortemente limitadas por padrões de precipitação insuficientes e pouco confiáveis, distribuídas em poucos meses (três a quatro), bem como níveis de evapotranspiração elevados. Portanto, a falta de acesso à água e recorrentes eventos climáticos extremos, como as secas, têm influenciado durante séculos as atividades agrícolas na região semiárida do país (Obermaier, 2011).

O Semiárido detém os maiores índices de vulnerabilidade socioeconômica, com grande parcela da população desenvolvendo atividades agrícolas, como a agricultura de sequeiro, por exemplo, com baixo grau tecnológico e elevada dependência da disponibilidade de recursos naturais. Dessa maneira, os potenciais impactos negativos sobre os recursos hídricos e suas consequências na agricultura de sequeiro poderão comprometer a população da região (Angelotti et al., 2011).

Segundo o Quarto Relatório de Avaliação do International Panel on Climate Change (Ipcc, 2007), o Semiárido brasileiro poderá se tornar uma das regiões mais acometidas pelas mudanças climáticas e se tornar mais árido, podendo ocasionando um

aumento na frequência e na intensidade das secas e, consequentemente, reduções na disponibilidade de recursos hídricos. Destarte, essas alterações no clima da região poderão resultar no impacto sobre a vegetação, a biodiversidade e sobre as atividades que dependem dos recursos naturais (Marengo, 2008).

3.2 Áreas de Susceptibilidade a Desertificação no Ceará

O Brasil, como membro signatário da UNCCD, assumiu o compromisso de procurar alternativas que minimizem os efeitos danosos do processo de degradação das terras em regiões áridas, semiáridas e subúmidas secas. Para ter um documento norteador, o Ministério do Meio Ambiente elaborou o Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca – PAN-Brasil, que estabeleceu como objeto de atuação as Áreas Suscetíveis à Desertificação – ASD's. Essas áreas foram assim classificadas por estarem em condições climáticas bastante vulneráveis, e onde, em geral, são desenvolvidas atividades predatórias que degradam os solos, os recursos hídricos e a biodiversidade, agravando de forma significativa as condições de sobrevivência humana (Funceme, 2015).

As Áreas Suscetíveis à Desertificação (ASD) são as regiões de entorno das áreas semiáridas e subúmidas secas. Elas se concentram na região Nordeste do Brasil, incluindo todo o Semiárido e áreas do entorno. Está localizada entre os paralelos 02°20'00" e 19°50'00" de latitude S e 44°05'00" e 35°00'00" a oeste de Greenwich. Abrange parte dos Estados de Alagoas, da Bahia, do Espírito Santo, do Maranhão, de Minas Gerais, da Paraíba, de Pernambuco, do Piauí, do Rio Grande do Norte e de Sergipe, além de todo o Estado do Ceará (Figura 2) (Cgee, 2016).

O termo área susceptível à desertificação (ASD) foi elaborado pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA) do Brasil e abrange o semiárido e áreas de seu entorno, agregando os biomas do Cerrado e do Agreste, consideradas áreas subúmidas secas. As ASDs correspondem a aproximadamente 15% do território brasileiro (MMA, 2007). São, ao todo, 1494 municípios, com 1.323.975,4 km² e 34,8 milhões de habitantes, em 11 Estados da Federação (Brasil, 2004).

As ASDs no Brasil devem ser espaços dinâmicos e de prosperidade produtiva e social. As ASD, por sua situação atual, frequentemente têm sido vistas como “áreas problemas” ou “deprimidas”, necessitando de políticas, tratamentos e intervenções de caráter emergencial ou práticas assistencialistas. Na nova perspectiva, essas áreas são entendidas

como capazes de contribuir, de maneira eficaz e eficiente, para o desenvolvimento do País (Brasil, 2004).

Os estados com maior número de municípios vulneráveis na ASD são o Ceará, que apresentou 100% de comprometimento do seu território, em segundo o Piauí (96,85%), terceiro Rio Grande do Norte (94,61%) e Paraíba, com 93,27% em quarto lugar. Logo, projeta-se um contexto que demanda políticas públicas específicas importantes para o combate à pobreza e a melhoria das condições de vida de parte significativa da população brasileira (Brasil, 2005).

Em 1990, a Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos elaborou um trabalho com o intuito de classificar e mapear as áreas dos municípios do estado do Ceará susceptíveis aos processos de desertificação – tendo por base o critério de áreas semiáridas adotado pela Organização das Nações Unidas (Onu, 1991) – e a frequência, nessas áreas de degradação, dos componentes físicos e bióticos identificados a partir do estudo de imagens orbitais mediante o uso de técnicas de sensoriamento remoto (Lima et al., 2016).

O Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) em conjunto com a Universidade Federal do Ceará e a Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos, apresentou em 1992, na primeira ICID sediada em Fortaleza, um estudo acerca das Áreas Degradadas Susceptíveis aos Processos de Desertificação no Ceará. A relevância do estudo decorre do pioneirismo em identificar os municípios e microrregiões homogêneas do estado do Ceará susceptíveis ao processo de desertificação, utilizando-se por base o critério de áreas semiáridas adotado pela Onu (1991).

Este estudo foi sistematizado por Antônio Rocha Magalhaes (IPEA), em conjunto com Vládia Pinto Vidal de Oliveira (UFC), Ruben Dario Mayorga Nera (UFC), José de Jesus Sousa Lemos (UFC), Maria Lúcia Ramalho Martins (FUNCENE), Ana Maria Lebre Soares (FUNCENE) e, Francisco Roberto Bezerra Leite (FUNCENE) (Ferreira, 2021).

De acordo com Lima, Cordeiro e Bastos (2016) posteriormente, em 2010, foi publicizado o Programa de Ação Estadual de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca (PAE-CE), cujo objetivo é contribuir para a convivência equilibrada com o semiárido cearense através de políticas públicas ambientais e socioeconômicas focadas na redução da pobreza. Esse programa definiu as Áreas Susceptíveis à Desertificação (ASD) em todo o estado, a partir de imagens de satélite, indicadores naturais e socioeconômicos.

Os pesquisadores demonstraram como principais causas da desertificação no semiárido cearense a ocupação desordenada do solo, o desmatamento e a prática de queimadas. Mesmo com mapeamentos distintos, as áreas susceptíveis à desertificação nos

trabalhos da Funceme (1990) e do PAE-CE (2010) apresentaram similaridade espacial, porém com delimitações distintas.

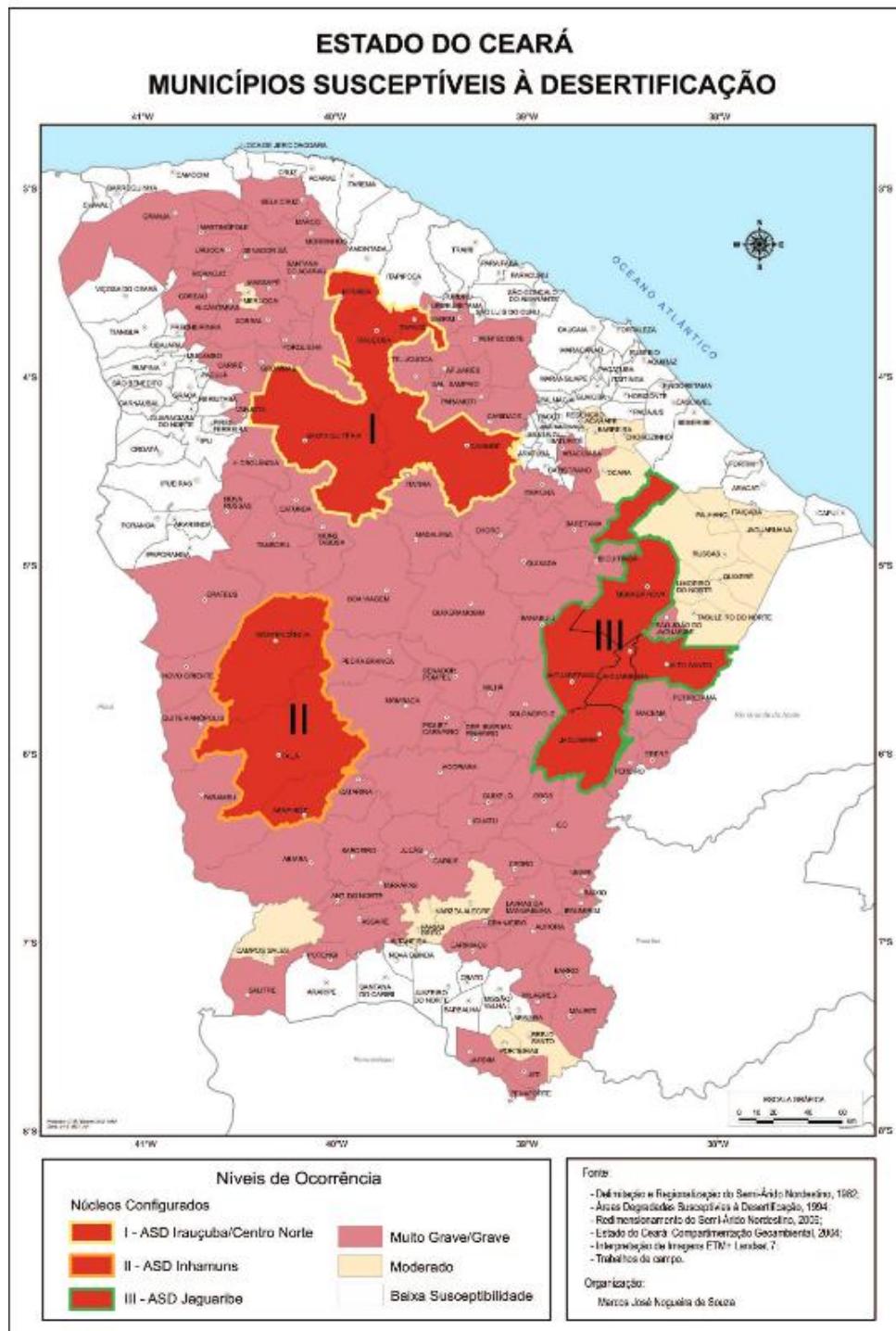
O objetivo geral do PAE/CE é colaborar para a convivência equilibrada com o semiárido, através da sustentabilidade ambiental do bioma caatinga, a começar de políticas ambientais, sociais e econômicas, concentradas na redução da pobreza. A gestão do Programa promove a integração institucional, a descentralização gerencial, o diálogo democrático e a participação da sociedade. (Ceará, 2010).

A proposta do PAE estabelece que as ações prioritárias de combate à desertificação estejam associadas, quando possível, aos programas, políticas ou planos já existentes. Assim, pretende-se a elaboração de um programa integrado que envolva as secretarias estaduais, prefeituras, terceiro setor, universidades e sociedade civil. Com a comunhão de experiências exitosas que possam auxiliar no combate à desertificação, espera-se reduzir duplicidades de ações, criar oportunidades, facilitar a gestão do programa, diminuir custos, envolver um maior número de atores/responsáveis e fortalecer o programa (Ceará, 2010).

As áreas mais susceptíveis foram identificadas e delimitadas conforme critérios físico-ambientais e socioeconômicos. A metodologia para elegibilidade foi detalhada, considerando todo o Estado do Ceará, e de acordo com os níveis de susceptibilidade, foram hierarquizados os municípios integrantes das ASDs. Também foram retratadas as potencialidades e fragilidades de cada ASD (Brasil, 2010).

A degradação das ASDs no Ceará atinge níveis diferenciados de intensidade, aonde os Sertões dos Inhamuns, Médio Jaguaribe, Sertões Centro-Norte e Irauçuba são ratificados como as áreas mais críticas, sendo classificadas desta maneira como núcleos de desertificação (Figura 4) (Leite et al., 1993; Soares et al., 1995; Souza, 2000; Ceará, 2010).

Figura 4 –Municípios Susceptíveis a Desertificação no Ceará



Fonte: PAE/CE (2010)

Para Ceará (2010, p. 76), os núcleos e as áreas de susceptibilidade à desertificação no Ceará exibem como características geoambientais mais conspícuas, as seguintes:

Predominância de litotipos do embasamento cristalino dotados de baixa permopermeabilidade e pouca frequência de diaclasamentos; Clima semiárido e/ou subúmido seco, com índices pluviométricos entre 500 em 800 mm; chuvas concentradas em três e quatro meses e acentuada irregularidade temporal-espacial das chuvas; taxas elevadas de evaporação e evapotranspiração, configurando déficits no balanço hídrico durante a maior parte do ano (8 a 10 meses); muito baixa capacidade de retenção de água pelos solos e formações superficiais; Rede hidrográfica muito ramificada de padrões dendríticos e/ou subdendríticos, escoamento intermitente sazonal ou esporádico, assumindo condições de exorreismo; Solos com associações diversificadas, mas com predominância de Luvisolos, Neossolos Litólicos e afloramentos rochosos na superfície sertaneja dissecada em colinas rasas (250-400 m) intercaladas por planícies fluviais com Neossolos Flúvicos; Planossolos, Neossolos Litólicos e afloramentos rochosos na superfície sertaneja que tem cimento topográfico suave para os fundos de vales (80-150); Recobrimento vegetal da caatinga que exibe variados padrões fisionômicos e florísticos; elevada frequência de plantas caducifólias; espécies lenhosas em franco processo de degradação; abundância de cactáceas e outras espécies espinhosas;

3.3 Uso e Ocupação do Semiárido Cearense

A Caatinga vem sendo utilizada desde tempos pré-descobrimentos como fonte de alimentos para a população humana, seja pela ação coletora de frutos e caçadora dos indígenas, seja pela exploração agrícola, pastoril e madeireira, intensificadas a partir da colonização pelo homem branco. A ação dos povos indígenas sobre os recursos naturais da caatinga é pouco conhecida. Entretanto, relatos do século XVII dão conta de que era de pouca intensidade e seus efeitos sobre a caatinga se restringiam ao cultivo de mandioca, milho e algodão, coleta de frutos e caça de seus animais silvestres (Ceará, 2010).

O uso e ocupação do espaço semiárido ao longo dos anos vêm ocorrendo de maneira desordenada e sem levar em conta a fragilidade dos recursos naturais. No território cearense, os primeiros povoamentos aconteceram às margens dos rios com o estabelecimento das fazendas de gado e o desenvolvimento da agricultura, iniciando- se assim as primeiras ações que marcaram as relações homem e meio ambiente no contexto do estabelecimento dos primeiros núcleos urbanos (Faria et al., 2013)

É necessário esclarecer que para o desenvolvimento dessas primeiras atividades a exploração dos recursos naturais dava-se de maneira “moderada”, uma vez que o número de habitantes não era tão elevado. Mas, com o passar do tempo, a população foi crescendo e as vilas transformando-se em povoados, distritos e cidades e, consequentemente, a exploração dos recursos naturais se intensificou, tornando-se inversamente proporcional à capacidade de regeneração deles (Faria et al., 2013).

Acerca do processo de ocupação do território cearense, Ceará (2010, p. 36) elucida que:

Em 1613, Martim Soares Moreno estabelece um forte próximo à Barra do Ceará. Menciona-se pela primeira vez a atividade agrícola de plantio de milho, algodão e outros recursos de subsistência. Também foi introduzido o criatório de bovinos, caprinos, ovinos e suínos. Segundo seu testemunho, as terras eram as melhores que ele conhecia pelas suas pastagens excelentes, onde se conseguia até duas paragens de caprinos por ano. A partida de Soares Moreno deu-se por volta de 1630 e, em 1636, os holandeses ocupam o forte português, onde encontram 250 cabeças de gado. Portanto, durante os primeiros cento e cinquenta anos, pós-descobrimento, a colonização do Ceará não saiu do litoral e o seu desenvolvimento estava estagnado.

Com o declínio do sistema de capitania, iniciou-se a adoção dos sistemas das sesmarias. A partir do fim do século XVII, com a intensificação da concessão das sesmarias pelos capitães-mores, duas correntes migratórias invadiram o Estado. A primeira, a partir de Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte, acompanhou a costa, espalhando-se pelo litoral e vales úmidos. A segunda, originária da Bahia, São Paulo e Sergipe, penetrando pelos sertões do São Francisco, alcançou o sul do Ceará e ganhou o Vale do Jaguaribe (Ceará, 2010).

Segundo Ceará (2010, p.37),

Em 1707, o Vale do Jaguaribe já se encontrava ocupado por fazendas de criação em toda sua extensão. A partir daí, com a abundância de matéria-prima, surgem as charqueadas. Destacaram-se, então, as cidades de Aracati, Acaraú e Camocim, como áreas de produção e exportação do famoso charque. Surgiu no período o que se chamou de Civilização do Couro ou o Ciclo do Gado. As grandes secas sempre cobravam um elevado preço, causando grande mortandade dos rebanhos, pois não havia provisão de uma reserva alimentar estratégica para os períodos de escassez. Porém, dada a riqueza dos pastos, a recuperação dos rebanhos era rápida, tão logo se instalava a regularidade climática. Com a pecuária acelerando a ocupação dos sertões, a agricultura começou a ocupar seu território. De início, predominou o plantio das culturas de subsistência para alimentação dos colonos. Com o tempo, a cotonicultura começou a se expandir e, a partir de 1778, tiveram início as exportações do produto, começando, então, o ciclo agropecuário do Ceará, que se estendeu por toda a região do sertão, firmando-se no binômio boi-algodão. Estabeleceu-se um consórcio lavoura/pecuária ou um sistema de produção agrossilvipastoril. Este sistema perdurou até o surgimento da praga do bicho, que praticamente eliminou a cultura do algodão perene na região sertaneja.

A decadência da pecuária nos sertões cearenses ocorreu a partir da segunda metade do século XIX, atribuindo-se o fato à ocorrência de grandes secas. Porém, o sobre pastejo e a consequente degradação das pastagens nativas na certa podem ser apontadas como uma das causas mais importantes. Assim, o impacto das secas pode ter sido intensificado pela perda da resiliência das pastagens, exploradas acima de sua capacidade de suporte. Atualmente, a produção de carne bovina não atende à demanda da população e o Ceará tornou-se um grande importador do produto. Vale destacar o crescimento da ovinocaprinocultura, observado nas últimas duas décadas, e que vem substituindo

gradativamente, a bovinocultura de corte nas áreas de pastagem degradadas do sertão cearense (Ceará, 2010).

A açudagem no sertão cearense melhorou significativamente as condições da pecuária, fornecendo água para os rebanhos, aumentando a produção de forragem através da pequena irrigação à jusante e das vazantes a montante e possibilitando a criação de bacias leiteiras, destacando-se a de Quixeramobim, a do Médio Jaguaribe, a do Alto Salgado, a de Sobral, a do Baixo Curu, a do Cariri e a de Fortaleza (Ceará, 2010).

De acordo com Ceará (2010, p. 38) a década de 70 marcou o início do estabelecimento dos grandes perímetros irrigados na região dos sertões.

Inicialmente, as áreas irrigadas foram implantadas em solos aluvionais', reconhecidamente de baixa taxa de infiltração. Este fato e o sistema de irrigação por inundação concorreram para a salinização da maioria dos perímetros irrigados, contribuindo para seu insucesso. Posteriormente, novos perímetros, baseados em solos mais leves e de boa drenagem, foram criados e dedicados à fruticultura irrigada, estabelecendo assim polos de produção frutífera para exportação. Todavia, em termos de produção de alimentos para a população, sua contribuição é limitada, e a maior parte da produção de grãos do Estado ainda se baseia na agricultura migratória de sequeiro.

A produção do setor agropecuário do Ceará é realizada em 324 mil estabelecimentos, com 8,9 milhões de hectares. A superfície total do Estado é de 14,6 milhões de ha. Deste modo, 5,7 milhões de ha são de domínio público, tais como terras de marinha, águas interiores, estradas, cidades e terras devolutas. Os índices produtivos obtidos pelas atividades agrícolas, pastoris e madeireiras nos sertões cearenses são reduzidos e estão abaixo de seu potencial. Isto, possivelmente, porque a exploração tem sido sempre de caráter extrativista e ultrapassa a capacidade produtiva dos ecossistemas sertanejos. O impacto acumulado ao longo de séculos de exploração reduziu drasticamente não só os valores da produção como também contribuiu para a perda da resiliência dos sistemas de produção agropecuários (Ceará, 2010).

Sobre a produtividade agrícola do estado, Ceará (2010, p. 39) informa que:

Ao longo dos últimos 20 anos, a área média plantada anualmente no Ceará tem se situado em torno de 1.5 milhões de ha, dos quais cerca de 1.379 milhões de ha estão ocupados por lavouras temporárias e 951 mil ha por lavouras permanentes. A imensa área de lavouras é cultivada com base nas práticas da agricultura migratória, que incluem desmatamento, queimada, plantio por dois a três anos e pousio. O problema é que o pousio, que devia durar por cerca de pelo menos 40 anos, está assim reduzido a menos de 10. Isto basicamente explica os baixos índices produtivos da agricultura. A produção média anual de grãos para os cultivos da agricultura migratória tem variado de 120 kg/ha nos anos de escassez de chuva a 700 kg/ha nos melhores anos, com o valor médio de cerca de 400 kg/ha. Embora se alardeie em alguns anos a produção de supersafras de grãos no Ceará, quando a produção total ultrapassa as 1,2 milhões de toneladas, não se comenta que, na maioria dos casos, os

gastos para o cultivo pelos agricultores ultrapassam em muito a receita com a venda do produto. Para estes, não existe mais agricultura de subsistência e sim, agricultura de sobrevivência.

De acordo com Ceará (2010, p. 39), a pecuária cearense:

Conta atualmente com 2.621.144 bovinos, 1.115.993 caprinos e 1.470.335 ovinos. Transformando os rebanhos caprino e ovino em equivalentes bovinos, daria um total de 493.351 bovinos, ou um total geral de 3.114.485 bovinos para o Estado. Considerando-se que a área do Ceará sob exploração agropecuária é de 8,9 milhões de ha, a carga animal seria de 2,9 ha/cab/ano. Isto caracteriza uma situação de sobrepastejo elevado, uma vez que o recomendado para bovinos nas condições da caatinga é de 10 ha/cab/ano. Com uma taxa de natalidade de 50% uma mortalidade anual geral de 5%, a composição do rebanho seria: 40,8% matrizes, 16,3% bezerros, 15,5% garrotes, 14,3% novilhotes e 13,1% novilhos, ter-se-ia uma taxa de desfrute anual do rebanho de 13,1%. Segundo os dados do IBGE, o abate anual de bovinos no Estado é de cerca de 347.000 cabeças, o que confirma a baixa taxa de desfrute acima citada.

A agricultura nômade e o superpastoreio continuam agravando o quadro generalizado de degradação dos ecossistemas no semiárido, direcionando-os rumo à desertificação. A situação se agrava, de um lado pela crescente redução da biodiversidade e da cobertura do solo causadas pelo desmatamento e queimadas e do outro, pelo fato de os criadores estarem optando pela exploração de ovinos e caprinos que, se conduzida nas mesmas bases históricas da de bovinos, irá certamente aumentar os riscos de erosão do solo pela redução acelerada da cobertura vegetal. Porquanto, dados a elevada capacidade seletiva e hábito de pastejo desses pequenos ruminantes, os efeitos do superpastoreio de ovinos e caprinos são bem mais prejudiciais e profundos que os de bovinos (Ceará, 2010).

3.4 Caatinga, Clima e Recursos Hídricos

A caatinga é o terceiro bioma mais degradado do brasil, perdendo somente para a mata Atlântica e o Cerrado (Myers et al, 2000).

A Caatinga apresenta uma forte irregularidade climática, apresentando os valores meteorológicos mais extremos do país: a maior insolação, a menor nebulosidade, as maiores médias térmicas entre 25° e 30° C, as mais elevadas taxas de evaporação e, sobretudo, os menores índices pluviométricos, que giram entorno de 500 a 700 mm anuais, com grande variabilidade espacial e temporal (Reddy, 1983; Sampaio, 2003).

Segundo (Sá et al., 2010, p. 134).

A cobertura vegetal é o mais importante dos elementos de controle do fenômeno da desertificação no espaço semiárido. Mesmo decidua, a caatinga não deixa de desempenhar o papel de protetor do solo contra as intempéries, reduzindo a sua

degradação. A principal causa da erosão, nessa região, é, sem dúvida, a devastação excessiva da vegetação com os objetivos do atendimento de necessidades energéticas, a manutenção da produtividade agropecuária e o fornecimento de estacas para cercas e outros fins. Quando o desmatamento é feito a corte raso, para o aproveitamento agropecuário, a terra tende a permanecer desprotegida por longos períodos, em razão da itinerância das explorações e, principalmente, da baixa capacidade de regeneração da vegetação nativa em determinados locais.

Mendes (1994) ressalta que tanto o desmatamento com finalidade agrícola, selecionado e perfeitamente individualizado, contribui para a degradação do meio, como, também, aquele oriundo do extrativismo seletivo e irracional, que ocasiona a perda da biodiversidade. Este tipo de exploração, por não acontecer em áreas contíguas e sim de modo seletivo, explorando os indivíduos mais nobres, vem, imperceptivelmente, comprometendo gradativamente o efeito protetor da cobertura vegetal.

Ainda, segundo Mendes (1994), o desmatamento é a principal causa tanto da desertificação como da redução da biodiversidade. A retirada da cobertura vegetal elimina, quase que inteiramente, a diversidade vegetal e reduz a animal pela transformação do habitat, além de desproteger o solo dos agentes erosivos (ventos e chuvas) e aumentar o albedo da área e a temperatura do solo, o que resulta na oxidação da sua matéria orgânica.

Para (Sá et al., 2010, p. 137),

O aumento do albedo (capacidade de refletir a radiação solar) do solo provoca a elevação da temperatura atmosférica, alterando os microclimas locais. O solo desnudo e desprotegido fica exposto às erosões eólica e hídrica, que arrastam as pequenas partículas (argila, silte e grânulos orgânicos), tornando-o menos fértil e com menor capacidade de armazenamento de água. A oxidação da matéria orgânica da camada superficial do solo, induzida pelo calor da elevada radiação solar direta, também diminui a fertilidade e a capacidade de acumulação de água do solo. A derrubada da mata, geralmente, é acompanhada pela destoca e queima dos restos da vegetação, que destrói o húmus da camada superficial e a vida microbiana, além de formar uma crosta que dificulta a penetração da água no solo. A erosão hídrica leva grande quantidade de solo para os rios, lagoas e açudes, provocando o assoreamento dos mesmos e, consequentemente, propiciando enchentes catastróficas no período chuvoso.

O homem participa intensamente no processo de erosão dos solos do Semiárido, por meio do mau uso agrícola, por não considerar sua capacidade de resiliência, por não utilizar técnicas de manejo de cultivo e por não fazer uso dos mais rudimentares artifícios de controle da erosão. A influência antrópica evidencia-se ainda na condução de uma pecuária extensiva, em caráter de pasto nativo e sem a menor condição de controle do pastoreio (Sá et al., 2010).

Essa ação é mais significativa nas explorações de ovinos e caprinos e quando se leva em conta o papel fundamental do estrato herbáceo na proteção contra a energia cinética das chuvas e na contenção do processo de arraste em área de vegetação decídua e de elevada

intensidade pluviométrica. Esses animais, além das ervas, se alimentam totalmente as folhas caídas das espécies arbustivas e arbóreas no processo sazonal de economia hídrica vegetal, as quais poderiam reduzir o impacto das precipitações sobre o solo, principalmente por ocasião das primeiras chuvas - das "trovoadas" -, exatamente as dotadas de maior energia cinética e poder desagregador (Sá et al., 2010)

Quando se degrada a cobertura arbustiva (por corte, queima ou pastoreio), a exposição do solo desnudo promove a formação de uma crosta superficial decorrente do impacto direto das gotas de chuva, o que reduz a infiltração da água e eleva o escoamento. Isto diminuiu as possibilidades de estabelecimento da cobertura vegetal. Os solos descobertos são muito susceptíveis à erosão hídrica e eólica, ocasionando uma remoção líquida de nutrientes das áreas degradadas (Gutiérrez; Squeo, 2004).

De acordo Souza e Martins (2012), as atividades antrópicas existentes na caatinga são capazes de impactar decisivamente na compactação dos solos nesses ambientes, criando um cenário no qual as taxas de infiltração de água podem ser alteradas de forma substancial. Esse cenário, por sua vez, aponta para uma correlação de modificações das características físico-edáficas originais, as quais, de forma dinâmica, podem ser capazes de influenciar a recolonização de algumas espécies da caatinga nestes ambientes.

A disponibilidade hídrica nas ASDs é frequentemente reduzida, este quadro decorre da interrelação entre condições climáticas e ambientais adversas, aliadas a uma crescente pressão populacional e econômica (Ferreira, 2021).

Um fator que intensifica o problema da reduzida disponibilidade hídrica nas ASDs é a grande concentração demográfica, acarretando forte demanda hídrica e o comprometimento da qualidade dos corpos d'água, o que tem gerado situações de escassez e de conflitos entre usuários (Brasil, 2007).

No clima semiárido, apenas as condições de temperaturas chegam a manter certa regularidade. As médias térmicas são sempre superiores a 22°C. A temperatura média do mês mais quente é pouco mais elevada do que a temperatura do mês mais frio, configurando baixos valores de amplitude térmica e elevadas taxas de evaporação e de evapotranspiração (Ceará, 2010).

Segundo Ceará (2010, p. 42),

A estação chuvosa tem duração de três a cinco meses e o período seco é de sete a nove meses. No regime pluviométrico do semiárido, é grande a variação que se manifesta ao longo do período chuvoso, bem como nos totais anuais das chuvas entre diferentes anos em uma mesma localidade. Assim, a extrema irregularidade das chuvas no tempo e no espaço é típica do semiárido. Áreas com climas desérticos ou

úmidos têm suas características climáticas dotadas de uma maior regularidade, possibilitando um planejamento das atividades. Mas o semiárido tem a irregularidade e a incerteza das chuvas como regra. O clima é, às vezes, úmido, outras seco e geralmente o intermediário entre tais condições. Numa série histórica, há anos em que as chuvas tendem a se concentrar em um período relativamente curto da estação chuvosa. Nesse caso, mesmo alcançando algo próximo da série anual de precipitações, configura-se a denominada “seca verde”. Em outros anos, as chuvas caem torrencialmente e provocam cheias catastróficas, com sérios prejuízos para as populações que vivem às margens dos rios. No semiárido, a seca exerce o mais forte impacto negativo sobre o contexto social, econômico e ambiental e contribui para intensificar os processos de desertificação.

Ceará (2010, p. 42) enfatiza que:

A seca não resulta de modo simplista de condições pluviométricas adversas. Não é também oriunda simplesmente da perda da produção agrícola por escassez, ausência ou irregularidade de chuvas. Fundamentalmente, a seca tem conotação direta com crises periódicas que afetam a economia agropecuária por inadaptação das lavouras produzidas às condições de potencialidades e de limitações dos recursos naturais disponíveis. Tradicionalmente, a agricultura de subsistência é praticada através do cultivo do milho, feijão e mandioca, sendo fortemente impactada em função da antecipação, retardamento ou irregularidade das chuvas. Sem insumos ou em função do uso de técnicas as mais rústicas, a escassez de chuvas impõe as consequências adversas do fenômeno climático. Nesse tocante, constata-se que, num relacionamento de causas (pluviometria irregular) e efeitos (destruição das lavouras de subsistência), o fenômeno social das secas somente ocorre quando o ritmo das chuvas é incompatível com o ciclo vegetativo das culturas de subsistência. Trata-se, portanto, de uma seca agronômica onde o regime sazonal das chuvas não se compatibiliza com o ciclo vegetativo das lavouras.

Apesar da intermitência sazonal dos cursos d’água, toda a drenagem tem caráter exorreico, ou seja, aberto para o mar, em função de paleoclimas úmidos responsáveis pela esculturação prévia dos vales de grandes rios sertanejos como o Jaguaribe, Curu e Acaraú. O potencial hidrogeológico do semiárido é reduzido em função da acentuada predominância de rochas do embasamento cristalino. Esse potencial só adquire maior valor nos setores de bacias sedimentares intracratônicas, como em Iguatu e Icó-Lima Campos, e nas superfícies de coberturas de neoformação e nas aluviões ribeirinhas (Ceará, 2010).

O Estado do Ceará é pioneiro na gestão dos recursos hídricos no país. Sendo precursor de uma robusta arquitetura institucional, composta por uma Lei Estadual de Recursos Hídricos (PERH) instituída em 1992, portanto, cinco anos antes da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH); e por um Sistema Integrado de Gestão de Recursos Hídricos (SIGERH), constituído por organizações de planejamento, pesquisa, infraestrutura hídrica e execução, o Ceará tem tido bastante êxito na criação, gestão e implementação de obras hídricas. Na atualidade, o modelo de gestão continua sendo uma referência nacional e internacional (Arrais; Bezerra, 2022).

O Governo do Ceará possui um portfólio variado de grandes obras hídricas, com destaque para o Canal do Trabalhador, Açude Castanhão, Eixão das Águas, Sistema Metropolitano de Integração e, mais recentemente, o Cinturão das Águas do Ceará (CAC). A construção destas obras resulta na expansão da capilaridade e disponibilidade hídrica no Estado, porém, o momento também é marcado por várias controvérsias, sendo possível apontar a existência de conflitos territoriais, divergências paradigmáticas, desequilíbrios de forças entre Estado e Sociedade, dentre outros fenômenos relacionados (Arrais; Bezerra, 2022).

Os açudes foram construídos a partir das grandes secas de 1825 a 1830 e, em especial, a partir da seca de 1877 (com mais de 500.000 mortes) que se projeta e se analisa a política de açudagem no semiárido brasileiro, como sendo a principal ‘solução’ para a escassez de água, (Cavalcante, 2012; Rebouças, 1997; Cirilo, 2008).

A construção de barragens subterrâneas em leitos de cursos de água temporários também vem se constituindo numa solução hídrica importante para o cristalino do semiárido, permitindo a reservação de água para o consumo humano, dessedentação animal e a prática de agricultura de subsistência (Brasil, 2007).

3.5 Impactos da Variabilidade Climática no Sistema Agropecuário

O clima é um fator importante para a garantia de uma safra produtiva, principalmente no Brasil, onde a maioria dos estados e municípios utilizam o sistema de sequeiro. Esse sistema, sem irrigação, amplamente utilizado em regiões de clima com baixa pluviometria, torna a agricultura uma atividade de alto risco e profundamente dependente do ritmo climático. No Nordeste brasileiro (NEB), essa dependência é ainda maior porque essa região é caracterizada por um clima que tem como característica a alta variabilidade pluviométrica que se manifesta em anos de secas severas (Monteiro, 1999).

Apesar dos elevados avanços técnicos alcançados pelo ser humano, o bem-estar econômico e social continua demasiadamente dependente do clima, sendo bastante provável que essa dependência perdure no futuro. A adaptação à instabilidade climática reside em um dos maiores desafios para a produção e o cultivo das culturas agrícolas (Vianelo; Alves, 1991).

As condições climáticas afetam todas as etapas da atividade agrícola, desde o preparo do solo, a semeadura, o desenvolvimento vegetativo das lavouras até a colheita, além

do transporte, preparo e o armazenamento dos produtos. As consequências de situações meteorológicas adversas tendem constantemente a causar sérios impactos socioeconômicos, muitas vezes difíceis de serem quantificados, prejudicando o desenvolvimento social e econômico do país (Vianelo; Alves, 1991).

A agricultura familiar de sequeiro, definida por sistemas de produção dependentes de chuva que integram a criação animal, a produção vegetal e o extrativismo, é de inegável importância ao Brasil: está presente em mais de 2 milhões de estabelecimentos agropecuários; ocupa uma área em torno de 28 milhões de hectares e envolve 8,6 milhões de pessoas, das quais 38% residem no semiárido. Essas famílias, que têm a agropecuária como sua principal fonte de renda, enfrentam o desafio de ter uma produção sustentável em áreas dependentes de chuva devido à limitada oferta de água no semiárido (Melo e Voltolini, 2019).

Para Alves et al (2009), áreas vulneráveis como o semiárido cearense sempre terão atividades como a agricultura de sequeiro, que dependem da oferta de água proveniente da estação chuvosa, como de alto risco quanto à produção e ao rendimento. As culturas de sequeiro, sobretudo as de ciclo curto, são as mais afetadas. Atividades agrícolas dependem da oferta e demanda de água.

Boa parte dos piores indicadores econômicos e sociais do Brasil se encontram no semiárido do país. Em razão da instabilidade pluviométrica na região, onde algumas vezes apresentam um comportamento chuvoso e outras vezes comportamento de estiagem, e uma vez que grande parte da produção agrícola, sobretudo a de sequeiro, é extremamente dependente da água de chuva. A economia da região semiárida caracteriza-se por ter uma baixa produtividade e um reduzido grau de integração aos mercados (Ximenes, 2013).

Nas últimas décadas, o alcance e a intensidade da desertificação aumentaram significativamente em algumas áreas de sequeiro, tendo o clima um grande impacto em solo sequeiro, na vegetação, nos recursos hídricos e no uso da terra. Isto ocorre porque o baixo teor de matéria orgânica, a estabilidade agregada e os baixos níveis de produtividade biológica fazem com que as terras secas fiquem mais vulneráveis à desertificação (Kar et al, 2016).

As instabilidades climáticas do semiárido ameaçam intensificar as dificuldades de acesso à água, sendo os mais vulneráveis os agricultores mais pobres, como aqueles de subsistência na área do semiárido do Nordeste. Levando em consideração o semiárido e o aumento da frequência de ocorrência das secas, a base de sustentação das atividades humanas diminuirá, sendo provável que eleve o deslocamento da população para as grandes cidades ou

para as áreas nas quais seja possível desenvolver a agricultura irrigada. (Marengo et al., 2011).

As culturas mais comuns para a agricultura de subsistência são feijão, mandioca e milho, as quais têm grande importância socioeconômica para o estado do Ceará, pois atuam como geradoras de segurança alimentar e de renda para os agricultores familiares. Segundo os dados do IBGE (2017), estas culturas representam 91,0% das áreas cultivadas no estado (Salviano, 2021).

Além dos anos secos e da curta duração da estação chuvosa, a região ainda tem outra adversidade climática no tocante à exploração agrícola, que é a ocorrência de períodos multidiários com pouquíssima, ou nenhuma, chuva durante a estação chuvosa, conhecidos como veranicos. Eles se constituem em um sério problema porque, quando vão além de aproximadamente dez dias, durante os estádios fenológicos de floração e de formação da produção, causam frustração parcial ou total de safra. Esse tipo de evento é conhecido como “seca verde” (Silva; Rao, 2002).

Os efeitos dos anos secos, a curta duração da estação chuvosa e os anos em que acontecem os veranicos (estiagem que ocorre em períodos chuvosos, com dias de muito sol e calor) poderão ser minimizados mediante a utilização de variedades de cultivos de ciclo curto e tolerantes à seca e, também, pela adoção de irrigação suplementar, dependendo do tipo de solo e da disponibilidade e qualidade da água (Silva; Rao, 2002).

A previsão da ocorrência de veranicos é muito importante para a agropecuária, pois fornece informações essenciais ao planejamento agrícola tanto de sequeiro quanto irrigado, uma vez que pode auxiliar na maximização do uso eficiente da água nas áreas cultivadas (Carvalho et al., 1999).

Os principais fatores que tem relação direta com anos de maior ou menor irregularidade de precipitação no Ceará, são os fenômenos El Niño e La Niña e os gradientes meridionais, norte sul ou sul norte, positivos ou negativos de anomalias de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) no Atlântico Tropical (Hastenrath, 2012).

Sena (2011) acrescente que o Ceará está situado num espaço geográfico envolto de serras e chapadas, o que impede que as massas de ar frio cheguem ao sertão pelo interior, provocando a aridez que, juntamente com a irregularidade pluviométrica, aumenta o risco de melhores produções e produtividades de culturas de subsistência.

Além da distribuição temporal, outro aspecto a ser considerado é a extrema variabilidade nos aportes entre as bacias hidrográficas, visto que os maiores volumes se concentram em bacias localizadas mais próximas do litoral. Nestas, a seca é mais amena em razão das chuvas normalmente mais abundantes, devido ao posicionamento mais favorável da Zona de Convergência Intertropical, principal sistema indutor de chuvas.

As variações climáticas têm impactos significativos sobre solos de sequeiro porque estes possuem baixos níveis de atividade biológica e matéria orgânica, sendo sensíveis à erosão causada pelo vento e pela água, o que diminui a cobertura vegetal, sendo, portanto, vulneráveis aos processos de desertificação (Salviano, 2021).

Segundo Salviano (2021) apesar de a agricultura de sequeiro representar alta vulnerabilidade às condições climáticas, deve-se ressaltar a importância da contribuição dessa atividade para a segurança alimentar, dado que, nos anos de boas precipitações de chuvas, a agricultura de subsistência em sistema de sequeiro contribui substancialmente para atender as necessidades alimentares domésticas, numa evidente demonstração de capacidade resiliente dessas lavouras.

De acordo com Quaranta (2013), levando em consideração que a agricultura de sequeiro nas regiões semiáridas é uma atividade sujeita a altos riscos de perdas de safra devido à alta variabilidade pluviométrica, deve se basear em sistemas de economia de água que, interligada à utilização de técnicas específicas de cultivo, possibilitam um uso eficaz e eficiente da limitada umidade do solo.

No Ceará, utilizam-se técnicas de convivência com o semiárido em sistemas de produção de agricultura de sequeiro, realizam-se consórcios de culturas em grande parte dos municípios, sendo os principais: caju/feijão, caju/mandioca, mamona/milho e feijão/milho. Brasil (2011a) acrescenta que, apesar da difusão de práticas agroecológicas, os consórcios normalmente são cultivados nos sistemas conhecidos como agricultura toco, com revezamento itinerante de áreas, quando isso ainda é possível, tendo em vista o tamanho bastante reduzido que prevalece nos estabelecimentos dos agricultores familiares, em geral, e dos cearenses, de forma específica.

Dessa forma, o manejo racional por meio da implantação de técnicas agrícolas conservacionistas adaptadas ao ambiente é crucial para o desenvolvimento da produção agrícola, mantendo a sustentabilidade do sistema produtivo, de forma a conservar os recursos

naturais com qualidade e quantidades suficientes ao adequado manejo, buscando alcançar níveis satisfatórios de produtividade (Vianelo; Alves, 1991).

3.6 Balanço Hídrico Climatológico

De acordo com Blain (2009), o monitoramento climático é essencial para o planejamento da agricultura, pois é basilar para o sucesso produtivo das culturas agrícolas, visto que determina a melhor época e as áreas mais promissoras ao plantio.

O método de estimativa do balanço hídrico climatológico (BHC) elaborado por Thornthwaite e Mather (1955) é uma ferramenta de monitoramento de armazenamento de água no solo, amplamente utilizada como instrumento de planejamento estratégico agrícola, além de ser essencial no gerenciamento dos recursos hídricos (Passos et al., 2017).

O balanço hídrico climatológico elaborado por Thornthwaite (1948) e Thornthwaite e Mather (1955), é um método empregado para se conhecer e monitorar a variabilidade hídrica do solo, levando-se em consideração a textura física, a profundidade efetiva das raízes e contabilizando o fluxo de entrada, precipitação (pluviométrica) e saída (evapotranspiração) de água para determinada região, servindo de norte para estimar tanto o Excedente Hídrico (S) quanto a Deficiência Hídrica (D). A partir desse método é possível mensurar o regime hídrico de uma dada região de forma simples e didática, pois não são necessárias medidas diretas a respeito das características físico – hídricas do solo (Oliveira; Oliveira, 2019).

O balanço hídrico climatológico de uma região permite identificar as potencialidades e limitações para a produtividade agrícola, pois a produção agrícola é dependente principalmente da disponibilidade hídrica da região produtora, e para a obtenção do máximo rendimento das culturas, é necessária a observação dos fatores agrometeorológicos em todas as fases do desenvolvimento da lavoura. Além de identificar as aptidões das áreas agrícolas, a estimativa do balanço hídrico pode ser utilizada para o planejamento do uso da água em sistemas irrigados (Passos et al., 2016).

O conhecimento das variáveis estimadas no BHC propicia o planejamento agropecuário e as práticas de controle de produção, porque são informações que possibilitam aos produtores identificar as condições climáticas que limitam o sistema produtivo. Assim, é uma ferramenta crucial para o sucesso de um empreendimento agrícola, permitindo a tomada de decisão no tocante à prática de irrigação para suprir a deficiência hídrica no solo. (Santos et al., 2010).

Na agricultura o balanço hídrico fornece dados sobre o regime hídrico local, identificando a época mais propícia ao preparo do solo durante o ano, data ideal para a semeadura e plantio, e se há a necessidade de instalação de sistemas de irrigação e drenagem, bem como a quantidade de água exata que deverá ser usada por essas técnicas (Ferreira, 2018).

Segundo Ferreira (2021, p. 50);

O balanço hídrico climatológico de Thornthwaite & Mather (1955) vem para preencher a lacuna do diagnóstico climático do índice de aridez, por meio desta ferramenta podemos obter o padrão climático de uma região, com seus períodos de excedente e déficit hídrico, além da variação temporal do armazenamento hídrico do solo. Desta maneira, esta ferramenta é imprescindível para o estudo do processo de desertificação, pois avalia o avanço do mesmo, bem como seu grau de desenvolvimento. Sendo estratégico para o planejamento de políticas públicas, agrometeorologia e gerenciamento dos recursos hídricos.

Segundo Bergamaschi et al. (1992), quando utilizado em sequência, em escala diária ou decenal, o balanço hídrico identifica, através de monitoramento da água no solo, o momento ideal da semeadura dentro da estação de plantio e a lâmina líquida a ser utilizada via irrigação suplementar.

O estudo do balanço hídrico climatológico promove o zoneamento climático e agroecológico; a identificação de épocas mais propícias de tratos agrícolas; a mensuração da produtividade dos cultivos; o projeto e manejo da irrigação; o gerenciamento dos recursos hídricos em bacias hidrográficas; e a seleção e dimensionamento de técnicas voltadas à conservação do solo e da água (Pereira et al., 2002; Black, 2007; Sentelhas et al., 2008).

Aguilar et al., (1986), apontaram que os resultados obtidos de um balanço hídrico podem ser utilizados para o zoneamento agroclimático regional, cálculo da demanda potencial de água das culturas irrigadas, prioridades de planejamento de pesquisas e no conhecimento do regime hídrico.

Muitos estudos baseados no balanço hídrico climatológico foram realizados no Nordeste brasileiro, especificamente no Ceará. Estes tinham como objetivo realizar a classificação climática da região (determinar índice de aridez, hídrico e de umidade), criar modelos de evolução das paisagens frente às mudanças climáticas globais e estudos sobre gestão de bacias (Ferreira, 2021).

Várias formas de representar o balanço hídrico são utilizadas frequentemente nas pesquisas científicas, dentre elas estão os gráficos, tabelas e mapas. Seu principal objetivo é descrever os dados obtidos, e proporcionar um entendimento mais preciso e integrado do BHC (Ferreira, 2018).

O balanço hídrico climatológico é calculado de forma pontual para estações em que há oferta de dados climáticos. Em seguida, com a utilização de técnicas de interpolação espacial, realiza-se a espacialização dos elementos de saída do BHC, a fim de se ter uma representação de sua distribuição em grandes áreas. Vários estudos têm utilizado diferentes métodos de interpolação espacial para estimativas geograficamente distribuídas de elementos do BHC (Lemos Filho et al., 2007; Sentelhas et al., 2008).

O sistema de informação geográfica (SIG) é uma importante ferramenta na espacialização dos dados de evapotranspiração, deficiência e excedente hídrico, obtidos através do cálculo do balanço hídrico. Através desta ferramenta, os dados podem ser apresentados em diferentes escalas (municipal, estadual, regional) e também pode-se realizar comparações de dados em diferentes intervalos de tempo (Ferreira, 2018).

Um SIG pode ser definido como um sistema provido de quatro grupos de aptidões para manusear dados georreferenciados: entrada, gerenciamento, manipulação e análise, e saída. Os dados são georreferenciados quando possuem basicamente duas características: dimensionamento físico e localização espacial (Aronoff, 1989).

Devido à disponibilidade de uma gama de ferramentas universais para a manipulação de dados espaciais, os sistemas de informação geográfica têm sido manuseados por uma grande variedade de disciplinas técnicas e acadêmicas (Burrough; Frank, 1995).

Um instrumento que tem sido amplamente utilizado para realizar o levantamento e diagnóstico de áreas em processo de desertificação é o sensoriamento remoto, que é uma ferramenta SIG. Ele pode nos auxiliar no entendimento do estado atual e da tendência de desenvolvimento da desertificação, além de disponibilizar dados para estudos sobre mecanismos internos, processos atuais e diferenças espaciais e temporais da desertificação (Sun Wu, 2000).

A utilidade do sensoriamento remoto como ferramenta para diagnosticar os processos de desertificação fica mais evidente, quando se percebe que um dos indicadores recomendados pela ONU para avaliar o processo de desertificação é o índice de vegetação obtido de imagens de satélite, o chamado IVDN Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (Ferreira, 2021).

4 METODOLOGIA

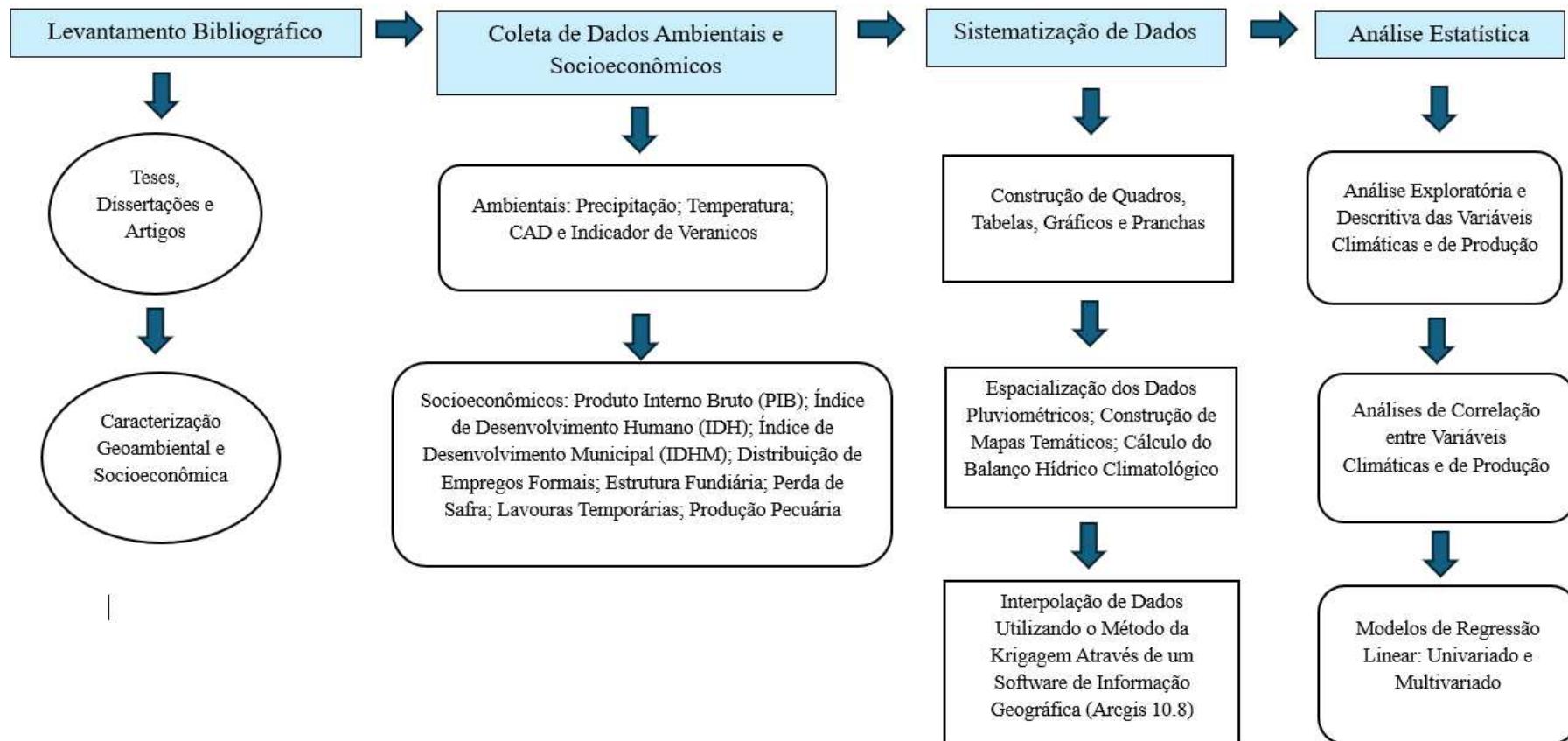
A pesquisa foi segmentada em três etapas: primeiramente foi realizado o levantamento bibliográfico de teses, dissertações e artigos disponíveis nos principais portais científicos e, no Laboratório de Análise Ambiental Pedologia e Desertificação (LAPED), que corroborassem com a temática da pesquisa. O passo seguinte foi a caracterização geoambiental e socioeconômica da área de estudo, o Núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe.

Na segunda etapa, foi realizada a coleta de dados ambientais e socioeconômicos, além da caracterização dos sistemas ambientais e do uso e cobertura da terra. Os dados ambientais foram subdivididos em precipitação, temperatura, capacidade de armazenamento de água do solo (CAD), indicador de veranicos e perda de safra. Enquanto os dados socioeconômicos foram subdivididos em produto interno bruto a preços correntes (PIB), índice de desenvolvimento humano (IDH), índice de desenvolvimento municipal (IDHM), distribuição dos empregos formais, estrutura fundiária, extração de lenha, carvão vegetal, produção de leite e mel, produção pecuária e, de lavouras temporárias.

Na terceira etapa, os dados obtidos foram organizados, sistematizados e classificados de forma a subsidiar a construção de quadros, tabelas, gráficos e pranchas. Além de proporcionar a espacialização dos dados pluviométricos, o cálculo do balanço hídrico climatológico. Com o balanço hídrico climatológico, foi possível a obtenção das variáveis evapotranspiração potencial, evapotranspiração real, excedente e déficit hídrico dos municípios inseridos no Núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe. Estas variáveis foram posteriormente espacializadas no núcleo utilizando o método de Krigagem com o auxílio de um sistema de informação Geográfica (SIG).

Por fim, foram realizadas correlações estatísticas para mensurar qual variável ambiental: precipitação, excedente, déficit e indicador de veranicos têm maior impacto na produtividade agropecuária do Núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe durante os anos muito secos, secos, habituais, úmidos e super úmidos. Na (Figura 5) tem-se o fluxograma das etapas da pesquisa.

Figura 5 – Fluxograma de Etapas da Pesquisa



Fonte: Elaborado Pelo Autor, 2025

4.1 Anos-Padrão

A definição dos anos-padrão representa uma etapa fundamental na pesquisa climatológica, pois a partir dela se diagnosticará a variação ou oscilação climática a partir do volume de chuva registrada, e que repercutem no espaço geográfico. (Schneider; Da Silva, 2014).

A escolha de anos-padrão como meio de compreender a dinâmica atmosférica, se iniciou com Monteiro (1973), que apresentou critérios para a escolha dos anos-padrão, executando uma análise rítmica, levando em consideração a concepção sorreana do clima (Ferreira, 2021).

Tavares (1976, p. 81) define por anos-padrão “normais”, “secos” e “chuvosos”.

Entendemos que um ano padrão “normal” seria aquele em que a distribuição da precipitação anual em um determinado lugar fosse semelhante à distribuição das precipitações médias, obtidas através de vários anos para esse local. Como essa distribuição estaria de acordo com a típica circulação atmosférica regional, em um período de décadas, teria ocorrência maior do que os padrões extremos “secos” ou “chuvosos”. Anos padrão “secos” ou “chuvosos” não se refere aos totais anuais de chuva, mas a distribuição delas no decorrer do ano. O ano padrão “seco” caracterizar-se-ia por uma distribuição das precipitações que apresentasse um grande desvio em relação aos dados médios, em função de períodos com intensa falta de chuvas, enquanto no ano padrão “chuvisco” deveria suas discrepâncias ao excesso de chuva em relação aos dados mais frequentes.

Os anos considerados excepcionais, chamados secos ou chuvosos, devem corresponder aos períodos em que ocasionaram impactos tanto sociais quanto econômicos, tanto pela ausência quanto pelo excesso de chuva. Por tais motivos é que se avalia esse processo de escolha, como sendo uma etapa crucial e que pode ser auxiliado através da utilização de técnicas tanto qualitativas quanto quantitativas, Schneider e Silva (2013).

A metodologia do *Box Plot* de Galvani e Luchiari (2004), propõe que, por meio do uso de dados mensais de postos pluviométricas, pode-se executar uma análise temporal e estatística dos dados, utilizando valores médios e extremos de precipitação, que serão empregues na caracterização dos anos-padrão.

O *Box Plot* de Galvani e Luchiari (2004) utiliza a técnica dos quartis, usando valores máximos, medianas, 1º, 2º e 3º quartis e valores mínimos. O valor máximo é o maior encontrado na série, é o dado que se destaca pelo seu maior valor. O valor mínimo é o dado com menor valor encontrado na série. A mediana é a posição central dos dados, que devem estar descritos de forma decrescente. Esse parâmetro demonstra sua relevância na medida em que evidencia a dispersão de um grupo de dados e as diferenças que existem entre grupos.

Para Galvani e Luchiari (2004, p. 22), os quartis podem ser descritos como:

Os quartis dividem um conjunto de dados em quatro partes que contém, cada uma delas, 25% dos dados da série. Então, existe o primeiro quartil (1o Q), o segundo quartil (2o Q) ou mediana e, o terceiro quartil (3o Q). Para determinação do primeiro e terceiro quartil proceda da mesma maneira quando da determinação da mediana, mas neste caso utiliza-se somente os valores entre o mínimo e a mediana para se determinar o primeiro quartil e, os valores entre a mediana e o valor máximo para se obter o terceiro quartil.

Depois de realizado todo o método do Box Plot Galvani e Luchiari demonstram a forma em que os dados devem ser analisados.

Para tanto, será considerado um range de 5 a 95% da série. Aqueles meses em que o total de precipitação estiver entre os 5% dos menores valores serão denominados de meses super secos e, aqueles meses que encontrarem seus valores entre os 5% superiores da série serão denominados de super úmidos. Os valores que se encontrarem entre o valor mínimo e o 1o quartil serão considerados meses secos. Entre o 1o quartil e 3o quartil serão denominados de meses normais. E por fim, aqueles entre o 3o quartil e o valor máximo serão denominados de anos úmidos (Galvani; Luchiari, 2004).

4.2 Indicador de Veranicos

Os veranicos foram definidos como três, ou mais dias sucessivos com precipitação diária igual, ou inferior a 2 mm (Menezes, 2008). A partir disto, foram selecionados os tamanhos dos veranicos, em razão da quantidade de dias consecutivos, escolhendo veranicos de 3 a 5, 6 a 10, 11 a 15, 16 a 20 e acima de 20 dias. Com esses tamanhos escolhidos, os eventos de veranicos por município foram divididos em graus de veranicos (Rocha et al., 2020).

De acordo com a metodologia de (Rocha et al., 2020), foram atribuídos pesos para cada grau e a partir deles foi utilizado o método matemático de progressão geométrica. Nesse método, a partir do segundo elemento da fórmula, o peso é igual ao produto do peso anterior por uma constante (valor 2). O peso mais elevado foi para o grau 5, por representar veranicos com maiores durações (Figura 6).

Figura 6 – Associação entre Graus e Pesos dos Veranicos

Graus de veranicos	Tam anho dos eventos (dias)	Peso dos Graus
Grau 1	3 a 5	$P_1 = 1$
Grau 2	6 a 10	$P_2 = 2$
Grau 3	11 a 15	$P_3 = 4$
Grau 4	16 a 20	$P_4 = 8$
Grau 5	Acima de 20	$P_5 = 16$

Fonte: Rocha et al. (2020).

Rocha et al. (2020) desenvolveram o Indicador de Veranicos com o intuito de facilitar a análise dos veranicos, no qual cada peso é multiplicado por seu respectivo grau, com fórmula descrita abaixo (Equação 1).

$$IV = \frac{P1*G1 + P2*G2 + P3*G3 + P4*G4 + P5*G5}{PT} \quad (1)$$

Onde IV indicador de veranico; P: peso de cada grau, por exemplo, 1 para grau 1; G: o valor correspondente de cada grau, por exemplo, o valor do grau 1 para o peso 1; PT: somatório de todos os pesos. Com os resultados, são gerados mapas utilizando escala com valores de 0 a 2, dessa forma, quanto mais próximo do 2, mais intenso é o indicador (Rocha et al., 2020).

4.3 Perdas de safra

Para compreender o impacto da ação dos veranicos na agricultura de sequeiro, foi utilizada a metodologia de cálculo de perdas de rendimento de safra (Equação 2), de Rocha et al. (2020). As culturas escolhidas foram milho e feijão.

$$PR = \frac{Ra - Rmax}{Rmax} * 100$$

onde PR: Valor anual em porcentagem que representa o valor da perda, em termos de rendimento, para cada município para o tipo de cultura milho/feijão; Ra: valor correspondente ao rendimento (kg/ha) de cada ano do milho/ feijão; Rmax: valor correspondente ao máximo do rendimento de todos os anos do milho/feijão (Rocha et al., 2020).

4.4 Balanço Hídrico Climatológico

Vários modelos de cálculo do balanço hídrico são encontrados em toda a literatura científica e com múltiplas funcionalidades e aplicabilidades. O modelo mais utilizado no diagnóstico de desertificação foi o desenvolvido por Thornthwaite & Mather (1955), que compara valores de precipitação e evapotranspiração potencial (Ferreira, 2018).

Para Pereira et al. (2002), a oferta hídrica de uma região pode ser quantificada por meio do balanço hídrico climatológico (BHC), que evidencia as variações sazonais do excedente e deficiência hídrica através das entradas e saídas de água de uma condição de controle, principalmente precipitação pluvial (P) e evapotranspiração potencial (ETP).

4.5 Interpolação de Dados

Uma correta análise da distribuição espacial das precipitações pluviométricas é de fundamental importância para o planejamento dos recursos hídricos em bacias hidrográficas, além de dar suporte a estudos climatológicos e meteorológicos (Marcuzzo et al., 2011).

Teegavarapu e Chandramouli (2005) esclarecem que nos tratamentos de dados meteorológicos é comum o fato de várias estações apresentarem falhas em seu banco de dados. Deste modo, a interpolação espacial e/ou temporal surge como uma etapa fundamental no estudo da distribuição da precipitação, principalmente, quando se trata de regiões que não disponibilizam estações de medições ou que tenham falhas em seu banco de dados. Uma vez que, o método de interpolação possibilita construir informações a partir de um conjunto discreto de dados pontuais previamente conhecidos.

Bargaoui e Chebbi (2009) discorrem que os métodos de estimativa de dados pluviométricos, por vários anos, foram obtidos por técnicas de regressão e modelos de séries temporais. Contemporaneamente, diversas abordagens matemáticas, estatísticas e geoestatísticas, estão sendo utilizadas para a interpolação de dados de precipitação.

Para Haberland (2007), o uso da geoestatística como método de interpolação, para regiões que apresentam falhas em sua oferta de dados, vem proporcionando resultados satisfatórios no que concerne a variáveis regionalizadas como a precipitação.

De acordo com Bargaoui e Chebbi (2009), a krigagem se distingue dos outros métodos por proporcionar a análise da variância dos dados através da análise variográfica, a qual expressa a descontinuidade espacial dos dados.

A krigagem é um método interpolador, que tem por base a teoria das variáveis regionalizadas, neste método o valor de uma variável possui uma dependência espacial, ou seja, parte do princípio que, valores das amostras próximas tendem a ser semelhantes, e valores de amostras distantes, tendem a ser mais distintos, levando em consideração a variação espacial de determinada variável estatisticamente homogênea em uma área, sendo a variação espacial quantificada por um semivariograma experimental (Marcuzzo et al, 2011).

De acordo com Vieira (2000) e Thompson (1992), a krigagem tem a capacidade de produzir melhores estimativas em termos de interpolação, visto que está embasada em duas premissas: não-tendenciosidade do estimador e variância mínima das estimativas. Além disto, quando se trabalha levando em consideração a dependência espacial, podem-se reduzir os erros aleatórios pelo controle de parcela deste erro associada à dependência espacial.

4.6 Correlações Estatísticas

A estatística foi utilizada nesta pesquisa com o intuito de compreender matematicamente o impacto das variáveis climáticas (precipitação, excedente, déficit e indicador de veranicos) na dinâmica das variáveis de produção (feijão, milho, carvão vegetal, lenha, mel, leite e rebanhos).

Na era da informação e do conhecimento, a estatística utiliza a matemática para dar apoio aos profissionais da iniciativa privada, do governo e pesquisadores. O grande volume de informações produzido pelo mundo moderno precisa ser analisado de maneira consistente e fidedigna. Esse suporte é proporcionado pela estatística. Onde houver incerteza, essa ferramenta pode ser utilizada. Assim, todas as áreas do conhecimento humano a requerem como técnica de análise de dados (Ignacio, 2010).

Ao se estudar duas variáveis distintas, é de interesse compreender se elas têm algum relacionamento entre si, isto é, se de alguma maneira, valores elevados/reduzidos de uma das variáveis impacta em valores elevados/reduzidos da outra variável, evidenciando que uma variável tem influência sobre a outra.

O coeficiente de correlação de Pearson é uma das principais medidas utilizadas para compreensão desta relação, e indica o grau de relação linear entre duas variáveis quantitativas. Este coeficiente varia entre os valores -1 e 1. O valor 0 (zero) representa que não há relação linear, o valor 1 representa uma relação linear perfeita e o valor -1 também

representa uma relação linear perfeita, mas inversa, ou seja, quando uma das variáveis aumenta a outra diminui. Quanto mais próximo estiver de 1 ou -1, mais forte é a associação linear entre as duas variáveis.

Considere duas amostras, X e Y, a estimativa do coeficiente de correlação de *Pearson*, representado pela letra r tem a seguinte fórmula (Equação 3).

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{(\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2)(\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2)}}$$

Em que x_i é a observação i da amostra X, y_i é a observação i da amostra Y, \bar{x} é a média amostral de X, \bar{y} é a média amostral de Y e N é o tamanho amostral.

Para o caso das correlações lineares, a quantidade r é a mesma não importando se X ou Y são consideradas variáveis independentes. Assim, r é uma boa medida da correlação linear entre 2 variáveis.

Para haver significado estatístico, o valor do coeficiente de correlação (r) deve ser julgado considerando o tamanho da amostra (n), por meio de um teste estatístico (Demonstrado a seguir). Uma regra prática para julgar o valor de r, embora rudimentar, é a seguinte (Vieira, 2008):

- $0 < r < 0,25$ ou $-0,25 < r < 0$: correlação pequena ou nula.
- $0,25 < r < 0,50$ ou $-0,50 < r < -0,25$: correlação fraca.
- $0,50 < r < 0,75$ ou $-0,75 < r < -0,50$: correlação moderada.
- $0,75 < r < 1,00$ ou $-1 < r < -0,75$: correlação forte ou perfeita (perfeita

Se $r = -1$ ou $r = 1$).

4.6.1 *Modelo de regressão normal*

A análise de regressão linear estuda a relação entre a variável dependente ou variável resposta (Y) e uma ou várias variáveis independentes ou regressoras (X_1, \dots, X_n).

Esta relação representa-se por meio de um modelo matemático, ou seja, por uma equação que associa a variável dependente com as variáveis independentes.

O Modelo de Regressão Normal pode ser definido como:

Simples: modela a relação linear entre a variável dependente (Y), e uma única variável independente (X).

Múltiplo: explica a relação linear entre a variável dependente (Y), e variáveis, variáveis independentes (X_1, \dots, X_n).

A equação (Equação 4) representativa do modelo de regressão linear é dada por (Hoffmann, 2016):

$$y_i = \alpha + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots + \beta_p x_{ip} + \varepsilon_i, \quad i = 1, \dots, n.$$

Onde:

y_i : é o valor da variável resposta na observação i ;

$x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ip}$: são os valores da i -ésima observação das variáveis explicativas;

$\alpha, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_p$: são os parâmetros ou coeficientes de regressão;

ε_i : refere-se aos erros aleatórios.

Ao definir esse tipo de modelo, pressupõe-se que:

- A variável dependente (y_i) é função linear das variáveis explicativas ($x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ip}$);
- Os valores das variáveis explicativas são fixos;
- $E[\varepsilon_i] = 0, i = 1, \dots, n$; ($E[\cdot]$ é a esperança matemática);
- $Var(\varepsilon_i) = \sigma^2, i = 1, \dots, n$ (Variâncias constantes, ou homocedásticas);
- Os erros são independentes;
- Os erros têm distribuição normal;

Destes pressupostos, concluímos que $\varepsilon_i \sim Normal(0, \sigma^2)$, $i = 1, \dots, n$, e consequentemente que y tem distribuição normal com variância σ^2 e $E(Y) = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_p X_p$.

As pressuposições 1, 2 e 3 são necessárias para demonstrar que os estimadores de mínimos quadrados são não-tendenciosos e as cinco primeiras pressuposições permitem demonstrar que tais estimadores são estimadores lineares não-tendenciosos de variância mínima (teorema de Gauss-Markov). A pressuposição VI é necessária para realizar testes de hipótese e para construir intervalos de confiança para os parâmetros. (Hoffmann, 2016)

O teste de hipótese realizado nos modelos de regressão múltiplos são o teste F e os testes t individual para cada parâmetro estimado.

Assim com o teste F, queremos testar a hipótese:

$$H_0: \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_p = 0$$

vs

$$H_1: \text{Pelo menos um parâmetro é diferente de zero.}$$

É possível demonstrar que, se os erros têm distribuição normal, e se H_0 for verdadeiro, o cociente (Equação 5)

$$F = \frac{QMRegr}{QMRes}$$

Onde $QMRegr$ é o quadrado médio da regressão, e $QMRes$ é o quadrado médio dos resíduos. E F possui distribuição F de *Snedecor* com p e $n-p+1$ graus de liberdade. (Hoffmann, 2016). E para testar as hipóteses de que cada parâmetro é igual a zero, utilizamos o teste t. (Equação 6)

$$t = \frac{\hat{\beta}_i - \beta_i}{EP(\beta_i)}, i = 1, \dots, p$$

Onde EP é o erro padrão.

Por afim para medir a qualidade do ajuste é utilizado o coeficiente de determinação múltipla dado por: (Hoffmann, 2016) (Equação 7)

$$R^2 = \frac{SQReg}{SQTotal}$$

Que mostra a proporção da soma de quadrados totais é “explicada” pela regressão múltipla.

E o coeficiente corrigido (Equação 8) pelos graus de liberdade é dado por:

$$\bar{R}^2 = R^2 - \frac{p}{n-p+1} (1 - R^2)$$

4.7 Tratamento de Dados

A primeira etapa do tratamento de dados consistiu na organização dos dados ambientais e na realização do cálculo do balanço hídrico climatológico dos municípios inseridos no Núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe.

Primeiramente foram definidas as estações pluviométricas, e a série histórica a serem utilizadas na pesquisa; em seguida foram adquiridos os dados de temperatura média correspondentes a localização geográfica destas estações pluviométricas, e por fim, foram determinadas as Capacidades de Armazenamento de Água do Solo (CAD) equivalentes ao tipo de solo predominante em cada estação pluviométrica.

A partir destas informações foi realizado o cálculo do balanço hídrico climatológico, onde foram gerados os totais anuais de precipitação, evapotranspiração real, evapotranspiração potencial, déficit e excedente hídrico, equivalentes a cada estação pluviométrica. Posteriormente, a precipitação pluviométrica, bem como as variáveis

climáticas oriundas do balanço hídrico climatológico, foram sistematizadas em mapas, tabelas, gráficos e pranchas.

Os dados acerca do volume de precipitação pluviométrica dos municípios inseridos no Núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe, bem como a localização de suas respectivas estações de coleta, foram obtidos através do banco de dados pluviométricos da Funceme (2023).

Em decorrência da ausência de dados pluviométricos contíguos na maior parcela das estações pluviométricas localizadas no interior e arredores do núcleo, foram selecionados apenas 11 postos de coleta (Tabela 17) e (Mapa 8). A série histórica comum encontrada nestes postos pluviométricos compreende o período de 2002 a 2022.

Com o objetivo de demonstrar as variações intra e interanuais das precipitações e das variáveis do balanço hídrico climatológico foram elaborados mapas de distribuição destas variáveis em sua distribuição média total anual e durante os anos padrão super seco (2012), seco (2005), habitual (2018), úmido (2002), e super úmido (2009).

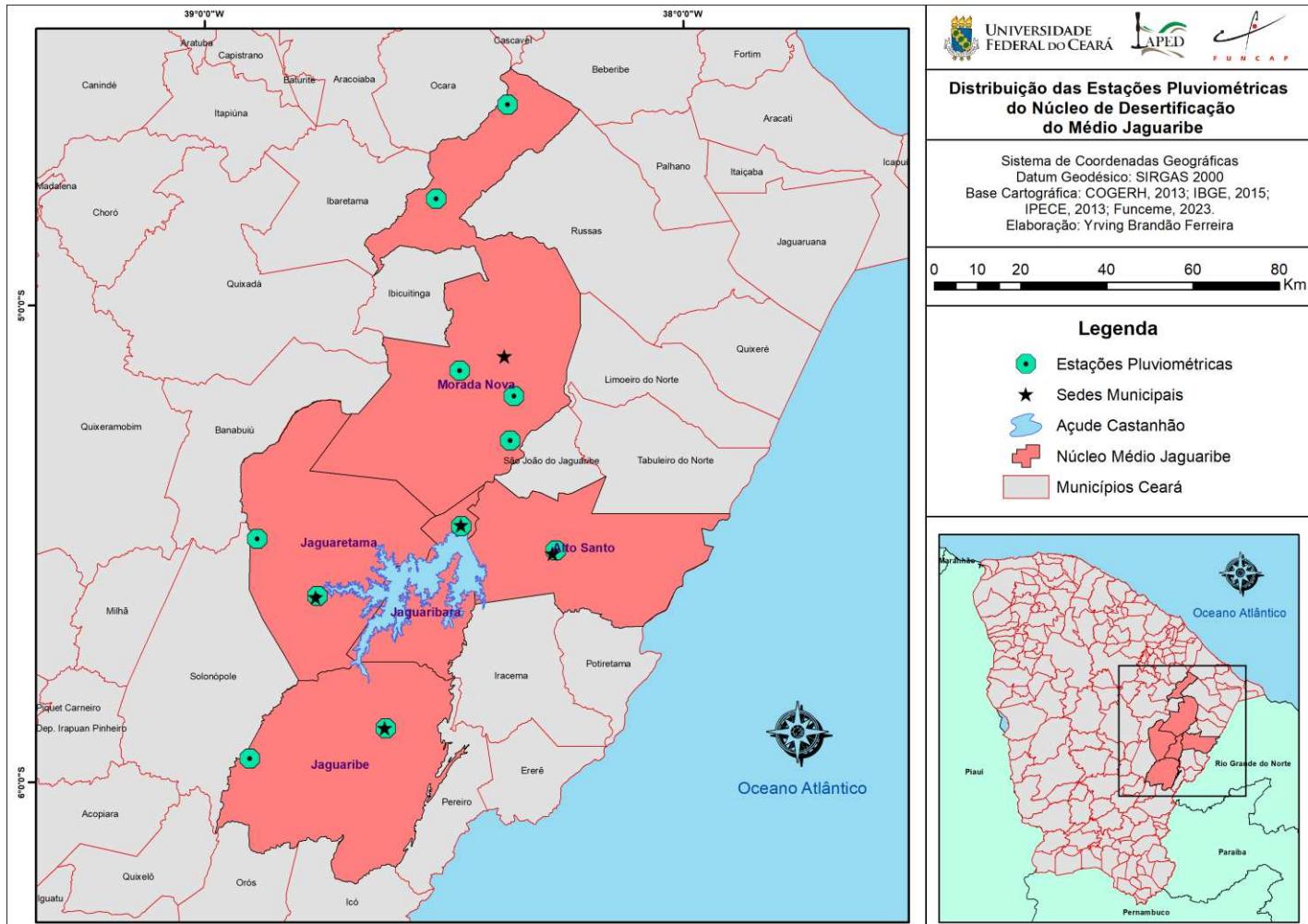
Para mensurar o impacto dos veranicos na agricultura de sequeiro do núcleo, o indicador de veranicos foi associado às perdas de safra de milho e feijão durante os anos-padrão.

Tabela 17 – Estações Pluviométricas do Núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe

TABELA DAS ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS DO NÚCLEO DE DESERTIFICAÇÃO DO MÉDIO JAGUARIBE						
LATITUDE	LONGITUDE	OPERADORA	CÓDIGO	MUNICÍPIO	POSTO	SÉRIE DE DADOS
-5,512861	-38,26538	FUNCENE	7	ALTO SANTO	ALTO SANTO	2002-2022
-5,608583	-38,763972	FUNCENE	72	JAGUARETAMA	JAGUARETAMA	2002-2022
-5,4621	-38,46294	FUNCENE	73	JAGUARIBARA	JAGUARIBARA	2002-2022
-5,886138	-38,620694	FUNCENE	74	JAGUARIBE	JAGUARIBE	2002-2022
-5,18944	-38,353055	FUNCENE	94	MORADA NOVA	MORADA NOVA	2002-2022
-4,578138	-38,366583	FUNCENE	201	MORADA NOVA	ARUARU	2002-2022
-5,94966	-38,90525	FUNCENE	330	JAGUARIBE	NOVA FLORESTA	2002-2022
-5,489194	-38,889638	FUNCENE	427	JAGUARETAMA	SERROTE BRANCO	2002-2022
4,776027	-38,5157	FUNCENE	432	MORADA NOVA	BOA ÁGUA	2002-2022
-5,282527	-38,360305	FUNCENE	433	MORADA NOVA	UIRAPONGA	2002-2022
-5,1365	-38,46627	FUNCENE	696	MORADA NOVA	FAZENDA LACRAIA	2002-2022

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2025

Mapa 8 – Distribuição Estações Pluviométricas do Núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe



Fonte: Elabora pelo Autor, 2025

Em virtude da deficiência de estações de medição de temperatura em todo o território cearense, necessita-se de programas computacionais que nos auxiliem nessa tarefa, estimando as temperaturas mensais a partir de variáveis como a latitude e a longitude local, bem como sua altitude correspondente. Para estimar as temperaturas mensais do núcleo, foi utilizado o software Celina Versão 1.0 (UFC/2007), desenvolvido por Costa e Sales (2007), que é um software computacional de estimativa de temperaturas médias mensais.

Foram inseridas as coordenadas de Latitude e Longitude das 11 estações pluviométricas anteriormente mencionadas em conjunto com suas respectivas altitudes. O software, a partir desses dados, nos retorna as temperaturas mensais de cada posto de coleta. Como os dados de temperatura foram estimados, os valores serão os mesmos em qualquer série histórica delimitada.

A capacidade de Armazenamento de água do solo (CAD) foi obtida através do levantamento exploratório - Reconhecimento de Solos do Estado do Ceará – (Brasil, Sudene-Drn, Divisão de Agrologia – Série Pedológica, 16) 1973. Os CAD utilizados foram geolocalizados no levantamento exploratório acima mencionado a partir das coordenadas das 11 estações pluviométricas utilizadas na pesquisa (Tabela 18).

Tabela 18 – Capacidades de Armazenamento de água do solo no Núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe

LATITUDE	LONGITUDE	OPERADORA	CÓDIGO	CAD
-5,512861	-38,26538	FUNCENE	7	35
-5,608583	-38,763972	FUNCENE	72	35
-5,4621	-38,46294	FUNCENE	73	85
-5,886138	-38,620694	FUNCENE	74	55
-5,18944	-38,353055	FUNCENE	94	85
-4,578138	-38,366583	FUNCENE	201	75
-5,94966	-38,90525	FUNCENE	330	75
-5,489194	-38,889638	FUNCENE	427	75
4,776027	-38,5157	FUNCENE	432	75
-5,282527	-38,360305	FUNCENE	433	65
-5,1365	-38,46627	FUNCENE	696	25

Fonte: Elaborado Pelo Autor, 2025

A partir dos dados de latitude, capacidade de armazenamento de água do solo (CAD), precipitação média mensal e, temperatura média mensal, de cada posto de coleta, foi realizado o cálculo do balanço hídrico climatológico empregando-se o método de Thornthwaite & Mather (1955), através do programa “BHnorm” elaborado em planilha EXCEL por Rolim et al. (1998). A evapotranspiração potencial (ETP) foi estimada pelo método de Thornthwaite (1948). Como resultado de saída, o balanço hídrico climatológico

fornecendo estimativas da evapotranspiração real (ETR) e potencial (ETP), deficiência (DEF) e excedente (EXC) hídrico do solo, e o armazenamento de água no solo (ARM) para cada mês do ano.

Por meio do processo de interpolação realizado na extensão Geoestatistical Analyst do software ArcGis 10.8 foi possível a elaboração de mapas com a espacialização da precipitação pluviométrica, evapotranspiração potencial, evapotranspiração real, déficit e excedente hídrico, de acordo com sua distribuição anual, e sua disposição nos anos padrão. Estas variáveis foram espacializadas a partir da média dos totais pluviométricos anuais, e dos totais pluviométricos dos anos padrão.

A evapotranspiração potencial não sofre grandes transformações mensais no núcleo, dito isto, a mesma foi interpolada apenas em sua distribuição total anual.

A evapotranspiração real foi interpolada apenas em sua distribuição total anual.

O método de interpolação utilizado na pesquisa foi o da Krigagem, este método utiliza a dependência espacial expressa no semivariograma entre amostras vizinhas para estimar valores em qualquer posição dentro do campo, sem tendência e com variância mínima, o que os torna ótimos estimadores no estudo da distribuição espacial de precipitação pluvial (Machado et al., 2010)

Ainda foram elaborados através do software ArcGis 10.6, mapas hipsométricos, de drenagem, bacias hidrográficas, postos pluviométricos e, localização do Núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe, de forma a complementar as análises, e demonstrar de forma mais concisa o regime hídrico do núcleo em toda sua complexidade e irregularidade.

Para compreender a variabilidade pluviométrica do Núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe, foi elaborada uma tabela com os anos padrão, super seco, seco, habitual, úmido e super úmido, correspondentes ao período de 2002 a 2022 (Tabela 19).

Tabela 19 – Capacidades de Armazenamento de água do solo no Núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe

Ano	Ano Padrão
2002	ÚMIDO
2003	ÚMIDO
2004	ÚMIDO
2005	SECO
2006	ÚMIDO
2007	SECO
2008	ÚMIDO
2009	SUPER ÚMIDO
2010	SECO

2011	ÚMIDO
2012	SUPER SECO
2013	SECO
2014	SECO
2015	SECO
2016	SECO
2017	SECO
2018	HABITUAL
2019	ÚMIDO
2020	ÚMIDO
2021	SECO
2022	ÚMIDO

Fonte: Elaborado Pelo Autor, 2025

Em seguida, foram desenvolvidas pranchas com gráficos de evolução do balanço hídrico climatológico entre 2002 a 2022. Esta série de dados foi utilizada em razão da atualidade de suas informações. Estes gráficos utilizam as médias dos totais anuais de Evapotranspiração potencial e real, precipitação, déficit e, excedente hídrico. Também foram elaboradas pranchas com as transformações destas variáveis durante os anos padrão.

Esses dados refletiram o comportamento inter e intra-anual do balanço hídrico climatológico no Núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe.

Foram elaboradas tabelas com o impacto das variações do indicador de veranicos nas perdas de safra de milho e feijão durante os anos padrão no núcleo.

A segunda etapa do tratamento de dados iniciou com a organização dos dados socioeconômicos dos municípios pertencentes ao Núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe em quadros, tabelas, gráficos e pranchas. Estes produtos foram construídos a partir da disponibilidade de dados de sua fonte.

Foi elaborada, a partir de dados do Ibge (2025), a prancha de evolução do Produto Interno Bruto por setor (Agropecuária, Indústria e Serviços) associada com o indicador de veranicos dos municípios pertencentes ao Núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe no período de 2004 a 2022.

Foram criados, a partir de dados do Ibge (2025), os gráficos de evolução do Produto Interno Bruto a preços correntes do núcleo no período de (2002 a 2021).

Foi gerado a partir de dados do Ibge (2025) os gráficos de evolução do Índice de Desenvolvimento Humano do núcleo durante os anos de 2000 e 2010.

Foram elaboradas a partir de dados do Ibge (2025) os gráficos de evolução do Índice de Desenvolvimento Municipal do núcleo durante os anos 2008, 2010, 2012, 2014, 2016 e 20218.

Foram originados a partir de dados do Ibge (2025) os gráficos de evolução da distribuição dos empregos formais do núcleo durante o período de 2005 a 2022.

Os gráficos da distribuição dos estabelecimentos agropecuários do núcleo foram elaborados a partir dos dados de Ceará (2010) no ano de 2010.

Para compreender o impacto dos veranicos na produtividade das lavouras temporárias, foi elaborada, a partir de dados do Ibge (2025), uma prancha com as associações entre o indicador de veranicos e as variações da produtividade do milho e feijão no núcleo no período de 2002 a 2022.

Em seguida, foram elaboradas, a partir dos dados do Ibge (2025), pranchas com os gráficos de evolução da Produção das lavouras Permanentes e temporárias dos Municípios da ASD Irauçuba/Centro-Norte no período de 2004 a 2018.

Foram elaboradas, a partir dos dados do Ibge (2025), pranchas com os gráficos de evolução da produção de carvão vegetal, lenha, leite e mel associadas às variações do indicador de veranicos no período de 2004 a 2022.

Foram elaborados, a partir dos dados do Ibge (2025), pranchas com os gráficos de evolução da Produção Pecuária associadas às variações do indicador de veranicos no período de 2004 a 2022.

Por fim, foi realizada, a análise estatística da pesquisa. Inicialmente foi realizada a análise exploratória e descritiva das variáveis climáticas (precipitação, excedente hídrico, déficit hídrico e indicador de veranicos). Em seguida, foi realizada a análise exploratória e descritiva das variáveis de produção (carvão vegetal, lenha, leite, mel, lavouras temporárias, bovinos, ovinos, caprinos e suínos).

Logo após, foi realizada a análise de correlação. Esta etapa objetiva mensurar os graus de impacto e associação que as variáveis climáticas possuem em relação à produção agropecuária. O coeficiente de correlação de Pearson foi utilizado para avaliar a intensidade e a direção das relações entre essas variáveis.

Por fim, como última etapa da análise estatística, foram realizados os modelos de regressão linear. Os modelos de regressão linear são ferramentas estatísticas essenciais para analisar a relação entre variáveis independentes e uma variável dependente. Eles possibilitam calcular o impacto de diferentes fatores sobre um resultado específico, facilitando a compreensão de como mudanças em variáveis explicativas influenciam a variável resposta. Os modelos de regressão utilizados na pesquisa foram univariados e multivariados.

5 DINÂMICA DO BALANÇO HÍDRICO NO SISTEMA AGROPECUÁRIO

5.1 Barreiras Orográficas no Núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe

As formações geomorfológicas de maior proeminência do Núcleo são: A chapada do Apodi; O maciço do Pereiro; Tabuleiros interiores; e as Cristas Residuais e Inselbergs.

O maciço do Pereiro é o maciço residual de maior destaque no Núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe, ele situa-se no extremo leste do município de Jaguaribe e Jaguaribara, na posição sudeste do núcleo (Figura 4).

De acordo com Guerra (2009, p. 108),

O maciço possui Litotipos variados do complexo cristalino pré-Cambriano com predominância de rochas graníticas, fortemente deformadas por falhamentos e dobramentos pretéritos. É caracterizado por Superfícies serranas com níveis altimétricos entre 400- 600m, moderadamente dissecada em colinas rasas, cristas e lombadas alongadas, que se alternam com pequenas planícies aluvionares. Detém escoamento intermitente sazonal em fluxo lento, predominando em seu perímetro os Neossolos flúvicos, Planossolos e Vertissolos. Abrange vegetação de várzea com presença de carnaubais e oiticica.

A chapada do Apodi, situada a leste do Núcleo (Figura 4), concentrando-se no município de Alto Santo. Para Ceará (2010, p. 109), esta chapada é caracterizada por possuir;

Superfície baixa, cuestiforme, em rochas da bacia potiguar, capeadas por calcário da formação Jandaira, com Cambissolos e Latossolos revestidos por caatingas. Enquanto que os rebordos e patamares da chapada do Apodi possuem relevo de patamares de acesso ao nível do platô da chapada e áreas de rebordos escarpados (cornija). O escoamento é intermitente, sazonal, com reduzida presença de rede de drenagem. A associação de solos predominante é a de Neossolos Litólicos intercalados por afloramentos rochosos. A chapada possui altitude média de 250 metros.

A chapada do Apodi tem grande destaque na economia cearense. Os municípios nela inseridos produzem continuamente frutas e hortaliças irrigadas. A produção agrícola da Chapada abastece tanto o mercado interno quanto o externo. A principal fonte de água para a

irrigação é subterrânea, proveniente do Arenito Açu e do calcário Jandaira, em poços de mais de mil metros de profundidade (Ceará, 2010).

As Cristas Residuais e Inselbergs são formações aguçadas com vertentes dotadas de declividades acentuadas e morros isolados oriundos de erosão diferencial, com Neossolos Litólicos e afloramentos rochosos revestidos por caatinga arbustiva e vegetação rupestre (Ceará, 2010). As cristas residuais situam-se predominantemente no extremo oeste de Jaguaribe e norte de Morada Nova (Figura 4).

Os tabuleiros interiores do Ceará são caracterizados pelos depósitos aluviais antigos da Formação Faceira e Formação Moura, além das coberturas colúvio-eluviais detríticas. A primeira é caracterizada por sedimentos afossilíferos com níveis conglomeráticos basais, avermelhados, grosseiros, contendo seixos bem rolados de quartzo (Braga et al., 1981).

Os tabuleiros interiores concentram-se no leste de Jaguaretama, oeste de Alto Santo, e na posição norte e central de Morada Nova (Figura 4).

As características naturais dos ambientes secos do Ceará se intensificam, entre outros aspectos, por influências orográficas. Tal afirmação pode ser facilmente comprovada nos setores de sota-vento dos maciços cristalinos dispersos ao longo do território estadual (Lima; Cordeiro; Bastos, 2016).

A localização geográfica das feições geomorfológicas é determinante para a ocorrência das áreas degradadas suscetíveis à desertificação. Deve-se levar em consideração que a degradação ambiental é um processo antigo, que tem se intensificado devido à utilização de técnicas inadequadas para o manejo do solo e da vegetação por parte do homem (Lima; Cordeiro; Bastos, 2016).

As superfícies topograficamente mais elevadas de relevos serranos, quando submetidas às influências de mesoclimas de altitude, representam, no contexto geoecológico do semiárido, verdadeiros ambientes de exceção (Souza, 2011).

Os padrões de movimento das massas de ar no estado do Ceará são, principalmente, no sentido Leste-Oeste, com barlavento nos setores orientais dos relevos serranos e sota-vento nas áreas ocidentais. Estes posicionamentos quanto aos efeitos climáticos também ocasionam marcas nos setores circunvizinhos aos relevos serranos, onde se evidenciam caatingas com padrões fisionômicos mais representativos das depressões sertanejas orientais do que nos sertões ocidentais. (Lima; Cordeiro; Bastos, 2016).

Desta maneira, evidencia-se que os maciços cristalinos existentes no estado do Ceará – preferencialmente orientados segundo direções NE-SW – e suas relações com o

direcionamento dos ventos alísios de leste e sudeste têm influência direta no baixo índice pluviométrico nos sertões circunvizinhos, situados em posição de sota-vento, além de contribuírem para o surgimento de áreas susceptíveis à desertificação. (Lima; Cordeiro; Bastos, 2016).

Segundo (Lima; Cordeiro; Bastos, 2016, p. 65),

A escassez de chuvas anual acentua-se nos sertões circunvizinhos, especialmente situados em posição de sota-vento (CONTI, 2005), como na vertente ocidental do maciço de Baturité, onde os municípios de Caridade e Canindé, localizados no sertão central apresentaram em 2013 médias pluviométricas que atingiram, respectivamente, 788 mm e 756 mm. (CEARÁ, 2014). Também há os exemplos de Irauçuba (539 mm), Tamboril (685 mm) e Jaguaribe (676 mm), municípios cearenses situados em oposição à vertente seca da serra de Uruburetama, das Matas e do Pereiro, respectivamente, onde a semiaridez se manifesta de forma mais intensa.

Para Lima, Cordeiro e Bastos (2016), não se pode inferir apenas a altimetria e a exposição dessas feições geomorfológicas como fatores determinantes para a ocorrência de áreas susceptíveis à desertificação. Deve-se destacar que a degradação ambiental nas depressões intermontanhas é um processo antigo, que tem se intensificado com o tempo devido à utilização de técnicas errôneas de manejo do solo e da vegetação.

Para Conti (2005), a mancha identificadora da desertificação no Ceará forma um eixo, aproximadamente, NE-SW, desde Itapajé - em posição de sota-vento em relação à serra de Uruburetama - até Campos Sales, no sopé da Chapada do Araripe, que poderia ser considerada a diagonal árida do estado.

5.2 Precipitação Total Anual

Observa-se no (Mapa 9) a distribuição espacial da precipitação total anual para o Núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe. Ficou evidente a pequena variabilidade pluviométrica do núcleo. O menor volume pluviométrico obtido foi o de 659 milímetros, enquanto que, o maior volume pluviométrico chegou a 715 milímetros, produzindo uma variação pluviométrica de 56 milímetros, em uma área de 8.422,77 km². Esta variação pluviométrica é bastante reduzida, principalmente, quando levamos em consideração os estudos de Ferreira (2021), que demonstraram uma variação pluviométrica de 392 milímetros no Núcleo de Desertificação de Irauçuba Centro-Norte no período de 1998 a 2018.

A Zona com o menor volume de precipitação do núcleo, cor amarela, apresenta um intervalo de precipitação entre 659 a 670 milímetros, concentrando-se no leste e norte de Morada Nova.

Esta zona possui os menores volumes de precipitação, entretanto, este volume de chuva é muito próximo do maior volume de precipitação do núcleo. Este quadro ocorre em decorrência da reduzida amplitude altimétrica observada no núcleo. A partir da ausência de maciços residuais de elevada altitude no núcleo, o efeito orográfico destas barreiras é significativamente atenuado, homogeneizando desta forma o volume de precipitações no núcleo.

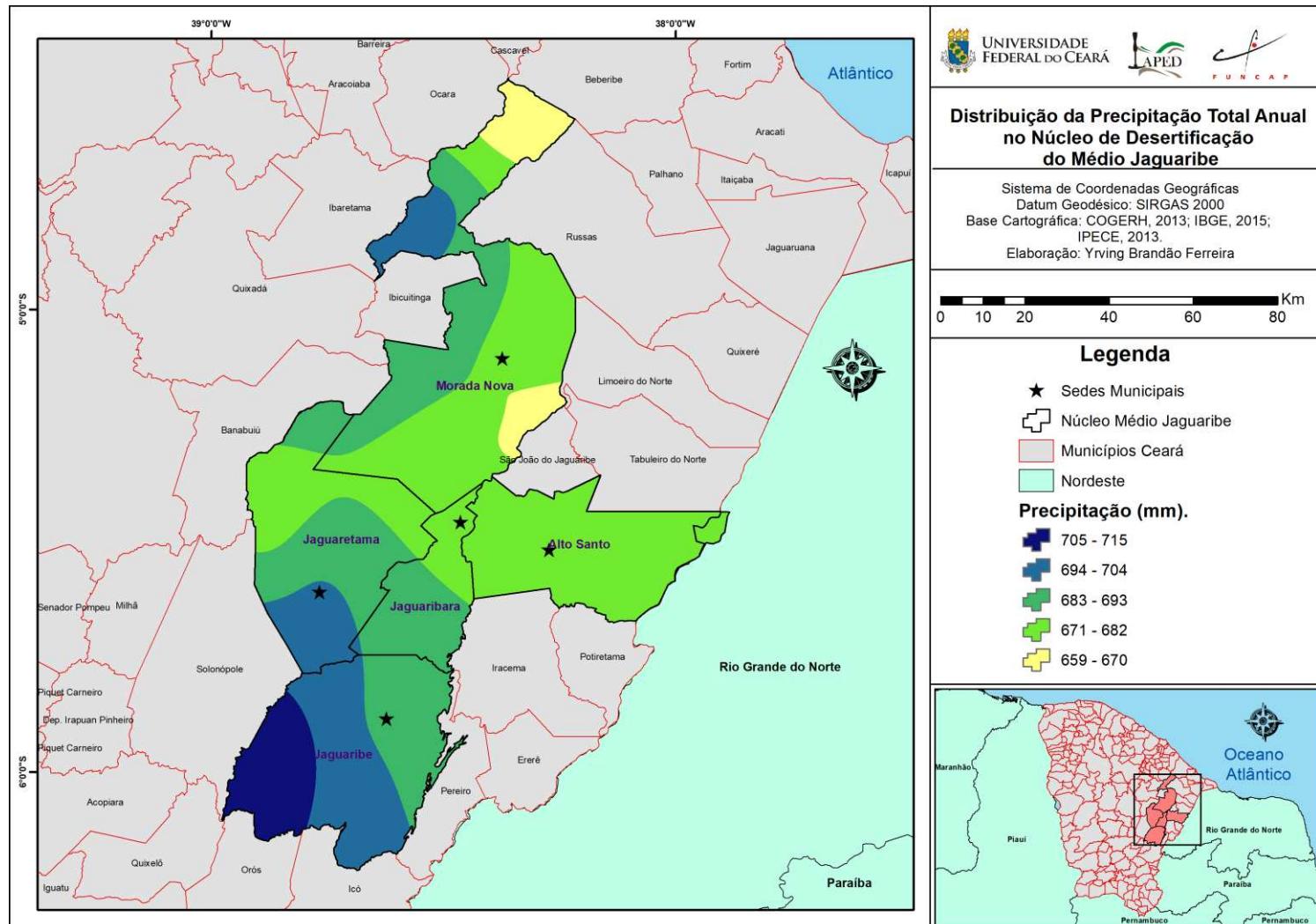
Vale ressaltar, que a zona de menor precipitação coincide com as regiões de menor altitude do núcleo, evidenciando que apesar da altitude reduzida, os maciços residuais ainda têm a capacidade de aprisionar precipitações em seu barlavento.

As zonas de precipitação intermediária, cor verde claro e escuro, coincidem com as regiões de altitude intermediária no núcleo. Conforme dito, a área de estudo possui uma reduzida amplitude pluviométrica e altimétrica, ocasionado uma uniformidade no volume de precipitações. Apenas as pequenas variações altimétricas do núcleo têm a capacidade de acentuar as variações pluviométricas da área de estudo.

Na zona com o segundo maior volume de precipitação, cor azul claro, estão as regiões com o segundo maior coeficiente altimétrico. Esta zona corresponde geograficamente à porção norte de Morada Nova, e sul de Jaguaretama, Jaguaribara e Jaguaribe. Esta zona apresenta volume de precipitação muito próximo da zona de maior volume pluviométrico, as precipitações nesta zona, novamente, só variam em função do coeficiente altimétrico presente em cada região. No norte de Morada Nova e sul de Jaguaretama temos a presença de cristas residuais e inselbergs, enquanto que, no sul de Jaguaribe, evidencia-se a ação do barlavento do Maciço do Pereiro. Estes acidentes geográficos contribuem ativamente na acumulação pluviométrica desta zona.

A zona com maior volume de precipitação, cor azul escuro, possui as maiores altitudes e volume pluviométrico do núcleo, concentrando-se no sudoeste de Jaguaribe. Esta zona possui grande concentração de Maciços, Cristas Residuais e Inselbergs. O maciço do pereiro possui grande destaque na concentração pluviométrica desta zona, este maciço, em conjunto com as cristas residuais e inselbergs da região possuem as maiores altitudes do núcleo, e consequentemente acumulam um maior volume de precipitação.

Mapa 9 – Distribuição da Precipitação Total Anual



Fonte: Elabora pelo Autor, 2025

Na zona com maior volume de precipitação, a classe de uso mais frequente foi a da caatinga, enquanto que, na zona de menor precipitação, em sua porção norte encontramos a caatinga, e na porção leste, a agropecuária.

A Chapada do Apodi, concentrada na porção leste de Jaguaribe, não apresentou grande competência para a acumulação pluviométrica como o maciço do Pereiro e as Cristas Residuais e Inselbergs, situando-se na zona com o segundo menor volume pluviométrico do núcleo.

Apesar da pequena variabilidade pluviométrica, este núcleo apresenta as mesmas limitações dos demais núcleos do estado. Apresentando grande variabilidade espaço-temporal das precipitações, além de uma acentuada evapotranspiração, intensificando a semiaridez e a desertificação no núcleo. Este quadro, impacta ativamente na agricultura de sequeiro, causando muitos prejuízos aos produtores locais e à segurança alimentar da região.

5.3 Evapotranspiração Potencial Anual

A evapotranspiração potencial é condicionada pela variação de latitude, passagem entre estações, e a temperatura máxima. Quanto menor for a latitude (mais próximo da linha do equador), maior será a evapotranspiração potencial. As estações do ano também influenciam significativamente na evapotranspiração potencial, períodos como o de verão e inverno, possuem máxima e mínima incidência de radiação solar, e com isso alteram o seu respectivo potencial evapotranspiratório (Ferreira, 2021).

Neste núcleo, não há grande variação latitudinal, logo a incidência de radiação solar possui intensidade relativamente constante durante o ano. Apesar deste quadro estável de incidência de radiação solar, fatores locais, como a altitude, podem influenciar significativamente na distribuição do potencial evapotranspiratório (Ferreira, 2021).

A evapotranspiração potencial sofre influência das temperaturas máximas, quanto maior for a temperatura, maior será a evapotranspiração potencial. A temperatura varia de acordo com a altitude local, quanto maior for a altitude, menor a temperatura. Logo, quanto maior for a altitude, menor será a temperatura e a evapotranspiração potencial, e quanto menor for a altitude, maior será a temperatura e a evapotranspiração potencial (Ferreira, 2021). No (Mapa 10), tem-se a distribuição da evapotranspiração potencial anual no Núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe.

A zona com o menor potencial de evapotranspiração, cor amarela, se encontra nas porções norte de Morada Nova e oeste de Jaguaretama. O norte de Morada Nova, como visto

anteriormente, é uma das regiões com maiores altitudes (Mapa 2) do núcleo (possui a presença de cristas residuais e inselbergs), logo, possui temperatura inferior ao restante do núcleo e, consequentemente, menor capacidade de evapotranspiração.

O oeste de Jaguaretama possui altitudes (Mapa 2) intermediárias no núcleo, entretanto, está na zona de menor potencial evapotranspiratório da área de estudo. Pode-se concluir com isso, que a reduzida amplitude altimétrica do núcleo não é suficiente para produzir uma grande variabilidade térmica, e com um quadro de pequenas variações térmicas e altimétricas, a evapotranspiração potencial do núcleo também tende a se homogeneizar.

Evidencia-se uma pequena variabilidade na distribuição da evapotranspiração potencial anual, o menor volume obtido foi o de 1.705 milímetros e o maior foi de 1.994 milímetros, gerando com isto uma variação de 289 milímetros. Esta pequena variação do potencial evapotranspiratório corrobora com a constatação de que a amplitude altimétrica do núcleo (Mapa 2) não é suficiente para produzir uma grande variabilidade térmica, e com um quadro de pequenas variações térmicas e altimétricas, a evapotranspiração potencial do núcleo tende a se homogeneizar.

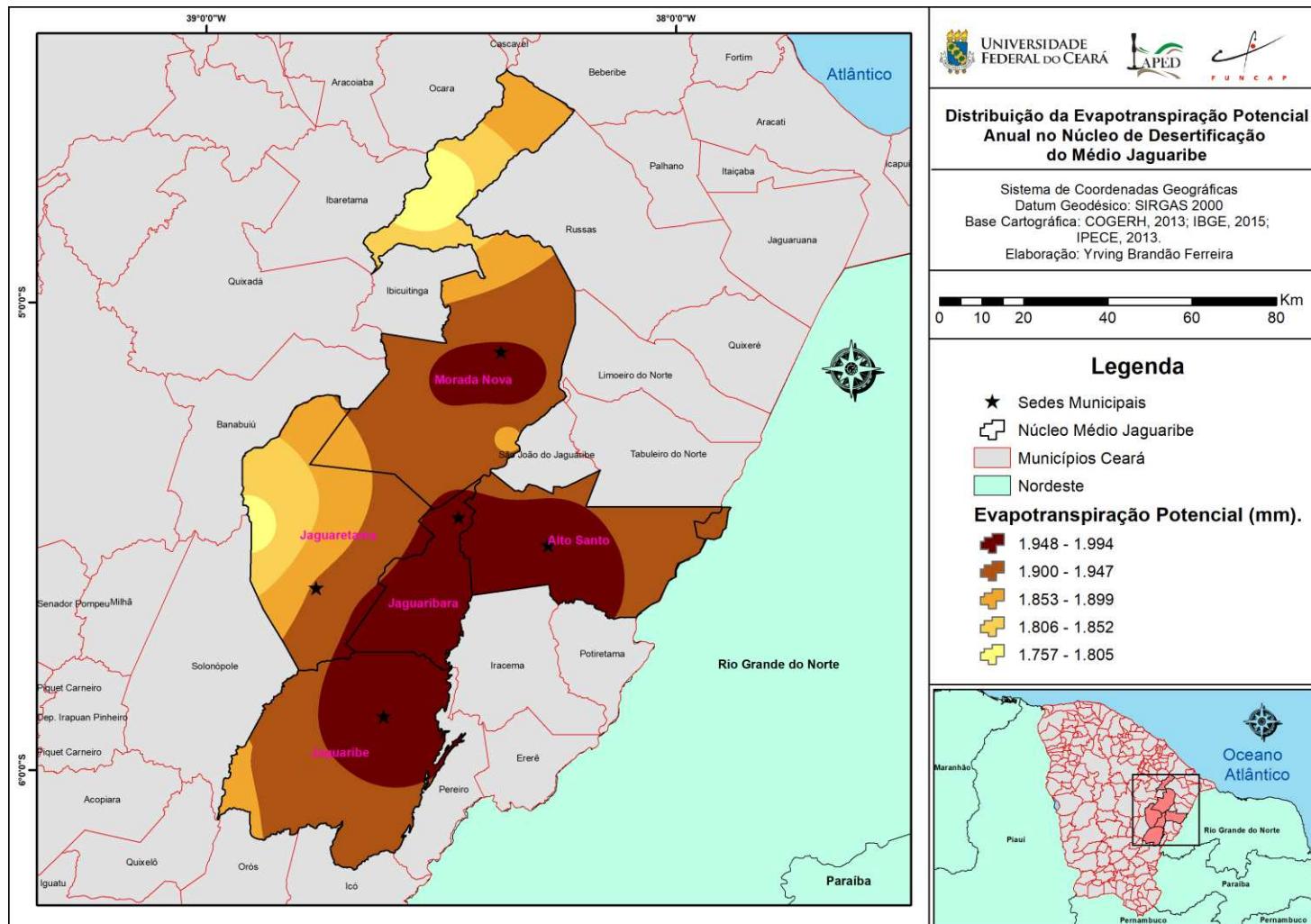
As zonas com potencial evapotranspiratório intermediário, cores amarelo escuro e laranja claro, se situam próximas à zona de menor potencial evapotranspiratório, concentrando-se no norte de Morada Nova, oeste de Jaguaretama e sudoeste de Jaguaribe. Esta zona demonstra a transição da zona de menor potencial evapotranspiratório para as zonas de maior potencial evapotranspiratório do núcleo. O sudoeste de Jaguaribe, apesar de possuir uma das mais elevadas altitudes do núcleo, se encontra inserido nesta zona intermediária.

A zona com o segundo maior potencial evapotranspiratório da área de estudo, cor marrom claro, abrange a maior porção do perímetro do núcleo. Nesta zona, os coeficientes altimétricos são diversos (Mapa 2), concentrando-se nas porções leste e centro-sul do núcleo.

A zona com maior potencial de evapotranspiração, cor marrom escuro, concentra-se no centro de Morada Nova, centro-oeste de Alto Santo, nordeste de Jaguaribe, e todo o perímetro de Jaguariaba. Nesta zona, em sua maior porção, estão as menores altitudes (Mapa 2) do núcleo, ocasionando concomitantemente o maior potencial evapotranspiratório da área de estudo.

Na zona com maior potencial de evapotranspiração, as classes de uso mais presentes são a caatinga e a agropecuária, enquanto que, na zona de menor evapotranspiração potencial, as classes de uso mais presentes são a agropecuária e a agropecuária/caatinga degradada.

Mapa 10 – Distribuição da Evapotranspiração Potencial Anual



Fonte: Elabora pelo Autor, 2025

Fica evidente, que a reduzida variabilidade altimétrica e térmica do núcleo influencia significativamente na distribuição do potencial evapotranspiratório da área de estudo, homogeneizando os volumes de evapotranspiração. As regiões que possuem as maiores altitudes, e consequentemente possuem as menores temperaturas, impactam ativamente na redução do potencial evapotranspiratório do núcleo.

O potencial evapotranspiratório do núcleo é muito superior aos volumes de precipitação incidentes na área de estudo. Este quadro, atesta para a intensa e contínua perda de umidade do núcleo, resultando em acentuação do déficit hídrico e agravamento do processo de desertificação.

5.4 Evapotranspiração Real Anual

A evapotranspiração real indica a quantidade de água que está sendo efetivamente evapotranspirada pelo sistema. Sua variabilidade se dá principalmente de acordo com o volume das precipitações incidentes (Ferreira, 2021).

A evapotranspiração Real é proporcional à oferta pluviométrica do núcleo. Nos locais onde há maior precipitação, ocorre paralelamente maior evapotranspiração real. Isto ocorre devido ao sistema em questão ter uma maior oferta hídrica em sua superfície, logo, maior volume hídrico pode ser evapotrasnspirado. Em contrapartida, locais com precipitações reduzidas, possuem os menores volumes evapotranspirados. Quanto menor for o volume hídrico disponível no sistema paralelamente, menor será sua evapotranspiração (Ferreira, 2021).

A evapotranspiração real também é significativamente influenciada pelo potencial evapotranspiratório local. Um elevado potencial evapotranspiratório em conjunto com uma grande oferta hídrica, produzem os maiores volumes de evapotranspiração real. A evapotranspiração real é sempre menor ou igual à evapotranspiração potencial. A evapotranspiração real depende essencialmente da evapotranspiração potencial local e da disponibilidade hídrica do solo. A disponibilidade hídrica é essencial para a evapotranspiração real, não havendo tal disponibilidade, não ocorrerá a evapotranspiração real, independente do potencial evapotranspiratório local (Ferreira, 2021).

Observa-se no (Mapa 11) a distribuição espacial da evapotranspiração real anual para o Núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe. Não houve uma grande variabilidade na distribuição da evapotranspiração real anual, o menor volume evapotranspirado foi de 657 milímetros e o maior foi de 717 milímetros, gerando com isto uma variação de 60 milímetros.

Este quadro indica que o volume pluviométrico efetivamente evapotranspirado do núcleo não sofreu grandes alterações espaciais, sofrendo pequenas variações de acordo com os volumes pluviométricos disponíveis e o potencial evapotranspiratório local.

A zona com o menor volume de evapotranspiração real, cor amarela, se encontra no leste e norte de Morada Nova. Esta faixa possui as menores precipitações do núcleo (Mapa 9), além de possuir potencial elevado de evapotranspiração (Mapa 10). Em decorrência das precipitações escassas e do potencial elevado de evapotranspiração, esta faixa se configura como a de menor evapotranspiração real da área de estudo.

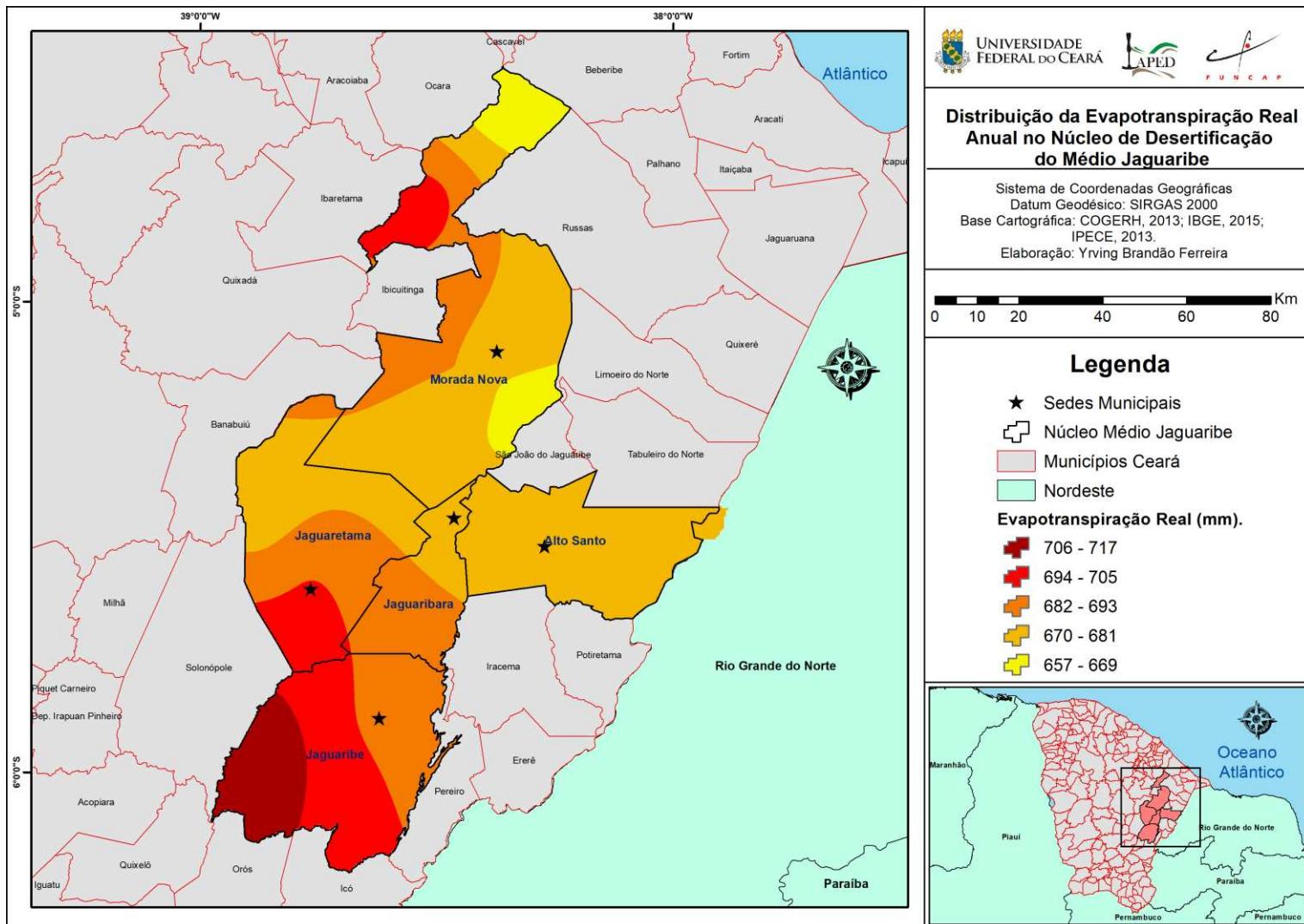
A zona com o volume de evapotranspiração real intermediário, cor amarelo escuro e laranja, coincide com as faixas de precipitação intermediaria do núcleo. Esta faixa possui reduzida variabilidade nos volumes de precipitação (Mapa 9) e potencial evapotranspiratório elevado (Mapa 10). De maneira geral, há um incremento de precipitação nesta região, bem como aumento do potencial evapotranspiratório, ocasionando um novo acréscimo das taxas de evapotranspiração real.

A zona de maior volume de evapotranspiração real, cor vermelha e marrom, concentra-se no norte de Morada Nova e sudoeste de Jaguaribe, esta faixa coincide as zonas de maior volume de precipitação do núcleo (Mapa 9), tendo potencial evapotranspiratório elevado no sudoeste de Jaguaribe e reduzido no norte de Morada Nova (Mapa 10). O maciço do pereiro, em conjunto com as cristas residuais e inselbergs são os responsáveis pela maior acumulação pluviométrica desta zona, e consequentemente detêm o maior volume de evapotranspiração real da área de estudo.

Na zona com maior potencial de evapotranspiração real, as classes de uso mais presentes são a caatinga e a agropecuária, enquanto que, na zona de menor potencial de evapotranspiração real, em sua porção norte encontramos a caatinga e na porção leste, a agropecuária.

A evapotranspiração real segue o padrão de homogeneidade da precipitação e da evapotranspiração potencial, tendo reduzida variabilidade no perímetro do núcleo. A diferença entre o potencial de evapotranspiração e a evapotranspiração real é elevada, atestando a escassez de recursos hídricos existentes no núcleo, que por não possuir umidade no solo em volume e distribuição adequados, evapotranspira um volume muito menor do que o potencial do sistema. Este quadro, gera graves prejuízos a segurança alimentar e a produtividade agropecuária do núcleo.

Mapa 11 – Distribuição da Evapotranspiração Real Anual



5.5 Excedente Hídrico Anual

O excedente hídrico é a variável climática que demonstra se há excesso de água no solo em um determinado período de tempo, ou seja, se há mais água disponível no solo do que sua capacidade natural de armazenamento. Ele é fundamental para estudos agrometeorológicos, uso da terra, gestão hídrica e desertificação (Ferreira, 2021). No (Mapa 12), temos a variação espacial do excedente hídrico anual do Núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe.

O excedente hídrico anual do Núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe alcançou volume máximo de 9 milímetros e mínimo de 0 milímetros, com uma variação de 9 milímetros. O maior volume de excedente hídrico foi encontrado na porção oeste de Morada Nova.

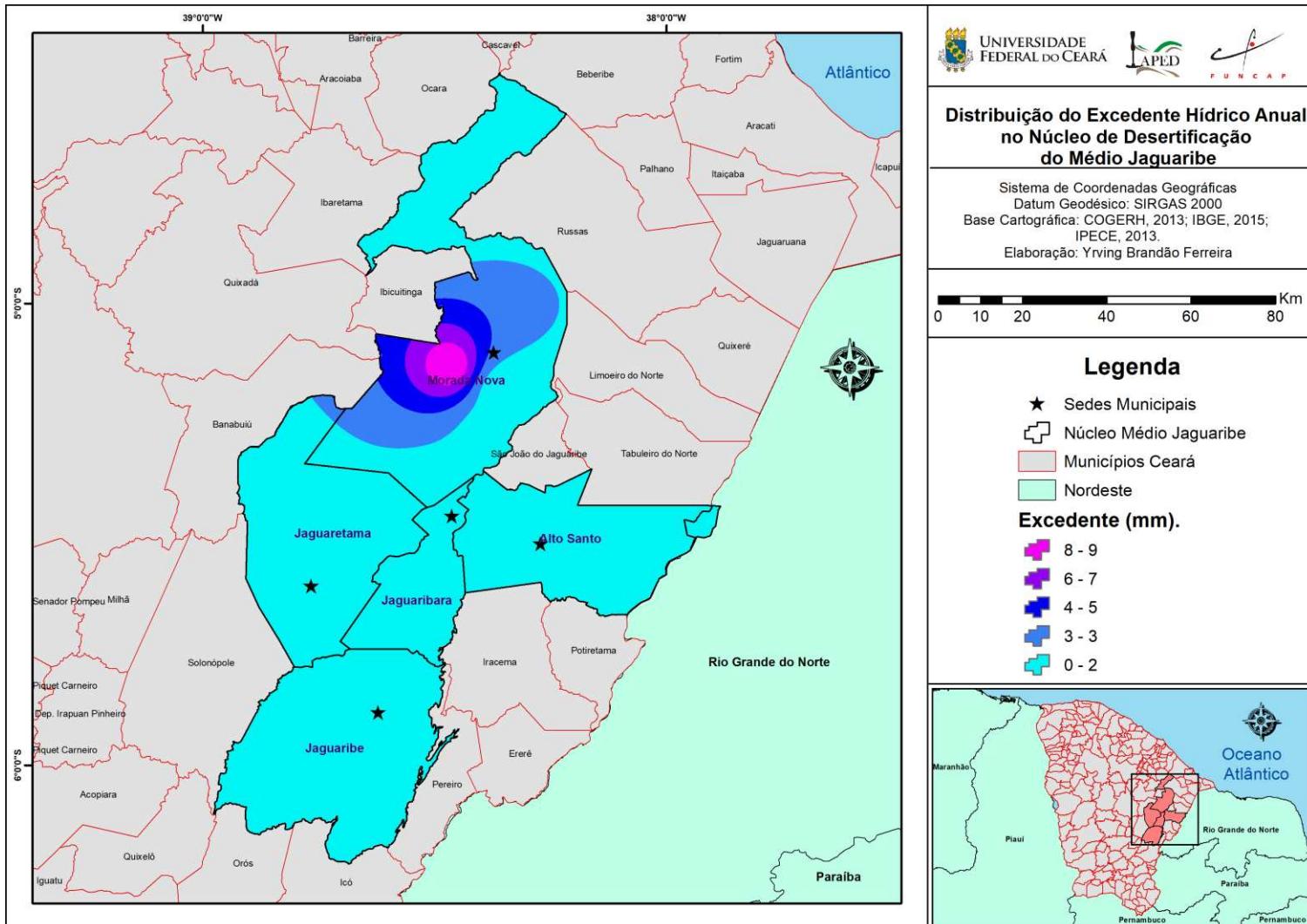
Os volumes máximos e mínimos do excedente hídrico se encontram bastante reduzidos, a pequena variação entre ambos evidencia o quadro de ausência significativa de recarga hídrica anual no núcleo, gerando graves prejuízos ao sistema agropecuário da área de estudo. O quadro de chuvas esparsas e mal distribuídas anualmente, associadas a um elevado volume de evapotranspiração, e ausência de recarga hídrica adequada do solo, agrava cada vez mais a desertificação no núcleo, aumentando constantemente os impactos socioambientais da região. Na zona com maior excedente hídrico anual, as classes de uso mais presentes são a caatinga e a agropecuária.

Este excedente hídrico reduzido é resultante da baixa concentração pluviométrica local associada aos solos tipicamente rasos e pedregosos presentes nesta região.

Vale ressaltar que o excedente hídrico é fortemente influenciado pelo CAD do solo. Solos que possuem reduzida capacidade de armazenamento hídrico quando expostos a um grande volume pluviométrico tendem a produzir um volume superior de excedente hídrico, em contrapartida, solos com alta capacidade de armazenamento hídrico quando expostos a um grande volume pluviométrico tendem a não produzir grande excedente hídrico, pois o solo já armazenou a maior porção da precipitação incidente (Ferreira, 2021).

Quando se perde a cobertura arbustiva (por corte, queima ou pastoreio), a exposição do solo desnudo promove a formação de uma crosta superficial decorrente do impacto direto das gotas de chuva, o que reduz a infiltração da água e aumenta o escoamento. Isto reduz as possibilidades de estabelecimento da cobertura vegetal. Os solos descobertos são muito susceptíveis à erosão hídrica e eólica, gerando uma remoção líquida de nutrientes das áreas degradadas (Gutiérrez; Squeo, 2004).

Mapa 12 – Distribuição Excedente Hídrico Anual



Fonte: Elabora pelo Autor, 2025

A vegetação, assim como o solo, tem um papel fundamental na manutenção do excedente hídrico. A cobertura vegetal, quando bem desenvolvida e estratificada, tem uma maior capacidade de armazenar umidade, contribuindo desta maneira para a manutenção do equilíbrio hídrico local. Quando se extingue esta cobertura vegetal, a proteção que a mesma exerce no solo é comprometida, e dessa forma a exposição do solo desnudo ao impacto direto das gotas de chuva promove a formação de uma camada superficial, reduzindo a infiltração de água e acelerando o escoamento (Ferreira, 2021). No (Mapa 7) evidencia-se que a cobertura vegetal do núcleo foi bastante comprometida pelo avanço da agropecuária, impermeabilizando o solo e reduzindo a recarga hídrica local, acentuando desta maneira, o déficit hídrico regional

5.6 Déficit Hídrico Anual

O déficit hídrico é a água que deixa de ser evapotranspirada pela falta de umidade no solo, e é constituído pela diferença entre a evapotranspiração real e potencial. O déficit ou deficiência hídrica é comumente utilizado para quantificação das necessidades hídricas do solo. A partir da quantificação do volume de água que deixa de ser evapotranspirada pela falta de umidade do solo, pode-se inferir o volume de água necessário para a reposição hídrica do mesmo. Fornece-se dessa maneira ao solo de maneira artificial o volume hídrico ideal para o seu desenvolvimento (Ferreira, 2021).

O déficit hídrico é utilizado como norteador de projetos agrometeorológicos, implementação de perímetros irrigados, quantificação de seca, monitoramento do avanço da desertificação e, políticas públicas de segurança alimentar e preservação ambiental (Ferreira, 2021).

No (Mapa 13), temos a variação espacial do déficit hídrico anual do Núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe.

O déficit hídrico anual do Núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe alcançou volume máximo de 1269 milímetros e mínimo de 996 milímetros, com uma variação 273 milímetros. Os volumes máximos e mínimos de déficit hídrico estão bem elevados, e com pequena variação entre ambos. Este quadro, demonstra a crise hídrica na qual o Núcleo de desertificação do Médio Jaguaribe está inserido, apresentando uma deficiência hídrica muito superior ao volume de precipitação total anual. O volume de precipitações varia interanualmente, enquanto que o déficit hídrico é sempre elevado, tornando o solo do núcleo

cada vez mais seco e insuficiente para manutenção dos sistemas produtivos e das atividades agropecuárias.

A zona com maior deficiência hídrica, cor vermelha, se concentra no leste de Morada Nova, centro-oeste de Alto Santo, Jaguaribara (exceção porção oeste) e leste de Jaguaribe. Esta faixa se encontra na zona de maior potencial evapotranspiratório (Mapa 10), e sua evapotranspiração real (Mapa 11) é reduzida.

A zona com a segunda maior deficiência hídrica, cor alaranjada, se concentra no centro-sul de Morada Nova, leste de Jaguaretama, centro-oeste de Alto Santo e centro-sul de Jaguaribe. Esta faixa se encontra na zona de evapotranspiração potencial elevada (Mapa 10), e sua evapotranspiração real (Mapa 11) é reduzida.

A zona com volume intermediário de deficiência hídrica, cor amarela e verde claro, se concentra no norte de Morada Nova, oeste de Jaguaretama e Jaguaribe. Esta faixa possui potencial evapotranspiratório diversificado, possuindo um gradiente de reduzido a intermediário (Mapa 10), e sua evapotranspiração real (Mapa 11) é diversa, possuindo um gradiente de volume reduzido a elevado.

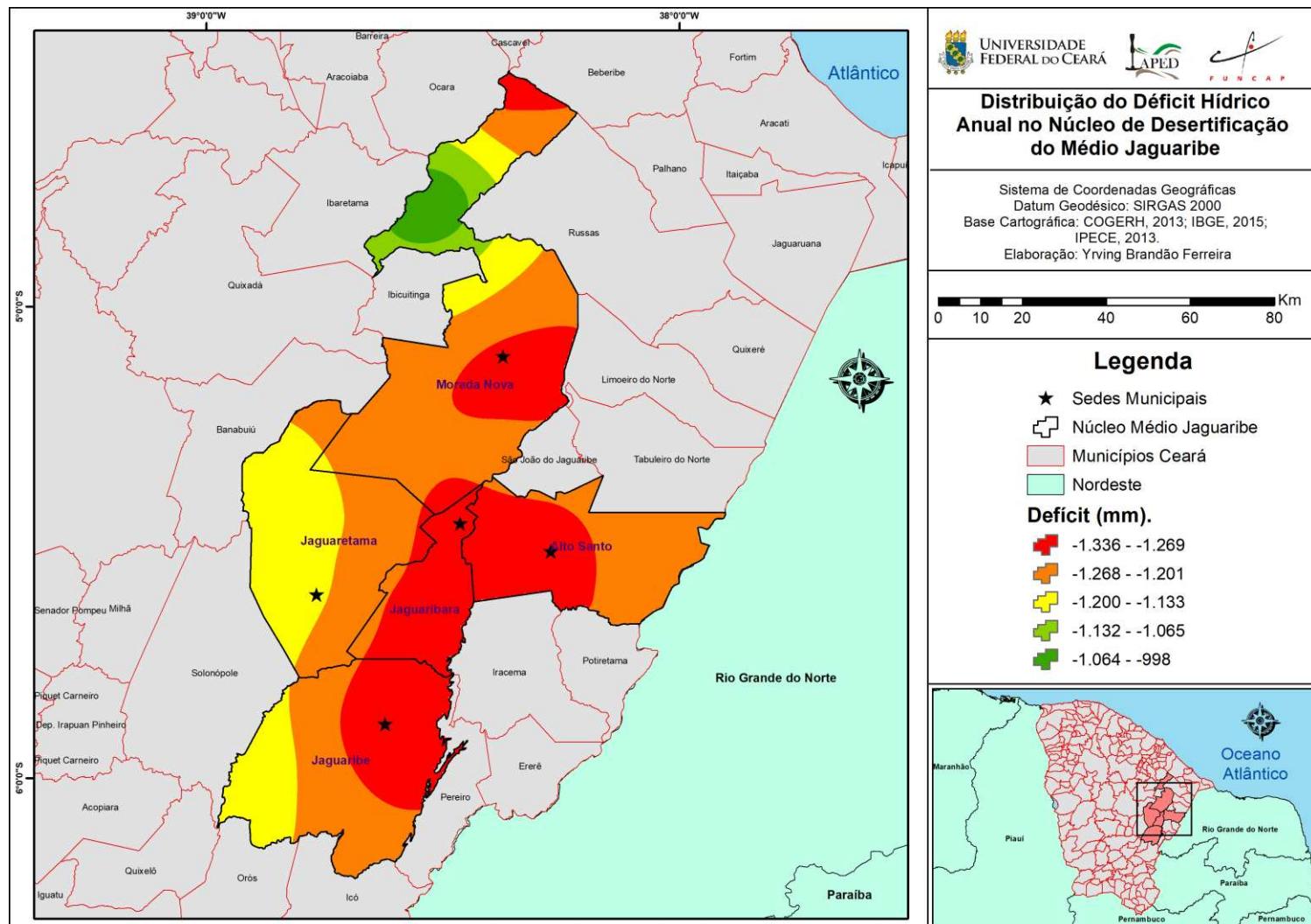
A zona com o menor volume de deficiência hídrica, cor verde escuro, se concentra no norte de Morada Nova. Esta faixa possui potencial evapotranspiratório reduzido (Mapa 10), e sua evapotranspiração real (Mapa 11) é elevada. Vale destacar, que esta região possui incidência de Cristas Residuais e Inselbergs, apresentando uma das altitudes mais elevadas do núcleo. A combinação de altitudes mais elevadas, potencial evapotranspiratório reduzido e evapotranspiração real elevada culmina na região com menor deficiência hídrica do núcleo.

Na zona com maior volume de deficiência hídrica, as classes de uso mais presentes são a caatinga e a agropecuária, enquanto que, na zona de menor volume de deficiência hídrica, as classes de uso mais presentes também foram a caatinga e a agropecuária.

5.7 Precipitação (Anos-Padrão)

A utilização dos anos-padrão é essencial para demonstrar as variações da precipitação, déficit e excedente hídrico e, além disto, mensurar o impacto dessas variações no espaço geográfico. Os anos-padrão selecionados para pesquisa são: 2012 (Super Seco); 2005 (Seco); 2018 (Habitual); 2002 (Úmido); 2009 (Super Úmido). A Precipitação total anual sofreu grandes variações durante os anos-padrão (Mapa 14). As precipitações, oscilaram, majoritariamente, entre 160 e 1.320 milímetros durante estes anos.

Mapa 13 – Distribuição do Déficit Hídrico Anual



Fonte: Elabora pelo Autor, 2025

Em 2012 (Super Seco), as precipitações foram bastante reduzidas, em média 160 milímetros, demonstrando o quadro grave de precipitações insuficientes e irregulares no núcleo. Morada Nova foi o município que apresentou a menor precipitação do núcleo. Jaguaretama, Alto Santo, Jaguaribara e Jaguaribe registraram precipitações ligeiramente superiores.

Em 2005 (Seco), as precipitações obtiveram um pequeno acréscimo em comparação com 2012 (Super Seco). Esse acréscimo, entretanto, está longe de ser adequado para suprir as carências hídricas do núcleo. Neste ano, o norte e o oeste de Morada Nova receberam um volume de precipitação ligeiramente superior ao restante do núcleo. Em contrapartida, o leste de Jaguaretama e de Jaguaribe e o oeste de Jaguaretama e Alto Santo registraram as menores precipitações.

Em 2018 (Habitual), as precipitações, novamente, receberam um acréscimo em seu volume. Morada nova e Alto santo foram os municípios que registraram os maiores volumes de precipitação do núcleo, em conjunto com o noroeste de Jaguaretama e o oeste de Jaguaribe. Jaguaribara, o centro-norte de Jaguaribe e o centro-sul de Jaguaretama foram as regiões que registraram o menor volume de precipitações.

Em 2012 (Úmido), os volumes de precipitação aumentaram. Os maiores volumes de precipitação foram registrados em Jaguaretama, Jaguaribara, Alto Santo e no norte e leste de Morada Nova. Os menores volumes de precipitação foram obtidos em Jaguaribe e no centro-sul de Morada Nova.

Em 2009 (Super Úmido), os volumes de precipitação foram os maiores dentre todos os anos-padrão selecionados. Os maiores volumes de precipitação foram registrados no leste de Alto Santo e norte de Morada Nova. Os menores volumes de precipitação foram identificados no centro de Morada Nova, sul de Jaguaretama e leste de Jaguaribe.

Evidencia-se que, apesar do Núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe não possuir altitudes elevadas, os maiores volumes de precipitação se concentram majoritariamente nas porções de maior altitude do núcleo. Notou-se que os maiores volumes de precipitação se concentraram principalmente no Maciço do Pereiro (Oeste de Jaguaribe), Chapada do Apodi (Leste de Alto Santo), e nas cristas residuais e inselbergs (Norte de Morada Nova).

A Chapada do Apodi é crucial para a economia cearense, sendo um dos principais polos de produção de frutas e alimentos do estado. O elevado volume pluviométrico evidenciado nesta chapada é um elemento essencial para a produtividade agrícola da região.

5.8 Excedente Hídrico (Anos-Padrão)

O excedente hídrico demonstra se há excesso de água no solo em um determinado período de tempo, consequentemente, se há mais água disponível no solo do que sua capacidade natural de armazenamento. Ele é fundamental para estudos agrometeorológicos, uso da terra, gestão hídrica e desertificação. No (Mapa 15), temos a variação espacial do excedente hídrico durante os anos-padrão no Núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe.

O excedente hídrico anual apresentou elevadas variações durante os anos-padrão. Os excedentes oscilaram entre 0 e 470 milímetros durante estes anos.

Em 2012 (Super Seco), não houve excedente hídrico no Núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe, este cenário é consequência do reduzido volume pluviométrico incidente no núcleo durante este ano. Com precipitações reduzidas, o solo não é capaz de armazenar água e, com isso, não consegue produzir excedentes hídricos.

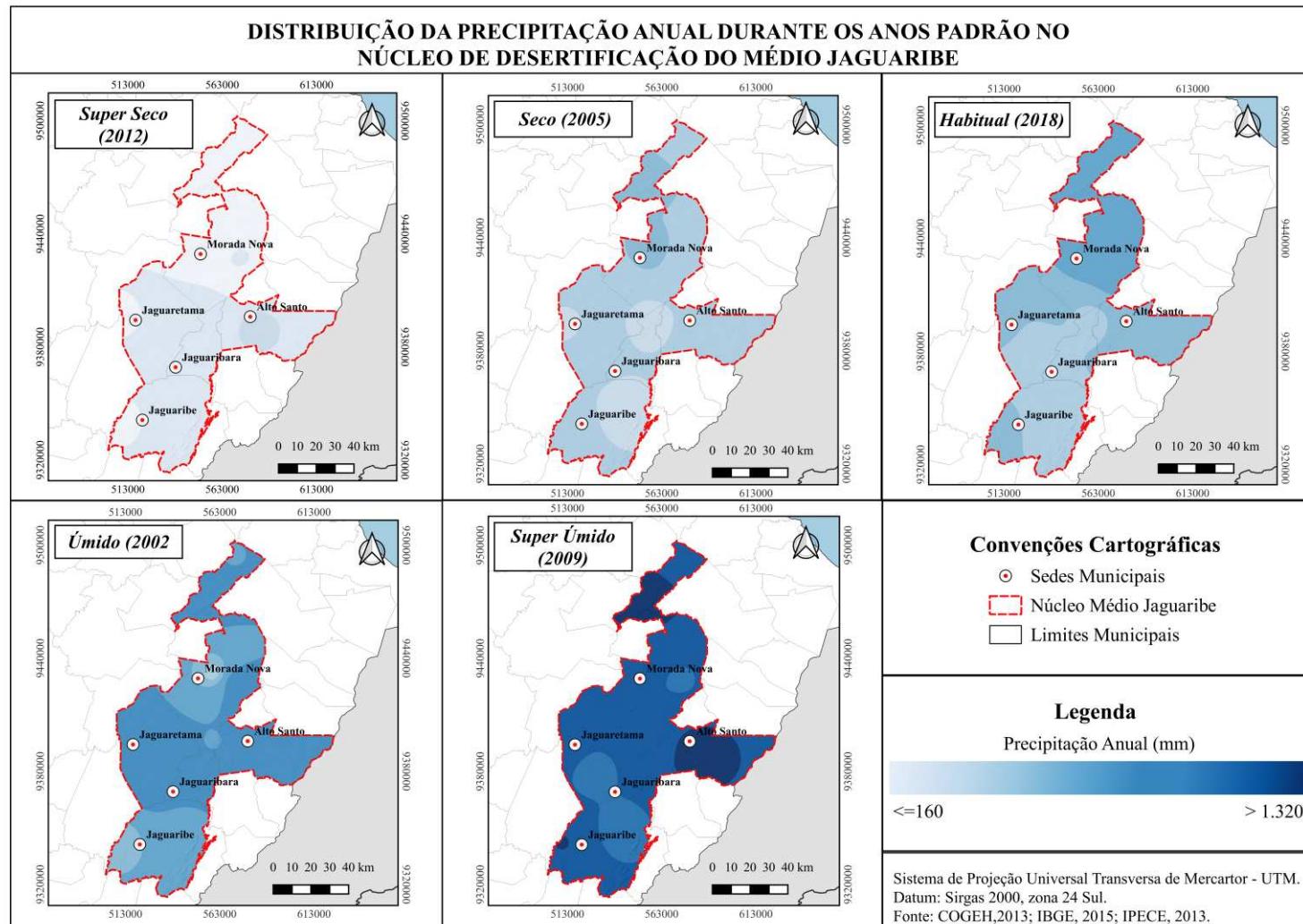
Este quadro, atesta a fragilidade e vulnerabilidade do Núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe, que em decorrência da escassez hídrica e da irregularidade pluviométrica, não permite que o solo seja capaz de armazenar volumes adequados de água no solo, gerando prejuízos ao desenvolvimento socioeconômico do núcleo.

Em 2005 (seco), o núcleo registrou, quase em sua totalidade, ausência de excedentes hídricos. As exceções foram o oeste de Morada Nova e o centro de Alto Santo. Corroborando com o grave cenário de vulnerabilidade socioambiental e econômica associados à intensificação do processo de desertificação.

Em 2018 (Habitual), foram registrados pequenos excedentes hídricos por todo o núcleo. Os maiores volumes de excedente estavam localizados no centro-norte de Morada Nova, e nos municípios de Jaguaretama, Jaguaribara e Alto Santo. O menor excedente foi registrado no município de Jaguaribe.

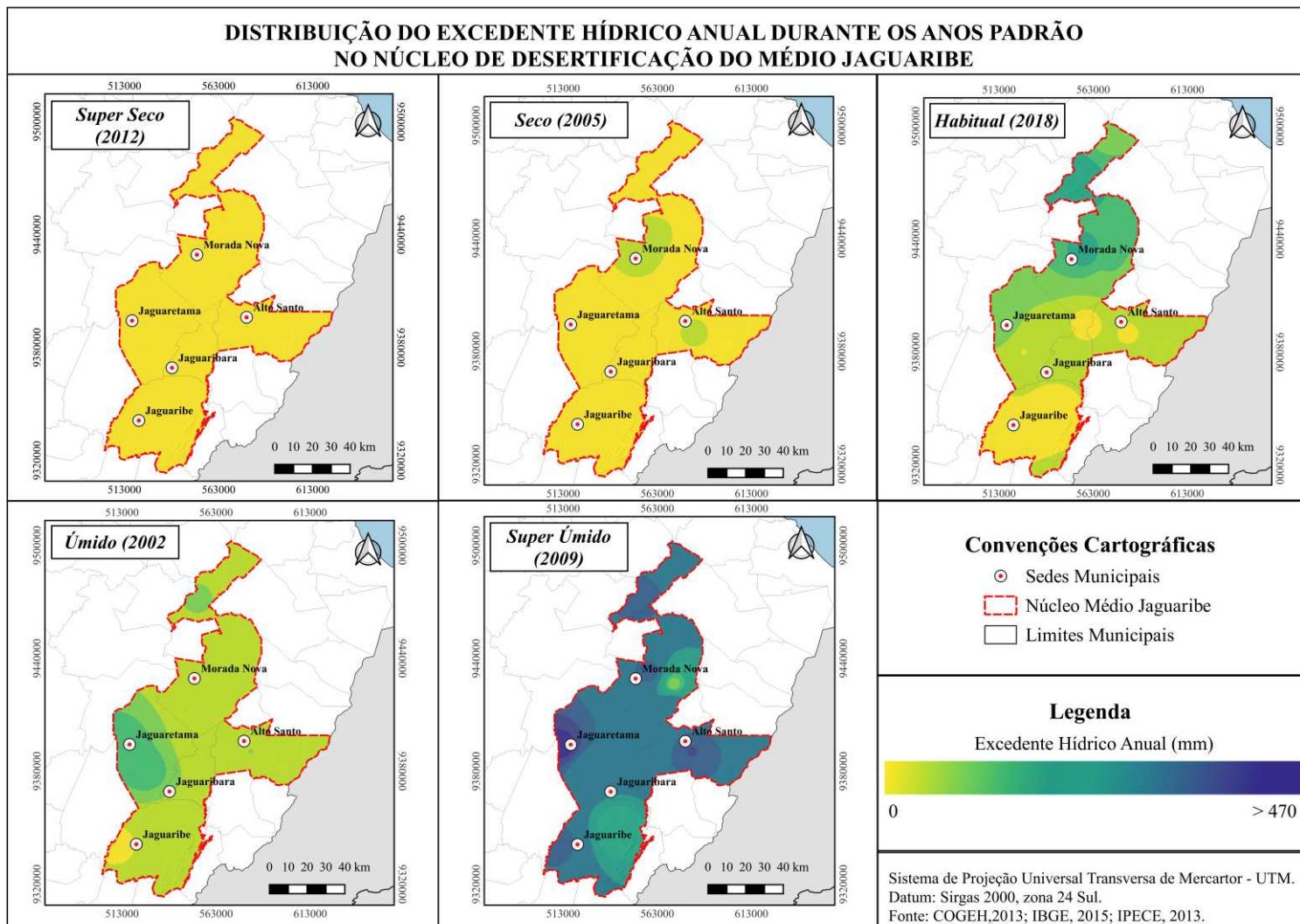
Em 2002 (Úmido), os excedentes se dispuseram de maneira mais uniforme, com maiores volumes de excedente registrados no centro-oeste de Jaguaretama e norte de Morada Nova. O menor volume estava localizado no oeste de Jaguaribe.

Mapa 14 – Distribuição da Precipitação durante os Anos-Padrão



Fonte: Elabora pelo Autor, 2025

Mapa 15 – Distribuição do Excedente Hídrico durante os Anos-Padrão



Fonte: Elabora pelo Autor, 2025

Em 2009 (Super Úmido), os excedentes, de maneira geral, alcançaram volumes próximos aos 470 milímetros, destacando-se o oeste de Jaguaretama, centro-sul de Alto Santo e norte de Morada Nova. As porções leste de Morada Nova e Jaguaribe registraram os menores excedentes hídricos.

Nota-se que apenas em 2009, no ano super úmido, houve significativa elevação dos excedentes hídricos no núcleo. Entretanto, esta recarga hídrica foi insuficiente para proporcionar um aumento significativo na produtividade de milho e feijão da região. Isto atesta a grave crise hídrica que o núcleo enfrenta rotineiramente. Os anos super úmidos são exceções na dinâmica climática do núcleo, e mesmo quando ocorrem, não causam um grande aumento da produtividade agrícola.

Os maiores volumes de excedente, assim como os de precipitação, estavam concentrados nas porções de maiores altitudes do núcleo, que são: leste de Alto Santo (Chapada do Apodi); oeste de Jaguaretama (Cristas residuais e Inselbergs); norte de Morada Nova (Cristas residuais e Inselbergs); oeste de Jaguaribe (Cristas residuais e Inselbergs).

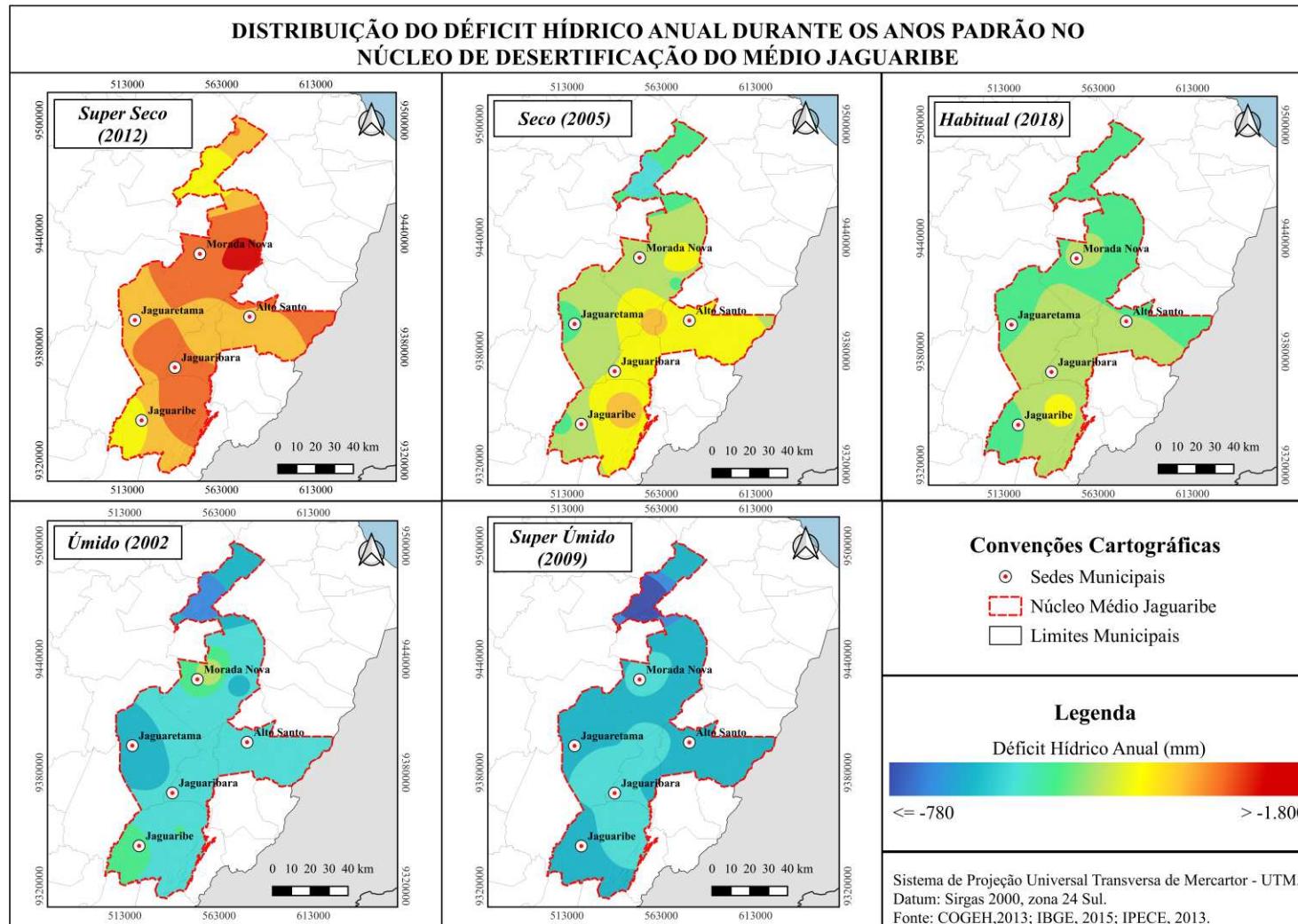
5.9 Déficit Hídrico (Anos-Padrão)

O déficit hídrico permaneceu elevado durante todos os anos-padrão, tendo maior destaque nos anos super seco, seco e habitual, não havendo nenhum ano em que seu valor não fosse expressivo (Mapa 16). O déficit hídrico, assim como a precipitação e o excedente hídrico, evidenciam a grave crise hídrica existente no núcleo, demonstrando o quanto imperativos são os projetos de irrigação, transposição de recursos hídricos e de gestão e uso eficiente da água. Projetos de uso sustentável da vegetação e do solo também são essenciais para a regulamentação do equilíbrio hídrico da região.

O Déficit hídrico anual apresentou elevadas variações durante os anos-padrão (Mapa 13). Os excedentes oscilaram entre -780 e -1800 milímetros durante estes anos.

Em 2012 (Super Seco), houve o maior déficit hídrico do Núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe. O déficit hídrico foi mais intenso em Morada Nova, centro-sul de Jaguaretama e Jaguaribara, e norte de Jaguaribe. As menores deficiências hídricas foram identificadas no norte de Morada Nova e sul de Jaguaribe. Neste ano, as deficiências hídricas foram elevadas em todos os municípios do núcleo, acentuando o quadro de escassez hídrica.

Mapa 16 – Distribuição do Déficit Hídrico durante os Anos-Padrão



Fonte: Elabora pelo Autor, 2025

Em 2005 (seco), houve uma significativa redução do déficit hídrico no núcleo. Os maiores volumes de déficit hídrico foram registrados em Alto Santo e Jaguaribara, além do leste de Jaguaretama e Jaguaribe. As menores deficiências hídricas foram registradas no norte de Morada Nova e oeste de Jaguaretama e Jaguaribe.

Em 2018 (Habitual), houve uma pequena redução do déficit hídrico do núcleo. Os maiores volumes de déficit estavam localizados em Mora Nova, nordeste de Alto Santo e oeste de Jaguaretama e Jaguaribe. O menor déficit foi registrado em Jaguaribara e no centro-sul de Jaguaretama e Alto Santo.

Em 2002 (Úmido), os déficits, novamente, sofreram uma pequena redução e, além disso, se dispuseram de maneira mais uniforme, com maiores volumes de déficit registrados no centro de Morada Nova e sudoeste de Jaguaribe. O menor volume estava localizado no oeste de Jaguaretama.

Em 2009 (Super Úmido), houve o registro dos menores déficits hídricos do núcleo. Os maiores volumes de déficit hídrico foram registrados no centro de Morada Nova, leste de Jaguaretama e nordeste de Jaguaribe. O menor volume de déficit foi registrado no norte de Morada Nova.

Os déficits hídricos se concentraram majoritariamente nas porções do núcleo que possuíam precipitações reduzidas, pequenas altitudes, elevadas evapotranspiração e temperaturas.

Apesar da redução gradativa do déficit hídrico anual durante os anos-padrão, os volumes de deficiência hídrica permanecem elevados durante todos estes anos, impactandoativamente no avanço da desertificação no núcleo.

5.10 Balanço Hídrico Climatológico nos Anos-Padrão

5.10.1 Ano Super Seco (2012)

A análise da variação interanual do balanço hídrico climatológico é essencial para a compreensão de como este processo transforma o núcleo durante os anos-padrão, e como estas transformações afetam o seu desenvolvimento. Na (Prancha 1) têm-se os gráficos da evolução do Balanço Hídrico climatológico no ano super seco (Precipitação, Excedente e Déficit) dos municípios do Núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe.

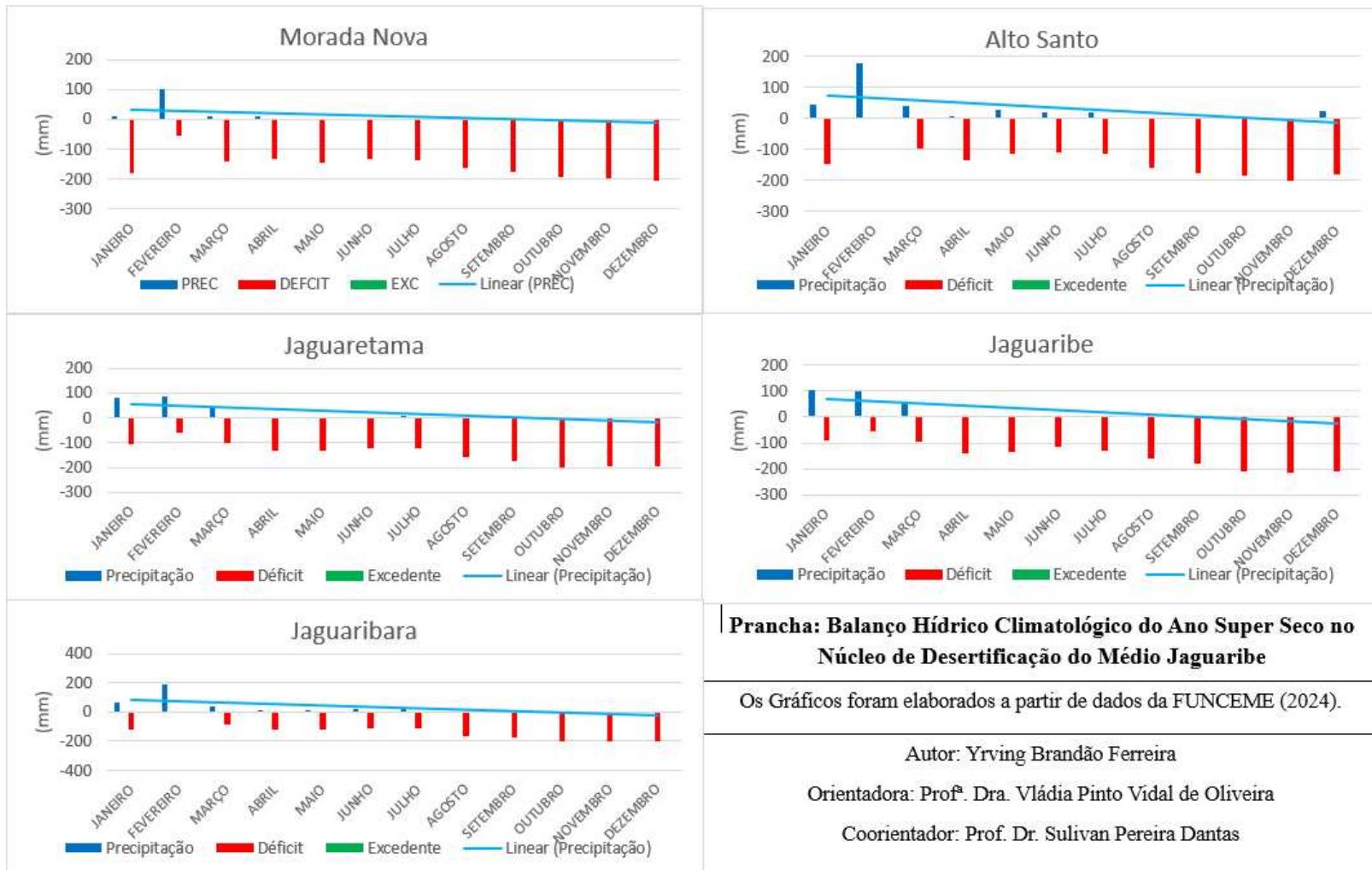
O balanço hídrico climatológico interanual demonstra a variabilidade habitual do clima no núcleo, podemos citar; a variação no volume pluviométrico, do excedente e, déficit hídrico, como componentes desta variação habitual do clima. As variações pontuais no clima, apesar de serem episódicas, ocasionam grande prejuízo a sociedade e ao meio ambiente. A estiagem é uma destas transformações que causa maior impacto no núcleo, podendo durar de alguns meses a vários anos. O excesso pluviométrico prolongado também pode gerar consequências catastróficas a sociedade, como; deslizamentos de terra, alagamentos e, desmoronamento (Ferreira, 2021).

Em 2012, ano super seco, as precipitações foram bastante reduzidas em todo o núcleo, concentrando-se predominantemente na pré-estação chuvosa e quadra chuvosa. Alto Santo foi o município que registrou a maior precipitação total anual, 357 milímetros. Morada Nova registrou a menor precipitação total anual, 143 milímetros. Neste ano, o volume máximo de precipitação total anual estava bem próximo do volume mínimo de precipitação total anual, demonstrando a grave escassez hídrica sofrida pelo núcleo, bem como a elevada irregularidade espaço-temporal das precipitações.

Em 2012, o déficit hídrico foi elevado em todos os municípios do núcleo, não havendo mês em que não houve déficit hídrico na região. Este déficit ocorreu com maior intensidade no período seco do núcleo. Morada Nova registrou o maior volume de déficit hídrico anual do núcleo, -1848 milímetros, em paralelo, Jaguariaba registrou o menor volume de déficit hídrico anual do núcleo, -1621 milímetros. Assim como na precipitação, os volumes máximos e mínimos de déficit hídrico anual no núcleo estavam bem próximos, ilustrando a elevada deficiência hídrica a qual o solo do núcleo foi submetido durante este ano. Esta deficiência acentuada limita consideravelmente a produtividade agrícola, o desenvolvimento da pecuária, reduzindo a segurança alimentar e hídrica da população da região.

Em 2012, não houve excedente hídrico mensal e anual em nenhum dos municípios do Núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe. Precipitações insuficientes, elevado déficit hídrico anual e a inexistência de excedente hídrico são condicionantes para acirramento do quadro de vulnerabilidade socioambiental do núcleo, bem como, intensificação do seu processo de desertificação.

Prancha 1 – Balanço Hídrico Climatológico do Ano Super Seco no Núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe



Fonte: Elaborado Pelo Autor, 2025

5.10.2 Ano Seco (2005)

Na (Prancha 2) têm-se os gráficos da evolução do Balanço Hídrico climatológico no ano seco (Precipitação, Excedente e Déficit) dos municípios do Núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe.

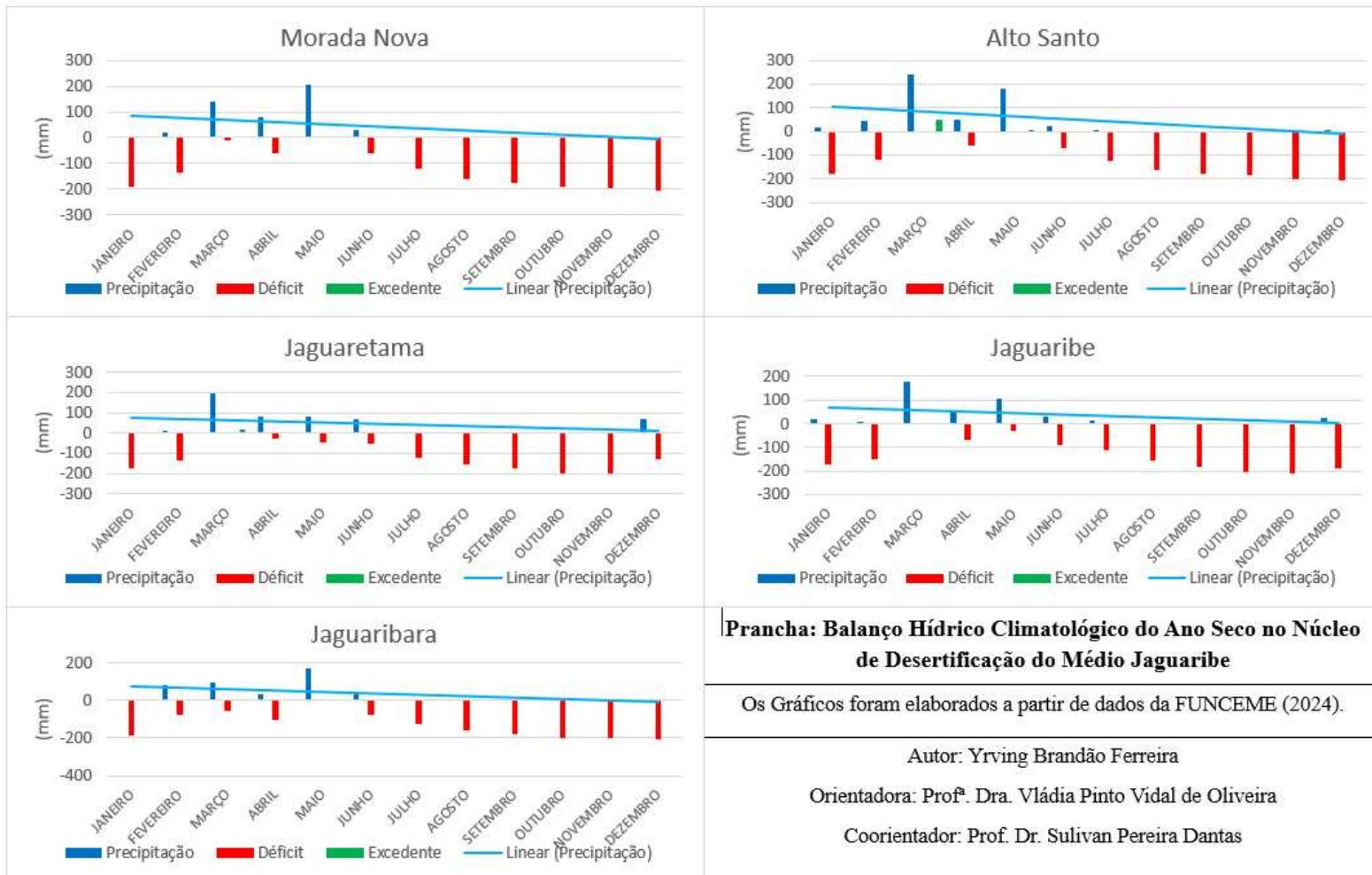
Em 2005, ano seco, as precipitações no núcleo receberam um pequeno incremento em comparação ao ano de 2012, concentrando-se predominantemente na pré-estação chuvosa e quadra chuvosa. Alto Santo foi o município que registrou a maior precipitação total anual, 561 milímetros. Jaguaribara registrou a menor precipitação total anual, 397 milímetros. Neste ano, houve acréscimo no volume de precipitação em todos os municípios do núcleo.

Em 2005, houve redução do déficit hídrico anual em todos os municípios do núcleo. Este déficit ocorreu com maior intensidade no período seco do núcleo. Jaguaribara registrou o maior volume de déficit hídrico anual do núcleo, -1577 milímetros. Em paralelo, Jaguaretama registrou o menor volume de déficit hídrico anual do núcleo, -1409 milímetros.

Em 2005, houve excedente hídrico anual apenas em Alto Santo e Jaguaretama. Este excedente concentrou-se predominantemente na quadra chuvosa. Alto Santo foi o município que registrou o maior excedente hídrico anual, 54 milímetros. Em seguida, Jaguaretama registrou o segundo maior excedente hídrico anual, 16 milímetros.

Neste ano, houve incremento das precipitações e uma pequena diminuição do déficit hídrico anual. Este cenário está longe de ser o adequado para a satisfação das necessidades hídricas do núcleo, estando muito aquém das condições climáticas ideais para a agropecuária e o desenvolvimento socioambiental. O pequeno excedente hídrico, registrado em apenas dois municípios, corrobora com esse quadro de vulnerabilidade.

Prancha 2 – Balanço Hídrico Climatológico do Ano Seco no Núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe



Fonte: Elaborado Pelo Autor, 2025

5.10.3 Ano Habitual (2018)

Na (Prancha 3) têm-se os gráficos da evolução do Balanço Hídrico climatológico no ano habitual (Precipitação, Excedente e Déficit) dos municípios do Núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe.

Em 2018, ano habitual, as precipitações no núcleo registraram volumes superiores aos anos de 2005 e 2012, concentrando-se predominantemente na pré-estação chuvosa e quadra chuvosa. Morada Nova foi o município que registrou a maior precipitação total anual, 829 milímetros. Jaguaretama registrou a menor precipitação total anual, 503 milímetros. Neste ano, houve acréscimo no volume de precipitação em todos os municípios do núcleo.

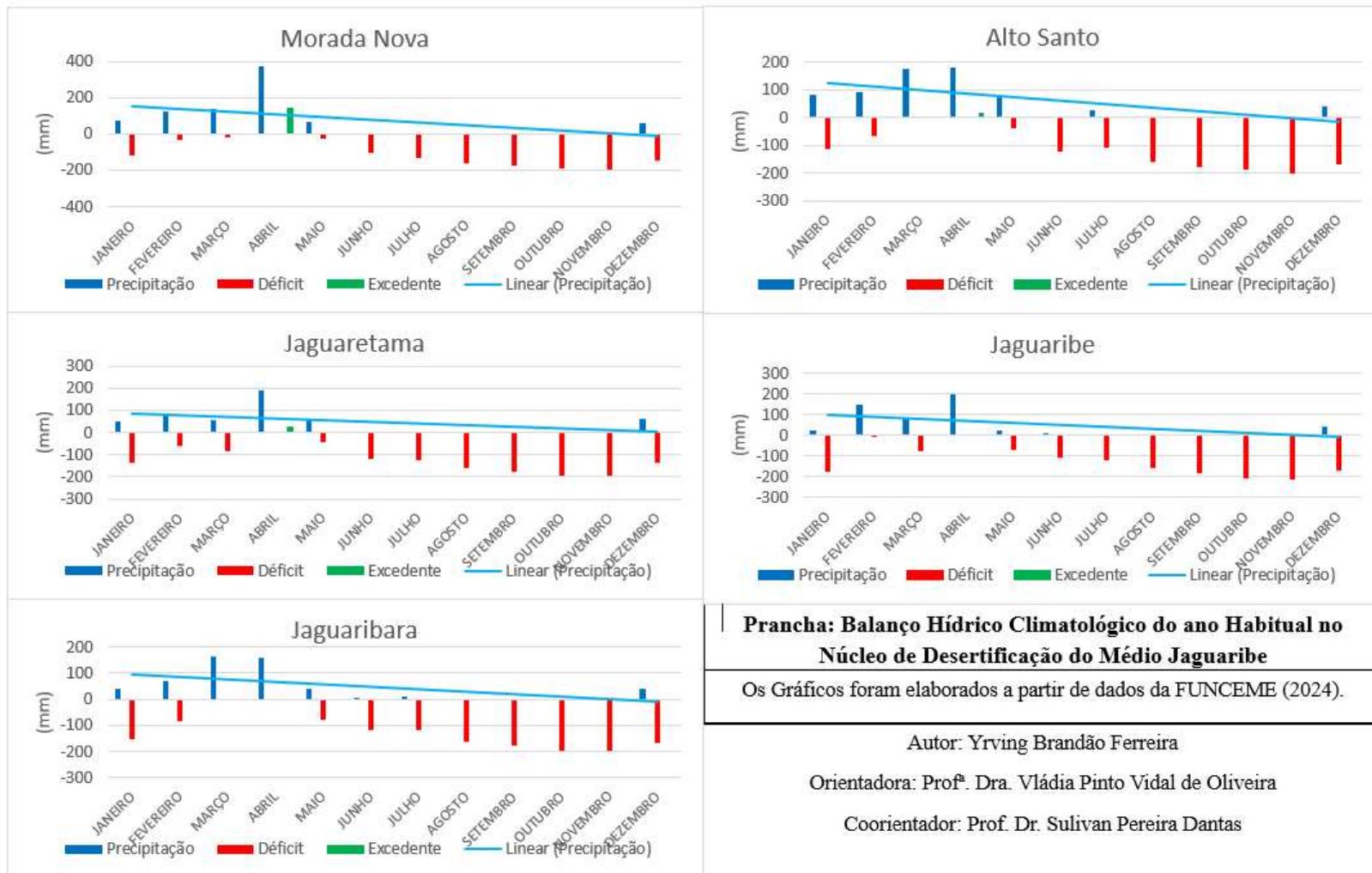
Em 2018, houve redução do déficit hídrico anual em Alto Santo, Jaguaribara, Jaguaribe e Morada Nova. Este déficit ocorreu com maior intensidade no período seco do núcleo. Jaguaribe registrou o maior volume de déficit hídrico anual do núcleo, -1478 milímetros. Em paralelo, Morada Nova registrou o menor volume de déficit hídrico anual do núcleo, -1299 milímetros.

Os volumes do déficit hídrico anual do ano habitual e do ano seco estavam bem próximos, apresentando uma ligeira diferença entre ambos, demonstrando que apesar da redução do déficit hídrico anual no ano habitual, o déficit hídrico ainda permanece elevado e sofrendo apenas pequenas variações.

Em 2018, não houve excedente hídrico anual apenas em Jaguaribara. Este excedente concentrou-se predominantemente na quadra chuvosa. Morada Nova foi o município que registrou o maior excedente hídrico anual, 145 milímetros. Em contrapartida, Jaguaribe registrou o menor excedente hídrico anual, 4 milímetros.

O aumento do excedente hídrico neste ano foi ocasionado pelo aumento do volume de precipitações no núcleo, entretanto, os volumes de excedente hídrico anual continuam insuficientes para compensar as deficiências hídricas severas vivenciadas no período seco.

Prancha 3 – Balanço Hídrico Climatológico do Ano Habitual no Núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe



Fonte: Elaborado Pelo Autor, 2025

5.10.4 Ano Úmido (2002)

Na (Prancha 4) têm-se os gráficos da evolução do Balanço Hídrico climatológico no ano úmido (Precipitação, Excedente e Déficit) dos municípios do Núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe.

Em 2002, ano úmido, as precipitações no núcleo registraram volumes superiores aos anos de 2005, 2012 e 2018, concentrando-se predominantemente na pré-estação chuvosa e quadra chuvosa. Jaguaretama foi o município que registrou a maior precipitação total anual, 1030 milímetros. Jaguaribe registrou a menor precipitação total anual, 819 milímetros. Neste ano, houve acréscimo no volume de precipitação em todos os municípios do núcleo.

Em 2002, houve redução do déficit hídrico anual em todos os municípios do núcleo. Este déficit ocorreu com maior intensidade no período seco do núcleo. Jaguaribe registrou o maior volume de déficit hídrico anual do núcleo, -1231 milímetros. Em paralelo, Morada Nova registrou o menor volume de déficit hídrico anual do núcleo, -1087 milímetros.

A precipitação total anual recebeu um grande incremento durante este ano, elevando os volumes de precipitações em todos os municípios, ocasionando, em paralelo, a redução do déficit hídrico total anual em todo o núcleo. Jaguaretama, neste ano, registrou o dobro do volume de precipitação do ano habitual.

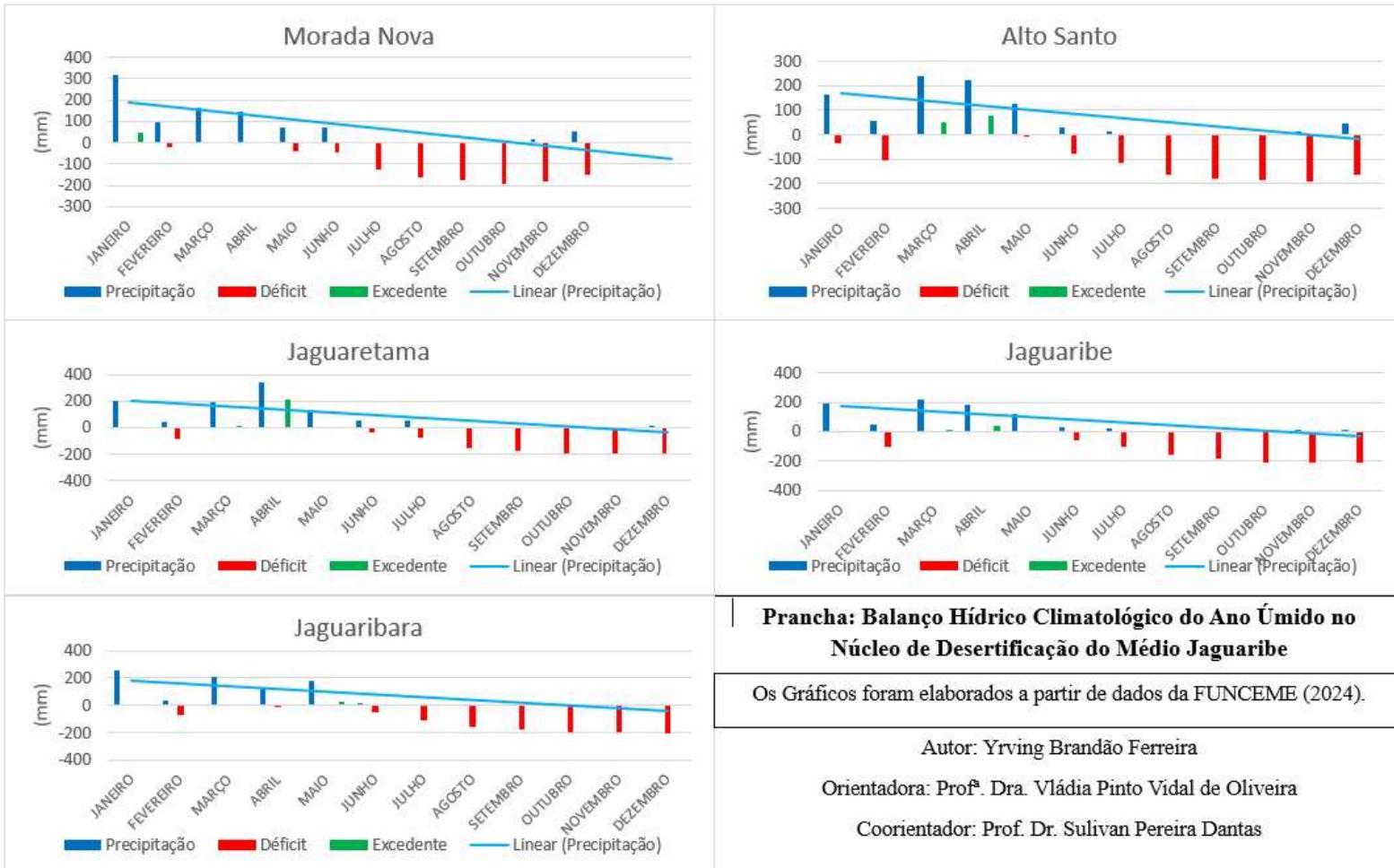
Em 2002, houve excedente hídrico anual em todos os municípios do núcleo. Este excedente concentrou-se predominantemente na quadra chuvosa. Jaguaretama foi o município que registrou o maior excedente hídrico anual, 229 milímetros. Em contrapartida, Jaguaribara registrou o menor excedente hídrico anual, 28 milímetros.

O aumento do excedente hídrico, novamente, esteve longe de ser suficiente para compensar as deficiências hídricas severas experienciadas no período seco do núcleo.

5.10.5 Ano Super Úmido (2009)

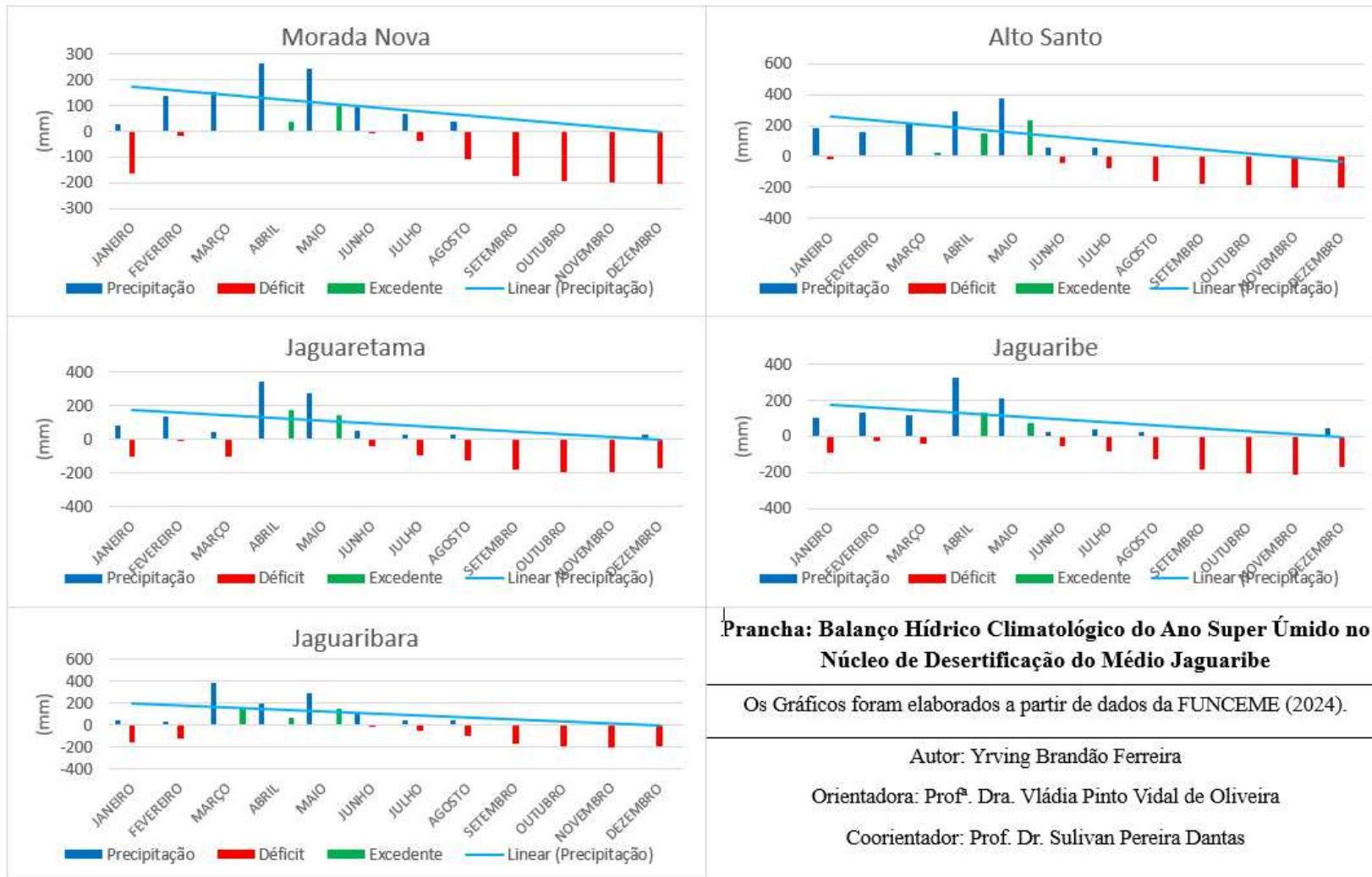
Na (Prancha 5) têm-se os gráficos da evolução do Balanço Hídrico climatológico no ano super úmido (Precipitação, Excedente e Déficit) dos municípios do Núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe.

Prancha 4 – Balanço Hídrico Climatológico do Ano Úmido no Núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe



Fonte: Elaborado Pelo Autor, 2025

Prancha 5 – Balanço Hídrico Climatológico do Ano Super Úmido no Núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe



Fonte: Elaborado Pelo Autor, 2025

Em 2009, ano super úmido, as precipitações no núcleo registraram volumes superiores aos anos de 2005, 2012, 2018 e 2002, concentrando-se predominantemente na pré-estação chuvosa e quadra chuvosa. Alto Santo foi o município que registrou a maior precipitação total anual, 1351 milímetros. Morada Nova registrou a menor precipitação total anual, 1019 milímetros. Neste ano, houve acréscimo no volume de precipitação em todos os municípios do núcleo.

Durante este ano, os volumes de precipitação total anual foram superiores a 1000 milímetros em todos os municípios.

Em 2009, houve redução do déficit hídrico anual apenas em Alto Santo e Jaguaribe, nos demais municípios houve um leve acréscimo. Este déficit ocorreu com maior intensidade no período seco do núcleo. Jaguaretama registrou o maior volume de déficit hídrico anual do núcleo, -1208 milímetros. Em paralelo, Alto Santo registrou o menor volume de déficit hídrico anual do núcleo, -1050 milímetros.

Os volumes máximos e mínimos de déficit hídrico total anual continuam bastante elevados no ano super úmido, havendo pouca diferença entre ambos. Nota-se que nem as precipitações em excesso do ano super úmido, são suficientes para reduzir as elevadas deficiências hídricas do núcleo, corroborando com a grande vulnerabilidade hídrica enfrentada pela região.

Em 2009, houve excedente hídrico anual em todos os municípios do núcleo. Este excedente concentrou-se predominantemente na quadra chuvosa. Alto Santo foi o município que registrou o maior excedente hídrico anual, 409 milímetros. Em contrapartida, Morada Nova registrou o menor excedente hídrico anual, 138 milímetros.

Neste ano, os volumes máximos e mínimos de excedente hídrico anual receberam um grande aporte, sendo este quadro fundamental para o equilíbrio hídrico do núcleo.

5.11 Indicador de Veranicos

Os Veranicos, também conhecidos como seca verde, são caracterizados como a ocorrência de secas durante a estação chuvosa. Os veranicos impactam ativamente na produção agrícola, afetando seus estágios fenológicos de floração e de formação da produção, causando a eliminação ou redução parcial da safra.

O estudo dos veranicos é essencial para o planejamento agropecuário, pois auxilia no uso e gestão eficiente das águas, além de subsidiar projetos de irrigação em regiões semiáridas.

Os veranicos foram definidos como três ou mais dias consecutivos com precipitação diária igual, ou inferior a 2 mm (Menezes, 2008). A partir disto, foram selecionados os tamanhos dos veranicos, em razão da quantidade de dias consecutivos, estabelecendo veranicos de 3 a 5, 6 a 10, 11 a 15, 16 a 20 e acima de 20 dias. Com esses intervalos escolhidos, os eventos de veranicos foram divididos em graus de veranicos (ROCHA et al., 2020). O Grau 1 compreende o intervalo de 3 a 5 dias; Grau 2, 6 a 10 dias; Grau 3, 11 a 15 dias; Grau 4, 16 a 20 dias; Grau 5, acima de 20 dias.

A intensidade dos veranicos varia de acordo com seus respectivos graus, quanto menor for o grau, menos intenso será o veranico, e quanto maior for o grau, mais intenso será o veranico.

A distribuição dos graus de veranicos no núcleo sofre transformações durante os anos padrão (super seco, seco, habitual, úmido e super úmido).

5.12 Lavoura Temporária

A Lavoura temporária (Prancha 6), também conhecida como lavoura anual ou sazonal, refere-se ao cultivo de culturas com um ciclo de vida relativamente curto, geralmente inferior a um ano. Após a colheita, essas culturas necessitam ser replantadas, pois não continuam a produzir naturalmente. O milho, feijão, arroz, batata, cebola e algodão são as principais culturas da lavoura temporária.

As lavouras temporárias são significativamente influenciadas pelos elementos climáticos locais, podemos citar a precipitação, o índice de veranicos e o déficit hídrico como fatores determinantes para a produtividade das lavouras temporárias.

Em morada nova, a produção de milho e feijão oscilou de acordo com as variações do índice de veranicos. Entre os anos de 2002 a 2009, o índice de veranicos esteve reduzido e estabilizado, como consequência disto, a produtividade do milho e feijão se manteve elevada.

Notou-se que no ano de 2012, houve um pico de veranicos, em seguida, durante 2013 e 2014, houve uma grande redução do índice de veranicos e, por fim, entre 2015 a 2017 notou-se uma nova elevação do índice de veranicos no município. O período de 2012 a 2017, é reconhecido como a última grande seca do semiárido cearense, neste período a produtividade do milho e feijão foi a menor durante a série histórica analisada.

Em 2010, registrou-se um pico de elevação do índice de veranicos e, em contrapartida, uma acentuada redução da produtividade do milho e feijão no município. No

ano de 2011 houve uma grande elevação na produção de milho e feijão, este fato decorre da regularidade espaço-temporal das precipitações durante este ano no município. Entre 2018 a 2022, novamente, o índice de veranicos esteve reduzido e estabilizado. Como consequência disto, a produtividade do milho e feijão se manteve elevada.

Nos demais municípios do Núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe, registrou-se o mesmo panorama de Morada Nova, com a elevação do índice de veranicos, contribuindo para a redução da produtividade do milho e feijão, e com a redução do índice ocasionando o aumento da produtividade destas culturas. As culturas do milho e feijão apresentaram o mesmo comportamento durante 2010 e 2011 e nos períodos de 2002 a 2009, 2012 a 2017 e 2018 a 2022 em todos os municípios do núcleo.

5.12.1 Perdas de Safra da Lavoura Temporária no Ano Super Seco

Para melhor compreender o impacto da ação dos veranicos durante os anos-padrão na produção do milho e feijão no Núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe, foi utilizada a metodologia de cálculo de perdas de rendimento de safra.

Na (Tabela 20), estão distribuídos os índices de veranicos e perdas de safra do milho e feijão no ano super seco do núcleo.

Tabela 20 – Distribuição dos Índices de Veranicos e Perdas de Safra no Ano Super Seco no Núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe

LATITUDE	LONGITUDE	MUNICÍPIOS	IV	PS/M	PS/F
-5,18944	-38,353055	MORADA NOVA	1,50		93%
-5,512861	-38,26538	ALTO SANTO	1,50	95%	88%
-5,608583	-38,763972	JAGUARETAMA	1,60	94%	94%
-5,886138	-38,620694	JAGUARIBE	1,50	93%	76%
-5,4621	-38,46294	JAGUARIBARA	1,30	95%	87%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2025

No ano super seco (2012), os indicadores de veranicos estiveram elevados em todos os municípios do núcleo. O indicador mais elevado (1,60) foi registrado em Jaguaretama, enquanto que, o indicador menos elevado (1,30) foi registrado em Jaguaribara.

O valor da perda de safra do milho em Morada Nova não pôde ser disponibilizado por conta da ausência de dados.

Evidencia-se que indicador de veranicos possui um grande impacto sobre as perdas de safra do milho e feijão no núcleo, entretanto, outros fatores podem influenciar

nestas perdas, podemos citar: secas, excesso de chuvas, altas temperaturas, pragas e manejo inadequado das lavouras.

As perdas de safra no ano super seco foram elevadas em Jaguaribe, Jaguaretama, Jaguariaba e Alto Santo. O milho foi a cultura que obteve as maiores perdas de safra neste ano, com perdas variando entre 93% a 95%. Estas perdas estão próximas da integridade da produção do milho durante este ano, representando severas perdas econômicas e graves prejuízos à segurança alimentar do núcleo.

O feijão também foi severamente impactado com perdas de safra no ano super seco no núcleo. O município mais afetado foi Jaguaretama (94%), e o menos afetado foi Jaguaribe (76%). As perdas de safra do feijão são ligeiramente inferiores às perdas de safra do milho, entretanto, continuam sendo graves perdas para o núcleo, afetando intensamente a economia da região.

5.12.2 Perdas de Safra da Lavoura Temporária no Ano Seco

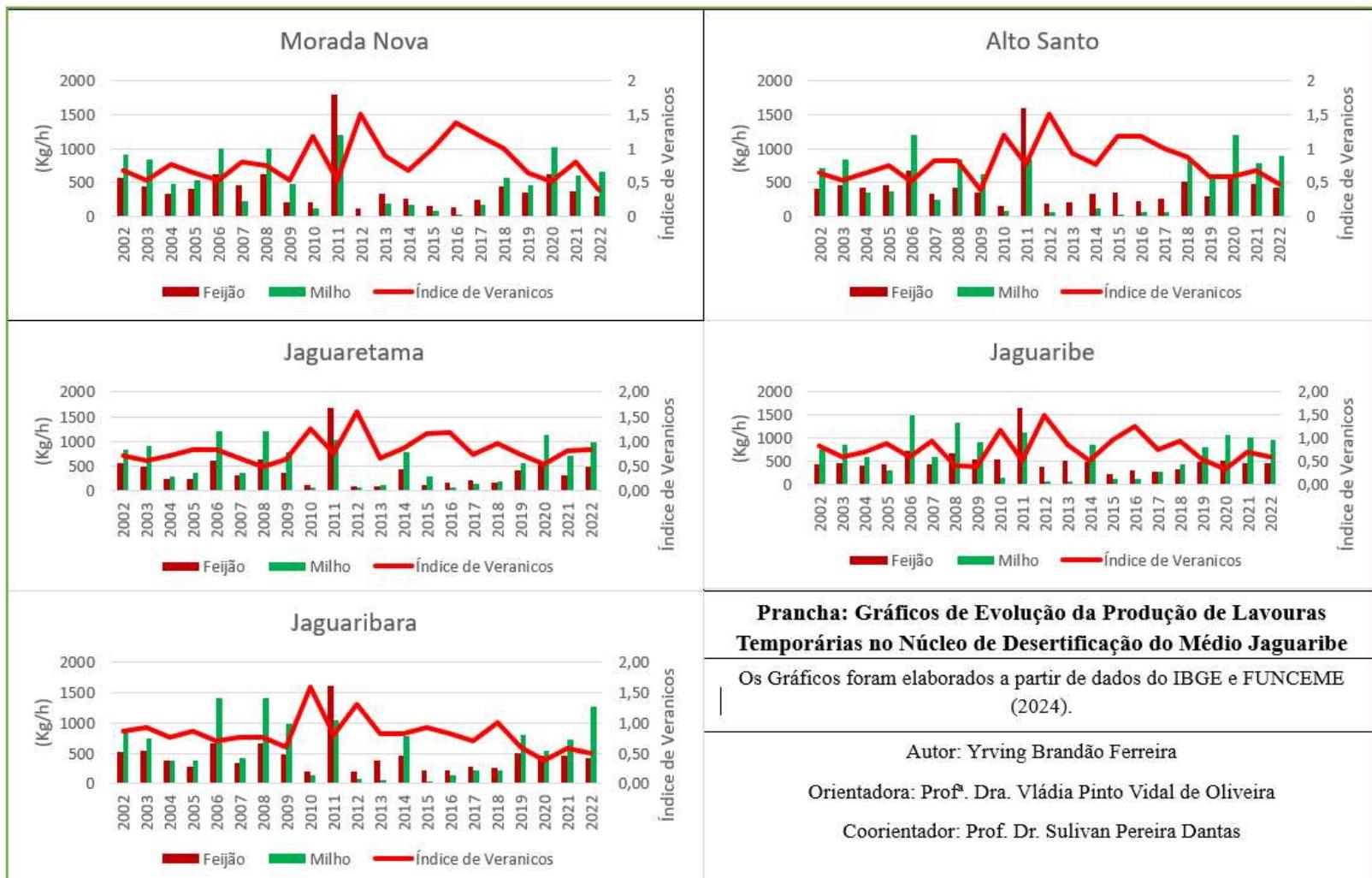
As perdas de safra no ano seco (2005), continuaram elevadas (tabela 21), entretanto, com perdas inferiores ao ano super seco. Os indicadores de veranicos sofreram uma significativa redução em comparação com o ano super seco, apresentando todos os valores abaixo de um neste ano no núcleo.

O indicador mais elevado (0,90) foi registrado em Jaguaribe, enquanto que, o indicador menos elevado (0,64) foi registrado em Morada Nova. Neste ano, o feijão foi a cultura que sofreu as maiores perdas de safra. O município mais afetado foi Jaguaretama (84%), e o menos afetado foi Alto Santo (71%).

As perdas de safra de feijão entre os anos super seco e seco variaram da seguinte maneira: Jaguaribe obteve uma redução de 3%; Morada Nova sofreu uma redução de 16%; Jaguaretama registrou uma redução de 10%; Jaguariaba demonstrou uma redução de 5%; Alto Santo exibiu uma redução de 17%.

As perdas de safra do milho entre os anos super seco e seco variaram da seguinte maneira: Jaguaribe obteve uma redução de 22%; Jaguaretama registrou uma redução de 26%; Jaguariaba demonstrou uma redução de 22%; Alto Santo exibiu uma redução de 26%.

Prancha 6 – Distribuição da Lavoura Temporária no Núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe



Fonte: Elaborado Pelo Autor, 2025

Tabela 21 – Distribuição dos Índices de Veranicos e Perdas de Safra no Ano Seco no Núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe

LATITUDE	LONGITUDE	MUNICÍPIOS	IV	PS/M	PS/F
-5,18944	-38,353055	MORADA NOVA	0,64	55%	77%
-5,512861	-38,26538	ALTO SANTO	0,74	69%	71%
-5,608583	-38,763972	JAGUARETAMA	0,83	68%	84%
-5,886138	-38,620694	JAGUARIBE	0,90	71%	73%
-5,4621	-38,46294	JAGUARIBARA	0,87	73%	82%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2025

5.12.3 Perdas de Safra da Lavoura Temporária no Ano Habitual

No ano habitual (2018), as perdas de safra passaram por grandes transformações (Tabela 22), havendo municípios que registraram aumento ou redução das perdas de safra em comparação com o ano seco. Os indicadores de veranicos, neste ano, sofreram elevação em todos os municípios do núcleo.

O indicador mais elevado (1) foi registrado em Morada Nova e Jaguaribara, enquanto que, o indicador menos elevado (0,87) foi registrado em Alto Santo. Neste ano, o feijão foi a cultura que sofreu as maiores perdas de safra. O município mais afetado foi Jaguaretama (90%), e o menos afetado foi Alto Santo (67%).

Tabela 22 – Distribuição dos Índices de Veranicos e Perdas de Safra no Ano Habitual no Núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe

LATITUDE	LONGITUDE	MUNICÍPIOS	IV	PS/M	PS/F
-5,18944	-38,353055	MORADA NOVA	1,0	52%	75%
-5,512861	-38,26538	ALTO SANTO	0,87	30%	67%
-5,608583	-38,763972	JAGUARETAMA	0,96	82%	90%
-5,886138	-38,620694	JAGUARIBE	0,93	59%	79%
-5,4621	-38,46294	JAGUARIBARA	1,0	83%	83%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2025

As perdas de safra de feijão entre os anos seco e habitual variaram da seguinte maneira: Jaguaribe obteve uma elevação de 6%; Morada Nova sofreu uma redução de 2%; Jaguaretama registrou um acréscimo de 6%; Jaguaribara demonstrou um acréscimo de 1%; Alto Santo exibiu uma redução de 4%.

As perdas de safra do milho entre os anos super seco e habitual variaram da seguinte maneira: Jaguaribe obteve uma redução de 12%; Morada Nova sofreu uma redução

de 3%; Jaguaretama registrou um acréscimo de 12%; Jaguaribara demonstrou um acréscimo de 10%; Alto Santo exibiu um acréscimo de 1%.

Fica evidente, que os veranicos possuem maior impacto nas perdas de safra do que o volume das precipitações, pois no ano habitual, o volume das precipitações se intensificou, e por conta da intensidade elevada dos veranicos, as perdas de safra não reduziram, pelo contrário, aumentaram em diversos municípios.

5.12.4 Perdas de Safra da Lavoura Temporária no Ano Úmido

No ano úmido (2002), as perdas de safra sofreram uma significativa redução, (Tabela 23), principalmente, em razão da diminuição dos indicadores de veranicos. Os indicadores de veranicos, neste ano, sofreram redução em todos os municípios do núcleo. Alto Santo foi o único município que registrou elevação nas perdas de safra durante este ano.

Tabela 23 – Distribuição dos Índices de Veranicos e Perdas de Safra no ano Úmido no Núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe

LATITUDE	LONGITUDE	MUNICÍPIOS	IV	PS/M	PS/F
-5,18944	-38,353055	MORADA NOVA	0,67	23%	68%
-5,512861	-38,26538	ALTO SANTO	0,64	40%	74%
-5,608583	-38,763972	JAGUARETAMA	0,70	26%	66%
-5,886138	-38,620694	JAGUARIBE	0,83	31%	73%
-5,4621	-38,46294	JAGUARIBARA	0,87	36%	68%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2025

O indicador mais elevado (0,87) foi registrado em Jaguaribara, enquanto que, o indicador menos elevado (0,64) foi registrado em Alto Santo. Neste ano, o feijão foi a cultura que sofreu as maiores perdas de safra. O município mais afetado foi Alto Santo (74%), e o menos afetado foi Jaguaretama (66%).

As perdas de safra de feijão entre os anos habitual e úmido variaram da seguinte maneira: Jaguaribe obteve uma redução de 6%; Morada Nova sofreu uma redução de 7%; Jaguaretama registrou uma redução de 24%; Jaguaribara demonstrou uma redução de 15%; Alto Santo exibiu um acréscimo de 7%.

As perdas de safra do milho entre os anos habitual e úmido variaram da seguinte maneira: Jaguaribe obteve uma redução de 28%; Morada Nova sofreu uma redução de 29%; Jaguaretama registrou uma redução de 56%; Jaguaribara demonstrou uma redução de 47%; Alto Santo exibiu um acréscimo de 10%.

5.12.5 Perdas de Safra da Lavoura Temporária no Ano Super Úmido

No ano super úmido (2009), as perdas de safra passaram por grandes transformações (Tabela 24), havendo municípios que registraram aumento ou redução das perdas de safra em comparação com o ano úmido. Os indicadores de veranicos, neste ano, sofreram redução em todos os municípios do núcleo.

Tabela 24 – Distribuição dos Índices de Veranicos e Perdas de Safra no ano Super Úmido no Núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe

LATITUDE	LONGITUDE	MUNICÍPIOS	IV	PS/M	PS/F
-5,18944	-38,353055	MORADA NOVA	0,54	60%	88%
-5,512861	-38,26538	ALTO SANTO	0,38	47%	78%
-5,608583	-38,763972	JAGUARETAMA	0,64	31%	77%
-5,886138	-38,620694	JAGUARIBE	0,38	17%	66%
-5,4621	-38,46294	JAGUARIBARA	0,61	30%	69%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2025

O indicador mais elevado (0,64) foi registrado em Jaguaretama, enquanto que, o indicador menos elevado (0,38) foi registrado em Alto Santo e Jaguaribe. Neste ano, o feijão foi a cultura que sofreu as maiores perdas de safra. O município mais afetado foi Morada Nova (88%), e o menos afetado foi Jaguaribe (66%). O indicador de veranicos foi condicionado pela quantidade de veranicos atuantes no núcleo durante o ano analisado, em contrapartida, as perdas de safra são condicionadas pelas precipitações, excedente e déficit hídrico anuais, em conjunto com o rendimento do ano-padrão e o rendimento máximo da cultura no período analisado.

As perdas de safra de feijão entre os anos úmido e super úmido variaram da seguinte maneira: Jaguaribe obteve uma redução de 7%; Morada Nova sofreu um acréscimo de 20%; Jaguaretama registrou um acréscimo de 11%; Jaguaribara demonstrou um acréscimo de 1%; Alto Santo exibiu um acréscimo de 4%.

As perdas de safra do milho entre os anos úmido e super úmido variaram da seguinte maneira: Jaguaribe obteve uma redução de 14%; Morada Nova sofreu um acréscimo de 37%; Jaguaretama registrou um acréscimo de 5%; Jaguaribara demonstrou uma redução de 6%; Alto Santo exibiu um acréscimo de 7%.

Neste ano, apesar da redução dos indicadores de veranicos e da grande elevação dos volumes pluviométricos, muitos municípios experienciaram o aumento das perdas de

safra, isto se deve, ao excesso de chuvas na região, que devido a sua grande quantidade, comprometeu a produtividade do milho e feijão no núcleo.

5.13 Produção de Lenha e Carvão Vegetal

A utilização dos recursos florestais da caatinga se intensifica ano após ano, com uma grande redução da cobertura vegetal nativa por conta da abertura de novos campos de cultivo e implementação de pastagens. Por outro lado, a demanda elevada de produtos florestais (madeira para a fabricação de carvão, a venda de lenha, a extração de materiais para cercas) demonstra a necessidade de se compreender e desenvolver propostas de uso sustentável, com planos de manejo, da vegetação de caatinga (Mendes, et al., 2011).

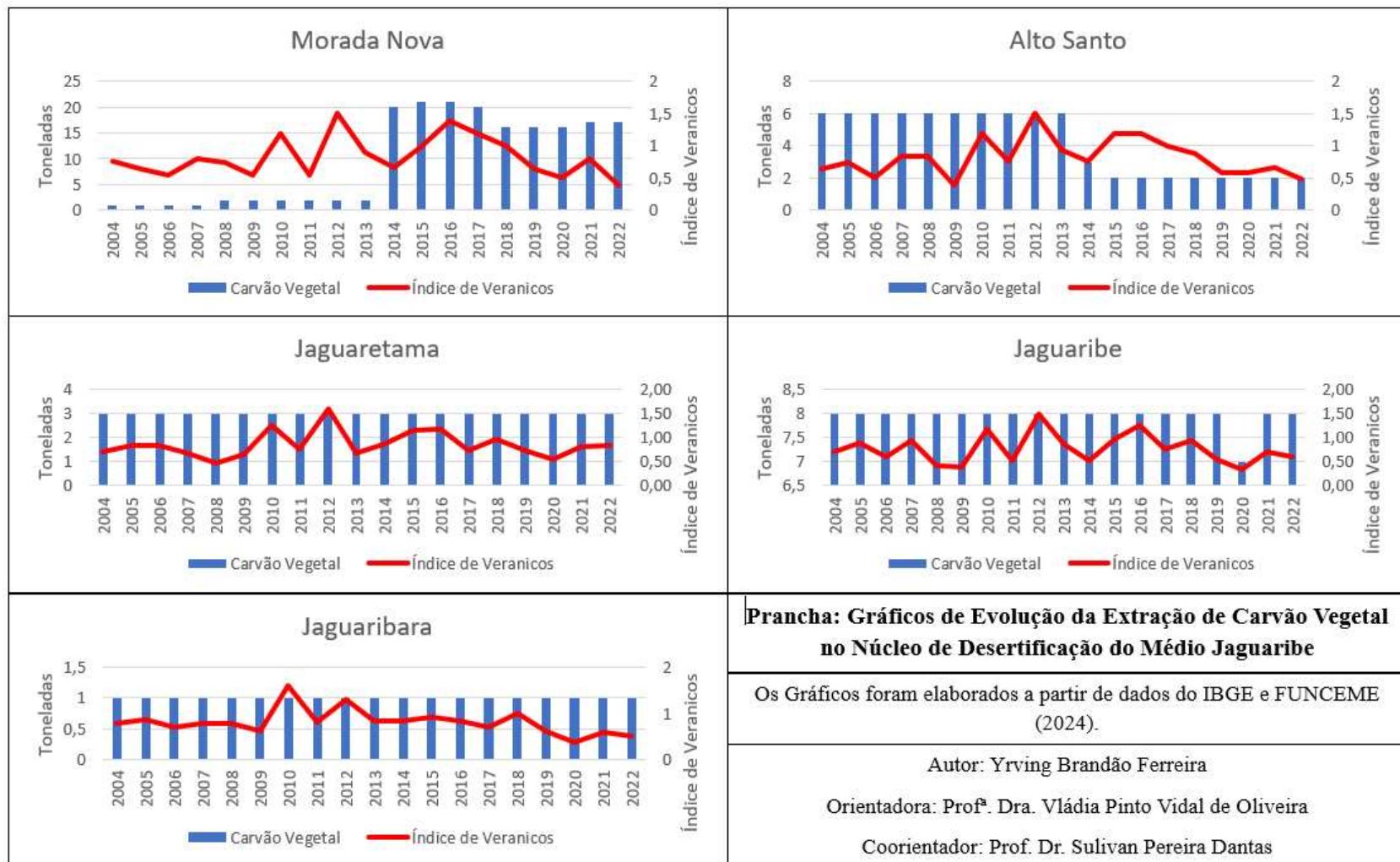
O corte da lenha é destinado principalmente às caieiras, olarias, indústria moveleira, etc. Vale salientar que parte dessa lenha vai para a produção de carvão em fornos trincheiras que possuem baixíssima eficiência, onde cada 100kg de lenha produzem 8kg de carvão. (Araujo, 2010).

A maior parte do carvão vegetal produzido nos núcleos de desertificação do semiárido cearense é feita por meio de processos artesanais em carvoarias precárias e, em muitas vezes, clandestinas. Comumente, essas carvoarias funcionam com madeira extraída de forma ilegal (Moraes, 2015).

Morada Nova foi o município que possuiu a maior produção de carvão vegetal e lenha no período analisado. Em contrapartida, Jaguaribara registrou a menor produção de carvão vegetal e Alto Santo a menor produção de lenha.

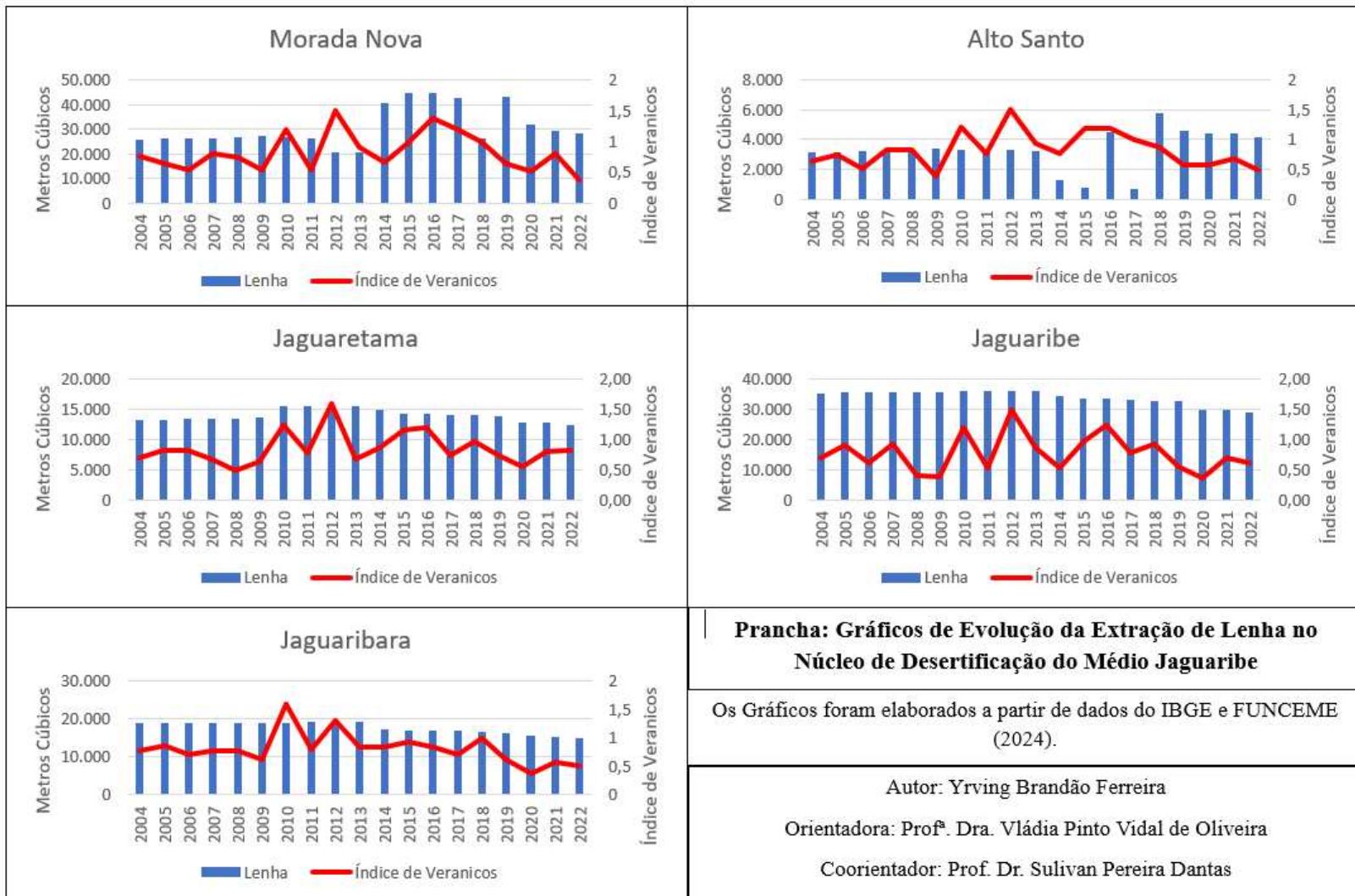
De acordo com a análise das correlações entre a produção de lenha (Prancha 8) e carvão vegetal (Prancha 7) e a variação do indicador de veranicos, fica evidente que não há correlação significativa entre os mesmos, o indicador de veranicos não possui influência expressiva sobre as variações de produtividade de carvão vegetal e lenha. Vale salientar que também não houve correlação significativa entre a produção de carvão vegetal e lenha e as transformações dos anos-padrão.

Prancha 7 – Distribuição da Produção de Carvão Vegetal no Núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2025

Prancha 8 – Distribuição da Produção de Lenha no Núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2025

5.14 Produção de Leite

Dentre as regiões brasileiras, o Nordeste é a que possui as maiores limitações, para a produção leiteira devido, principalmente, à irregularidade de chuvas, que compromete o desenvolvimento de uma atividade moderna e provoca sérios problemas para a indústria local. Por outro lado, alguns estudos demonstram que o clima do semiárido nordestino possui vantagens para o desenvolvimento da bovinocultura de leite (Silva, et al., 2011).

Apesar das limitações climáticas, do baixo nível tecnológico, do baixo padrão genético do rebanho, dentre outros, essa atividade apresenta importante contribuição para geração de renda no Ceará (Silva, et al., 2011).

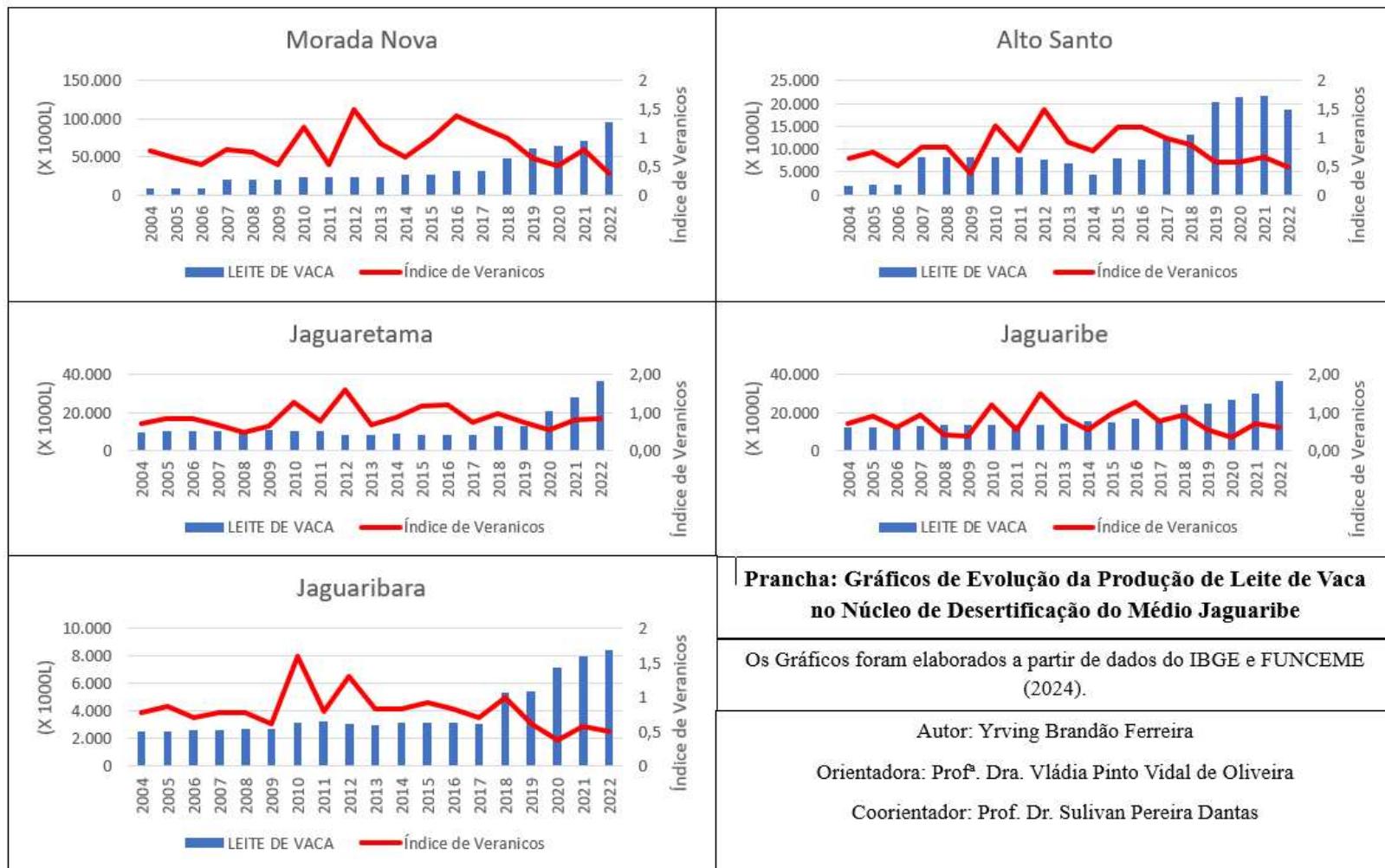
A pecuária leiteira cearense possui grande importância no contexto social. Segundo Brandão (2001), ainda que a atividade se concentre nos estabelecimentos de área de 10 a 500 hectares, que correspondem por volta de 66% do total, as propriedades de menos de 10 hectares contribuem com cerca de 10% da produção.

Conhecido nacionalmente pela produção artesanal de queijos, o município de Morada Nova, no Ceará, também é destaque quando o assunto é produção de leite. De acordo com dados da Pesquisa da Pecuária Municipal divulgada na última semana pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a cidade foi responsável pela produção de 107,6 milhões de litros de leite em 2023 (Coelho, 2023).

O volume coloca Morada Nova como a segunda maior cidade produtora do Nordeste, atrás apenas de Poço Redondo, em Sergipe (109,8 milhões de litros), e a décima primeira no País. (Coelho, 2023). Morada Nova foi o município que possuiu a maior produção de leite no período analisado (Prancha 9). Em contrapartida, Jaguaribara registrou a menor produção de leite do núcleo, sendo este o município, historicamente, o menor produtor de leite da região.

De acordo com a análise das correlações entre a produção de leite e a variação do indicador de veranicos, fica evidente que não há correlação significativa entre ambos, o indicador de veranicos não possui influência expressiva sobre as variações de produtividade de leite no núcleo. Vale salientar que também não houve correlação significativa entre a produção de leite e as transformações dos anos-padrão.

Prancha 9 – Distribuição da Produção de Leite no Núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2025

5.15 Produção de Mel

A apicultura é uma atividade de grande importância, pois apresenta uma alternativa de ocupação e renda para o homem do campo. É uma atividade de fácil manutenção e de baixo custo inicial em relação às demais atividades agropecuárias (Freitas; Khan e Silva, 2004)

Quanto ao fator econômico, além da geração de renda, há a possibilidade de obtenção de bons lucros, e na questão ambiental pelo fato de as abelhas atuarem como polinizadores naturais de espécies nativas e cultivadas, preservando-as e consequentemente contribuindo para o equilíbrio do ecossistema e manutenção da biodiversidade (Paxton, 1995).

Os principais produtos obtidos e comercializados da atividade apícola são o mel, a cera, a própolis, a geleia real e o veneno (apitoxina). O Estado do Ceará aparece nas estatísticas do IBGE como o segundo maior produtor de mel de abelhas da região Nordeste, participando com cerca de 25% da produção, e ainda com grande potencial de crescimento, ficando atrás do Estado do Piauí, que detém quase 50% da produção na região nordestina. (Freitas, Khan e Silva, 2004)

O ciclo de seis anos seguidos de chuvas abaixo da média afetou a produção de mel de abelha no sertão do Ceará, uma importante atividade econômica para a agricultura familiar. A Federação Cearense de Apicultura (Fecap) aponta queda sucessiva entre 2012 e 2017, de 45%. O Estado chegou a produzir seis mil toneladas de mel em 2011, liderando o ranking nacional (Barbosa, 2017).

Morada Nova e Alto Santo registraram a maior produtividade de mel (Prancha 10) no núcleo, em contrapartida, Jaguaribara registrou a menor produção.

No período de 2004 a 2009, o índice de veranicos esteve reduzido e estabilizado, como consequência disto, a produtividade do mel em Morada Nova e Alto Santo ficou elevada. Jaguaretama, Jaguaribe e Jaguaribara registram aumento de produtividade, neste período, apenas em 2009.

Em 2010, houve uma elevação do indicador de veranicos, e por conta disto, a produtividade do mel em Morada Nova, Alto Santo, Jaguaribe e Jaguaribara reduziu drasticamente. Neste ano, a produção de mel em Jaguaretama se manteve estável.

Em 2011, houve redução do indicador de veranicos, e por conta disto, a produtividade do mel aumentou em todos os municípios do núcleo.

Em 2012, houve uma nova elevação do indicador de veranicos, a maior do período analisado. Como consequência disto, a produtividade do mel em todos os municípios do núcleo foi drasticamente reduzida.

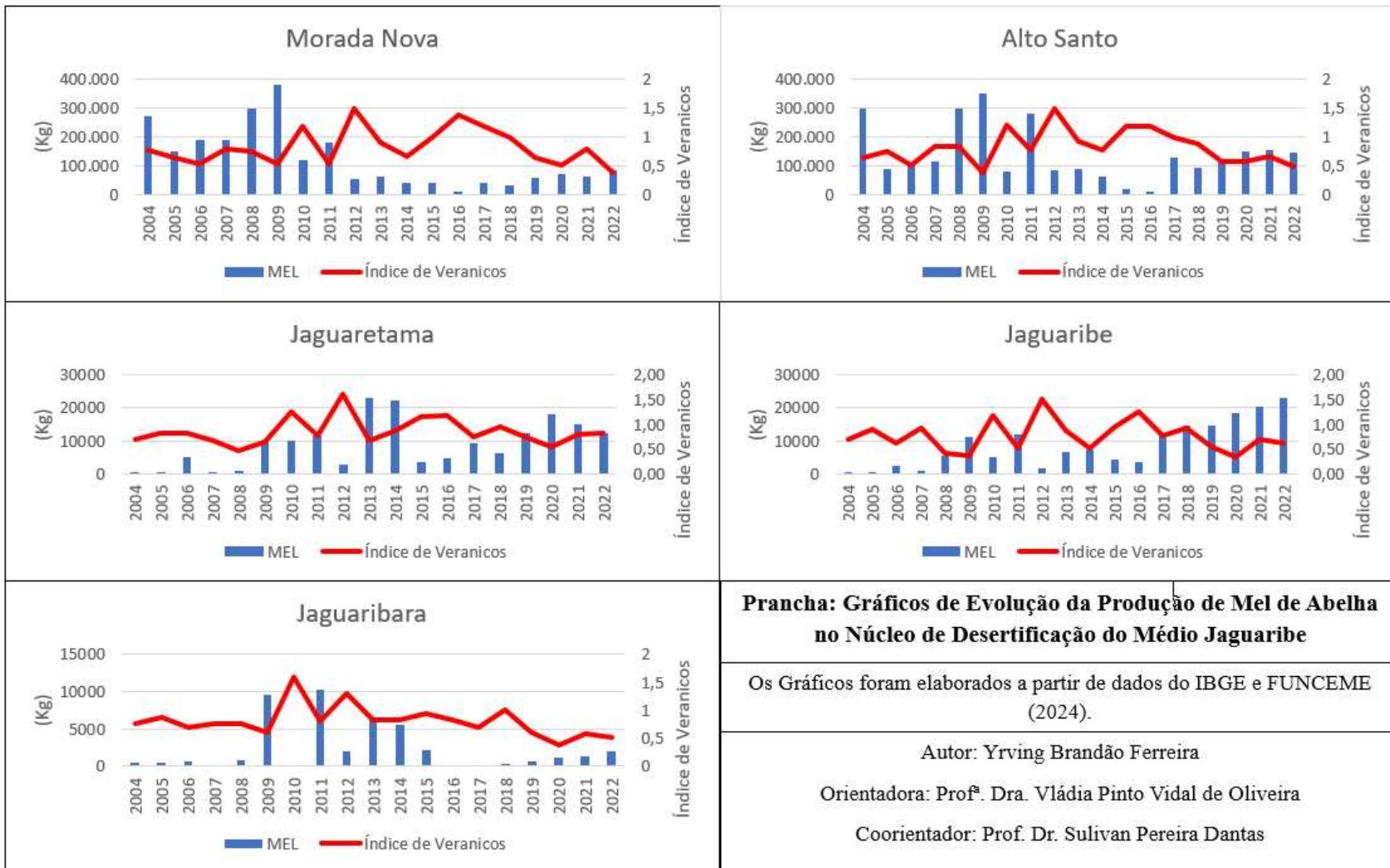
No período de 2012 a 2016, última grande seca do semiárido cearense, o indicador de veranicos se manteve elevado e estabilizado. Em consequência disto, a produtividade do mel em Morada Nova, Alto Santo, Jaguaribe e Jaguaretama reduziu drasticamente. Jaguaribara registrou aumento de produtividade em 2013 e 2014, enquanto que, em 2015 e 2016, houve uma grande redução da produção.

No período de 2018 a 2022, os indicadores de veranicos e a produtividade em Morada Nova e Jaguaribara se mantiveram reduzidos.

Neste período, em Alto Santo, Jaguaretama e Jaguaribe, houve uma elevação da produtividade.

Fica evidente que existe uma correlação entre as oscilações do indicador de veranicos e a produção de mel, entretanto, estas conexões não são tão intensas, íntimas e efetivas quanto as ligações que existem entre as variações do indicador de veranicos e as transformações na produção do milho e feijão.

Prancha 10 – Distribuição da Produção de Mel no Núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2025

5.16 Produção Pecuária

A produção pecuária, assim com a agricultura (lavouras), sofre rotineiramente pela irregularidade pluviométrica. Apesar da mesma não sofrer diretamente os efeitos desta irregularidade, esta é impactada indiretamente, através da ausência de pastagens e disponibilidade hídrica, resultantes de grandes períodos de estiagem. Na (Prancha 11) têm-se os gráficos de evolução da Produção Pecuária dos Municípios da ASD Irauçuba/Centro-Norte (Ferreira, 2021).

Os veranicos impactam a pecuária de diversas maneiras, principalmente na disponibilidade de pastagens e na produção de alimentos. A diminuição da qualidade e quantidade de pasto leva à redução do ganho de peso dos animais, aumento nos custos de produção devido à necessidade de suplementação alimentar, e estresse hídrico.

As secas produzem diversos impactos na pecuária, podemos citar: redução da disponibilidade de pastagens e forragem; perda de peso e diminuição da produtividade; aumento dos custos de produção; Migração de pecuaristas.

O Núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe em razão de sua elevada evapotranspiração e deficiência hídrica, em conjunto com o seu reduzido excedente hídrico, pressiona cada vez mais os pecuaristas locais, os forçando a fazer empréstimos constantes para sustentar o gado, ou, os obrigando a migrar o gado para novas regiões nos grandes períodos de seca.

De acordo com a análise das correlações entre a produção pecuária e a variação do indicador de veranicos, fica evidente que não há correlação significativa entre ambos, o indicador de veranicos não possui influência expressiva sobre as variações de produtividade pecuária no núcleo.

O período de dados da produção pecuária foi de 2004 a 2022 (Prancha 11 e 12), portanto, no ano úmido (2002) não houve dados disponíveis.

Em alto Santo, houve aumento da produtividade de bovinos, ovinos, caprinos e suíños no ano seco (2005). No ano super úmido, houve aumento dos bovinos, caprinos e suíños e redução dos ovinos. No ano super seco (2012), houve redução dos bovinos, ovinos e suíños, com aumento dos caprinos. No ano habitual, houve aumento dos bovinos, caprinos, suíños e ovinos.

Em Jaguaretama, houve aumento da produtividade de bovinos, ovinos, caprinos e suíños no ano seco. No ano super úmido, houve aumento da produtividade de bovinos, ovinos,

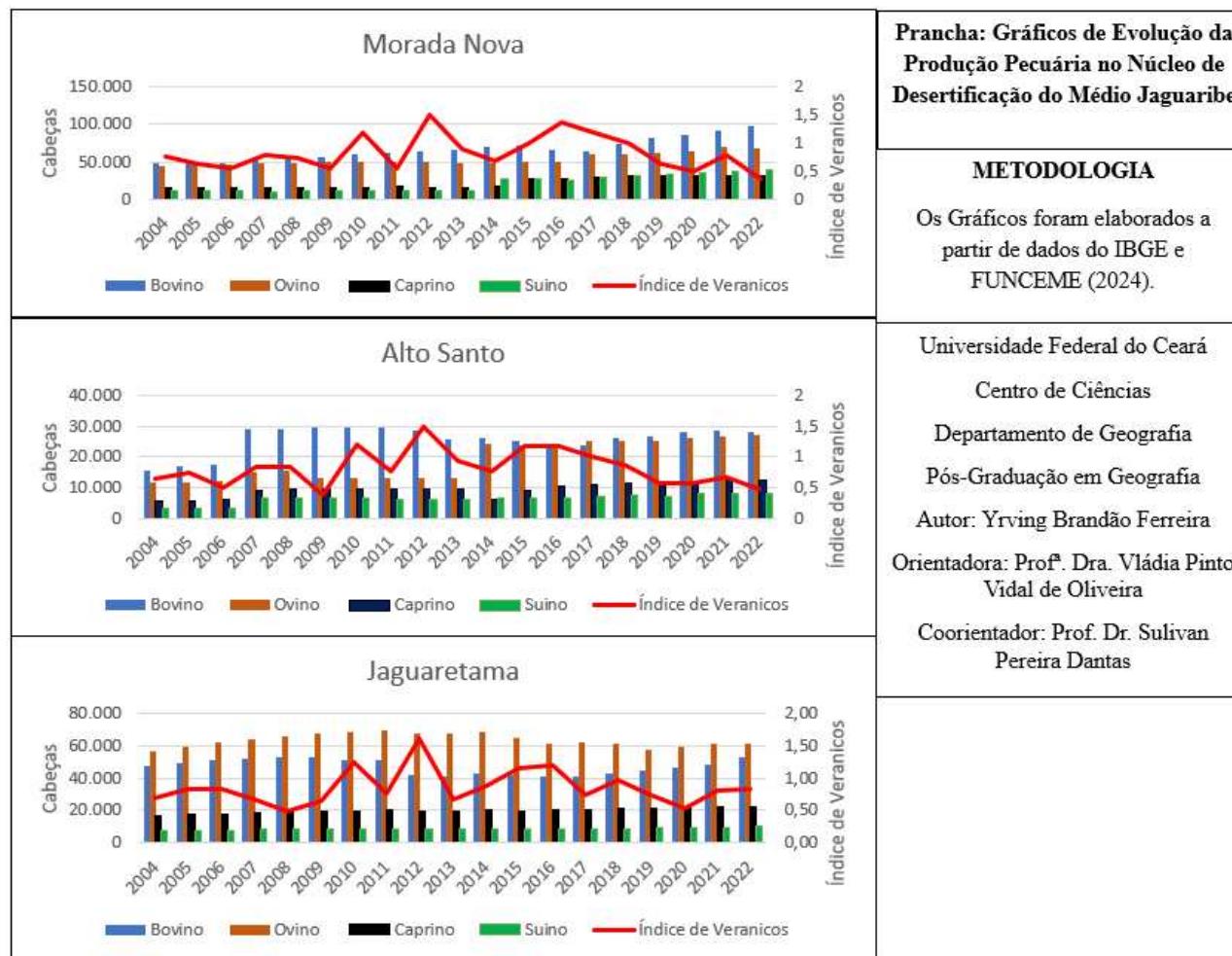
caprinos e suínos. No ano super seco, houve aumento da produtividade de bovinos, ovinos, caprinos e suínos. No ano habitual, houve aumento dos bovinos e caprinos, com redução de ovinos e suínos.

Em Jaguaribara, houve aumento da produtividade de bovinos, ovinos, caprinos e suínos no ano seco, super úmido e habitual. No ano super seco, houve redução da produtividade de bovinos, ovinos, caprinos e suínos.

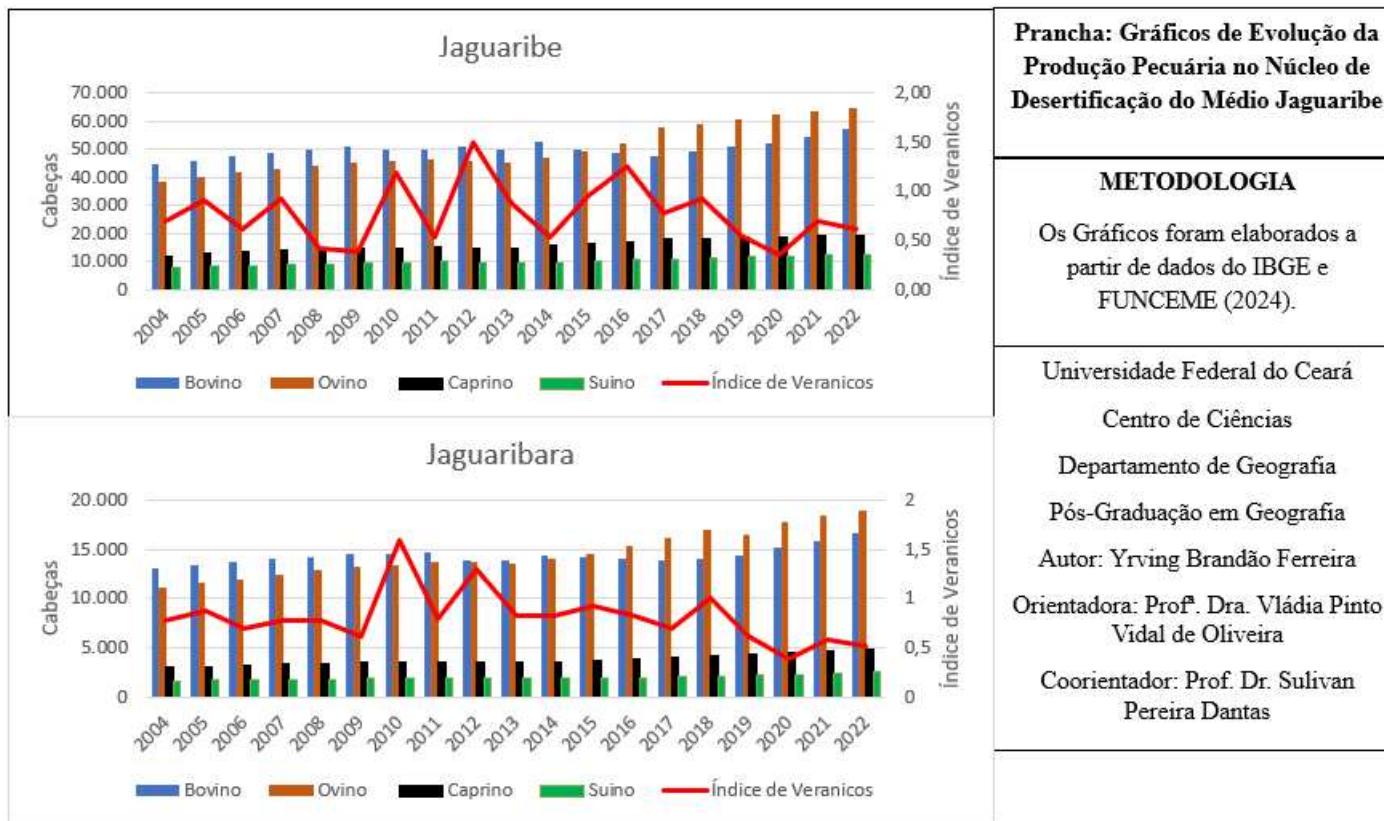
Em Jaguaribe, houve aumento da produtividade de bovinos, ovinos, caprinos e suínos no ano seco, super úmido e habitual. No ano super seco, houve redução dos caprinos, suínos e ovinos, com aumento dos bovinos.

Em Morada Nova, houve aumento da produtividade de bovinos, ovinos, caprinos e suínos no ano seco, super úmido e habitual. No ano super seco, houve redução dos caprinos, suínos e ovinos, com aumento dos bovinos.

Prancha 11 – Distribuição da Produção Pecuária em Morada Nova, Alto Santo e Jaguaretama no Núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe



Prancha 12 – Distribuição da Produção da Pecuária em Jaguaribe e Jaguariabara no Núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe



5.17 Setores Produtivos

As atividades econômicas distribuídas nos setores agropecuário, industrial e dos serviços possuem distintas participações no Produto Interno Bruto (PIB) dos municípios pertencentes ao Núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe. De maneira geral, os municípios do núcleo possuem como principais atividades econômicas o setor agropecuário e dos serviços. Morada Nova apresentou o maior pib do núcleo, enquanto que, Jaguaribara registrou o menor. Na (Prancha 13) têm-se os gráficos da evolução do Produto Interno Bruto (PIB) por Setor (Agropecuária, Indústria em Serviços) dos municípios do Núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe.

Nas correlações entre os Pibs por setores produtivos e o indicador de veranicos e os anos-padrão, não foram utilizados os PIbs do setor terciário e industrial, pois os mesmos não são intimamente influenciados pelas variações climáticas.

Morada Nova possui o setor de serviços mais desenvolvido do núcleo, sendo sua principal atividade econômica. O setor industrial é o segundo mais desenvolvido do núcleo, a agropecuária aparece em seguida na terceira colocação. Durante os anos de pico de elevação do indicador de veranicos, 2007, 2010, 2012 e 2016, houve redução do pib agropecuário somente em 2007. Durante os anos de pico de redução do indicador de veranicos, 2006, 2009, 2011, 2014 e 2020, houve aumento do pib agropecuário em 2006 e 2020, e diminuição em 2009, 2011 e 2014. Durante os anos-padrão, houve redução do pib agropecuário, em 2005 (seco) e 2009 (super úmido), e aumento em 2012 (super seco) e 2018 (habitual).

Alto Santo possui o setor agropecuário como o mais desenvolvido do município, em seguida vem o setor dos serviços e industrial. Durante os anos de pico de elevação do indicador de veranicos, 2007, 2010, 2012 e 2016, houve aumento do pib agropecuário somente em 2007. Durante os anos de pico de redução do indicador de veranicos, 2006, 2009, 2011, 2014 e 2020, houve aumento do pib agropecuário em todos os anos. Durante os anos-padrão, houve redução do pib agropecuário, em 2005 (seco) e 2012 (super seco), e aumento em 2009 (super úmido) e 2018 (habitual).

Jaguaretama possui o setor agropecuário como o mais desenvolvido do município, em seguida vem o setor dos serviços e industrial. Durante os anos de pico de elevação do indicador de veranicos, 2007, 2010, 2012 e 2016, houve aumento do pib agropecuário somente em 2016. Durante os anos de pico de redução do indicador de veranicos, 2006, 2009,

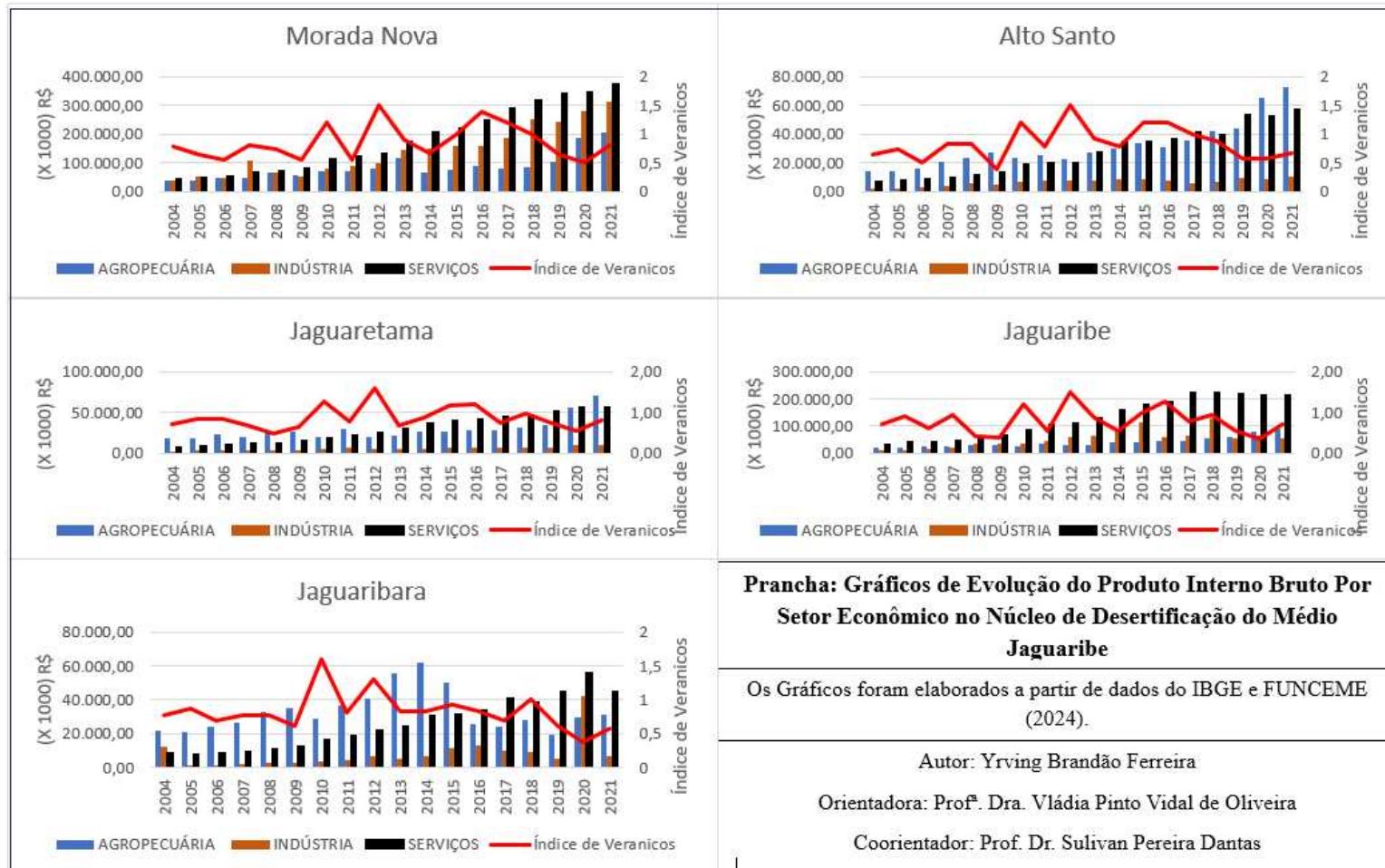
2011, 2014 e 2020, houve redução do pib agropecuário somente em 2006. Durante os anos-padrão, houve redução do pib agropecuário, em 2009 (super úmido) e 2012 (super seco), e aumento em 2005 (seco) e 2018 (habitual).

Jaguaribe possui o setor dos serviços como o mais desenvolvido do município, em seguida, nos últimos anos, vem o setor agropecuário e industrial. Durante os anos de pico de elevação do indicador de veranicos, 2007, 2010, 2012 e 2016, houve aumento do pib agropecuário somente em 2016. Durante os anos de pico de redução do indicador de veranicos, 2006, 2009, 2011, 2014 e 2020, houve aumento do pib agropecuário em todos os anos. Durante os anos-padrão, houve redução do pib agropecuário, em 2005 (seco) e 2012 (super seco), e aumento em 2009 (super úmido) e 2018 (habitual).

Jaguaribara, nos últimos anos, possui o setor dos serviços como o mais desenvolvido do município, em seguida vem o setor agropecuário e industrial. Durante os anos de pico de elevação do indicador de veranicos, 2007, 2010, 2012 e 2016, houve aumento do pib agropecuário somente em 2007 e 2012. Durante os anos de pico de redução do indicador de veranicos, 2006, 2009, 2011, 2014 e 2020, houve aumento do pib agropecuário em todos os anos. Durante os anos-padrão, houve redução do pib agropecuário somente em 2005 (seco).

De acordo com a análise das correlações entre o PIB agropecuário e a variação do indicador de veranicos, fica evidente que não há correlação significativa entre ambos, o indicador de veranicos não possui influência expressiva sobre as variações do PIB agropecuário no núcleo. Vale salientar que também não houve correlação significativa entre as variações do PIB agropecuário e as transformações dos anos-padrão.

Prancha 13 – Distribuição da Evolução do Produto interno Bruto por Setor (Agropecuária, Indústria e Serviços) no Núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2025

5.18 Correlações Estatísticas

A estatística é fundamental para trabalhos acadêmicos, pois fornece ferramentas para coletar, analisar e interpretar dados de forma rigorosa e confiável, auxiliando na validação de hipóteses e na construção do conhecimento científico. Sem a estatística, muitas áreas do conhecimento teriam dificuldades em validar suas descobertas de maneira precisa e robusta.

5.18.1 Análise Exploratória e Descritiva

A análise descritiva tem um papel fundamental na compreensão inicial dos dados, permitindo identificar padrões, tendências e possíveis inconsistências antes da modelagem estatística. Esta etapa possibilita uma avaliação preliminar da distribuição das variáveis, a verificação da existência de outliers e a identificação de possíveis relações entre os dados.

5.18.2 Análise Descritiva das Variáveis Climáticas

Os dados climáticos analisados incluem quatro variáveis quantitativas: precipitação, excedente hídrico, déficit hídrico e índice de veranicos. A seguir, na (Tabela 25), apresenta-se as principais estatísticas descritivas dessas variáveis.

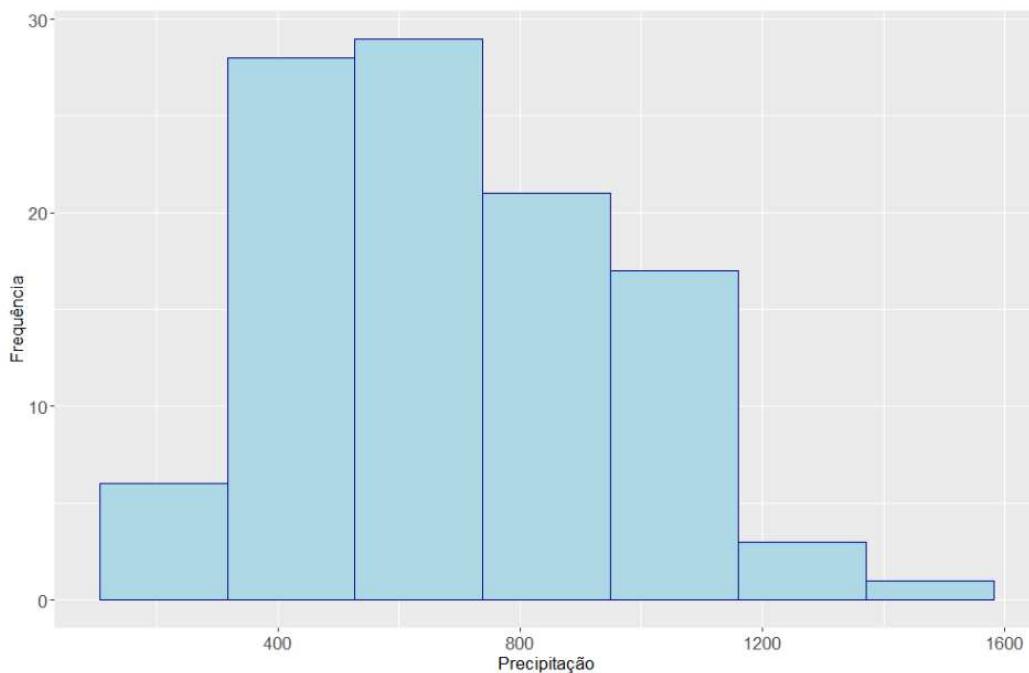
Tabela 25 – Estatísticas descritivas das variáveis climáticas.

Variáveis	n	Média	Desvio padrão	Mediana	Mín	Max	Amplitude	Assimetria	Curtose	IIQ
Precipitação	105	687,44	259,68	653,1	134,3	1.399,7	1.265,4	0,35	-0,45	394,7
Excedente	105	72,93	114,12	10,97	0	539,05	539,05	1,75	2,47	107,18
Deficit	105	1357,7	186,78	-1.363,7	1.848,6	-950,13	898,45	-0,09	-0,54	266,22
Índice de veranicos	105	0,81	0,28	0,77	0,35	1,6	1,25	0,91	0,52	0,32

Fonte: dados da pesquisa

Precipitação: Apresenta uma média de 687,44 mm, com um desvio-padrão de 259,68 mm, indicando uma variabilidade moderada. A mediana (653,1 mm) é próxima da média, sugerindo uma distribuição relativamente simétrica, corroborada pelo coeficiente de assimetria = 0,35. O coeficiente de curtose (-0,45) indica uma distribuição levemente achatada em relação à distribuição normal. No (Gráfico 6) é possível visualizar melhor a distribuição dos dados de precipitação.

Gráfico 6 – Histograma dos dados de precipitação.

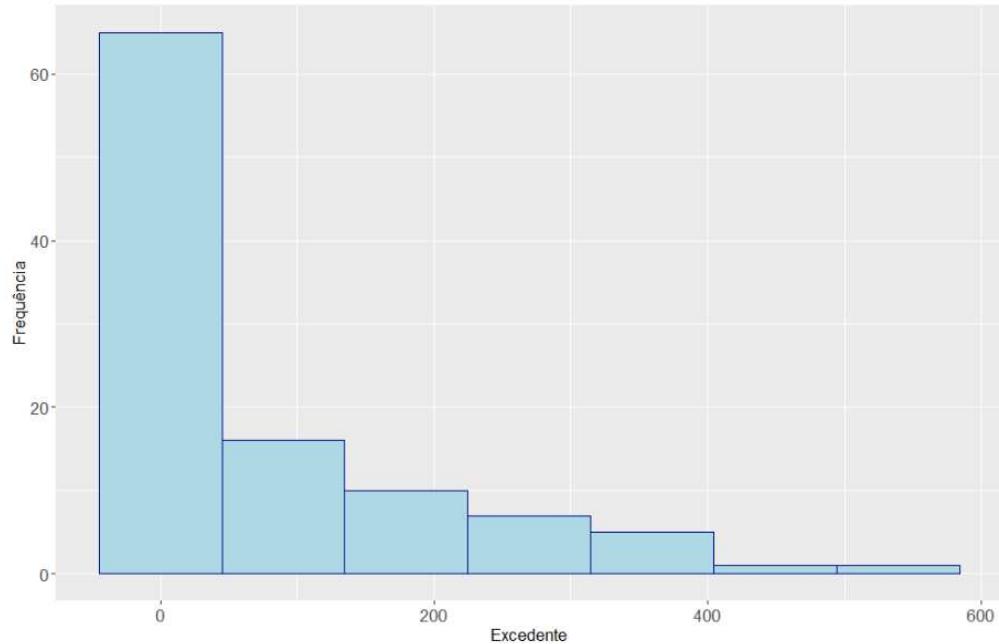


Fonte: dados da pesquisa

Excedente hídrico: Apresenta uma média de 72,93 mm e um desvio-padrão de 114,12 mm, indicando grande variação nos valores. A mediana (10,97 mm) é significativamente menor que a média, sugerindo uma distribuição assimétrica à direita (Assimetria = 1,75), o que é confirmado pela alta curtose (2,47), indicando uma distribuição com caudas mais longas. (Gráfico 7)

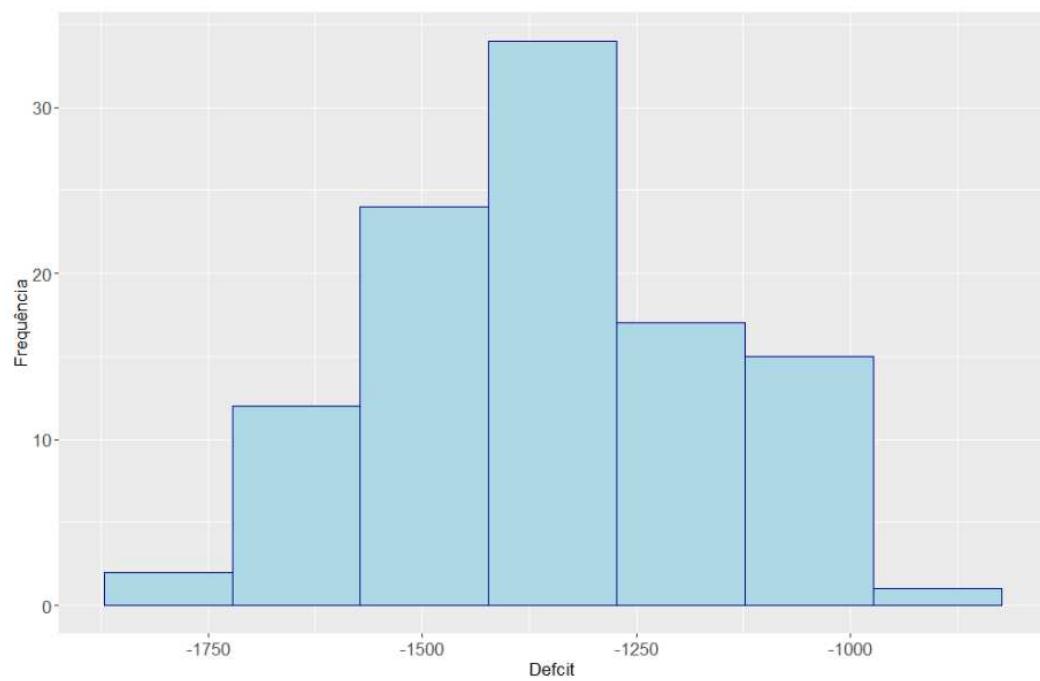
Déficit hídrico: A média é de -1.357,66 mm, com um desvio-padrão de 186,78 mm. A mediana (-1.363,67 mm) é muito próxima da média, sugerindo uma distribuição aproximadamente simétrica (Assimetria = -0,09). O coeficiente de curtose (-0,54) indica uma distribuição levemente achatada. (Gráfico 8)

Gráfico 7 – Histograma dos dados de Excedente



Fonte: dados da pesquisa

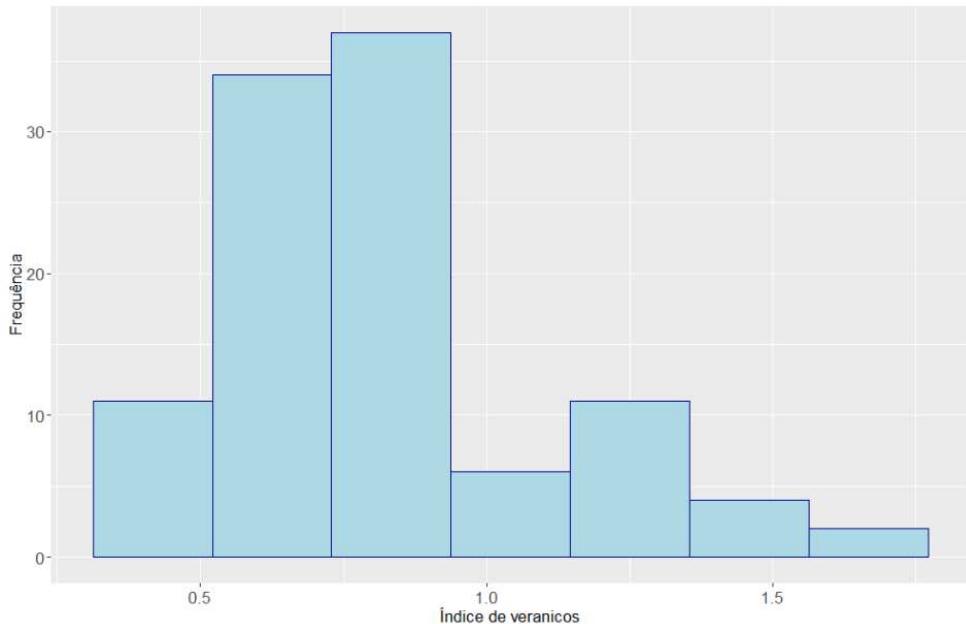
Gráfico 8 – Histograma dos dados de Déficit



Fonte: dados da pesquisa

Índice de veranicos: Com uma média de 0,81 e um desvio-padrão de 0,28, essa variável também apresenta distribuição assimétrica (Assimetria = 0,91). A mediana (0,77) e o intervalo interquartil (IIQ = 0,32) indicam que a maioria dos valores está concentrada em torno da média (Gráfico 9).

Gráfico 9 – Histograma dos dados de Índice de veranicos



Fonte: dados da pesquisa

A distribuição dessas variáveis climáticas fornece uma base importante para interpretação dos impactos sobre a produção agropecuária, o que será explorado nas próximas análises de correlação e regressão.

5.18.3 Análise Descritiva das Variáveis de Produção

Conforme já mencionado anteriormente, as variáveis de produção agropecuária analisadas incluem diferentes setores produtivos, como grãos, produtos florestais, produtos de origem animal e rebanhos. Na (Tabela 26) são apresentadas as principais estatísticas descritivas dessas variáveis.

Tabela 26 – Estatísticas descritivas das variáveis de produção

Variáveis	n	Média	Desvio padrão	Mediana	Mín	Max	Amplitude	Assimetria	Curtose	IIQ
Feijão (t)	95	1.268,65	1.504,77	819	63	8.362	8.299	2,68	8,48	1.164,5
Feijão (kg/ha)	105	446,29	313,08	412	90	1.800	1.710	2,71	8,4	243
Milho (t)	95	958,89	1.290,77	504	3	6.900	6.897	2,2	5,53	990
Milho (kg/ha)	103	585,88	405,7	600	13	1.500	1.487	0,22	-1,14	713
Carvão vegetal (t)	95	5,12	5,01	3	1	21	20	1,68	2,29	6
Lenha (m ³)	95	19.990,9	11.935,2	18.806	667	44.700	44.033	0,19	-0,96	16.227,5
Leite (100L)	95	15.616,8	15.398,1	10.510	1.972	96.048	94.076	2,65	8,82	12.815
Mel (kg)	94	57.401	88.143,7	12.300	50	380.000	379.950	1,94	3,11	79.966,3
Bovino (cabeças)	95	40.661,8	19.844,3	45.858	13.135	98.000	84.865	0,35	-0,28	26.611,5
Caprino (cabeças)	95	14.205,2	7.655,79	14.877	2.971	32.436	29.465	0,33	-0,38	9.929
Ovino (cabeças)	95	40.138,7	20.662,4	45.856	11.134	70.111	58.977	-0,15	-1,58	43.770,5
Suíno (cabeças)	95	9.539,65	8.013,64	8.344	1.622	38.724	37.102	2,05	4,04	4.366

Fonte: dados da pesquisa

Feijão (t): Apresenta uma média de 1.268,65 toneladas, com um desvio-padrão elevado de 1.504,77, indicando grande variabilidade na produção entre os municípios analisados. A assimetria positiva (2,68) e a alta curtose (8,48) sugerem a presença de valores extremos elevados.

Feijão (kg/ha): Com uma média de 446,29 kg/ha e um desvio-padrão de 313,08 kg/ha, observa-se alta dispersão nos dados. A distribuição é assimétrica à direita (Assimetria = 2,71), indicando que Jaguaribe possui produtividade muito superior à média.

Milho (t): A média de produção de milho é de 958,89 toneladas, com um desvio-padrão de 1.290,77 toneladas. A distribuição é altamente assimétrica (assimetria = 2,2), indicando que Morada Nova possui produtividade muito superior à média.

Milho (kg/ha): Possui média de 585,88 kg/ha e desvio-padrão de 405,7 kg/ha, com distribuição mais equilibrada (assimetria = 0,22), sugerindo menor influência de valores extremos.

Carvão vegetal (t): A produção média é de 5,12 toneladas, com alta assimetria (assimetria = 1,68), indicando que Morada Nova e Jaguaribe concentram a maior parte da produção.

Lenha (m³): Apresenta uma média de 19.990,9 m³ e desvio-padrão de 11.935,2 m³, com distribuição relativamente simétrica (assimetria = 0,19), o que indica variação moderada na produção entre os municípios.

Leite (100L): A produção média é de 15.616,8 (100L), com um desvio-padrão elevado de 15.398,1, alta assimetria (2,65) e curtose elevada (8,82), indicando forte concentração da produção em Morada Nova e Jaguaribe.

Mel (kg): A produção média de mel é de 57.401 kg, com um desvio-padrão de 88.143,7 kg, alta assimetria (1,94) e curtose elevada (3,11), indicando grandes diferenças entre os municípios ou período.

Bovino (cabeças): O rebanho bovino apresenta uma média de 40.661,8 cabeças, com desvio-padrão de 19.844,3, distribuição levemente assimétrica (assimetria = 0,35) e curtose próxima de zero (-0,28), sugerindo uma dispersão moderada.

Caprino (cabeças): Média de 14.205,2 cabeças, com desvio-padrão de 7.655,79 e distribuição próxima à normalidade (assimetria = 0,33, curtose = -0,38).

Ovino (cabeças): Com uma média de 40.138,7 cabeças e desvio-padrão de 20.662,4, apresenta distribuição relativamente simétrica (assimetria = -0,15, curtose = -1,58).

Suíno (cabeças): Apresenta média de 9.539,65 cabeças, alta assimetria (2,05) e curtose elevada (4,04), indicando que Jaguaribe e Morada Nova possuem os maiores rebanhos suíños.

Essas análises evidenciam padrões importantes na produção agropecuária, por exemplo, grandes variações do banco das produções, que pode estar diretamente ligado à capacidade do próprio município. O (Gráfico 10) mostra o gráfico de boxplot para cada variável de produção avaliada, e através deste é possível reforçar alguns padrões já identificados anteriormente.

Através desses gráficos percebe-se a presença significativa de outliers, especialmente na produção de feijão (kg/ha), leite, mel e suínos. Isso confirma a alta assimetria e curtose encontradas anteriormente, indicando que poucos anos possuem produções muito superiores à média.

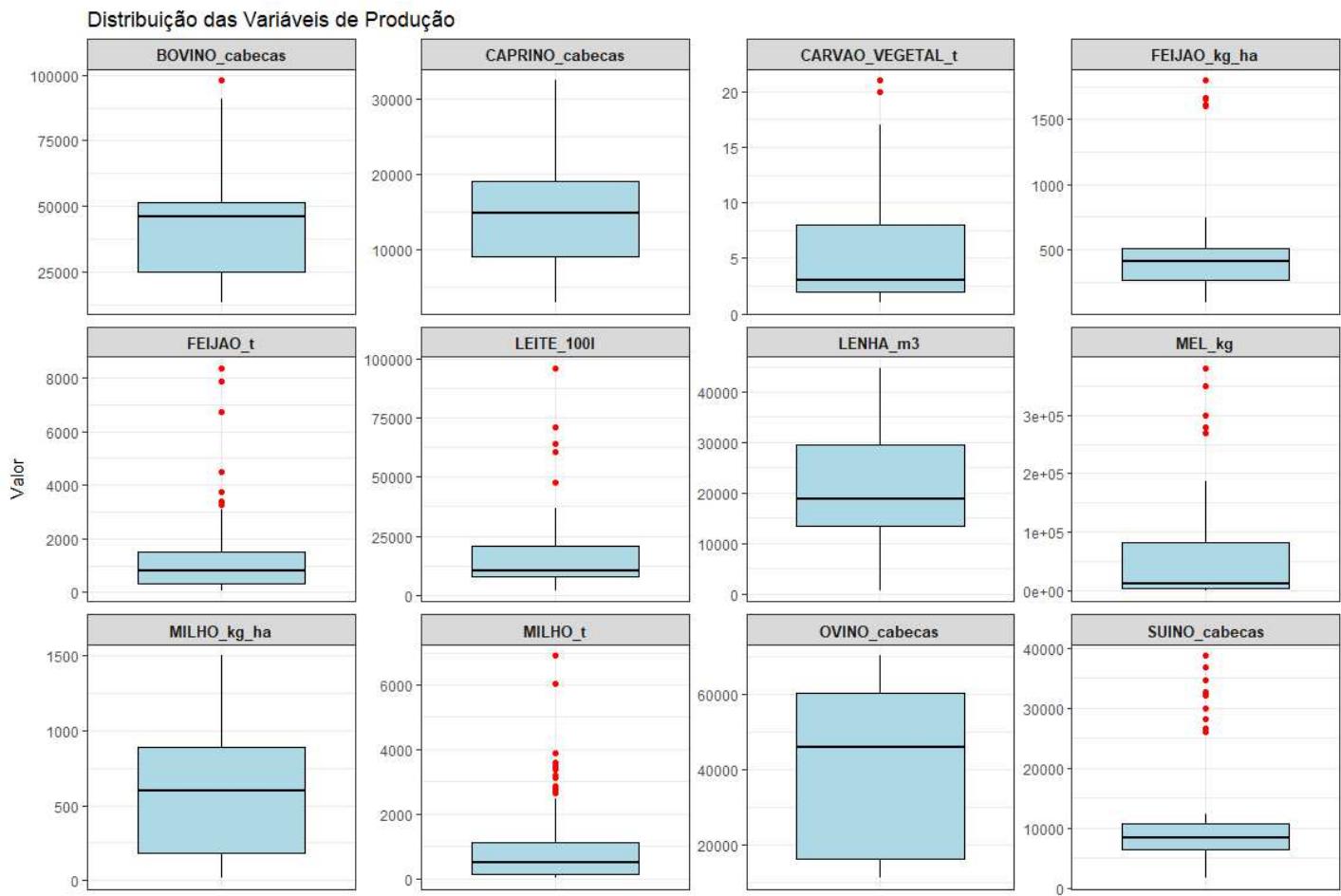
Além disso:

Milho (kg/ha) e Lenha (m³) possuem distribuições mais equilibradas, sem grande concentração de valores extremos, apesar de no caso da Lenha, existir uma grande variação.

Os rebanhos ovinos e bovinos apresentam distribuição mais uniforme, mas com grandes variações, possivelmente devido a diferença da base de produção dos municípios.

A produção de carvão vegetal e feijão em toneladas também evidenciam a presença de valores atípicos, sugerindo que poucos municípios dominam a produção.

Gráfico 10 – Boxplot das variáveis de produção



Fonte: dados da pesquisa

Devido a grande quantidade de outliers, e grande variância em alguns casos, no (Gráfico 11) é apresentado o Boxplot separado por município, e com isso confirmamos algumas coisas observadas anteriormente.

Analizando os boxplots gerados para cada município, podemos observar que muitos dos outliers identificados na análise inicial podem estar relacionados a diferenças estruturais entre os municípios.

Para **bovinos, caprinos e ovinos**, os municípios apresentam distribuições distintas, com alguns destacando-se por possuírem rebanhos significativamente maiores. Isso sugere que a maior produção pecuária de bovinos e caprinos se concentra em Morada Nova, enquanto que, a maior produção de ovinos se concentra em Jaguaretama.

A produção de **feijão (t e kg/ha)** apresenta variações relevantes entre os municípios, para a produção em toneladas, Morada nova se destaca, e para a produção em Kg/ha, existe um claro outlier em todos os municípios, investigando melhor esses pontos, foi

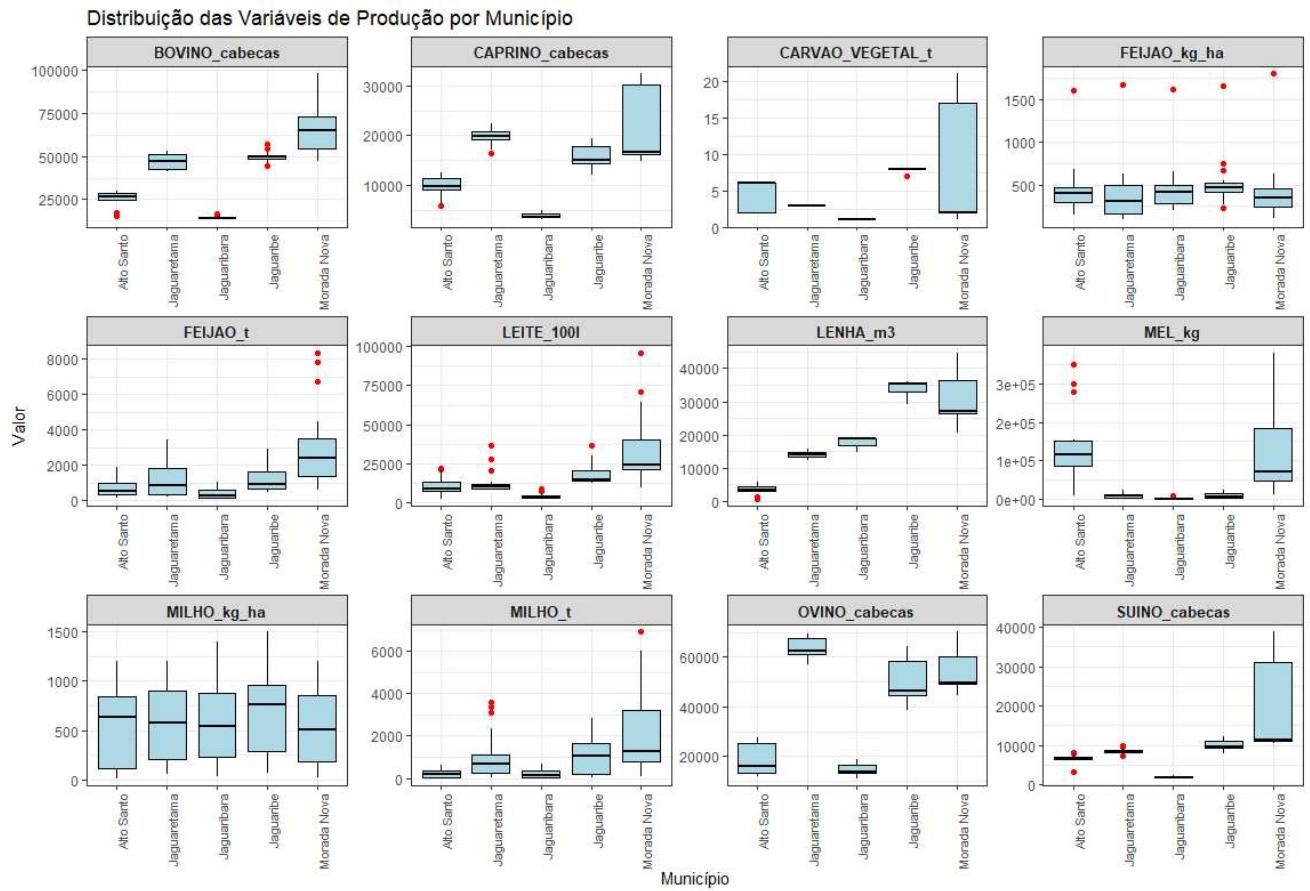
identificado em 2011 um valor expressivamente superior à média dos outros anos, então no caso do feijão, essa produção desse ano é o motivo de maior destaque.

Para a produção de **Milho**, pode-se dizer que é a com a menor variação da produção entre os municípios, principalmente quando avaliado na escala kg/ha.

A produção de **lenha e carvão vegetal** segue o mesmo padrão, sendo concentrada em poucos municípios, principalmente Morada Nova e Jaguaribe, justificando a grande amplitude e desvio interquartil observados na análise geral.

A segmentação dos dados por município detalha um pouco melhor a distribuição dos dados, e refletem variações estruturais reais entre as diferentes localidades. Isso reforça a importância de analisar as variáveis de produção de forma segmentada para evitar generalizações indevidas, principalmente nas análises de regressão.

Gráfico 11 – Boxplot das variáveis de produção separado por município



Fonte: dados da pesquisa

5.18.4 Análise de Correlação

A análise de correlação é o primeiro passo que tomamos para atingir o objetivo de descobrir quais fatores climáticos impactam, e como impactam, nos índices de produções agropecuárias. Através da análise de correlação é possível identificar o grau de associação entre as variáveis climáticas e as variáveis de produção. O coeficiente de correlação de Pearson foi utilizado para avaliar a intensidade e a direção das relações entre essas variáveis.

Na Tabela 27 apresentamos a matriz de correlação entre as variáveis climáticas e as variáveis de produção agropecuária.

Tabela 27 – Matriz de correlações das variáveis climáticas e de produção

Variáveis	Precipitação	Excedente	Déficit	Índice de veranicos
Feijão (t)	0,25*	0,12	0,27**	-0,30**
Feijão (kg/ha)	0,33**	0,07	0,40**	-0,35**
Milho (t)	0,40**	0,22*	0,43**	-0,40**
Milho (kg/ha)	0,60**	0,42**	0,58**	-0,66**
Carvão vegetal (t)	-0,13	-0,01	-0,23*	0,08
Lenha (m ³)	-0,13	-0,11	-0,17	0,00
Leite (100L)	0,08	0,00	0,09	-0,15
Mel (kg)	0,29**	0,14	0,27**	-0,22*
Bovino (cabeças)	0,01	0,03	0,02	-0,02
Caprino (cabeças)	-0,04	0,00	-0,01	0,06
Ovino (cabeças)	-0,005	0,04	0,05	0,02
Suíno (cabeças)	-0,05	-0,05	-0,07	0,00

*valor p significante ao nível de 95% de confiança; **valor p significante ao nível de 99% de confiança.

Fonte: dados da pesquisa

Os resultados da matriz de correlação revelam algumas associações importantes entre as variáveis climáticas e a produção agropecuária:

Precipitação apresentou correlação positiva e significativa com a produção de feijão (kg/ha) (0,33**), milho (t) (0,40**) e milho (kg/ha) (0,60**), indicando que maiores níveis de precipitação favorecem essas culturas. Também foram significativas as correlações com Mel e feijão (t), porém aqui vamos focar apenas nas correlações acima de 0,3.

Excedente hídrico teve correlação positiva com a produtividade do milho (kg/ha) (0,42**), indicando que umidade excessiva pode favorecer essa cultura.

Déficit hídrico exibiu correlação positiva significativa com feijão (kg/ha) (0,40**), milho (t) (0,43**) e milho (kg/ha) (0,58**), porém é importante a correta

interpretação desse índice, como é um índice negativo, então quanto MAIOR o índice, MENOR é o Déficit, logo, a correlação positiva encontrada, significa que existe um impacto negativo do déficit na produção, de forma que quanto maior o déficit, menor a produção, reforçando o impacto prejudicial da escassez hídrica na produtividade agrícola.

Índice de veranicos mostrou correlações negativas expressivas com feijão (t) (-0,30**), feijão (kg/ha) (-0,35**), milho (t) (-0,40**) e milho (kg/ha) (-0,66**), sugerindo que períodos prolongados de estiagem reduzem significativamente a produtividade dessas culturas.

De maneira geral, observam-se correlações mais expressivas entre as variáveis climáticas e a produção agrícola (Feijão e Milho), enquanto a produção pecuária (Bovino, Caprino, Ovino, Suíno, Leite, Mel) e florestal (Carvão vegetal e Lenha) apresentam correlações mais fracas ou não significativas com os fatores climáticos analisados.

5.18.5 Modelos de Regressão Linear

Os modelos de regressão linear são ferramentas estatísticas fundamentais para analisar a relação entre variáveis independentes e uma variável dependente. Eles permitem quantificar o impacto de diferentes fatores sobre um resultado específico, facilitando a compreensão de como mudanças em variáveis explicativas influenciam a variável resposta.

A regressão linear pode ser univariada, quando envolve apenas uma variável independente, ou multivariada, quando considera múltiplas variáveis independentes.

A importância dos modelos de regressão linear na sua análise reside na capacidade de identificar e quantificar a influência de variáveis climáticas, como no nosso caso precipitação, excedente hídrico, déficit hídrico e índice de veranicos, sobre a produção agropecuária. Isso permite não apenas entender melhor os fatores que afetam a produtividade, mas também tomar decisões informadas para otimizar a produção e mitigar os impactos negativos das condições climáticas adversas.

Um dos principais problemas com modelos de regressão é o uso de variáveis explicativas com muita correlação entre si, causando um problema chamado Multicolinearidade, que pode levar a conclusões enviesadas. Para evitar esse tipo de problema é indicado averiguar primeiro a existência de altas correlações entre as variáveis climáticas. Na Tabela (28) mostramos a correlação entre as variáveis, e notamos que existe uma correlação muito alta da precipitação com as outras variáveis.

Tabela 28 – Correlação entre as variáveis climáticas

Variáveis	Precipitação	Excedente	Déficit	Índice de veranicos
Precipitação	1	0,80	0,92	-0,71
Excedente	0,80	1	0,53	-0,44
Déficit	0,92	0,53	1	-0,72
Índice de veranicos	-0,71	-0,44	-0,72	1

Fonte: dados da pesquisa

Quando temos esse tipo de problema, é necessário a remoção de variáveis, normalmente removendo a que possui correlações mais altas com as demais. Outra forma é utilizar o valor de VIF, e remover a que possuir maior valor, sendo que o recomendado é VIF < 5 . Dessa forma optamos por remover a variável precipitação da nossa análise. Porém é importante lembrar que não significa que esta variável não cause impacto, na realidade a precipitação é como se fosse um “resumo” de todas as outras, então todas as conclusões que teremos pode ser relacionado diretamente a precipitação.

Dito tudo isso, foram ajustados modelos univariados (considerando cada variável explicativa isoladamente) e um modelo multivariado (incluindo todas as variáveis explicativas simultaneamente). Além disso, para algumas variáveis, foi aplicada transformação logarítmica para atender aos pressupostos da regressão.

5.18.5.1 Feijão (t)

Os resultados para o ajuste do Feijão (t) podem ser vistos na (Tabela 29). Foi utilizado uma transformação logarítmica no Feijão (t) de forma a possibilitar o ajuste da regressão linear.

Tabela 29 – Resultados da regressão linear para (Feijão (t)).

Variáveis	Modelo Univariado			Modelo multivariado		
	Exp(estimativa)	Valor p	r ²	Exp(estimativa)	Valor p	r ²
Ano	0,93	<0,001	14,90%	0,93	<0,001	84,06%
Excedente	1,00301	0,001	10,72%	1,000	0,952	
Déficit	1,00185	0,001	10,92%	0,999	0,135	
Índice de veranicos	0,210	<0,001	17,59%	0,330	<0,001	
Clima						
Habitual	1			1		
Seco	1,110	0,814	23,77%	0,700	0,109	
Super seco	0,520	0,281		0,480	0,028	
Super úmido	3,220	0,053		1,180	0,625	
Úmido	2,680	0,032		1,420	0,158	
Cidade						

Alto Santo	1		1	
Jaguaretama	1,460	0,150	44,71%	0,003
Jaguaribara	0,530	0,016	0,520	<0,001
Jaguaribe	2,010	0,009	1,850	<0,001
Morada Nova	4,350	<0,001	4,320	<0,001

Fonte: dados da pesquisa

Efeito do Ano na Produção

No modelo univariado a estimativa ($Exp = 0,93, p < 0,001$) indica uma **redução anual de 7%** na produção de Feijão (t). O coeficiente de determinação ($r^2 = 14,90\%$) sugere que o ano explica 14,90% da variação total da produção desse grão. No ajuste multivariado o efeito permanece altamente significativo ($p < 0,001$), indicando uma tendência consistente de queda da produção ao longo do tempo, mesmo quando adicionamos outras variáveis no modelo.

Excedente Hídrico

No modelo univariado ($p = 0,001$), um leve aumento no excedente hídrico impacta positivamente a produção ($Exp = 1,00301$) o que significa que com o aumento de 1 ponto no excedente há um crescimento de 0,3% na produção de feijão. No entanto, esse efeito desaparece no modelo multivariado ($p = 0,952$), sugerindo que **o excedente hídrico não tem impacto na produção de feijão (t)** quando outras variáveis são consideradas.

Déficit Hídrico

No modelo univariado ($p = 0,001$), o déficit hídrico tem um efeito positivo sobre a produção ($Exp = 1,00185$), mas esse efeito também não se mantém no modelo multivariado ($p = 0,135$). Isso indica que o déficit hídrico não tem uma influência direta significativa na produção quando controlamos por outras variáveis.

Índice de Veranicos

No modelo univariado, o índice de veranicos tem um **efeito negativo** (mesma interpretação da correlação) e significativo ($Exp = 0,210, p < 0,001, r^2 = 17,59\%$), indicando que quanto maior o índice de veranicos menor a produção. No modelo multivariado, esse efeito se mantém ($p < 0,001$), reforçando que **os veranicos são um dos principais fatores climáticos que prejudicam essa produção**.

Impacto dos Anos-Padrão na Produção

No modelo univariado ($p = 0,032$), no ano **úmido** evidenciou-se uma **produção 168% maior** em relação ao ano habitual ($Exp = 2,680$). No modelo multivariado, esse efeito perde significância ($p = 0,158$), sugerindo que o impacto do ano úmido na produção pode estar associado a outras variáveis (como cidade ou ano).

No modelo multivariado, no ano **super seco** evidenciou-se **redução significativa na produção** ($Exp = 0,480$, $p = 0,028$), mais de 50% de redução, indicando que condições extremamente secas impactam negativamente a produção de feijão.

Efeito da Cidade na Produção

Jaguaribara: Apresenta uma **redução significativa na produção** em relação a Alto Santo no modelo univariado ($p = 0,016$, $Exp = 0,530$) e esse efeito permanece no modelo multivariado ($p < 0,001$, $Exp = 0,520$). Isso indica que Jaguaribara tem condições menos favoráveis para produção.

Jaguaribe: No modelo univariado ($p = 0,009$, $Exp = 2,010$) e multivariado ($p < 0,001$, $Exp = 1,850$), a cidade de **Jaguaribe apresenta produção significativamente maior que Alto Santo**, possivelmente devido a melhores condições ambientais ou infraestrutura agrícola.

Morada Nova: Apresenta o **maior efeito positivo na produção agropecuária** entre todas as cidades. No modelo univariado ($p < 0,001$, $Exp = 4,350$) e multivariado ($p < 0,001$, $Exp = 4,320$), indicando que **a produção em Morada Nova é mais de quatro vezes maior do que em Alto Santo**.

Não é objetivo desse estudo avaliar as diferenças entre as cidades, porém é de grande importância considerarmos essa informação no modelo de regressão, pois ele muda completamente a escala da produção, o que poderia levar a conclusões erradas. É tanto que boa parte da explicação da variabilidade dos dados vem do próprio município, que por si só agrupa muitas outras informações que não estão sendo levadas em conta, como situação orçamentária do município, e outras condições externas não relacionadas ao clima em si.

5.18.5.2 Feijão (kg/ha)

Os resultados para o ajuste do Feijão (kg/ha) podem ser vistos na (Tabela 30).

Tabela 30 – Resultados da regressão linear para (Feijão (kg por Ha))

Variáveis	Modelo Univariado			Modelo multivariado		
	Exp(estimativa)	Valor p	r ²	Exp(estimativa)	Valor p	r ²
Ano	0,99	0,075	3,19%	0,99	0,099	56,85%
Excedente	1,00126	0,002	9,51%	1,000	0,760	
Déficit	1,00114	<0,001	19,24%	1,000	0,323	
Indice de veranicos	0,350	<0,001	37,79%	0,460	<0,001	
Clima						
Habitual	1			1		
Seco	0,900	0,568	38,10%	0,820	0,224	
Super seco	0,550	0,015		0,710	0,153	
Super úmido	1,180	0,503		0,810	0,409	
Úmido	1,530	0,022		1,160	0,411	
Cidade						
Alto Santo	1			1		
Jaguaretama	0,790	0,107	10,83%	0,830	0,089	
Jaguaribara	1,050	0,738		1,080	0,476	
Jaguaribe	1,260	0,111		1,230	0,059	
Morada Nova	0,910	0,506		0,920	0,457	

Fonte: dados da pesquisa

Foi utilizado uma transformação logarítmica no Feijão (kg por ha) de forma a possibilitar o ajuste da regressão linear.

Excedente Hídrico

No modelo univariado ($p = 0,002$), com o acréscimo de 1 ponto de excedente há um aumento de 0,13% na produção de feijão por ha ($Exp = 1,00126$). No modelo multivariado, esse efeito desaparece ($p = 0,760$), indicando que o excedente hídrico não influencia diretamente a produção quando outras variáveis são consideradas.

Déficit Hídrico

No modelo univariado, o déficit hídrico teve um efeito negativo e significativo ($p < 0,001$, $Exp = 1,00114$), sugerindo que déficits menores levam a produções maiores. No

modelo multivariado ($p = 0,323$), esse efeito desaparece, indicando que o impacto do déficit hídrico na produção pode estar associado a outras variáveis.

Índice de Veranicos

No modelo univariado ($p < 0,001$), o índice de veranicos apresentou um **impacto negativo** significativo ($Exp = 0,350$), indicando que **períodos de seca** prolongada **reduzem** fortemente a produção de feijão. Esse efeito persiste no modelo multivariado ($p < 0,001$, $Exp = 0,460$), confirmando os veranicos como um dos principais fatores climáticos adversos para a produção de feijão.

5.18.5.3 Milho (t)

Os resultados para o ajuste do Milho (t) podem ser vistos na (Tabela 31).

Tabela 31 – Resultados da regressão linear para (Milho (t))

Variáveis	Modelo Univariado			Modelo multivariado		
	Exp(estimativa)	Valor p	r ²	Exp(estimativa)	Valor p	r ²
Ano	0,98	0,477	0,55%	0,97	0,161	75,15%
Excedente	1,00569	<0,001	13,98%	1,001	0,649	
Déficit	1,00433	<0,001	21,93%	0,999	0,399	
Índice de veranicos	0,040	<0,001	29,07%	0,100	<0,001	
Clima						
Habitual	1			1		
Seco	0,460	0,258	33,82%	0,350	0,027	
Super seco	0,160	0,053		0,390	0,163	
Super úmido	3,370	0,190		1,010	0,992	
Úmido	3,160	0,102		1,390	0,514	
Cidade						
Alto Santo	1			1		
Jaguaretama	5,750	<0,001	35,81%	6,410	<0,001	
Jaguaribara	1,040	0,932		1,030	0,923	
Jaguaribe	5,890	<0,001		5,060	<0,001	
Morada Nova	13,700	<0,001		13,940	<0,001	

Fonte: dados da pesquisa

Foi utilizado uma transformação logarítmica no Milho (t) de forma a possibilitar o ajuste da regressão linear.

Excedente Hídrico

No modelo univariado ($p < 0,001$, $Exp = 1,00569$), um aumento no excedente hídrico esteve associado a um crescimento na produção. No modelo multivariado, esse efeito desaparece ($p = 0,649$).

Déficit Hídrico

No modelo univariado, um aumento no déficit hídrico teve um impacto positivo e significativo ($p < 0,001$, $Exp = 1,00433$), no modelo multivariado ($p = 0,399$), esse efeito perde força.

Índice de Veranicos

No modelo univariado, o índice de veranicos apresentou um **impacto negativo** significativo ($p < 0,001$, $Exp = 0,040$), indicando que períodos de seca reduzem fortemente a produção de milho. Esse efeito persiste no modelo multivariado ($p < 0,001$, $Exp = 0,100$), confirmando os veranicos como um dos fatores mais prejudiciais à produção de milho.

Ano Seco

No modelo univariado ($p = 0,258$), o ano seco não teve um impacto significativo na produção, porém quando avaliado no modelo multivariado ($p = 0,027$, $Exp = 0,350$), o efeito se torna significativo, indicando que condições secas podem reduzir a produção de milho. De tal forma que períodos secos causam uma queda de aproximadamente 65% a produção, em relação ao ano Habitual. Também foi identificado diferenças entre os municípios, porém não iremos abordar com foco nessa variável, visto que esta variável está sendo usada apenas como suporte para o ajuste de regressão.

5.18.5.4 Milho (kg/ ha)

Os resultados para o ajuste do Milho (Kg/ha) podem ser vistos na (Tabela 32).

Tabela 32 – Resultados da regressão linear para modelar Milho (kg por ha)

Variáveis	Modelo Univariado			Modelo multivariado		
	Estimativa	Valor p	r^2	Estimativa	Valor p	r^2
Ano	-6,31467	0,337	0,91%	1,494	0,743	64,46%
Excedente	1,45330	<0,001	16,93%	0,041	0,894	

Déficit	1,32869	<0,001	35,54%	-0,165	0,519
Indice de veranicos	-983,036	<0,001	43,61%	-561,144	0,001
Clima					
Habitual	1			1	
Seco	-158,195	0,223	56,42%	-182,789	0,151
Super seco	-394,150	0,034		-150,750	0,436
Super úmido	299,600	0,086		96,672	0,620
Úmido	445,933	0,001		306,470	0,030
Cidade					
Alto Santo	1			1	
Jaguaretama	37,614	0,770	1,53%	81,656	0,335
Jaguaribara	61,710	0,632		90,019	0,271
Jaguaribe	133,090	0,302		123,292	0,132
Morada Nova	-3,100	0,981		-9,990	0,904

Fonte: dados da pesquisa

Excedente Hídrico

No modelo univariado, houve **impacto positivo e significativo** ($p < 0,001$), indicando que maior excedente hídrico está associado ao aumento da produtividade. No modelo multivariado, esse efeito desaparece ($p = 0,894$), sugerindo que o impacto do excedente hídrico pode ser mediado por outras variáveis.

Déficit Hídrico

No modelo univariado, o déficit teve um impacto **positivo e significativo** ($p < 0,001$), o que parece contraditório. No modelo multivariado, o efeito também desaparece ($p = 0,519$).

Índice de Veranicos

Apresentou o maior impacto negativo e altamente significativo ($p < 0,001$). No modelo univariado, um aumento no índice de veranicos reduz consideravelmente a produtividade. No modelo multivariado, o impacto negativo permaneceu forte (-561,14, $p = 0,001$), confirmando novamente que períodos prolongados de seca são extremamente prejudiciais à produção de milho.

Ano úmido

No modelo univariado, houve um efeito positivo e significativo (+445,93 kg/ha, $p = 0,001$), sugerindo que condições úmidas favorecem a produtividade. No modelo multivariado, o efeito permaneceu positivo (+306,47 kg/ha) e continuou significativo ($p = 0,030$), confirmando que ambientes úmidos são benéficos para o milho.

5.18.5.5 Carvão vegetal

Os resultados para o ajuste do Carvão Vegetal (t) podem ser vistos na (Tabela 33).

Tabela 33 – Resultados da regressão linear para modelar Carvão vegetal (t)

Variáveis	Modelo Univariado			Modelo multivariado		
	Estimativa	Valor p	r^2	Estimativa	Valor p	r^2
Ano	0,18807	0,045	4,27%	0,249	0,002	50,84%
Excedente	-0,00023	0,959	0,00%	0,012	0,012	
Deficit	-0,00503	0,065	3,61%	-0,007	0,075	
Indice de veranicos	0,541	0,765	0,10%	1,638	0,492	
Clima						
Habitual	1			1		
Seco	-0,489	0,839	1,14%	0,591	0,751	
Super seco	-2,000	0,536		-2,981	0,278	
Super úmido	-2,000	0,536		-0,346	0,904	
Úmido	-1,200	0,623		0,796	0,698	
Cidade						
Alto Santo	1			1		
Jaguaretama	-1,158	0,372	39,70%	-1,169	0,357	
Jaguaribara	-3,158	0,016		-2,774	0,026	
Jaguaribe	3,789	0,004		3,615	0,005	
Morada Nova	5,316	<0,001		5,653	<0,001	

Fonte: dados da pesquisa

A produção de carvão vegetal teve como fatores significativos apenas o ano, e no modelo multivariado o Excedente (além do município), de forma que com o passar de um ano é esperado um aumento de 0,249 toneladas na produção de carvão vegetal, e com 1 ponto de excedente é aumentado em 0,012 toneladas a produção.

5.18.5.6 Lenha

Os resultados para o ajuste da Lenha (m³) podem ser vistos na (Tabela 34).

Variáveis	Modelo Univariado	Modelo multivariado
-----------	-------------------	---------------------

	Exp(estimativa)	Valor p	r ²	Exp(estimativa)	Valor p	r ²
Ano	1	0,983	0,00%	1	0,801	90,97%
Excedente	0,99960	0,634	0,25%	1,000	0,656	
Deficit	0,99986	0,780	0,08%	1,000	0,975	
Indice de veranicos	0,870	0,667	0,20%	1,010	0,970	
Clima						
Habitual	1			1		
Seco	0,880	0,776	0,16%	0,870	0,344	
Super seco	0,910	0,876		0,890	0,593	
Super úmido	0,940	0,915		0,970	0,893	
Úmido	0,940	0,887		0,950	0,743	
Cidade						
Alto Santo	1			1		
Jaguaretama	4,740	<0,001	90,78%	4,760	<0,001	
Jaguaribara	5,970	<0,001		5,950	<0,001	
Jaguaribe	11,500	<0,001		11,500	<0,001	
Morada Nova	10,120	<0,001		10,060	<0,001	

Tabela 34 – Resultados da regressão linear para (Lenha (m³))

Fonte: dados da pesquisa

A produção de lenha apresentou correlações não significativas com os fatores climáticos analisados.

5.18.5.7 Leite

Os resultados para o ajuste da Leite (100L) podem ser vistos na (Tabela 35).

Tabela 35 – Resultados da regressão linear para (Leite (100l))

Variáveis	Modelo Univariado			Modelo multivariado		
	Exp(estimativa)	Valor p	r ²	Exp(estimativa)	Valor p	r ²
Ano	1,08	<0,001	23,87%	1,08	<0,001	88,79%
Excedente	0,99957	0,583	0,33%	1,000	0,523	
Deficit	1,00026	0,586	0,32%	1,001	0,098	
Indice de veranicos	0,760	0,381	0,83%	1,250	0,256	
Clima						
Habitual	1			1		
Seco	0,630	0,267	2,24%	0,980	0,917	
Super seco	0,570	0,318		0,980	0,915	
Super úmido	0,580	0,334		1,090	0,724	
Úmido	0,750	0,491		1,080	0,650	
Cidade						
Alto Santo	1			1		
Jaguaretama	1,420	0,046	63,17%	1,350	0,005	

Jaguaribara	0,450	<0,001	0,450	<0,001
Jaguaribe	2,070	<0,001	2,140	<0,001
Morada Nova	3,400	<0,001	3,450	<0,001

Fonte: dados da pesquisa

A produção de leite apresentou correlações não significativas com os fatores climáticos analisados.

5.18.5.8 Mel

Os resultados para o ajuste do Mel (kg) podem ser vistos na (Tabela 36).

Tabela 36 – Resultados da regressão linear para modelar log (Mel (kg))

Variáveis	Modelo Univariado			Modelo multivariado		
	Exp(estimativa)	Valor p	r ²	Exp(estimativa)	Valor p	r ²
Ano	1,04	0,316	1,09%	1,05	0,045	76,55%
Excedente	0,99979	0,913	0,01%	0,998	0,090	
Deficit	1,000114	0,340	0,99%	1,001	0,332	
Indice de veranicos	0,500	0,396	0,79%	0,700	0,640	
Clima						
Habitual	1			1		
Seco	0,970	0,975	3,14%	1,140	0,808	
Super seco	0,900	0,937		1,830	0,466	
Super úmido	4,370	0,286		7,870	0,019	
Úmido	1,600	0,653		1,830	0,330	
Cidade						
Alto Santo	1			1		
Jaguaretama	0,040	<0,001	69,80%	0,050	<0,001	
Jaguaribara	0,010	<0,001		0,010	<0,001	
Jaguaribe	0,050	<0,001		0,050	<0,001	
Morada Nova	0,810	0,587		0,750	0,441	

Fonte: dados da pesquisa

Evidencia-se que o Mel foi afetado pelo clima super úmido (p = 0,019, Exp = 7,87), em comparação com o clima Habitual. A produção de Mel também apresentou correlações fracas com a precipitação, déficit e o indicador de veranicos.

5.18.5.9 Bovinos

Os resultados para o ajuste da Produção Bovina (cabeças) podem ser vistos na (Tabela 37).

Tabela 37 – Resultados da regressão linear para (Bovino (cabeças))

Variáveis	Modelo Univariado			Modelo multivariado		
	Exp(estimativa)	Valor p	r ²	Exp(estimativa)	Valor p	r ²
Ano	1,01	0,245	1,45%	1,01	<0,001	95,79%
Excedente	1,00018	0,731	0,13%	1,000	0,140	
Defcit	1,00000	0,999	0,00%	1,000	0,269	
Indice de veranicos	0,980	0,937	0,01%	1,100	0,234	
Clima						
Habitual	1			1		
Seco	0,980	0,938	0,04%	1,070	0,248	
Super seco	0,990	0,971		1,080	0,390	
Super úmido	1,020	0,956		1,110	0,289	
Úmido	1,000	0,992		1,060	0,393	
Cidade						
Alto Santo	1			1		
Jaguaretama	1,840	<0,001	93,93%	1,810	<0,001	
Jaguaribara	0,570	<0,001		0,570	<0,001	
Jaguaribe	1,960	<0,001		1,980	<0,001	
Morada Nova	2,560	<0,001		2,580	<0,001	

Fonte: dados da pesquisa

A produção Bovina apresentou correlações não significativas com os fatores climáticos analisados.

5.18.5.10 Caprinos

Os resultados para o ajuste da Produção Caprina (cabeças) podem ser vistos na (Tabela 38).

Tabela 38 – Resultados da regressão linear para (Caprino (cabeças))

Variáveis	Modelo Univariado			Modelo multivariado		
	Exp(estimativa)	Valor p	r ²	Exp(estimativa)	Valor p	r ²
Ano	1,03	0,016	6,05%	1,03	<0,001	97,27%
Excedente	1,00012	0,846	0,04%	1,000	0,169	
Defcit	1,00004	0,922	0,01%	1,000	0,571	
Indice de veranicos	1,030	0,904	0,02%	1,170	0,037	
Clima						
Habitual	1			1		
Seco	0,820	0,555	0,51%	0,980	0,734	

Super seco	0,780	0,570	0,890	0,201
Super úmido	0,770	0,560	1,030	0,718
Úmido	0,830	0,587	1,010	0,923
Cidade				
Alto Santo	1		1	
Jaguaretama	2,130	<0,001	90,96%	2,090
Jaguaribara	0,400	<0,001		0,400
Jaguaribe	1,690	<0,001		1,710
Morada Nova	2,270	<0,001		2,280

Fonte: dados da pesquisa

A produção caprina apresentou correlações não significativas com os fatores climáticos analisados.

5.18.5.11 Ovinos

Os resultados para o ajuste da Produção Ovina (cabeças) podem ser vistos na (Tabela 39).

Tabela 39 – Resultados da regressão linear para (Ovino (cabeças))

Variáveis	Modelo Univariado			Modelo multivariado		
	Estimativa	Valor p	r ²	Estimativa	Valor p	r ²
Ano	794,0007	0,040	4,48%	818,48283	0	95,86%
Excedente	9,05501	0,627	0,26%	7,365	0,203	
Deficit	6,00402	0,596	0,30%	2,912	0,528	
Indice de veranicos	-909,972	0,903	0,02%	H113	0,964	
Clima						
Habitual	1			1		
Seco	-4569,556	0,647	0,38%	-164,731	0,941	
Super seco	-6629,800	0,620		-483,027	0,883	
Super úmido	-6795,600	0,611		-2044,017	0,552	
Úmido	-4267,771	0,673		-1284,723	0,600	
Cidade						
Alto Santo	1			1		
Jaguaretama	44525,632	<0,001	91,21%	44097,873	<0,001	
Jaguaribara	-4484,895	0,030		-4375,037	0,004	
Jaguaribe	31040,053	<0,001		31136,006	<0,001	
Morada Nova	34488,421	<0,001		34779,911	<0,001	

Fonte: dados da pesquisa

A produção ovina apresentou correlações não significativas com os fatores climáticos analisados.

5.18.5.12 Suínos

Os resultados para o ajuste da Produção Ovina (cabeças) podem ser vistos na (Tabela 40).

Tabela 40 – Resultados da regressão linear para (Suíno (cabeças))

Variáveis	Modelo Univariado			Modelo multivariado		
	Exp(estimativa)	Valor p	r ²	Exp(estimativa)	Valor p	r ²
Ano	1,04	0,013	6,47%	1,04	0	94,29%
Excedente	0,99983	0,811	0,06%	1,001	0,058	
Deficit	0,99982	0,681	0,18%	1,000	0,850	
Indice de veranicos	0,990	0,985	0,00%	1,160	0,264	
Clima						
Habitual	1			1		
Seco	0,810	0,589	0,58%	1,000	0,993	
Super seco	0,720	0,529		0,860	0,296	
Super úmido	0,730	0,537		0,990	0,937	
Úmido	0,800	0,574		1,000	0,967	
Cidade						
Alto Santo	1			1		
Jaguaretama	1,390	0,001	87,42%	1,360	<0,001	
Jaguaribara	0,320	<0,001		0,320	<0,001	
Jaguaribe	1,630	<0,001		1,640	<0,001	
Morada Nova	2,980	<0,001		3,030	<0,001	

Fonte: dados da pesquisa

Por fim para toda a produção de Bovino, Caprino, Ovino e Suíno (Tabelas 37 a 40) não foi identificado nenhuma variável climática significativa, apenas o ano, indicando uma variação natural da produção ao longo do tempo, e a região, por motivos de infraestrutura provavelmente. Mas o fator climático não causou nenhum impacto relevante nesse tipo de produção.

Os resultados da regressão só confirmam de uma maneira mais específica todas as conclusões encontradas com a análise de correlação de Pearson. Em resumo o fator climático afeta a produção principalmente de feijão e milho, e as produções mais relacionadas a pecuária não foram significativamente impactadas por esses fatores climáticos estudados.

6 CONCLUSÃO

Evidencia-se que as unidades geomorfológicas de maior destaque no Núcleo de Desertificação do Médio Jaguaribe são: A chapada do Apodí (leste de Alto Santo); O maciço do Pereiro (leste de Jaguaribe e Jaguaribara); Tabuleiros interiores (leste de Jaguaretama, oeste de Alto Santo e centro-norte de Morada Nova); Cristas Residuais e Inselbergs (oeste de Jaguaribe e Morada Nova); Sertões (demais porções do núcleo).

Estas unidades geram distintos impactos hidroclimáticos no núcleo. O maciço do Pereiro, a Chapadas do Apodí e as Cristas Residuais e Inselbergs possuem altitudes ligeiramente superiores às demais porções do núcleo, logo, estas formações tendem a concentrar um volume mais acentuado de precipitações. Em contrapartida, os Sertões e Tabuleiros Interiores, por apresentarem altitudes menos elevadas, possuem menor competência para o acúmulo pluviométrico.

Ficou evidente a pequena variabilidade pluviométrica do núcleo. Este quadro ocorre em decorrência da reduzida amplitude altimétrica observada na região. A partir da ausência de Chapadas e Maciços Residuais de elevada altitude no núcleo, o efeito orográfico destas barreiras é significativamente atenuado, homogeneizando desta maneira o volume de precipitações.

Foi notado que a reduzida variabilidade altimétrica e térmica do núcleo influencia significativamente na distribuição do potencial evapotranspiratório da área de estudo, homogeneizando os volumes de evapotranspiração. As regiões que possuem as maiores altitudes e possuem consequentemente as menores temperaturas, impactam ativamente na redução do potencial evapotranspiratório do núcleo.

A evapotranspiração real segue o padrão de homogeneidade das precipitações e da evapotranspiração potencial, tendo reduzida variabilidade no perímetro do núcleo. A diferença entre o potencial de evapotranspiração e a evapotranspiração real é elevada, atestando a escassez de recursos hídricos existentes no núcleo, que por não possuir umidade no solo em volume e distribuição adequados, evapotranspira um volume muito menor do que o potencial do sistema.

Os volumes máximos e mínimos do excedente hídrico estavam bastante reduzidos, a pequena variação entre ambos evidência o quadro de ausência significativa de recarga hídrica anual no núcleo. Este excedente hídrico reduzido é resultante da baixa concentração pluviométrica local associada aos solos tipicamente rasos e pedregosos presentes nesta região.

Os volumes máximos e mínimos de déficit hídrico se apresentaram bem elevados, e com pequena variação entre ambos. Este quadro demonstra a crise hídrica na qual o Núcleo de desertificação do Médio Jaguaribe está inserido, apresentando uma deficiência hídrica muito superior ao volume de precipitação total anual.

As precipitações nos anos-padrão se acentuaram de acordo com a passagem do ano super seco para o super úmido. Os maiores volumes de precipitação se concentraram majoritariamente no Maciço do Pereiro, Chapada do Apodi, e nas Cristas Residuais e Inselbergs.

Durante os anos padrão, foram registrados excedentes hídricos significativos apenas nos anos Habitual, Úmido e Super Úmido. Os maiores volumes de excedente hídrico estavam concentrados principalmente na Chapada do Apodi, Cristas Residuais e Inselbergs. O maciço do Pereiro não obteve grande destaque na acumulação de excedentes hídricos.

O déficit hídrico permaneceu elevado durante todos os anos-padrão, não havendo nenhum ano em que seu valor não fosse expressivo. As deficiências hídricas ocorreram com maior intensidade nos sertões de Morada Nova, Jaguaribara e no platô da Chapada do Apodi.

Com relação ao balanço hídrico interanual, os excedentes hídricos ocorreram predominantemente nos meses em que houve maior precipitação, ou no mês posterior. Este quadro ocorre, pois, a partir de um maior acúmulo pluviométrico mensal, o solo pode corrigir suas deficiências hídricas e posteriormente exceder sua capacidade de armazenamento hídrico (CAD), produzindo desta forma excedente hídrico.

Os déficits hídricos foram mais elevados durante o período de setembro a dezembro. Isto decorre da ausência ou redução drástica de precipitações durante estes meses. Logo, a partir da maior escassez pluviométrica durante este período, o déficit se acentua.

No tocante as lavouras temporárias, evidencia-se que os veranicos possuem um grande impacto sobre as perdas de safra do milho e feijão no núcleo, entretanto, outros fatores podem influenciar nestas perdas, podemos citar: secas, excesso de chuvas, altas temperaturas, pragas e manejo inadequado das lavouras.

Evidencia-se que não há correlação significativa entre o PIB agropecuário e as variações do indicador de veranicos.

De maneira geral, observaram-se correlações mais expressivas entre as variáveis climáticas e a produção agrícola (Feijão e Milho), enquanto a produção pecuária (Bovino, Caprino, Ovino, Suíno, Leite, Mel) e florestal (Carvão vegetal e Lenha) apresentam correlações mais fracas ou não significativas com os fatores climáticos analisados.

O indicador de veranicos foi a variável climática que demonstrou maior impacto na produtividade das lavouras temporárias (Milho e Feijão), indicando que períodos prolongados de seca durante a estação chuvosa são os principais agentes climáticos responsáveis pela perda de produtividade agrícola. Este fato foi atestado no modelo de regressão linear univariado e multivariado.

De acordo com o modelo de regressão linear multivariado; os excedentes e déficits hídricos não demonstraram impacto significativo na produção de milho e feijão; O clima úmido é benéfico para a elevação da produção de milho; O clima super seco impactaativamente redução da produtividade do feijão; O clima seco impactaativamente na redução da produtividade do milho.

Os resultados da regressão só confirmam de uma maneira mais específica todas as conclusões encontradas com a análise de correlação de Pearson. Em resumo, o fator climático afeta a produção principalmente de feijão e milho, e as produções mais relacionadas à pecuária não foram significativamente impactadas por esses fatores climáticos estudados.

Esta pesquisa tem como principal contribuição o diagnóstico dos principais impactos e repercuções da dinâmica do balanço hídrico climatológico no sistema agropecuário do núcleo, sugerindo as ações de combate à desertificação do Zoneamento Ecológico Econômico da ASD do Médio Jaguaribe.

A tese proposta se confirmou durante a execução da pesquisa, as características edáficas e geomorfológicas, em associação com seu respectivo balanço hídrico climatológico, e histórico de uso e ocupação, são eficientes indicadores das potencialidades e limitações dos sistemas agropecuários dos Núcleos de Desertificação.

Outros trabalhos devem ocorrer para aprofundar as discussões aqui apresentadas, investigando outros condicionantes e indicadores que possam afetar as potencialidades e limitações dos sistemas agropecuários dos núcleos de desertificação.

REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A. N. Problemática da desertificação e da savanização no Brasil intertropical. **Geomorfologia**, São Paulo, n. 53, p. 1-20, 1977.
- AB'SABER, A. N. **Os Domínios de Natureza do Brasil**: potencialidades paisagísticas. São Paulo: Ateliê Editorial, [s. l.], 2003. 159 p.
- AB'SABER, A.N. **O domínio Morfoclimático das Caatingas Brasileiras**. São Paulo: Instituto de Geografia, USP, Geomorfologia, 1974. 43 p.
- ALBUQUERQUE, U.P. 2010. Caatinga: biodiversidade e qualidade de vida. **NUPEEA**, Bahia, v. 2. n. 2, p. 113-120, 2010.
- ALVES, J. J. A.; ARAÚJO, M. A.; NASCIMENTO, S. S. Degradação da caatinga: uma investigação ecogeográfica. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 22, n. 3, p. 126-135, 2009.
- ALVES, J. J. A.; NASCIMENTO, S. S.; SOUZA, E. N. Núcleos de desertificação no estado da Paraíba. **Raega**, v. 17, p. 139-152, 2009.
- ALVES, J.M.B.; SERVAIN, J.; CAMPOS, J.B. Relationship between ocean climatic variability and rain-fed agriculture in northeast Brazil. **Climate Research**, United States, v. 38, n. 5, p. 225-236, 2009.
- ALVES, Jose Jakson Amâncio. Geoecologia da caatinga no semiárido do Nordeste brasileiro. CLIMEP: **Climatologia e Estudos da Paisagem**, Rio Claro, v.2, n.1, p. 58-71, 2007.
- ANDRADE-LIMA, D. A. The caatinga dominium. **Rev. Bras. Bot.** Rio de Janeiro, v.4, n.1, p. 149-153, 1981.
- ANGELOTTI, F.; FERNANDES JÚNIOR, P. I.; SÁ, I. B. Mudanças Climáticas no Semiárido Brasileiro: Medidas de Mitigação e Adaptação. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 06, p. 1097-1111, 2011.
- ARAUJO, K. D. **Análise da vegetação e organismos edáficos em áreas de caatinga sob pastejo e aspectos socioeconômicos e ambientais de São João do Cariri – PB**. 2010. 166 f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) – Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2010.
- ARONOFF, S. **Geographic information systems: a management perspective**. Ottawa, WDL Publications, 1989. 295 p.
- ASSEMBLEIA LEGISLATIVA DO ESTADO DO CEARÁ. **Cenário atual dos recursos hídricos do Ceará**. Fortaleza: INESP, 2008.
- BALDO, M.C. **Variabilidade pluviométrica e a dinâmica atmosférica na bacia hidrográfica do rio Ivaí – PR**. 2008. 172 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Pró-reitora de Pesquisa e Pós-graduação, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente. 2008.

BARBOSA, P. A. C. **Qualidade física do solo submetido à prática de pousio em área sob processo de desertificação.** 2017. 87 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

BARGAOUI, Z. K.; CHEBBI, A. Comparison of two kriging interpolation methods applied to spatiotemporal rainfall. **Journal of Hydrology**, v.365, n. 1-2, p. 56-73, 2009.

BARROS, Antônio Cardoso do Rêgo. Plano da SUDENE para o desenvolvimento da cultura do algodão – 1961 e 1962. **Coleção Mossoroense**, Mossoró: ESAM, 1988.

BARROS, Kelly de Oliveira. A Pesquisa em Desertificação no Brasil: Cenários e Perspectivas. **Geografia: Ensino e Pesquisa**, Santa Maria, v. 1 2, n. 2, p.46-52, 2008.

BERGAMASCHI, H. **Agrometeorologia aplicada à irrigação.** Porto Alegre: Editora Universitária/UFRGS, 1992. 125 p.

BLACK, P. Revising the Thornthwaite and Mather water balance. **Journal of the American Water Resources Association**, v.43, p.1604-1605, 2007.

BLAIN, G.C. Considerações estatísticas relativas à oito séries de precipitação pluvial da secretaria de agricultura e abastecimento do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.24, p.12-23, 2009.

BERTRAND, G. **Paisagem e geografia física global:** esboço metodológico, [s. l.] Caderno de ciências da terra, n.13, 1971.

BRASIL. **Convenção das Nações Unidas de combate à desertificação.** Brasília, Distrito Federal: MMA/SRH, 2006. 188 p.

BRASIL. MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca. PAN-BRASIL.** Edições MMA. Brasília, 2004.

BRASIL. MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Atlas das áreas susceptíveis à desertificação do Brasil.** Edições MMA. Brasília, 2007.

BRASIL. Secretaria de Recursos Hídricos. **Programa de Ação Estadual de Combate à Desertificação e mitigação dos efeitos da seca (PAE-CE).** Fortaleza. Ministério do Meio Ambiente, 2010. 372 p.

CABRAL, R. M; CEZARIO, A. R. V; OLIVEIRA, V. P. V.; SOUSA, M. L. M. **Disponibilidade e Escassez Hídrica no Ceará; uma análise sobre o caso do Açude Castanhão (2011/2016).** XIX Encontro de rede de estudos ambientais em países de língua portuguesa: desenvolvimento e sustentabilidade frente às mudanças climáticas globais. Fortaleza: Ed. UFC, v.1, n. 2, 2018.

CARVALHO, Glauco; OLIVEIRA, Clesiane. Indústria de laticínios: Brasil no contexto internacional. *In. Revista Agroanalysis*, Edição 51, ago. 2010.

CASAGRANDE, A.; SOUZA, E. B. C. O espaço e a demografia: o planejamento regional em perspectiva nas margens paranaenses do Lago de Itaipu. **Sociedade e Território**, v. 24, n. 1, p. 2-27, 2012.

CAVALCANTE, A. M. B. Paisagens insulares no semiárido do estado do Ceará. **Revista de Geografia** Recife, v. 29, n. 3, p.163-177, 2012.

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

CIRILO, J. A. Políticas públicas de recursos hídricos para o semiárido. **Revista Estudos avançados** 22, São Paulo, v. 13, n. 5, p. 120-130, 2018.

COLVILLE, P. G. **Condicionantes climáticas desertificação**. Talca: Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Talca, Chile, 1987.

CONTI, J. B. A questão climática do nordeste brasileiro e os processos de desertificação. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.1, n.1, p.07-14, 2005.

CONTI, J. B. Geografia e Paisagem. **Ciência e Natura**, v. 36, Ed. Especial. Santa Maria: 2014.

CONTI, J. B. **O Conceito de Desertificação**. Climatologia e Estudos da Paisagem. Rio Claro, v. 3, n. 2, p. 39-52, jul/dez. 2010.

CONTI, J.B. As relações sociedade/natureza e os impactos da desertificação nos trópicos. **Cadernos Geográficos**, Florianópolis, 2002.

CONTI, José Bueno. O conceito de desertificação. **Revista Climatologia e Estudos da Paisagem**. Rio Claro, v. 3, n. 9, p. 40-50, jul/dez. 2008.

CORTEZ, H.S.; LIMA, G.P.; SAKAMOTO, M.S. **A seca 2010-2016 e as medidas do Estado do Ceará para mitigar seus efeitos**. Brasília, DF, v. 22, n. 44, p. 83-118, 2017.

DUQUE, J. Guimarães. **O Nordeste e as lavouras xerófilas**. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 1964.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2006.

FAUSTINO, J. C. S.; LIMA, P. V. P. S. Evolução da dinâmica do uso da terra entre 1985 a 2019 no estado do Ceará. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, [S. l.], v. 13, n. 1, p. 195–210, 2022.

FERREIRA, Antonio Geraldo.; MELLO, Namir Giovanni da Silva. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região Nordeste do Brasil e a influência dos oceanos pacífico e atlântico no clima da região. **Revista Brasileira de Climatologia**. v. 1, dez. 2005.

FERREIRA, Yrvng Brandão. **Balanço hídrico climatológico como ferramenta de análise hidroclimática de núcleos de susceptibilidade a desertificação**. 2021. 195 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2021.

FERREIRA, Yrving Brandão. **Uso do balanço hídrico climatológico como ferramenta de gestão dos recursos hídricos em Canindé-Ce.** 2017. 93 f. Monografia (Graduação em Geografia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

FREITAS, Débora Gaspar Feitosa; KHAN, Ahmad Saeed; SILVA, Lúcia Maria Ramos. Nível tecnológico e rentabilidade de produção de mel de abelha (*Apis mellifera*) no Ceará. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 42, n. 1, p. 171-188, 2004.

FUNCEME. **Caracterização das bacias hidrográficas do estado do Ceará.** Fortaleza, 2009.

FUNCEME. **Mapeamento dos Espelhos D'água do Brasil.** Fortaleza: Funceme, 2008.

FUNCEME. **Relatório de Normais Mensais: Estado do Ceará.** Fortaleza: Ed. Funceme. 2005. 12 p.

FUNCEME. **Zoneamento ecológico-econômico das áreas susceptíveis à desertificação do estado do Ceará:** Núcleo I –Irauçuba Centro-Norte. Fortaleza: Expressão Gráfica, 2015.

GALVANI, E.; LUCHIARI, A. Critérios para classificação de anos com regime pluviométrico normal, seco e úmido. In: GALVANI, E.; LIMA, N.G.B. **Climatologia Aplicada: Resgate aos estudos de caso.** Curitiba: Editora CRV, 2012.

GIRÃO, R. **História econômica do Ceará.** 2. ed. Fortaleza: UFC/Casa de José de Alencar/Programa Editorial, 2000.

GLANTZ, M. H. Droughts issues for the 1990's. Climatic Change: Science, Impacts and Policy. **Proceedings of the Second World Climate Conference.** W.M.O., 199, p.253-262.

GUERRA, Maria Daniely Freire. **A problemática da desertificação nos sertões do Médio Jaguaribe, Ceará:** o contexto do município de Jaguaribe. 2009. 170f. Dissertação (Mestrado em Geografia) -Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza.

GUILHERME, L. R. G.; LIMA, J. M.; LOPES, A. S; ALVAREZ, V. H. (org.). Tópicos em Ciência do Solo. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.3, p.165- 208, 2003.

HABERLANDT, U. Geostatistical interpolation of hourly precipitation from rain gauges and radar for a large-scale extreme rainfall event. **Journal of Hydrology**, v. 332, n. 1-2, p. 144-157, 2007.

HASTENRATH, S. Exploring the climate problems of Brazil's Nordeste: a review. **Climate Change**, Universidade de Wisconsin - EUA, v. 112, n. 2, p. 243-251, 2012.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico de Uso da Terra.** IBGE, 2006.

IGNÁCIO, Sérgio Aparecido. Importância da estatística para o processo de conhecimento e tomada de decisão. **Revista Paranaense de Desenvolvimento-RPD**, n. 118, p. 175-192, 2010.

JENSEN, J. R.; COWEN, D. C. Remote Sensing of Urban/Suburban Infrastructure and Socio-Economic Attributes. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Bethesda, v.65, p.611-622, 1999.

KAR, Amal; AJAI; DWIVEDI, R. S. **Desertification**. 2016. Disponível em: <http://www.libraryindex.com/ pages/3239/Deserts.html#ixzz19QOe5Vv2>. Acesso em: 10 jan. 2020.

L.S. (org.). **Cabo Verde**: análise socioambiental e perspectivas para o desenvolvimento sustentável em áreas semiáridas. Fortaleza: Edições UFC, 2012.

LACERDA, M. A. D; LACERDA, R. D. O cluster da fruticultura no polo Petrolina/Juazeiro. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Campina Grande, v. 4, n. 1, 2004. 17 p.

LEMOS, J.J.S. Níveis de Degradação no Nordeste Brasileiro. **Revista Econômica do Nordeste**, Fortaleza, v.32, n. 3, p. 406-429, 2001.

LIMA, J. R. **Uma proposta de delimitação da área de degradação/desertificação de Canindé, Ceará**. (Mestrado em Geografia) Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2015.

LIMA, J. R.; CORDEIRO, A. M. N.; BASTOS, F. H. A influência dos aspectos geomorfológicos nas áreas degradadas susceptíveis à desertificação no estado do Ceará, Brasil. **Paisageme Ambiente**, n. 38, p. 57-69, 2016.

LIMA, J. R.; MAGALHÃES, A. R **Governança ambiental no Brasil: instituições, atores e políticas públicas**. Brasília: Ipea, 2016.

MALVEZZI, Roberto. **Semiárido**: Uma Visão Holística. Brasília: Confea, 2007, p. 106.

MARCUZZO, F. F. N.; ANDRADE, L. R.; MELO, D. C. R. Métodos de Interpolação Matemática no Mapeamento de Chuvas do Estado do Mato Grosso. **Revista Brasileira de Geografia Física**, América do Norte, v.4, n.4, p. 696-710, 2011.

MARENGO, J. A. **Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade**: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. Brasília: MMA, 2008.

MARENGO, J.A., TORRES, R.R.; ALVES, L.M. Drought in Northeast Brazil: past, present, and future. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 129, n. 3/4, p. 1189-1200, 2016.

MATALLO JR, H (org.). **Desertificação**. Brasília: UNESCO, 2003.

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

MATALLO JUNIOR., H. A desertificação no mundo e no Brasil: SCHENKEL, C. S. Matemática no Mapeamento de Chuvas do Estado do Mato Grosso. **Revista Brasileira de Geografia Física**, América do Norte, v.4, n.4, p. 696-710, 2011.

Melo, M. L. **Paisagens do nordeste de Pernambuco e Paraíba**. Rio de Janeiro: Editora Nacional, 1958. 325 p.

MELO, R. F.; VOLTOLINI, T. V. Agricultura familiar dependente de chuva no Semiárido. Brasília, DF: **Embrapa Semiárido** - Livro técnico (INFOTECA-E), 2019.

MELO, Rogério Oliveira. Susceptibilidade à compactação e correlação entre as propriedades físicas de um neossolo sob vegetação de caatinga. **Revista Caatinga**, Mossoró, v.21, n.5 (Número Especial), p.12-17, dez. de 2008.

MELO, Wagner Miranda de. **Desertificação e Economia no Núcleo do Seridó**. 2017. 45 f. TCC (Graduação) - Curso de Agronomia, Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Areia-PB, 2017.

MENDES, A. F. **Contextualização e interdisciplinaridade na utilização da matemática no estudo de fenômenos climáticos e meteorológicos**. 2010. 53 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Programa de Pós-Graduação em Educação Agrícola, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - Instituto de Agronomia. Seropédica – RJ, 2010.

MENDES, C.M.V. Política do IBAMA para Produtores de Carvão com Plano de Manejo Florestal no Semi-Árido Nordestino: Uma Análise pela Abordagem Principal-Agente. **Revista Economia** , v.12, n.2, p.263–279, 2011.

MENDONÇA, Francisco.; DANNI-OLIVEIRA, Ines M. **Climatología: noções básicas e climas do Brasil**. v. 1. São Paulo: Oficina de Texto, 2007. 206 p.

MÉREGA, J. L. El Problema de la Desertificación. In: **Desertificación y Sociedad Civil**. Argentina: Fundación Del Sur, 2003.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. SANTANA, M. O (org.). **Atlas das áreas susceptíveis à desertificação do Brasil**. Brasília: Ed: MMA - Ministério do Meio Ambiente, 2007.

MONTEIRO, C. A. F. **On the desertification in the NortheastBrazil and man's role in this process**. Latin American Studies nº 9. Ibaraki, The University of Tsukuba, Japan, 1988.

MONTEIRO, C.A. F. **Clima e excepcionalismo**: Conjecturas sobre o desempenho da atmosfera como fenômeno geográfico. Florianópolis. Ed. UFCS, 1991, p. 1-233.

MONTEIRO, Carlos Augusto de Figueiredo. O estudo geográfico do clima. **Cadernos Geográficos**, Florianópolis, ano1, n.1, maio, 1999.

Moro, M. F. **Vegetação, unidades fitoecológicas e diversidade paisagística do estado do Ceará**. Rodriguésia, Rio de Janeiro, 66, 717–743.

NAÇÕES UNIDAS. **Convenção das nações Unidas de combate à desertificação nos países afetados por seca grave e/ou desertificação, particularmente na África**. Brasilia: MMA, 1997.

NASCIMENTO, Flávio Rodrigues do. **Degradação Ambiental e desertificação no Nordeste brasileiro**: o contexto da bacia hidrográfica do rio Acaraú-Ceará. 2006. 340 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Geografia, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2006.

OBERMAIER, M. **Velhos e Novos dilemas nos sertões**: Mudanças Climáticas, Vulnerabilidade e Adaptação no Semiárido Brasileiro. 2011. 167 f. Tese (Doutorado em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

OCHIENG, J.; KIRIMI, L.; MATHENGE, M. Effects of climate variability and change on agricultural production: The case of small-scale farmers in Kenya. **NJAS-Wageningen Journal of Life Sciences**, v. 77, p. 71-78, 2016.

OLAYIDE, O. E.; TETTEH, I. K.; POPOOLA, L. Differential impacts of rainfall and irrigation on agricultural production in Nigeria: Any lessons for climate-smart agriculture. **Agricultural water management**, v. 178, p. 30-36, 2016.

Oliveira, J. A. M., Oliveira, C. M. M. 2019. Balanço hídrico climatológico e classificação climática para o município de Arinos-MG. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada** [online] 12. Disponível: <https://doi.org/10.7127/rbai.v12n600901>. Acesso em: 20 mar. 2023.

PASSOS, M. L. F. Balanço hídrico climatológico e classificação climática para o município de Balsas-Ma. **Scientia Agraria**, v. 18, n. 1, p. 83-89, 2017.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. **Agrometeorologia**: fundamentos e aplicações práticas. Guaíba: Agropecuária, 2002. 487 p.

PRADO JUNIOR, Caio. **História Econômica do Brasil**. 4. ed. São Paulo: Brasiliense, 1960.

QUARANTA, G. Agricultura de sequeiro. Land care in desertification affected areas: From science towards application. **Folheto série C**, n. 4, p.3, 2013. Disponível em: http://geografia.fcsh.unl.pt/lucinda/Leaflets/C4_Leaflet_PT.pdf. Acesso em: 10 set. 2020.

RADAMBRASIL, P. **Levantamento de Recursos Naturais**; Ministério das Minas e Energia, Departamento Nacional da Produção Mineral, Projeto Radambrasil: Brasília, Brasil, 1973.

RODRIGUES, Iohanna Bezerra. **Análise dos veranicos e vulnerabilidade à produção de milho e feijão nos Inhamuns-CE**. 2016. 150 f. Dissertação (Mestrado em Geografia)-Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.

SALVIANO, J. I. A.; PRAXEDES, A. L. F.; LEMOS, J. J. S. Sinergias entre as instabilidades pluviométricas e a produção de lavouras de sequeiro no semiárido cearense. **Revista Cerrados**, Brasília, v. 18, n. 2, p. 371-394, nov. 2021.

SAMPAIO, E.V.S.B.; SAMPAIO, Y.; VITAL, T.; ARAÚJO, M.S.B.; SAMPAIO, G.R. **Desertificação no Brasil**: Conceitos, núcleos e tecnologias de recuperação e convivência. Recife, UFPE, 2003. 202 p.

SANTANA, E. W. **Caderno regional da Sub-bacia do Alto Jaguaribe, Conselho de Altos Estudos e Assuntos Estratégicos, Assembleia Legislativa do Estado do Ceará.** Fortaleza: INESP, 2009.

SANTANA, E. W. **Caderno regional da Sub-bacia do Baixo Jaguaribe, Conselho de Altos Estudos e Assuntos Estratégicos, Assembleia Legislativa do Estado do Ceará.** Fortaleza: INESP, 2009.

SANTANA, E. W. **Caderno regional da Sub-bacia do Banabuiú, Conselho de Altos Estudos e Assuntos Estratégicos, Assembleia Legislativa do Estado do Ceará.** Fortaleza: INESP, 2009.

SANTANA, E. W. **Caderno regional da Sub-bacia do Médio Jaguaribe, Conselho de Altos Estudos e Assuntos Estratégicos, Assembleia Legislativa do Estado do Ceará.** Fortaleza: INESP, 2009.

SANTANA, E. W. **Caderno regional das bacias Metropolitanas, Conselho de Altos Estudos e Assuntos Estratégicos, Assembleia Legislativa do Estado do Ceará.** Fortaleza: INESP, 2009.

SANTOS, G. O. Balanço hídrico como ferramenta ao planejamento agropecuário para a região de Marinópolis, noroeste do estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 4, n. 3, p. 142-149, out./dez. 2010.

SCHNEIDER, H.; DA SILVA, C. A. O uso do modelo box plot na identificação de anos-padrão secos, chuvosos e habituais na microrregião de Dourados, Mato Grosso do Sul. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 27, p. 131-146, 2014.

SENTELHAS, P.C.; SANTOS, D.L. MACHADO, R.E. Water deficit and water surplus maps for Brazil, based on FAO Penman-Monteith potential evapotranspiration. **Revista Ambiente e Água**, v.3, p.28-42, 2008.

SILVA, F. A. S.; RAO, T. V. R. Regimes pluviais, estação chuvosa e probabilidade de ocorrência de veranicos no Estado do Ceará. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.**, Campina Grande, v. 6, n. 3, p. 440-446, dez. 2002. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S141543662002000300010&lng=pt&nrm=iso. Acesso em: 10 mar. 2021.

SILVA, F. D. V; CARVALHO, R. M; CAMPOS, R. T. Eficiência e rentabilidade da produção de leite no Estado do Ceará: uma aplicação de fronteira estocástica. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília: SOBER, 2010, p.1-22.

SILVA, R. M. A. **Entre o Combate à Seca e a Convivência com o Semiárido:** transições paradigmáticas e sustentabilidade do desenvolvimento. Brasília, 2006. 298 p. Tese de Doutorado. Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília. 2006.

SILVA, R.F.V. Veranicos no Ceará e Aplicações para Agricultura de Sequeiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35 n. 3, 435-447, 2020.

SOUZA, M. J. N. *et al.* **Zoneamento ecológico-econômico das áreas de influência do reservatório da Barragem Castanhão-Ceará.** CETREDE/UFC/DNOCS. Fortaleza, 2006.

SOUZA, M. J. N. *et al.* **Diagnóstico e Macrozoneamento Ambiental do Ceará**. Diagnóstico Geoambiental. v. 2. Fortaleza, 1998.

SOUZA, S. S. **Impactos climáticos regionais da mudança de vegetação no semiárido do Nordeste brasileiro**. 211 f. Tese (Doutorado em Meteorologia) - INPE, São José dos Campos, 2006.

SOUZA, M. J. N. Limitações Geoambientais ao Desenvolvimento Sustentável no Semiárido brasileiro: LUZÓN, J.L.; STADEL, C.; BORGES, C. **Transformaciones Regionales y Urbanas en Europa y América Latina**. Barcelona: Publications Universitat de Barcelona, 2003. p. 143-152.

SUERTEGARAY, D. M. A.; GUASSELLI, L. A.; VERDUM, R. (org.). **Atlas da arenização -Sudoeste do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre/RS: Secretaria da Coordenação e Planejamento, 2001. 85 p.

TAVARES, A. C. Critérios de escolha de anos padrões para análise rítmica. **Geografia**, n.1, v. 1, Rio Claro, abril 1976, p. 79-87.

THORNTHWAITE, C.W. **An approach toward a rational classification of climate**. Geographical Review, New York, v.38, n.1, p.55-94, 1948.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. **The water balance**. Centerton, NJ: Drexel Institute of Technology - Laboratory of Climatology, 1955. 104 p.

TINÓCO, I. C. M.; BEZERRA, B. G.; LUCIO, P. S.; BARBOSA, L. D. M. Caracterização dos padrões de precipitação no Semiárido brasileiro. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 41, n. 2, p. 397-409, 2019.

TRAVASSOS, I. S.; SOUZA, B. I.; SILVA, A. B. Secas, desertificação e políticas públicas no semiárido nordestino brasileiro. **Revista Okara: Geografia em Debate**, v. 7, n. 1, p. 147-164.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE, 1977.

TUBELIS, A. **Conhecimentos práticos sobre clima e irrigação**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2001. 215 p.

TUCCI, Carlos E. M. (org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2 ed. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS: ABRH, 2000. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos; v.4).

VASCONCELOS SOBRINHO, J. **Metodologia para Identificação de Processos de Desertificação**. Recife, Sudene, 1978.

VASCONCELO SOBRINHO, J. **O processo de desertificação do Nordeste**. Brasília, Senado Federal. Brasília. 1976.

VEADO, R. A. **O Geossistema**: Embasamento Teórico e Metodológico (Relatório de qualificação). UNESP: Rio Claro, 1995.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v. 1, p. 1-54.

XIMENES, L. J. F. Efeitos da ocorrência de secas sobre Indicadores Agropecuários do Estado do Ceará. **Informe Rural**, Fortaleza, v. 7, n. 1. 2013. Disponível em: <https://www.bnb.gov.br/documents/80223/800705/ano+7-01.pdf/6003ae87-27a7-e1b0-b995-2478518199bd>. Acesso em: 24 jun. 2021.

ZANELLA, M. E. Considerações sobre o clima e os recursos hídricos do semiárido. **Caderno Prudentino de Geografia**. Presidente Prudente, v. especial, n.36, p.126-142, 2014.