



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
E GESTÃO DE RECURSOS NATURAIS**

**PRODUÇÃO AGRÍCOLA IRRIGADA
DA REGIÃO DO MÉDIO CURSO DO RIO PARAÍBA E OS
RISCOS CLIMÁTICOS**

Paulo Roberto Megna Francisco

**CAMPINA GRANDE-PB
2024**

PAULO ROBERTO MEGNA FRANCISCO

**PRODUÇÃO AGRÍCOLA IRRIGADA
DA REGIÃO DO MÉDIO CURSO DO RIO PARAÍBA E OS RISCOS CLIMÁTICOS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão em Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos para obtenção do título de “Doutor em Engenharia de Recursos Naturais”, Área de Concentração Engenharia.

Orientadora: Profa. Dra. Viviane Farias Silva

**CAMPINA GRANDE - PB
2024**

F819p Francisco, Paulo Roberto Megna.
Produção agrícola irrigada da região do médio curso do rio Paraíba e os
riscos climáticos/Paulo Roberto Megna Francisco.
– Campina Grande, 2024.

161 f.: il. color.

Tese (Doutorado em Engenharia e Gestão em Recursos Naturais) -
Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos
Naturais, 2024.

“Orientação: Profa. Dra. Viviane Farias Silva”

Referências.

1. Zoneamento Agrícola. 2. Mapeamento de irrigação. 3. Classificação
técnica. 4. Krigagem. 5. Mapeamento. I. Francisco, Paulo Roberto Megna. II.
Título.

CDU 631.67(043)



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
POS-GRADUACAO EM ENGENHARIA E GESTAO DE RECURSOS NATURAIS
Rua Aprigio Veloso, 882, - Bairro Universitario, Campina Grande/PB, CEP 58429-900

FOLHA DE ASSINATURA PARA TESES E DISSERTAÇÕES

Paulo Roberto Megna Francisco

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO/TESE "PRODUÇÃO AGRÍCOLA IRRIGADA DA REGIÃO DO MÉDIO CURSO DO RIO PARAÍBA E OS RISCOS CLIMATICOS"

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais como pré-requisito para obtenção do título de Doutor Engenharia e Gestão de Recursos Naturais.

Aprovada em: 13/11/2024

Dr.(a.) **Viviane Farias Silva** (Orientador PPGEGRN).

Dr.(a.) **George do Nascimento Ribeiro/PPGEGRN**(Examinador Interno).

Dr.(a.) **Vera Lucia Antunes de Lima/PPGEGRN** (Examinador Interno).

Dr.(a.) **Djail Santos/UFPB/CCA/AREIA** (Examinador Externo).

Dr.(a.) **Flavio Pereira de Oliveira/UFPB/CCA/AREIA** (Examinador Externo).



Documento assinado eletronicamente por **VIVIANE FARIAS SILVA, COORDENADORA DE PÓS GRADUAÇÃO**, em 28/11/2024, às 16:49, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **GEORGE DO NASCIMENTO RIBEIRO, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 28/11/2024, às 16:57, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **VERA LUCIA ANTUNES DE LIMA, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 28/11/2024, às 17:36, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **Flávio Pereira de Oliveira, Usuário Externo**, em 04/12/2024, às 00:45, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **Djail Santos, Usuário Externo**, em 10/12/2024, às 23:07, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.ufcg.edu.br/autenticidade>, informando o código verificador **4977050** e o código CRC **28D45906**.

Portanto, vede prudentemente como andais,
não como néscios, mas como sábios.
Por isso, não sejais insensatos,
mas entendei qual seja
a vontade do Senhor.

Efésios 5:15,17

Ao meu pai Nércio Francisco
“in memoriam”

Dedico

AGRADECIMENTOS

Ao Criador pela vida e a Jesus pela misericórdia.

Aos meus pais pela educação, formação e exemplo de vida.

A minha família pelo companheirismo.

A minha orientadora Viviane por acreditar e confiar em nossas ideias e trabalho.

Aos professores e amigos Djail, Flávio, George e Gypson pelo apoio contínuo.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão em Recursos Naturais pela colaboração e amizade.

Aos amigos da UFCG pela amizade e a todos que, de uma forma ou outra, contribuíram nesta etapa de nossa vida.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fluxograma de trabalho.....	38
Figura 2. Localização da área de estudo e declividade.....	39
Figura 3. Localização e distribuição da área de estudo.	40
Figura 4. Mapa da classificação climática de Köppen da área de estudo.....	41
Figura 5. Mapa de solos da área de estudo.	42
Figura 6. Pluviosidade média anual de 109 anos (mm).....	56
Figura 7. Pluviosidade mensal média de 109 anos (mm).....	57
Figura 8. Boxplot da pluviosidade mensal média (mm).....	59
Figura 9. Boxplot da distribuição acumulada da pluviosidade (mm).....	60
Figura 10. Mapa de restrição quanto (a) salinidade/sodicidade, (b) profundidade efetiva, (c) fertilidade, (d) drenabilidade, (e) declividade, (f) textura, (g) erosão, (h) pedregosidade.	62
Figura 11. Potencial para irrigação da área de estudo.	68
Figura 12. Área irrigada da área de estudo.....	71
Figura 13. Potencial de expansão de adicional irrigável da área de estudo.....	73
Figura 14. Área irrigada declarada.	76
Figura 15. Áreas agrícolas e assentamentos rurais.	77
Figura 16. Municípios produtivos da abóbora.....	82
Figura 17. Municípios produtivos da fava.....	83
Figura 18. Municípios produtivos de feijão.....	84
Figura 19. Municípios produtivos da mandioca.....	85
Figura 20. Municípios produtivos de milho.	87
Figura 21. Municípios produtivos do milho forrageiro.....	88
Figura 22. Municípios produtivos da palma forrageira.....	89
Figura 23. Municípios produtivos do sorgo.....	90
Figura 24. Municípios produtivos do sorgo forrageiro.....	91
Figura 25. Capacidade de retenção de água no solo da área de estudo.....	92
Figura 26. Recomendação para irrigação.	103
Figura 27. Condição climática para o feijão.....	105
Figura 28. Condição climática para a mandioca.....	107
Figura 29. Condição climática para o milho.....	109
Figura 30. Condição climática para a palma forrageira.....	110
Figura 31. Condição climática para o sorgo.....	112
Figura 32. Potencial de produção agrícola para o feijão.	114

Figura 33. Potencial de produção agrícola para a mandioca.	116
Figura 34. Potencial de produção agrícola para o milho.	119
Figura 35. Potencial de produção agrícola para a palma forrageira.	122
Figura 36. Potencial de produção agrícola para o sorgo.....	124

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Área dos municípios na bacia em estudo e sua proporcionalidade	39
Tabela 2. Fatores restritivos dos solos.....	44
Tabela 3. Critérios para o estabelecimento das classes de terras.....	47
Tabela 4. Períodos indicados para semeadura	50
Tabela 5. Classes do cruzamento matricial entre o mapa parcial de potencial de irrigação e o de capacidade de retenção de água no solo	52
Tabela 6. Classes de condição climática	53
Tabela 7. Classes do potencial de produção agrícola das culturas	54
Tabela 8. Precipitação média mensal e anual em milímetros (mm) da área de estudo	55
Tabela 9. Variabilidade estatística da pluviosidade dos municípios pertencentes a bacia	58
Tabela 10. Distribuição das classes de restrição de uso do solo na bacia	62
Tabela 11. Classes de irrigação para a bacia hidrográfica do médio curso do rio Paraíba.....	67
Tabela 12. Área irrigada	75
Tabela 13. Uso da terra e sistemas de manejo	79
Tabela 14. Culturas temporárias – parte 1	82
Tabela 15. Culturas temporárias – parte 2.....	87
Tabela 16. Distribuição das classes de risco climático.....	92
Tabela 17. Período de semeadura da cultura do feijão para cada grupo e tipo de solo	95
Tabela 18. Período de semeadura da cultura da mandioca para cada grupo e tipo de solo.....	96
Tabela 19. Período de semeadura da cultura do milho para cada grupo e tipo de solo.....	98
Tabela 20. Período de semeadura da cultura da palma forrageira para cada grupo e tipo de solo.....	99
Tabela 21. Período de semeadura da cultura do sorgo para cada grupo e tipo de solo	101
Tabela 22. Recomendação para irrigação.....	103
Tabela 23. Classes de condição climática do feijão	106
Tabela 24. Classes de condição climática da mandioca	107
Tabela 25. Classes de condição climática do milho	109
Tabela 26. Classes de condição climática da palma forrageira	111
Tabela 27. Classes de condição climática do sorgo.....	112
Tabela 28. Classes de potencial produção agrícola para o feijão	115
Tabela 29. Classes de potencial de produção agrícola para a mandioca	117
Tabela 30. Classes de potencial de produção agrícola para o milho	120
Tabela 31. Classes de potencial de produção agrícola para a palma forrageira	123
Tabela 32. Classes de potencial de produção agrícola para o sorgo.....	125

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AESA - Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba
ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
BUREC - Bureau of Reclamation Manual
EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ENOS - El Niño/La Niña e Oscilação Sul
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INCRA - Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LEGAL - Linguagem Espaço-Geográfico baseada em Álgebra
MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MAPBIOMAS - Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil
MMA - Ministério do Meio Ambiente
PI – Plano de Informação
SAD69 - South American Datum
SIG – Sistema de Informação Geográfica
SISCAR - Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural
SPRING - Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas
UTM - Universal Transversa de Mercator
VCAN - Vórtices Ciclônicos em Altos Níveis
ZCIT - Zona de Convergência Intertropical

Produção agrícola irrigada da região do médio curso do rio Paraíba e os riscos climáticos.

PAULO ROBERTO MEGNA FRANCISCO. 2024. Orientadora: Dra. Viviane Farias Silva.

RESUMO

O uso adequado do solo é o primeiro passo em direção a uma agricultura sustentável e para isso, deve-se empregar o manejo dos solos de acordo com a sua capacidade de sustentação e produtividade econômica. A presente pesquisa teve como objetivo realizar para a bacia hidrográfica da região do médio curso do rio Paraíba, a avaliação e mapeamento do potencial de produção agrícola irrigada e os riscos climáticos por meio da identificação de áreas rurais, seus fatores restritivos dos solos, o potencial de irrigação e de expansão das terras e sua aptidão para culturas. Foram obtidas séries de dados pluviométricos mensais e anuais de 109 anos e procedida análise por krigagem e geoespacialização. Foi utilizado o Zoneamento Agropecuário do Estado da Paraíba e indicadores municipais de área irrigada e fertirrigada e o banco de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística para as culturas do feijão, mandioca, milho, sorgo e palma. Foi elaborado o Zoneamento Agrícola de Risco Climático mapeando os tipos de solos com a capacidade de retenção de água. Foram elaborados mapas das condições climáticas para as culturas, de potencial de irrigação e capacidade de retenção de água, de potencial de produção agrícola irrigada para as culturas. Os fatores de restrição ao uso das terras com maior ocorrência foram textura, profundidade efetiva e pedregosidade na classe forte, seguida por erodibilidade, declividade e a fertilidade na classe moderada. A aptidão das terras quanto a irrigação seguiu a proporção de uso especial < aráveis com aptidão restrita < não aráveis. Áreas de expansão adicional irrigável foram identificadas nos municípios de Boqueirão e Aroeiras. Áreas agrícolas foram identificadas em 21,42%, com plantio de lavouras temporárias em 12,25%, e com 1.702 ha irrigados. As áreas produtivas identificadas seguiram a proporção do sorgo < mandioca < abóbora < milho forrageiro < feijão-fava < sorgo forrageiro < palma forrageira < milho < feijão comum. Áreas recomendadas quanto a capacidade de armazenamento de água nos solos identificadas em terras seguiram a proporção do tipo 1 < 3 < 2 < áreas Proibidas. As culturas do feijão do sorgo foram indicadas no Zoneamento Agrícola de Risco Climático para os solos do tipo 1, 2 e 3 nos 3 grupos, para todos os municípios; mandioca e palma forrageira recomendadas somente para os municípios de Itatuba e Umbuzeiro; o milho com exceção para o município de Umbuzeiro para o solo tipo 1. Áreas recomendadas para irrigação seguiram a proporção da classe baixa < média < muito baixa. O potencial de produção agrícola irrigada para as culturas seguiu a proporção em área, feijão MA e A < B < M < MB; mandioca MA e A < M < B < MB; milho MB em 100%; palma forrageira B < M < MB; sorgo MA e A < M < B < MB. As maiores limitações observadas foram devidas as condições de exigências hídricas das culturas e de alguma forma aos solos predominantes na área. A irrigação poderá ser realizada desde que se a utilize proveniente de reservatórios naturais ou artificiais, devido à falta de segurança hídrica na região. Por se tratar de uma atividade relativamente complexa, a irrigação deve ser disseminada através de uma ação coordenada e sistemática, levando em conta as áreas sugeridas nesta pesquisa. No caso do melhoramento da deficiência de água para a irrigação, recomenda-se o ajustamento do período do plantio e cultivo das culturas à época de chuvas; seleção de culturas e cultivares mais adaptadas à falta d'água; uso de práticas que assegurem a máxima retenção de água no solo como incorporação de restos vegetais e cobertura do solo assegurando a máxima infiltração e mínima evaporação.

Palavras-chave: Zoneamento Agrícola; mapeamento de irrigação; classificação técnica krigagem, mapeamento.

ABSTRACT

Proper use of soil is the first step towards sustainable agriculture and to achieve this, soil management must be used in accordance with its carrying capacity and economic productivity. The present research aimed to carry out, for the hydrographic basin of the middle course of the Paraíba River, the evaluation and mapping of the potential for irrigated agricultural production and climate risks through the identification of rural areas, their soil restrictive factors, the potential for irrigation and land expansion and their suitability for crops. A 109-year rainfall data series was obtained and kriging and geospatial analysis was performed. The Agricultural Zoning of the State of Paraíba and municipal indicators of irrigated and fertigated areas were used, as well as the database of the Brazilian Institute of Geography and Statistics for the crops of beans, cassava, corn, sorghum, and palm. The Agricultural Zoning of Climate Risk was developed, mapping the types of soils with water retention capacity. Maps of the climatic conditions for the crops, irrigation potential and water retention capacity, and irrigated agricultural production potential for the crops were prepared. The most frequent land use restriction factors were texture, effective depth and stoniness in the strong class, followed by erodibility, slope and fertility in the moderate class. The land suitability for irrigation followed the proportion of special use < arable land with restricted suitability < non-arable land. Areas of additional irrigated expansion were identified in the municipalities of Boqueirão and Aroeiras. Agricultural areas were identified in 21.42%, with temporary crop planting in 12.25%, and with 1,702 ha irrigated. The identified productive areas followed the proportion of sorghum < cassava < pumpkin < corn forage < fava bean < forage sorghum < forage cactus < corn < common bean. Recommended areas regarding soil water storage capacity identified in lands followed the proportion of type 1 < 3 < 2 < prohibited areas. The crops of beans and sorghum were indicated in the Agricultural Zoning of Climatic Risk for soil types 1, 2 and 3 in the 3 groups, for all municipalities; cassava and forage palm recommended only for the municipalities of Itatuba and Umbuzeiro; corn with the exception of the municipality of Umbuzeiro for soil type 1. Areas recommended for irrigation followed the proportion of low < middle < very low class. The potential for irrigated agricultural production for the crops followed the proportion in area, beans VH and H < L < M < VL; cassava VH and H < M < L < VL; corn VL at 100%; forage palm L < M < VL; sorghum VH and H < M < L < VL. The greatest limitations observed were due to the water requirements of the crops and, to some extent, to the predominant soils in the area. Irrigation may be carried out as long as it is used from natural or artificial reservoirs, due to the lack of water security in the region. Since it is a relatively complex activity, irrigation must be disseminated through a coordinated and systematic action, taking into account the areas suggested in this research. In the case of improving water deficiency for irrigation, it is recommended to adjust the planting and cultivation period of crops to the rainy season; select crops and cultivars that are best adapted to the lack of water; use of practices that ensure maximum water retention in the soil, such as incorporation of plant remains and soil cover, ensuring maximum infiltration and minimum evaporation.

Keywords: Agricultural Zoning; irrigation mapping; kriging technical classification, mapping.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	16
2. OBJETIVO GERAL.....	19
2.1. Objetivos específicos.....	19
3. REVISÃO DA LITERATURA.....	20
3.1. Bacia hidrográfica e sua importância.....	20
3.2. Rio Paraíba.....	20
3.3. Classificações técnicas para análise de uso do solo.....	22
3.4. Sistema de Informação Geográfica.....	23
3.5. Linguagem Espaço-Geográfico baseada em Álgebra.....	24
3.6. Interpolação por krigagem: geoestatística.....	25
3.7. Parâmetros das principais culturas do semiárido.....	26
3.7.1. Feijão comum (<i>Phaseolus vulgaris</i>).....	26
3.7.2. Mandioca (<i>Maniõth esculenta Crantz</i>).....	27
3.7.3. Milho (<i>Zea mays L.</i>).....	28
3.7.4. Palma forrageira (<i>Opuntia sp.</i>).....	30
3.7.5. Sorgo (<i>Sorghum bicolor</i>).....	30
3.8. Solos e suas restrições.....	32
3.9. Irrigação e sua potencialidade.....	33
3.10. Risco climático na produção agrícola.....	35
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	38
4.1. Área de estudo.....	38
4.2. Cálculo da pluviosidade.....	42
4.3. Avaliação dos fatores restritivos dos solos.....	44
4.4. Avaliação do potencial de irrigação.....	45
4.5. Áreas irrigadas e potencial de expansão.....	48
4.6. Identificação de áreas agrícolas.....	48
4.7. Avaliação da irrigação e produção agrícola.....	48
4.8. Determinação da aptidão agrícola de risco climático.....	49
4.9. Determinação do potencial de produção agrícola irrigada.....	50
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	55
5.1. Mapeamento da pluviosidade.....	55
5.2. Fatores restritivos dos solos.....	61
5.3. Potencial de irrigação dos solos.....	67
5.4. Irrigação atual e potencial de expansão.....	70
5.5. Mapeamento da área irrigada atual.....	75
5.6. Áreas agrícolas identificadas.....	76
5.7. Mapeamento da produção agrícola.....	78
5.7.1. Abóbora.....	81

5.7.2. Feijão fava	83
5.7.3. Feijão comum	84
5.7.4. Mandioca	85
5.7.5. Milho	86
5.7.6. Milho forrageiro	88
5.7.7. Palma forrageira	88
5.7.8. Sorgo.....	89
5.7.9. Sorgo forrageiro.....	90
5.8. Aptidão agrícola de risco climático - ARC	91
5.8.1. Feijão comum	95
5.8.2. Mandioca	96
5.8.3. Milho	97
5.8.4. Palma forrageira	99
5.8.5. Sorgo.....	100
5.9. Potencial de produção agrícola irrigada	101
5.9.1. Recomendação de áreas para irrigação.....	102
5.9.2. Condição climática das culturas	104
5.9.2.1. Feijão comum	105
5.9.2.2. Mandioca	106
5.9.2.3. Milho	108
5.9.2.4. Palma forrageira	110
5.9.2.5. Sorgo.....	111
5.9.3. Potencial de produção agrícola irrigada das culturas	113
5.9.3.1. Feijão comum	114
5.9.3.2. Mandioca	116
5.9.3.3. Milho	119
5.9.3.4. Palma forrageira	121
5.9.3.5. Sorgo.....	124
6. CONCLUSÃO.....	127
7. RECOMENDAÇÕES.....	129
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	130
ANEXOS	158

1. INTRODUÇÃO

A agricultura é uma atividade econômica dependente, em grande parte, do meio físico. Uma determinada região apresenta várias sub-regiões com distintas condições de solo e clima e, portanto, com diversas aptidões para produzir diferentes produtos agrícolas (Gleriani, 2000; Chagas et al., 2006; Sentelhas & Monteiro, 2009; Shahbazi & Rosa, 2010; Jalloh et al., 2012; Balkrishna et al., 2021).

O uso adequado do solo é o primeiro passo em direção a uma agricultura sustentável (GEO BRASIL, 2002; Oberč & Schnell, 2020; Tugrul, 2020). Para isso, deve-se empregar o manejo dos solos de acordo com a sua capacidade de sustentação e produtividade econômica (Lepsch, 1991; Cui et al., 2019; Wang, 2022).

Nas últimas décadas, a irrigação tem desempenhado papel indispensável ao incremento da produtividade de culturas básicas, possibilitando o desenvolvimento econômico de muitas regiões (Turrall et al., 2010; Chai et al., 2016), e ao mesmo tempo incorporando novas áreas ao processo produtivo, garantindo com isso, o abastecimento interno e ampliando as exportações de produtos agrícolas (Daviron & Gibbon, 2002; Sampaio et al., 2011; Roest et al., 2018).

O uso da irrigação viabiliza a produção agrícola especialmente em áreas áridas e semiáridas, como no caso do Nordeste brasileiro, onde a escassez hídrica representa uma séria limitação para o desenvolvimento socioeconômico (Golla, 2021; Carballo et al., 2022), que se traduz em baixos níveis de renda e padrões insatisfatórios de nutrição, saúde e saneamento de parcela representativa da sua população.

A adoção e a aplicação de metodologias atualizadas de classificação de terras para a irrigação podem permitir o planejamento do uso da terra com vistas ao desenvolvimento sustentável (Smith, 2000; Reidsma et al., 2011; Hewitt et al., 2014; Nguyen et al., 2015; Singh, 2021). Essas ações poderiam minimizar a degradação das terras e/ou a baixa taxa de retorno econômico, que afetam em muitos casos o pleno sucesso dos projetos irrigados (Amaral, 2005; Abdi et al., 2013; Qadir et al., 2014).

Devido à crescente necessidade de um planejamento adequado e sustentável das atividades humanas, o entendimento dos ecossistemas e, principalmente, da prestação de serviços ambientais por esses ambientes tornou-se imperativo (Sanchez et al., 2009; Paetzold et al., 2010; Wu, 2013). O conhecimento dos recursos naturais e seus aspectos (solos, clima, vegetação e relevo) constitui parte do embasamento indispensável para a avaliação do potencial de uso das terras. Estas informações, combinadas com os contextos sociais, econômicos e culturais, levam à possibilidade de análise das oportunidades, das restrições e dos impactos ligados ao uso da terra. Desse modo, é possível identificar áreas com maior ou menor aptidão

para as mais diversas atividades, sejam agrícolas ou não, considerando aspectos de equidade e justiça social e responsabilidade no uso dos recursos naturais, visando benefícios coletivos (Benedetti et al., 2008; Groot, 2004; Lambin & Meyfroidt, 2010).

O zoneamento agrícola é um importante instrumento de política agrícola do Governo Federal, sendo atualmente um norteador da aplicação de crédito e da seguridade rural, em que proporciona aumento de produtividade das lavouras zoneadas, atuando como instrumento de política agrícola (Sans & Guimarães, 2006). Constitui um importante subsídio às atividades que dependem direta ou indiretamente do meio ambiente, pois possibilita o conhecimento de áreas com potencial agrícola para estabelecimento de culturas, minimizando riscos causados por adversidades e definindo desenvolvimento de melhores políticas agrícolas, financiamento, resultando em maior produção (Zhao & Yang, 2018; Maluf et al., 1995; Monteiro, 2009; Assad, 2009).

A precipitação é uma das variáveis mais importantes para a caracterização do clima e para o estudo de impactos hidrológicos face às mudanças climáticas (Monteiro et al., 2021). A América do Sul, como tem grande parte do seu território em área tropical, recebe anualmente volumes elevados de precipitação. Apesar disso, há grande variabilidade temporal e espacial da precipitação (Reboita et al., 2010; Monteiro et al., 2021; Reboita & Ambrizzi, 2022). A região Nordeste tem um histórico de secas (Marengo et al., 2020, Marengo & Bernasconi, 2015), dentre essas, destaca-se a recente seca plurianual na região entre 2011-2018 (Cunha et al., 2018; Marengo et al., 2017).

A Paraíba tem, como características climáticas marcantes, as irregularidades, tanto espacial quanto temporal, do seu regime de chuvas. Essas condições climáticas interferem diretamente na produção de alimentos, fazendo com que haja a necessidade de se buscar aumentar a produção e produtividade das culturas (Menezes et al., 2010), com uma porção significativa de seu território inserida em ambiente semiárido, estas condições, o uso da irrigação desponta como uma importante tecnologia para aumentar a produção e diversidade de culturas agrícolas; contudo, o desenvolvimento de uma agricultura irrigada sustentável, requer a disponibilidade de terras com características favoráveis à essa prática (Francisco et al., 2021).

Na atualidade, diversas pesquisas quanto aos atributos dos solos, utilizam ainda como referência os boletins elaborados na década de 70, no entanto, esta pesquisa intenta geoespacializar alguns dados trazendo informações através de mapas e proporcionando com isto, melhor compreensão desses dados. Com isto, esta pesquisa ao combinar dados de solos e de clima quanto ao risco climático, proporcionará auxílio no planejamento da conservação dos solos e da água, na redução das perdas na produção e menor risco ao produtor, garantindo a

segurança alimentar, auxiliando para o alcance dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), dentre outros.

2. OBJETIVO GERAL

A presente pesquisa tem o objetivo de realizar para a bacia hidrográfica da região do médio curso do rio Paraíba, a avaliação do potencial de produção agrícola irrigada e os riscos climáticos através da identificação de áreas rurais, seus fatores restritivos dos solos, o potencial de irrigação e de expansão das terras e sua aptidão para culturas.

2.1. Objetivos específicos

- Analisar a pluviosidade da bacia hidrográfica da região do médio curso do rio Paraíba;
- Identificar e mapear áreas rurais na bacia hidrográfica da região do médio curso do rio Paraíba;
- Classificar e mapear o potencial de irrigação dos solos e os fatores restritivos dos solos na bacia hidrográfica da região do médio curso do rio Paraíba;
- Averiguar o potencial de expansão de áreas para a irrigação e a produção agrícola irrigada;
- Avaliar a aptidão agrícola de risco climático das principais culturas para uso sustentável da área.
- Contribuir para o planejamento agropecuário de uso e manejo das terras da área estudada.

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1. Bacia hidrográfica e sua importância

No Brasil, o tema bacias hidrográficas tomou ênfase a partir dos estudos de gerenciamento dos recursos hídricos no ano de 1978, com a criação do comitê de estudos integrados de bacias hidrográficas. Na medida em que, o gerenciamento de recursos hídricos passou a ter destaque nos planos políticos nacionais, a bacia hidrográfica passou a ser uma unidade de referência e planejamento (Setti, 1999).

De acordo com Coelho Netto (2005), Lima (2006) e Silveira (2001), bacia hidrográfica é uma área captação natural da água da chuva que drena ou escoam superficialmente a água, sedimentos e materiais dissolvidos que confluem até resultar um leito único no exutório. Conforme Albuquerque et al. (2019), a bacia hidrográfica oferece excelente estrutura para manejo e planejamento dos recursos hídricos, integrando-se com o desenvolvimento de políticas ambientais, sociais e econômicas, e nas regiões onde os recursos solo/água são escassos, regiões áridas e semiáridas, por exemplo o manejo integrado de bacias hidrográficas é essencial devido à complexidade das interações entre esses recursos.

As bacias de drenagem de rios e lagos são os complexos naturais mais difundidos na superfície, com um alto grau de integridade e com divisões bem definidas, tendo um poderoso fator de integração, que é o fluxo de água (Korytny, 2017). Assim, um curso d'água, independentemente de seu tamanho, é sempre o resultado da contribuição de determinada área topográfica, que é a sua bacia hidrográfica (Brigante & Espíndola, 2003).

Diversas pesquisas vêm sendo desenvolvidas em diversas regiões do Brasil, a exemplo de Lämmle et al. (2022), Carvalho et al. (2022; 2021), Ribeiro Neto et al. (2016), Bertini et al. (2015), Valverde e Marengo (2012), Aguiar Neto et al. (2013), Arai et al. (2012), Hepp e Santos (2009) e Migliavacca et al. (2005).

3.2. Rio Paraíba

O rio Paraíba, inserido totalmente no Estado da Paraíba, desaparece parcialmente em épocas de seca, embora a partir de seu médio curso, seja perene. Tem sua nascente na Serra do Jabitacá, no município de Monteiro, região da sub-bacia do Alto Paraíba, ou seja, Cariri Ocidental, a mais de mil metros de altitude, e percorre toda a região centro-sul do Estado (AESAs, 2007). Nesta região de acordo com Souza et al. (2023), apresenta estilo fluvial predominante como Canal Não-Confinado com Barras Arenosas, com planícies de inundação

contínuas em ambas as margens, com até centenas de metros de largura em alguns trechos mais planos. O rio Paraíba banha dezenas de municípios e cidades importantes, passando pela região mais urbanizada e industrializada do Estado. Em sua área de abrangência estão incluídas as cidades de João Pessoa, a capital, e Campina Grande, seu segundo maior centro urbano, como demais cidade importantes para desenvolvimento do Estado (Araújo, 2010).

Compreendendo 380 km de curso no sentido sudoeste-leste, no alto curso recebe entre outros o rio Taperoá, antes de formar o açude Epitácio Pessoa (Boqueirão), enquanto no médio curso tem como principal afluente o rio Paraibinha, que forma o açude de Acauã, e a partir daí passa a correr em seu baixo curso, no qual seus principais tributários são o rio Paroeira e o rio Sanhauá, que separa as cidades de João Pessoa e Bayeux, até desaguar no oceano Atlântico, entre os municípios de Santa Rita, Bayeux, João pessoa, Cabedelo e Lucena. Em seu leito são encontradas várias desembocaduras de outros rios, manguezais, ilhas (Ilha da Restinga, Ilha Stuart, Ilha Tiriri), o Porto de Cabedelo, etc. (Araújo, 2010).

Vários açudes públicos foram construídos na área da bacia do rio Paraíba, com verbas federais e estaduais, dentre eles o açude Epitácio Pessoa, que são utilizados no abastecimento da população e de rebanhos (bovinos, ovinos, caprinos e suínos), irrigação, pesca e em algumas atividades de lazer e de turismo regional. Tais reservatórios são fontes importantes de água para região, principalmente nos períodos de estiagem, pois muitos dos açudes entram em colapso em determinada época do ano, ocasionando conflitos pelo uso dos recursos hídricos e severos problemas de ordem socioeconômica (Araújo, 2010).

O açude Epitácio Pessoa, localizado entre as coordenadas 07°28'04" e 07°33'32" de latitudes sul e entre 36°08'23" e 36°16'51" de longitude oeste, foi construído pelo Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS) nos anos de 1951 a 1956 e inaugurado em janeiro de 1957, no então governo de Juscelino Kubitschek. Tem capacidade de 466.525 milhões de metros cúbicos e profundidade máxima de 25 m, localizado entre os municípios de Boqueirão, Cabaceiras e Barra de São Miguel (AESAs, 2007; 2024).

Este manancial não foi construído para abastecimento e sim para geração de energia e irrigação, após um ano de sua inauguração, por causa de uma crise hídrica na cidade de Campina Grande, passou então a servir para o abastecimento público (DNOCS) (Araújo, 2010).

O nome Boqueirão foi dado ao açude Epitácio Pessoa pelo fato que o rio Paraíba fez, com o passar dos milhares de anos, um corte (uma abertura) na serra do Carnoió formando um "boqueirão". O nome oficial do açude é uma homenagem ao único presidente da república nascido no Estado da Paraíba, o qual, no seu governo, intensificou o programa de açudagem através do Ministério de Viação e Obras Públicas (Souza, 2001).

Na bacia do rio Paraíba, o açude Epitácio Pessoa é o principal reservatório. Em plena região semiárida, este manancial passou, por períodos de escassez que quase causaram colapso do sistema de abastecimento de Campina Grande e região (Araújo, 2010).

Em 2010, o açude após 52 anos de sua construção diminuiu sua capacidade de armazenamento, acumulando de 411.686 milhões de metros cúbicos de água. Desde a sua inauguração, em 1957, o açude Epitácio Pessoa só atingiu a sua capacidade máxima depois de 21 anos, exatamente no dia 7 de março de 1978. Ressalta-se que, de acordo com os dados da AESA, o manancial já sangrou onze vezes (Araújo, 2010).

Conforme Lima (2024), apesar da relevância do açude Epitácio Pessoa, os problemas se agravam com a degradação ambiental pela ação antrópica, gerando riscos de extinção de espécies vegetais e animais nativos da região.

Oliveira (2023), observou em sua pesquisa que, na região que não há uma sustentabilidade da agricultura irrigada após a transposição do Rio São Francisco, e sua pesquisa sugere uma continuidade dos estudos podendo ser de grande contribuição para o conhecimento e incentivos práticos para as comunidades que têm esta demanda de se fortalecer enquanto produtora local.

3.3. Classificações técnicas para análise de uso do solo

As classificações técnicas, também chamadas de interpretativas, são caracterizadas por utilizarem um pequeno número de atributos para separar os indivíduos em classes e atenderem a um determinado objetivo. No caso da classificação técnica ou interpretativa para o uso e manejo das terras, esta consiste na previsão do comportamento dos solos, sob manejos específicos e sob certas condições ambientais (Steele, 1967, *apud* Pereira & Lombardi Neto, 2004). É, normalmente, baseada em interpretação de estudos básicos (levantamentos taxonômicos) de solos (Camargo et al., 1987; EMBRAPA, 2018).

No Brasil os sistemas de classificações técnicas para fins de levantamento do potencial de uso do solo mais conhecidos e utilizados são de aptidão agrícola (Ramalho Filho & Beek, 1995) e o de capacidade de uso, originalmente desenvolvido nos EUA e adaptado às condições brasileiras (Lepsch et al., 1991). Em termos agronômicos, inúmeros trabalhos apresentam critérios interpretativos para agrupamentos de terras, a saber: em função da aptidão agrícola para determinadas culturas; de acordo com risco de erosão; por necessidade de calagem; com finalidades de irrigação ou drenagem; e em função da capacidade máxima de uso. Para outros fins, as referidas classificações também são de grande utilidade, tais como: geotecnia,

construção de aeroportos, engenharia sanitária, taxaço de impostos, engenharia rodoviária e ferroviária (Ramalho Filho & Beek, 1995; Lepsch et al., 1991; Freire, 1984).

Várias pesquisas em diversos tipos de classificações técnicas, vêm sendo realizadas, como por, Grose (1999) na Tasmânia, por Hulme et al. (2002) na Austrália, e no Brasil por Garcia e Espíndola (2001), Pereira (2002), Garcia et al. (2005), Calderano Filho et al. (2007), Wadt et al. (2008), Menezes et al. (2009), Francisco (2010), Francisco et al. (2013), Francisco e Santos (2017a; 2017b).

Diversos destes trabalhos utilizam o Sistema de Informação Geográfica (SIG) como ferramenta, pois de acordo com Menezes et al. (2009), com base no levantamento de solos, a utilização de imagens de satélites, aliado ao ambiente SIG, constituem-se em ferramenta adequada para avaliação da aptidão das terras.

3.4. Sistema de Informação Geográfica

O objetivo principal de um SIG (Sistema de Informação Geográfica) é processar informações espaciais. Desta forma, deve ser capaz de criar abstrações digitais do real, manejar e armazenar eficientemente dados, de forma a identificar o melhor relacionamento entre as variáveis espaciais, possibilitando a criação de relatórios e mapas para a compreensão desses relacionamentos (Calijuri & Rohm, 1993; Ribeiro et al., 2000).

Na utilização de um SIG é possível coletar, checar, integrar e analisar dados e informações relacionadas à superfície da Terra. Esses dados podem ser oriundos de diferentes fontes, tais como: imagens de satélite, cartas topográficas, cartas de solo e vegetação, hidrografia, dados de censo, etc. (Santos & Silva, 2004).

Uma das principais vantagens do SIG para planejamento é poder registrar dados, ou conjunto de dados, agrupados por tema, em diferentes planos de informações (PIs). Neste caso, os dados podem ser sobrepostos e apresentados como uma única imagem; ou quando combinados, gerar novos planos de informações. Esta estratégia possibilita a obtenção de uma infinidade de combinações e comparações entre diferentes alternativas de ação (Câmara et al., 2000).

No Brasil, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, desenvolveu um Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (SPRING), atualizado e de fácil compreensão, que utiliza um modelo de dados orientados para estudos ambientais e cadastrais (Lopes, 2002). O SPRING trabalha em ambiente UNIX e Windows que administra tanto dados vetoriais como dados matriciais (*raster*), realizando e unificando a integração de dados num SIG. Este promove um ambiente de trabalho, através da combinação de menus e janelas com

uma linguagem espacial facilmente programável pelo usuário. Essa linguagem é denominada Linguagem Espaço-Geográfico baseada em Álgebra (Lopes, 2002).

Pesquisas utilizando o SPRING foram realizadas no Brasil como por Gonçalves (2018) em São Paulo, por Cioccarri et al. (2011) no Rio Grande do Sul, Santos et al. (2019) em Roraima, por Carvalho e Magalhães (2012) e Corseuil e Campos (2007) no Paraná, Alves e Resende (2000) e Menezes et al. (2009) em Minas Gerais. Na Paraíba, por Francisco et al. (2013) elaborando a classificação e o mapeamento para mecanização agrícola, e por Francisco et al. (2015) elaborando o mapeamento da aptidão edáfica para fruticultura.

3.5. Linguagem Espaço-Geográfico baseada em Álgebra

A linguagem denominada de LEGAL (Linguagem Espaço-Geográfico baseada em Álgebra) realiza operações algébricas de mapas, tanto em sentido matemático quanto cartográfico e espacial; possuindo uma interface direta com tabelas de um banco de dados relacional, podendo assim gerar novos dados (Lopes, 2002; Moreira, 2003; Guimarães, 2004). O LEGAL é uma ferramenta que possibilita fazer simulações sobre os fenômenos do mundo real (Câmara et al., 1996).

O termo álgebra de mapas se refere ao conjunto de procedimentos de análise espacial, voltado à produção de informação, através da aplicação de funções de manipulação sobre um ou mais mapas. Nessa concepção, a análise espacial é tratada como um conjunto de operações matemáticas sobre mapas, que são tratados como variáveis individuais, e as funções definidas sobre elas são aplicadas de forma homogênea a todos os pontos do mapa (Barbosa et al., 1998).

A álgebra de mapas é uma linguagem de consulta e manipulação espacial que realiza operações sobre dados dos tipos: mapa temático, modelo numérico de terreno e imagem. As operações no SIG são de transformação, booleana, condicional, matemática, classificação contínua, vizinhança e reclassificação por atributos. A estrutura é composta de três partes: declarações, que definem os dados dando-lhes um nome e associando-os à sua categoria no esquema conceitual; instanciações, que se recuperam os dados existentes do banco de dados ou criam-se novos planos de informações (PI) e operações, que realizam as operações da álgebra de mapas (Câmara et al., 1996).

Estas funções utilizam operadores lógicos (booleanos) e permitem realizar cruzamentos entre dois ou mais planos de informação. O apelo da abordagem Booleana é a sua simplicidade e fácil aplicação, com a combinação lógica de mapas em um SIG. Como exemplo de operação booleana, pode ser citado a determinação de um mapa de aptidão agrícola a partir dos mapas de solo, declividade, precipitação e de um conjunto hipotético de regras (Câmara et al., 2001).

Trabalhos realizados por Francisco et al. (2017a; 2017b) utilizaram o LEGAL para o mapeando o potencial pedoclimático para a cultura do sorgo (*Sorghum bicolor*) e para aptidão climática e pedológica da cultura do feijão caupi para as regiões do agreste e brejo paraibano, respectivamente.

3.6. Interpolação por krigagem: geoestatística

Modelos matemáticos, aritméticos e lógicos, buscando representar propriedades e processos do meio físico natural, têm sido implementados e modelos inferenciais vêm sendo propostos e a geoestatística é um desses modelos e sua base conceitual está fundamentada na teoria das variáveis regionalizadas formalizada por Matheron (1971). Dentre os procedimentos geoestatísticos, a krigagem se destaca como técnica que possibilita a inferência de valores, a partir de amostras pontuais de um atributo espacial (Brandão, 2001).

A krigagem compreende um conjunto de técnicas geoestatísticas de ajuste usadas para aproximar dados pelo princípio que: fixado um ponto no espaço, os pontos no seu entorno são mais relevantes do que os mais afastados. Isto pressupõe a existência de dependência entre os dados, exigindo saber até onde espacialmente esta correlação importa (Isaaks & Srivastava, 1989). A técnica consiste em estimar valores médios e também uma medida de acuracidade dessa estimativa. Seus pesos são calculados com base na distância entre a amostra e o ponto estimado; na continuidade espacial e no arranjo geométrico do conjunto (Bettini, 2007).

Conforme Jakob (2012), a krigagem é considerada uma boa metodologia de interpolação de dados. Ela utiliza o dado tabular e sua posição geográfica para calcular as interpolações. Utilizando o princípio da Primeira Lei de Geografia de Tobler, que diz que unidades de análise mais próximas entre si são mais parecidas do que unidades mais afastadas, a krigagem utiliza funções matemáticas para acrescentar pesos maiores nas posições mais próximas aos pontos amostrais e pesos menores nas posições mais distantes, e criar assim os pontos interpolados com base nessas combinações lineares de dados.

Várias pesquisas em diversas áreas e com variadas ferramentas a utilizaram, como Medeiros et al. (2015) na análise da variabilidade da temperatura média do ar; Francisco et al. (2016) na classificação climática de Köppen e Thornthwaite; Francisco et al. (2016a) na discriminação de cenários pluviométricos; Francisco et al. (2016b) no mapeamento da insolação; Francisco e Santos (2017) para elaboração da Climatologia do Estado da Paraíba; Sabino e Macedo (2019) em dados pluviométricos primários e modelos geoestatísticos interpolados em escala global; e Francisco et al. (2021) no estudo da dinâmica temporal da cobertura e uso da terra.

3.7. Parâmetros das principais culturas do semiárido

3.7.1. Feijão comum (*Phaseolus vulgaris*)

O Brasil é o segundo produtor mundial de feijão do gênero *Phaseolus* e o primeiro na espécie *Phaseolus vulgaris* L. (IBGE, 2010). O Brasil tem ocupado nos últimos anos, o primeiro lugar na produção e consumo mundial de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) (FAO, 2010). De acordo com Bonett et al. (2006), o feijão é cultivado em praticamente todos os Estados brasileiros, nas diferentes épocas de semeadura e mais variadas condições edafoclimáticas. O feijão é uma das principais culturas de subsistência da região Nordeste do Brasil, integrando a dieta das populações de baixa renda que residem na zona rural (Freire Filho et al., 2005).

Por ser uma excelente fonte de proteínas, carboidratos, vitaminas e minerais, além de possuir grande quantidade de fibras dietéticas, baixa quantidade de gordura (2% de óleo em média) e não conter colesterol; é uma opção importante nos programas públicos centrados na melhoria da qualidade de vidas das populações (Marques et al., 2000). Conforme Barros et al. (2012) a cultura do feijão comum é cultivada principalmente por pequenos produtores com uso reduzido de tecnologia, e é um dos principais alimentos da população brasileira, especialmente a de baixa renda.

De acordo com Vieira et al. (2008) e Lacerda et al. (2010), essa leguminosa é considerada uma planta muito exigente em condições climáticas, tendo seu desenvolvimento e produção diretamente afetada pelas temperaturas e índices pluviométricos extremos. Guimarães (1992) relata que o feijoeiro é considerado uma planta sensível ao estresse hídrico, principalmente em virtude da baixa capacidade de recuperação após a deficiência hídrica e com sistema radicular pouco desenvolvido.

O ciclo vegetativo do feijoeiro varia entre 75 e 110 dias, dependendo da latitude e altitude (Kluthcouski et al., 2009). De acordo com Moreira et al. (1988), o consumo de água pelo feijoeiro depende do estágio de desenvolvimento, das condições do solo, época de cultivo e das condições climáticas durante todo o ciclo. Conforme Doorenbos e Kassam (1979) a necessidade de água do feijoeiro com ciclo de 60 a 120 dias, varia entre 300 a 500mm para obtenção de alta produtividade.

A produtividade do feijoeiro também está muito condicionada à disponibilidade de água no solo, podendo reduzir o rendimento em diferentes proporções de acordo com as diferentes fases do ciclo da cultura. As fases de floração e desenvolvimento de grãos parecem ser as mais afetadas por períodos de estresse hídrico (Doorenbos & Pruit, 1976).

De acordo com Barros et al. (2012) o feijão comum é uma planta sensível ao excesso hídrico do solo e a umidade excessiva do ar, sobretudo porque favorece o aparecimento de doenças radiculares e aéreas de origem fúngica. De fato, por apresentar um sistema radicular relativamente curto, um período relativamente longo de encharcamento do solo pode prejudicar o sistema radicular devido ao apodrecimento das raízes. Chuvas prolongadas no período de desenvolvimento da cultura e, principalmente, durante a colheita, provocam redução na produtividade, atrasa a colheita e provoca o acamamento das plantas, refletindo em baixo rendimento e baixa qualidade dos grãos (Heinemann et al., 2009).

Segundo Silva e Steinmetz (2003), a temperatura do ar pode ser considerada o elemento climático que mais exerce influência no vingamento de vagens, e, de maneira geral, faz referência ao efeito prejudicial das altas temperaturas sobre o florescimento e a frutificação do feijoeiro. De acordo com EMBRAPA (2005) para que o feijoeiro alcance seu rendimento potencial é necessário que a temperatura do ar apresente valores mínimos, ótimo e máximo de 12, 21 e 29°C, respectivamente. Contudo, regiões que apresentam valores de temperaturas do ar noturnas altas provocam maiores prejuízos ao rendimento do feijoeiro, devido ao abortamento de flores.

3.7.2. Mandioca (*Manihot esculenta* Crantz)

De acordo com Souza e Souza (2000), a mandioca é oriunda de região tropical, encontrando condições favoráveis para o seu desenvolvimento em todos os climas tropicais e subtropicais, sendo cultivada na faixa compreendida entre 30° de latitudes norte e sul, embora a concentração de plantio esteja entre as latitudes 15°N e 15°S. Altitudes que variam desde o nível do mar até 800 m são as mais favoráveis.

A temperatura média do ar ideal situa-se entre os limites de 20 a 27°C, mas produz bem na faixa de temperatura de 16 a 38°C (Souza & Souza, 2000). A faixa mais adequada de precipitação pluvial para a mandioca está compreendida entre 1.000 e 1.500 mm.ano⁻¹. Em regiões tropicais, a cultura produz em locais com totais pluviométricos anuais de até 4.000 mm.ano⁻¹, sem estação seca em nenhum período do ano, sendo importante que os solos sejam bem drenados, pois o encharcamento promove a podridão de raízes. Em regiões semiáridas com 500 a 700mm de chuva por ano, é necessário adequar a época de plantio ao período chuvoso para que não ocorra deficiência de água nos primeiros cinco meses de cultivo (Souza & Souza, 2000; Cavalcante, 2005). No caso de ocorrência de deficiência hídrica no solo, a planta pode apresentar estado de dormência, perdendo as folhas completamente, e encurtando os espaços internodais, porém recupera-se nas primeiras chuvas (Barros et al., 2012).

Barros et al. (2012) salienta ainda que, em muitos casos, a colheita da mandioca é geralmente realizada 14 a 16 meses após o plantio, e dependendo da época, pode incorrer em problemas de colheita devido ao excesso hídrico.

3.7.3. Milho (*Zea mays* L.)

Em toda extensão territorial brasileira, o milho (*Zea mays* L.) é cultivado, destacando-se das demais culturas e ocupando assim a segunda maior área cultivada do país (CONAB, 2007). No Brasil, o milho constitui uma das principais culturas agrícolas. De acordo com o Levantamento Sistemático da Produção Agrícola (IBGE, 2015), a produção nacional de grãos no ano de 2014 foi de aproximadamente 79 milhões de toneladas. Conforme Silva et al. (2012), essa cultura é importante na composição de silagem e rações, sendo a principal fonte de energia na dieta de rebanhos bovinos, caprinos, ovinos e na avicultura, e também para alimentação humana.

A cultura do milho apresenta pouca tolerância à falta de água. Cultivado em diversos sistemas produtivos, o milho é plantado principalmente nas regiões do Centro-Oeste, Sudeste e Sul. No Nordeste do Brasil os rendimentos da cultura são muito baixos, cultivado por pequenos agricultores que utilizam pouco ou nenhum recurso tecnológico. Entretanto, apesar dos baixos rendimentos, o milho é um cereal tradicional e apresenta aspectos culturais e históricos na região (Barros et al., 2012).

A irregularidade pluviométrica torna o cultivo agrícola de sequeiro uma atividade de alto risco. Com isso, semiárido brasileiro possui sua capacidade produtiva limitada, por causa das características intrínsecas em relação à vegetação, clima e solo (Cavalcanti & Resende, 2001).

Quanto ao clima, os fatores que afetam o crescimento da cultura de milho variam com a região. Nas regiões temperadas e subtropicais, a limitação maior se deve à temperatura do ar e a radiação solar. No Nordeste, destacam-se a precipitação, a temperatura e a evapotranspiração, pois afetam as atividades fisiológicas, interferindo diretamente na produção de grãos e de matéria seca (Silva et al., 2012).

Pela continentalidade do Brasil, observa-se que os fatores que afetam o crescimento da cultura de milho variam com a região. Nas regiões temperadas e subtropicais, a maior limitação se deve à temperatura do ar e a radiação solar. No Nordeste destacam-se a precipitação, a temperatura e a evapotranspiração da cultura. A radiação solar, a precipitação e a temperatura são os fatores de maior influência no desenvolvimento do milho, afetam as atividades

fisiológicas que interferem diretamente na produção de grãos e de matéria seca (EMBRAPA, 1996; Barros et al., 2012).

De acordo com Bevilacqua (2012), a radiação solar é essencial para o desenvolvimento do milho, pois sem este o processo fotossintético é inibido e conseqüentemente ocorre redução na produção (Maldaner et al., 2014).

A temperatura do ar ideal está entre 25 e 30°C. Temperaturas do ar superiores a 35°C provocam a diminuição da atividade da redutase do nitrato, causando queda de rendimento e da composição proteica do grão, temperaturas superiores a 33°C durante a polinização reduz sensivelmente a germinação do grão de pólen; e temperaturas noturnas superiores a 24°C proporcionam um aumento da respiração, de tal forma que a taxa de fotossimilados diminui e, com isso, reduz a produção (Landau et al., 2011).

Caso o solo tenha umidade suficiente o milho se desenvolve bem em altas temperaturas. A temperatura desde a germinação até a maturação deve ficar próxima dos 25°C (EMBRAPA, 2004). Para a obtenção de boas produtividades a cultura do milho necessita de precipitação pluvial acima de 500mm durante o ciclo; temperatura média diária acima de 19°C e temperatura média noturna acima de 12,8°C e abaixo de 25°C; temperaturas, no período, próximo e durante o florescimento, entre 15 a 30°C e ausência de déficit hídrico (MAPA, 2014). Para a obtenção de boas produtividades a cultura requer temperaturas entre 24 e 30°C, radiação solar elevada e de um mínimo de 400 a 600mm de precipitação pluvial durante o ciclo (MAPA, 2019b).

O milho é cultivado em regiões com precipitação desde 400mm anuais, caso do semiárido nordestino, com baixíssimos rendimentos, a valores superiores a 1.500mm anuais, sendo que a quantidade de água consumida pelo milho durante o seu ciclo está em torno de 600 a 800 mm (Aldrich et al., 1982), consistindo em uma das culturas mais afetadas pela variabilidade espaço-temporal da precipitação pluviométrica.

De acordo com EMBRAPA (2004), o milho necessita de no mínimo 350 a 500mm de chuva por ciclo, pluviometria menores irá exigir o uso de irrigação, sendo que a precipitação ideal gira em torno de 500 a 800mm. Porém, de acordo com Bergamaschi et al. (2006), a necessidade hídrica do milho varia de 200 a 400mm para o ciclo completo, mas estes valores variam com os diferentes locais e épocas de plantio.

A produção de grãos é drasticamente afetada por períodos curtos de estiagem (veranicos), principalmente quando ocorre nas fases críticas do estágio de desenvolvimento da cultura, do pendoamento e da fase de enchimento de grãos. Portanto, conhecer os períodos de escassez hídrica consecutivos é fundamental na delimitação das áreas com aptidão climática para a cultura (Barros et al., 2012).

A cultura está entre as de maior consumo de água. A deficiência hídrica na planta é quase diária, em função da alta demanda evaporativa da atmosfera, notadamente nas regiões tropicais, onde as taxas de transpiração são elevadas. Nos dias mais quentes, a planta perde mais água do que consegue absorver, mesmo em condições de disponibilidade de água no solo. A escassez hídrica na planta afeta todos os processos relacionados com seu desenvolvimento (Taiz & Zaiger, 2004).

3.7.4. Palma forrageira (*Opuntia* sp.)

A palma forrageira (*Opuntia* sp.) é um membro da família das Cactáceas, cultivada em todo o mundo, exceto na Antártica, em mais de 1.000.000 ha principalmente para a produção de frutas e forragem, além do uso como planta ornamental (Reyes-Agüero et al., 2006; Cardador-Martinez et al., 2011).

Embora possua uma reconhecida gama de potencialidades, a palma forrageira tem sido cultivada no Semiárido Brasileiro quase exclusivamente para a produção de forragem (Santos et al., 2001; Araújo et al., 2005; Pinto et al., 2011) e se tornou, ao longo das décadas, uma das principais alternativas para alimentação dos rebanhos, sobretudo em longos períodos de estiagem, quando as pastagens nativas e outras forrageiras, tais como as gramíneas e leguminosas de elevada exigência hídrica, estão sob fortes condições de estresse hídrico (Albuquerque, 2000).

A palma forrageira é bem adaptada às condições semiáridas suportando longos períodos de estiagem. Esta boa adaptabilidade é atribuída, sobretudo, à sua fisiologia caracterizada pelo processo fotossintético do Metabolismo Ácido das Crassuláceas (Snyman, 2006).

Para um bom desenvolvimento dessa cultura é recomendado solos argilosos de boa drenagem, adubação orgânica e/ou mineral, áreas com precipitação pluvial anual, média, entre 400 e 800mm, umidade relativa 40% e temperatura diurna/noturna de 25/15°C (Nobel, 1995). Santos et al. (2006) afirmam que, o bom desenvolvimento da palma ocorre em regimes cuja precipitação pluviométrica anual oscila entre 400 e 800mm.

3.7.5. Sorgo (*Sorghum bicolor*)

O sorgo é uma planta de origem tropical, de dias curtos e com altas taxas fotossintéticas, exigindo, por isso, um clima quente para poder expressar seu potencial de produção (MAPA, 2014). A cultura, com características xerófilas, é considerada tolerante a períodos secos, notadamente em regiões do Nordeste do Brasil (Tabosa et al., 2002). De acordo com Barros et

al. (2012), nos Estados da região Nordeste, em função da irregularidade no regime de chuvas, o cultivo do sorgo é realizado durante a estação chuvosa, período curto e com distribuição irregular, caracterizado, ainda, pela ocorrência de veranicos, com 15 a 20 dias sem chuvas. As condições climáticas durante o desenvolvimento e o crescimento da cultura são importantes para a qualidade do produto e produção final.

A cultura do sorgo exige em torno de 300 a 400mm de precipitação pluviométrica, distribuídos regularmente durante o seu ciclo de crescimento e desenvolvimento para que se alcancem níveis de produtividade satisfatórios, sem a necessidade de irrigação suplementar. A cultura tolera ocorrências de deficiência hídrica, inclusive pequenos veranicos, sendo considerada resistente à seca. As fases fenológicas críticas da cultura correspondem ao estágio de plântula e no florescimento, sendo importante nessas épocas um adequado nível de suprimento de água para uma boa produção (Tabosa et al., 2002; Barros et al., 2012).

De acordo com o Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2014) a temperatura do ar ótima para o desenvolvimento da cultura varia com a cultivar. A grande maioria dos materiais genéticos de sorgo requer temperaturas superiores a 21°C para um bom crescimento e desenvolvimento, não suportando, normalmente, temperaturas abaixo de 16°C, sendo que temperaturas superiores a 38°C também reduzem a produtividade. Apesar de resistente à seca, a ocorrência de déficits hídricos, principalmente na fase de florescimento e de enchimento de grãos, pode provocar redução acentuada na produção.

Por pertencer ao grupo de plantas C4, o sorgo suporta elevados níveis de radiação solar, respondendo com altas taxas fotossintéticas, minimizando a abertura dos estômatos e consequente perda d'água. Assim, o aumento da intensidade luminosa implica em maior produtividade, sempre que as demais condições sejam favoráveis (Barros et al., 2012). Nas semeaduras tardias e nos cultivos após uma safra de verão a produtividade do sorgo é bastante afetada pelo regime de chuvas, pelas limitações de radiação solar e pelas temperaturas baixas durante o final do ciclo (MAPA, 2014).

O maior uso de grãos de sorgo no Brasil está na avicultura e suinocultura. Bovinos, equinos e pequenos animais são também consumidores, mas em menor proporção. A silagem de sorgo e o pastejo são igualmente utilizados para rebanhos de corte e de leite (EMBRAPA, 2008).

O sorgo é uma cultura que, no contexto da agropecuária brasileira, vem se destacando a cada dia, por ser uma gramínea bastante energética, com alta digestibilidade, produtividade e adaptação a ambientes secos e quentes. A planta é utilizada para silagem ou corte verde, para pastejo e os grãos, em rações animais e podendo ser usada para o consumo humano (Buso et al., 2011).

De acordo com EMBRAPA (2012), quanto ao solo, o sorgo é uma cultura tolerante a diversas condições de fertilidade natural, podendo ainda ser cultivado em solos que variam de textura argilosa a ligeiramente arenosa (Landau & Sans, 2011). Algumas cultivares são relativamente tolerantes à salinidade. Para alcançar boas produtividades, o sorgo requer solos profundos e bem drenados, ricos em matéria orgânica, relevo plano e declividade inferior a 5%. Por outro lado, não tolera solos ácidos, notadamente com teores de Al^{3+} elevado além daqueles mal drenados. A cultura é principalmente exigente nos elementos nitrogênio e potássio (Coelho et al., 2002).

3.8. Solos e suas restrições

O conhecimento da aptidão de terras é fator de grande importância para propiciar o uso adequado da oferta ambiental e, sobretudo, evitar possível sobre utilização dos recursos naturais (EMBRAPA, 2006). A principal exigência para se estabelecer o potencial de uso de um solo decorre de um conjunto de interpretações do próprio solo e do meio onde ele se desenvolve (Ranzini, 1969). Tais interpretações pressupõem a disponibilidade de certo número de informações preexistentes, que têm que ser fornecidas por levantamentos apropriados da área de trabalho, ou de levantamentos pedológicos pré-existent. Para que as informações contidas nos levantamentos sejam melhores utilizadas, é necessário a partir destes levantamentos, sejam compostos mapas temáticos interpretativos baseados nos critérios da classificação técnica utilizada (Ramalho Filho & Beek, 1994).

Mapas pedológicos em escalas generalizadas, englobando todo um território, permitem a visualização de grandes áreas, abrangendo a distribuição espacial e a variação existente na população dos solos, constituindo documentos importantes na caracterização dos recursos, na orientação de planejamentos regionais do uso da terra (Rossi & Oliveira, 2000). Os mapas constituem-se num suporte indispensável para o planejamento, ordenamento e uso eficaz dos recursos da terra, sendo um instrumento visual da percepção humana e um meio para obter o registro e a análise da paisagem (Lima et al., 2007).

O termo salinidade ou caráter salino do solo refere-se à presença de sais mais solúveis em quantidade que interfere no desenvolvimento da maioria dos vegetais (EMBRAPA, 1999). Em termos agrícolas, a salinidade se refere à existência de níveis de sais no solo que possam prejudicar de maneira economicamente significativa, o rendimento das plantas cultivadas (Flores et al., 2002). O processo de salinização decorre de características ambientais e/ou ações antrópicas (Daliakopoulos et al., 2016). Dentre as características naturais destaca-se transportes de sedimentos com sais para locais não salinizados; ações da ascensão por capilaridade dos

solos para superfície; altas taxas de evapotranspiração (Ribeiro, 2010; Brady & Weil, 2012; Pedrotti, 2015; Walter et al., 2018).

A profundidade efetiva de um solo, na maioria das vezes, é um indicador de maior disponibilidade de calor, nutrientes, ar e água, sendo, portanto, de grande importância para o crescimento e desenvolvimento de plantas (Reinert et al., 2006). Esta é um atributo importante para o planejamento do uso agrícola da terra, uma vez que, está relacionada ao desenvolvimento dos sistemas radiculares, ao armazenamento de água no solo e as possibilidades de mecanização agrícola (Fasolo, 1996). A fertilidade é considerada num conceito amplo que representa a capacidade produtiva do solo envolvendo suas propriedades químicas e físicas.

A drenagem é uma propriedade relacionada às condições hidrodinâmicas dos solos, determinante para o desenvolvimento das plantas. A drenagem pode ser entendida como a retirada do excesso de água do perfil do solo. Esta propriedade está relacionada à porosidade, que por sua vez depende da textura, da estrutura, da natureza e do teor da matéria orgânica e da argila do solo (Francisco, 2010).

Francisco (2010) descreve que, a declividade é uma característica marcante da paisagem, pois define níveis de estabilidade dos seus componentes físico-químicos e biodinâmicos, podendo servir de referência para separar ambientes.

A textura do solo refere-se, especificamente, às proporções relativas das partículas ou frações de areia, silte e argila. É o atributo do solo que menos sofre alteração ao longo do tempo (EMBRAPA, 2003). Influencia, quando secos, tornando os solos muito duros, dificultando o preparo do solo pelas máquinas e quando úmido, com uma maior plasticidade e pegajosidade ocasionando maior aderência aos implementos de preparo do solo e plantio, facilitando ou dificultando o trabalho das máquinas (Francisco, 2010).

A erosão é um dos fatores que mais contribui para a diminuição da fertilidade do solo, devido à remoção da camada superficial, geralmente a que apresenta maior quantidade de nutrientes na forma assimilável (Oliveira, 2004).

A pedregosidade e a rochosidade são fatores limitantes à mecanização de grande importância, pois restringe as atividades agrícolas. Estes são de grande importância e, juntamente com o relevo, fornece os principais subsídios para o estabelecimento dos graus de limitações ao emprego de implementos agrícolas (BRASIL, 1972).

3.9. Irrigação e sua potencialidade

A irrigação corresponde à prática agrícola que utiliza um conjunto de equipamentos e técnicas para suprir a deficiência total ou parcial de água para as plantas. Embora possa

apresentar excelentes resultados de forma isolada, essa prática é geralmente implementada em meio a outras melhorias no pacote tecnológico do produtor rural, ou seja, tende a ser acompanhada ou antecedida por aperfeiçoamentos em outros insumos, serviços, máquinas e implementos – melhorias que em conjunto resultam em diversos benefícios (ANA, 2021).

A agricultura irrigada é fundamental, já que a produtividade em áreas irrigada chega a ser quatro vezes superior às da área de sequeiro (Postel, 2000). Globalmente, a produtividade obtida com a prática da agricultura irrigada é 2,7 vezes maior do que a obtida pela agricultura tradicional de sequeiro, que é dependente das irregularidades das chuvas. A estimativa de potencial para acréscimo na área mundial dominada por sistemas de irrigação, que atualmente é de 304 milhões de hectares, é cerca de 180 milhões de hectares se considerar a possibilidade de incorporação das áreas potenciais brasileiras para desenvolvimento sustentável da agricultura irrigada, que representam um adicional, à área irrigada, de cerca de 25 milhões de hectares (Christofidis, 2013). Em 2020, o Brasil irrigou 8,2 milhões de hectares, apenas 3% da área produtiva ocupada pela agropecuária no Brasil (Santos et al., 2021).

Especialistas estimam que, no Brasil, existem cerca de 110 milhões de hectares de solos aptos para expansão e desenvolvimento anual de agricultura em bases sustentáveis e pelos estudos desenvolvidos pelo Ministério do Meio Ambiente citado por Christofidis (2013), o Estado da Paraíba apresenta 36.400 hectares com potencial, dados validados pela Agência Nacional das Águas (ANA, 2017).

O Brasil tem recursos e competências para continuar expandindo a produção agrícola sem comprometer os recursos naturais, tendo como base a intensificação sustentável da produção viabilizada pela introdução de inovações tecnológicas e organizacionais que elevem a produtividade total dos fatores e simultaneamente reduzem o impacto ambiental. Vários estudos demonstram a possibilidade de dobrar a produção sem necessidade de desmatar e de incorporação de novas terras (Vieira Júnior et al., 2021).

O uso da água em agricultura irrigada no Nordeste brasileiro tem ocorrido desde a pequena propriedade agrícola, com alguns poucos hectares, até a propriedade agrícola empresarial (Basso et al., 2017). O uso da irrigação viabiliza a produção agrícola especialmente em áreas áridas e semiáridas, onde a escassez hídrica representa uma séria limitação para o desenvolvimento socioeconômico, que se traduz em baixos níveis de renda e padrões insatisfatórios de nutrição, saúde e saneamento de parcela representativa da sua população (Amaral, 2005). O dimensionamento dos recursos naturais é fundamental para qualquer projeto de desenvolvimento. No caso particular de um projeto voltado para a atividade hidroagrícola a importância desse recurso é ainda maior, principalmente sob o aspecto qualitativo (PARAÍBA, 1978).

O Estado da Paraíba tem como características climáticas marcantes, as irregularidades, tanto espacial quanto temporal, do seu regime de chuvas. Essas condições climáticas interferem diretamente na produção de alimentos, fazendo com que haja a necessidade de se aumentar a produção e produtividade das culturas (Menezes et al., 2010; Guedes Filho et al., 2010).

A metodologia clássica de avaliação do potencial de terras para irrigação no Brasil, até o final do século passado, era a do Bureau of Reclamation–BUREC (Carter, 2002), utilizada como exemplo, no documento de Potencial de Irrigação e Oportunidades Agroindustriais no Estado da Paraíba (PARAÍBA, 1980).

Atualmente, a Agência Nacional de Águas desenvolveu o Atlas de Irrigação (ANA, 2021), visando suprir a carência de informações sobre a agricultura irrigada, bem como disponibilizar novos dados secundários, contudo sua limitação se dá devido a diminuta escala de trabalho de 1:2.500.000.

Conforme ANA (2021), os pólos de agricultura irrigada (nacional, regionais ou locais) são unidades territoriais cruciais para o planejamento do setor e a implementação dos instrumentos das políticas de irrigação e de recursos hídricos. A delimitação dessas áreas e o detalhamento de seus atributos dão foco para a gestão e servem como vitrines para o desenvolvimento de outras iniciativas.

No contexto do Estado da Paraíba, que possui uma porção significativa de seu território localizada em ambiente semiárido, a irrigação apresenta-se como uma tecnologia capaz de aumentar a produção das culturas agrícolas. No entanto, para o desenvolvimento agrícola irrigado e de forma sustentável, é necessária a disponibilidade de terras com condições favoráveis a essa prática (Francisco et al., 2021).

3.10. Risco climático na produção agrícola

O Brasil por ser um país continental e possuir condições adequadas para o desenvolvimento agrícola, e devido a sua grande extensão territorial, é comum que ocorra adversidades climáticas que podem afetar direta ou indiretamente a produção agrícola (MAPA, 2008).

O clima exerce grande influência sobre o ambiente, atuando como fator de interações entre componentes bióticos e abióticos. No Nordeste do Brasil, em especial na região semiárida, que frequentemente enfrenta os problemas da seca e estiagens prolongadas dentro do período chuvoso, estas condições se tornam ainda mais graves (Nobre et al., 2004).

A seca é hoje a que causa maior impacto, e as deficiências hídricas associadas aos períodos de longa estiagem constituem uma das principais causas das quebras de safras (MAPA,

2008). A produção agrícola no semiárido é fortemente dependente da precipitação pluviométrica, e, por conseguinte, as suas variações provocam graves prejuízos à agricultura (Menezes et al., 2008).

A Paraíba tem como características climáticas marcantes as irregularidades, tanto espacial quanto temporal, de seu regime de chuvas. Essas condições climáticas interferem diretamente na produção de alimentos, fazendo com que haja a necessidade de se aumentar a produção e produtividade das culturas (Menezes et al., 2010).

Diante das adversidades climáticas que ocorrem constantemente e da interferência negativa que essas causam na produção agrícola, instituições de pesquisas, passaram, a partir da década de 70 a desenvolver mecanismos que permitissem indicar, com maior margem de segurança, locais e datas mais apropriados para plantar determinada cultura, como também o tipo de cultivar mais adequada para cada região (MAPA, 2008).

Dentre os principais mecanismos criados, pode ser citado o Zoneamento Agrícola de Risco Climático que considera o balanço hídrico, e o risco quantificado através de análises probabilísticas e frequenciais no tipo de solo, clima local, e ciclo fenológico da planta, com o objetivo de quantificar o risco de perda das lavouras com base no histórico de ocorrência de eventos climáticos adversos, principalmente a seca, publicando recomendações por município, tipo de solo e ciclo da cultivar (MAPA, 2008).

O Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) foi implementado a partir de 1996 com o objetivo de delimitar municípios e épocas de plantio com base no risco agroclimático. O uso do desenvolvimento tecnológico promovido pelo ZARC, com seus modelos matemáticos e bases de dados são usados na simulação de cenários agrícolas futuros. Essas simulações são a base para análises de vulnerabilidade e de alternativas para o aumento da capacidade adaptativa e resiliência dos sistemas agrícolas (MAPA, 2021).

O Zoneamento Agrícola de Risco Climático contém os parâmetros edafoclimáticos utilizados para cada cultura na região estudada e leva em consideração a análise de séries climáticas históricas de no mínimo 15 anos correlacionadas ao ciclo de maturação fisiológica dos cultivares e ao tipo de solo conforme sua capacidade de retenção de água, de modo a minimizar os riscos e evitar que adversidades climáticas coincidam com a fase mais sensível das culturas (MAPA, 2008). Francisco et al. (2011) e Francisco e Santos (2017) utilizaram a metodologia para os municípios de Picuí e São João do Cariri, respectivamente e obtiveram bons resultados no mapeamento e na distribuição das áreas indicadas e não indicadas ao cultivo.

De acordo com Zhao e Yang (2018) e Maluf et al. (1995), o zoneamento agrícola constitui um importante subsídio às atividades que dependem direta ou indiretamente do meio ambiente, pois possibilita o conhecimento de áreas com potencial agrícola para estabelecimento

de culturas, minimizando riscos causados por adversidades. Para Monteiro (2009) e Assad (2009), o zoneamento determina a aptidão ou risco agrícola das regiões de um país, estado ou município, definindo desenvolvimento de melhores políticas agrícolas, financiamento, e maior produção. Permite definir em cada região, a aptidão para o cultivo de determinada espécie de interesse agrícola, considerando as exigências agroclimáticas, agro edáficas dos cultivos e as informações micro e macroeconômicas.

Para que haja uma redução dos riscos para a agricultura e conseqüente diminuição das perdas para os agricultores, torna se imprescindível identificar, quantificar e mapear as áreas mais favoráveis ao plantio das culturas de sequeiro (Maciel et al., 2009).

4. MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia está resumida nas etapas apresentadas no fluxograma de trabalho (Figura 1), que, esquematicamente, têm-se os passos metodológicos para obtenção do mapa das classes de potencial de uso para irrigação.

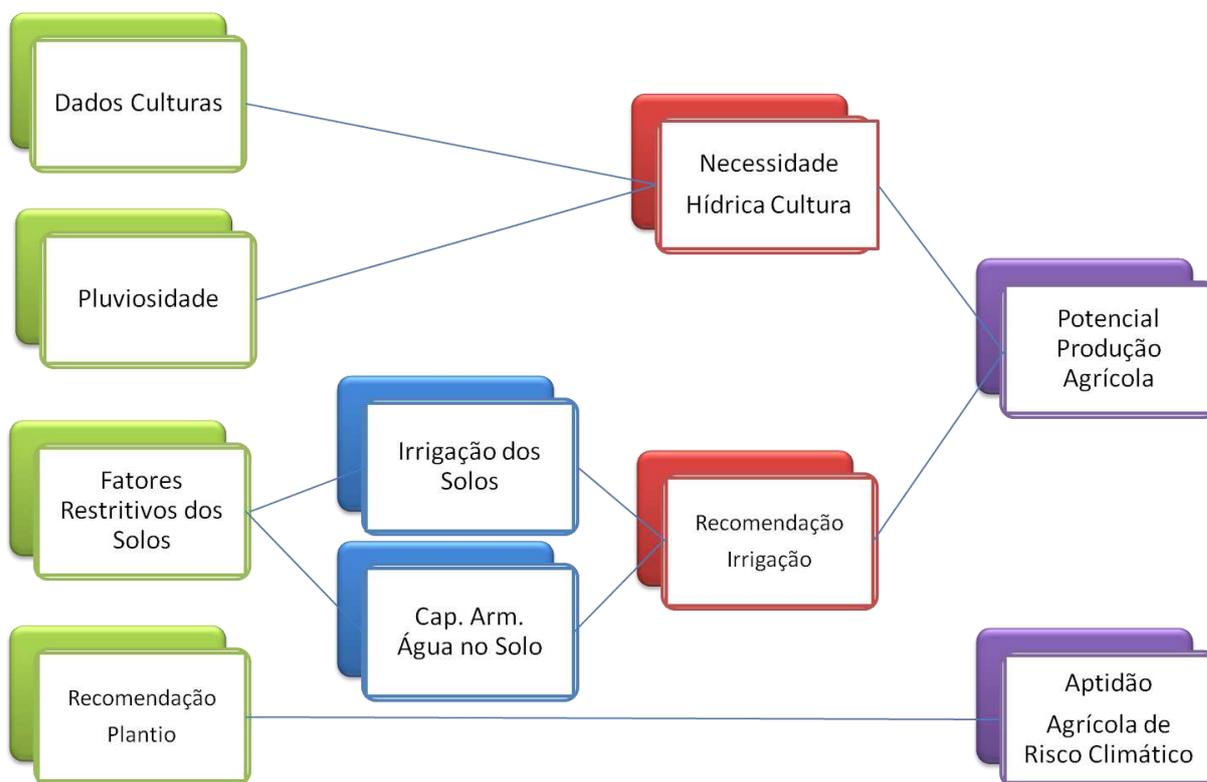


Figura 1. Fluxograma de trabalho.

4.1. Área de estudo

A área de estudo compreende a região do médio curso do rio Paraíba com área de 379.406 ha localizada no Estado da Paraíba (Figura 2), com uma população de 506.734 habitantes (IBGE, 2021), composta total e/ou parcialmente pelos municípios de Aroeiras, Alcantil, Barra de Santana, Boa Vista, Boqueirão, Barra de São Miguel, Caturité, Campina Grande, Fagundes, Gado Bravo, Itatuba, Natuba, Pocinhos, Puxinanã, Queimadas, Riacho de Santo Antônio, Santa Cecília e Umbuzeiro (Figura 3).

Na Tabela 1 se pode observar as áreas dos municípios em estudo com suas respectivas proporcionalidades na bacia hidrográfica (Figura 3), como também a localização do açude Epitácio Pessoa, à jusante da entrada da bacia, e na área de deságue da bacia, o açude Acauã.

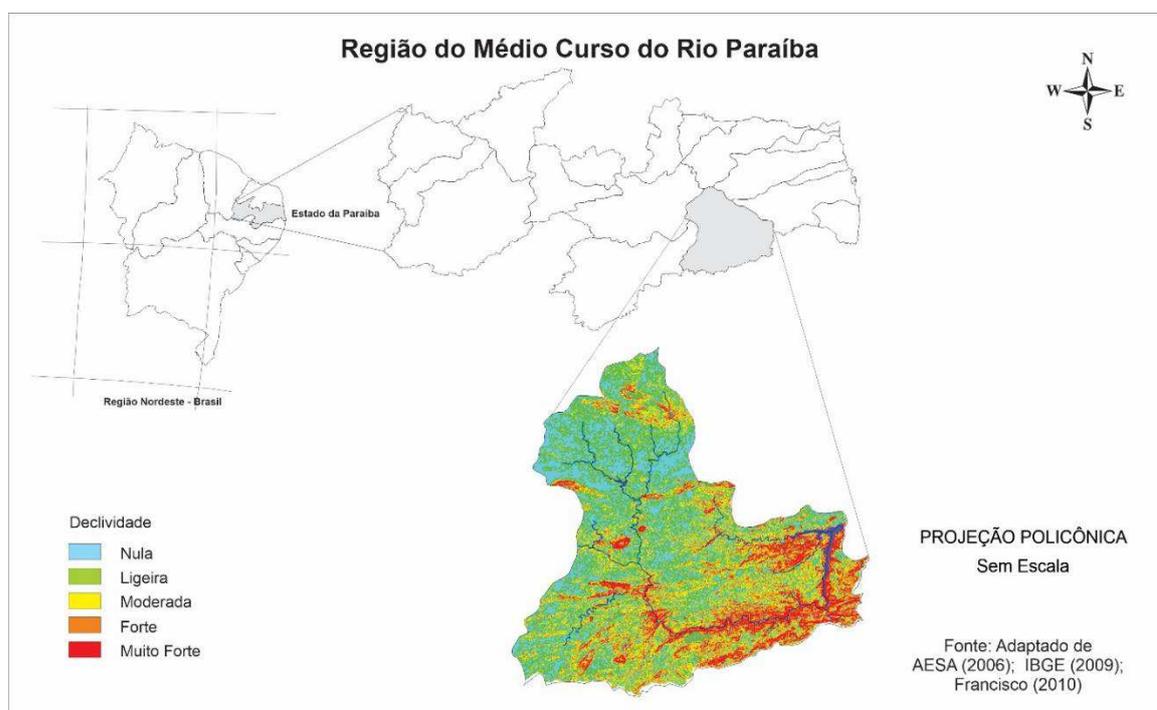


Figura 2. Localização da área de estudo e declividade.

Fonte: Adaptado de Francisco (2010); PARAÍBA (2006); IBGE (2009).

Tabela 1. Área dos municípios na bacia em estudo e sua proporcionalidade

Município	Área município (ha)	Área de estudo (ha)	%
Aroeiras	37.566	37.566	100,00
Alcantil	30.625	30.625	100,00
Barra de Santana	36.997	36.997	100,00
Barra de São Miguel	59.609	16.748	28,10
Boa Vista	47.710	21.564	45,20
Boqueirão	42.564	20.756	48,76
Campina Grande	59.466	43.994	73,98
Caturité	11.820	11.820	100,00
Fagundes	18.940	6.990	36,91
Gado Bravo	19.279	19.279	100,00
Itatuba	24.472	10.468	42,78
Montadas	2.591	813	31,40
Natuba	19.266	17.639	91,55
Pocinhos	63.064	9.347	14,82
Puxinanã	7.383	6.676	90,43
Queimadas	41.017	38.266	93,29
Riacho de Santo Antônio	9.150	9.150	100,00
Santa Cecília	22.725	22.725	100,00
Umbuzeiro	17.974	17.974	100,00
Total	572.227	379.406	66,30

Fonte: adaptado de IBGE (2021).

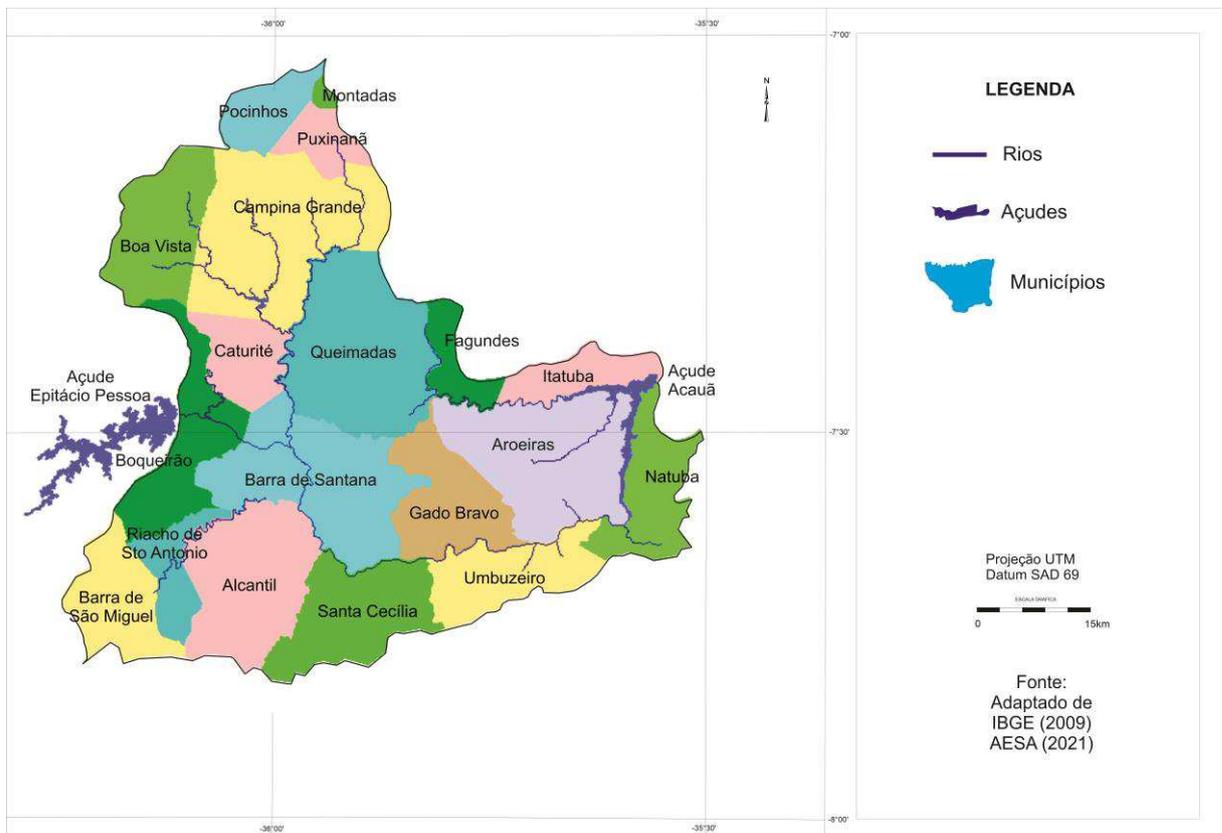


Figura 3. Localização e distribuição da área de estudo.

Fonte: adaptado de IBGE (2009); AESA (2021).

Conforme Francisco (2010), a área de estudo engloba a encosta oriental do Planalto da Borborema, porção leste da bacia, com o clima, segundo a classificação de Köppen, do tipo As' - Tropical Quente e Úmido com chuvas de outono-inverno. Nesta região as chuvas são formadas pelas massas atlânticas trazidas pelos ventos alísios de sudeste, e a altitude de 600 m nos pontos mais elevados dos contrafortes do Planalto (Figura 4). A precipitação decresce do litoral para o interior da região ($600 \text{ mm}\cdot\text{ano}^{-1}$) devido, principalmente, à depressão do relevo. Na porção oeste da bacia, o clima é do tipo Bsh - Semiárido quente, precipitação predominantemente, abaixo de $600 \text{ mm}\cdot\text{ano}^{-1}$, e temperatura mais baixa, devido ao efeito da altitude (400 a 700 m).

Os dados pluviométricos indicam que a região apresenta precipitação média anual variando entre 600 e 1.100mm, com valores decrescentes de leste para oeste. A umidade relativa do ar na região varia de 68 a 85%, com os valores máximos ocorrendo entre os meses de junho a agosto, e os mínimos, de novembro a janeiro (AESA, 2007).

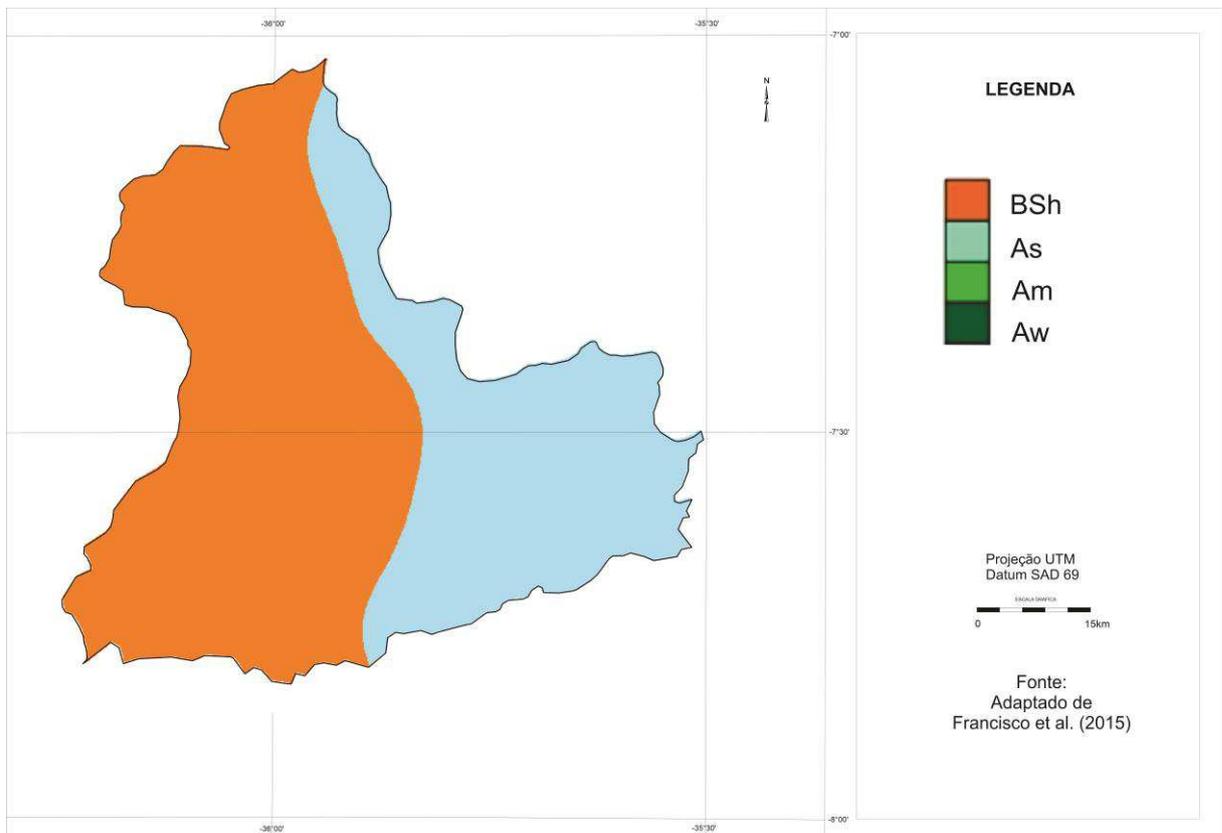


Figura 4. Mapa da classificação climática de Köppen da área de estudo.

Fonte: adaptado de Francisco et al. (2015).

De acordo com Francisco (2010), a vegetação representativa da área de estudo é do tipo caatinga hiperxerófila. Os solos predominantes na área de estudo, conforme PARAÍBA (1978) são os Brunos Não Cálcicos e os solos Litólicos Eutróficos, distribuídos por toda a área da bacia, como também os Vertisols, com maior ocorrência no centro da bacia, mais próximos ao Açude Epitácio Pessoa, e os Solonetz Solodizado na região de Campina Grande. Estes solos reclassificados para o novo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos por Campos e Queiroz (2006) como Luvisolos Crômicos órtico típico, Neossolos Litólicos Eutróficos típico, e como Vertissolo Cromado Órtico típico, Planossolo Nátrico Órtico típico, respectivamente (Figura 5). Francisco et al. (2015) afirmam que, estas diferem pela diversidade geológica, pedológica e geomorfológica; atendendo também a uma diversidade de características de solo, relacionadas à morfologia, cor, textura, estrutura, declividade e pedregosidade, dentre outros, justificada pelo fato de que, no semiárido o tipo de solo determina a dinâmica da água quanto à drenagem, retenção ou disponibilidade, condicionando, por conseguinte os sistemas de produção agrícola.

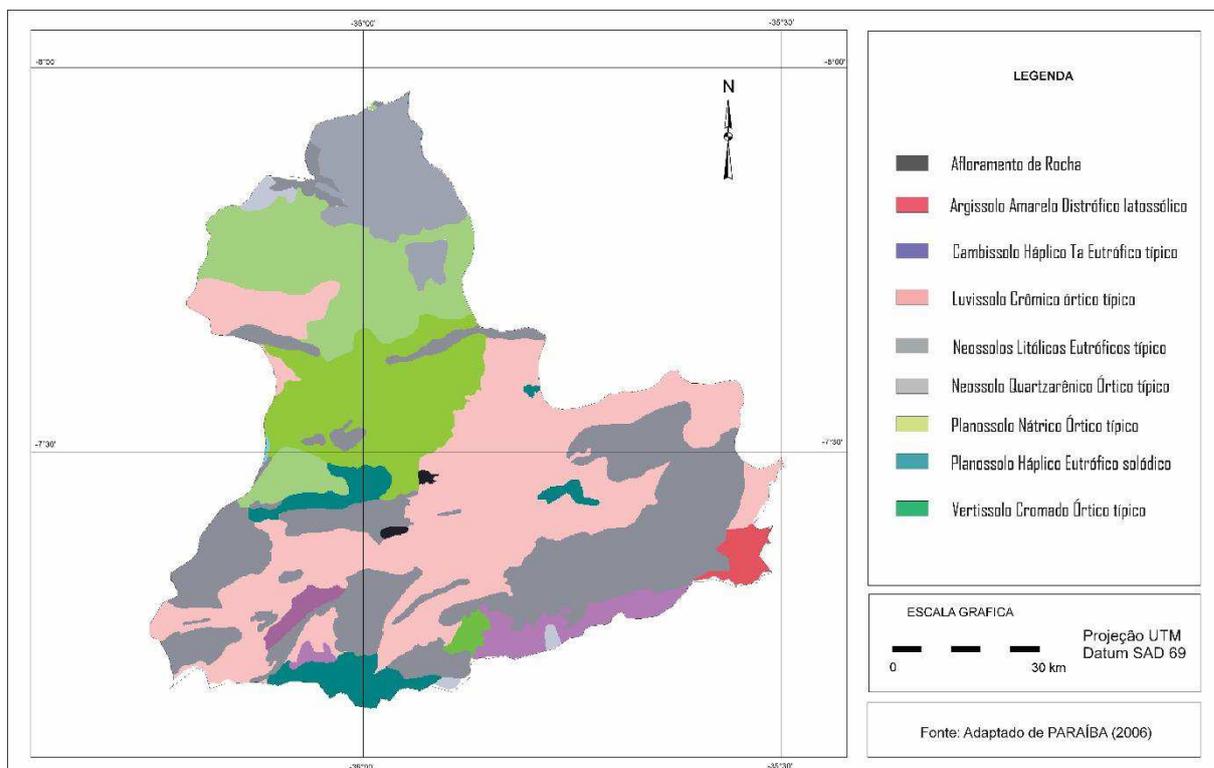


Figura 5. Mapa de solos da área de estudo.

Fonte: adaptado de PARAÍBA (2006).

Para o desenvolvimento deste trabalho foi utilizado o programa SPRING 5.5 na projeção UTM/SAD69 e importado arquivo dos limites de municípios (IBGE, 2009) e da bacia hidrográfica da região do médio curso do rio Paraíba (AESA, 2021), e o mapa de solos do Plano Estadual de Recursos Hídricos (PARAÍBA, 2006) na escala de 1:200.000.

4.2. Cálculo da pluviosidade

Os dados de precipitações climatológicas médias mensais e anuais dos municípios da bacia hidrográfica em estudo foram adquiridos do banco de dados coletado pela Rede Básica do Nordeste e pela Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESA), para o período de 109 anos entre 1912 a 2021.

Na metodologia utilizou-se os dados obtidos nos postos pluviométricos da Rede Básica do Nordeste, implantados inicialmente pela Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE, 1990). Posteriormente, em 1992, a Rede Pluviométrica foi repassada ao Estado da Paraíba para a Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESA-PB), realizou-se as junções das referidas séries e selecionando-se os postos que possuem 30 ou mais

anos de observações. Tal fato da escolha é para unificação de intervalos entre os postos, visto que os espaçamentos são amplos, conforme distribuição espaço-temporal.

A utilização dos dados foi procedida de uma análise quanto à sua consistência, homogeneização e no preenchimento de falhas em cada série (município a município), além das séries já publicadas pela SUDENE até o ano de 1985.

Na metodologia utilizada foi elaborada uma planilha eletrônica e realizado o cálculo de pluviosidade. O mapa elaborado foi espacializado utilizando o software Surfer[®] 9.0 trial pelo método estatístico de interpolação da krigagem para determinar a média, desvio padrão e coeficiente de variação, e após o mapa foi recortado utilizando os limites da bacia.

O estimador da krigagem foi obtido, segundo Matheron (1963), conforme a Equação 1.

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot Z(X_i) \text{ (Eq.1)}$$

Onde: $Z^*(X_0)$ é o atributo da variável estimado no ponto; λ_i são os ponderadores de krigagem; $Z(X_i)$ é o valor observado da variável Z no i -ésimo ponto.

Para a krigagem ser ordinária deve-se satisfazer a condição de que:

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$$

Os ponderadores são obtidos pela resolução de um sistema de equações lineares do tipo $AX = B$, denominado sistema de krigagem, de acordo com Rocha et al. (2007) pode ser escrito como segue pela Equação 2.

$$\begin{bmatrix} \gamma(x_1; x_1) & \cdots & \gamma(x_1; x_n) & 1 \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \gamma(x_n; x_1) & \cdots & \gamma(x_n; x_n) & 1 \\ 1 & \cdots & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \vdots \\ \lambda_n \\ \mu \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma(x_1; x_0) \\ \vdots \\ \gamma(x_n; x_0) \\ 1 \end{bmatrix} \text{ (Eq.2)}$$

Onde: $\gamma(x_n; x_n)$ é a variância espacial da n -ésima amostra com relação a ela mesma; μ é o Multiplicador de Lagrange; e $\gamma(x_n; x_0)$ é a variância espacial entre a n -ésima amostra e o ponto x_0 que será estimado.

4.3. Avaliação dos fatores restritivos dos solos

Utilizando o Zoneamento Agropecuário do Estado da Paraíba (PARAÍBA, 1978) foram extraídas as informações pedológicas dos solos e criado uma tabela para classificação dos mapas de salinidade/sodicidade, profundidade efetiva, pedregosidade, fertilidade, erosão, drenabilidade e textura (Tabela 2), sendo interpretados e classificados de acordo com os fatores restritivos dos solos (nula, ligeira, moderada, forte, muito forte e extremamente forte) e introduzidos manualmente no software SPRING, gerando os respectivos mapas temáticos. A classificação dos polígonos de solos do mapa foi a partir da chave da fórmula básica da classe de capacidade de uso da terra constante no Zoneamento Agropecuário do Estado da Paraíba (PARAÍBA, 1978) onde foram interpretadas as unidades de solos.

Tabela 2. Fatores restritivos dos solos

Classes	Fator Restritivo							
	Declividade (%)	Pedregosidade (%)	Profundidade Efetiva (m)	Textura	Drenagem	Fertilidade	Salinidade/Sodicidade	Erosão
Nula	0-3	0	> 2	Arenosa	Excessiva/ Forte/ Acentuada	Muito Alta	Não Salino/ Não Sódico	Não Aparente
Ligeira	3-6	< 1	1 a 2	Média/ Siltosa	Boa	Alta	Não Salino/ Não Sódico	Ligeira
Moderada	6-12	< 10	0,5 a 1	Argilosa	Moderada	Média	Ligeiramente Salino/ Ligeiramente Sódico	Moderada
Forte	12-20	< 30	0,25 a 0,5	Muito Argilosa/ Indiscriminada	Imperfeita	Baixa	Salino/ Sódico	Severa
Muito Forte	>20	> 30	<0,25		Má	Muito Baixa	Muito Salino/ Muito Sódico	Muito Severa/ Extremamente Severa

Fonte: Adaptado de PARAÍBA (1978); Francisco et al. (2014).

Utilizando o mapa de declividade foi realizado um refinamento das áreas com objetivo de eliminar áreas menores de 3 km² devido a escala de trabalho. Para identificar os fatores restritivos, foram calculadas as áreas utilizando a opção do SIG “medida de classes” e elaborada uma planilha.

4.4. Avaliação do potencial de irrigação

O potencial das terras foi avaliado, tomando-se como base os atributos do solo e as condições ambientais a estes associados, como relevo, pedregosidade, posição na paisagem, geologia, entre outros. Pelas mesmas razões, a interpretação foi elaborada de forma mais genérica, não considerando as exigências específicas das culturas, nem um sistema de irrigação determinado (Araújo Filho, 2013).

A avaliação do potencial de terras para irrigação e seu mapeamento foi realizada visando delimitar áreas de terras consideradas aptas à irrigação e separar áreas de terras consideradas inaptas para manejos irrigados nas condições econômicas e de conhecimentos técnicos vigentes. A classificação adotada, em linhas gerais, teve como base o sistema de classificação de terras para irrigação do *Bureau of Reclamation* (BUREC, 1953) com adaptações desenvolvidas para as condições da região nordeste do Brasil por Cavalcanti et al. (1994).

Nesse contexto, optou-se por uma indicação linear das classes e subclasses, de forma simplificada seguidas dos respectivos fatores limitantes dos solos, na forma convencional, porém omitindo-se os dados que seriam apontados como denominador conforme a metodologia de *Bureau of Reclamation* (BUREC, 1953).

Com isso, na seleção desses caracteres, verificou-se que estão implícitas as demais características dependentes dos mesmos, de modo que se possam inferir as propriedades inerentes à respectiva classe. Por outro lado, a indicação somente da classe foi realizada.

Adotou-se a classificação de terras para irrigação do BUREC que estabelece quatro classes de terras consideradas aráveis e duas consideradas não-aráveis. Nas terras aráveis, a vocação produtiva ou capacidade de pagamento decresce progressivamente das classes de 1 para a 4. As terras da classe 4, denominadas de uso especial, são aquelas de uso restrito e que podem ter uma deficiência excessiva ou várias deficiências combinadas. As terras não-aráveis são aquelas definidas pelas classes 5 e 6. A concepção do sistema admite que na classe 5 estejam incluídas terras com valor potencial que possam passar para uma classe arável ou para classe 6 em definitivo, após estudos agrônômicos, de engenharia civil ou de economia. A classe 6 inclui as terras que não apresentam as condições mínimas exigidas para seu enquadramento em outra classe e, portanto, são inadequadas para cultivos irrigados convencionais.

As seis classes de terras e suas características mais importantes foram definidas da seguinte forma:

Classe 1. Terras aráveis, altamente adequadas para agricultura irrigada. São capazes de oferecer altas produções para um grande número de culturas climaticamente adaptadas, a um custo razoável, não apresentando nenhuma limitação para a sua utilização.

Classe 2. Terras aráveis, com moderada aptidão para agricultura irrigada. São adaptáveis a um menor número de culturas e têm um maior custo de produção que as terras da classe 1. Podem apresentar limitações corrigíveis ou não, decorrentes de ligeiras a moderadas deficiências com relação à fertilidade, disponibilidade de água, profundidade, permeabilidade, topografia ou drenagem.

Classe 3. Terras aráveis com aptidão restrita para agricultura irrigada. Possuem apenas os requerimentos mínimos para irrigação. As deficiências, corrigíveis ou não, podem ser relativas ao solo, à topografia e à drenagem e, individualmente ou combinadas, são mais intensas que na classe 2. Podem ter limitações quanto à fertilidade muito baixa, textura arenosa, topografia irregular, salinidade moderada, drenagem restrita, entre outras. Tais limitações são suscetíveis de correção a custos relativamente altos, podendo algumas delas ser incorrigíveis. Têm aptidão para um restrito número de culturas adaptáveis, mas com manejo adequado, podem produzir economicamente.

Classe 4. Terras aráveis de uso especial. Podem ter uma excessiva deficiência específica, ou deficiências suscetíveis de correção a alto custo, ou ainda, apresentar deficiências incorrigíveis, que limitam sua utilidade para determinadas culturas muito adaptadas ou métodos específicos de irrigação. As deficiências nessa classe podem ser: drenagem inadequada, topografia ondulada, pequena profundidade efetiva, excessiva pedregosidade, textura grossa, salinidade e, ou, sodicidade. Possuem capacidade de pegamento com grande amplitude de variação.

Classe 5. Terras não-aráveis, mas em situação provisória. São terras que requerem estudos especiais de agronomia, economia e engenharia para determinar sua irrigabilidade. Podem ter deficiências específicas como posição elevada, salinidade excessiva, topografia irregular ou drenagem inadequada com necessidade de trabalhos de proteção contra inundação. Após estudos especiais, essas terras passam para uma classe arável ou para a classe 6.

Classe 6. Terras não-aráveis. Inclui as terras que não satisfazem os requisitos mínimos das outras classes e, portanto, são inadequadas para irrigação convencional. Geralmente compreendem terras com solos rasos; terras com solos influenciados por sais e de recuperação muito difícil devido à textura muito argilosa, posição ou condições do substrato; terras com textura arenosa, tendo baixa capacidade de retenção de água disponível; terras dissecadas e severamente erodidas; terras representadas por canais de transbordamento e escoamento; terras

com muita pedregosidade e, ou, rochosidade; terras muito elevadas ou com topografia excessivamente declivosa ou complexa; e todas as outras áreas obviamente não-aráveis.

Os critérios utilizados neste trabalho para a definição do potencial de terras para irrigação podem ser averiguados na Tabela 3. Esta tabela é um guia geral, e, em essência, incorpora as principais recomendações de irrigabilidade das terras conforme Batista et al. (2002) e Carter (1993).

Tabela 3. Critérios para o estabelecimento das classes de terras

Características da Terra	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5	Classe 6
Profundidade (cm):						
até material semipermeável (rocha semi-decomposta fraturada, fragipã, horizonte plântico; Até material impermeável: material rochoso firme, duripã, B plântico.	> 150	> 100	> 60	> 40	> 60	< 40
	> 200	> 150	> 120	> 80	> 120	< 80
Textura (Grupamento textural)						
Superficial:	média	média a argilosa	arenosa a argilosa	arenosa a argilosa	média a argilosa	arenosa a argilosa
Subsuperficial:	média	média a argilosa	méd. a m. argilosa	aren. a m. argilosa	média a argilosa	aren. a m. argilosa
Capacidade de Água Disponível (mm)						
Superficial (0-30 cm de profundidade)	> 36	> 24	> 18	> 15	> 18	< 15
Acumulada (0- de profundidade)	> 80	> 54	> 40	> 35	> 40	< 35
Acumulada (0- de profundidade)	> 120	> 80	> 60	> 50	> 60	< 50
Soma de Ca⁺⁺ + Mg⁺⁺ (cmol_c kg⁻¹ de solo) (0- de profundidade)(*)						
	> 5,0	> 3,0	> 1,5	> 1,0	> 1,5	< 1,0
Capacidade de Troca de Cátions (cmol_c kg⁻¹ de solo) (0- de profundidade)						
	> 8,0	> 5,0	> 3,0	> 2,0	> 3,0	< 2,0
Alumínio Trocável (cmol_c kg⁻¹ de solo) (30- de profundidade)						
	< 0,5	< 1,5	< 2,5	< 3,0	< 2,5	> 3,0
Reação do Solo (pH em água)						
	> 6,0	> 5,0	> 4,5	> 4,0	> 4,5	< 4,0
	< 7,5	< 7,5	< 8,0	< 8,5	< 8,0	> 8,5
Saturação com Sódio Trocável (100Na⁺/CTC)						
0- de profundidade:	< 6,0	< 6,0	< 15,0	< 25,0	< 15,0	< 25,0
60- de profundidade:	< 6,0	< 15,0	< 25,0	< 30,0	< 25,0	< 30,0
Condutividade Elétrica (dS m⁻¹)						
0- de profundidade:	< 4,0	< 4,0	< 6,0	< 8,0	< 6,0	> 8,0
60- de profundidade:	< 4,0	< 6,0	< 8,0	< 12,0	< 8,0	> 12,0
Topografia (forma de relevo e declividade do terreno - %)						
	< 3	< 20	< 40	< 40	< 20	> 40
Condutividade Hidráulica (cm h⁻¹)						
0- de profundidade:	> 6,0	> 6,0	> 0,1	> 0,1	> 0,1	< 0,1
60- de profundidade:	< 16,0	< 20,0	< 20,0	< 30,0	< 20,0	> 30,0
0- de profundidade:	> 6,0	> 3,0	> 0,1	> 0,1	> 0,1	< 0,1
60- de profundidade:	< 16,0	< 20,0	< 20,0	< 30,0	< 20,0	> 30,0

Fonte: EMBRAPA (2012).

Após, foram extraídas as informações pedológicas dos solos e criado uma tabela para classificação do mapa, sendo interpretados e classificados de acordo com as classes e introduzidos manualmente no software SPRING, gerando o respectivo mapa temático e calculado suas respectivas áreas.

4.5. Áreas irrigadas e potencial de expansão

Neste trabalho foram utilizados dados da Agência Nacional das Águas (ANA, 2021) do Atlas Irrigação: uso da água na agricultura irrigada onde consta os Indicadores Municipais - área irrigada e fertirrigada atual e área adicional irrigável para cada município do Estado.

Com o uso de planilha eletrônica foram realizados a classificação dos municípios e os cálculos das áreas irrigadas e com potencial de irrigação. Para a elaboração dos mapas de distribuição das áreas irrigadas e com potencial de irrigação foi utilizado o SIG SPRING 5.5.

4.6. Identificação de áreas agrícolas

Propôs-se elaborar a identificação de áreas rurais, e para isso utilizou-se um arquivo digital disponibilizado pelo MapBiomias (2021). Também foram identificadas e mapeadas áreas de assentamentos rurais, áreas de quilombolas, indígenas e de reserva florestal, ambos oficializados pelas devidas instituições. As áreas urbanas foram identificadas através de um arquivo digital disponibilizado pela Geoinfo das áreas urbanas do Brasil (EMBRAPA, 2015). O arquivo digital foi importado ao SIG SPRING e após classificado e calculado as respectivas áreas, foi elaborado um mapa.

4.7. Avaliação da irrigação e produção agrícola

Foram obtidos dados do Censo Agropecuário disponibilizado pelo IBGE (2021) de estabelecimentos agrícolas da área em estudo, utilização de terras, sistema de plantio, área irrigada, assistência técnica, financiamento, adubação, uso de agrotóxicos, sistema de preparo do solo, tratores e implementos, e culturas cultivadas como feijão, mandioca, milho, sorgo e palma. Após, utilizando o SPRING foram gerados mapas de distribuição para as culturas estudadas.

4.8. Determinação da aptidão agrícola de risco climático

Através das informações contidas na metodologia fornecida pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, e na metodologia de trabalho baseada na proposta de Francisco et al. (2011) em que, por meio do Relatório do Zoneamento Agropecuário do Estado da Paraíba (PARAÍBA, 1978), consta a descrição dos polígonos de solos e suas respectivas classes de capacidade de uso que contém as chaves de interpretações em relação aos solos, foi possível classificar e elaborar o mapa de Zoneamento Agrícola de Risco Climático para a região em estudo.

Foram adotados os parâmetros exigidos pelo MAPA (2008) conforme as especificações e recomendações contidas na Instrução Normativa nº 2, de 9 de outubro de 2008 sobre as características dos solos, considerados aptos ao plantio das culturas recomendadas, que são agrupados em três categorias quanto à sua capacidade de retenção de água assim descritos conforme a Tabela 4.

Tabela 4. Especificação das características dos solos para plantio de culturas

Tipo	Teor de Argila	Areia	Declividade	Pedregosidade	Profundidade
	%.....			cm
1	> 10 e <= 15				
2	15 e 35	< 70			
3	> 35				
Área Proibida	< 10		> 45	15	< 50

As culturas zoneadas pelo MAPA (2020) e estudadas neste trabalho são a do Milho (*Zea Mays* L.), Feijão comum (*Phaseolus vulgaris*), Mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), Sorgo (*Sorghum bicolor*) e Palma forrageira (*Opuntia* sp.). Para as culturas irrigadas são estudadas a Uva (*Vitis vinifera*) e a Banana (*Musa* sp).

Para facilitar a interpretação das recomendações e orientações do MAPA (2019), foram obtidas através das portarias disponíveis no site as culturas zoneadas para os municípios, foram adotados períodos de semeadura (Tabela 5), e de forma simplificada foram elaboradas tabelas resumo.

Tabela 5. Períodos decendiais indicados para semeadura

Períodos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Datas	1 a 10	11 a 20	21 a 31	1 a 10	11 a 20	21 a 28	1 a 10	11 a 20	21 a 31	1 a 10	11 a 20	21 a 30
Meses	Janeiro			Fevereiro			Março			Abril		
Períodos	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Datas	1 a 10	11 a 20	21 a 31	1 a 10	11 a 20	21 a 30	1 a 10	11 a 20	21 a 31	1 a 10	11 a 20	21 a 31
Meses	Maio			Junho			Julho			Agosto		
Períodos	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
Datas	1 a 10	11 a 20	21 a 30	1 a 10	11 a 20	21 a 31	1 a 10	11 a 20	21 a 30	1 a 10	11 a 20	21 a 31
Meses	Setembro			Outubro			Novembro			Dezembro		

Fonte: MAPA (2019).

4.9. Determinação do potencial de produção agrícola irrigada

Os parâmetros do solo e da paisagem são importantes para o desenvolvimento das culturas adotadas neste trabalho, como também para a conservação do ambiente, particularmente do solo, sendo consideradas quanto às características intrínsecas do solo (Francisco et al., 2017).

A proposta deste trabalho corresponde a uma classificação técnico-interpretativa, que visa agrupar tipos de solos aptos à irrigação e as necessidades hídricas das culturas. Baseada em atributos da terra facilmente obtidos ou estimados a classificação proposta, pretende, de forma preliminar e exploratória, ser uma ferramenta técnica auxiliar, norteadora da produção agrícola.

Baseada nas potencialidades e limitações de solo e de clima para culturas agrícolas e considerando o uso da terra na condição de sequeiro (sem irrigação) e um cenário pluviométrico, será elaborado o mapa do potencial de produção agrícola entre o cruzamento matricial do potencial de irrigação e de capacidade de retenção de água dos solos.

Para tal, foi criado o mapa de potencial de irrigação dos solos categorizado nas seguintes classes:

- I 1 - Classe 1: Terras aráveis, altamente adequadas para agricultura irrigada;
- I 2 - Classe 2: Terras aráveis, com moderada aptidão para agricultura irrigada;
- I 3 - Classe 3: Terras aráveis com aptidão restrita para agricultura irrigada;
- I 4 - Classe 4: Terras aráveis de uso especial;
- I 5 - Classe 5; Terras não-aráveis, mas em situação provisória; e
- I 6 - Classe 6: Terras não-aráveis.

Também foi elaborado o mapa de capacidade de retenção dos solos categorizado nas seguintes classes:

T 1 - Tipo 1: Com teor de argila maior que 10% e menor ou igual a 15%;

T 2 - Tipo 2: Com solos com teor de argila entre 15 e 35% e menos de 70% areia;

T 3 - Tipo 3: Com solos com teor de argila maior que 35%; e

AP - Áreas Proibidas: Sendo expressamente proibido o plantio de qualquer cultura que esteja em solos que apresentem teor de argila inferior a 10% nos primeiros 50 cm de solo; em solos que apresentem profundidade inferior a 50 cm; em solos que se encontra em áreas com declividade superior a 45%; e em solos muito pedregosos, isto é, solos nos quais calhaus e matações ocupam mais de 15% da massa e/ou da superfície do terreno.

Após, foi gerado o mapa parcial através do cruzamento matricial dos mapas de potencial de irrigação dos solos e de capacidade de retenção dos solos, onde foi realizada uma linguagem utilizando o LEGAL do SPRING (Anexo 1).

As classes são definidas pelo mais alto grau de limitação imposto e categorizado pelas classes (Tabela 6), sendo assim definidas neste trabalho:

MA1 - Muito Alto 1: (I 1 - T 1) Classe 1 e Tipo 1;

MA2 - Muito Alto 2: (I 1 - T 2) Classe 1 e Tipo 2;

MA3 - Muito Alto 3: (I 1 - T 3) Classe 1 e Tipo 3;

MA4 - Muito Alto 4: (I 1 - AP) Classe 1 e Áreas Proibidas;

A1 - Alto 1: (I 2 - T 1) Classe 2 e Tipo 1;

A2 - Alto 2: (I 2 - T 2) Classe 2 e Tipo 2;

A3 - Alto 3: (I 2 - T 3) Classe 2 e Tipo 3;

A4 - Alto 4: (I 2 - AP) Classe 2 e Áreas Proibidas;

M1 - Médio 1: (I 3 - T 1) Classe 3 e Tipo 1;

M2 - Médio 2: (I 3 - T 2) Classe 3 e Tipo 2;

M3 - Médio 3: (I 3 - T 3) Classe 3 e Tipo 3;

M4 - Médio 4: (I 3 - AP) Classe 3 e Áreas Proibidas;

B1 - Baixo 1: (I 4 - T 1) Classe 4 e Tipo 1;

B2 - Baixo 2: (I 4 - T 2) Classe 4 e Tipo 2;

B3 - Baixo 3: (I 4 - T 3) Classe 4 e Tipo 3;

B4 - Baixo 4: (I 4 - AP) Classe 4 e Áreas Proibidas;

MB1 - Muito Baixo 1: (I 5 - T 1) Classe 5 e Tipo 1;

MB2 - Muito Baixo 2: (I 5 - T 2) Classe 5 e Tipo 2;

MB3 - Muito Baixo 3: (I 5 - T 3) Classe 5 e Tipo 3;

MB4 - Muito Baixo 4: (I 5 - AP) Classe 5 e Áreas Proibidas;

MB1 - Muito Baixo 1: (I 6 - T 1) Classe 6 e Tipo 1;

MB2 - Muito Baixo 2: (I 6 - T 2) Classe 6 e Tipo 2;

MB3 - Muito Baixo 3: (I 6 - T 3) Classe 6 e Tipo 3; e

MB4 - Muito Baixo 4: (I 6 - AP) Classe 6 e Áreas Proibidas.

Tabela 6. Classes do cruzamento matricial entre o mapa parcial de potencial de irrigação e o de capacidade de retenção de água no solo

Classes Irrigação	Capacidade retenção de água no solo			
	T1	T2	T3	AP
I1	MA1	MA2	MA3	MA4
I2	A1	A2	A3	A4
I3	M1	M2	M3	M4
I4	B1	B2	B3	B4
I5	MB1	MB2	MB3	MB4
I6	MB1	MB2	MB3	MB4

Utilizando o mapa de pluviosidade média anual elaborado por este trabalho e a metodologia de Barros et al. (2012), foram elaborados os mapas das condições climáticas para as culturas do feijão, mandioca, milho, sorgo e palma forrageira.

A discriminação da condição climática foi adaptada de Francisco e Santos (2018) e da proposta de Varejão e Barros (2002) onde para cada posto pluviométrico, foi estabelecida a média anual de precipitação pluviométrica registrada dos ciclos hidrológicos completos estudados. As classes de condição climática foram definidas em 5 critérios determinadas de acordo com a Tabela 7.

C1 - Plena: corresponde às áreas sem limitação climática;

C2 - Plena com período chuvoso prolongado: mas com pequena probabilidade de ocorrer excesso hídrico, devido à ocorrência de um período chuvoso prolongado, durante a colheita e/ou a secagem de grãos;

C3 - Moderada por excesso hídrico: caracteriza-se por indicar áreas, onde ocorre excesso hídrico que prejudica a colheita e/ou a secagem de grãos;

C4 - Moderada por deficiência hídrica: áreas com pequena e/ou moderada deficiência hídrica, prejudicando o crescimento e desenvolvimento da cultura; e

C5 - Inapta por deficiência hídrica acentuada: por apresentar elevada deficiência hídrica, inviabilizando o período vegetativo da cultura.

Tabela 7. Classes de condição climática

Legenda	Condição Climática	Feijão	Milho	Mandioca	Sorgo	Palma forrageira
		Pluviosidade (mm)				
C1	Plena	350-400	1.050-1.100	500-550	550-600	600-800
C2	Plena com período chuvoso prolongado	400-450	1.100-1.200	550-600	600-650	800-850
C3	Moderada por excesso hídrico	> 450	> 1.200	> 600	> 650	> 850
C4	Moderada por deficiência hídrica	300-350	1.000-1.050	450-500	500-550	400-600
C5	Inapta por deficiência hídrica acentuada	< 300	< 1.000	< 450	< 500	< 400

Fonte: adaptado de Francisco e Santos (2018).

Após foi elaborada uma linguagem no LEGAL do SPRING (Anexo 2) para geração do mapa de potencial de produção agrícola através do cruzamento matricial entre o mapa parcial e o mapa de cenário climático, conforme a categorização das classes descritas na Tabela 8 e assim definidas:

- MA1 - Muito Alto 1: (IT 1 – C 1) Irrigação Tipo 1 e Condição climática 1;
- MA2 - Muito Alto 2: (IT 1 - C 2) Irrigação Tipo 1 e Condição climática 2;
- A1 - Alto 1: (IT 2 – C 1) Irrigação Tipo 2 e Condição climática 1;
- A2 - Alto 2: (IT 2 - C 2) Irrigação Tipo 2 e Condição climática 2;
- M1 - Médio 1: (IT 3 – C 1) Irrigação Tipo 3 e Condição climática 1;
- M2 - Médio 2: (IT 3 - C 2) Irrigação Tipo 3 e Condição climática 2;
- M3 – Médio 3: (IT 1 - C 3) Irrigação Tipo 1 e Condição climática 3;
- M4 - Médio 4: (IT 2 - C 3) Irrigação Tipo 2 e Condição climática 3;
- M5 - Médio 5: (IT 3 - C 3) Irrigação Tipo 3 e Condição climática 3;
- M6 - Médio 6: (IT 1 – C 4) Irrigação Tipo 1 e Condição climática 4;
- M7 - Médio 7: (IT 2 – C 4) Irrigação Tipo 2 e Condição climática 4;
- M8 - Médio 8: (IT 3 – C 4) Irrigação Tipo 3 e Condição climática 4;
- B1 - Baixo 1: (IT 4 – C 1) Irrigação Tipo 4 e Condição climática 1;
- B2 - Baixo 2: (IT 4 - C 2) Irrigação Tipo 4 e Condição climática 2;
- B3 - Baixo 3: (IT 4 - C 3) Irrigação Tipo 4 e Condição climática 3;
- B4 - Baixo 4: (IT 4 – C 4) Irrigação Tipo 4 e Condição climática 4;
- MB1 - Muito Baixo 1: (IT 5 – C 1) Irrigação Tipo 5 e Condição climática 1;
- MB2 - Muito Baixo 2: (IT 5 - C 2) Irrigação Tipo 5 e Condição climática 2;
- MB3 - Muito Baixo 3: (IT 5 - C 3) Irrigação Tipo 5 e Condição climática 3;
- MB4 - Muito Baixo 4: (IT 5 – C 4) Irrigação Tipo 5 e Condição climática 4;

MB1 - Muito Baixo 1: (IT 6 – C 1) Irrigação Tipo 6 e Condição climática 1;
 MB2 - Muito Baixo 2: (IT 6 - C 2) Irrigação Tipo 6 e Condição climática 2;
 MB3 - Muito Baixo 3: (IT 6 - C 3) Irrigação Tipo 6 e Condição climática 3;
 MB4 - Muito Baixo 4: (IT 6 – C 4) Irrigação Tipo 6 e Condição climática 4;
 MB5 - Muito Baixo 5: (IT 1 – C 5) Irrigação Tipo 1 e Condição climática 5;
 MB6 – Muito Baixo 5: (IT 2 – C 5) Irrigação Tipo 2 e Condição climática 5;
 MB7 - Muito Baixo 7: (IT 3 – C 5) Irrigação Tipo 3 e Condição climática 5;
 MB8 - Muito Baixo 8: (IT 4 – C 5) Irrigação Tipo 4 e Condição climática 5;
 MB9 - Muito Baixo 9: (IT 5 – C 5) Irrigação Tipo 5 e Condição climática 5; e
 MB9 - Muito Baixo 5: (IT 6 – C 5) Irrigação Tipo 6 e Condição climática 5.

Tabela 8. Classes do potencial de produção agrícola das culturas

Potencial Parcial	Condição climática				
	C1	C2	C3	C4	C5
IT1	MA1	MA2	MA3	MA4	MB5
IT2	A1	A2	A3	A4	MB6
IT3	M1	M2	M3	M4	MB7
IT4	B1	B2	B3	B4	MB8
IT5-IT6	MB1	MB2	MB3	MB4	MB9

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Mapeamento da pluviosidade

Não foi possível adotar, neste trabalho, um período de observação comum da pluviosidade para todas as localidades, haja vista a diferença do número de anos que tal procedimento acarretaria, devido à diferença de início da operação destes postos. Assim, para cada localidade com série de observação igual ou superior a vinte anos, foi considerado para o período disponível, independente do início.

Na Tabela 9 observa-se os dados de precipitação média mensal e anual de postos da área de estudo, para um período mínimo de vinte e sete anos de observação.

Tabela 9. Precipitação média mensal e anual em milímetros (mm) da área de estudo

Município	Série (anos)	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
Aroeiras	47	41,2	41,8	79,7	93,4	72,7	83,7	85,1	41,2	19,6	7,6	8,3	26,4	600,9
Alcantil	54	74,0	95,4	144,2	150,3	131,7	142,8	127,8	77,8	38,8	16,7	22,9	32,1	1.054,5
Barra de Santana	50	20,8	43,7	80,8	100,4	55,3	60,5	57,7	23,5	13,7	7,6	5,8	13,1	483,0
Barra de São Miguel	58	33,1	55,4	84,5	86,1	44,2	45,0	32,0	13,6	6,9	5,6	3,2	14,9	424,6
Boa Vista	97	26,0	35,2	82,3	69,4	58,7	53,0	45,9	19,2	5,5	6,6	4,3	9,4	416,3
Boqueirão	48	41,5	49,7	74,6	86,5	51,8	62,5	53,3	24,2	12,0	5,3	8,8	14,0	484,2
Campina Grande	98	55,3	47,7	91,8	141,8	104,7	112,7	154,0	58,8	48,7	17,4	13,2	29,3	875,4
Caturité	28	102,5	109,7	163,2	162,4	107,8	53,7	34,5	15,3	2,6	9,5	14,1	25,0	800,2
Fagundes	58	44,7	61,6	114,3	122,1	120,9	142,9	149,2	77,4	41,0	15,6	13,7	26,7	930,3
Gado Bravo	61	32,8	49,8	89,6	115,1	82,7	85,1	94,1	39,7	26,5	9,3	7,1	19,1	650,9
Itatuba	30	48,4	55,9	82,2	69,2	94,5	123,6	90,0	51,1	20,6	5,1	9,0	16,5	666,0
Montadas	30	47,9	40,1	40,5	64,6	61,4	96,4	80,2	42,7	20,3	8,6	8,3	8,6	519,5
Natuba	30	62,1	77,1	97,0	112,9	137,5	192,9	157,8	108,2	56,0	24,5	26,5	25,4	1.077,9
Pocinhos	87	20,0	35,2	64,3	68,9	51,5	51,4	48,7	18,7	9,8	5,2	3,5	8,1	385,3
Puxinanã	34	35,2	54,9	61,2	75,0	80,1	121,5	98,9	67,4	29,8	8,6	7,2	17,8	657,7
Queimadas	79	22,2	41,3	80,9	78,4	62,5	69,7	60,7	29,1	10,2	5,8	5,7	12,2	478,7
Riacho de Sto. Antônio	30	33,4	46,5	76,7	85,0	36,6	39,8	32,8	14,9	6,2	4,4	4,9	16,3	397,4
Santa Cecília	27	30,5	50,2	88,5	106,4	78,1	88,0	91,2	42,6	22,0	8,8	8,1	16,7	631,1
Umbuzeiro	100	39,0	48,2	82,1	97,0	115,8	136,2	123,9	69,5	34,0	10,9	13,5	23,0	793,1
Média	54	42,7	54,7	88,3	99,2	81,5	92,7	85,2	43,9	22,3	9,6	9,9	18,7	648,8

Fonte: adaptado de AESA (2021).

Na Figura 6 apresenta-se a distribuição temporal da precipitação média anual na região de estudo onde se observa variabilidade espacial de precipitação em que as chuvas se concentram no sentido oeste/leste em todo decorrer do ano, devido à orografia da área. Os valores variam de 385,3 a 1.077,9mm em Pocinhos ao Norte da bacia, e em Natuba ao Leste, respectivamente. De acordo com Francisco et al. (2015) estes valores mais elevados em áreas isoladas, devem-se aos fatores atuantes na atmosfera como a baixa intensidade dos raios solares, e alta cobertura de nuvens, flutuações irregulares da umidade relativa do ar e a oscilação da pressão atmosférica. Os mesmos autores, ainda relatam que nesta região de estudo, o período das chuvas inicia-se em março e estende-se até junho que é o mês de maior precipitação. Resultados similares ao encontrado por este estudo.

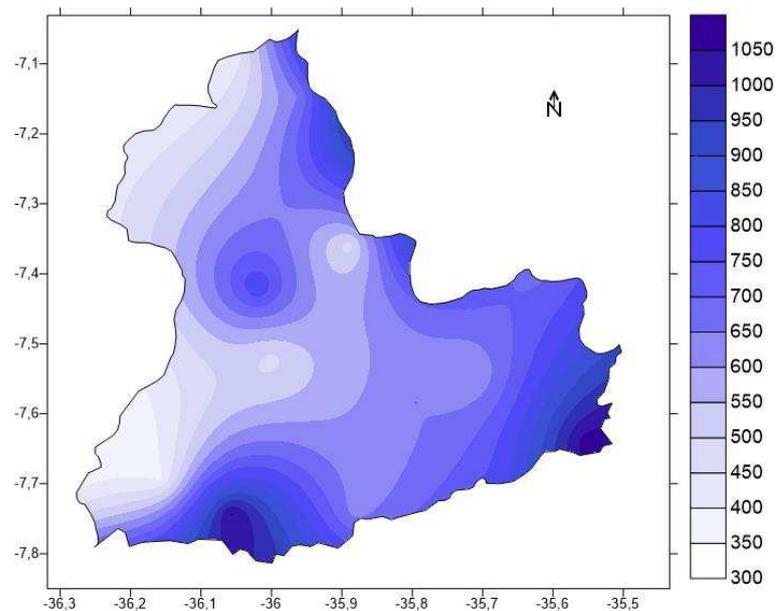


Figura 6. Pluviosidade média anual (mm) de 109 anos.

Fonte: adaptado de AESA (2021).

De acordo com a distribuição espacial e temporal das precipitações mensais (Figura 7), pode-se observar a alta variabilidade da precipitação, tanto espacial como temporal. No mês de janeiro observam-se chuvas menos significativas e de formas isoladas nos municípios de Caturité, Alcantil e Natuba localizados ao centro da bacia, sul e leste, respectivamente, com valores mínimos de 20mm e máximos de 102,48mm. No mês de fevereiro esta distribuição mantém o mesmo padrão do mês de janeiro, com maiores valores mínimos de 35,16mm e máximos de 109,66mm.

Os meses de março e abril apresentam-se mais homogêneos com maior pluviosidade mínima de 61,15mm alcançando valores máximos de 163,2mm; e os meses de maio a junho têm-se os maiores totais e que se distribuem por toda a bacia atingindo a 192,86mm. No mês de julho na região central da bacia, áreas mais altas, os valores de precipitação diminuem com mínimo de 32,02mm e máximo de 166,96mm ao leste da bacia. No mês de agosto os valores de precipitação decaem até dezembro, considerado o mês mais seco, onde as chuvas ocorrem de forma isolada com predominância na região leste da bacia.

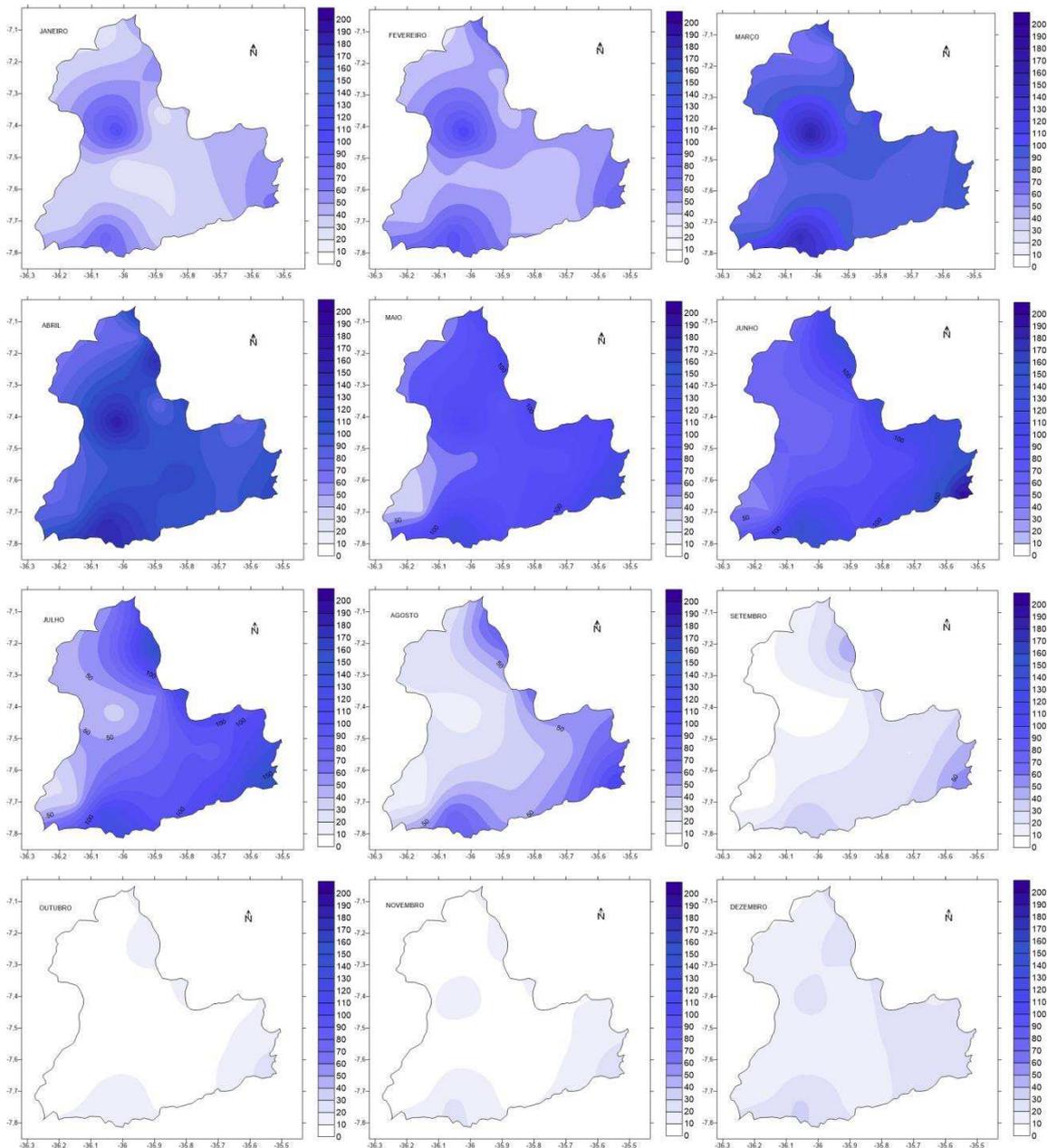


Figura 7. Pluviosidade mensal média de 109 anos (mm). Fonte: adaptado de AESA (2021).

Na Tabela 10 tem-se as variabilidades estatísticas dos parâmetros médios da precipitação para a área de estudo, em que observam-se que as oscilações da precipitação mínima mensal fluem entre 2,63 a 62,95mm, a precipitação máxima oscila entre 24,47 e 192,86mm, e a precipitação média apresenta uma flutuação entre 11,41 e 109,35mm. Observa-se que a maior desvio padrão ocorre na estação chuvosa no mês de junho com o valor de 42,47 ocorrendo conjuntamente à maior variância de 1.804,24. No mês de setembro ocorre o maior coeficiente de variância em 0,55 e menor valor em março em estação seca com valor de 0,27.

Tabela 10. Variabilidade estatística da pluviosidade dos municípios da área de estudo

	Pluviosidade (mm)						
	Mínimo	Mediana	Máxima	Média	Desvio Padrão	Variância	Coefficiente Variância
Janeiro	20,00	41,54	102,48	47,17	19,82	392,95	0,42
Fevereiro	35,16	54,94	109,66	61,03	20,00	400,14	0,32
Março	61,15	84,51	163,20	97,70	27,00	729,33	0,27
Abril	62,95	104,76	162,35	109,35	29,30	858,88	0,26
Mai	36,55	94,50	138,15	93,56	31,61	999,52	0,33
Junho	39,76	112,70	192,86	106,40	42,47	1.804,24	0,39
Julho	32,02	91,87	166,96	97,12	41,40	1.689,71	0,42
Agosto	13,63	51,10	110,26	53,80	28,17	794,00	0,52
Setembro	2,63	24,58	55,99	26,06	14,37	206,54	0,55
Outubro	4,37	9,48	24,47	11,41	5,46	29,89	0,47
Novembro	3,16	13,20	26,54	12,44	6,58	43,38	0,52
Dezembro	8,11	22,05	32,13	21,44	6,96	48,51	0,32

Com relação à variabilidade entre os meses observa-se por meio das caixas interquartis do gráfico boxplot que o mês de julho apresenta menor variabilidade (Figura 8g). Pelo Teste de normalidade observa-se que a distribuição apresenta-se regular nos meses de abril, maio e junho (Figura 9e, 9d e 9f).

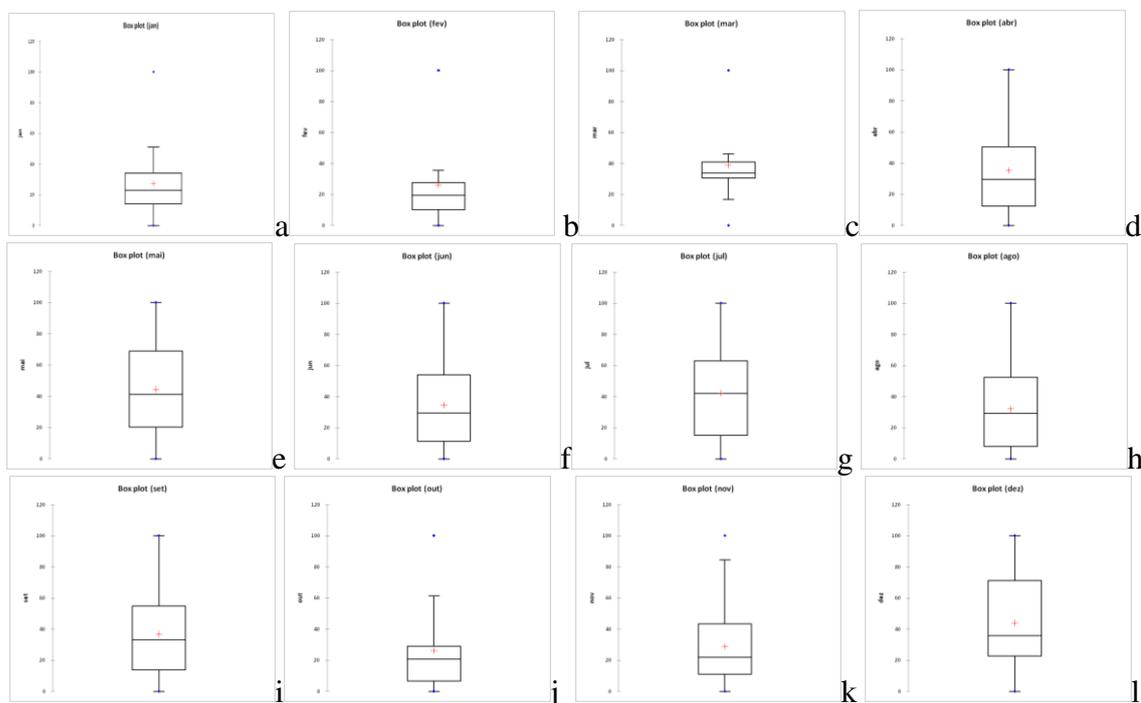


Figura 8. Boxplot da pluviosidade mensal média (mm).

Resultado semelhante foi obtido por Francisco e Santos (2017), onde observaram que os valores médios mensais da precipitação se concentram na estação do outono; além da contribuição da orografia, apresenta um acréscimo na pluviosidade no sentido oeste/leste em todo o decorrer do ano, em que o período das chuvas inicia-se em março e estende-se até junho, que é o mês de maior precipitação.

Araújo et al. (2007), observaram para região os mesmos municípios, que o período de abril a junho corresponde à quadra chuvosa, e a quadra menos chuvosa vai de setembro a dezembro, e o máximo pluviométrico ocorreu no mês de abril com aproximadamente 87mm, seguido pelos demais meses que compõem a quadra chuvosa.

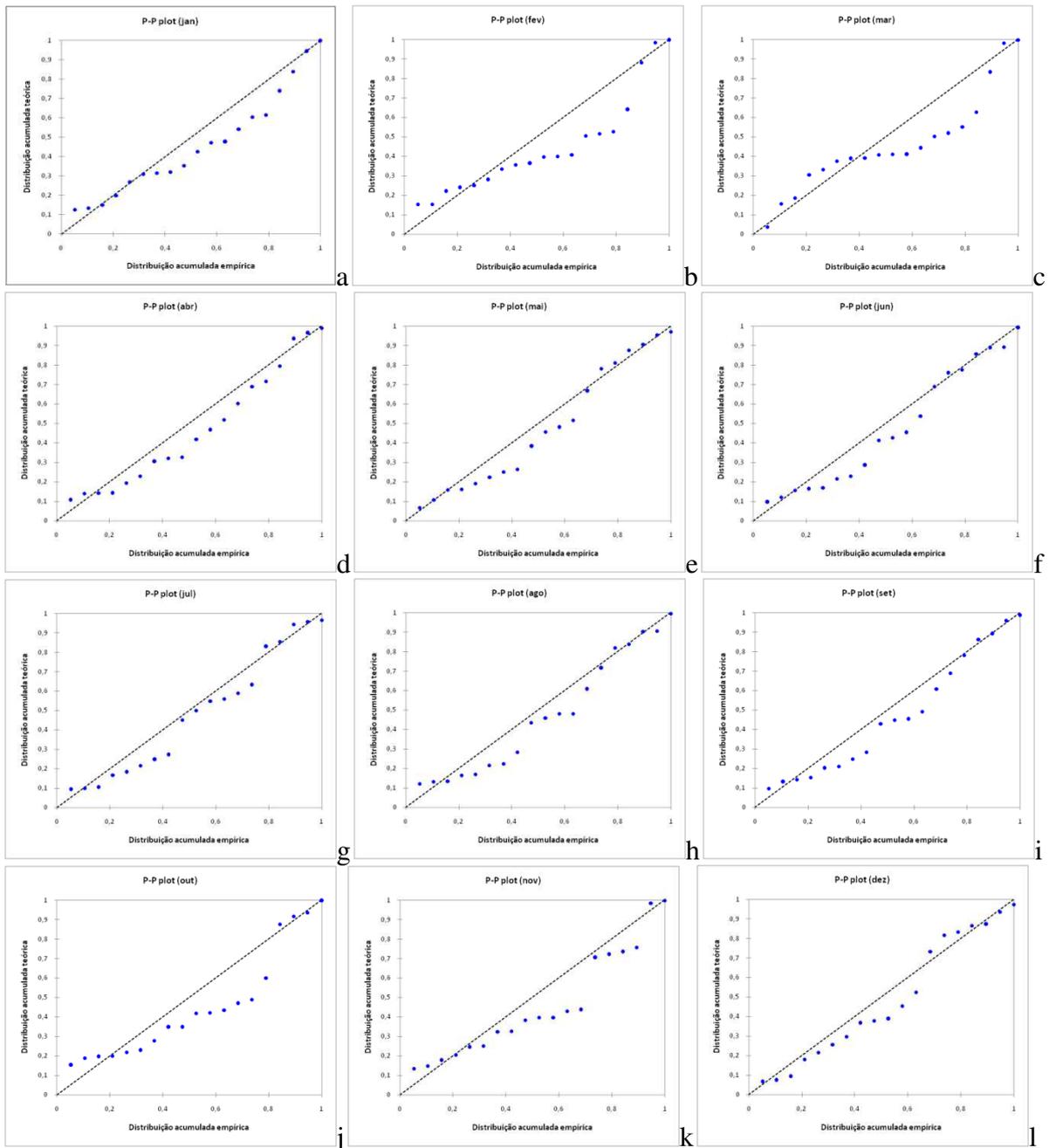


Figura 9. Boxplot da distribuição acumulada da pluviosidade (mm).

Souza et al. (2022) ao elaborarem a modelagem espacial de chuvas intensas na Paraíba observaram que o Estado se destaca pela grande heterogeneidade da precipitação máxima e pela presença de períodos chuvosos distintos em cada mesorregião.

Barros (2022), utilizando técnicas geoestatísticas, observou resultados satisfatórios no mapeamento da pluviosidade total anual de 1991 a 2020 no Estado de Pernambuco, com variações significativas espacialmente, e que a interpolação pelo método de krigagem conseguiu representar bem a variabilidade da precipitação pluviométrica.

5.2. Fatores restritivos dos solos

No mapa de salinidade/sodicidade (Figura 10a) observa-se que a maioria da área apresenta 71,58% no fator de restrição de classe nula com 271.583 ha (Tabela 10), neste caso não havendo restrição de uso para a agricultura. Estas áreas são constituídas pelo Luvissole Crômico Órtico típico e pelo Luvissole Hipocrômico Órtico típico localizados em sua maioria no interior da bacia; e pelo Neossolo Quartzarênico Órtico típico, Argissolo Amarelo Distrófico latossólico e Cambissolo Háptico Ta Eutrófico típico distribuídos tanto ao norte, sudoeste e ao sul da área da bacia. O fator de restrição de classe moderada com 12.228 ha apresenta 3,22% da área, constituída pelo Planossolo Háptico Eutrófico solódico, e no fator de restrição de classe forte apresenta 95.595 ha (25,20% da área) onde ocorre o Planossolo Nátrico Órtico típico.

O Planosso, geralmente, apresenta alta CTC, elevada saturação por bases e sorção de sódio (Na), com percentagem de sódio trocável (PST), comumente entre 8 e 20%, nos horizontes B ou C. Ocorrem, muitas vezes, com componentes secundários em muitas áreas de Luvissoles (EMBRAPA, 2006; Cunha et al., 2008).

No mapa de profundidade efetiva (Figura 10b) observa-se que a classe ligeira apresenta 10,02% no fator de restrição representando 38.006 ha (Tabela 11). Observa-se ainda que 115.386 ha (30,41%) da área se encontram na classe moderada como fator restritivo quanto a profundidade efetiva com a ocorrência do Vertissolo Cromado Órtico típico. Para a classe forte quanto ao fator restritivo da profundidade dos solos 180.376 ha representando 47,54% da área, observa-se que é composto pelos Planossolo Nátrico Órtico típico. Para a classe de restrição muito forte com 45.638 ha (12,03%) ocorrem os Neossolos Litólicos Eutróficos típicos, que de acordo com Francisco (2010) e Francisco et al. (2022), são solos que ocorrem em associações complexas com Afloramentos de Rochas, e encontram-se normalmente em terrenos de relevo forte ondulado e montanhoso.

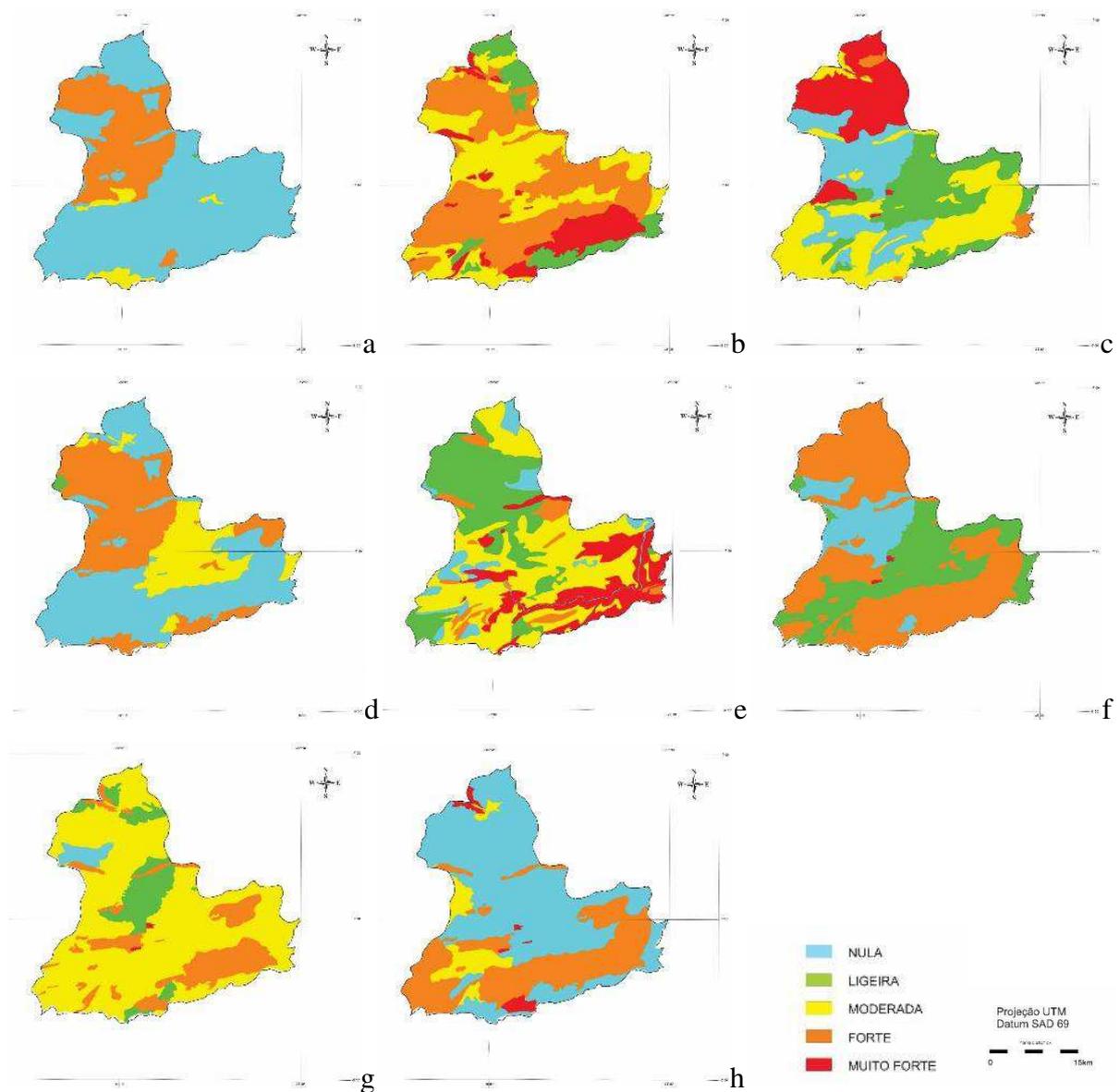


Figura 10. Mapa de restrição quanto (a) salinidade/sodicidade, (b) profundidade efetiva, (c) fertilidade, (d) drenabilidade, (e) declividade, (f) textura, (g) erosão, (h) pedregosidade.

Fonte: Adaptado de PARAÍBA (1978; 2006); Francisco et al. (2014); AESA (2020).

Tabela 11. Distribuição das classes de restrição de uso do solo na bacia

Classe	Nula		Ligeira		Moderada		Forte		Muito Forte	
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
Declividade	31.063	8,19	108.487	28,59	150.412	39,64	23.216	6,12	66.228	17,46
Drenabilidade	178.400	47,02	1.735	0,46	65.198	17,18	134.073	35,34	-	-
Erosão	8718	2,30	39.766	10,48	264.387	69,68	65.827	17,35	708	0,19
Fertilidade	84.917	22,38	86.777	22,87	124.346	32,77	7.496	1,98	75.870	20,00
Pedregosidade	224.756	59,24	-	0,00	26.753	7,05	120.071	31,65	7.826	2,06
Profundidade	-	-	38.006	10,02	115.386	30,41	180.376	47,54	4.5638	12,03
Salinidade	271.583	71,58	-	-	12.228	3,22	9.5595	25,20	-	-
Textura	53.352	14,06	105.083	27,70	-	-	220.256	58,05	715	0,19

Os Neossolos Litólicos têm poucas alternativas de uso por se tratar de solos rasos ou muito rasos e, usualmente, rochosos e pedregosos. Situam-se em áreas acidentadas de serras e encostas íngremes, normalmente com problemas de erosão laminar e em sulcos, severa ou muito severa (Cunha et al., 2010).

No mapa de fertilidade (Figura 10c) observa-se que a área apresenta 22,38% no fator de restrição de classe nula com 84.917 ha. Nesta classe ocorrem o Luvissole Crômico Órtico típico e Luvissole Hipocrômico Órtico típico, localizados ao centro e ao sul da bacia. Para a classe leve de restrição observa-se que apresenta uma área de 86.777 ha (22,87%), representados pelo Luvissole Crômico Órtico típico, Luvissole Hipocrômico Órtico típico, Planossolo Háplico Eutrófico solódico e Cambissolo Háplico Ta Eutrófico típico. Na classe de restrição moderada quanto à fertilidade observa-se 124.346 ha (32,77%) com a maior ocorrência de Neossolos Litólicos Eutróficos típico localizados ao sul da bacia. Estes solos conforme Francisco et al. (2022) são mais rasos e pedregosos, e rochosos, predominantes em área de relevo forte ondulado e montanhoso ao sul, acompanhando a calha do rio Paraíba.

Os Vertissolos, devido aos elevados valores de soma de bases e de capacidade de troca de cátions, associados à presença frequente de grandes quantidades de minerais facilmente intemperizáveis, apresentam elevado potencial nutricional para as plantas (Cunha et al., 2010).

Os Planossolos apresentam elevados valores de soma de bases e de saturação por bases e, também, grandes quantidades de minerais primários facilmente intemperizáveis, o que lhes confere grande capacidade de fornecer nutrientes às plantas (Cunha et al., 2010).

Da classe forte de restrição apresenta 1,98% da área em 7.496 ha relacionado ao Argissolo Amarelo Distrófico latossólico localizado ao sudeste da bacia. A restrição da classe muito forte 75.870 ha (20,0%) tem a ocorrência do Neossolo Quartzarênico Órtico típico onde Cavalcante et al. (2005) enfatiza que, as principais limitações à sua utilização agrícola, são a muito baixa fertilidade natural, baixa capacidade de retenção de água e nutrientes, determinada pela sua textura arenosa.

Cunha et al. (2020) afirmam que, a baixa fertilidade natural do Argissolo constitui fator que limita sua utilização para a agricultura. Nos solos distróficos ocorre baixo potencial nutricional no horizonte B.

No mapa de drenabilidade (Figura 10d) observa-se que, apresenta 178.400 ha no fator de restrição de classe nula representando 47,02% da área. Estes são distribuídas por toda a bacia representada pelo Neossolo Quartzarênico Órtico típico e pelo Neossolos Litólicos Eutróficos típico. A classe moderada de restrição ao fator drenabilidade apresenta 65.198 ha (17,18%) ocorrendo na região sudeste da bacia representada pelo Luvissole Hipocrômico Órtico típico com caráter planossólico. Para a classe forte de restrição a drenabilidade em 134.073 ha

(35,34%) observa-se a ocorrência do Planossolo Nátrico Órtico típico, Planossolo Háplico Eutrófico solódico, distribuídas ao centro norte da bacia e Cambissolo Háplico Ta Eutrófico típico e em menores áreas ao sul divisa com Pernambuco e outra área ao desague da bacia próximo ao açude de Acauã onde ocorre o Luvissole Hipocrômico Órtico típico com caráter planossólico.

Os Vertissolos são pouco permeáveis, o que restringe a sua drenagem. A infiltração, apesar de lenta, é geralmente melhor nos solos com estrutura superficial granular, que pode ser mantida e mesmo melhorada por meio de rotação de culturas, emprego de resíduos das colheitas e uso com pastagem (Oliveira et al., 1992; Cunha et al., 2010).

As propriedades físicas dos Planossolos são os maiores empecilhos ao uso agrícola. O horizonte B plânico, quando em solo pouco profundo, por ser extremamente duro, muito firme e, muitas vezes, muito plástico e muito pegajoso, dificulta o preparo do solo. O adensamento pode limitar a drenagem interna da água, criando condições de ambiente redutor durante boa parte do ano, como, também, pode ser limitante ao desenvolvimento do sistema radicular das culturas, dificultando a sua penetração (Jacomine, 1996).

Na Figura 10e, quanto a declividade, observa-se que apresenta 31.063 ha no fator de restrição de classe nula, representando 8,19% da área, e somando-se com a classe ligeira com 108.487 ha apresenta um total de 36,78% da área. Observa-se que 63,22% da área estão distribuídas entre as classes mais altas de restrição. Estes solos não apresentam as menores condições para um aproveitamento agrícola racional, tendo em vista as limitações fortes existentes, provocadas pelo relevo forte ondulado (Cavalcante et al., 2005).

Francisco (2010) afirma que, as terras da Paraíba são predominantemente planas à suave onduladas, com declividades inferiores a 6% em mais de 56% do seu território. O mesmo autor afirma ainda que a declividade é uma característica marcante da paisagem, pois define níveis de estabilidade dos seus componentes físico-químicos e biodinâmicos, podendo servir de referência para separar ambientes.

Observa-se no mapa de textura (Figura 10f), que apresenta 220.256 ha no fator de restrição de classe forte, representando 58,05% da área; seguida pela classe ligeira e nula com 105.083 e 53.352 km², 27,70 e 14,06%, respectivamente. Na classe forte ocorrem os Planossolo Nátrico Órtico típico, Planossolo Háplico Eutrófico solódico, e Cambissolo Háplico Ta Eutrófico; na classe ligeira o Luvissole Crômico Órtico típico e o Luvissole Hipocrômico Órtico típico; na classe nula o Vertissolo Cromado Órtico típico.

Os Planossolos ocorrem tipicamente em áreas de cotas baixas, planas a suave onduladas. São, geralmente, pouco profundos, com horizonte superficial de cores claras e textura arenosa ou média (leve), seguido de um horizonte B plânico, de textura média, argilosa ou muito

argilosa, adensado, pouco permeável, com cores de redução, decorrente de drenagem imperfeita, e responsável pela formação de lençol suspenso temporário (EMBRAPA, 2006).

Nos Vertissolos durante o período em que ocorrem boas condições de umidade, o preparo do solo é dificultado por causa da textura muito argilosa. Por outro lado, a elevada pegajosidade, quando molhados, e a alta dureza, quando secos, demandam um esforço de tração grande, limitando a utilização desses solos na exploração agrícola (Cunha et al., 2010).

Na Figura 10g, no mapa de fator de restrição quanto a erosão, observa-se que a área apresenta 8.718 ha na classe nula representando 2,30% composta pelo Luvissole Hipocrômico Órtico típico. Da classe ligeira quanto ao fator restritivo de erosão apresenta 39.766 ha (10,48%) composta pelo Vertissolo Cromado Órtico típico e o Neossolo Quartzarênico Órtico típico localizados ao norte, ao centro e ao sul da bacia. Em consequência do relevo que é suave ondulado, os problemas com a erosão são menos intensos para estes solos (Cavalcante et al., 2005).

O fator restritivo de erosão da classe moderada com 264.387 ha (69,68%) composta pelo Planossolo Nátrico Órtico típico, Planossolo Háptico Eutrófico solódico, e Cambissolo Háptico Ta Eutrófico; o Luvissole Crômico Órtico típico e o Luvissole Hipocrômico Órtico típico; e o Vertissolo Cromado Órtico típico. Na classe de restrição forte quanto à erosão observa-se 65.827 ha (17,35%) composta pelo Neossolos Litólicos Eutróficos típico em áreas rochosas de maior declividade e o Neossolo Quartzarênico Órtico típico próximo à calha do rio Paraíba. Estas áreas representadas por unidades de Neossolos Litólicos, são solos com teores elevados de silte e areia fina, frações estas, que em conjunto, estão associadas a 93% das variações da susceptibilidade dos solos a erosão (Francisco, 2010). Cunha et al. (2010) afirmam que a susceptibilidade à erosão destes solos é muito alta, determinada basicamente, pela ocorrência do substrato rochoso a pequena profundidade, principalmente quando é removida a vegetação original.

Em decorrência de suas características, os Vertissolos são muito suscetíveis à erosão e requerem manejo cuidadoso, com práticas de conservação dos solos. É importante se ter em mente que, se utilizados intensivamente, surgirão problemas de erosão laminar (Cunha et al., 2010).

De acordo com Cunha et al. (2010) os Planossolos são solos, do ponto de vista morfológico, solos muito propensos aos processos erosivos, particularmente aqueles de ação superficial (erosão laminar, por exemplo).

Os Luvissoles são solos rasos a pouco profundos, com horizonte B textural de cores vivas e argila de atividade alta, apresentando horizonte A fraco, de cor clara, pouco espesso, maciço ou com estrutura fracamente desenvolvida. São moderadamente ácidos a neutros, com

elevada saturação por bases. Apresentam, frequentemente, revestimento pedregoso na superfície (pavimento desértico) ou na massa do solo e, normalmente, possuem uma crosta superficial de 5 a 10mm de espessura, além de altos teores de silte. São altamente suscetíveis aos processos erosivos, em virtude da grande diferença textural entre o horizonte A e o horizonte Bt (EMBRAPA, 2006; Ribeiro et al., 2009), e da atividade das argilas; e alta erodibilidade, mesmo quando situados em relevo suave ondulado como consequência da coesão e consistência do horizonte superficial e da expressiva mudança textural para o horizonte Bt (Oliveira et al., 1992).

Na Figura 10h, mapa de pedregosidade, observa-se que a área em estudo apresenta 59,24% no fator de restrição de classe nula com valores de 0 a 1% de pedras no volume de massa do solo, representando 2.24756 ha. É composta por Planossolo Nátrico Órtico típico, Planossolo Háptico Eutrófico solódico, Cambissolo Háptico Ta Eutrófico; o Luvissole Cromado Órtico típico e o Luvissole Hipocrômico Órtico típico; e o Vertissolo Cromado Órtico típico. Para a classe moderada de restrição devido à pedregosidade abrange uma área de 26.753 ha, que corresponde a 7,05%. As áreas da classe forte de restrição com 120.071 ha (31,65%) são representadas pelo Neossolos Litólicos Eutrófico, que ocorrem nos contrafortes orientais do Planalto da Borborema, distribuindo-se ao sul, acompanhando a calha do rio Paraíba. As áreas de classe muito forte de restrição devido a pedregosidade com 7.826 ha (2,06%) são compostas por Afloramentos Rochosos, que de acordo com PARAÍBA (1978) e BRASIL (1972), esta unidade de mapeamento constitui um tipo de terreno e não propriamente uma classe de solos.

Para os Luvissoles as limitações decorrem da presença frequente de calhaus e até mesmo matações que se espalham na superfície do solo e na camada superficial; consistência muito dura a extremamente dura, o que dificulta o desenvolvimento do sistema radicular das culturas (Oliveira et al., 1992).

De acordo com Chaves et al. (2010), a inadequação do uso e do manejo das terras tem degradado os solos, acelerando o impacto das atividades humanas sobre o meio ambiente, particularmente, nas regiões semiáridas do Nordeste Brasileiro, onde a vulnerabilidade ambiental é acentuada pelos limites restritivos dos atributos dos solos e da agressividade climática.

Conforme Carmo et al. (2008), as práticas de conservação de solo e água devem ser aplicadas em todas as classes de aptidão, com menor ou maior intensidade e custo, de acordo com as características naturais de cada área.

A gestão eficiente é um fator básico e fundamental para o planejamento e uso racional dos recursos naturais, e a administração desse recurso garantirá a preservação e conservação

ambiental e conseqüentemente o desenvolvimento sustentável, criando meios mais eficazes para a tomada de decisão dos gestores (Francisco et al., 2012; Oliveira, 2017; Muniz, 2022).

5.3. Potencial de irrigação dos solos

De acordo com a Figura 11, observa-se Terras aráveis com aptidão restrita da classe 3, com área de 44.264 ha representando 11,67% da área total (Tabela 12) localizada na área central da região do médio curso do rio Paraíba. Conforme PARAÍBA (2006), estas terras possuem apenas os requerimentos mínimos para irrigação. As deficiências, corrigíveis ou não, podem ser relativas ao solo, à topografia e à drenagem e, individualmente ou combinadas, são mais intensas que na classe 2. Podem ter limitações quanto à fertilidade muito baixa, textura arenosa, topografia irregular, salinidade moderada, drenagem restrita, entre outras. Tais limitações são suscetíveis de correção a custos relativamente altos, podendo algumas delas ser incorrigíveis. Têm aptidão para um restrito número de culturas adaptáveis, mas com manejo adequado, podem produzir economicamente.

Tabela 12. Classes de irrigação para a bacia hidrográfica do médio curso do rio Paraíba

Classes de Irrigação	ha	%
1 Terras aráveis, altamente adequadas para agricultura irrigada	-	-
2 Terras aráveis, com moderada aptidão para agricultura irrigada	-	-
3 Terras aráveis com aptidão restrita para agricultura irrigada	44.264	11,67
4 Terras aráveis de uso especial	32.029	8,44
5 Terras não-aráveis, mas em situação provisória	-	-
6 Terras não-aráveis	303.113	79,89
Total	379.406	100,00

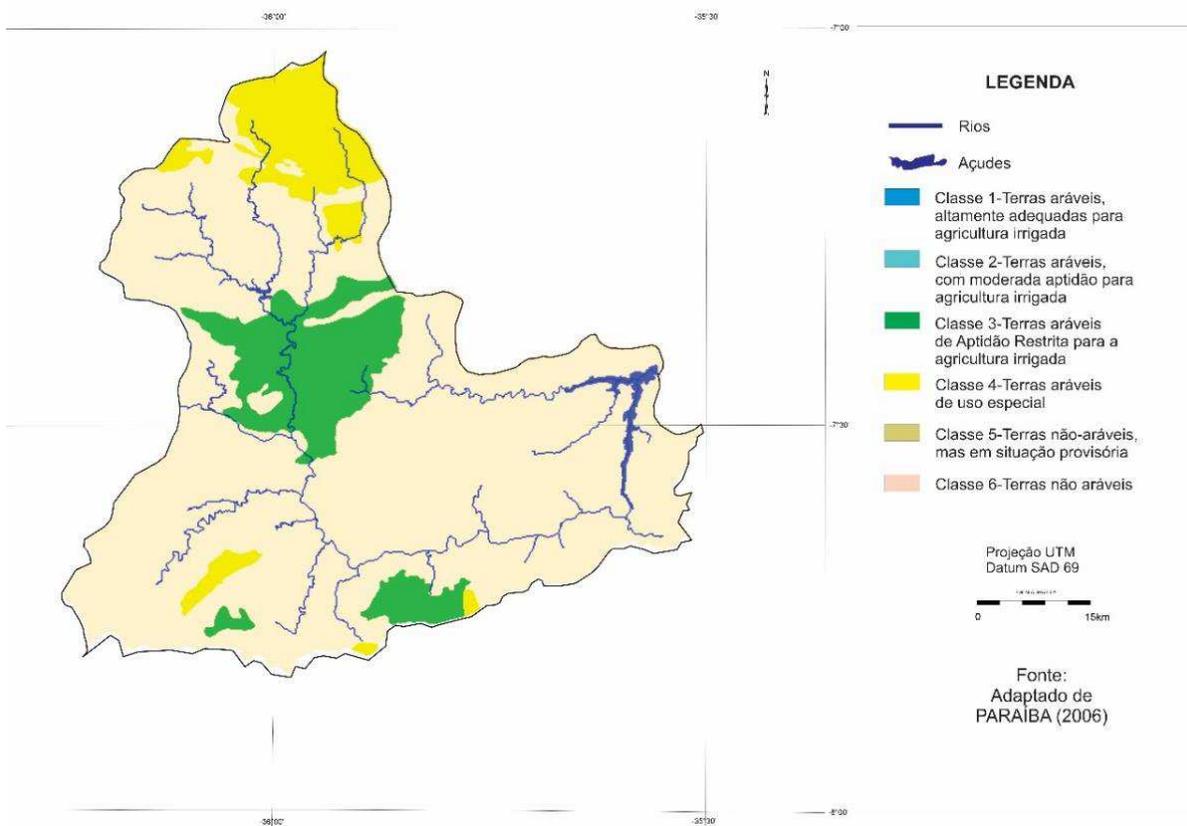


Figura 11. Potencial para irrigação da área de estudo.

Fonte: Adaptado de PARAÍBA (2006); AESA (2012).

As Terras aráveis com aptidão restrita, são compostas em sua maioria por Vertissolo Cromado Órtico típico (VCo), e de acordo com Cavalcante et al. (2005), onde a principal limitação ao uso agrícola destes solos decorre da falta d'água que é muito forte. Outra pequena área da região do curso médio do rio Paraíba localizada ao sul da bacia, é composto pelo Plintossolo Argilúvico Eutrófico espessarênico (Fte), em que de acordo com EMBRAPA (2006) esta classe compreende solos de drenagem variável, portanto há ocorrência de solos nos quais há excesso d'água temporário, e outros, com excesso prolongado durante o ano, condições que constituem limitação importante ao seu aproveitamento.

Observa-se Terras aráveis de uso especial da classe 4 (Figura 9), apresenta área de 32.029 ha representando 8,44% do total. Esta área localiza-se no setor norte da região do médio curso. Conforme PARAÍBA (2006), estas deficiências nessa classe podem ser a drenagem inadequada, topografia ondulada, pequena profundidade efetiva, excessiva pedregosidade, textura grossa, salinidade e, ou, sodicidade. Possuem capacidade de pegamento com grande amplitude de variação. Essa classe está relacionada com a ocorrência do Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQo), e de acordo com Cavalcante et al. (2005), as principais limitações à sua utilização agrícola, são a muito baixa fertilidade natural, baixa capacidade de

retenção de água e nutrientes, determinada pela sua textura arenosa, que inclusive dificulta as práticas de adubação que visam a ser feitas. Não se prestam, portanto, para a maioria das culturas regionais, exceto para algumas culturas perenes muito adaptadas como o cajueiro e o coqueiro, mesmo assim, com adubações. A mangabeira constitui planta nativa na área destes solos, que deveria ser melhor aproveitada.

As Terras não aráveis da classe 6 (Figura 11), apresentam área de 303.113 ha representando 79,89% do total. Conforme PARAÍBA (2006), estas incluem as terras que não satisfazem os requisitos mínimos das outras classes e, portanto, são inadequadas para irrigação convencional. Geralmente compreendem terras com solos rasos; terras com solos influenciados por sais e de recuperação muito difícil devido à textura muito argilosa, posição ou condições do substrato; terras com textura arenosa, tendo baixa capacidade de retenção de água disponível; terras dissecadas e severamente erodidas; terras representadas por canais de transbordamento e escoamento; terras com muita pedregosidade e, ou, rochiosidade; terras muito elevadas ou com topografia excessivamente declivosa ou complexa; e todas as outras áreas obviamente não-aráveis.

Nas Terras não aráveis da classe 6 distribuída em toda a região da bacia do médio curso do rio Paraíba ocorre uma diversidade de solos reclassificados por Campos e Queiroz (2006) como Luvissole Crômico Órtico típico (TCo), Planossolo Nátrico Órtico típico (SNo), Luvissole Hipocrômico Órtico típico (TPo), Planossolo Háptico Eutrófico solódico (SXe), Cambissolo Háptico Ta Eutrófico típico (CXve), Neossolos Litólicos Eutróficos típico (RLe) e Argissolo Amarelo Distrófico latossólico (PAd), distribuídos respectivamente nesta ordem decrescente.

Cavalcanti et al. (2012) afirmam que, na região semiárida as terras classificadas como sendo inaptas para a irrigação estão relacionadas com extensas áreas de solos rasos, principalmente das classes dos Neossolos Litólicos e Planossolos típicos. Francisco et al. (2019) identificaram para a classe 6 os Luvissoles Crômicos órtico típico, nas terras da bacia a montante a este estudo. Para os Luvissoles, a irrigação, quando necessária, deve ser utilizada nas áreas dos solos menos rasos e de relevo plano a suave ondulado. Na região do Vale do São Francisco, estes solos têm sido utilizados com as culturas de cebola, manga, pastagens, entre outras (Cunha et al., 2008).

Sousa et al. (2013), avaliando o potencial das terras para uso com irrigação do município de Aliança-PE, localizado na microrregião da Mata pernambucana observaram que a maioria das terras, 25.360 ha, apresentou fortes restrições ao uso com agricultura irrigada, tendo como principais limitações a pouca profundidade a fertilidade natural, a declividade, a sodicidade e

ou salinidade, a eventual pedregosidade, a drenagem, o lençol freático elevado e riscos de inundação.

Conforme EMBRAPA (1994), avaliando o potencial das Terras para irrigação no Nordeste, para todas as classes encontradas neste trabalho, argumenta que para utilização dessas terras para a irrigação implicam numa rigorosa seleção de áreas, e na adoção de práticas conservacionistas.

No ambiente semiárido, mesmo fazendo uso de água de boa qualidade, os riscos de salinização pelo uso da irrigação aumentam pela restrição de drenagem causada pela menor profundidade e características físicas dos solos, pela condição aplanada dos locais de ocorrência de grande parte dos solos dessa classe que dificultam a drenagem do excesso de sais, e, pela elevada evapotranspiração promovida pelas temperaturas elevadas e baixa umidade relativa do ar (EMBRAPA, 2012).

A agricultura irrigada é uma excelente opção para o crescimento da produção de alimentos principalmente em áreas que tem como característica a irregularidade da distribuição temporal das precipitações. Em muitos lugares a irrigação vem sendo trabalhada sem maiores cuidados, culminando em vários problemas para o solo que tem refletido diretamente na queda de sua fertilidade e causando o conseqüente declínio da produtividade das culturas e até mesmo o abandono da terra (Chaves et al., 2005).

Deve ser levado em conta neste trabalho, que a precisão das informações apresentadas está diretamente relacionada ao nível de generalização imposto pela escala do levantamento de solo (1:200.000), base deste trabalho. Na área de estudo, apesar de predominar terras não aráveis, possui áreas não mapeadas devido a escala, que são propícias à exploração da agricultura irrigada, desde que se utilize manejo adequado de irrigação, resultado similar encontrado por Francisco et al. (2019).

Alguns ajustes na metodologia foram necessários para adequá-la às limitações impostas pelo nível de detalhamento das informações básicas disponíveis no levantamento de reconhecimento de solos utilizado neste trabalho, o mesmo utilizado por EMBRAPA (2012) e por Francisco et al. (2015). Devendo assim, ser estabelecido um planejamento estratégico sobre a viabilidade e o uso racional dos recursos naturais disponíveis.

5.4. Irrigação atual e potencial de expansão

Conforme os dados do Atlas Irrigação, onde consta os Indicadores Municipais da área irrigada e fertirrigada atual (ANA, 2021), observa-se na Figura 12 que a classe de 1-100 apresenta 48.734 ha onde constam os municípios de Queimadas e Itatuba.

As áreas do município de Itatuba são compostas pelos Luvisolos Crômicos Órtico típico (Figura 5), conforme Cavalcante et al. (2005), que no caso de utilização agrícola, faz-se necessária, principalmente, a escolha de áreas de menor declividade, tomando algumas medidas como o controle da erosão. No município de Queimadas, estas áreas são compostas pelos Vertissolos, que são solos muito susceptíveis à salinização. São facilmente erodíveis e em alguns locais são muito rasos e não se prestam para irrigação. Apesar de a fertilidade ser alta, de um modo geral, estes solos possuem baixos teores de matéria orgânica e nitrogênio. A principal limitação ao uso agrícola dos mesmos é a falta d'água, que é muito forte, em face do clima ter um longo período seco, com forte evaporação (Cavalcante et al., 2005).

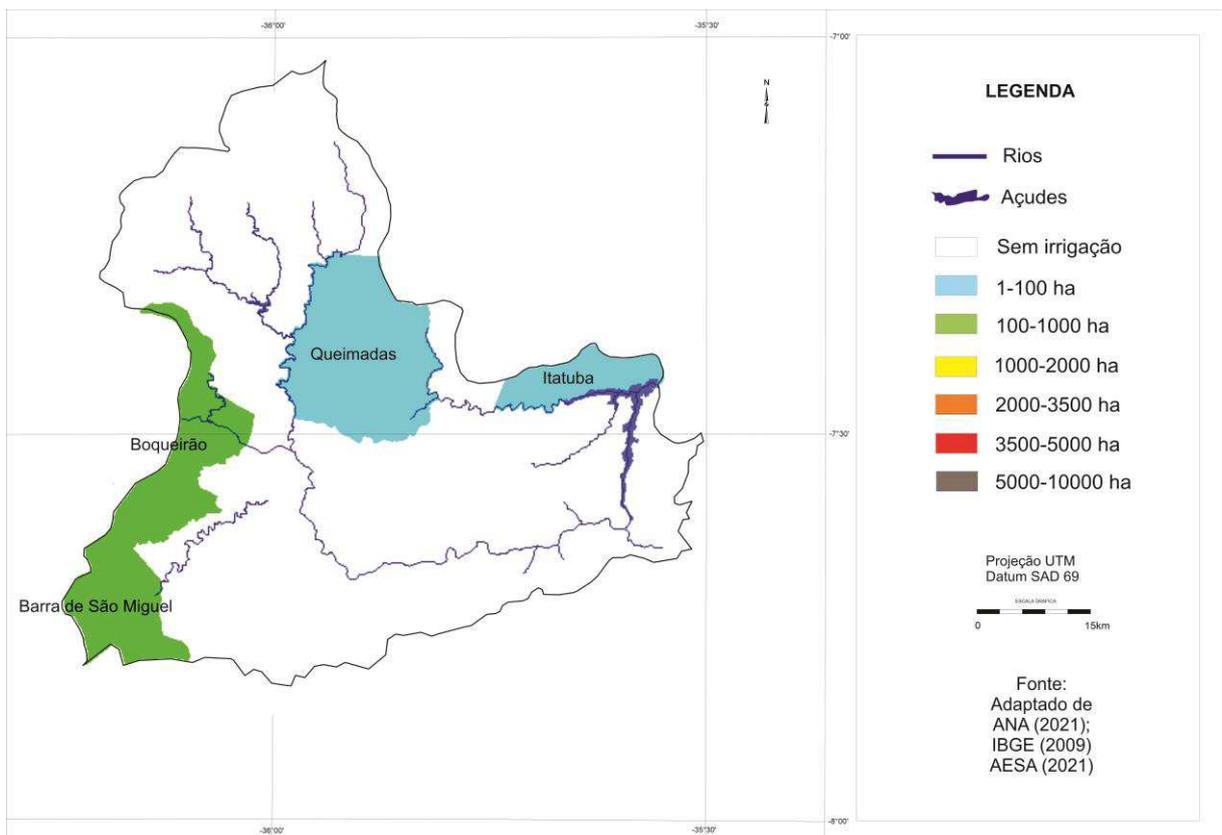


Figura 12. Área irrigada da área de estudo.

Fonte: Adaptado de ANA (2021); IBGE (2009); AESA (2021).

Na classe de irrigação atual de 100-1.000 apresenta 37.508 ha onde constam os municípios de Boqueirão e Barra de São Miguel, isto devido a localização próxima do Açude Eptácio Pessoa e a disponibilidade maior de água, mesmo apresentando em sua maioria Terras aráveis de uso especial para a irrigação, neste caso a irrigação apresenta-se ainda incipiente, portanto, com possibilidade de aumento de área com uso de irrigação. De acordo com ANA (2021), a área irrigada com água de mananciais é mais relevante na Paraíba em 6,0%. Estas

áreas apresentam Terras aráveis de uso especial para irrigação (Figura 4), que conforme EMBRAPA (1994), para utilização dessas terras para a irrigação, implicam numa rigorosa seleção de áreas, e na adoção de práticas conservacionistas. São compostas pelos Luvisolo Crômico Órtico típico (TCo), Neossolos Litólicos Eutróficos típico (RLe), Planossolo Nátrico Órtico típico (SNo) e pelos Vertissolo Cromado Órtico típico (VCo) (Campos & Queiroz, 2006).

Na Figura 13, no mapa de potencial de expansão de adicional irrigável, observa-se um total de adicional irrigável de 136.527 ha. Conforme PARAÍBA (2006), estas incluem as terras inadequadas para irrigação convencional, mas de acordo com ANA (2021), passíveis de expansão para a irrigação.

Na classe de 1-100, apresenta uma área de 50.984 ha localizada nos municípios de Campina Grande e Fagundes representado pelo Luvisolo Crômico Órtico típico (TCo) e pelo Planossolo Nátrico Órtico típico (SNo). Sá e Angelotti (2009) afirmam que, os Luvisolos Crômicos (TCo) e Hipocrômicos (TPo), órticos e típicos, ou com caráter litólico, vértico ou planossólico, são solos particularmente susceptíveis a erosão.

A classe de potencial de expansão para a irrigação de 100-1.000 apresenta área de 27.216 ha distribuídos nos municípios de Itatuba e Barra de São Miguel e estão representados pelos Luvisolo Hipocrômico Órtico típico (TPo) e pelos Neossolos Litólicos Eutróficos típico (RLe).

De acordo com Cavalcante et al. (2005), os Neossolos apresentam baixas condições para um aproveitamento agrícola racional, tendo em vista as limitações fortes existentes, provocadas pelo relevo forte ondulado, pedregosidade, rochosidade e reduzida profundidade dos solos, além da deficiência de água que só permite a presença de culturas resistentes à estiagem. Só é possível a exploração destes solos pelos sistemas primitivos de agricultura já existentes. Francisco (2010) comenta que os Neossolos Litólicos são solos mais rasos, pedregosos e rochosos, associado a Afloramentos de Rochas, predominantes em área de relevo forte ondulado e montanhoso ao sul, acompanhando a calha do rio Paraíba.

Os municípios de Boqueirão e Aroeiras, identificados na classe de 1.000-2.000, ambos respectivamente, com terras próximas aos açudes de Epitácio Pessoa e de Acauã, localizados próximos a drenagem do rio Paraíba, com uma área de 58.326 ha. Estas terras compõem-se pelo Luvisolo Hipocrômico Órtico típico (TPo), Neossolos Litólicos Eutróficos típico (RLe), Planossolo Háptico Eutrófico solódico (SXe) e pelo Vertissolo Cromado Órtico típico (VCo).

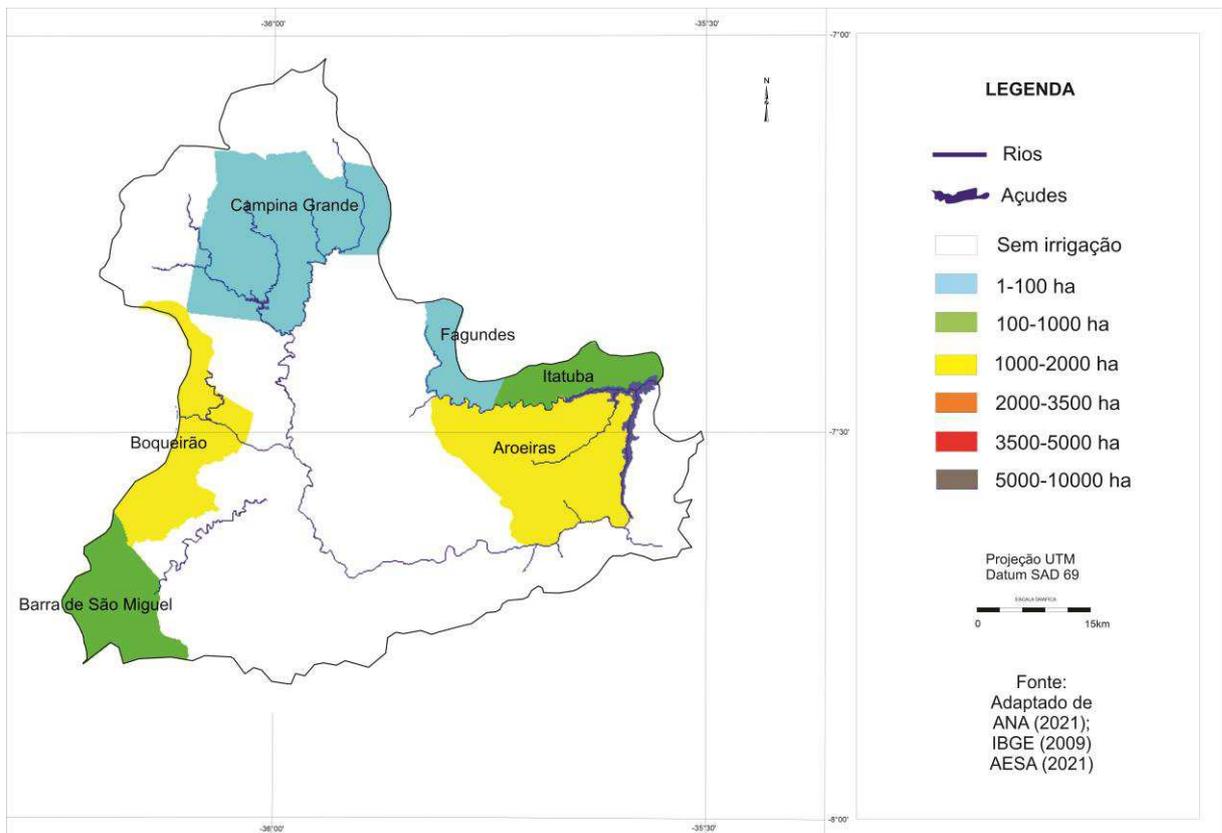


Figura 13. Potencial de expansão de adicional irrigável da área de estudo.

Fonte: Adaptado de ANA (2021); IBGE (2009); AESA (2021).

Para as áreas do município de Boqueirão, PARAÍBA (1980) relata que, somente 850 ha são considerados efetivamente irrigáveis, face a disponibilidade hídrica da área, pois a maior parte se localiza na periferia do açude público de Epitácio Pessoa, onde já existe considerável experiência de agricultura irrigada, mas sabendo-se que os solos da área são de baixa permeabilidade, impõem-se a necessidade da participação técnica, visando o controle do processo de salinização.

Comparando-se os resultados de áreas declaradas dos dados providos do IBGE com os dados providos da ANA de irrigação atual e potencial de expansão, observa-se que ocorre discrepância com os dados da ANA, onde quase todos os municípios com áreas declaradas irrigadas, com exceção de Pocinhos e Riacho de Santo Antônio, no mapa de uso atual somente são representados por Boqueirão, Barra de São Miguel, Itatuba e Queimadas. O município de Campina Grande com 296 ha irrigados não está representado e o município de Queimadas está representado com somente até 100 ha, mas nos dados do IBGE constam 436 ha declarados.

Quanto à expansão da irrigação, o município de Aroeiras, com áreas distribuídas no braço norte do açude Acauã, apresenta potencial de expansão, mas o sistema de irrigação deverá ser implantado com cautela, pois estas áreas estão sob Luvisolos e Neossolos.

De acordo com Cavalcante et al. (2005), os Neossolos apresentam baixas condições para um aproveitamento agrícola racional, tendo em vista as limitações fortes existentes, provocadas pelo relevo forte ondulado, pedregosidade, rochosidade e reduzida profundidade dos solos. Para os Luvissolos, os mesmos autores afirmam que, no caso de utilização agrícola, faz-se necessária, principalmente, a escolha de áreas de menor declividade, tomando algumas medidas como controle da erosão. Estas recomendações são sugeridas também aos municípios de Fagundes e Itatuba quanto ao potencial de expansão, localizados sob os Luvissolos.

Quanto ao município de Boqueirão, a expansão da irrigação recomendada pela ANA, estando estas áreas sob Vertissolo Cromado Órtico típico e Planossolo Nátrico Órtico típico, observa-se a necessidade de controle, que conforme Cavalcante et al. (2005), devido a forte susceptibilidade a erosão, grande pedregosidade e pequena profundidade dos solos e pelos elevados teores em sódio trocável e más condições físicas nos horizontes subsuperficiais, principalmente do Bt podendo ser inaptos para agricultura irrigada.

BRASIL (1978) preconiza para o melhoramento, algumas práticas de manejo que favorecem a umidade disponível das terras com o uso do mulching, uso de cobertura morta, plantio em faixas, construção de cordões, terraços, ajuste do plantio à época de chuvas e a seleção de culturas adaptadas à falta de água.

Christofidis (2013) afirma que, com a incorporação de áreas dominadas pelo método de irrigação localizada (gotejamento, microaspersão, etc.) elevou-se de 112.730 (1996), para 327.866 hectares (2006). Na região Nordeste, houve a expansão da área atendida com sistemas de irrigação localizada (gotejamento e microaspersão) de 55,2 mil hectares, em 1996, para uma superfície da ordem de 103 mil hectares, em 2006. ANA (2021) observa que o potencial de instalação da irrigação (total e efetivo) deve ser analisado com cautela, sendo útil para o planejamento geral, os zoneamentos e o monitoramento do setor.

De acordo com ANA (2021), o Estado da Paraíba apresenta um potencial efetivo de área adicional irrigável de 0,03%. Essa projeção indica a incorporação dessas áreas disponíveis utilizando-se os métodos mais eficientes no uso da água – irrigação localizada (gotejamento e microaspersão) e a aspersão por pivô central – deverão ser responsáveis por cerca de 75% desse crescimento, com destaque para a fruticultura. Numa previsão de horizonte para 2040 é prevista uma maior participação dos pivôs centrais e da irrigação localizada (concentrada na tipologia outras culturas e sistemas) nas demandas da agricultura irrigada.

Com a expansão da irrigação na agricultura da bacia em estudo, pode ocorrer maiores ganhos, tanto na produção, como na produtividade e maiores ganhos econômicos, como afirmam Buainain e Garcia (2015), que partem da suposição de que existe considerável potencial para a expansão da produção associada à possibilidade de ganhos de produtividade.

5.5. Mapeamento da área irrigada atual

Em relação ao uso da irrigação nas áreas declaradas de 345.622 ha, observa-se um total de 1.702 ha (0,49%) (Tabela 13). Observa-se que o município de Queimadas, localizado próximo ao açude de Epitácio Pessoa, região de entrada do Rio Paraíba na bacia em estudo, apresenta 436 hectares, seguido por Natuba, localizado próximo a saída da bacia no açude de Acauã com 315 ha, em seguida apresenta-se Campina Grande com 296 ha, Caturité, Boqueirão e Barra de São Miguel com 148, 144 e 119 hectares, respectivamente (Figura 12).

Tabela 13. Área irrigada

Município	Área dos estabelecimentos	Área irrigada hectares (ha)	% Município	% Área Total
Aroeiras	17.977	10	0,056	0,003
Alcantil	19.393	5	0,026	0,001
Barra de Santana	25.174	54	0,215	0,016
Boa Vista	34.597	35	0,101	0,010
Boqueirão	24.658	144	0,584	0,042
Barra de São Miguel	33.723	119	0,353	0,034
Campina Grande	28.722	296	1,031	0,086
Caturité	9.186	148	1,611	0,043
Fagundes	9.429	16	0,170	0,005
Gado Bravo	11.904	2	0,017	0,001
Itatuba	21.908	23	0,105	0,007
Montadas	2.140	2	0,093	0,001
Natuba	3.985	315	7,905	0,091
Queimadas	25.641	436	1,700	0,126
Pocinhos	43.679	-	-	-
Puxinanã	4.116	16	0,389	0,005
Riacho de Sto. Antônio	7.652	-	-	-
Sta. Cecília	13.669	6	0,044	0,002
Umbuzeiro	8.069	75	0,929	0,022
Total	345.622	1.702		0,492

De acordo com Moreira e Targino (1997), a área irrigada representava no ano de 1980 apenas 0,4% da área dos estabelecimentos rurais existentes no Estado. Valores similares encontrados de 0,49% do total da bacia em estudo. Araújo (2010), identificou no entorno do açude Epitácio Pessoa que 52,2% utilizavam a irrigação de forma regular, independente da proibição e 32,2% não usam e 15,6% usam ocasionalmente.

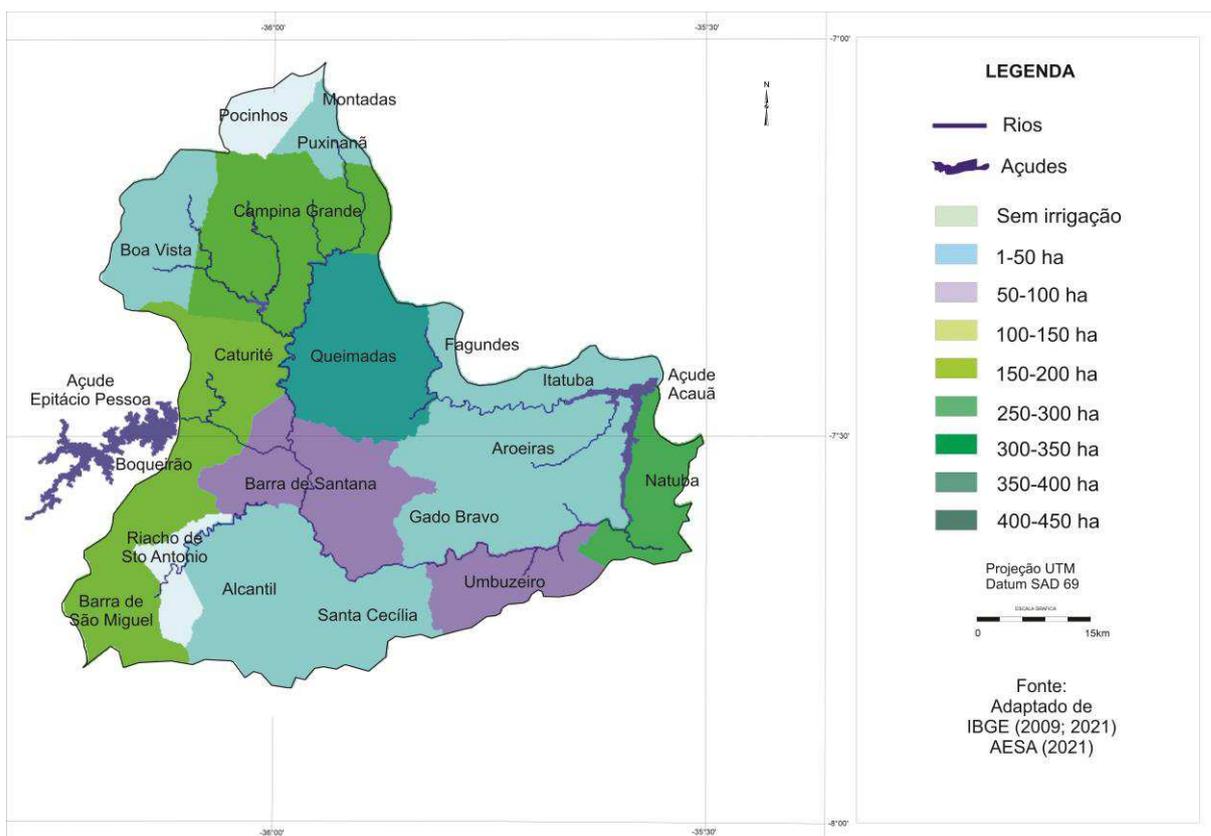


Figura 14. Área irrigada declarada. Fonte: adaptado de IBGE (2009; 2021); AESA (2021).

De acordo com EMBRAPA (2012b), a irrigação é uma prática típica de sistemas intensivos de produção agrícola que requer, para a sustentabilidade do agronegócio, de assistência técnica especializada, de forma a garantir boas produtividades, minimização da degradação ambiental e garantia de comercialização do produto.

5.6. Áreas agrícolas identificadas

As áreas agrícolas identificadas e mapeadas apresentam área total de 81.301 ha (21,42%) (Figura 15), distribuídas por toda a bacia em estudo. Observa-se que 15.665 ha são áreas de assentamentos e 65.635 ha são de áreas agrícolas com aproximadamente 4.299 polígonos identificados. Observa-se que as áreas urbanas apresentam um total de 7.292 hectares distribuídos por toda a bacia.

São identificados nove assentamentos rurais regularizados no INCRA SR-18 denominados Vitória, José Antônio EufRASino, Pequeno Richard, Venâncio Tomé de Sousa ambos localizados no município de Campina Grande; o assentamento Novo Campo localizado em Alcantil e em Riacho de Santo Antônio; Trincheira do Carnoió em Boqueirão; Cachoeira

Grande nos municípios de Fagundes e Aroeiras; Serra do Monte em Boqueirão e em Boa Vista; e José Jovem em Boa Vista.

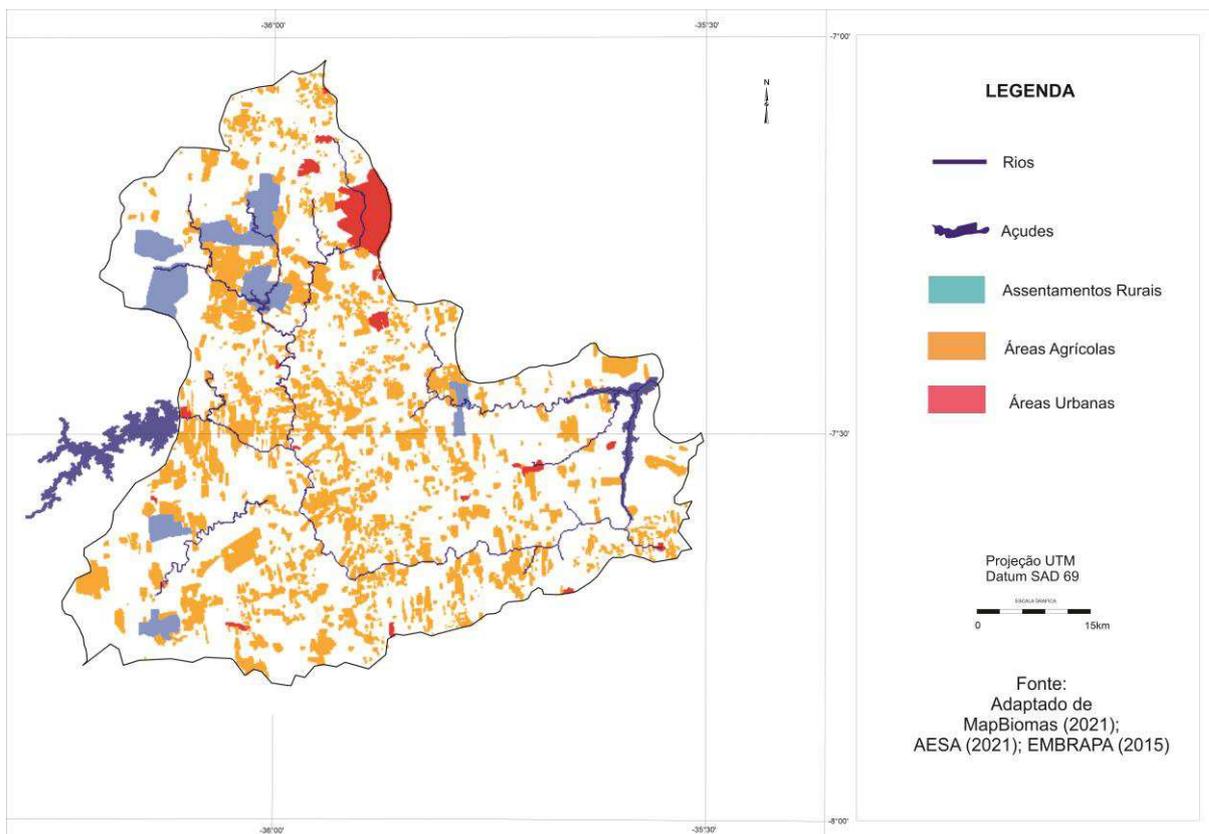


Figura 15. Áreas agrícolas e assentamentos rurais.

Fonte: adaptado de MapBiomas (2021); AESA (2021); EMBRAPA (2015).

Observa-se que os assentamentos rurais localizados ao norte da bacia, em torno do município de Campina Grande estão próximos às drenagens do rio Bodocongó que é intermitente. De acordo com Magalhães et al. (2002), o rio Bodocongó apresenta 50 km de extensão, passa pelos municípios de Puxinanã, Campina Grande, Queimadas e Caturité, até desembocar no rio Paraíba, em Barra de Santana, e conforme os autores estas águas são impróprias para irrigação irrestrita.

À oeste da bacia, no exutório do açude Epitácio Pessoa, localizado no município de Boqueirão, na drenagem, seguindo o rio Paraíba, observa-se uma maior concentração de áreas produtivas nesta região. Ao longo do rio Paraíba há uma diminuição das áreas agrícolas, devido ao clima e/ou tipos de solos com menor aptidão à irrigação. Estes dependem da pluviosidade que ocorre na bacia para produção agrícola, viabilizando o uso da irrigação somente aos proprietários que armazenam água em açudes, barragens e/ou outros sistemas de armazenamento para uso posterior na irrigação.

Conforme Sousa et al. (2003), a produção agrícola é fortemente influenciada pelas condições edafoclimáticas do local e tem sido um dos principais fatores limitantes da produção. E dependendo da disponibilidade e da qualidade dos solos, a capacidade produtiva do setor agrícola pode ser ainda mais limitante.

Entre os municípios de Fagundes e Aroeiras, ao leste da bacia, localiza-se o assentamento Cachoeira Grande, região de transição com pluviosidade entre 600 a 700mm, com áreas produtivas, mas com pouco ou nenhum uso da irrigação.

5.7. Mapeamento da produção agrícola

Na análise dos dados da produção agrícola para bacia em estudo, em relação ao uso da terra, do total da área da bacia (379.406 ha), identifica-se de uma área de 345.622 ha referente aos estabelecimentos produtivos representando 91,1% do total, onde a área utilizada para o plantio de lavouras temporárias é de 42.370 ha (Tabela 14), portanto somente 12,25% das áreas declaradas sendo utilizadas à produção agrícola nos municípios estudados. Destes, somente 1.702 ha são irrigados, representando 4,01% das áreas agrícolas e uma pequena parcela representando 0,44% do total da bacia em estudo.

Observa-se que as áreas declaradas e utilizadas para pastagem perfazem um total de 132.300 ha representado 38,27% do total da bacia. As áreas de mata ou floresta que são consideradas como reservas legais perfazem um total de 102.626 ha representando 29,69% do total. As áreas declaradas como utilizadas para o sistema agroflorestal perfazem o total de 9.471 ha representando 2,74% da área em estudo. Observa-se também que 17,1% da área total não são áreas produtivas.

EMBRAPA (1976), afirma que na maior parte do Nordeste a pecuária baseia-se na exploração de pastagens naturais, sejam campos de formação secundária ou a própria vegetação nativa. Nas áreas de maior concentração de bovinos, localizadas principalmente nas zonas de transição entre as regiões úmida e seca, onde a vegetação natural é a caatinga hipoxerófila, encontram-se grandes áreas de pastagens plantadas.

Tabela 14. Uso da terra e sistemas de manejo

Município	Área dos estabelecimentos	Utilização das terras	Assistência técnica		Adubação		Agrotóxico		Trator	
			Hectares (ha)		Unid.					
Aroeiras	17.977	Lavoura	3.110	Recebe	63	Faz	1.022	Utiliza	586	10
		Pastagens	7.173	Não recebe	2.029	Não faz	1070	Não utiliza	1.506	
		Mata/floresta	6.239							
Alcantil	19.393	Lavoura	1.226	Recebe	237	Faz	222	Utiliza	1	0
		Pastagens	5.265	Não recebe	238	Não faz	253	Não utiliza	474	
		Mata/floresta	6.851							
Barra de Santana	25.174	Lavoura	3.467	Recebe	210	Faz	959	Utiliza	31	11
		Pastagens	7.617	Não recebe	1.277	Não faz	526	Não utiliza	1.454	
		Mata/floresta	9.300							
Boa Vista	34.597	Lavoura	1.447	Recebe	53	Faz	368	Utiliza	22	14
		Pastagens	24.608	Não recebe	627	Não faz	313	Não utiliza	659	
		Mata/floresta	541							
		Sist. agroflorestais	6.695							
Boqueirão	24.658	Lavoura	1.539	Recebe	106	Faz	369	Utiliza	40	24
		Pastagens	11.353	Não recebe	765	Não faz	499	Não utiliza	828	
		Mata/floresta	9.135							
Barra de São Miguel	33.723	Lavoura	872	Recebe	33	Faz	94	Utiliza	58	12
		Pastagens	2.091	Não recebe	471	Não faz	408	Não utiliza	444	
		Mata/floresta	10.752							
Campina Grande	28.722	Lavoura	3.893	Recebe	326	Faz	1.247	Utiliza	883	40
		Pastagens	19.308	Não recebe	2.101	Não faz	1.182	Não utiliza	1.546	
		Mata/floresta	999							
		Sist. agroflorestais	2.300							
Caturité	9.186	Lavoura	1.556	Recebe	105	Faz	317	Utiliza	71	17
		Pastagens	3.484	Não recebe	439	Não faz	227	Não utiliza	473	
		Mata/floresta	3.593							
		Sist. agroflorestais	196							
Fagundes	9.429	Lavoura	1.618	Recebe	45	Faz	420	Utiliza	327	8
		Pastagens	2.927	Não recebe	1.049	Não faz	674	Não utiliza	767	
		Mata/floresta	2.773							
Gado Bravo	11.904	Lavoura	2.866	Recebe	70	Faz	750	Utiliza	68	6
		Pastagens	3.213	Não recebe	1.222	Não faz	542	Não utiliza	1.224	
		Mata/floresta	5.133							
Itatuba	21.908	Lavoura	1.908	Recebe	238	Faz	82	Utiliza	471	22
		Pastagens	12.066	Não recebe	598	Não faz	754	Não utiliza	365	
		Mata/floresta	5.378							
Montadas	2.140	Lavoura	1.125	Recebe	111	Faz	306	Utiliza	12	15
		Pastagens	690	Não recebe	390	Não faz	196	Não utiliza	379	
		Mata/floresta	116							
Natuba	3.985	Lavoura	1.058	Recebe	220	Faz	390	Utiliza	324	6
		Pastagens	2.365	Não recebe	651	Não faz	481	Não utiliza	547	
		Sist. agroflorestais	134							
Queimadas	25.641	Lavoura	5.935	Recebe	371	Faz	1.248	Utiliza	879	57
		Pastagens	10.492	Não recebe	3.030	Não faz	2.153	Não utiliza	2.522	
		Mata/floresta	6.847							
Pocinhos	43.679	Lavoura	5.934	Recebe	916	Faz	577	Utiliza	43	34
		Pastagens	7.189	Não recebe	865	Não faz	1.025	Não utiliza	1.739	
		Mata/floresta	23.240							
Puxinanã	4.116	Lavoura	1.745	Recebe	77	Faz	852	Utiliza	90	11
		Pastagens	1.159	Não recebe	986	Não faz	211	Não utiliza	973	
		Mata/floresta	231							
		Sist. agroflorestais	146							
Riacho de Sto. Antonio	7.652	Lavoura	286	Recebe	10	Faz	1	Utiliza	1	2
		Pastagens	6.214	Não recebe	41	Não faz	48	Não utiliza	48	
		Mata/floresta	824							
Sta. Cecília	13.669	Lavoura	1.466	Recebe	225	Faz	729	Utiliza	207	1
		Pastagens	2.131	Não recebe	823	Não faz	319	Não utiliza	841	
		Mata/floresta	7.669							
Umbuzeiro	8.069	Lavoura	1.319	Recebe	228	Faz	665	Utiliza	177	1
		Pastagens	2.955	Não recebe	658	Não faz	221	Não utiliza	709	
		Mata/floresta	3.005							
Total	345.622	Lavoura	42.370	Recebe	3.533	Faz	10.312	Utiliza	4.279	291
		Pastagens	132.300	Não recebe	15.841	Não faz	10.906	Não utiliza	17.119	
		Mata/floresta	102.626							
		Sist. agroflorestais	9.471							

Fonte: adaptado de IBGE (2021).

O município de Boa Vista se destaca com a maior área de uso em sistema agroflorestal seguido pelo município de Campina Grande, ambos localizados ao norte da bacia. Os mesmos

municípios se destacam também no uso de áreas para pastagem, seguido pelo município de Itatuba, localizado ao leste da bacia.

Quanto ao sistema de manejo das terras, observa-se que a assistência técnica disponibilizada pelos órgãos oficiais do Estado e do Governo Federal atinge somente 3.644 estabelecimentos dos 19.875 declarados, portanto 18,33% do total. Quanto ao uso da adubação cerca de 50% do total realiza esta atividade. Quanto ao uso de agrotóxicos somente 19,77% utilizam na produção agrícola. Moreira e Targino (1997), afirmam que do total dos estabelecimentos que utilizavam defensivos agrícolas 85,8%, respectivamente, eram menores de 50 hectares.

Segundo Moreira e Targino (1997), no ano de 1980 apenas 3,8% dos estabelecimentos agropecuários utilizavam adubos químicos. No entanto, por este trabalho observa-se um crescimento no uso de agrotóxicos na produção em torno de 3,8 vezes (380%).

Quanto ao uso da mecanização agrícola no preparo do solo e demais atividades observam-se um total de 291 tratores, em destaque para o município de Queimadas com 57 unidades, seguido por Campina Grande, Pocinhos e Boqueirão, ambos localizados ao norte e noroeste da bacia, mais próximos ao açude de Epitácio Pessoa, com 40, 34, 24 e 22 unidades de tratores, respectivamente. Próximo ao açude de Acauã observa-se o município de Itatuba com 22 tratores declarados. Em 1980, conforme Moreira e Targino (1997), do total de tratores utilizados, apenas 15,9% pertenciam aos pequenos estabelecimentos.

Sousa (2001) afirma que, alguns fatores explicativos para a utilização da terra, de forma extensiva, em algumas microrregiões, normalmente aparecem como justificativa de um baixo grau de tecnologia, que são as secas e a posição da região semiárida que impedem grandes volumes de produção, pelo maior uso da terra, permitindo apenas a sobrevivência, de alguns pequenos agricultores familiares ou não, que não têm recursos para mecanizarem a terra ou até mesmo usarem com mais abundância os fertilizantes que aumentam a produtividade da terra. Apesar de um nítido recuo no processo de mecanização o perfil tecnológico da agricultura regional continua reproduzindo o modelo implantado pelo processo de modernização agrícola levado a efeito no país a partir dos anos 60 do século XX (Moreira & Targino, 1997).

Para a produção de cultura permanente observa-se que somente o município de Pocinhos apresenta área de 578 ha declarados para a produção da cultura do sisal (*Agave sisalana*). Entre 2011 a 2014, Morais e Freire (2018) observaram que, a região de Campina Grande se apresentava insipiente na produção com somente 99 ha. No entanto, observa-se um crescimento de área de produção. EMBRAPA (1976) descreveu o município de Pocinhos como um dos produtores da cultura do sisal, com isso se mantendo na tradição de cultivo.

Na produção da fruticultura destaca-se o município de Natuba (Tabela 14) com uma área de 1.058 ha e somente 315 ha com o uso da irrigação, com a produção da cultura da banana (*Musa spp*), uva (*Vitis vinifera* L), goiaba (*Psidium guajava*) e maracujá (*Passiflora edulis*) com área de 587; 169; 39 e 26 hectares, respectivamente.

Morais e Freire (2018), para a cultura da banana, afirmam que na região de Natuba entre 2011-2014 apresentava área média de 577 ha, portanto em 2017 ocorre aumento em torno de 100%. Isto talvez pela maior ocorrência da pluviosidade na região e por estas terras estarem mais próximas as margens do Rio Paraíba e ao açude Acauã. As características dos solos exigidas pela bananeira eliminam as possibilidades do seu cultivo na zona cristalina semiárida, onde predominam solos rasos, pedregosos e de condições físicas desfavoráveis (EMBRAPA, 1976).

Para a cultura da goiaba, Morais e Freire (2018) observaram somente 37 ha na região, e por este trabalho observa-se 39 ha, portanto mantendo-se essa área produtiva. Para a cultura da uva os autores observaram a média de 127 ha, portanto houve um crescimento de área cultivada em 42 ha (30%). Para a cultura do maracujá também se observa um crescimento de área de 19 ha em 2014 para 26 ha em 2017.

Araújo (2010) identificou que, as principais culturas temporárias e permanentes cultivadas na região do entorno do açude Epitácio Pessoa mostrou-se bem diversificada, com a maioria dos produtores locais produzindo na ordem decrescente: feijão, milho, banana, capim, tomate, batata, palma, pimentão, maracujá, fava, goiaba, manga, macaxeira, cebola, coco, caju, graviola, laranja, limão, mamão e repolho.

De acordo com EMBRAPA (2012), a irrigação é uma prática típica de sistemas intensivos de produção agrícola que requer, para a sustentabilidade do agronegócio, de assistência técnica especializada, de forma a garantir boas produtividades, minimização da degradação ambiental e garantia de comercialização do produto.

5.7.1. Abóbora

As áreas produtivas da abóbora (*Cucurbita moschata*) (Figura 15) estão representadas pelo município de Campina Grande em 173 ha seguido por Queimadas com 145 ha, ambos próximos ao açude de Epitácio Pessoa, e por Natuba, localizada próxima ao açude Acauã com 24 ha, representando 1,18% da área total produtiva da bacia (Tabela 14).

Tabela 15. Culturas temporárias – parte 1

Município	Área produção	Cultura temporária (ha)							
		Abóbora	%	Fava	%	Feijão	%	Mandioca	%
Aroeiras	3.110	32	1,03	216	6,95	1.406	45,21	2	0,06
Alcantil	1.226	1	0,08	-	-	9	0,73	-	-
Barra de Santana	3.467	10	0,29	3	0,09	111	3,20	-	-
Boa Vista	1.447	-	-	-	-	12	0,83	-	-
Boqueirão	1.539	-	-	-	-	21	1,36	-	-
Barra de São Miguel	872	1	0,11	-	-	45	5,16	-	-
Campina Grande	3.893	173	4,44	175	4,50	1.549	39,79	13	0,33
Caturité	1.556	-	-	-	-	47	3,02	-	-
Fagundes	1.618	3	0,19	68	4,20	1.020	63,04	2	0,12
Gado Bravo	2.866	7	0,24	19	0,66	407	14,20	-	-
Itatuba	1.908	11	0,58	58	3,04	399	20,91	1	0,05
Montadas	2.140	18	0,84	27	1,26	704	32,90	46	2,15
Natuba	1.058	24	2,27	98	9,26	180	17,01	18	1,70
Queimadas	5.935	145	2,44	172	2,90	2.394	40,34	1	0,02
Pocinhos	5.934	3	0,05	11	0,19	563	9,49	11	0,19
Puxinanã	1.745	25	1,43	42	2,41	1.080	61,89	137	7,85
Riacho de Sto. Antonio	286	-	-	-	-	-	-	-	-
Sta. Cecília	1.466	14	0,95	12	0,82	313	21,35	-	-
Umbuzeiro	1.319	44	3,34	55	4,17	284	21,53	-	-
Total	43.385	511	1,18	956	2,20	10.544	24,30	231	0,53

Fonte: adaptado de IBGE (2021).

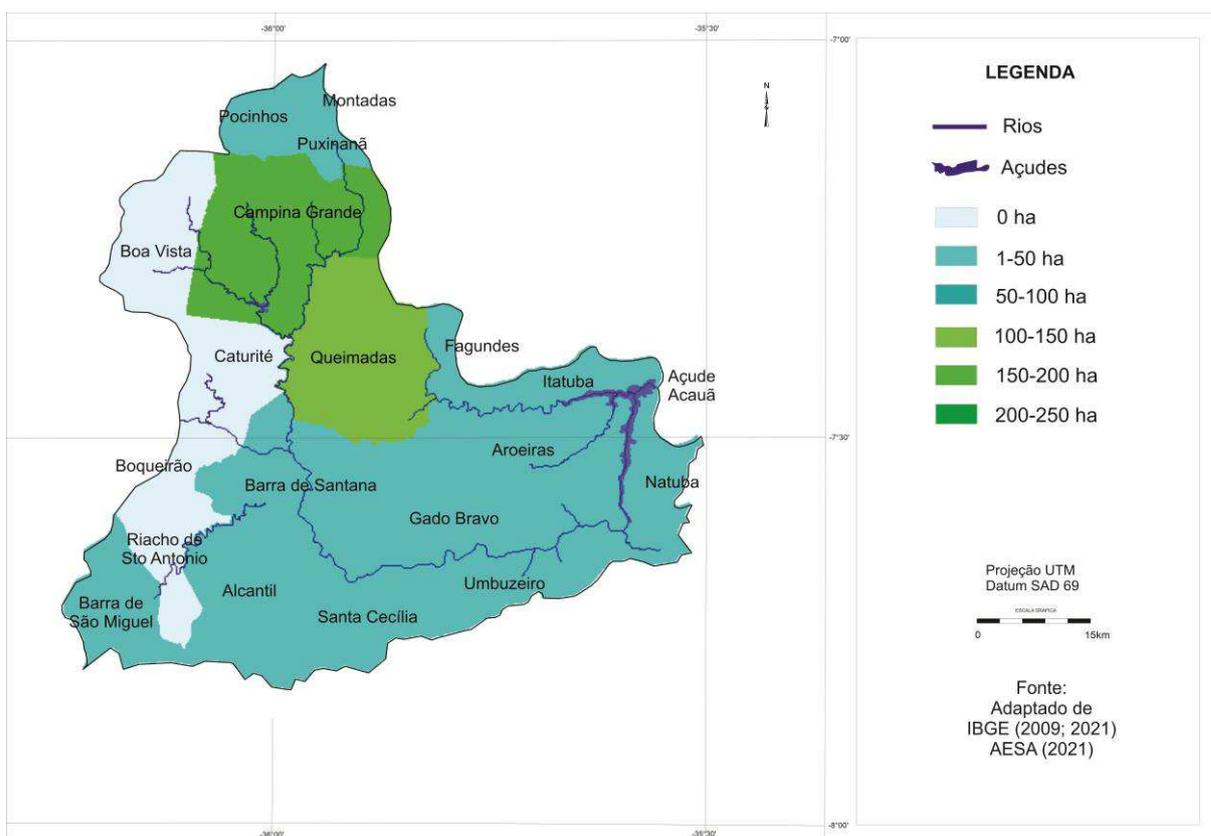


Figura 16. Municípios produtivos da abóbora.

Fonte: adaptado de IBGE (2009; 2021); AESA (2021).

5.7.2. Feijão fava

Para a cultura do feijão-fava (*Phaseolus lunatus* L.) (Figura 17) identifica-se, produção próxima ao açude Acauã, nos municípios de Natuba, Umbuzeiro e Aroeiras em 9,26; 4,17 e 6,95 ha, respectivamente, representando 2,20% da área total da bacia. Pode-se observar nos resultados obtidos quanto a pluviosidade, que estes municípios apresentam respectivamente, média anual de 519,5; 600,9 e 793,1mm, pois a cultura necessita em torno de 500mm durante seu ciclo para produção. Por este trabalho identifica-se que para o feijão-fava a produção total é de 956 ha.

De acordo com Morais e Freire (2018), em 2011, a região de Campina, Boa Vista, Fagundes, Puxinanã e Queimadas, Itatuba, Umbuzeiro, Aroeiras, Gado Bravo, Natuba e Santa Cecília, apresentaram uma área colhida superior a 1.000 ha, tendo a região de Campina Grande atingido mais de 2 mil hectares, em média, e, no ano de 2011, ultrapassado os 3.100 ha colhidos. Portanto, por este trabalho observa-se que ocorre uma perda na produção de 50% comparada com o ano de 2011, onde a queda de produção pode ser atribuída à irregularidade das chuvas ocorridas na região.

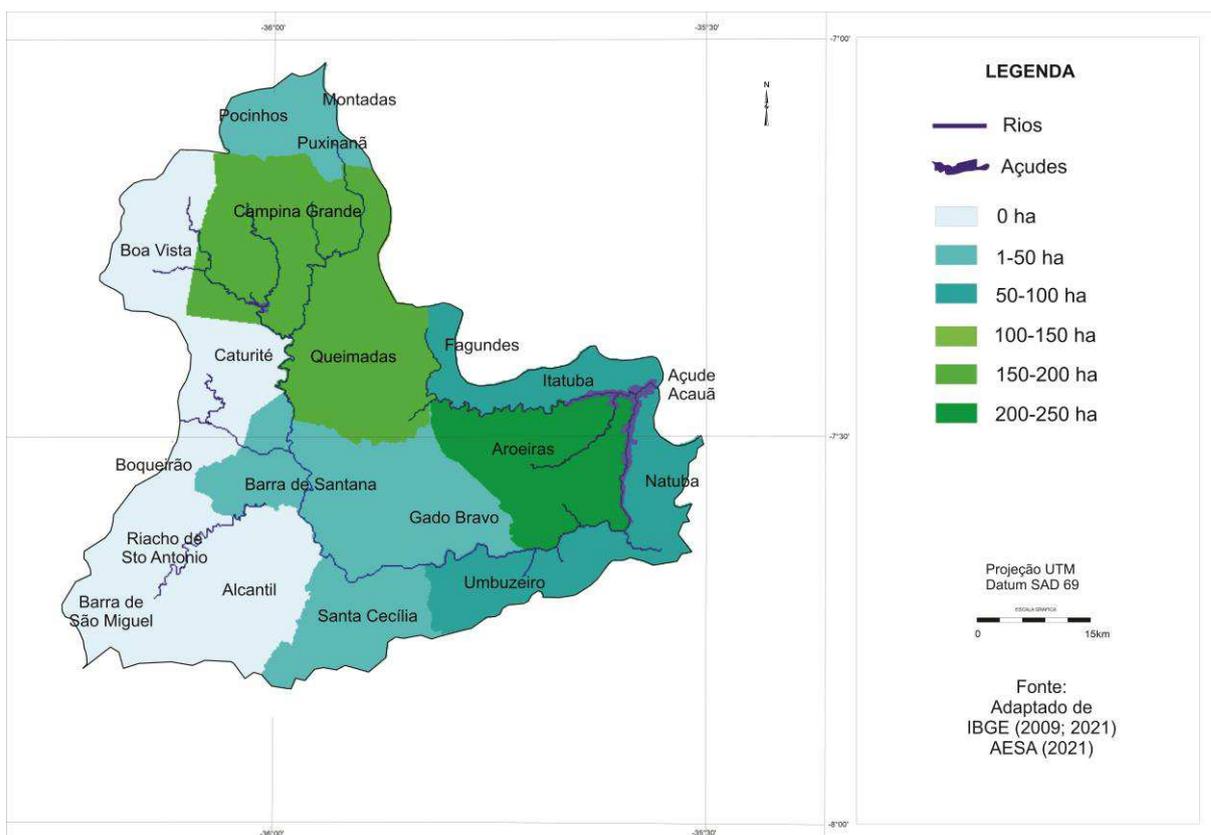


Figura 17. Municípios produtivos da fava.

Fonte: adaptado de IBGE (2009; 2021); AESA (2021).

Freitas (2013) utilizando o Censo Agropecuário Parcial do IBGE de 2011 observa-se um destaque para a lavoura do feijão fava para os municípios de Campina Grande e região, demonstrando a prática tradicional do cultivo nestas áreas e sua produção atual.

5.7.3. Feijão comum

Para as áreas identificadas de produção da cultura o feijão comum (*Phaseolus vulgaris*) (Figura 18), o município de Puxinanã apresenta 1.080 ha seguido de Queimadas e Campina Grande com 2.394 e 1.549 ha, respectivamente, ambos localizados ao norte e noroeste da bacia. O município de Aroeiras, próximo ao açude de Acauã apresenta 1.406 ha, com isso totalizando um total para a bacia de 24,30% da bacia.

Esta cultura necessita em torno de 500mm durante seu ciclo para produção e pode-se observar que, quanto à pluviosidade, estes municípios apresentam respectivamente, média anual de 657,7; 478,7 e 875,4mm. Confirmando estes municípios aptos ao cultivo quanto ao clima.

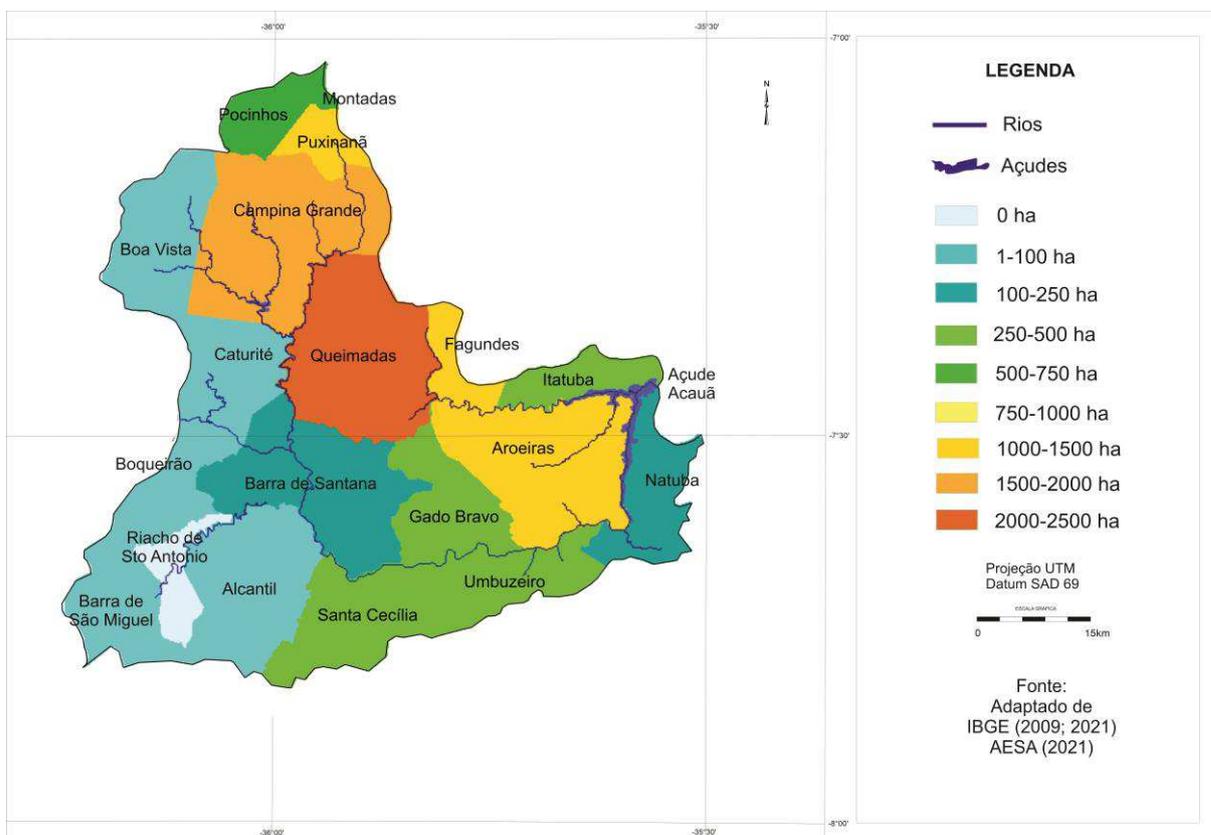


Figura 18. Municípios produtivos de feijão.

Fonte: adaptado de IBGE (2009; 2021); AESA (2021).

Pelos resultados obtidos observa-se que a produção é realizada em 10.544 ha e de acordo com Morais e Freire (2018), em 2011 o destaque de maior produção média foi para a região de Campina Grande, que teve uma área colhida de 10.159 ha. Portanto resultado similar a este trabalho indicando a manutenção da produção na região da bacia.

EMBRAPA (2016) afirma que, o feijoeiro é bastante sensível as condições de fertilidade dos solos. Os solos propícios para sua cultura devem ter boas condições físicas, fertilidade média a alta e teor razoável de matéria orgânica. Desde que as condições nutricionais sejam satisfatórias, seu cultivo pode ser realizado em solos de textura desde arenosa até argilosa.

5.7.4. Mandioca

O cultivo da mandioca (*Manihot esculenta*) apresenta-se pouco representativa na bacia em estudo com maior produção no município de Puxinanã em 137 ha representado somente 0,53% da área total da bacia em estudo (Figura 19).

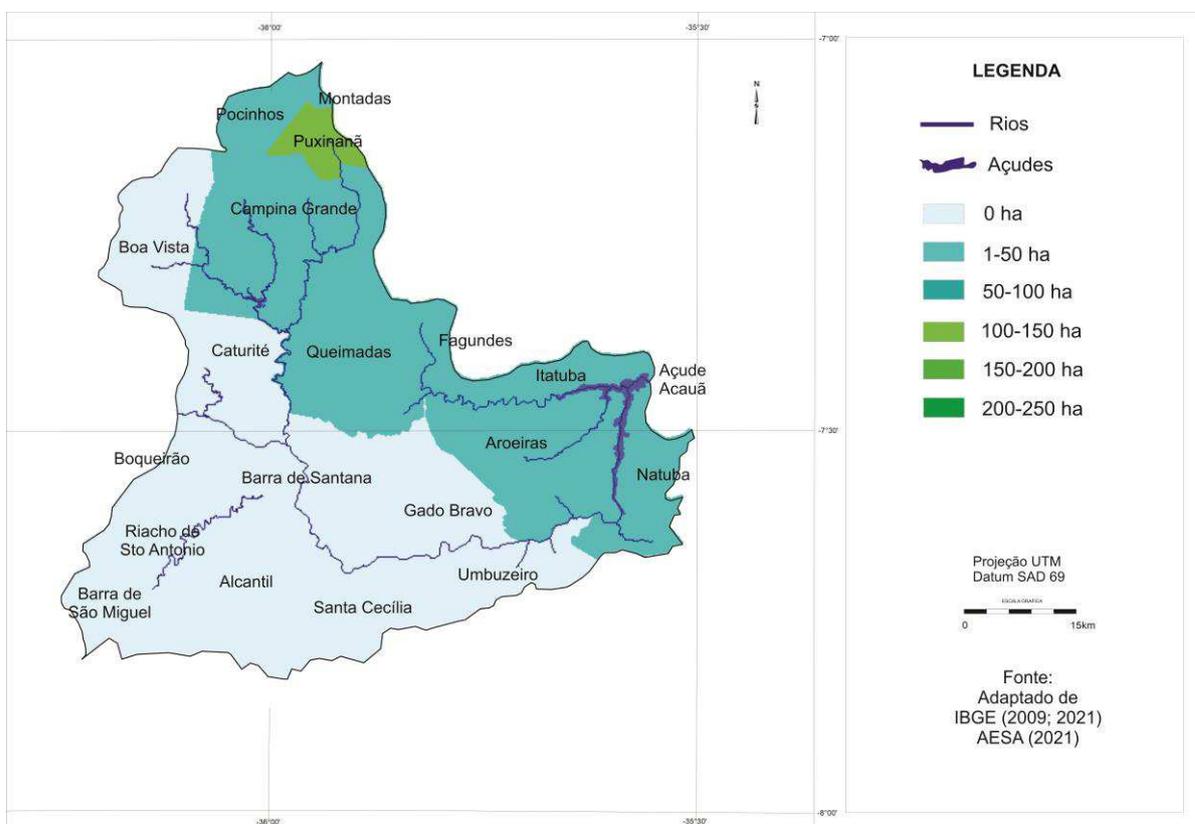


Figura 19. Municípios produtivos da mandioca.

Fonte: adaptado de IBGE (2009; 2021); AESA (2021).

A área total de produção observada é de 231 ha, incipiente em relação ao ano de 2014 representando somente 5,57% em relação aos dados observados por Moraes e Freire (2018) que foram em média de 4 mil hectares de área de produção na região, que no caso já apresentava uma redução de área em comparação entre 2011-2014 em 20,7%.

Esta diminuição do uso das áreas produtivas talvez se deva à cultura da mandioca apresentar um ciclo longo de 420 a 480 dias e necessitar de 1.000 a 1.500mm de chuva para sua produção, e a média observada por este trabalho em toda a bacia em estudo é de 648,8mm, portanto insuficiente, e devido a escassez hídrica e os agricultores necessitarem de recursos mais rápidos, há, portanto, a probabilidade de terem migrado para o cultivo de outras culturas comuns na região.

5.7.5. Milho

A cultura do milho (*Zea mays*) distribuído em um total de área de 7.792 ha (17,96%) (Figura 20), com destaque para Puxinanã, Queimadas, Campina Grande e Fagundes, localizado ao noroeste da bacia, com 4.198 ha, e ao leste da bacia, e próximo a Acauã em 2.158 ha nos municípios de Aroeiras, Itatuba, Natuba e Umbuzeiro (Tabela 16). Observa-se que pelos resultados obtidos quanto a pluviosidade, que estes municípios produtivos apresentam acima de 500mm exigidos pela cultura do milho, o que justifica a sua produção quanto a localização na bacia hidrográfica.

Moraes e Freire (2018) em seu estudo afirmam que, em 2011 na mesma região, o milho era produzido em 31.729 ha, em 2012 ocorreu uma queda de 70% na área cultivada, essa queda ocorreu, muito provavelmente, em decorrência das poucas e irregulares chuvas ocorridas em 2012, apresentando uma média entre 2011-2014 de 19.327 ha.

Silva et al. (2012), afirmam que quanto ao clima, os fatores que afetam o crescimento da cultura de milho variam com a região. Nas regiões temperadas e subtropicais, a limitação maior se deve à temperatura do ar e a radiação solar. No Nordeste, destacam-se a precipitação, a temperatura e a evapotranspiração, pois afetam as atividades fisiológicas, interferindo diretamente na produção de grãos e de matéria seca. Os autores afirmam ainda que em geral, os principais fatores restritivos dos solos estão relacionados com a pouca profundidade efetiva (Neossolos Litólicos, Planossolos), relevo ondulado a forte ondulado e montanhoso (riscos de erosão), textura arenosa com drenagem excessiva e baixa retenção de água (Neossolos Regolíticos), pedregosidade, rochiosidade e, em áreas de baixada, problemas de drenagem deficiente e riscos de salinização (Planossolos e Neossolos Flúvicos).

Tabela 16. Culturas temporárias – parte 2

Município	Área produção	Cultura temporária (ha)									
		Milho	%	Milho forrageiro	%	Sor-go	%	Sorgo forrageiro	%	Palma forrageira	%
Aroeiras	3.110	1.050	33,76	50	1,61	17	0,55	105	3,38	777	24,98
Alcantil	1.226	4	0,33	-	-	-	-	-	-	6	0,49
Barra de Santana	3.467	93	2,68	85	2,45	-	-	51	1,47	536	15,46
Boa Vista	1.447	34	2,35	5	0,35	-	-	-	-	235	16,24
Boqueirão	1.539	4	0,26	31	2,01	-	-	66	4,29	64	4,16
Barra de São Miguel	872	6	0,69	6	0,69	-	-	12	1,38	-	-
Campina Grande	3.893	1.209	31,06	33	0,85	5	0,13	18	0,46	526	13,51
Caturité	1.556	31	1,99	27	1,74	-	-	362	23,26	30	1,93
Fagundes	1.618	368	22,74	18	1,11	7	0,43	50	3,09	122	7,54
Gado Bravo	2.866	317	11,06	39	1,36	-	-	76	2,65	898	31,33
Itatuba	1.908	635	33,28	26	1,36	8	0,42	170	8,91	61	3,20
Montadas	2.140	397	18,55	19	0,89	-	-	-	-	11	0,51
Natuba	1.058	177	16,73	-	-	-	-	-	-	44	4,16
Queimadas	5.935	1.973	33,24	100	1,68	101	1,70	1.571	26,47	257	4,33
Pocinhos	5.934	342	5,76	106	1,79	-	-	-	-	306	5,16
Puxinanã	1.745	648	37,13	11	0,63	-	-	-	-	30	1,72
Riacho de Sto. Antonio	286	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sta. Cecília	1.466	208	14,19	8	0,55	-	-	-	-	407	27,76
Umbuzeiro	1.319	296	22,44	-	-	32	2,43	24	1,82	545	41,32
Total	43.385	7.792	17,96	564	1,3	170	0,39	2.505	5,57	4.855	11,2

Fonte: adaptado de IBGE (2021).

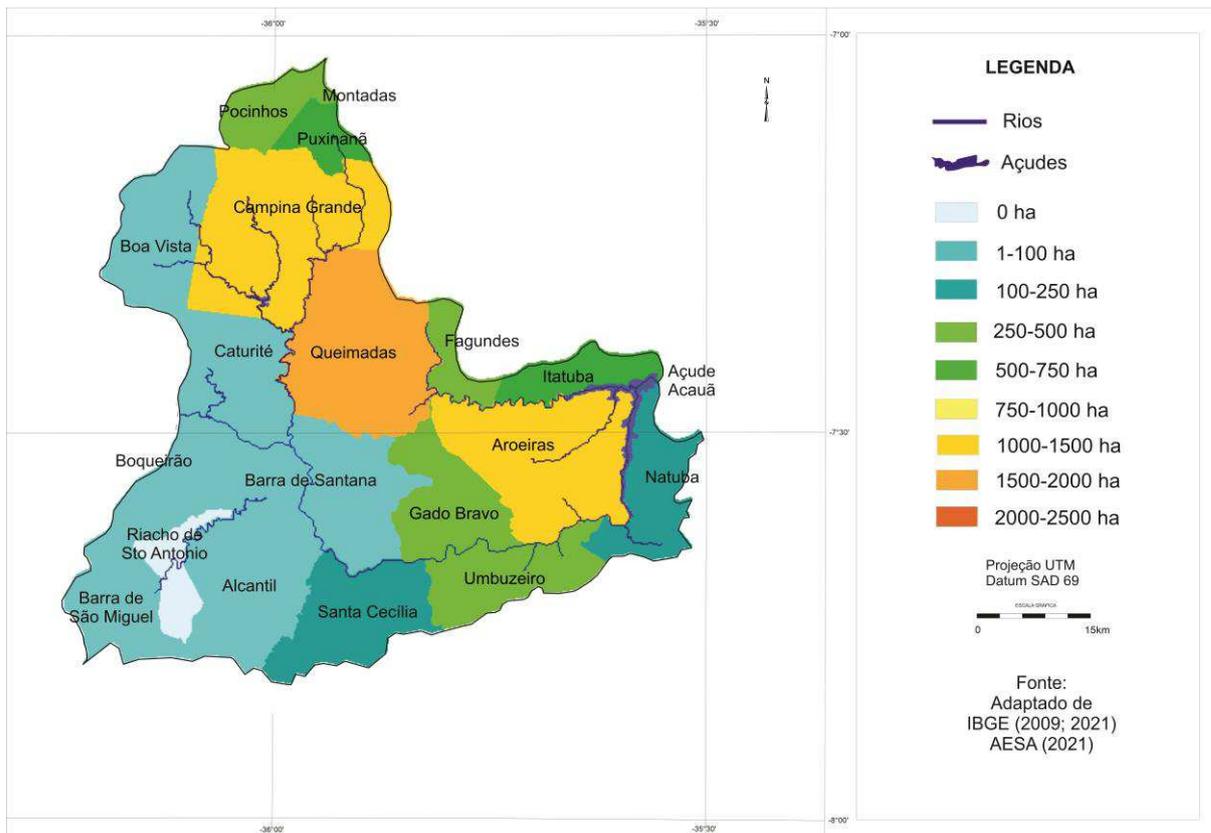


Figura 20. Municípios produtivos de milho.

Fonte: adaptado de IBGE (2009; 2021); AESA (2021).

5.7.6. Milho forrageiro

O milho forrageiro (*Zea mays*) apresenta-se somente em 1,30% do total da área com destaque para Pocinhos, Puxinanã e Queimadas (Tabela 15) (Figura 21).

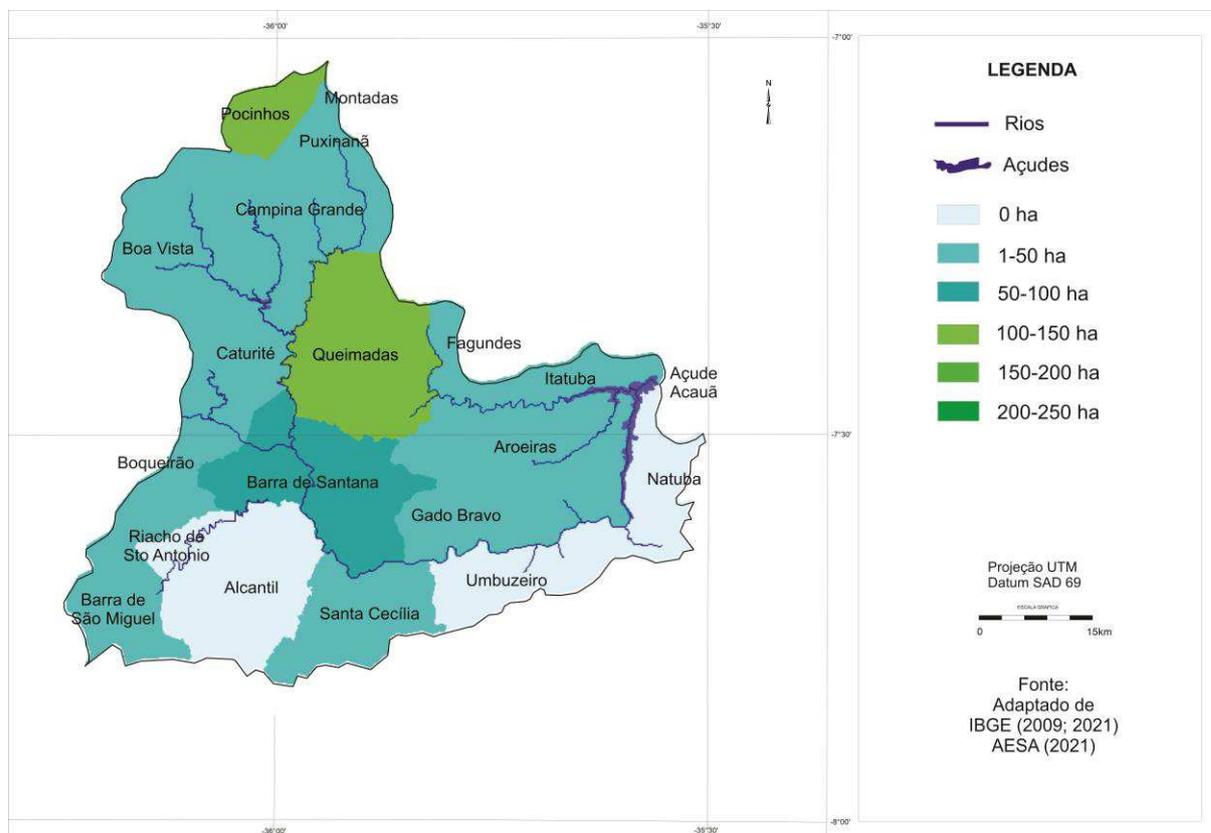


Figura 21. Municípios produtivos do milho forrageiro.

Fonte: adaptado de IBGE (2009; 2021); AESA (2021).

5.7.7. Palma forrageira

A cultura da palma forrageira (*Opuntia cochenillifera*) (Figura 22) é identificada em 11,19% (4.855 ha) do total da bacia. Gado Bravo, Boa Vista, Barra de Santana e Campina Grande em 33,33; 16,24; 15,46; 13,51 ha, respectivamente, localizados ao sudoeste e norte da bacia. Aroeiras e Umbuzeiro próximos a Acauã com 24,98 e 41,32 ha.

Para a produção da cultura da palma forrageira é necessário o mínimo de 400mm anuais que de acordo com a Tabela 15 a pluviosidade destes municípios apresenta-se entre 416,3 a 793,1mm.

Bezerra et al. (2014), realizando o zoneamento de aptidão climática da cultura da palma forrageira (*Opuntia* sp.) para o Estado da Paraíba, constataram que a mesorregião da

Borborema, região onde consta a bacia hidrográfica estudada neste trabalho, é a que propicia as melhores condições climáticas para o cultivo desta cactácea. Além do padrão de precipitação predominante estar dentro da faixa de aptidão plena para o cultivo da palma forrageira, outros fatores climáticos também convergem para esta condição, tais como a temperatura.

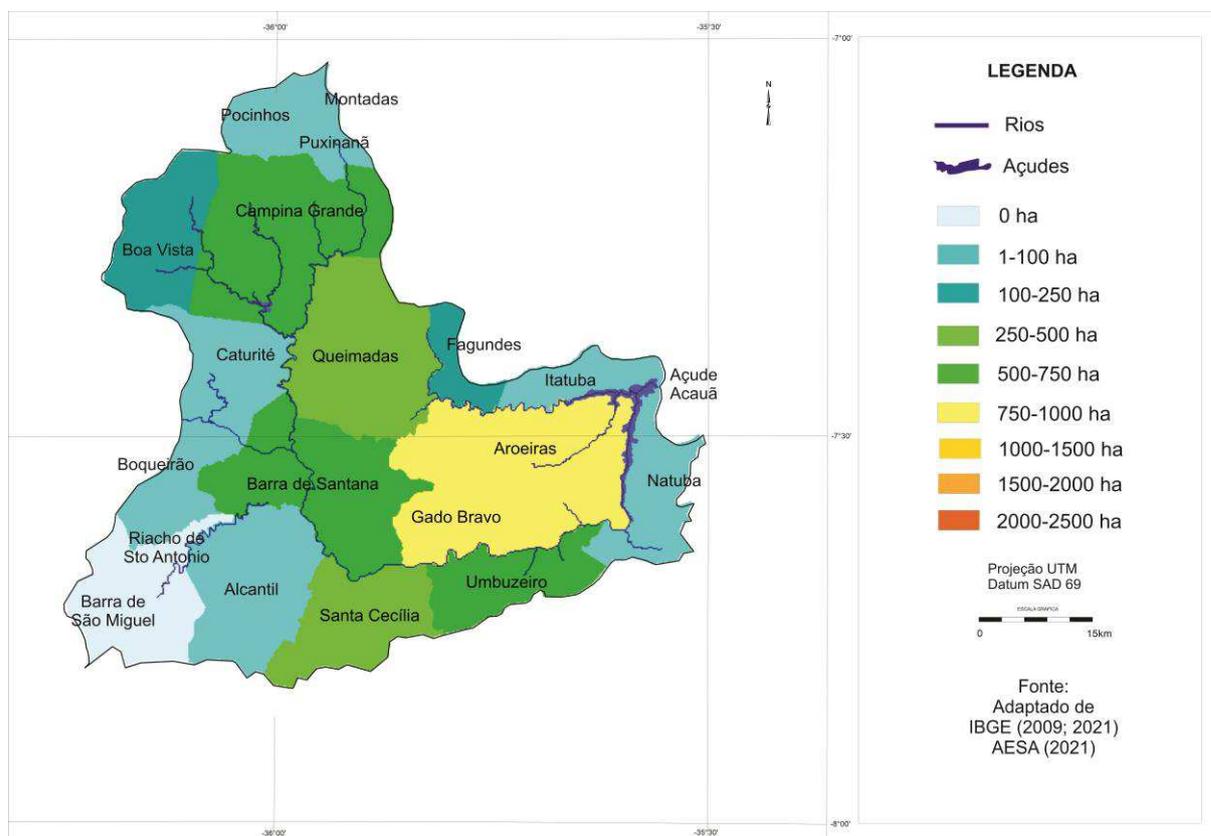


Figura 22. Municípios produtivos da palma forrageira.

Fonte: adaptado de IBGE (2009; 2021); AESA (2021).

Embora possua uma reconhecida gama de potencialidades, a palma forrageira tem sido cultivada no Semiárido Brasileiro quase exclusivamente para a produção de forragem (Santos et al., 2001; Araújo et al., 2005), e de acordo com Bezerra et al. (2014) se tornou, ao longo das décadas, uma das principais alternativas para alimentação dos rebanhos, sobretudo em longos períodos de estiagem, quando as pastagens nativas e outras forrageiras, tais como as gramíneas e leguminosas de elevada exigência hídrica, estão sob fortes condições de estresse hídrico.

5.7.8. Sorgo

A cultura do sorgo (*Sorghum bicolor*) tem sua representatividade no município de Queimadas com 101 ha representando 0,39% do total da bacia (Figura 23). Por este estudo, nos dados de pluviosidade (Tabela 15) observa-se para o município de Queimadas 478,7mm

como média anual e Caturité 800,2mm, e a cultura do sorgo necessita de 400 a 500mm anuais de chuva. Caturité com o dobro da pluviosidade média necessária a produção, mas com somente 25% da produção, com isso podendo ser melhor aproveitado no futuro pelos agricultores.

PARAÍBA (1978) observou que, a cultura do sorgo é pouco difundida na agricultura paraibana, e que existem zonas aptas com potencial, e a introdução e maior difusão parece recomendável, podendo ser interessante nas áreas do interior do Estado, representando uma alternativa viável da cultura do milho, onde as condições de aridez se mostram mais severas, e também podendo ser uma melhoria alimentar na exploração da pecuária, sejam em formas de plantas verdes, seja em forma de grãos.

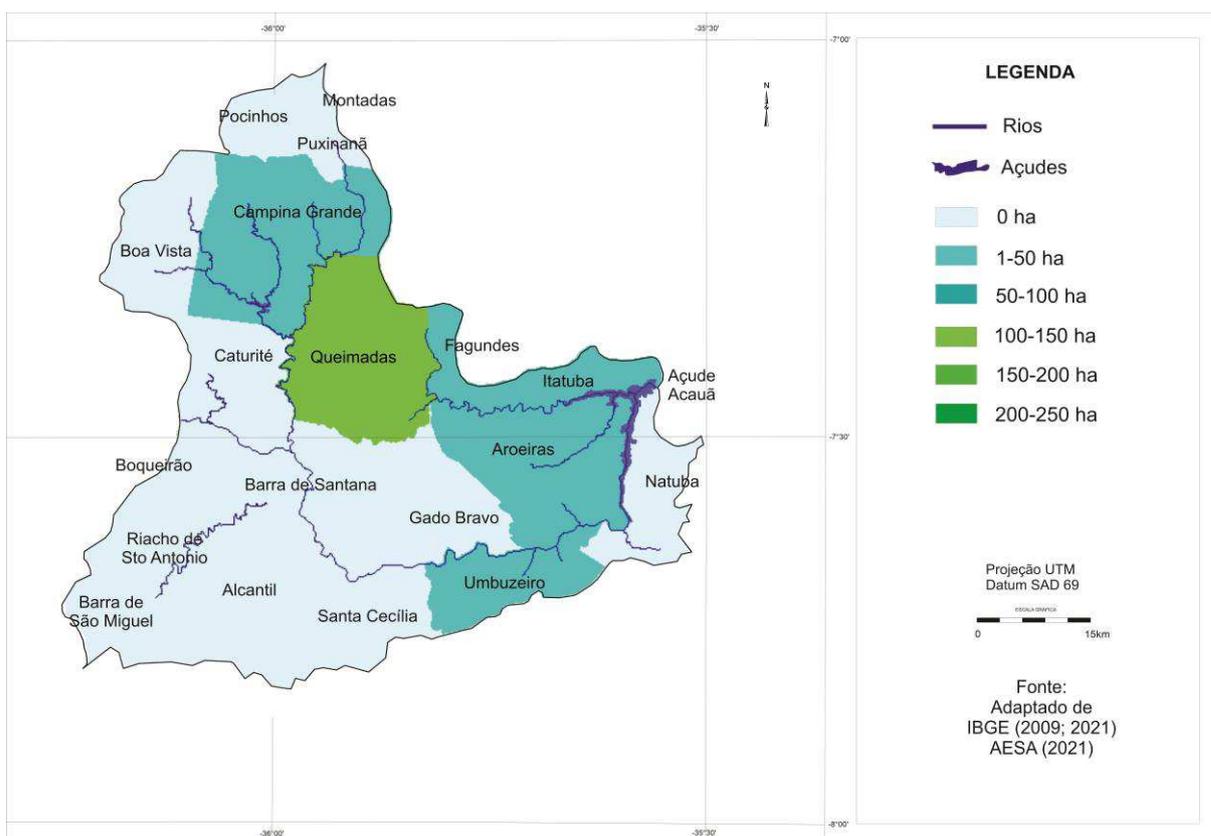


Figura 23. Municípios produtivos do sorgo.

Fonte: adaptado de IBGE (2009; 2021); AESA (2021).

5.7.9. Sorgo forrageiro

O Sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor*) (Figura 24) é identificado com maior produção em Queimadas em 1.547 ha e em 362 ha no município de Caturité representando 5,57% da área total da bacia.

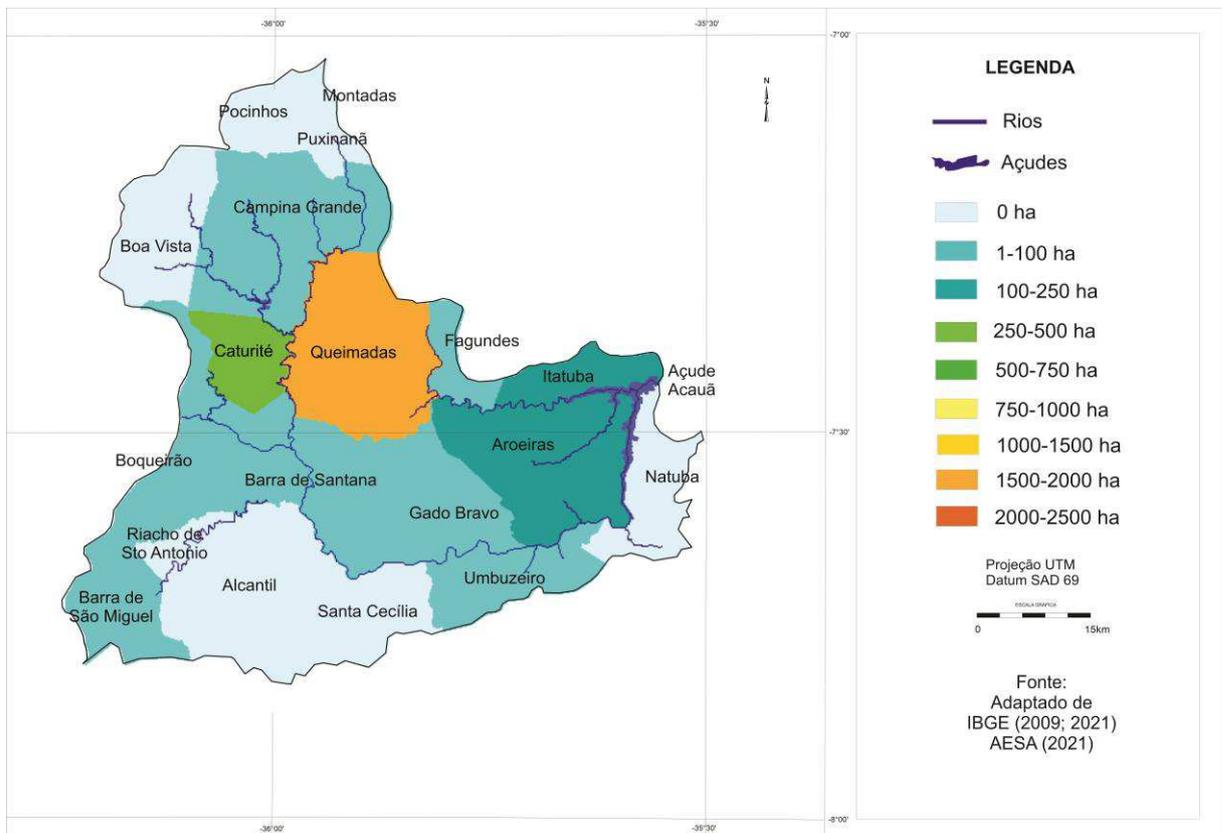


Figura 24. Municípios produtores do sorgo forrageiro.

Fonte: adaptado de IBGE (2009; 2021); AESA (2021).

5.8. Aptidão agrícola de risco climático - ARC

No mapa de capacidade de retenção de água nos solos, Figura 25 e Tabela 17 pode-se observar a distribuição espacial na área levando em consideração somente a probabilidade de chuvas a ocorrer na área, sem a utilização da irrigação.

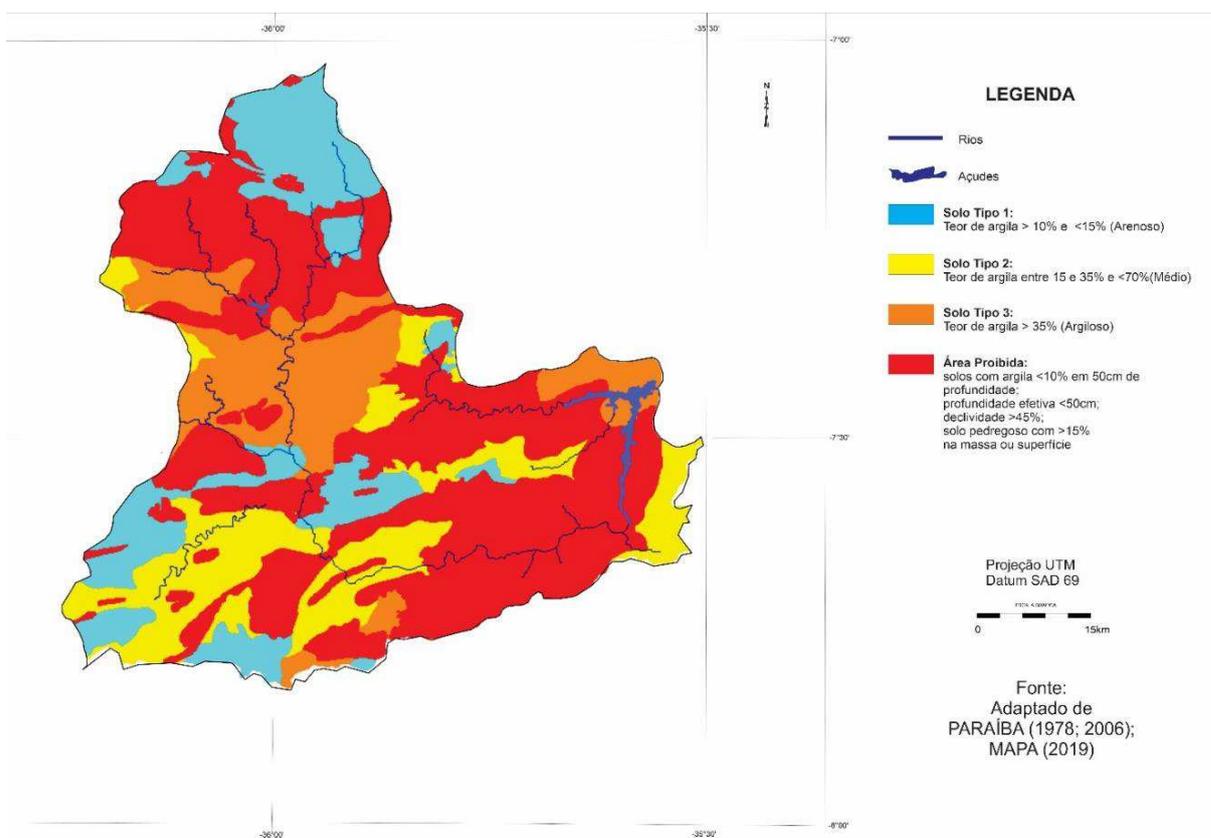


Figura 25. Capacidade de retenção de água no solo da área de estudo.

Fonte: Adaptado de PARAÍBA (1978; 2006); MAPA (2019).

Tabela 17. Distribuição das classes de risco climático

Classes de risco climático		ha	%
Tipo 1	Com teor de argila maior que 10% e menor ou igual a 15%	64.041	16,88
Tipo 2	Com solos com teor de argila entre 15 e 35% e menos de 70% areia	71.135	18,75
Tipo 3	Com solos com teor de argila maior que 35%	64.284	16,94
Área Proibida	Sendo expressamente proibido o plantio de qualquer cultura que esteja em solos que apresentem teor de argila inferior a 10% nos primeiros 50 cm de solo; em solos que apresentem profundidade inferior a 50 cm; em solos que se encontra em áreas com declividade superior a 45%; e em solos muito pedregosos, isto é, solos nos quais calhaus e matações ocupam mais de 15% da massa e/ou da superfície do terreno	179.946	47,43
Total		379.406	100,00

Identifica-se 64.041 ha de terras do tipo 1 representando 16,88% da área total da bacia distribuídas na região norte, central e sudoeste (Figura 23). São áreas compostas pelo Neossolo Quartzarênico Órtico típico e pelo Planossolo Nátrico eutrófico solódico.

Para o Neossolo Quartzarênico Órtico típico Cavalcante et al. (2005) enfatizam que, as principais limitações à sua utilização agrícola, são a muito baixa fertilidade natural, baixa capacidade de retenção de água e nutrientes, determinada pela sua textura arenosa, que inclusive dificulta as práticas de adubação que visam a ser feitas. Não se prestam, portanto, para a maioria das culturas regionais, exceto para algumas culturas perenes muito adaptadas, mesmo assim, com adubações. Os Neossolos Quartzarênicos são essencialmente quartzosos, desprovidos de materiais primários alteráveis, sem contato lítico dentro de 50 cm de profundidade, apresentando textura areia ou areia franca em todos os horizontes até no mínimo, a profundidade de 150 cm a partir da superfície do solo ou até contato lítico (Jacomine, 2009).

Para o Planossolo Háptico Eutrófico solódico conforme BRASIL (1972), estes são pouco profundos e de acordo com Cavalcante et al. (2005), estes apresentam importantes limitações ao uso agrícola, os elevados teores em sódio trocável e más condições físicas nos horizontes subsuperficiais, principalmente do Bt. O aproveitamento dos solos da região é feito com pecuária extensiva, usando-se para isto a própria vegetação natural.

EMBRAPA (2009) afirma que o alto risco da agricultura de sequeiro e obtenção de baixas produtividades das culturas exploradas, ocorrendo deficiência hídrica no estágio crítico da cultura, em função dos menores valores de armazenamento de água no solo. Conforme o Censo Agropecuário de 2006 (IBGE, 2013), verifica que na prática, ocorrem em algumas áreas de plantio temporário de pequenas lavouras, onde o agricultor corre o risco de perder as culturas relacionadas devido à irregularidade das precipitações no período de condução das lavouras.

Identifica-se áreas de terras do tipo 2 que perfazem um total de 71.135 ha, representando 18,75% da área total distribuídas no terço inferior da bacia (Tabela 16 e Figura 23). Áreas estas compostas pelos Luvisolos Crômicos Órtico típico, que conforme Cavalcante et al. (2005), no caso de utilização agrícola, faz-se necessária, principalmente, a escolha de áreas de menor declividade, tomando algumas medidas como o controle da erosão, considerando-se também que a limitação pela falta d'água é forte. Esta classe também contempla o Cambissolo Háptico Ta Eutrófico típico em área localizada ao sudeste divisa com Pernambuco, que de acordo com Francisco (2010), nesta região, são bem profundos. Conforme Cavalcante et al. (2005) no Estado da Paraíba estes solos são usados para culturas de subsistência (milho, feijão, fava) e algodão herbáceo, em geral consorciados. Com relação aos atributos químicos do Cambissolo Háptico Ta Eutrófico típico, deve ressaltar que apesar de possuírem fertilidade alta, geralmente apresentam baixos teores de matéria orgânica e nitrogênio.

Identifica-se áreas de terras do tipo 3 que perfazem um total de 64.284 ha, representando 16,94% da área total distribuídas no terço superior entre os municípios de Barra de Santana, Boqueirão, Caturité, Queimadas e Boa Vista, e ao sul em Santa Cecília compostas pelo

Vertissolo Cromado Órtico típico, e ao extremo leste da bacia em Itatuba onde ocorrem o Luvissoilo Hipocrômico Órtico típico com caráter planossólico, que de acordo com Jacomine (2009) são solos com permeabilidade lenta ou muito lenta, para Francisco (2010) são solos descritos como imperfeitamente drenados em BRASIL (1972). Para Cavalcante et al. (2005) estes são solos imperfeitamente drenados são normalmente pouco profundos e apresentam horizontes subsuperficiais com má condição física, associados a elevados teores de sódio trocável.

De acordo com Cavalcante et al. (2005), os Vertissolos são solos muito susceptíveis à salinização. São facilmente erodíveis e em alguns locais são muito rasos e não se prestam para irrigação. Apesar de a fertilidade ser alta, de um modo geral, estes solos possuem baixos teores de matéria orgânica e nitrogênio. A principal limitação ao uso agrícola dos mesmos é a falta d'água, que é muito forte, em face do clima ter um longo período seco, com forte evaporação.

As áreas identificadas como Proibidas perfazem um total de 179.946 ha, representando 47,43% da área distribuída pela bacia. São áreas compostas pelos Neossolos Litólicos Eutróficos, que conforme Cavalcante et al. (2005), apresentam baixas condições para um aproveitamento agrícola racional, tendo em vista as limitações fortes existentes, provocadas pelo relevo forte ondulado, pedregosidade, rochosidade e reduzida profundidade dos solos. Área estas constituída também pelos Luvissoilo Hipocrômico Órtico típico com caráter planossólico que conforme Cavalcante et al. (2005), a limitação ao uso agrícola destes solos decorre da falta d'água que é muito forte. Também concorre para isto a forte susceptibilidade à erosão, grande pedregosidade e pequena profundidade dos solos. Francisco et al. (2011) afirmam que se relaciona esta inaptidão, principalmente, com as condições climáticas e/ou condições edáficas exigidas por estas culturas, em função das características dos solos e seus atributos, de seus graus de limitações e/ou do clima.

Mesmo por apresentar pouco uso da tecnologia, o conhecimento advindo da tradição na observação do comportamento climático e de seus solos, levou a definição destas áreas pelos agricultores na seleção das culturas mais aptas a região. Portanto, apresenta-se a seguir a aptidão agrícola de risco climático das culturas identificadas com maior área de cultivo do milho, feijão, sorgo, palma forrageira e da mandioca.

Na aptidão agrícola de risco climático foram selecionadas as principais culturas identificadas neste trabalho e zoneadas pelo Ministério da Agricultura (MAPA, 2021). Nas tabelas resumo constam os períodos de semeadura das culturas estudadas para cada grupo, levando em consideração os tipos de solos encontrados na área de estudo.

5.8.1. Feijão comum

Para a cultura do feijão (Tabela 18), ficam indicadas no Zoneamento Agrícola de Risco Climático para o solo do tipo 1, tipo 2 e tipo 3 para os 3 grupos, desde que atendidas as indicações e recomendações da região de adaptação para todos os municípios integrantes da bacia em estudo.

Tabela 18. Período de semeadura da cultura do feijão para cada grupo e tipo de solo

Municípios	Grupo I			Grupo II			Grupo III		
	Períodos de semeadura			Períodos de semeadura			Períodos de semeadura		
	Solo Tipo 1	Solo Tipo 2	Solo Tipo 3	Solo Tipo 1	Solo Tipo 2	Solo Tipo 3	Solo Tipo 1	Solo Tipo 2	Solo Tipo 3
Alcantil	9 a 17	8 a 18	7 a 19	8 a 16	7 a 17	6 a 18	8 a 15	7 a 16	6 a 17
Aroeiras	8 a 18	7 a 19	6 a 20	8 a 17	6 a 18	5 a 19	6 a 17	5 a 17	5 a 18
Boa Vista	11 a 15	7 a 16	5 a 17	10 a 14	7 a 15	5 a 16	10 a 14	7 a 15	5 a 16
Boqueirão	9 a 17	8 a 17	6 a 18	10 a 16	7 a 16	6 a 17	10 a 15	8 a 15	6 a 16
Barra de São Miguel	8 a 17	5 a 17	5 a 18	8 a 16	6 a 17	5 a 17	7 a 15	5 a 16	6 a 16
Barra de Santana	8 a 17	8 a 18	6 a 19	8 a 16	7 a 17	6 a 18	8 a 16	6 a 16	6 a 17
Campina Grande	8 a 17	7 a 18	5 a 19	8 a 16	7 a 17	5 a 18	8 a 15	6 a 16	5 a 17
Caturité	9 a 17	8 a 17	6 a 18	10 a 16	7 a 17	6 a 17	8 a 15	8 a 16	5 a 16
Fagundes	8 a 17	7 a 18	5 a 19	8 a 17	7 a 18	5 a 18	8 a 16	6 a 16	5 a 17
Gado Bravo	8 a 18	7 a 19	6 a 20	8 a 17	7 a 18	6 a 18	8 a 16	6 a 17	5 a 17
Itatuba	7 a 18	6 a 19	5 a 20	7 a 17	5 a 18	5 a 19	6 a 16	5 a 17	5 a 18
Montadas	11 a 16	8 a 17	7 a 18	11 a 16	8 a 16	7 a 17	10 a 15	8 a 15	6 a 16
Natuba	7 a 19	6 a 20	5 a 20	7 a 18	6 a 19	5 a 19	6 a 17	5 a 18	5 a 18
Pocinhos	8 a 16	5 a 17	5 a 18	8 a 15	7 a 16	5 a 17	7 a 15	5 a 15	5 a 16
Puxinanã	8 a 17	7 a 17	5 a 18	8 a 16	7 a 17	5 a 17	8 a 15	5 a 16	5 a 16
Queimadas	8 a 17	7 a 18	5 a 19	8 a 16	7 a 17	5 a 18	8 a 15	6 a 16	5 a 17
Riacho de Santo Antônio	9 a 17	8 a 18	7 a 18	10 a 16	7 a 17	7 a 17	10 a 15	8 a 16	6 a 16
Santa Cecília	8 a 18	8 a 19	7 a 19	8 a 17	7 a 18	6 a 18	8 a 16	6 a 17	6 a 17
Umbuzeiro	8 a 18	7 a 19	6 a 20	8 a 17	7 a 18	6 a 19	6 a 17	6 a 17	5 a 18

Fonte: Adaptado de MAPA (2021).

Para os períodos indicados para a semeadura, observa-se que para a cultura do feijão inicia-se no 5º decênio (fevereiro) estendendo-se até o final do mês de maio (20º decênio).

Francisco et al. (2011) avaliando o município de Picuí, localizado ao extremo norte do Estado na bacia do Seridó, verificaram que a cultura do milho não foi indicada, devido as condições climáticas e/ou condições edáficas exigidas por estas culturas, em função das características dos solos e seus atributos, de seus graus de limitações e/ou do clima.

Conforme o Censo Agropecuário de 2006 (IBGE, 2013), verifica que na prática, ocorrem em algumas áreas de plantio temporário de pequenas lavouras, onde o agricultor corre o risco de perder as culturas relacionadas devido à irregularidade das precipitações no período de condução das lavouras.

De acordo com Jacomine et al. (1975), as classes de solo com melhor aptidão para a cultura do feijoeiro são o Cambisol Eutrófico, Brunizem Avermelhado, Podzólico Vermelho Amarelo Equivalente Eutrófico, Latosol Vermelho Amarelo Eutrófico e Solos Aluviais Eutróficos textura média, desde que apresentem relevo plano ou suavemente ondulado.

PARAÍBA (1978), pelo zoneamento agroclimático realizado, classificou como aptidão moderada, onde nessas áreas o período propício ao desenvolvimento vegetativo é mais curto, sendo recomendável a introdução de cultivares precoce.

5.8.2. Mandioca

Para a cultura mandioca (Tabela 19) ficam indicadas no Zoneamento Agrícola de Risco Climático para os solos do tipo 1, tipo 2 e tipo 3, desde que atendidas as indicações e recomendações da região de adaptação para somente os municípios Itatuba e Umbuzeiro.

Tabela 19. Período de semeadura da cultura da mandioca para cada grupo e tipo de solo

Municípios	Períodos de semeadura		
	Solo Tipo 1	Solo Tipo 2	Solo Tipo 3
Alcantil/ Aroeiras/ Boa Vista/ Boqueirão	*	*	*
Barra de São Miguel/ Barra de Santana	*	*	*
Campina Grande/ Caturité/ Fagundes	*	*	*
Itatuba	5 a 14	4 a 15	4 a 15
Gado Bravo/Montadas/ Natuba	*	*	*
Pocinhos/ Puxinanã/ Queimadas	*	*	*
Riacho de Santo Antônio/ Santa Cecília	*	*	*
Umbuzeiro	5 a 14	4 a 15	4 a 15

Fonte: Adaptado de MAPA (2021). Obs. * Não recomendado.

Para os períodos indicados para a semeadura, observa-se que para a cultura da mandioca inicia-se no 4º decênio (janeiro) estendendo-se até o mês de abril (15º decênio).

As áreas do município de Itatuba apresentam uma pluviosidade anual média de 666mm, sendo o recomendado para a produção da mandioca o mínimo de 1.000mm anuais e estas localizam-se sob os Luvisolos que são do tipo 3, e quanto as restrições dos solos, apresentam boa fertilidade classificados como nula, sem impedimentos, e profundidade efetiva na classe nula a moderada em que sob estes aspectos não são impedimentos ao cultivo da mandioca.

Francisco e Santos (2017) realizando o zoneamento de risco climático sorgo para o município de São João do Cariri, localizado na bacia contígua a deste estudo, região mais seca com clima Bsh, observaram a indicação para o solo tipo 2, mas recomendação de plantio entre os decênios 1 a 4 (janeiro), resultados não similares a este trabalho devido ao regime de chuva ocorrer em outro período do ano.

No município de Umbuzeiro ocorre uma pluviosidade média anual de 793mm sob os Cambissolos com boa drenagem recomendado ao plantio, e em solos Neossolos Litólicos em áreas mais declivosas de pouca profundidade efetiva, portanto não recomendado ao cultivo.

O Cambissolo Háptico Ta Eutrófico típico localizado a sudeste da bacia divisa com Pernambuco, que de acordo com Francisco (2010), nesta região, são bem profundos e conforme Cavalcante et al. (2005), no estado da Paraíba, estes solos são usados para culturas de subsistência e em geral consorciados. Os Neossolos Litólicos Eutróficos, que conforme Cavalcante et al. (2005), apresentam baixas condições para um aproveitamento agrícola racional, tendo em vista as limitações fortes existentes, provocadas pelo relevo forte ondulado, pedregosidade, rochiosidade e reduzida profundidade dos solos.

Francisco e Santos (2018) realizando o mapeamento do potencial pedoclimático do Estado da Paraíba para a cultura da mandioca observaram que, as áreas de potencial muito baixo contemplam os ambientes com fortes limitações de solo e/ou de clima, e estas ocorrem em razão da ocorrência de solos com aptidão baixa e por apresentarem aptidão climática inapta com risco de déficit hídrico acentuado.

Francisco et al. (2017) relatam que o índice de umidade e os elementos climáticos são determinantes para a definição da aptidão climática da mandioca no Estado da Paraíba.

Francisco et al. (2011), afirmam que esta inaptidão, se relaciona principalmente, com as condições climáticas e/ou condições edáficas exigidas por estas culturas, em função das características dos solos e seus atributos, de seus graus de limitações e/ou do clima.

5.8.3. Milho

Ficam indicadas no Zoneamento Agrícola de Risco Climático para o solo do tipo 1, para a cultura do milho desde que atendidas as indicações e recomendações da região de adaptação

para a maioria dos municípios integrantes da bacia em estudo, com exceção para o município de Umbuzeiro, onde não se identifica para o solo tipo 1 recomendação para todos os 3 grupos de culturas. Observa-se ainda que ocorrem algumas restrições para o solo tipo 1 (arenoso) para o milho referente ao grupo III para as áreas dos municípios de Boa Vista e Pocinhos, ambos localizados ao norte da bacia onde ocorrem os Neossolos Quartzarênicos e região com menor pluviosidade média anual de 385mm (Tabela 20).

Tabela 20. Período de semeadura da cultura do milho para cada grupo e tipo de solo

Municípios	Grupo I			Grupo II			Grupo III		
	Períodos de semeadura			Períodos de semeadura			Períodos de semeadura		
	Solo Tipo 1	Solo Tipo 2	Solo Tipo 3	Solo Tipo 1	Solo Tipo 2	Solo Tipo 3	Solo Tipo 1	Solo Tipo 2	Solo Tipo 3
Alcantil	9 a 14	6 a 15	5 a 16	7 a 12	5 a 13	3 a 14	5 a 10	4 a 11	3 a 12
Aroeiras	9 a 14	6 a 15	5 a 16	5 a 13	4 a 14	3 a 14	4 a 11	3 a 12	2 a 13
Boa Vista	11 a 12	6 a 13	4 a 14	10	7 a 11	3 a 12	*	5 a 9	2 a 10
Boqueirão	10 a 13	7 a 14	5 a 15	9 a 11	5 a 12	3 a 13	8 a 9	5 a 10	3 a 11
Barra de São Miguel	10 a 13	5 a 14	4 a 15	8 a 12	4 a 13	3 a 13	5 a 10	4 a 11	2 a 12
Barra de Santana	10 a 14	7 a 15	5 a 16	8 a 12	4 a 14	5 a 15	7 a 10	4 a 11	3 a 12
Campina Grande	10 a 13	6 a 14	4 a 15	9 a 11	5 a 12	3 a 13	8 a 10	4 a 10	2 a 11
Caturité	10 a 13	7 a 14	5 a 15	9 a 11	5 a 12	3 a 13	8 a 9	5 a 10	2 a 11
Fagundes	9 a 14	6 a 14	5 a 16	7 a 12	5 a 13	3 a 14	5 a 10	4 a 11	2 a 12
Gado Bravo	9 a 14	6 a 15	5 a 16	8 a 12	5 a 13	4 a 14	5 a 11	4 a 12	3 a 12
Itatuba	6 a 14	5 a 15	5 a 16	5 a 12	4 a 13	3 a 14	4 a 11	3 a 12	2 a 13
Natuba	6 a 14	5 a 15	5 a 17	5 a 13	4 a 14	3 a 15	4 a 12	3 a 12	2 a 13
Pocinhos	11 a 12	6 a 13	4 a 14	10	7 a 11	3 a 12	*	6 a 9	2 a 10
Puxinanã	11 a 12	6 a 14	4 a 14	9 a 11	5 a 12	3 a 13	9	5 a 10	2 a 11
Queimadas	10 a 14	6 a 14	5 a 15	8 a 12	5 a 13	3 a 15	7 a 10	4 a 11	3 a 12
Riacho de Santo Antônio	9 a 14	6 a 12	5 a 13	7 a 12	5 a 13	3 a 14	5 a 10	4 a 11	2 a 12
Santa Cecília	9 a 14	6 a 15	5 a 16	7 a 12	5 a 13	4 a 14	5 a 11	4 a 12	3 a 13
Umbuzeiro	*	4 a 12	3 a 13	*	3 a 11	2 a 12	*	2 a 9	2 a 10

Fonte: Adaptado de MAPA (2021). Obs. * Não recomendado.

Para os períodos indicados para a semeadura, observa-se que para a maioria das culturas recomendadas inicia-se no 2º decênio (janeiro) estendendo-se até o final do mês de maio (17º decênio) isto devido a capacidade maior de percolação destes solos.

Ficam indicadas no Zoneamento Agrícola de Risco Climático para o solo do tipo 2 para a maioria dos municípios integrantes da bacia em estudo. Para o solo do tipo 3 ficam indicadas para todos os municípios da área, para todos os 3 grupos de culturas onde ocorrem os Neossolos Litólicos Eutróficos localizados em região com maior declividade.

De acordo com EMBRAPA (1976), na região a cultura ocupava áreas com Regossol e Solos Litólicos Eutróficos textura média.

Dos resultados obtidos neste trabalho para a cultura indicada do milho, estão de conformidade com os encontrados por Sans et al. (2002).

Silva et al. (2019) avaliando o efeito espacial na produção do milho no sertão sergipano, verificou que efeito do Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC), como variável de política agrícola que atua como proxy para tecnologia, mostrou um efeito relevante sobre a produtividade do milho.

5.8.4. Palma forrageira

Ficam indicadas no Zoneamento Agrícola de Risco Climático para a cultura da palma forrageira (Tabela 21) os solos do tipo 1, tipo2 e tipo 3, desde que atendidas as indicações e recomendações da região de adaptação para os municípios de Itatuba e Umbuzeiro localizados ao leste da bacia onde ocorrem os Luvisolos, Cambissolos e Neossolos Litólicos e região com maior pluviosidade média anual de 793mm.

Tabela 21. Período de semeadura da cultura da palma forrageira para cada grupo e tipo de solo

Municípios	Períodos de semeadura		
	Solo Tipo 1	Solo Tipo 2	Solo Tipo 3
Alcantil/ Aroeiras/ Boa Vista/ Boqueirão	*	*	*
Barra de São Miguel/ Barra de Santana	*	*	*
Campina Grande/ Caturité/ Fagundes	*	*	*
Itatuba	1 a 13	1 a 14	1 a 15
Gado Bravo/Montadas/ Natuba	*	*	*
Pocinhos/ Puxinanã/ Queimadas	*	*	*
Riacho de Santo Antônio/ Santa Cecília	*	*	*
Umbuzeiro	1 a 14	1 a 15	1 a 17

Fonte: Adaptado de MAPA (2021). Obs. * Não recomendado.

Para os períodos indicados para a semeadura, observa-se que para a cultura da palma forrageira inicia-se no 1.o decênio (janeiro) estendendo-se até o mês de abril (15.o decênio) para o município de Itatuba e para Umbuzeiro estende-se até o 17.o decênio (maio).

Ao extremo leste da bacia, em Itatuba, onde ocorrem o Luvisolo Hipocrômico Órtico típico com caráter planossólico, que de acordo com Jacomine (2009) são solos com permeabilidade lenta ou muito lenta, para Francisco (2010) são solos descritos como imperfeitamente drenados em BRASIL (1972). Para Cavalcante et al. (2005) estes são solos

imperfeitamente drenados são normalmente pouco profundos e apresentam horizontes subsuperficiais com má condição física, associados a elevados teores de sódio trocável.

Observa-se, portanto, devido as suas restrições para outras culturas, no caso para o cultivo da palma forrageira, estes solos serão bem aproveitados caso a recomendação seja utilizada pelos agricultores.

Francisco e Santos (2017), realizando o zoneamento de risco climático da palma forrageira para o município de São João do Cariri, observaram a indicação para o solo tipo 1 e tipo 2, mas recomendação de plantio entre os decênios 25 a 33 (agosto a setembro). Francisco et al. (2011) avaliando o município de Picuí, localizado ao extremo norte do Estado na bacia do Seridó, identificaram para o solo tipo 1 e tipo 2 o mesmo período de semeadura. Resultados diferentes devido ao regime de chuva ocorrer em outro período do ano.

5.8.5. Sorgo

Para a cultura do sorgo (Tabela 22) ficam indicadas no Zoneamento Agrícola de Risco Climático para os solos do tipo 1, tipo 2 e tipo 3, desde que atendidas as indicações e recomendações da região de adaptação para todos os municípios integrantes da bacia em estudo.

Para os períodos indicados para a semeadura, observa-se que para a cultura do sorgo inicia-se no 5.o decênio (fevereiro) estendendo-se até o mês de maio (19.o decênio).

De acordo com EMBRAPA (2012) os estados da região Nordeste, em função da irregularidade no regime de chuvas, o cultivo do sorgo é realizado durante a estação chuvosa, período curto e com distribuição irregular, caracterizado, ainda, por ocorrência de veranicos, com 15 a 20 dias sem chuvas.

A cultura do sorgo exige em torno de 300 a 400mm de precipitação pluviométrica, distribuídos regularmente durante o seu ciclo de crescimento e desenvolvimento para que se alcancem níveis de produtividade satisfatórios, sem a necessidade de irrigação suplementar. A cultura tolera ocorrências de deficiência hídrica, inclusive pequenos veranicos, sendo considerada resistente à seca (Tabosa et al., 2002).

Tabela 22. Período de semeadura da cultura do sorgo para cada grupo e tipo de solo

Municípios	Grupo I			Grupo II			Grupo III		
	Períodos de semeadura			Períodos de semeadura			Períodos de semeadura		
	Solo Tipo 1	Solo Tipo 2	Solo Tipo 3	Solo Tipo 1	Solo Tipo 2	Solo Tipo 3	Solo Tipo 1	Solo Tipo 2	Solo Tipo 3
Alcantil	7 a 17	5 a 18	5 a 18	7 a 16	5 a 17	5 a 17	7 a 15	6 a 16	6 a 16
Aroeiras	7 a 18	6 a 19	5 a 19	7 a 17	5 a 17	5 a 17	7 a 15	5 a 16	5 a 16
Boa Vista	7 a 16	5 a 16	5 a 17	7 a 15	5 a 15	5 a 16	7 a 13	5 a 14	5 a 14
Boqueirão	7 a 16	5 a 17	5 a 18	7 a 15	5 a 16	5 a 16	7 a 13	5 a 14	5 a 15
Barra de São Miguel	7 a 16	5 a 17	5 a 18	7 a 15	5 a 16	5 a 17	7 a 14	5 a 14	5 a 15
Barra de Santana	7 a 17	5 a 16	5 a 17	7 a 16	5 a 17	5 a 17	7 a 14	5 a 15	5 a 16
Campina Grande	7 a 17	5 a 17	5 a 18	7 a 15	5 a 16	5 a 17	8 a 14	5 a 15	5 a 15
Caturité	7 a 16	5 a 17	5 a 18	7 a 15	5 a 16	5 a 17	8 a 15	5 a 15	5 a 16
Fagundes	7 a 17	5 a 18	5 a 19	7 a 16	5 a 17	5 a 18	7 a 15	5 a 15	5 a 16
Gado Bravo	7 a 17	5 a 18	5 a 19	7 a 16	5 a 17	5 a 18	7 a 15	5 a 16	5 a 16
Itatuba	5 a 18	5 a 19	5 a 19	5 a 17	5 a 18	5 a 18	7 a 15	5 a 16	5 a 16
Montadas	7 a 16	5 a 17	5 a 17	7 a 15	5 a 16	5 a 16	7 a 13	5 a 14	5 a 15
Natuba	5 a 18	5 a 19	5 a 19	5 a 18	5 a 19	5 a 19	5 a 16	5 a 16	5 a 16
Pocinhos	7 a 16	5 a 17	5 a 18	7 a 15	5 a 15	5 a 16	7 a 13	5 a 14	5 a 15
Puxinanã	7 a 16	5 a 17	5 a 18	7 a 15	5 a 16	5 a 17	7 a 14	5 a 14	5 a 15
Queimadas	7 a 17	5 a 18	5 a 18	7 a 16	5 a 17	5 a 17	7 a 14	5 a 15	5 a 15
Riacho de Santo Antônio	7 a 16	5 a 17	5 a 18	7 a 15	5 a 16	5 a 17	7 a 14	5 a 14	5 a 15
Santa Cecília	7 a 15	5 a 18	5 a 19	7 a 16	5 a 17	5 a 18	7 a 15	5 a 15	5 a 16
Umbuzeiro	7 a 18	5 a 19	5 a 19	7 a 17	5 a 18	5 a 18	7 a 15	5 a 16	5 a 17

Fonte: Adaptado de MAPA (2021).

5.9. Potencial de produção agrícola irrigada

Os resultados referentes ao potencial de produção agrícola irrigada são apresentados em separado iniciado pela recomendação de áreas para irrigação obtida, seguida pelas condições climáticas e pelo potencial de produção agrícola para as culturas estudadas, abordando a ocorrência de cada uma das classes e subclasses.

Ressalta-se que neste trabalho não foram mapeados ambientes delimitados e determinados por leis federais, estaduais e municipais a exemplo de reserva legal. Portanto, deve ser desconsideradas indicações de potenciais para os ambientes cujos usos já estão definidos por legislações específicas devido estar diretamente relacionada ao nível imposto pela escala do levantamento de solo, base deste trabalho.

5.9.1. Recomendação de áreas para irrigação

Os estudos já realizados sobre os solos do Estado da Paraíba, embora, em sua maioria de caráter mais ou menos generalizado, possibilitam a elaboração de uma série de trabalhos interpretativos específicos, no caso para irrigação, capazes de subsidiar trabalhos de maior alcance. Como se sabe, uma classificação de terras para a irrigação é basicamente uma interpretação de características morfológicas, químicas e até certo ponto, mineralógicas dos solos, bem como de fatores do meio ambiente, tendo como referência parâmetros ajustados às exigências de uso contínuo das terras com irrigação, e o resultado é sempre o agrupamento de solos hierarquizados segundo os respectivos graus de adequabilidade (PARAÍBA, 1980).

Ressalta-se que os resultados da interpretação de áreas recomendadas para irrigação obtidas por este trabalho são de caráter relativamente generalizado. As áreas aqui indicadas como irrigáveis podem conter solos que não são aptos para irrigação. Estes casos mais específicos podem ser solucionados com a realização de mapeamentos mais detalhados em escalas maiores de trabalho, e por meio do acompanhamento de uma boa assistência técnica.

As áreas recomendadas para irrigação (Figura 26) mapeadas por este trabalho apresenta para a classe Média, uma área de 44.250 ha representando 11,66% do total (Tabela 22), distribuída pelos municípios de Caturité, Queimadas e Barra de Santana compostas em sua maioria por Vertissolo Cromado Órtico típico; e menores áreas em Umbuzeiro, Santa Cecília e Alcantil composto pelo Plintossolo Argilúvico Eutrófico espessarênico (Fte). EMBRAPA (2012b) afirma que, as limitações em grau moderado ocorrem de forma bastante variada nesta classe, tornando-a com menor potencial produtivo, maior dificuldade de manejo, maior risco de degradação ambiental e com menos espécies adaptadas em relação às terras.

A classe Baixa apresenta 32.016,51 ha de área representando 8,44% do total localizada ao norte da bacia no município de Pocinhos, Puxinanã e Campina Grande. Essa classe está relacionada com a ocorrência do Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQo). De acordo com a EMBRAPA (2012b) são terras que requerem muito cuidado ao serem inseridas em processos produtivos com a agricultura irrigada devido ao elevado risco de degradação e aos cuidados requeridos no manejo.

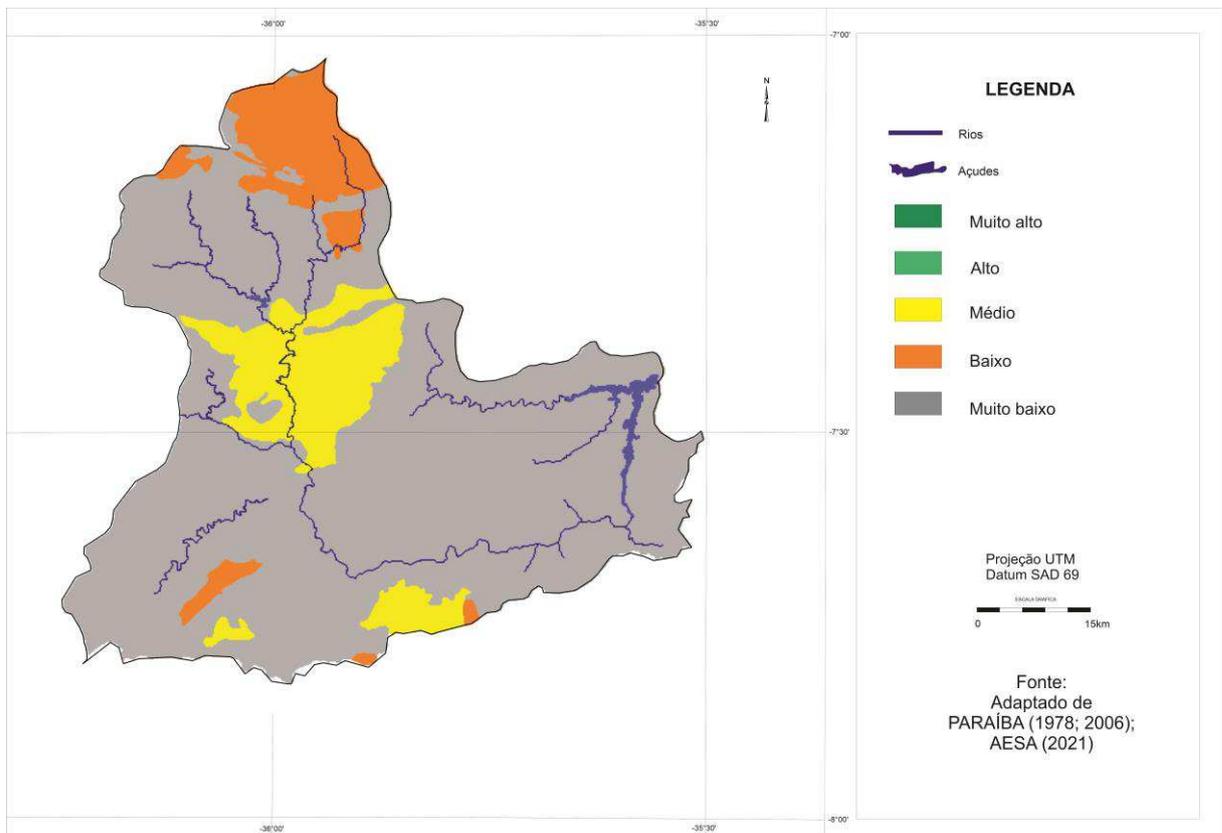


Figura 26. Recomendação para irrigação.

Fonte: Adaptado de PARAÍBA (1978; 2006); AESA (2021).

Tabela 23. Recomendação para irrigação

Classe	Subclasse	Recomendação para irrigação	
		Área (ha)	%
Muito Alta	MA1/ MA2/ MA3/ MA4	-	-
Alta	A1/ A2	-	-
Média	M1	1.333	0,35
	M2	27	0,01
	M3	38.293	10,09
	M4	4.595	1,21
	M5/M6/M7/M8	-	-
Baixa	B1	28.389	7,48
	B2	2.870	0,76
	B3	-	-
	B4	756	0,20
Muito Baixa	MB1	34.340	9,05
	MB2	63.543	16,75
	MB3	25.769	6,79
	MB4	179.485	47,31
	MB5/MB6/MB7/MB8/MB9	-	-
Total		379.406	100,00

A classe Muito Baixa, representando 79,90% da área com 303.139 ha distribuída por toda a bacia hidrográfica representado pelo Luvissole Crômico Órtico típico (TCo), Luvissole Hipocrômico Órtico típico (TPo), Planossolo Nátrico Órtico típico (SNo), Planossolo Háptico Eutrófico solódico (SXe), Cambissolo Háptico Ta Eutrófico típico (CXve), Neossolos Litólicos Eutróficos típico (RLe) e Argissolo Amarelo Distrófico latossólico (PAd), distribuído respectivamente nesta ordem decrescente.

Compreendem os ambientes formados por solos com restrições muito fortes ao uso da agricultura irrigada. Nestas condições, as produtividades são muito baixas, e ou, as dificuldades de manejo e os riscos de degradação ambiental são mais elevados (EMBRAPA, 2012b).

Mesmo com estas restrições, PARAÍBA (1980) para o município de Boqueirão, observou que foram consideradas efetivamente irrigáveis face à disponibilidade hídricas da área, onde já existem uma considerável experiência de agricultura irrigada. Os solos da área são em geral de baixa permeabilidade, portanto, impõem-se a necessidade de participação técnica especializada, visando o controle do processo de salinização.

Ainda EMBRAPA (2012b), alerta para a importância de se adotar, preferencialmente, sistemas de irrigação mais eficientes no uso de água, a exemplo da microaspersão e gotejamento. Além de que as áreas que mais necessitam de irrigação correspondem em geral, aquelas onde a disponibilidade é menor e são maiores o risco de salinização. Recomenda ainda em implementar sistemas de drenagem conjuntamente com o planejamento dos sistemas de irrigação.

Para o município de Queimadas (PARAÍBA, 1980), observa que terras de aproximadamente 440 ha são consideradas irrigáveis, pois estão condicionadas as transferências hídricas dos municípios de Puxinanã, Pocinhos e Campina Grande através da bacia do Riacho do Catolé.

De acordo com PARAÍBA (1980), pelos resultados encontrados na elaboração do potencial de irrigação e oportunidades agroindustriais para o Estado da Paraíba, quanto à região, são similares a este estudo, devido aos fatores restritivos dos solos de profundidade efetiva, capacidade de retenção de água e permeabilidade serem consideradas baixa.

5.9.2. Condição climática das culturas

O clima é um fator essencial no planejamento agropecuário de uma região. Sua caracterização através do estudo de parâmetros climáticos reveste-se de uma importância ainda maior, quando se deseja incrementar a produtividade agrícola, principalmente em áreas do contexto semiárido nordestino (PARAÍBA, 1980).

5.9.2.1. Feijão comum

No mapa da condição climática para cultura do feijão (Figura 27), observa-se que 7,61% da área da bacia (Tabela 24) com 28.856 ha apresenta condição climática Plena (C1). Essas áreas estão localizadas na região sudeste da bacia englobando os municípios de Natuba e em menor influência, Umbuzeiro e Aroeiras.

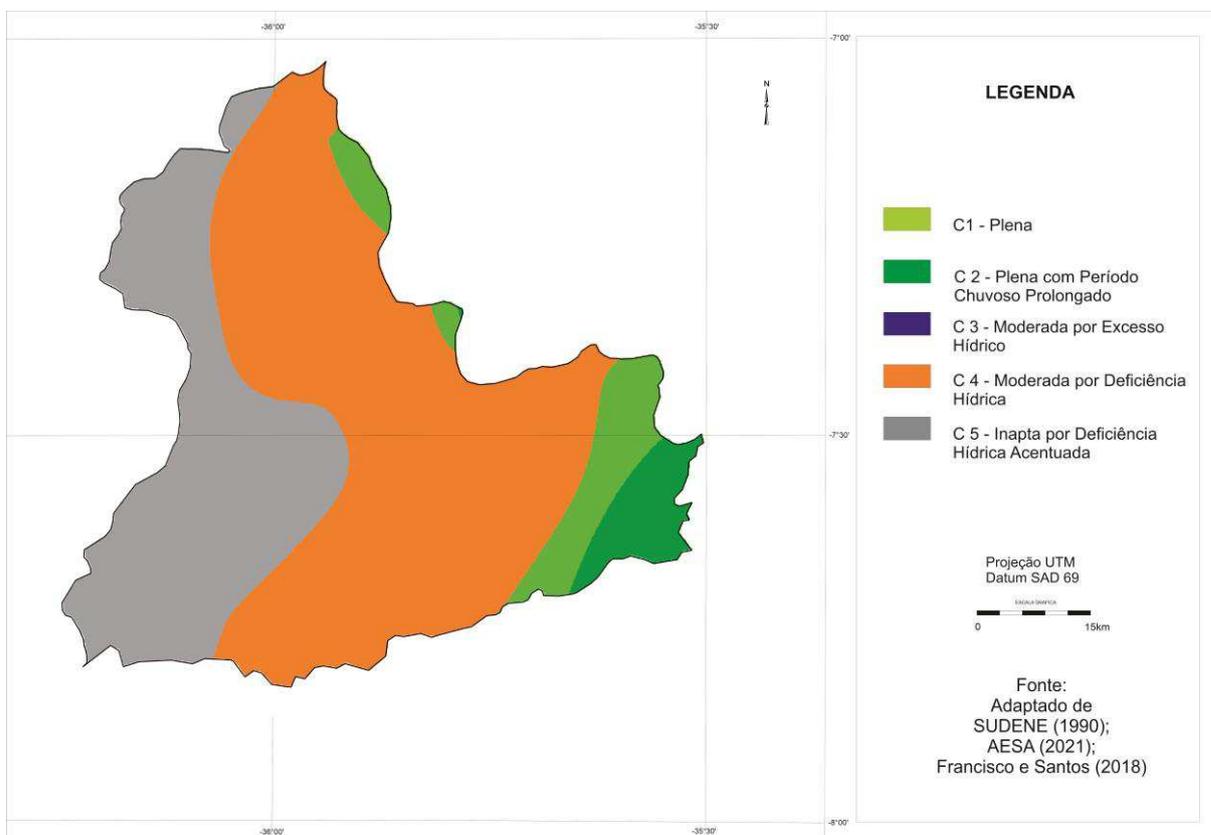


Figura 27. Condição climática para o feijão.

Fonte: Adaptado de SUDENE (1990); AESA (2021); Francisco e Santos (2018).

Observa-se que 16.622 ha das terras (4,38%) apresenta condição climática plena com período chuvoso prolongado (C2). Essas áreas estão localizadas entre os municípios de Itatuba, Natuba e Umbuzeiro localizados na região ao sudeste, divisa com Pernambuco, e outras pequenas áreas em Campina Grande e Fagundes.

Tabela 24. Classes de condição climática do feijão

Classes	Área	
	ha	%
C1	28.856	7,61
C2	16.622	4,38
C3	-	-
C4	214.114	56,43
C5	119.812	31,58
Total	379.406	100,00

A condição climática moderada por excesso hídrico (C3) não é identificada para esta cultura. Para a condição climática Moderada por deficiência hídrica (C4) observa-se 214.114 ha representando 56,43% do total. Essa área está distribuída na região central da bacia na região englobando o Cariri.

As áreas inaptas por deficiência hídrica acentuada (C5) são de 119.812 ha representado 31,58%. Estas áreas ocorrem sobre o Planalto da Borborema, nas regiões do Cariri, ao leste da bacia, entre os municípios de Pocinhos ao norte e Barra de São Miguel ao sul, englobando a região do Açude Epitácio Pessoa.

Francisco et al. (2017), elaborando a aptidão climática da cultura do feijão para a região do Agreste observaram que, o município de Queimadas apresentou aptidão climática moderada por deficiência hídrica nos cenários regular e chuvoso. Resultado similar a este trabalho.

5.9.2.2. Mandioca

No mapa da condição climática para cultura da mandioca (Figura 28), observa-se que 13,67% da área da bacia (Tabela 25) com 51.849 ha apresenta condição climática Plena (C1). Essas áreas estão localizadas ao sul da bacia nos municípios de Alcantil e Umbuzeiro, e em Natuba ao leste, e pequena área em Campina Grande e Fagundes ao norte da bacia.

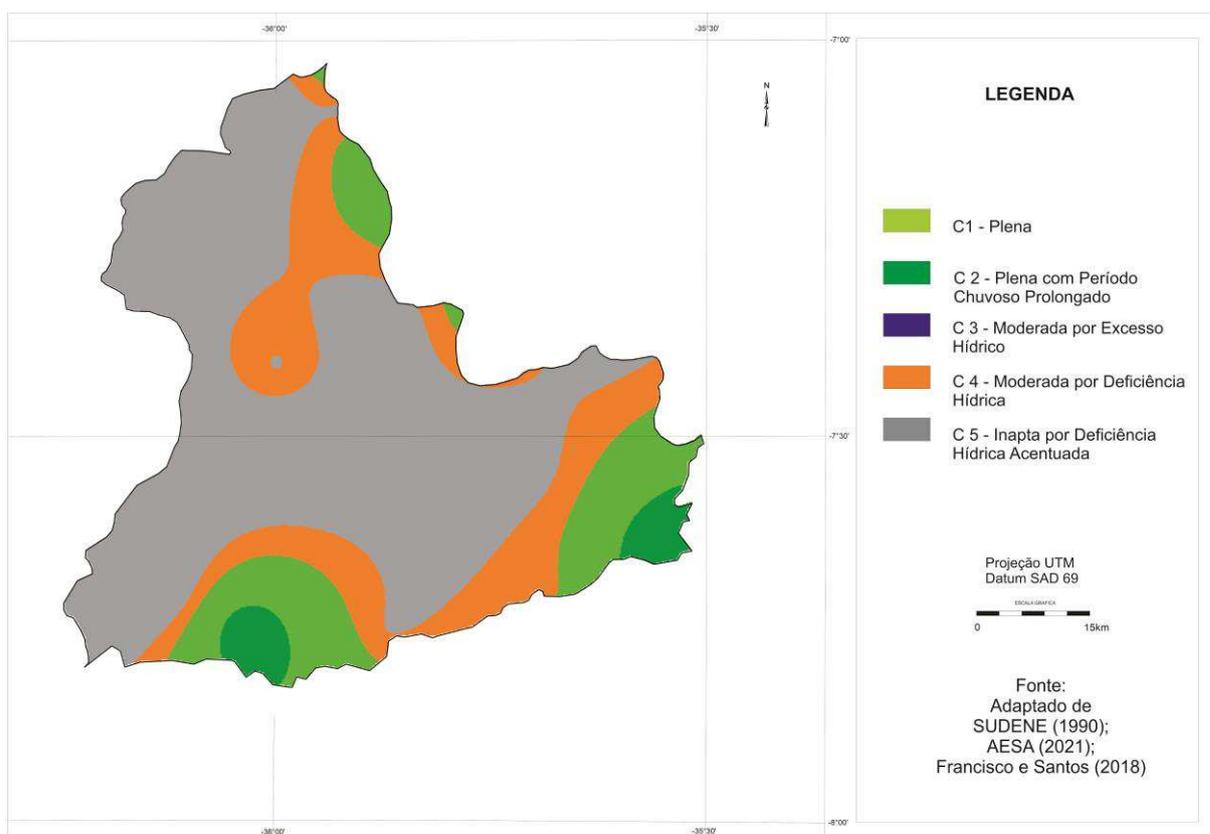


Figura 28. Condição climática para a mandioca.

Fonte: Adaptado de PARAÍBA (1978; 2006); AESA (2021); Francisco e Santos (2018).

Observa-se que 13.486 ha (3,55%) apresenta condição climática plena com período chuvoso prolongado (C2). Essas áreas estão localizadas nos municípios de Alcantil e Natuba.

A classe de condição climática moderada por excesso hídrico (C3) não é identificada na bacia para esta cultura.

Tabela 25. Classes de condição climática da mandioca

Classes	Área	
	ha	%
C1	51.849	13,67
C2	13.486	3,55
C3		0,00
C4	79.775	21,03
C5	234.294	61,75
Total	379.350	100,00

Para a condição climática Moderada por deficiência hídrica (C4), observa-se 79.775 ha representando 21,03% do total. Essa área está distribuída no terço inferior da bacia distribuídas

pelos municípios de Barra de São Miguel, Alcantil, Umbuzeiros, Aroeiras e Itatuba; no terço superior ao norte entre Campina Grande, Caturité, Queimadas e Puxinanã.

As áreas inaptas por deficiência hídrica acentuada (C5) (Tabela 24) perfazem um total de 234.294 ha (61,75%). Estas áreas ocorrem no interior de toda a bacia.

Francisco et al. (2011), elaborando o zoneamento de risco climático e aptidão de cultivo para o município de Picuí, região onde neste trabalho os resultados foram similares, observaram que não foi recomendada seu cultivo devido as condições climáticas e/ou condições edáficas exigidas por esta cultura, em função do clima.

El-Sharkawy (2004) afirma que o potencial produtivo da planta de mandioca é manifestado em condições de precipitação anual acima de 600mm e sob elevada incidência de radiação solar. Em condições de baixas temperaturas e/ou de déficit hídrico prolongado, a planta de mandioca passa por um período de dormência ou de repouso (Alves, 2006).

Francisco et al. (2017) realizando a aptidão climática da mandioca para o Estado da Paraíba observaram que as áreas com aptidão Inapta por deficiência hídrica acentuada ocorrem na região semiárida onde ocorrem os menores índices de pluviosidade. Resultado similar encontrado por este trabalho, onde a bacia em estudo encontra-se localizada na área de transição entre o clima As' e Bsh.

Na região Nordeste do Brasil uma das principais justificativas para a baixa produtividade da mandioca é a deficiência hídrica, podendo a produção de raízes sofrer redução de até 62% se o estresse ocorrer entre 30 e 150 dias após o plantio (Fukuda & Iglesias, 1995). El-Sharkawy et al. (1989), em seus resultados cita a grande resistência da mandioca à deficiência hídrica.

5.9.2.3. Milho

No mapa da condição climática para cultura do milho (Figura 29), observa-se que somente 2,02% da área da bacia (Tabela 26) em 7.669 ha apresenta condição climática Plena (C1). Essa área está localizada ao sudeste da bacia no município de Natuba divisa com Pernambuco.

Observa-se que a condição climática plena com período chuvoso prolongado (C2) e a moderada por excesso hídrico (C3) não são identificadas na bacia para esta cultura.

Para a condição climática Moderada por deficiência hídrica (C4) (Figura 29), observa-se 3.262 ha representando somente 0,86% do total. Essa área apresenta-se em uma pequena e estreita faixa entre a classe inapta (C5) localizada no município de Natuba.

As áreas inaptas por deficiência hídrica acentuada (C5) (Figura 29) perfazem um total de 368.4744 ha (97,12%). Estas áreas ocorrem distribuídas por toda a bacia.

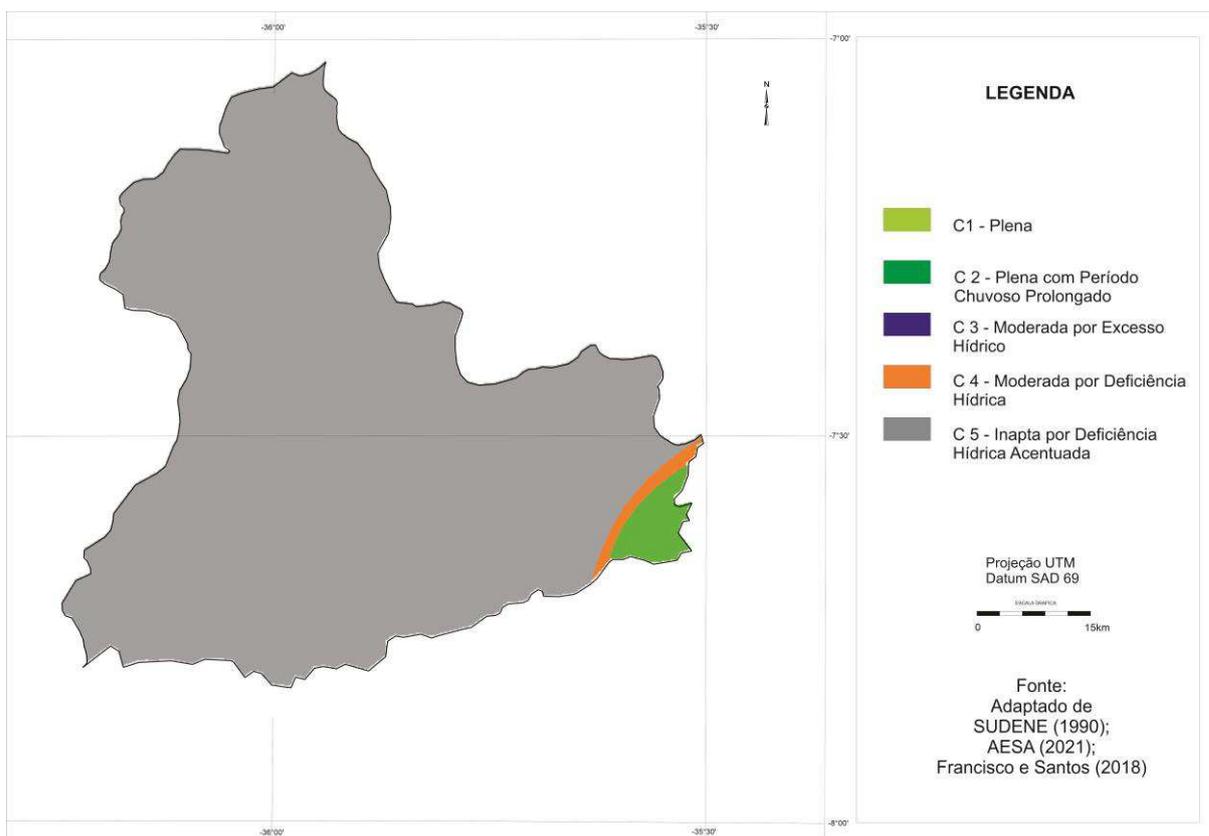


Figura 29. Condição climática para o milho.

Fonte: Adaptado de PARAÍBA (1978; 2006); AESA (2021); Francisco e Santos (2018).

Tabela 26. Classes de condição climática para o milho

Classes	Área	
	ha	%
C1	7669	2,02
C2	-	-
C3	-	-
C4	3262	0,86
C5	368474	97,12
Total	379.406	100,00

A irregularidade pluviométrica torna o cultivo agrícola de sequeiro uma atividade de alto risco. Com isso, semiárido brasileiro possui sua capacidade produtiva limitada, por causa das características intrínsecas em relação à vegetação, clima e solo (Cavalcanti & Resende, 2001).

A cultura está entre as de maior consumo de água. A deficiência hídrica na planta é quase diária, em função da alta demanda evaporativa da atmosfera, notadamente nas regiões

tropicais, onde as taxas de transpiração são elevadas. Nos dias mais quentes, a planta perde mais água do que consegue absorver, mesmo em condições de disponibilidade de água no solo. A escassez hídrica na planta afeta todos os processos relacionados com seu desenvolvimento (Taiz & Zaiger, 2004).

5.9.2.4. Palma forrageira

No mapa da condição climática para a cultura da palma (Figura 30), observa-se que 68,34% das terras da bacia (Tabela 27) distribuídas em 259.282 ha, apresenta condição climática Plena (C1) localizada de norte a sul por toda a bacia. Observa-se que a condição climática plena com período chuvoso prolongado (C2), apresenta área de 35.663 ha (9,40%), localizadas ao leste da bacia, com maior predominância na divisa com Pernambuco nos municípios de Umbuzeiro e Natuba.

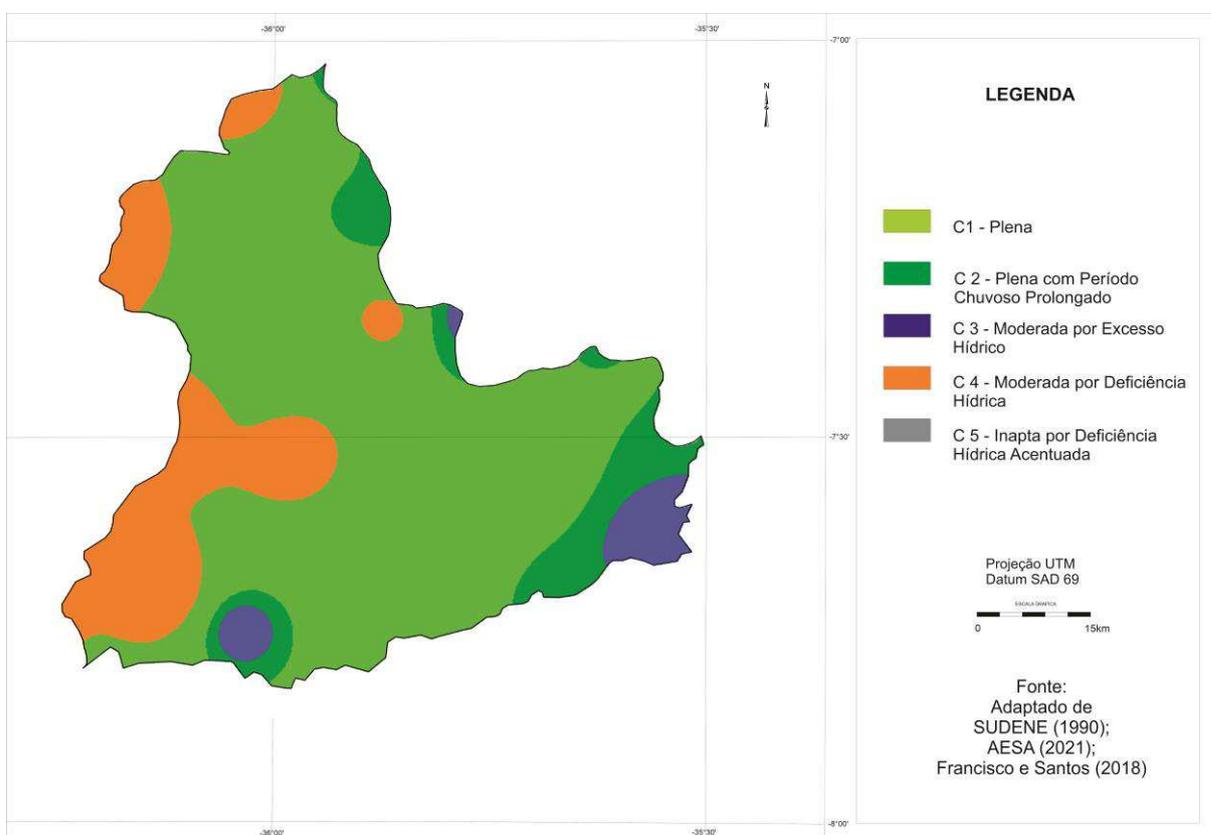


Figura 30. Condição climática para a palma forrageira.

Fonte: Adaptado de PARAÍBA (1978; 2006); AESA (2021); Francisco e Santos (2018).

A classe moderada por excesso hídrico (C3) (Tabela 26) com 14.867 ha representado 3,92% da área localiza-se no município de Natuba e de Alcântil.

Para a condição climática Moderada por deficiência hídrica (C4) (Tabela 26), observa-se 69.593 ha representando 18,34% do total das terras. Essas áreas apresentam-se a oeste da bacia em Boa Vista, Boqueirão e Barra de São Miguel.

Observa-se que áreas inaptas por deficiência hídrica acentuada (C5) (Tabela 26) não ocorrem na bacia para a cultura da palma forrageira.

Tabela 27. Classes de condição climática para palma forrageira

Classes	Área	
	ha	%
C1	259.282	68,34
C2	35.663	9,40
C3	14.867	3,92
C4	69.593	18,34
C5	-	-
Total	379.406	100,00

Matos et al. (2016), avaliando a aptidão agroclimática do município de Barbalha-CE, região semiárida, similar a deste estudo, observaram que possui aptidão restrita para o cultivo da palma forrageira em decorrência das condições climáticas e hídricas não serem adequadas ao desenvolvimento da cultura. Resultado similar a este estudo. Portanto, o cultivo da palma forrageira nesta região requer um planejamento adequado, como a utilização de cultivares resistentes as temperaturas mais elevadas e suprimento hídrico através de irrigação nas épocas em que o solo apresenta déficit de umidade.

Para Andrade Junior et al. (2009), dentre os fatores climáticos, a chuva é o de maior importância, provoca os maiores prejuízos não só pela quantidade insuficiente, mas principalmente pela sua má distribuição espacial e temporal. A ocorrência de secas periódicas e veranicos em períodos que deveriam ser chuvosos, fenômenos que são relativamente frequentes, tornam a prática da agricultura de sequeiro nessa região uma atividade de altíssimo risco.

Conforme Marengo et al. (2004) é importante observar cuidadosamente o comportamento da deficiência hídrica no planejamento agrícola, para obtenção de cultivos agrícolas mais seguros e economicamente viáveis.

5.9.2.5. Sorgo

No mapa da condição climática para cultura do sorgo (Figura 31), observa-se que 6,51% da área da bacia (Tabela 28) em 24.716 ha apresenta condição climática Plena (C1). Essa área

está localizada ao sudeste da bacia nos municípios de Natuba, Aroeiras e Umbuzeiro. A classe plena com período chuvoso prolongado (C2) apresenta-se em 7.122 ha em 1,88% da bacia localizado somente no município de Natuba ao sudeste da bacia. Observa-se que a condição climática moderada por excesso hídrico (C3) não é identificada na bacia para esta cultura. Para a condição climática Moderada por deficiência hídrica (C4), observa-se 122.274 ha representando 32,23% do total distribuída no terço leste da bacia de norte a sul entre Campina Grande, Aroeiras e Santa Cecília. As áreas inaptas por deficiência hídrica acentuada (C5) perfazem um total de 225.292 ha (59,38%). Estas áreas ocorrem distribuídas por todo o terço oeste da bacia.

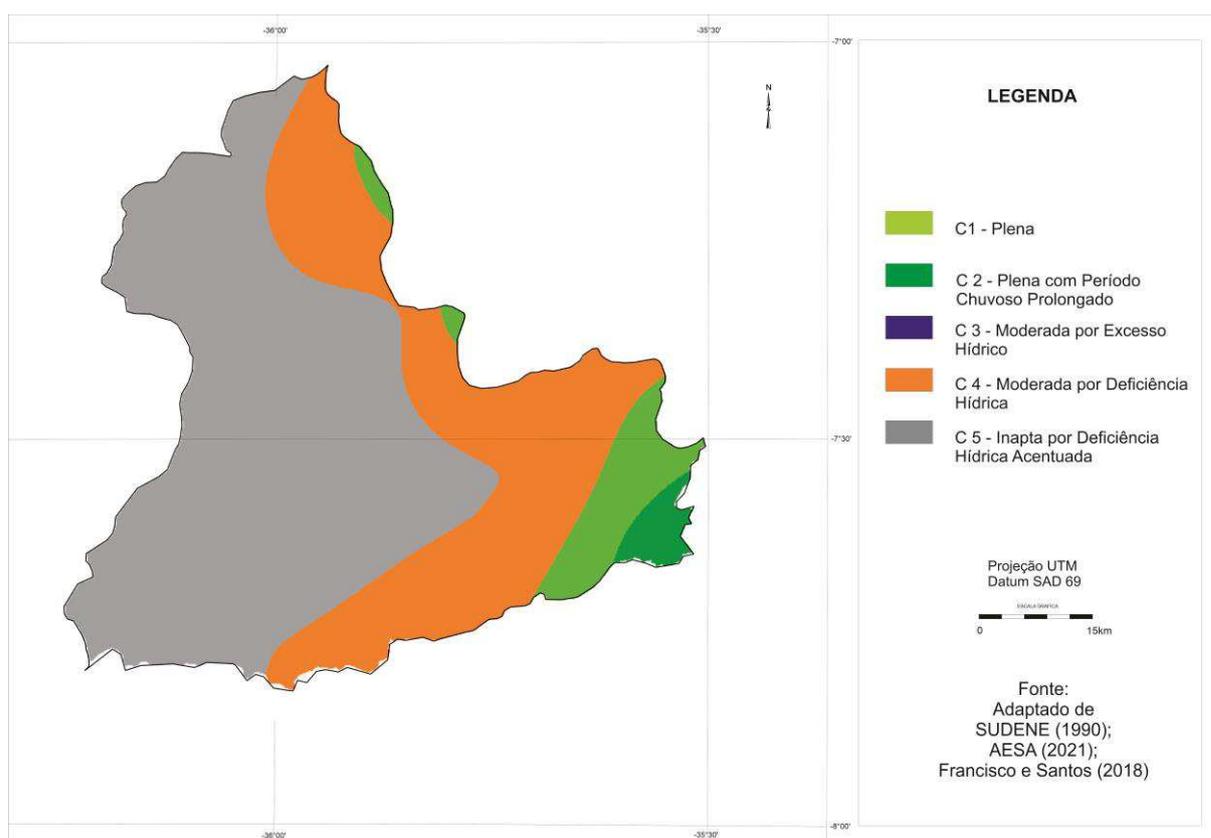


Figura 31. Condição climática para o sorgo.

Fonte: Adaptado de PARAÍBA (1978; 2006); AESA (2021); Francisco e Santos (2018).

Tabela 28. Classes de condição climática para o sorgo

Classes	Área	
	ha	%
C1	24.716	6,51
C2	7.122	1,88
C3	-	-
C4	122.274	32,23
C5	225.292	59,38
Total	379.406	100,00

Francisco et al. (2016) elaborando a aptidão climática para o sorgo observaram que as áreas Inapta por deficiência hídrica acentuada, classe C5 deste trabalho, ocorrem sobre o Planalto da Borborema, identificando assim resultado similar a este trabalho. Bezerra et al. (2014) afirmam que a mesorregião Agreste Paraibano, na qual as áreas deste estudo fazem parte, são as áreas que apresentam as condições climáticas mais favoráveis para o cultivo do sorgo no Estado da Paraíba.

A planta de sorgo se adapta a uma gama de ambientes, principalmente sob condições de deficiência hídrica, desfavoráveis à maioria dos outros cereais (Tardin et al., 2010). Tabosa et al. (2002), salientam que a cultura do sorgo é recomendada para o semiárido por se comportar como estratégica e alternativa, em face de suas características xerofílicas, o que provavelmente confere ao sorgo características de resistência ao estresse hídrico.

De acordo com Botelho e Moraes (1999) a produção agrícola é função de elementos probabilísticos no sentido de que ela depende entre outros fatores das variáveis climáticas, tais como quantidade total de chuva, distribuição pluviométrica, temperatura e umidade relativa do ar.

5.9.3. Potencial de produção agrícola irrigada das culturas

O uso adequado da terra é o primeiro passo no sentido da preservação do recurso natural solos e da agricultura sustentável. Para isso, devem-se empregar cada parcela de terra de acordo com a sua aptidão, capacidade de sustentação e produtividade econômica de tal forma que os recursos naturais sejam colocados à disposição do homem para o seu melhor uso e benefício, ao mesmo tempo em que são preservados para gerações futuras (Lepsch et al., 1991).

O potencial de produção agrícola irrigada apresenta a distribuição espacializada das terras com condições de solos indicados ao plantio de culturas e com condições climáticas com menores restrições quanto à irrigação dos mesmos.

Observa-se que 91,10% da área da bacia é constituída de propriedades rurais declaradas no último Censo Agropecuário em 2017 em que estão distribuídas por toda a bacia, dos quais 4,53% são áreas de assentamentos rurais (Figura 15). Do total da bacia (379.406 ha) somente 0,45% são declaradas como irrigadas, portanto, observa-se o baixo uso da irrigação e um potencial de acréscimo de áreas recomendadas para o uso da irrigação.

Áreas dos municípios de Campina Grande, Caturité e Queimadas estão localizadas na drenagem do Riacho Catolé, em solos de potencial médio para irrigação com condições de aumento de áreas para a produção agrícola irrigada.

Próximo a drenagem do Rio Paraíba, à jusante do açude Epitácio Pessoa (Boqueirão), percorrendo toda a extensão da bacia até o açude Acauã, mesmo em áreas não indicadas da classe muito baixa em condições inaptas, tanto de solos como de condição climática, constata-se propriedades rurais localizadas às margens, que provavelmente utilizam irrigação durante a vazão do açude e/ou em época de ocorrência de chuva na bacia.

5.9.3.1. Feijão comum

No mapa de potencial de produção agrícola irrigada da cultura do feijão (Figura 32), observa-se que o potencial Muito Alto e Alto, não estão representados no mapeamento (Tabela 29). Os ambientes de potencial Médio abrangem 28.974 ha, representando 7,64% da área total, com ocorrência da subclasse M8. Esta classe ocorre na região central da bacia nos municípios de Queimadas e Caturité, e pequenas áreas ao sul, divisa com Pernambuco, em Alcantil e Santa Cecília. Notadamente em ambientes por apresentarem solos de potencial pedológico Médio, e condição climática Plena e Moderada por deficiência.

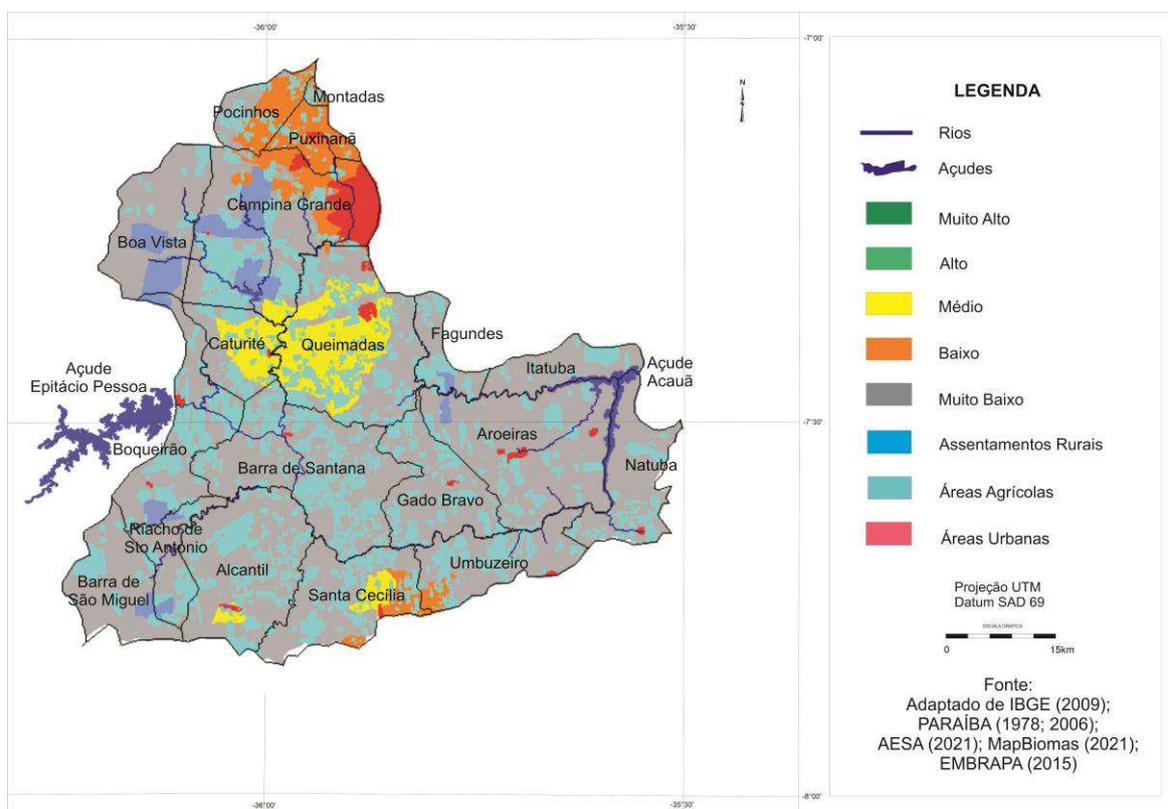


Figura 32. Potencial de produção agrícola para o feijão.

Fonte: Adaptado de PARAÍBA (1978; 2006); AESA (2021).

Tabela 29. Classes de potencial produção agrícola para o feijão

Classe	Subclasse	Área (ha)	%
Muito Alta	MA1/MA2	-	-
Alta	A1/A2	-	-
Média	M1/M2/M3/M4/M5/M6/M7	-	-
	M8	28.974	7,64
Baixa	B1	3.627	0,96
	B2/B3	-	-
	B4	25.258	6,66
	MB1	25.191	6,64
Muito Baixa	MB2	16.064	4,23
	MB3	-	-
	MB4	158.768	41,85
	MB5/MB6	-	-
	MB7	10.678	2,81
	MB8	6.970	1,84
	MB9	103.872	27,38
Total		379.406	100,00

As áreas de potencial Baixo contemplam os ambientes com fortes limitações de solo e/ou de clima, abrangem 28.885 ha, representando 7,61% da área total, com ocorrência das subclasses B1 e B4. Estão localizadas ao norte da bacia em Pocinhos, Puxinanã e Campina Grande, e ao sul em Umbuzeiro e região.

As áreas de potencial Muito Baixo contemplam os ambientes com fortes limitações de solo e/ou de clima, abrangem 321.546 ha, representando 84,75% da área total, com ocorrência das subclasses MB1, MB2, MB4, MB7, MB8 e MB9, predominando a subclasse MB4 (41,85%). Estas classes ocorrem em quase toda a bacia por apresentarem inaptidão dos solos ao plantio e irrigação da cultura.

Para a cultura do feijão, os resultados deste mapeamento do potencial de produção agrícola irrigado estão de acordo com os dados do IBGE (2017) (Figura 16), no mapeamento da produção, onde para o município de Queimadas, Campina Grande, Pocinhos e Puxinanã, a produção varia em 2.500 a 500 ha, respectivamente, indicando que as experiências dos agricultores estão em adequação com o recomendado por este trabalho, mesmo com as deficiências da pluviosidade, podendo assim, serem ampliadas para irrigação, desde que sigam as recomendações da época de plantio e da cultivar mais adequada, como também o manejo adequado da irrigação.

De acordo com Melo et al. (2005), em função do sistema radicular do feijão não explorar grande volume de solo, pode ser cultivado praticamente em todos os tipos de solos. Entretanto, outros solos com baixa fertilidade natural, como Latossolos e Argissolos distróficos e

Neossolos Quartzarênicos podem ser utilizados, mediante aplicações de corretivos de acidez e aplicação de fertilizantes, ambos dependentes de análise química do solo.

De acordo com PARAÍBA (1978) a cultura do feijão é cultivada se distribui uniformemente entre todas as regiões. Esta cultura é de fundamental importância na agricultura de sequeiro no interior do Estado com grande possibilidade de expansão.

Francisco et al. (2017), mapeando o potencial pedológico do feijão, observaram que, não foi possível identificar áreas menores, devido à escala de trabalho, havendo a possibilidade do cultivo da cultura do feijão comum em pequenas áreas que não identificadas.

5.9.3.2. Mandioca

No mapa de potencial de produção agrícola irrigada da cultura da mandioca (Figura 33), observa-se que as classes Muito Alta e Alta não estão representadas no mapeamento.

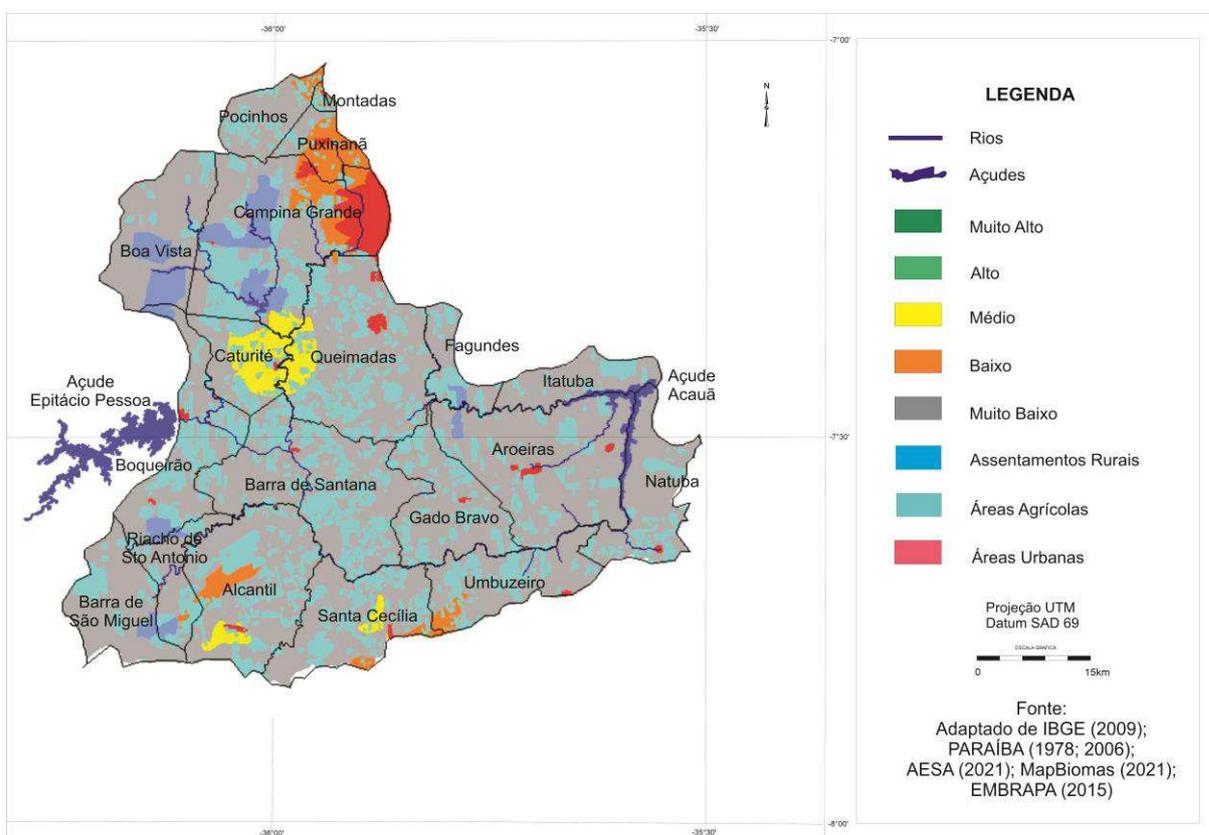


Figura 33. Potencial de produção agrícola para a mandioca.

Fonte: Adaptado de PARAÍBA (1978; 2006); AESA (2021).

Os ambientes da classe Média abrangem 12.100 ha, representando 3,19% da área total, com ocorrência das subclasses M1, M2 e M8 (Tabela 30). Esta classe ocorre na região norte da

bacia nos municípios de Caturité e Queimadas, e pequenas áreas ao sul em Alcantil e Santa Cecília. Notadamente em ambientes por apresentarem solos de potencial pedológico Médio, e condição climática Plena, Plena com período chuvoso prolongado e por Moderada por deficiência.

Tabela 30. Classes de potencial de produção agrícola para a mandioca

Classe	Subclasse	Área (ha)	%
Muito Alta	MA1/ MA2	-	-
Alta	A1/ A2	-	-
Média	M1	459	0,12
	M2	851	0,22
	M3/M4/M5/M6/M7	-	-
	M8	10.789	2,84
Baixa	B1	6.917	1,82
	B2/B3	-	-
	B4	12.399	3,27
Muito Baixa	MB1	43.568	11,48
	MB2	11.966	3,15
	MB3	-	-
	MB4	56.305	14,84
	MB5/ MB6	-	-
	MB7	27.554	7,26
	MB8	16.639	4,39
	MB9	191.955	50,59
Total		379.406	100,00

As áreas da classe Baixa contemplam os ambientes com fortes limitações de solo e/ou de clima, abrangem 19.317 ha, representando 5,09% da área total, com ocorrência das subclasses B1 e B4. Estão localizadas ao norte da bacia em Puxinanã e Campina Grande, e ao sul em Umbuzeiro e região com pequenas áreas.

As áreas de potencial Muito Baixo contemplam os ambientes com fortes limitações de solo e/ou de clima, abrangem 347.988 ha, representando 91,72% da área total, com ocorrência das subclasses MB1, MB2, MB4, MB7, MB8 e MB9, predominando a subclasse MB9 (50,59%). Estas classes ocorrem em quase toda a bacia por apresentarem inaptidão dos solos ao plantio e irrigação da cultura.

Para a cultura da mandioca, os resultados deste mapeamento do potencial de produção agrícola irrigado estão de acordo com os dados do IBGE (2017) (Figura 17), no mapeamento da produção, onde para o município de Puxinanã, a produção varia em 100 a 150 ha, em solos da classe média de potencial para produção agrícola irrigada. O município de Queimadas, localizado em solos de potencial médio com produção em 1 a 50 ha, todos localizados ao leste

da bacia, área de maior influencia da pluviosidade na produção, e os demais municípios sob solos da classe muito baixa, mas com produção da cultura.

Observa-se que a baixa produção da cultura nestas áreas está de acordo com os resultados obtidos por este estudo, isto devido às condições climáticas exigidas pela cultura. Caso seja utilizada a irrigação complementar para a produção da mandioca nestas áreas recomenda-se seguir a época de plantio e da cultivar mais adequada, como também o manejo adequado da irrigação.

Para Cavalcanti (2001), os solos devem ser férteis, bem drenados, ter boa disponibilidade de água e ausência de salinidade. Caso não seja possível a irrigação deve-se dispor de áreas com maior umidade, como áreas a montante e a jusante de açudes.

Francisco e Santos (2018) realizando o mapeamento do potencial pedoclimático do Estado da Paraíba para a cultura da mandioca observaram que, as áreas de potencial muito baixo contemplam os ambientes com fortes limitações de solo e/ou de clima, e estas ocorrem em razão da ocorrência de solos com aptidão baixa e por apresentarem aptidão climática inapta com risco de déficit hídrico acentuado. Francisco et al. (2011), afirmam que esta inaptidão, se relaciona principalmente, com as condições climáticas e/ou condições edáficas exigidas pela cultura, em função das características dos solos e seus atributos, de seus graus de limitações e/ou do clima.

Quanto aos solos, Francisco et al. (2016) mapeando o potencial pedológico da mandioca observaram que, as áreas com potencial baixo ocorrem em áreas de Neossolos Litólicos Eutróficos e Argissolo Amarelo Distrófico arênico fragipânico e os Luvisso Crômico Órtico típico no Cariri/Curimataú. Resultado similar a este estudo.

De acordo com Khan e Sousa (1991), o cultivo da mandioca pelos pequenos agricultores do Nordeste justifica-se pelos fatores de requer poucos recursos; favorecer a utilização de consórcios; e demanda de mão-de-obra. Por outro lado, além de satisfazer grande parte das necessidades calóricas dos produtores, gera empregos após a colheita, quando do beneficiamento no próprio meio rural.

De acordo com Fischer et al. (2002), os cultivos agrícolas de sequeiro dos pequenos agricultores familiares em áreas rurais dependem diretamente dos recursos naturais. Lavouras como feijão, mandioca e milho que são cultivadas por agricultores familiares segundo esse regime nos Estados que têm forte inserção de áreas no semiárido são fortemente dependentes da distribuição espacial e temporal das chuvas (Pereira, 2018).

Em diversos países africanos a mandioca é considerada uma cultura de segurança alimentar pela sua ampla adaptação a solos marginais e condições irregulares chuvas, condições estas que são limitantes para a maioria das culturas agrícolas convencionais (Adjebeng-Danquah; Safo-Kantanka, 2013).

Lemos e Santiago (2020) avaliando a instabilidade temporal na produção agrícola familiar de sequeiro no Semiárido dos Estados do Ceará e Rio Grande do Norte em lavouras de feijão, mandioca e milho ocupam concluíram que quase toda a área colhida com lavouras temporárias é cultivada em regime de sequeiro e em consórcio, sem utilização de técnicas de irrigação, observaram que as instabilidades temporais aferidas podem ser indicativos indiretos das instabilidades climáticas que aconteceram.

Nas condições de sequeiro do semiárido nordestino, a baixa qualidade e pequena quantidade de material de plantio disponível têm contribuído significativamente para a redução da área cultivada (Cavalcanti, 2001).

5.9.3.3. Milho

Na Figura 34, no mapa de potencial de produção agrícola irrigada da cultura do milho, observa-se que somente a classe Muito Baixa está representada no mapeamento.

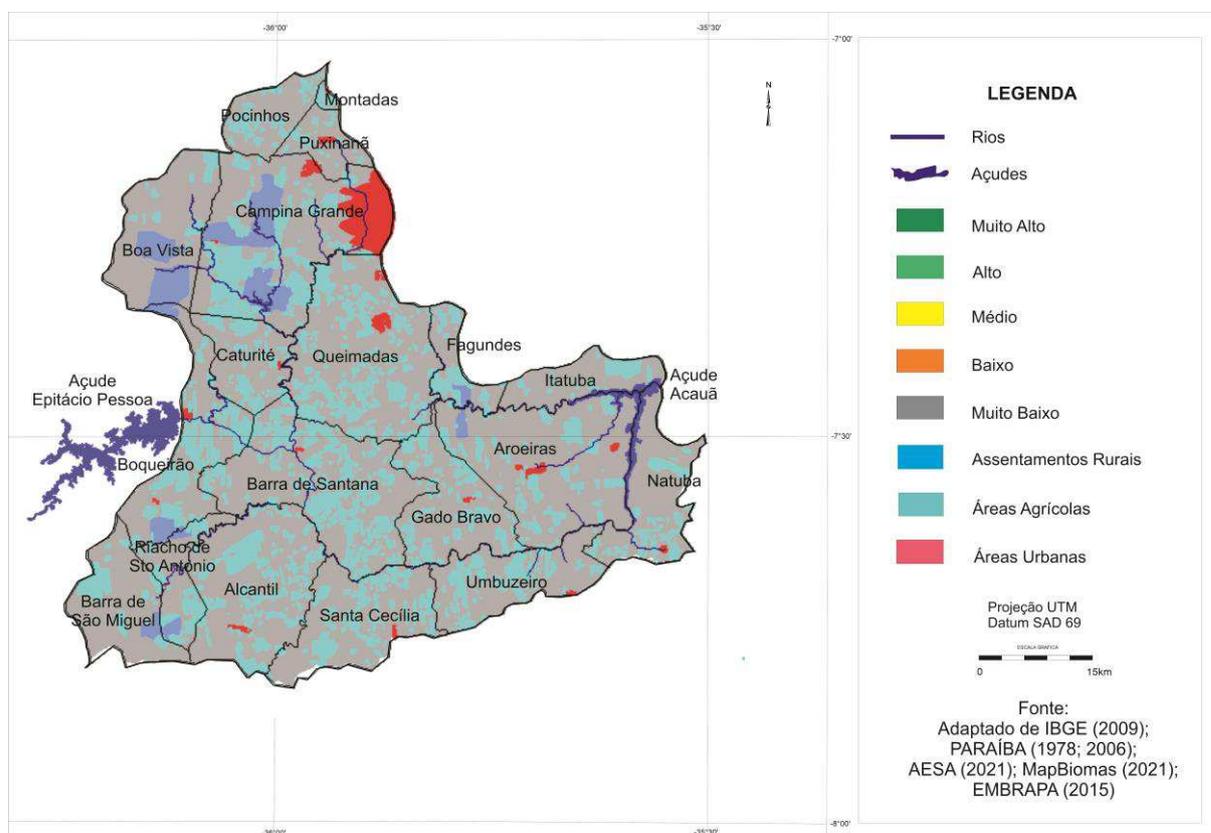


Figura 34. Potencial de produção agrícola para o milho.
Fonte: Adaptado de PARAÍBA (1978; 2006); AESA (2021).

Estes ambientes desta classe abrangem o total da bacia em 379.406 ha, com ocorrência das subclasses MB1, MB4, MB7, MB8 e MB9 (Tabela 31). Notadamente em ambientes por apresentarem solos de potencial Médio, e condição climática Plena, Plena com período chuvoso prolongado e por Moderada por deficiência.

Tabela 31. Classes de potencial de produção agrícola para o milho

Classe	Subclasse	Área (ha)	%
Muito Alta	MA1/ MA2	-	-
Alta	A1/ A2	-	-
Média	M1/M2/M3/M4/M5/M6/M7/M8	-	-
Baixa	B1/B2/B3/B4	-	-
Muito Baixa	MB1	7.062	1,86
	MB2/MB3	-	-
	MB4	3.209	0,85
	MB5/MB6	-	-
	MB7	39.654	10,45
	MB8	35.855	9,45
	MB9	293.624	77,39
Total		379.406	100,00

Para a cultura do milho, os resultados deste mapeamento do potencial de produção agrícola irrigado diferem com os dados do IBGE (2017) de produção. No mapeamento da produção da cultura observa-se que os maiores valores estão localizados ao leste da bacia, com maior produção em Queimadas seguida por Aroeiras e Campina Grande. Todos localizados em solos de potencial muito baixo para a cultura.

Mesmo não apresentando áreas aptas mapeadas por este trabalho, mesmo com as deficiências da pluviosidade, indica que a experiência dos agricultores quanto à produção de subsistência, mesmo com riscos de perdas, está de acordo com a aptidão agrícola de risco climático elaborado por este trabalho, podendo assim, serem ampliadas para irrigação, desde que sigam as recomendações da época de plantio e da cultivar mais adequada, como também o manejo adequado da irrigação.

PARAIBA (1978) observou que, a exploração da cultura do milho tem uma grande difusão e encontra-se distribuída em todo o interior do Estado principalmente em áreas de subsistência e cultivadas em consórcio.

Francisco et al. (2016), mapeando o potencial pedoclimático para o milho concluíram que os ambientes de potencial Baixo e Muito Baixo ocorrem em maior magnitude na região

semiárida e tendem aumentar sua abrangência à medida que se acentua o grau de deficiência hídrica. Resultado similar a este estudo na área da bacia.

A cultura está entre as de maior consumo de água. A deficiência hídrica na planta é quase diária, em função da alta demanda evaporativa da atmosfera, notadamente nas regiões tropicais, onde as taxas de transpiração são elevadas. Nos dias mais quentes, a planta perde mais água do que consegue absorver, mesmo em condições de disponibilidade de água no solo. A escassez hídrica na planta afeta todos os processos relacionados com seu desenvolvimento (Taiz & Zaiger, 2004).

Quando o déficit hídrico ocorre durante o período crítico da cultura, a produtividade de grãos é afetada, reduzindo, principalmente, o número de grãos por espiga (Matzenauer, 1994; Bergonci et al., 2001). Nessas condições, o uso da irrigação torna-se fundamental, pois é no período crítico que ocorrem os maiores efeitos do déficit hídrico e também a maior eficiência do uso da irrigação, tanto na produção de matéria seca quanto na produtividade de grãos (Bergamaschi et al., 2004).

A variabilidade pluviométrica entre as regiões é fator que afeta a produtividade do milho. A cultura é altamente exigente em termos de disponibilidade de água (Gong et al., 2015), que é um dos aspectos chave para a sua produção (Artuzo et al., 2019). Quantidade e distribuição de chuva são geralmente os principais fatores de produtividade que influenciam na variabilidade sob condições de sequeiro (Bergamaschi et al., 2004; Araus et al., 2012). Estudos ecofisiológicos demonstraram como a seca afeta o rendimento de diferentes formas, dependendo do estágio da cultura. Durante o estabelecimento, a seca pode reduzir a germinação das plantas; enquanto o estresse hídrico, durante a expansão da área foliar, reduz a sua área e a interceptação da radiação solar (Yan et al., 2016).

5.9.3.4. Palma forrageira

Na Figura 35, no mapa de potencial de produção agrícola irrigada da palma forrageira, observa-se que a classe Média abrange 31.156 ha (10,54%) com ocorrência das subclasses M1 e M2. Notadamente em ambientes por apresentarem solos de potencial Médio, e condição climática Plena, Plena com período chuvoso prolongado e por Moderada por deficiência.

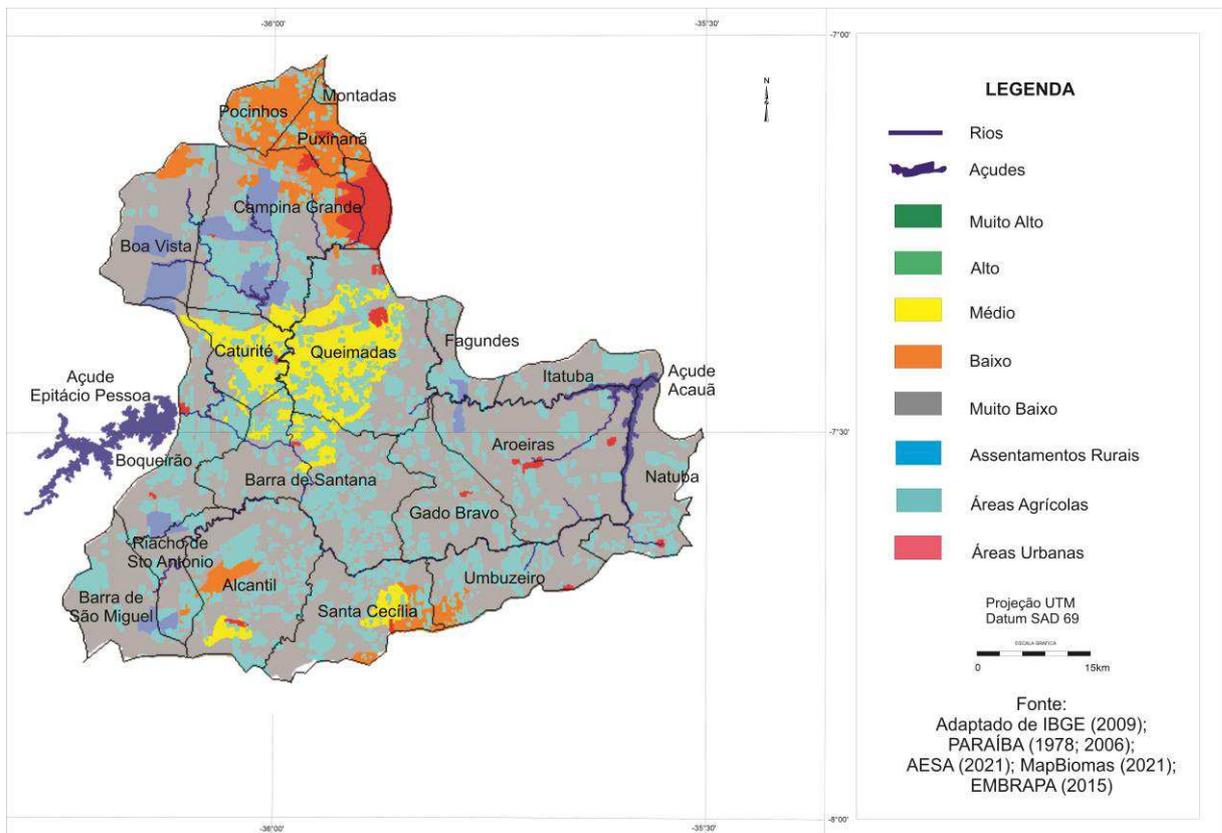


Figura 35. Potencial de produção agrícola para a palma forrageira.

Fonte: Adaptado de PARAÍBA (1978; 2006); AESA (2021).

As áreas da classe Baixa contemplam os ambientes com fortes limitações de solo e/ou de clima, abrangem 35.853 ha, representando 9,45% da área total, com ocorrência das subclasses B1, B2 e B4. Estão localizadas ao norte da bacia em Pocinhos, Puxinanã e Campina Grande, e ao sul em Alcantil, Santa Cecília Umbuzeiro.

As áreas de potencial Muito Baixo contemplam os ambientes com fortes limitações de solo e/ou de clima, abrangem 303.899 ha, representando 80,10% da área total, com ocorrência das subclasses MB1, MB2, MB3 e MB4, predominando a subclasse MB1 (52,90%). Esta classe ocorre em quase toda a bacia por apresentarem inaptidão dos solos ao plantio e irrigação da cultura.

Para a cultura da palma forrageira, os resultados deste mapeamento do potencial de produção agrícola irrigado estão de acordo com os dados do IBGE (2017) (Figura 20) de produção. No mapeamento da produção da cultura observa-se que os menores valores estão localizados ao oeste da bacia, seguindo as linhas de pluviosidade necessária a produção localizados em solos de potencial muito baixo para a cultura.

Tabela 32. Classes de potencial de produção agrícola para a palma forrageira

Classe	Subclasse	Área (ha)	%
Muito Alta	MA1/MA2	-	-
	Alta	A1/A2	-
Média	M1	30.785	8,11
	M2	371	0,10
	M3/ M4/M5/M6	-	-
	M7	886	0,23
	M8	7.610	2,10
Baixa	B1	28.618	7,54
	B2	3.675	0,97
	B3	-	-
	B4	3.559	0,94
Muito Baixa	MB1	200.718	52,90
	MB2	31.311	8,25
	MB3	13.504	3,56
	MB4	58.366	15,38
	MB5/MB6/MB7/MB8/MB9	-	-
Total		379.406	100,00

Estes resultados indicam a experiência dos agricultores quanto à produção estão de acordo com a aptidão agrícola de risco climático recomendado pelo MAPA (2019). Observa-se que algumas áreas estão localizadas próximo ao açude Eptácio Pessoa e nas margens a jusante, podendo caso necessário o uso da irrigação, desde que sigam as recomendações da época de plantio e da cultivar mais adequada, como também o manejo adequado para a irrigação.

Bezerra et al. (2014), realizando o zoneamento de aptidão climática da cultura da palma forrageira (*Opuntia* sp.) para o Estado da Paraíba, constataram que a mesorregião da Borborema, região onde consta a bacia hidrográfica estudada neste trabalho, é a que propicia as melhores condições climáticas para o cultivo desta cactácea. Além do padrão de precipitação predominante estar dentro da faixa de aptidão plena para o cultivo da palma forrageira, outros fatores climáticos também convergem para esta condição, tais como a temperatura.

Embora possua uma reconhecida gama de potencialidades, a palma forrageira tem sido cultivada no Semiárido Brasileiro quase exclusivamente para a produção de forragem (Santos et al., 2001; Araújo et al., 2005) e de acordo com Bezerra et al. (2014) se tornou, ao longo das décadas, uma das principais alternativas para alimentação dos rebanhos, sobretudo em longos períodos de estiagem, quando as pastagens nativas e outras forrageiras, tais como as gramíneas e leguminosas de elevada exigência hídrica, estão sob fortes condições de estresse hídrico.

5.9.3.5. Sorgo

No mapa de potencial de produção agrícola irrigada da cultura do sorgo (Figura 36), observa-se que o potencial Muito Alto e Alto, não estão representados neste mapeamento.

Os ambientes de potencial Médio abrangem 2.503 ha, representando 0,66% da área total, com ocorrência da subclasse M8 (Tabela 33).

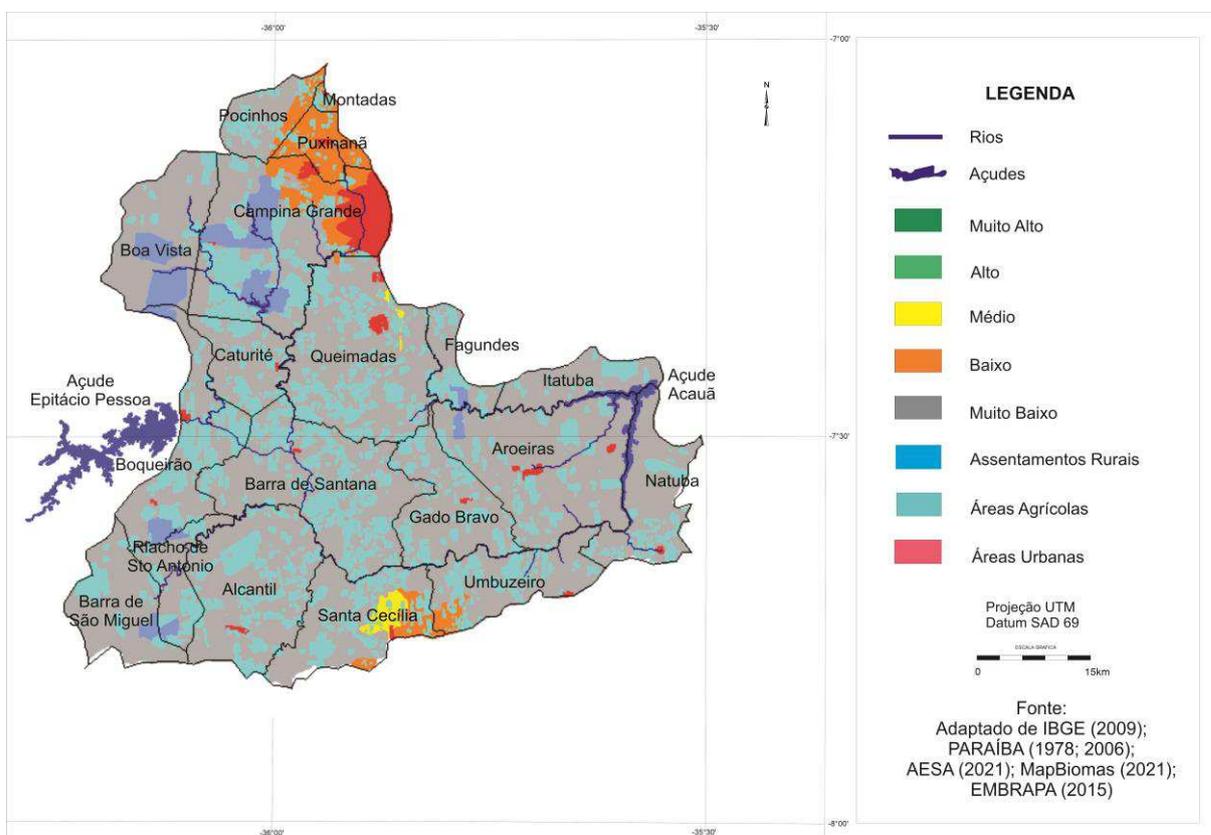


Figura 36. Potencial de produção agrícola para o sorgo.

Fonte: Adaptado de PARAÍBA (1978; 2006); AESA (2021).

Esta classe ocorre no município de Santa Cecília. Notadamente em ambientes por apresentarem solos de potencial pedológico Médio, e condição climática Plena e Moderada por deficiência.

As áreas de potencial Baixo contemplam os ambientes com fortes limitações de solo e/ou de clima, abrangem 24.058 ha, representando 6,34% da área total, com ocorrência das subclasses B1 e B4. Estão localizadas ao norte da bacia em Pocinhos, Puxinanã e Campina Grande, e ao sul em Santa Cecília.

As áreas de potencial Muito Baixo contemplam os ambientes com fortes limitações de solo e/ou de clima, abrangem 352844 ha, representando 93% da área total, com ocorrência das

subclasses MB1, MB2, MB4, MB7, MB8 e MB9, predominando a subclasse MB9 (46,55%). Estas classes ocorrem em quase toda a bacia por apresentarem inaptidão dos solos ao plantio e irrigação da cultura.

Por este trabalho, observa-se que o município de Queimadas, o maior produtor de sorgo na bacia, está sob solos de condições climáticas muito baixa e em solos inaptos para sua produção, mas sendo cultivados pelos agricultores entre 100 a 150 ha. Demais municípios apresentam produção abaixo de 50 ha, assim estando de acordo com a indicação deste mapeamento e os resultados obtidos da aptidão agrícola de risco climático.

Tabela 33. Classes de potencial de produção agrícola para o sorgo

Classe	Subclasse	Área (ha)	%
Muito Alta	MA1/MA2	-	-
Alta	A1/A2	-	-
Média	M1/M2/M3/M4/M5/M6/M7	-	-
	M8	2.503	0,66
Baixa	B1	1.418	0,37
	B2/B3	-	-
	B4	22.639	5,97
Muito Baixa	MB1	23.245	6,13
	MB2	7.062	1,86
	MB3	-	-
	MB4	96.987	25,56
	MB5/MB6	-	-
	MB7	37.151	9,79
	MB8	11.800	3,11
	MB9	176.598	46,55
Total		379.406	100,00

Francisco et al. (2016; 2017) elaborando o potencial pedológico e pedoclimático, respectivamente, para o cultivo do sorgo observaram que as áreas com potencial muito baixo se enquadram principalmente os Neossolos Litólicos Eutrófico típico e Luvisolo Crômico Órtico típico. Resultado similar a este estudo na bacia que contempla estes solos.

De acordo com EMBRAPA (2012), os fatores restritivos relacionados a este fato estão associados as limitações de ordem pedológica, principalmente pela presença de pedregosidade, pequena profundidade efetiva, textura arenosa ou pela presença de relevo acidentado.

PARAÍBA (1978) observou que, a cultura do sorgo é pouco difundida na agricultura paraibana, e que existem zonas aptas com potencial e a introdução e maior difusão parece

recomendável, podendo ser interessante nas áreas do interior do Estado, representando uma alternativa viável da cultura do milho, onde as condições de aridez se mostram mais severas.

De acordo com Landau e Martins Netto (2015), apesar do aumento considerável de área plantada com sorgo granífero nas últimas décadas, dada a tolerância da cultura ao estresse hídrico, é provável que ainda existam regiões com potencial de expansão de sorgo granífero. Estes autores ainda recomendam que para estimular o desenvolvimento sustentável do plantio de sorgo nas áreas identificadas, assim como nas áreas plantadas atualmente, precisará levar em conta diversos aspectos relacionados com o plantio da cultura, no intuito de maximizar vantagens e minimizar prejuízos futuros, considerando estratégias para minimizar o uso indiscriminado de agrotóxicos, controlar a erosão do solo, estimular a rotação de culturas, além de promover a adoção de práticas tecnicamente apropriadas, ambientalmente corretas, economicamente viáveis e socialmente aceitáveis, e que contribuam para a manutenção da sustentabilidade.

6. CONCLUSÃO

A distribuição temporal da precipitação média anual apresentou variabilidade espacial em que as chuvas se concentraram no sentido oeste/leste em todo decorrer do ano, devido à orografia da área.

Os fatores de restrição ao uso das terras com maior ocorrência foram a textura, profundidade efetiva e a pedregosidade na classe forte, seguida pela erodibilidade, declividade e a fertilidade na classe moderada.

Terras aráveis com aptidão restrita para irrigação da classe 3 estão distribuídas em 11,77% da área com requerimentos mínimos para irrigação. Da classe 4 de Terras aráveis de uso especial observou-se 8,52% que podem ter uma excessiva deficiência que limitam sua utilidade para determinadas culturas ou métodos específicos de irrigação. Das Terras não aráveis da classe 6 apresentaram área de 79,71% inadequadas para irrigação convencional.

Foram identificadas áreas irrigadas e fertirrigadas atual nos municípios de Boqueirão, Queimadas, Itatuba e Barra de São Miguel, e áreas de expansão adicional irrigável nos municípios de Boqueirão e Aroeiras, localizados próximos a drenagem do rio Paraíba devido a localização próxima do Açude Epitácio Pessoa e Acauã.

Constatou-se que não houve crescimento de área irrigada na bacia entre os anos de 1980 e 2017.

As áreas irrigadas se concentram no rio Bodocongó e seus contribuintes até o município de Barra de Santana no encontro com o rio Paraíba proveniente de Boqueirão, e após diminuindo as áreas irrigadas, se concentrando novamente em Natuba próximo ao açude Acauã.

As áreas agrícolas identificadas e mapeadas apresentaram área total de 81.301,68 ha (21,42%) dos 345.622 ha referentes aos estabelecimentos produtivos, o plantio de lavouras temporárias foi de 42.370 ha (12,25%), e somente 1.702 ha irrigados.

As áreas produtivas identificadas da abóbora foram 1,18% da área; feijão-fava (2,20%); feijão comum (24,30%); mandioca (0,53%); milho (17,96%); milho forrageiro (1,30%); palma forrageira (11,19%); sorgo (0,39%); sorgo forrageiro (5,57%) da área total da bacia.

Áreas recomendadas quanto a capacidade de armazenamento de água nos solos identificou-se de terras do tipo 1 (16,88%) da área total; do tipo 2 (18,75%); tipo 3 (16,94%); e Proibidas (47,43%).

As culturas do feijão do sorgo foram indicadas no Zoneamento Agrícola de Risco Climático para o solo do tipo 1, tipo 2 e tipo 3 para os 3 grupos, para todos os municípios; mandioca recomendada somente para os municípios Itatuba e Umbuzeiro; o milho com exceção para o município de Umbuzeiro para o solo tipo 1; e palma forrageira indicado somente para os

municípios de Itatuba e Umbuzeiro. Esta indicação de áreas aptas sendo utilizada pelos produtores rurais na área, pode promover uma produção mais sustentável juntamente com a conservação das terras, evitando sua degradação. A indicação ainda pode promover maiores vantagens econômicas devido maior produção das culturas na área.

As áreas recomendadas para irrigação apresentaram na classe Média (11,66%); classe baixa (8,44%); a classe muito baixa (79,90%) em ambientes formados por solos com restrições muito fortes ao uso da agricultura irrigada.

Não foram identificadas terras com aptidão muito alta e alta para a irrigação devido a sua ocorrência descontínua e restrita a áreas relativamente pequena, face à escala cartográfica utilizada neste trabalho.

Para cultura do feijão foi identificada condição climática Plena (C1) em 7,61% do total da bacia; 4,38% na condição climática plena com período chuvoso prolongado (C2); a condição climática Moderada por deficiência hídrica (C4) em 56,43%; a condição inapta por deficiência hídrica acentuada (C5) em 31,58%; mandioca em 13,67% (C1), 3,55% (C2), (C4) em 21,03%, (C5) em 61,75% da bacia; cultura do milho em 2,02% (C1), (C2) e (C4) em 0,86%, e (C5) em 97,12%; palma forrageira em 68,34% (C1), (C2) em 9,40%, (C3) em 3,92%, (C4) em 18,34%; sorgo em 6,51% (C1), (C2) em 1,88%, (C4) em 32,23%, e (C5) em 59,38%.

O potencial de produção agrícola irrigada para a cultura do feijão apresentou potencial Médio (M) em 7,64% da área, Baixo (B) em 7,61%, Muito Baixo (MB) em 84,75%; para a mandioca as classes (M) em 3,19%, (B) em 5,09%, (MB) 91,72% da área total; o milho (MB) em 100%; a palma forrageira (M) em 10,54%, (B) em 9,45%; (MB) em 80,01%; para o sorgo (M) em 0,66%, (B) em 6,34%, (MB) em 93,00%.

As maiores limitações observadas foram devidas as condições de exigências hídricas das culturas e de alguma forma aos solos predominantes na área.

A irrigação poderá ser realizada na área de estudo, desde que se a utilize proveniente de reservatórios naturais ou artificiais, devido a falta de segurança hídrica na região.

As técnicas de geoprocessamento e geoestatística proporcionaram resultados satisfatórios na espacialização das áreas.

7. RECOMENDAÇÕES

Dada a importância dos recursos das terras irrigáveis identificadas, e considerando o valor inestimável que apresenta para a economia regional, correspondendo em geral às melhores terras agrícolas, impõem-se a necessidade de um uso e manejo adequado das mesmas, no sentido de se evitar o deterioramento.

Por se tratar de uma atividade relativamente complexa, a irrigação deve ser disseminada através de uma ação coordenada e sistemática, levando em conta as áreas sugeridas nesta pesquisa.

No caso do melhoramento da deficiência de água para a irrigação, alguns fatores limitantes não são viáveis de melhoramento, uma vez que basicamente as limitações expressam as diferenças de umidade predominante nas diversas situações climáticas onde são recomendadas algumas práticas de manejo que favoreçam a umidade disponível das terras, tais como ajustamento do período do plantio e cultivo das culturas à época de chuvas; seleção de culturas e cultivares mais adaptadas à falta d'água; uso de práticas que assegurem a máxima retenção de água no solo como incorporação de restos vegetais e cobertura do solo assegurando a máxima infiltração e mínima evaporação.

Haja vista da evolução de sistemas de informação geográfica, recomenda-se futuramente a utilização de novos programas, técnicas e linguagens para a avaliação do potencial.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDI, O. A.; GLOVER, E. K.; LUUKKANEN, O. Causes and Impacts of Land Degradation and Desertification: Case Study of the Sudan. *International Journal of Agriculture and Forestry*, v.3, n.2, p.40-51, 2013.
- ADJEBENG-DANQUAH, J.; SAFO-KANTANKA, O. Genetic variation in foliage and protein yield of some elite cassava (*Manihot esculenta* crantz) genotypes in Ghana. *Journal of Plant Breeding and Genetics*, v.1, p.46-55, 2013.
- AESA. Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. Disponível em: <http://www.aesa.pb.gov.br>. Acesso em: 22 de novembro de 2021.
- AESA. Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. Relatório anual sobre a situação dos recursos hídricos no Estado da Paraíba: ano hidrológico 2008-2009. 2009. Disponível em: <http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/documentos/relatorios/relatorio-hidrologico/>. Acesso em: 22 de novembro de 2021.
- AESA. Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. Disponível em: <http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/wp-content/uploads/2016/11/relatorioHidrologico_Anuual_2008_2009.pdf>. Acesso em: 22/08/2021.
- AESA. Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. João Pessoa, 2021. Disponível em: <http://geo.aesa.pb.gov.br>. Acesso em: 9 de abril 2021.
- AGUIAR NETTO, A. O.; GARCIA, C. A. B.; HORA ALVES, J. DO. P.; FERREIRA, R. A.; SILVA, M. G. DA. Physical and chemical characteristics of water from the hydrographic basin of the Poxim River, Sergipe State, Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment*, v.185, p.4417–4426, 2013.
- ALBUQUERQUE, A. M. DE; RIBEIRO, J. R. C.; SALES, M. C. L. A aplicação do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) para análise da degradação ambiental da área de influência direta do açude Castanhão. *Revista da Casa da Geografia de Sobral*, v.21, n.2, p.674-685, 2019.
- ALBUQUERQUE, S. G. DE. Cultivo da palma forrageira no sertão do São Francisco. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2000. 6p. (Comunicado Técnico, 91).
- ALDRICH, S. R.; SCOTT, W. O.; LENG, E. R. Modern corn production. 2 ed. Champaign: A&L Publication, 1982. 371p.
- ALVES, A. A. C. Fisiologia da mandioca. In: Aspectos socioeconômicos e agrônômicos da mandioca. cap.7. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical. p.138-169. 2006.

ALVES, H. M. R.; RESENDE, R. J. T. P. DE. Utilização do SPRING para avaliação do uso da terra em agroecossistemas cafeeiros da região de São Sebastião do Paraíso-MG. In: Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, 1, 2000, Vitória. Anais...Vitória, 2000.

AMARAL, F. C. S. DO. Sistema brasileiro de classificação de terras para irrigação: enfoque na Região Semi-Árida. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2005. 218p. Convênio Embrapa Solos/CODEVASF.

ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada. 2. ed. Brasília: ANA, 2021. 130p.

ANA. Agência Nacional de Águas. Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada. Brasília: 2017. 86p.

ANDRADE JÚNIOR, A. S.; SILVA, F. A. M.; LIMA, M. G.; AMARAL, J. A. B. Zoneamento de aptidão climática para o algodoeiro herbáceo no Estado do Piauí. Revista Ciência Agronômica, v.40, n.2, p.175-184, 2009.

ARAI, F. K.; PEREIRA, S. B.; GONÇALVES, G. G. G. Characterization of water availability in a hydrographic basin. Engenharia Agrícola, v.32, n.3, p.591-601, 2012.

ARAÚJO, A. O.; MENDONÇA, L. A. R.; LIMA, M. G. S. L.; FEITOSA, J. V.; SILVA, F. J. A.; NESS, R. L. L.; FRISCHKORN, H.; SIMPLÍCIO, A. A. F.; KERNTOPF, M. R. Modificações nas propriedades dos solos de uma área de manejo florestal na Chapada do Araripe. Revista Brasileira de Ciência Solo, v.37, p.754-762, 2013.

ARAÚJO, L. E. DE. Climatologia e vulnerabilidade socioeconômica e ambiental da bacia hidrográfica do rio Paraíba – estudo de caso do açude Epitácio Pessoa (Boqueirão). 119f. Tese (Recursos Naturais). Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2010.

ARAÚJO, L. E. DE; SILVA, D. F. DA; MORAES NETO, J. M. DE; SOUSA, F. DE A. S. DE. Análise da variabilidade espaço-temporal da precipitação na bacia do rio Paraíba usando IAC. Revista de Geografia, v.24, n.1, p.47-59, 2007.

ARAÚJO, L. F.; MEDEIROS, A. N.; PERAZZO NETO, A.; OLIVEIRA, L. S. C.; SILVA, F. L. H. DA. Protein enrichment of cactus pear (*Opuntia ficus - indica* Mill) using *Saccharomyces cerevisiae* in solid-state fermentation. Brazilian Archives of Biology and Technology, v.48, p.161-168, 2005.

ARAUS, J. L.; SERRET, M. D.; EDMEADES, G. Phenotyping maize for adaptation to drought. Frontiers in Physiology, v.3, n.305, 2012.

ARTUZO, F. D.; FOGUESATTO, C. R.; MACHADO, J. A. D.; OLIVEIRA, L. DE; SOUZA, A. R. L. de. O potencial produtivo brasileiro: uma análise histórica da produção de milho. Revista em Agronegócio e Meio Ambiente, v.12, n.2, p.515-540, 2019.

ASSAD, E. D. Metodologias para zoneamento de riscos climáticos no Brasil. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 11, Reunião Latino-Americana de Agrometeorologia, 2, 1999, Florianópolis. Anais...Florianópolis: SBA, 1999.

BALKRISHNA, A.; SHARMA, G.; SHARMA, N. KUMAR, P.; MITTAL, R.; PARVEEN, R. Global Perspective of Agriculture Systems: From Ancient Times to the Modern Era. In: BALKRISHNA, A. (ed) Sustainable Agriculture for Food Security. 1.a ed. Apple Academic Press, 2021. 43p.

BARBOSA, C. C. F.; CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S.; CREPANI, E.; NOVO, E. M. L. M.; CORDEIRO, J. P. C. Operadores zonais em álgebra de mapas e sua aplicação a zoneamento ecológico-econômico. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 1998, Salvador. Anais...Salvador: INPE, 1998.

BARROS, A. H. C.; VAREJÃO-SILVA, M. A.; TABOSA, J. N. Aptidão climática do Estado de Alagoas para culturas agrícolas. Relatório Técnico. Convênios SEAGRI-AL/Embrapa Solos n.10200.04/0126-6 e 10200.09/0134-5. Recife: Embrapa Solos, 2012. 86p.

BARROS, M. L. DA S. Análise espacial aplicada ao estudo da precipitação pluviométrica em Pernambuco. 26f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). Centro de Ciências Exatas e da Natureza. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2022.

BARROW, C. J. River basin development planning and management: critical review. World Development, v.26, n.1, p.171-186. 1998.

BASSOI, L. H.; GONDIM, R. S.; RESENDE, R. S.; ANDRADE JUNIOR, A. S. DE. A agricultura irrigada no nordeste do Brasil: estado da arte, desafios e oportunidades. (Org.) RODRIGUES, L. N.; DOMINGUES, A. F. O estado da arte da agricultura irrigada no Brasil: desafios e oportunidades. ANA: Brasília, 2017. 328p.

BATISTA, M. J.; NOVAIS, F.; SANTOS, D. G.; SUGUINO, H. H. Drenagem como instrumento de dessalinização e prevenção da salinização de solos. 2. ed. ampl. Brasília: CODEVASF. 2002. 216p. (Série Informes Técnicos).

BENEDETTI, M. M.; SPAROVEK, G.; COOPER, M.; CURI, N.; CARVALHO FILHO, A. DE. Representatividade e potencial de utilização de um banco de dados de solos do Brasil. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.32, p.2591-2600, 2008.

BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; BERGONCI, J. I.; BIANCHI, C. A. M.; MÜLLER, A. G.; COMIRAN, F.; HECKLER, B. M. M. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.39, n.9, p.831-839, 2004.

BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; COMIRAN, F. Déficit hídrico e produtividade na cultura do milho. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.41, n.2, p.243-249, 2006.

BETTINI, C. Conceitos básicos de geoestatística. In: MEIRELLES, M. S. P.; CÂMARA, G.; ALMEIDA, C. M. (Ed.). *Geomática: modelos e aplicações ambientais*. Brasília: Embrapa, p.193-234. 2007.

BEZERRA, B. G.; ARAÚJO, J. S.; PEREIRA, D. D.; LAURENTINO, G. Q.; SILVA, L. L. Zoneamento agroclimático da palma forrageira (*Opuntia* sp.) para o estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.18, n.7, p.755-761, 2014.

BONETT, L. P.; GONÇALVES-VIDIGAL, M. C.; SCHUELTER, A. R.; VIDIGAL FILHO, P. S.; GONELA, A.; LACANALLO, G. F. Divergência genética em germoplasma de feijoeiro comum coletado no estado do Paraná, Brasil. *Semina: Ciências Agrárias*, v.27, n.4, p.547-560, 2006.

BORGES, A. L.; OLIVEIRA, A. M. G.; RITZINGER, C. H. S. P.; ALMEIDA, C. O.; COELHO, E. F.; SANTOS-SEREJO, J. A.; SOUZA, L. S.; LIMA, M. B.; FANCELLI, M.; FOLEGATTI, M. I. S.; FILHO, P. E. M.; SILVA, S.; MEDINA, V. M.; CORDEIRO, Z. J. M. *A cultura da banana*. Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical. 3. ed. rev. e amp. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica. 2006. (Coleção Plantar, 56).

BOTELHO, V. A. V. A; MORAIS, A. R. Estimativas dos parâmetros da distribuição gama de dados pluviométricos do município de Lavras, estado de Minas Gerais. *Ciência e Agrotecnologia*, v.23, p.697-706, 1999.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. Acidez, Alcalinidade, Aridez e Salinidade do Solo. In: BRADY, N. C.; WEIL, R. R. *A Natureza e propriedades dos solos*. 3ed. Rio de Janeiro: Bookman, 2012, p.76-97.

BRANDÃO, W. Utilização de métodos geoestatísticos de krigagem ordinária e krigagem por indicação na interpolação de dados geoquímicos de solos: uma comparação. In: *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 10, Foz do Iguaçu, 2001. Anais...Foz do Iguaçu: INPE, 2001.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Levantamento Exploratório e de Reconhecimento dos Solos do Estado da Paraíba. Rio de Janeiro. Convênio MA/CONTA/USAID/BRASIL, 1972. (Boletins DPFS-EPE-MA, 15 - Pedologia 8).

BRASIL. Ministério da Agricultura. Secretaria Nacional de Planejamento Agrícola. *Aptidão Agrícola das terras da Paraíba*. Brasília, BINAGRI, 1978. 92p. (Estudos básicos para o planejamento agrícola; *Aptidão Agrícola das terras*, 3).

BRIGANTE, J.; ESPÍNDOLA, E. L. G. *Limnologia fluvial: um estudo no rio Mogi-Guaçu*. São Carlos: Editora RiMa, 2003. 278p.

BUAINAIN, A. M.; GARCIA, J. R. Polos de irrigação no Nordeste do Brasil. *Confins: Revista Franco-Brasileira de Geografia*, n.23, 2015.

BUREC. Department of the Interior of United States. Bureau of Reclamation Manual. Irrigated Land use: Land Classification. v.5. pt.2. Denver, 1953. 54p.

BUSO, W. H. D.; MORGADO, H. S.; SILVA, L. B.; FRANÇA, A. F. S. Utilização do sorgo forrageiro na alimentação animal. PUBVET, v.5, n.23, 2011.

CALDERANO FILHO, B.; GUERRA, A. J. T.; PALMIERI, F.; ARGENTO, M. S. F.; CORREIA, J. R.; RAMALHO FILHO, A. Aptidão agroecológica de terras: proposta de avaliação em paisagens rurais montanhosas ocupadas por pequenos agricultores na serra do mar. Cadernos de Ciência & Tecnologia, v.24, n.1/3, p.39-75, 2007.

CALIJURI, M. L.; ROHM, S. A. Sistemas de informações geográficas. Viçosa: Imprensa Universitária, 1993. 34p.

CÂMARA, G.; BARBOSA, C.; CORDEIRO, J. P.; LOPES, E.; FREITAS, U. M. de; LUCENA, I. Álgebra de mapas - Análise espacial de dados geográficos. INPE, 2001.

CÂMARA, G.; CARVALHO, M. S.; CRUZ, O. G.; CORREA, V. Análise espacial de áreas. Análise espacial de dados geográficos. Brasília: Embrapa, p.157-158, 2004.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, C. B.; CASANOVA, M. A.; HEMERLY, A. MAGALHÃES, G. Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica. Escola de Computação. SBC, 1996.

CÂMARA, G.; SOUZA, R. C. M.; PEDROSA, B.; VINHAS, L.; MONTEIRO, A. M. V.; PAIVA, J. A.; CARVALHO, M. T.; GATTASS, M. TerraLib: Technology in Support of GIS Innovation. In: Simpósio Brasileiro em Geoinformática, 2, 2000, São Paulo. Anais...São Paulo, 2000.

CAMARGO, M. N.; KLAMT, E.; KAUFFMAN, J. H. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.12, n.1, p.11-33, 1987.

CAMPOS, M. C. C.; QUEIROZ, S. B. Reclassificação dos perfis descritos no Levantamento Exploratório - Reconhecimento de Solos do Estado da Paraíba. Revista de Biologia e Ciências da Terra, v.6, n.1, p.45-50, 2006.

CARBALLO, F. M.; BURBANO, N. M.; BARZOLA, X. Q.; MONTALVO, M.J.; MERO, P. C. What do we Know about Water Scarcity in Semi-Arid Zones? A Global Analysis and Research Trends. Water, v.14, n.17, e2685, 2022.

CARDADOR-MARTÍNEZ, A.; JIMÉNEZ-MARTÍNEZ, C.; SANDOVAL, G. Revalorization of cactus pear (*Opuntia* spp.) wastes as a source of antioxidants. Ciência e Tecnologia de Alimentos, v.31, p.782-788, 2011.

CARDOSO; C. E. L.; ALVES; R. N. B.; SANTANA, M. DO A.; LOPES, O. M. N. Custos de produção de mandioca no Brasil. In: Congresso Brasileiro de Mandioca, 11, Campo Grande, 2005. Anais...Campo Grande, 2005.

CARMO, L. F. Z. do; MORAES, R. N. de S.; SILVA, S. S. da. Aptidão dos solos para mecanização agrícola nas áreas desmatadas do município de Rio Branco-AC. Programa de Zoneamento Econômico, Ambiental, Social e Cultural de Rio Branco-AC. ZEAS. Boletim Técnico, 4. Rio Branco: PMRB, 2008. 50p.

CARTER, V. H. Classificação de terras para irrigação. Brasília, DF: Bureau of Reclamation, 2002. 143p.

CARTER, V. H. Classificação de terras para irrigação. Manual de Irrigação, v.2. Brasília, Secretaria de Irrigação, 1993. 208p.

CARVALHO, A. C. P.; LORANDI, R.; LOLLO, J. A. DI; COLLARES, E. G.; MOSCHINI, L. E. Hydrological response of hydrographic subbasins in the Piracicaba River Basin - Southeast Region of Brazil. *Sociedade & Natureza*, v.34, e63522, 2022.

CARVALHO, A. P. P.; LORANDI, R.; COLLARES, E. G.; LOLLO, J. A. DI; MOSCHINI, L. E. Potential water demand from the agricultural sector in hydrographic sub-basins in the southeast of the state of São Paulo-Brazil. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v.319, e107508, 2021.

KORYTNY, L. M. The basin concept: From hydrology to nature management. *Geography and Natural Resources*, v.38, p.111–121, 2017.

CARVALHO, J. T. N.; MAGALHÃES, V. L. Classificação supervisionada do QGIS e SPRING: análise comparativa de Imagens Sentinel-2. In: Seminário de Extensão e inovação, 9, 2012, Pato Branco. Anais...Pato Branco, 2012.

CAVALCANTE, F. DE S.; DANTAS, J. S.; SANTOS, D.; CAMPOS, M. C. C. Considerações sobre a utilização dos principais solos no Estado da Paraíba. *Revista Científica Eletrônica de Agronomia*, v.4, n.8, p.1-10, 2005.

CAVALCANTE, F. S. Consorciação de mandioca e feijão comum: viabilidade da exploração em agricultura familiar na microrregião do Brejo Paraibano. 80f. Dissertação (Mestrado em Manejo do Solo e Água). Universidade Federal da Paraíba. Areia, 2005.

CAVALCANTI, A. C.; ARAÚJO FILHO, J. C. DE; SANTOS, J. C. P. DOS. Zoneamento Agroecológico do Estado de Alagoas. Potencial de Terras para Irrigação. Relatório Técnico. Convênios SEAGRI-AL/Embrapa Solos N^{os} 10200.04/0126-6 e 10200.09/0134-5. Recife, 2012.

CAVALCANTI, A. C.; RIBEIRO, M. R.; ARAÚJO FILHO, J. C. A.; SILVA, F. B. R. Avaliação do potencial das terras para irrigação no Nordeste. Embrapa. Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semiárido. Brasília: Embrapa-SPI, 1994. 38p.

CAVALCANTI, J. Material de plantio de mandioca no semiárido. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Petrolina: 2001. (Circular Técnica n. 60).

CAVALCANTI, N. B.; RESENDE, G. M. Avaliação de barreiros e finalidade da água armazenada na região semiárida da Bahia. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.5, n.3, p.568-570, 2001.

CHAGAS, C. DA S.; CARVALHO JUNIOR, W. DE; PEREIRA, NILSON. R.; FERNANDES FILHO, E. I. Aplicação de um sistema automatizado (ALES - Automated Land Evaluation System) na avaliação das terras das microrregiões de Chapecó e Xanxerê, Oeste Catarinense, para o cultivo de grãos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.30, p.509-522, 2006.

CHAI, Q.; GAN, Y.; ZHAO, C.; XU, H.; WASKOM, R. M.; NIU, Y.; SIDDIQUE, K. H. M. Regulated deficit irrigation for crop production under drought stress. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, v.36, n.3, 2016.

CHAVES, I. de B.; FRANCISCO, P. R. M.; LIMA, E. R. V. de. Classificação das terras para mecanização agrícola e sua aplicação para o estado da Paraíba. In: *Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água*, 18, 2010, Teresina. *Anais...Teresina: SBCS*, 2010.

CHAVES, L. H. G.; CHAVES, I. DE B.; VASCONCELOS, A. C. F. DE; LEÃO, A. B. Avaliação de potássio, matéria orgânica e fósforo em Neossolos dos perímetros irrigados Engenheiro Arcoverde e São Gonçalo-PB. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, v.5, n.2, p.48-56, 2005.

CHRISTOFIDIS, D. Água, irrigação e agropecuária sustentável. *Revista de Política Agrícola*, v.22, n.1, p.115-127, 2013.

CHRISTOFIDIS, D. O uso da irrigação no Brasil. O estado das águas no Brasil. 1999. Brasília, ANEEL, SIH, MMA, SRH, MME, 1999. 334p.

CIOCCARI, C. C.; CIOCCARI, G.; SAMPAIO, E. G.V.; SAMPAIO, M. I. R.; ZIQUINATTI, S. O Aplicativo SPRING como ferramenta para a classificação do uso da terra. In: *Seminário Interinstitucional de Ensino, Pesquisa e Extensão*, 16, 2011, Cruz Alta. *Anais...Cruz Alta*, 2011.

COELHO NETTO, A. L. Hidrologia de encosta na interface com a Geomorfologia. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. da. (Org.) *Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos*. 6.ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005. p.93-148.

COELHO, A. M.; WAQUIL, J. M.; KARAM, D.; CASELA, C. R.; RIBAS, P. M. Seja o doutor do seu sorgo. *Potafos: Arquivo do Agrônomo*, n.14, p.24, 2002.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Avaliação da Safra Agrícola 2006/2007 – Sétimo Levantamento. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2007. Disponível em: <http://www.bibliotekevirtual.org/simposios/8SBCMAC/8sbcmac-a046.pdf>. Acesso em: 7 de novembro de 2021.

CORRAR, L. J.; PAULO, E.; DIAS FILHO, J. M. *Análise Multivariada: para os Cursos de Administração, Ciências Contábeis e Economia*. São Paulo: Atlas, 2007.

CORSEUIL, C. W.; CAMPOS, S. Análise de adequação do uso das terras por meio de técnicas de geoprocessamento e de análise de multicritérios. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13, 2007, Florianópolis. Anais...Florianópolis, 2007.

COSTACURTA, A.; ROSELLI, G. Critères climatiques et édaphiques pour létablissement des vignobles. Bulletin de l'OIV, v.53, n.596, p.783-786, 1980.

CUI, G.; ZHANG, X.; ZHANG, Z.; CAO, Y.; LIU, X. Comprehensive Land Carrying Capacities of the Cities in the Shandong Peninsula Blue Economic Zone and their Spatio-Temporal Variations. Sustainability, v.11, n.2, e439, 2019.

CUNHA, A. P. M. A.; TOMASELLA, J.; RIBEIRO NETO, G. G.; BROWN, M.; GARCIA, S. R.; BRITO, S. B.; CARVALHO, M. A. Changes in the spatial-temporal patterns of droughts in the Brazilian Northeast. Atmospheric Science Letters, v.19, n.10, p.1-8, 2018.

CUNHA, T. J. F.; PETRERE, V. G.; SILVA, D. J.; MONTEIRO, A.; MENDES, S.; MELO, R. F. DE; OLIVEIRA NETO, M. B. DE; SILVA, M. S. L. DA; ALVAREZ, I. A. Principais solos do Semiárido tropical brasileiro: caracterização, potencialidades, limitações, fertilidade e manejo. In: SA, I. B.; SILVA, P. C. G. da. (Ed.). Semiárido Brasileiro: Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação. p.49-88. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010.

CUNHA, T. J. F.; SILVA, F. H. B. B. da; SILVA, M. S. L. da; PETRERE, V. G.; SÁ, I. B.; OLIVEIRA NETO, M. B. de; CAVALCANTI, A. C. Solos do Submédio do Vale do São Francisco: potencialidades e limitações para uso agrícola. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2008. 60p. (Embrapa Semi-Árido. Documentos, 211).

DALIAKOPOULOS, I. N.; TSANIS, I. K.; KOUTROULIS, A.; KOURGIALAS, N. N.; VAROUCHAKIS, A. E.; KARATZAS, G. P.; RITSEMA, C. J. The threat of soil salinity: a European scale review. Science of The Total Environment, v.573, p.727-739, 2016.

DAVIRON, B.; GIBBON, P. Global Commodity Chains and African Export Agriculture. Journal of Agrarian Change, v.2, n.2, p.137-161, 2002.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. Efeito da água no rendimento das culturas. Campina Grande: UFPB, 1994. 306p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 33).

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. Yield response to water. Roma: FAO. Irrigation and Drainage Paper, 33, 1979. 193p.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. Las necesidades de agua de los cultivos. Roma: FAO, 1976. 193p.

EL-SHARKAWY, M. A. Cassava biology and physiology. Plant Molecular Biology, p.481-501, 2004.

EL-SHARKAWY, M. A.; COCK, J. H.; PORTO, M. C. M. Características fotossintéticas da mandioca (*Manihot esculenta Crantz*). Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal, v.1, n.2, p.143-154, 1989.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília, Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 412p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar do Estado da Paraíba. (Org.) MANZATTO, C. V. et al. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. 55p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPS-2010/14408/1/ZonCana.pdf>. Acesso em: 7 de novembro de 2021.

EMBRAPA. Embrapa Arroz e Feijão. Sistemas de Produção, 5. Versão eletrônica, 2005. Cultivo do Feijão Irrigado na Região Noroeste de Minas Gerais. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br>. Acesso em: 7 de novembro de 2021.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Aptidão climática do Estado de Alagoas para culturas agrícolas. Relatório Técnico. Convênios SEAGRI-AL/Embrapa Solos n.10200.04/0126-6 e 10200.09/0134-5. Recife: Embrapa Solos, 2012. 86p.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido CPTSA. Unidade de Execução de Pesquisa e Desenvolvimento – UEP Recife. Avaliação do potencial das terras para irrigação no Nordeste. (Org.) CAVALCANTI, A. C.; RIBEIRO, M. R.; ARAUJO FILHO, J. C.; SILVA, F. B. R. Brasília, 1994. 41p.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisas de Milho e Sorgo. Sistemas de produção: Cultivo do sorgo. 4. ed. Sete Lagoas. 2008.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. GEOINFO. Áreas Urbanas no Brasil em 2015. Disponível em: http://geoinfo.cnpem.embrapa.br/layers/geonode%3Aareas_urbanas_br_15. Acesso em: 11 de novembro de 2021.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Aptidão Agrícola dos Solos da Região Nordeste. Boletim Técnico N.º 42. 1976. 40p.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Zoneamento Agroecológico do Estado de Alagoas. Relatório Técnico. Convênios SEAGRI-AL/Embrapa Solos n. 10200.09/0134-5. Recife: Embrapa Solos, 2012b. 71p.

EMBRAPA. Mandioca e Fruticultura. 2016. Disponível em: www.embrapa.br/documents/1355135/1529009/Mandioca_Brasil_2013.pdf/f03ad3fa-7989-40e0-bc08-c1d18ebb6024. Acesso em: 7 de novembro de 2021.

EMBRAPA. Manual de segurança e qualidade para a cultura do milho. Brasília: Embrapa/Sede, 2004. 78p.

EMBRAPA. Plintossolos. Definição e características gerais. ZARONI, M. J.; SANTOS, H. G. DOS. Brasília: Agência Embrapa de Informação e Tecnologia. Brasília, 2006. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONTAG01_15_2212200611542.html. Acesso em: 7 de novembro de 2021.

EMBRAPA. Zoneamento Agroecológico do Estado de Alagoas – ZAAL. Potencial Agroecológico das Terras. Relatório Técnico. (Org). CAVALCANTI, A. C.; SANTOS, J. C. DOS; ARAÚJO FILHO, J. C. DE. Convênios SEAGRI-AL/Embrapa Solos, n. 10200.04/0126-6 e 10200.09/0134-5. Recife/PE: Embrapa Solos, 2012.

FAO. Faostat. 2010. Disponível em: <http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567>. Acesso em: 7 de novembro de 2021.

FASOLO, P. J. Importância e uso dos levantamentos de solos e suas relações como planejamento do uso da terra. In: Congresso Brasileiro e Encontro Nacional de Pesquisa sobre Conservação do Solo, 1996, Londrina. Anais...Londrina: IAPAR, 1996.

FISCHER, G.; SHAH, M.; VAN VELTHUIZEN, H. Climate change and agricultural vulnerability. International Institute for Applied Systems Analysis to World Summit on Sustainable Development. Johannesburg: 2002. 160p.

FLORES, C. A.; MANZATTO, C. V.; SÁ, I. B.; ACCIOLY, L. J. DE O.; SÁ, T. D. DE A.; SILVA, F. H. B. B. DA; SILVA, T. C. E C. DA. Outras Formas de Degradação do Solo. In: MANZATTO, C. V.; FREITAS JUNIOR, E. DE; PERES, J. R. R. Uso Agrícola dos Solos Brasileiros. Embrapa Solos. 2002. 184p.

FRANCISCO, P. R. M. Classificação e mapeamento das terras para mecanização do Estado da Paraíba utilizando sistemas de informações geográficas. 122f. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água). Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal da Paraíba. Areia, 2010.

FRANCISCO, P. R. M.; AYRES, G. D. J.; SILVA, V. F.; OLIVEIRA, F. P. DE; SANTOS, D.; PEDROZA, J. P. Dinâmica temporal da cobertura e uso da terra da região do médio curso do rio Paraíba. In: (Org). FRANCISCO, P. R. M.; SILVA, V. F.; SANTOS, D.; RIBEIRO, G. DO N. Tecnologias aplicadas às pesquisas: GEO 21. EPTEC, 2021.130p.

FRANCISCO, P. R. M.; CHAVES, I. DE B.; LIMA, E. R. V. DE Classificação de terras para mecanização agrícola e sua aplicação para o Estado da Paraíba. Revista Educação Agrícola Superior, v.28, n.1, p.30-35, 2013.

FRANCISCO, P. R. M.; CHAVES, I. de B.; LIMA, E. R. V. de. Mapeamento das terras para mecanização agrícola - Estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.5, n.2, p.233-249, 2012.

FRANCISCO, P. R. M.; CHAVES, I. DE B.; LIMA, E. R. V. DE; SANTOS, D. Tecnologia da geoinformação aplicada no mapeamento das terras à mecanização agrícola. *Revista Educação Agrícola Superior*, v.29, n.1, p.45-51, 2014.

FRANCISCO, P. R. M.; LIMA, E. R. V. DE; SANTOS, D.; CHAVES, I. DE B.; BEIRIGO, R. M. Mapeamento do potencial pedológico do Estado da Paraíba para o cultivo da mandioca (*Maniotoh esculenta Crantz*). In: Encontro de Extensão, Pesquisa e Inovação em Agroecologia, 2, 2016, Sumé. Anais...Sumé, 2016.

FRANCISCO, P. R. M.; LIMA, E. R. V. DE; SANTOS, D.; CHAVES, I. DE B.; BRANDÃO, Z. N. Uso de geotecnologias no mapeamento do potencial pedológico para o cultivo do sorgo (*sorghum bicolor*) no Estado da Paraíba. In: Encontro de Extensão, Pesquisa e Inovação em Agroecologia, 2, 2016, Sumé. Anais...Sumé, 2016.

FRANCISCO, P. R. M.; MEDEIROS, R. M. DE; BANDEIRA, M. M.; SILVA, L. L. DA; SANTOS, D. Oscilação pluviométrica anual e mensal no Estado da Paraíba-Brasil. *Revista de Geografia (Recife)*, v. 33, n.3, p.141-154, 2016.

FRANCISCO, P. R. M.; MEDEIROS, R. M. DE; MATOS, R. M. DE; BANDEIRA, M. M.; SANTOS, D. Análise e mapeamento dos índices de umidade, hídrico e aridez através do BHC para o Estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.8, n.4, p.1093-1108, 2015.

FRANCISCO, P. R. M.; MEDEIROS, R. M. DE; SANTOS, D.; MATOS, R. M. DE. Classificação Climática de Köppen e Thornthwaite para o Estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.8, n.4, p.1006-1016, 2015c.

FRANCISCO, P. R. M.; MELLO, V. DA S.; BANDEIRA, M. M.; MACEDO, F. L. DE; SANTOS, D. Discriminação de cenários pluviométricos do estado da Paraíba utilizando distribuição Gama Incompleta e Teste Kolmogorov-Smirnov. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.9, n.1, p.47-61, 2016a.

FRANCISCO, P. R. M.; PEDROZA, J. P.; BANDEIRA, M. M.; SILVA, L. L. DA; SANTOS, D. Mapeamento da insolação do Estado da Paraíba utilizando krigagem. *Revista de Geografia (Recife)*, v.33, n.1, p.248-262, 2016b.

FRANCISCO, P. R. M.; PEREIRA, F. C.; BRANDÃO, Z. N.; ZONTA, J. H.; SANTOS, D.; SILVA, J. V. DO N. Mapeamento da aptidão edáfica para fruticultura segundo o zoneamento agropecuário do Estado da Paraíba utilizando o SPRING. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.8, n.2, p.387-390, 2015.

FRANCISCO, P. R. M.; PEREIRA, F. C.; MEDEIROS, R. M. DE; SÁ, T. F. DE. Zoneamento de risco climático e aptidão de cultivo para o município de Picuí–PB. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.5, p.1043-1055, 2011.

FRANCISCO, P. R. M.; SANTOS, D. Aptidão agroecológica das terras do Estado da Paraíba. *Revista Educação Agrícola Superior*, v.32, n.1, p.10-20, 2017.

FRANCISCO, P. R. M.; SANTOS, D. Aptidão Climática do Estado da Paraíba para as Principais Culturas Agrícolas. 1ª ed. EPGRAF: Campina Grande, 2018. 120p.

FRANCISCO, P. R. M.; SANTOS, D. Aptidão edáfica da cultura do algodão arbóreo no Estado da Paraíba. *Revista Educação Agrícola Superior*, v.32, n.2, p.30-36, 2017.

FRANCISCO, P. R. M.; SANTOS, D. Climatologia do Estado da Paraíba. 1ª ed. Campina Grande: EDUFCG, 2017. 75p.

FRANCISCO, P. R. M.; SANTOS, D. Climatologia do Estado da Paraíba. 1ª ed. EDUFCG: Campina Grande, 2017. 75p.

FRANCISCO, P. R. M.; SANTOS, D. GUIMARÃES, C. L.; MORAES NETO, J. M. DE. Aptidão climática da mandioca (*ManiOTH esculenta* Crantz) para o Estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v.11, n.4, p.1651-1661, 2017.

FRANCISCO, P. R. M.; SANTOS, D. Mapeamento do potencial pedoclimático do Estado da Paraíba para a cultura da mandioca (*ManiOTH esculenta* Crantz) através do LEGAL. In: FRANCISCO, P. R. M.; RIBEIRO, G. DO N.; SILVINO, G. DA S.; PEREIRA, F. C.; MORAES NETO, J. M. DE; SILVA, V. M. DE A. Geotecnologias aplicada à estudos ambientais. Campina Grande: EPGRAF, 2018. 188p.

FRANCISCO, P. R. M.; SANTOS, D.; BANDEIRA, M. M.; GUIMARÃES, C. L.; CABRAL, D. E. C. Aptidão climática do sorgo (*Sorghum bicolor*) para o Estado da Paraíba. *Brasil Revista Brasileira de Geografia Física*, v.9, n.4, p.1043-1057, 2016.

FRANCISCO, P. R. M.; SANTOS, D.; GUIMARÃES, C. L.; ARAUJO, S. R. D.; OLIVEIRA, F. P. DE. Aptidão climática do milho (*Zea mays* L.) para o Estado da Paraíba. *Revista de Geografia (Recife)*, v.34, n.1, p.290-305, 2017.

FRANCISCO, P. R. M.; SANTOS, D.; LIMA, E. R. V. DE. Mapeamento do potencial pedoclimático da cultura do milho (*Zea mays* L.) para o Estado da Paraíba utilizando geotecnologias. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v.10, n.6, p.1023-1037, 2016.

FRANCISCO, P. R. M.; SANTOS, D.; LIMA, E. R. V. DE. Potencial pedoclimático do Estado da Paraíba para a cultura do sorgo (*Sorghum bicolor*). *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.10, n.3, p.784-798, 2017.

FRANCISCO, P. R. M.; SANTOS, D.; LIMA, E. R. V. DE. Potencial Pedoclimático do Estado da Paraíba para as Principais Culturas Agrícolas. 1ª ed. EDUFPG: Campina Grande, 2017. 119p.

FRANCISCO, P. R. M.; SANTOS, D.; LIMA, E. R. V. DE; MORAES NETO, J. M. DE; TRINDADE, H. C. M. DA. Geoprocessamento aplicado no mapeamento do potencial pedológico do Estado da Paraíba para o cultivo do feijão caupi (*Vigna unguiculata L. Walp*) e feijão comum (*Phaseolus vulgaris*). Revista Brasileira de Agrotecnologia, v.7, n.3, p.034-043, 2017.

FRANCISCO, P. R. M.; SANTOS, D.; LIMA, E. R. V. DE; OLIVEIRA, F. P. DE. Aptidão climática e pedológica da cultura do feijão caupi para as regiões do agreste e brejo paraibano. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada, v.11, n.4, p.1557-1570, 2017.

FRANCISCO, P. R. M.; SILVA, V. F.; RIBEIRO, G. DO N.; SANTOS, D.; AYRES, G. D. J. Potencial de expansão da irrigação em bacia hidrográfica da região do médio curso do Rio Paraíba. Polêmica, v.21, n.3, p.146-165, 2021.

FRANCISCO, P. R. M.; SILVA, V. F.; RIBEIRO, G. DO N.; SANTOS, D.; AYRES, G. D. J. Potencial de expansão da irrigação em bacia hidrográfica da região do médio curso do rio Paraíba. Revista Polêmica, v.21, n.3, p.146-165, 2021.

FRANCISCO, P. R. M.; SILVA, V. F.; SANTOS, D.; RIBEIRO, G. DO N.; AYRES, G. D. J. Mapeamento dos fatores restritivos das terras da bacia hidrográfica do médio curso do rio Paraíba. Revista Agrogeoambiental, v.14, e20221694, 2022.

FRANCISCO, P. R. M.; SILVINO, G. DA S.; LIMA, V. L. A. DE; MORAES NETO, J. M. DE; BARRETO, H. T. S. Potencial de irrigação dos solos da área de transposição do rio São Francisco no Estado da Paraíba. (Org.) FRANCISCO, P. R. M.; SILVA, V. M. DE A.; QUEIROZ, N. M. v.2. Caderno de Pesquisa, Ciência e Inovação. 2019. 164p.

FREIRE FILHO, F. R.; LIMA, J. A. A.; RIBEIRO, V. Q. Feijão-caupi: avanços tecnológicos. Brasília-DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. 519p.

FREIRE, O. Apontamentos de edafologia. 2. ed. Piracicaba, 1984. 317p.

FREITAS, T. S. DE. Aspectos do semiárido no Estado da Paraíba: indicadores agropecuários e de segurança forrageira. 32f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Agrônômica). Universidade Federal da Paraíba. Areia, 2013.

FUKUDA, W. M. G.; IGLESIAS, C. Desenvolvimento de germoplasma de mandioca para as condições semiáridas. Revista Brasileira de Mandioca, v.14, n.1/2, p.17-38, 1995.

GARCIA, G. J.; ANTONELLO, S. L.; M. G. M. MAGALHÃES. Nova versão do sistema de avaliação de terras - SIAT. Engenharia Agrícola, v.25, n.2, p.516-529, 2005.

GARCIA, G. J.; ESPÍNDOLA, C. R. SIAT - Sistema de Avaliação de Terras. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.5, n.2, p.223-228, 2001.

GEO BRASIL. O estado do meio ambiente no Brasil: o estado do solo. In: GEO BRASIL. Perspectivas do meio ambiente no Brasil. 2002. Disponível em: <http://www.wwiuma.2ibama.gov.br/~geobr/Livro/cap2/solos.pdf>. Acesso em: maio de 2024.

GLERIANI, J. M. Concordância da aptidão agrícola das terras do Estado de São Paulo elaborada nos anos setenta com os dados do Censo Agropecuário do IBGE ano 95/96. INPE. São José dos Campos, 2000.

GOLLA, B. Agricultural production system in arid and semi-arid regions. Journal of Agricultural Science and Food Technology, v.7, n.2, p.234-244, 2021.

GONÇALVES, J. P. D. Uso de SIG para análise de adequação de uso agrícola das terras. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. INPE, 2018. 13p.

GONG, F.; WU, X.; ZHANG, H.; CHEN, Y.; WANG, W. Making better maize plants for sustainable grain production in a changing climate. Frontiers in Plant Science, v.6, p.8-35, 2015.

GROOT, R. DE. Function-analysis and valuation as a tool to assess land use conflicts in planning for sustainable, multi-functional landscapes. Landscape and Urban Planning, v.75, n.3-4, p.175-186, 2006.

GROSE, C. J. Land Capability Handbook. Guidelines for the Classification of Agricultural Land in Tasmania. 2 ed. Department of Primary Industries, Water and Environment, Tasmania, Australia, 1999.

GUEDES FILHO, D. H.; SANTOS JÚNIOR, J. A.; COSTA FILHO, J. F.; FRANCISCO, P. R. M.; CAMPOS, V. B. Estimativa da evapotranspiração de referência para a cidade de Areia, Paraíba. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada, v.5, n.1, p.37-47, 2011.

GUIMARÃES, C. M. Características morfo-fisiológicas do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris L.*) relacionadas com a resistência à seca. 131f. Tese (Doutorado). Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 1992.

GUIMARÃES, R. V. Aplicação de geoprocessamento para o aumento da eficiência de percurso em operações agrícolas na cultura da cana-de-açúcar (*saccharum spp*). 98f. Dissertação (Mestrado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2004.

HEINEMANN, A. B.; STONE, L. F.; SILVA, S. C. Feijão. In: MONEIRO, J. E. B. A. (Ed.). Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola. Brasília, INMET, 2009. p.183-201.

HEPP, L. U.; SANTOS, S. Benthic communities of streams related to different land uses in a hydrographic basin in southern Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment*, v.157, p.305-318, 2009.

HEWITT, R.; DELDEN, H. VAN; ESCOBAR, F. Participatory land use modelling, pathways to an integrated approach. *Environmental Modelling & Software*, v.52, p.149-165, 2014.

HUDSON, N. Soil Conservation. New York, Cornell University Press, 1971. 302p.

HULME, T.; GROSSKOPF, T.; J. HINDLE. Agricultural land classification. AGFACTS- State of New South Wales, Australia. 2002. 15p.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2009. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 7 de novembro de 2021.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2010. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/lspa_201007_7.shtm. Acesso em: 7 de novembro de 2021.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2013. Censo Agropecuário-2006. Disponível em: [http://www.ibge.gov.br/cidadesat/xtras/temas.php?codmun=251400&idtema=3&search=parai balsao-joao-do-caririlcenso-agropecuario-2006](http://www.ibge.gov.br/cidadesat/xtras/temas.php?codmun=251400&idtema=3&search=parai%20balsao-joao-do-caririlcenso-agropecuario-2006). Acesso em: 22 de agosto de 2021.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2021. Censo Agropecuário 2017 - Resultados definitivos. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pb/pesquisa/panorama>. Acesso em: 7 de novembro de 2021.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo agropecuário, 2006. Disponível em: www.ibge.gov.br. Acesso em: 7 de novembro de 2021.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola: Pesquisa mensal de previsão e acompanhamento das safras agrícolas no ano civil. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, v.29, n.3, p.1-81, 2015.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa Agrícola Municipal 2017. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>. Acesso em: 20/10/2021.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção de Extração Vegetal e da Silvicultura. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/listabl.asp?c=289&z=p&o=30>. Acesso em: 07/12/2015.

IBGE. Produção Agrícola Municipal. 2013. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/>. Acesso em: 7 de novembro de 2021.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. An introduction to applied geostatistics. New York: Oxford University Press, 1989. 561p.

JACOMINE, P. K. T. A nova classificação Brasileira de solos. Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica, v.5/6, p.161-179, 2008-2009.

JACOMINE, P. K. T. Solos sob Caatinga: características e uso agrícola. In: ALVAREZ, V. H.; FONTES, L. E. F.; FONTES, M. P. F. O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado. Viçosa: SBCS, 1996. p.95-133.

JACOMINE, P. K. T.; RIBEIRO, M. R.; BURGOS, N. Aptidão agrícola dos solos da região Nordeste. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 15, 1975, Campinas. Anais...Campinas, 1975.

JAKOB, A. A. E. A krigagem como método de análise de dados demográficos. In: Encontro da Associação Brasileira de Estudos Populacionais, 13, 2002, Ouro Preto. Anais...Ouro Preto, 2002.

JALLOH, A.; MACAULEY, H. R.; SEREME, P. Major agro-ecosystems of West and Central Africa: Brief description, species richness, management, environmental limitations and concerns. Agriculture, Ecosystems & Environment, v.57, p.5-16, 2012.

KHAN, A. S.; SOUSA, J. DA S. Elasticidades de oferta e demanda de mandioca na região Nordeste. Revista e Economia Sociologia Rural, v.29, n.3, p.249-257, 1991.

KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F.; AIDAR, H. Fundamentos para uma agricultura sustentável, com ênfase na cultura do feijoeiro. Santo Antônio de Goiás. Embrapa Arroz e Feijão. 2009. 452p.

LACERDA, C. F.; CARVALHO, C. M.; VIEIRA, M. R.; NOBRE, J. G. A.; NEVES, A. L. LEITE, M. L.; RODRIGUES, J. D.; VIRGENS FILHO, J. S. Avaliação de cultivares de caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) quanto à produtividade e componentes de produtividade, sob condições de estufa plástica. Revista de Agricultura, v.72, n.3, p.375-385, 1997.

LAMBIN, E. F.; MEYFROIDT, P. Land use transitions: Socio-ecological feedback versus socio-economic change. Land Use Policy, v.27, n.2, p.108-118, 2010.

LÄMMLE, L.; PEREZ FILHO, A.; DONADIO, C.; ARIENZO, M.; FERRARA, L.; SANTOS, C. D. J.; SOUZA, A. O. Anthropogenic pressure on hydrographic basin and coastal erosion in the Delta of Paraíba do Sul River, Southeast Brazil. Journal of Marine Science and Engineering, v.10, n.11, p.1585, 2022.

LANDAU, E. C.; MAGALHÃES, P. C.; GUIMARÃES, D. P. Árvore do Conhecimento. Milho. Relações com o clima. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Embrapa Milho e Sorgo. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. 2011. Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONTAG01_17_168200511157.html. Acesso em: 7 de novembro de 2021.

- LANDAU, E. C.; MARTINS NETTO, D. A. Expansão Potencial da Produção de Sorgo Granífero no Brasil no Sistema de Rotação com Soja considerando o Zoneamento de Risco Climático 2015/16. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. 2015. 27p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento/Embrapa Milho e Sorgo).
- LANDAU, E. C.; SANS, L. M. A. Cultivo do Sorgo. Clima. Embrapa Milho e Sorgo. Sistema de Produção, 2. Versão Eletrônica, 6ª edição. 2010. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/27070/1/Clima.pdf>. Acesso em: 7 de novembro de 2021.
- LEMO, J. DE J. S.; SANTIAGO, D. F. Instabilidade Temporal na Produção Agrícola Familiar de Sequeiro no Semiárido do Nordeste Brasileiro. *Revista Desenvolvimento em Questão*, v.16, n.45, p.186-200, 2020.
- LEPSCH, I. F.; BELLINAZZI JR., R.; BERTOLINI, D.; ESPÍNDOLA, C. R. Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso. 4ª Aprox. 2ª. ed. SBCS, Campinas, 1991. 175p.
- LIMA, B. M. Percepção socioambiental de moradores do município de Boqueirão acerca da bacia hidrográfica do Rio Paraíba. 96f. Dissertação (Mestrado Acadêmico em Ensino de Ciências e Educação Matemática). Universidade Estadual da Paraíba. Campina Grande, 2024.
- LIMA, D. F. B. DE; REMPEL, C.; ECKHARDT, R. R. Análise ambiental da bacia hidrográfica do Rio Taquari - Proposta de Zoneamento Ambiental. *Revista Geografia*, v.16, n.1, 2007.
- LIMA, W. P. Introdução ao manejo de bacias hidrográficas. Piracicaba: DCFL/Esalq, 2006.
- LOPES, E. S. S. Tutorial 10 aulas – SPRING – 3.6 (versão Windows/UNIX). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2002.
- MACIEL, G. F.; AZEVEDO, P. V. DE; ANDRADE JÚNIOR, A. S. DE. Impactos do aquecimento global no zoneamento de risco climático da soja no estado do Tocantins. *Revista Engenharia Ambiental*, v.6, n.3, p.141-154. 2009.
- MAGALHÃES, N. F.; CEBALLOS, B. S. O. DE; NUNES, A. B. DE A.; GHEYI, H. R.; KONIG, A. Principais impactos nas margens do Baixo Rio Bodocongó-PB, decorrentes da irrigação com águas poluídas com esgoto. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.6, n.1, p.128-135, 2002.
- MALDANER, L. J.; HORING, K.; SCHNEIDER, J. F.; FRIGO, J. P.; AZEVEDO, K. D. DE; GRZESIUCK, A. E. Exigência agroclimática da cultura do milho (*Zea mays*). *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, v.3, p.13-23, 2014.
- MALUF, J. R.; MATZENAUER, R.; CAIAFFO, M. Zoneamento agroclimático da cultura do milho por épocas de semeadura no estado do Rio Grande do Sul. Governo do Estado do Rio Grande do Sul. Secretaria da Ciência e Tecnologia. Fundação Estadual de Pesquisa

Agropecuária. 1995. Disponível em: http://www.fepagro.rs.gov.br/upload/1398890898_art_04.pdf. Acesso em: 12 de outubro de 2023.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria N° 312, de 5 de novembro de 2019. Zoneamento Agrícola de Risco Climático para a cultura de milho. 2019b. Disponível em: <https://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=21/08/2020&jornal=515&pagina=9&totalArquivos=471>. Acesso em: 12 de outubro de 2021.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Sistema Integrado de Legislação. BINAGRI SISLEGIS. Portaria 212/2014 de 24/11/2014. 2014. Disponível em: <http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=visualizarAtoPortalmapa&chave=1955156079>. Acesso em: 11 de outubro de 2021.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC). 2021. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/riscos-seguro/programa-nacional-de-zoneamento-agricola-de-risco-climatico/estudos_observatorio-do-zarc/estudos-2021/2021-jose-eduardo-boffino-de-almeida-monteiro-zoneamento-agricola-de-risco-climatico-zarc.pdf. Acesso em: 03 de outubro de 2024.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Zoneamento Agrícola de Risco Climático. Instrução Normativa N° 2, de 9 de outubro de 2008. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/riscos-seguro/programa-nacional-de-zoneamento-agricola-de-risco-climatico/documentos/INn2de09.10.2008.pdf>. Acesso em: 12 de outubro de 2021.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Zoneamento Agrícola de Risco Climático. Portarias segmentadas. 2019. Disponível em: <http://indicadores.agricultura.gov.br/zarc/index.htm>. Acesso em: 9 de maio de 2021.

MAPBIOMAS. Mapbiomas 2021. Disponível em: <https://mapbiomas.org/visao-geral-da-metodologia>. Acesso em: 10 de agosto de 2021.

MARENGO, J. A.; BERNASCONI, M. Regional differences in aridity/drought conditions over Northeast Brazil: present state and future projections. *Climatic Change*, v.129, n.1-2, p.103-115, 2015.

MARENGO, J. A.; CUNHA, A. P. M. A.; NOBRE, C. A.; RIBEIRO NETO, G. G.; MAGALHAES, A. R.; TORRES, R. R.; SAMPAIO, G.; ALEXANDRE, F.; ALVES, L. M.; CUARTAS, L. A.; DEUSDARÁ, K. R. L.; ÁLVALA, R. C. S. Assessing drought in the drylands of northeast Brazil under regional warming exceeding 4°C. *Natural Hazards*, v.103, n.2, p.2589-2611, 2020.

MARENGO, J. A.; SOARES, W. R.; SAULO, C.; NICOLINI, M. Climatology of the low-level Jet East of the Andes as Derived from NCEP-NCAR Reanalyses: Characteristics and Temporal Variability. *Journal of Climate*, v.17, n.12, p.2261-2280, 2004.

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, 2017.

MARQUES, F. A.; ARAÚJO FILHO, J. C. DE; BARROS, A. H. C.; LOPES, E. H. B.; BARBOSA, G. M. N. Aptidão pedoclimática das culturas dos feijões caupi e comum para o Estado de Alagoas. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 33, Uberlândia, 2010. Anais...Uberlândia: RBCS, 2010.

MATHERON, G. Les principes de la geostatistique. CG, Ecole des Mines de Paris. Rapport, 88, 1963.

MATHERON, G. The theory of regionalized variables and its applications. Paris, Le Cahiers du Centre de Morphologie Mathematique de Fontainebleu, 1971. 211p.

MATOS, R. M. DE; SILVA, P. F. DA; BORGES, V. E.; MEDEIROS, R. M. DE; FRANCISCO, P. R. M.; DANTAS NETO, J. Zoneamento agroclimático da palma forrageira para o município de Barbalha-CE. *Revista Espacios*, v.38, n.23, p.27, 2017.

MATZENAUER, R. Modelos agrometeorológicos para estimativa do rendimento de milho, em função da disponibilidade hídrica no Estado do Rio Grande do Sul. 172f. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1994.

MEDEIROS, R. M. DE; FRANCISCO, P. R. M.; MATOS, R. M. DE; SILVA, P. F. DA. Classificação e aptidão climática para as culturas da banana e abacaxi no Estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.11, n.5, p.1551-1663, 2018.

MEDEIROS, R. M.; FRANCISCO, P. R. M.; SANTOS, D.; SILVA, L. L.; BANDEIRA, M. M. Variabilidade da temperatura média do ar no Estado da Paraíba-Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.8, n.1, p.128-135, 2015.

MELO, E. S.; SANTANA, F. S. DE; CARDOSO, C. E. L. Viabilidade econômica da produção de mandioca em pequena escala. In: Congresso Brasileiro de Mandioca, 11, Campo Grande, 2005. Anais...Campo Grande, 2005.

MELO, F. B.; CARDOSO, M. J.; SALVIANO, A. A. C. Fertilidade do Solo e Adubação. In: FREIRE FILHO, F. R.; LIMA, J. A.; RIBEIRO, V. Q. Feijão-caupi: Avanços tecnológicos. Brasília-DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. Cap.6, p.229-242.

MENEZES, H. E. A.; BRITO, J. I. B. DE; LIMA, R. A. F. DE A. Veranico e a produção agrícola no Estado da Paraíba, Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, n.2, p.181-186. 2010.

MENEZES, H. E. A.; BRITO, J. I. B. DE; SANTOS, C. A. C. DOS; SILVA, L. L. DA. A relação entre a temperatura da superfície dos oceanos tropicais e a duração dos veranicos no Estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.23, n.2, p.152-161, 2008.

MENEZES, M. D. DE; CURI, N.; MARQUES, J. J.; MELLO, C. R. DE; ARAÚJO, A. R. DE. Levantamento pedológico e sistema de informações geográficas na avaliação do uso das terras em sub-bacia hidrográfica de Minas Gerais. *Ciênc. Agrotec.*, v.33, n.6, p.1544-1553, 2009.

MENEZES, M. D. de; CURI, N.; MARQUES, J. J.; MELLO, C. R. de; ARAÚJO, A. R. de. Levantamento pedológico e sistema de informações geográficas na avaliação do uso das terras em sub-bacia hidrográfica de Minas Gerais. *Ciência Agrotec.*, v.33, n.6, p.1544-1553, 2009.

MIGLIAVACCA, D.; TEIXEIRA, E. C.; WIEGAND, F.; MACHADO, A. C. M.; SANCHEZ, J. Atmospheric precipitation and chemical composition of an urban site, Paraíba hydrographic basin, Brazil. *Atmospheric Environment*, v.39, n.10, p.1829-1844, 2005.

MONTEGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. *Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros*. Rio de Janeiro, Editora LTC, 2013.

MONTEIRO, A. F. M.; YAMAMOTO, A. L. C.; SILVA, P. N.; REBOITA, M. S. Conhecer a complexidade do sistema climático para entender as mudanças climáticas. *Terra Didática*, v.17, p.1-12, 2021.

MONTEIRO, J. E. *Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola*. Brasília, DF: INMET, 2009. 530p.

MORAIS, F. M. DE; FREIRE, A. DE L. Principais culturas agrícolas produzidas na Paraíba 2011-2014. João Pessoa: EMEPA-PB, 2018. 92p.

MOREIRA, E; TARGINO, I. *Capítulos de Geografia Agrária da Paraíba*. João Pessoa: Ed. Universitária, 1997.

MOREIRA, J. A. A.; AZEVEDO, J. A.; STONE, L. F.; CAIXETA, T. J. Irrigação. In: ZIMMERMANN, M. I. O.; ROCHA, M.; YAMADA, T. (Ed.). *Cultura do feijoeiro: fatores que afetam a produtividade*. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, p.317-340, 1988.

MOREIRA, M. A. *Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação*. 2 ed. Viçosa: UFV, 2003. 307p.

MUNIZ, N. DA C. *Pagamento por serviços ambientais: Remuneração à conservação e desenvolvimento sustentável*. Trabalho de Graduação (Bacharelado em Direito). Departamento de Ciências Jurídicas. Universidade de Taubaté. Taubaté, 2022.

NGUYEN, T. T.; VERDOODT, A.; TRAN, V. Y.; DELBECQUE, N.; TRAN, T. C.; RANST, E. V. Design of a GIS and multi-criterial based land evaluation procedure for sustainable land-

use planning at the regional level. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v.200, p.1-111, 2015.

NOBEL, P. S. Environmental biology. In: BARBERA, G.; INGLESE, P.; PIMIENTABARRIOS, E. *Agro-ecology, cultivation and uses of cactus pear*. Rome: FAO, 1995. p.36-48. (*Plant Production and Protection*, 132).

NOBRE, P.; MELO, A. B. C. Variabilidade climática intra-sazonal sobre o Nordeste do Brasil em 1998 – 2000. *Revista Climanalise*, v.2, n.1, p.01-10, 2004.

OBERČ, B. P.; SCHNELL, A. *Approaches to sustainable agriculture. Exploring the pathways towards the future of farming*. Brussels, Belgium: IUCN EURO. 2020. 92p.

OLIVEIRA, D. G. DE. *Análise das práticas da agricultura após a transposição do Rio São Francisco no Taboado de Baixo, Boqueirão–PB*. 44f. Trabalho de Conclusão de Curso de Especialização (Pós Graduação em Gestão dos Recursos Naturais do Semiárido). Instituto Federal da Paraíba. Picuí, 2023.

OLIVEIRA, F. P. DE. *Determinação da tolerância de perdas por erosão para as principais ordens de solos do estado da Paraíba*. 89f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Agrônômica). Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal da Paraíba. Areia, 2004.

OLIVEIRA, M. V. G. DE. *Proposição de um modelo de indicadores para avaliação da dimensão ambiental do IFRN como ferramenta de gestão para o programa campus verde*. 59f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais). Programa de Pós-graduação em Uso Sustentável de Recursos Naturais. Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte. Natal, 2017.

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

PAETZOLD, A.; WARREN, P. H.; MALTBY, L. L. A framework for assessing ecological quality based on ecosystem services. *Ecological Complexity*, v.7, n.3, p.273-281, 2010.

PARAÍBA. Governo do Estado. Secretaria de Agricultura e Abastecimento. CEPA-PB. *Zoneamento Agropecuário do Estado da Paraíba. Relatório ZAP-B-D-2146/1*. UFPB-Eleto Consult Ltda. 1978. 448p.

PARAÍBA. Governo do Estado. Secretaria do Planejamento e Coordenação Geral. Fundação Instituto de Planejamento. *Potencial de irrigação e oportunidades agroindustriais no Estado da Paraíba*. FIPLAN-SUBIN-UFPB/CCA-CEPED, 1980. 287p.

PARAÍBA. Secretaria de Agricultura e Abastecimento–CEPA–PB. *Zoneamento Agropecuário do Estado da Paraíba. Anexo de Pedologia*. UFPB/EletoConsult Ltda. 1978.

PARAÍBA. Secretaria de Educação. Universidade Federal da Paraíba. Atlas Geográfico do Estado da Paraíba. João Pessoa, Grafset, 1985.

PARAÍBA. Secretaria de Estado da Ciência e Tecnologia e do Meio Ambiente. Agência Executiva de Gestão de Águas do Estado da Paraíba, AESA. PERH-PB: Plano Estadual de Recursos Hídricos: Resumo Executivo & Atlas. Brasília, DF, 2006. 112p.

PAZ, V. P. S.; TEODORO, R. E. F.; MENDONÇA, F. C. Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.4, n.3, p.465-473, 2000.

PEDROTTI, A.; CHAGAS, R. M.; RAMOS, V. C.; PRATA, A. P. N.; LUCAS, A. A.T.; SANTOS, P. B.; Causas e consequências do processo de salinização dos solos. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, v.19, n.2, p.1308-1324, 2015.

PEREIRA, G. R. Correlação entre as secas e as perdas na agricultura de Sequeiro no Semiárido Nordeste. In: Congresso Nacional da Diversidade do Semiárido, 2018, Campina Grande. Anais...Campina Grande, 2018.

PEREIRA, L. C. Aptidão agrícola das terras e sensibilidade ambiental: proposta metodológica. 122f. Tese (Doutorado). Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2002.

PEREIRA, L. C.; LOMBARDI NETO, F. Avaliação da aptidão agrícola das terras: proposta metodológica. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2004. 36p.

PINTO, T. F.; COSTA, R. G.; MEDEIROS, A. N. DE; MEDEIROS, G. R.; AZEVEDO, P. S.; OLIVEIRA, R. L.; TREVIÑO, I. H. Use of cactus pear (*Opuntia ficus indica* Mill) replacing corn on carcass characteristics and non-carcass components in Santa Inês lambs. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.40, p.1333-1338, 2011.

POSTEL, S. Estados Unidos da América. Redesenhando agricultura irrigada. In: STARKE, L. (Ed.). Estado do Mundo 2000: Um Relatório do Instituto Worldwatch sobre o progresso em direção a uma sociedade sustentável. Nova Iorque, NY: W.W. Norton & Company, 2000.

QADIR, M.; QUILLÉROU, E.; NANGIA, V.; MURTAZA, G.; SINGH, M.; THOMAS, R. J.; DRECHSEL, P.; NOBLE, A. D. Economics of salt-induced land degradation and restoration. *A United Nations Sustainable Development Journal*, v.38, n.4, p.282-295, 2014.

RAMALHO FILHO, A.; BEEK, K. J. Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras. 3.a ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1994. 65p.

RANZINI, G. Manual de levantamento de solos. 2. ed. Editora Edgard Blucher Ltda. São Paulo, 1969. 128p.

REBOITA, M. S.; AMBRIZZI, T. Climate system in a nutshell: An overview for understanding Climate change. *International Journal of Development Research*, v.12, e53365-53378, 2022.

- REBOITA, M. S.; GAN, M. A.; ROCHA, R. P. DA; AMBRIZZI, T. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.25, p.185-204, 2010.
- REIDSMA, P.; KÖNIG, H.; FENG, S.; BEZLEPKINA, I.; NESHEIM, I.; BONIN, M.; SGHAIER, M.; PURUSHOTHAMAN, S.; SIEBER, S. ITTERSUM, M. K. VAN; BROUWER, F. Methods and tools for integrated assessment of land use policies on sustainable development in developing countries. *Land Use Policy*, v.28, n.3, p.604-617, 2011.
- REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; VEIGA, M.; SUZUKI, L. E. A. S. Qualidade física dos solos. Conferência. In: Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, 16, 2006, Aracajú. Anais...Aracajú, 2006.
- REYES-AGÜERO, J. A.; AGUIRRE, J. R.; VALIENTE-BANUET, R. A. Reproductive biology of *Opuntia*: A review. *Journal of Arid Environments*, v.64, p.549-585, 2006.
- RIBEIRO NETO, A.; PAZ, A. DA; MARENGO, J.; CHOU, S. Hydrological Processes and Climate Change in Hydrographic Regions of Brazil. *Journal of Water Resource and Protection*, v.8, p.1103-1127, 2016.
- BERTINI, M. A.; FUSHITA, A. T.; LIMA, M. I. S. Vegetation coverage in hydrographic basins in the central region of the State of São Paulo, Brazil. *Brazilian Journal Biology*, v.75, n.3, p.709-717, 2015.
- RIBEIRO, C. A. A. S.; VARELLA, C. A. A.; SENA JR., D. G.; SOARES, V. P. Sistemas de Informações Geográficas. Agricultura de precisão. (Ed) BORÉM et al. Viçosa, 2000. 467p.
- RIBEIRO, M. R. Origem e classificação dos solos afetados por sais. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. (Orgs). Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados. Fortaleza: INCTSal, 2010, p.12-19.
- RIBEIRO, M. R.; SAMPAIO, E. V. S. B.; GALINDO, I. C. L. Os solos e o processo de desertificação no Semiárido brasileiro. *Tópicos em Ciência do Solo*, n.6, p.319-412, 2009.
- ROCHA, M. M.; LOURENÇO, D. A.; LEITE, C. B. B. Aplicação de krigagem com correção do efeito de suavização em dados de potenciometria da cidade de Pereira Barreto-SP. *Geologia USP*, v.7, p.37-48, 2007.
- ROEST, K. DE; FERRARI, P.; KNICKEL, K. Specialisation and economies of scale or diversification and economies of scope? Assessing different agricultural development pathways. *Journal of Rural Studies*, v.59, p.222-231, 2018.
- ROSSI, M.; OLIVEIRA, J. B. DE. O mapa pedológico do Estado de São Paulo. *O Agrônomo*, v.52, n.1, 2000.
- ROWNTREE, K. Political and administrative constraints on integrated river basin development: an evaluation of the Tana and Athi Rivers Development Authority. *Applied geography*, v.10. n.1, p.21-41, 1990.

SÁ, I. B.; ANGELOTTI, F. Degradação ambiental e desertificação no semiárido brasileiro. In: Mudanças climáticas e desertificação no semiárido brasileiro. EMBRAPA/CPATSA, Petrolina-PE. 53-76p. 2008.

SABINO, S. M. L.; MACEDO, D. R. Relação entre dados pluviométricos primários e modelos geoestatísticos interpolados em escala global. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 19, 2019, Santos. Anais...Santos, 2019.

SAMPAIO, C. B. V.; WEILL, M. DE A. M.; DOURADO, C. DA S.; SAMPAIO FILHO, C. V. Classificação do potencial de terras para irrigação na região do alto da bacia do rio Itapicuru. In: Reunião Sulamericana para Manejo e Sustentabilidade da Irrigação em Regiões Áridas e Semiáridas, 2, 2011, Cruz das Almas. Anais...Cruz das Almas, 2011.

SANCHEZ, P. A.; AHAMED, S.; CARRE, F.; HARTEMINK, A. E.; HEMPEL, J.; HUISING, J.; LAGACHERIE, P.; MCBRATNEY, A. B.; MCKENZIE, N. J.; MENDONCA-SANTOS, M. D.; MINASNY, B.; MONTANARELLA, L.; OKOTH, P.; PALM, C. A.; SACHS, J. D.; SHEPHERD, K. D.; VAGEN, T. G.; VANLAUWE, B.; WALSH, M. G.; WINOWIECKI, L. A.; ZHANG, G. L. Digital soil map of the world. Science, v.325, p.680-681, 2009.

SANS, L. M. A.; GUIMARÃES, D. P. Zoneamento Agrícola de Riscos Climáticos Para a Cultura do Milho. Embrapa Milho e Sorgo. 2006. Circular Técnica n. 82.

SANS, L. M. A.; GUIMARÃES, D. P.; AVELLAR, G. DE; FARIA, C. M. Zoneamento de riscos climáticos para a cultura do milho no Estado da Paraíba. EMBRAPA, Zoneamento de Riscos Agrícolas do Brasil, Monitoramento Agrometeorológico e Previsão de Safras. 2002. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/490414/1/Circ82.pdf>. Acesso em: 12 de outubro de 2021.

SANTOS, A. S. R. M. DOS; MAURO, T. L.; SOUZA, L. A. DE; SENIGALIA, R. L. C.; CASTRO, D. A.; SANTOS, E. S. DOS. Métodos de classificação supervisionada aplicados no uso e ocupação do solo no município de Presidente Médice-RO. Biodiversidade, v.18, n.1, p.150-159, 2019.

SANTOS, D. C. DOS; FARIAS, I.; LIRA, M. DE A.; SANTOS, M. V. F. DOS; ARRUDA, G. P. DE; COELHO, R. S. B.; DIAS, F. M.; MELO, J. N. DE. Manejo e utilização da palma forrageira (*Opuntia e Nopalea*) em Pernambuco. Recife: IPA, 2006. 48p. (IPA. Documentos 30).

SANTOS, D. C.; SANTOS, M. V. F.; FARIAS, I.; DIAS, F. M.; LIRA, M. A. Desempenho produtivo de vacas 5/8 Holando/Zebu alimentadas com diferentes cultivares de palma forrageira (*Opuntia e Nopalea*). Revista Brasileira de Zootecnia, v.30, p.12-17, 2001.

SANTOS, G. O.; HERNANDEZ, F. B. T.; ROSSETTI, J. C. Balanço hídrico como ferramenta ao planejamento agropecuário para a região de Marinópolis, noroeste do estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v.4, n.3, p.142-149, 2010.

SANTOS, L.; SILVA, E. A. Carta de trafegabilidade do terreno usando SIG e imagem de alta resolução. In: Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário, 2004, Florianópolis. Anais...Florianópolis, 2004.

SENTELHAS, P. C.; MONTEIRO, J. E. B. de A. Agrometeorologia dos cultivos: informações para uma agricultura sustentável. In: MONTEIRO, J. E. B. de A. (Org.). Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola. Brasília, DF: INMET, 2009. v. 1, p. 5-15.

SETTI, A. A. Programa de suporte técnico à gestão de recursos hídricos. Módulo 1: Política, planejamento, gerenciamento de recursos hídricos e organização institucional no Brasil e em nível internacional. In: Curso de especialização por tutoria à distância em instrumentos jurídicos, econômicos e institucionais para o gerenciamento de recursos hídricos. Brasília: ABEAS/UFPB, 1999. 300p.

SHAHBAZI, F.; ROSA, D. DE LA. Towards a new agriculture for the climate change Era in West Asia, Iran. In: *Climate Change and Variability*. SIMARD, S. W.; AUSTIN, M. E. InTech, 2010. 487p.

SILVA, A. B. DA; AMARAL, A. J. DO; BARROS, A. H. C.; ACCIOLY, L. J. DE O.; SANTOS, J. C. P. DOS; ARAÚJO FILHO, J. C. DE; OLIVEIRA NETO, M. B. DE; PARAYBA, R. DA B. V.; GOMES, E. C. Potencial pedoclimático do Estado de Alagoas para a cultura do milho em manejo com alta tecnologia, manejo C e cenário chuvoso regular. In: Congresso Nacional de Milho e Sorgo, 29, 2012, Águas de Lindóia. Anais...Águas de Lindóia, 2012.

SILVA, D. S. DA; MOURA, F. R. DE; SILVA, M. A. S. DA; SILVA, A. A. G. DA. Avaliação do efeito espacial na produção do milho no sertão sergipano. *Brazilian Journal of Development*, v.5, n.10, p.20677-206701, 2019.

SILVA, S. C. DA; STEINMETZ, S. Cultivo do Feijoeiro Comum. Clima. Embrapa Arroz e Feijão. *Sistemas de Produção*, 2. Versão eletrônica, 2003. Disponível em: <https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br.htm>. Acesso em: 20 de outubro de 2021.

SILVA; A. B. DA; AMARAL, A. J. DO; BARROS; A. H. C.; ACCIOLY, L. J. DE O.; SANTOS, J. C. P. DOS; ARAÚJO FILHO, J. C. DE; OLIVEIRA NETO, M. B. DE; PARAYBA, R. DA B. V.; GOMES, E. C. Potencial pedoclimático do Estado de Alagoas para a cultura do milho em manejo com alta tecnologia, manejo C e cenário chuvoso regular. In: Congresso Nacional de Milho e Sorgo, 29, Águas de Lindóia, 2012. Anais...Águas de Lindóia, 2012.

- SILVEIRA, A. L. L. Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). Hidrologia: ciência e aplicação. São Paulo: EDUSP, 2001. p.35-51.
- SINGH, A. Soil salinization management for sustainable development: A review. *Journal of Environmental Management*, v.277, e111383, 2021.
- SIQUEIRA, R. Sistemas de preparo em diferentes tipos de coberturas vegetais do solo. 191f. Tese (Doutorado). Universidade Estadual Paulista. Botucatu, 1999.
- SMITH, M. The application of climatic data for planning and management of sustainable rainfed and irrigated crop production. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.103, n.1–2, p.99-108, 2000.
- SNYMAN, H. A. Root distribution with changes in distance and depth of two-year-old cactus pears *Opuntia ficus-indica* and *O. robusta* plants. *South African Journal of Botany*, v.72, p.434-441, 2006.
- SOARES, J. M.; LEÃO, P. C. de S. (Ed.). A vitivinicultura no semiárido brasileiro. Brasília; Petrolina: Embrapa Informação Tecnológica; Embrapa Semiárido, 2009. 756p.
- SOUSA, A. R. DE; SILVA, A. B. DA; ACCIOLY, L. J. DE O.; LIMA E SÁ, V. A. DE; NUNES FILHO, J.; SIQUEIRA, S. M. Avaliação do potencial das terras do município de Aliança-PE para uso com irrigação. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 34, 2013, Florianópolis. Anais...Florianópolis, 2013.
- SOUSA, L. G. de. Análise de desempenho das culturas agrícolas da Paraíba. 214f. Dissertação (Mestrado em Economia Rural). Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2001.
- SOUSA, R. F. DE; MOTTA, J. D.; GONZAGA, E. DA N.; FERNANDES, M. DE F.; SANTOS, M. J. DOS. Aptidão agrícola do assentamento Venâncio Tomé de Araújo para a cultura do sorgo (*Sorghum Bicolor - L. Moench*). *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, v.3, n.2, 2003.
- SOUZA, J. O. P. DE; SANTOS, A.; OLIVEIRA, H. C. DE. Capacidade de ajuste às mudanças no regime hidrológico de um rio intermitente: estilos fluviais no alto curso do rio Paraíba. *Caminhos de Geografia*, v.24, n.96, p.88–100, 2023.
- SOUZA, L. D.; SOUZA, L. S. Clima e solo. In: MATTOS, P. L. P.; GOMES, J. C. O cultivo da mandioca. Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical. Circular Técnica, 37. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, 2000. p.11-13.
- SOUZA, L. DA S.; MEDEIROS, E. S. DE; GALBETTI, M. V.; BICALHO, C. C.; SANTOS, C. A. C. DOS; SHINMA, T. A.; SILVA, A. Q. DA; OLIVEIRA, L. A. DE. Modelagem Espacial de Chuvas Intensas no Estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.37, n.3, p.373-383, 2022.

- SOUZA, W. M. Alterações dos elementos climáticos no Estado de Pernambuco. 104f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Universidade Federal da Paraíba. Campina Grande, 2001.
- STEELE, J. G. Soil survey interpretation and its use. Roma, FAO, 1967. 68p. (Soil Bulletin, 8).
- SUDENE. Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste. Dados pluviométricos mensais do Nordeste – Paraíba. Série Pluviometria 2. Recife. 1990.
- TABOSA, J. N.; REIS, O. V. DOS; BRITO, A. R. M. B.; MONTEIRO, M. C. D.; SIMPLÍCIO, J. B.; OLIVEIRA, J. A. C. DE; SILVA, F. G. DA; NETO, A. D. A.; DIAS, F. M.; LIRA, M. A.; FILHO, J. J. T.; NASCIMENTO, M. M. A. DO; LIMA, L. E. DE; CARVALHO, H. W. L. DE; OLIVEIRA, L. R. DE. Comportamento de cultivares de sorgo forrageiro em diferentes ambientes agroecológicos dos Estados de Pernambuco e Alagoas. Revista Brasileira de Milho e Sorgo, v.1, p.47-58, 2002.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719p.
- TARDIN, F. D.; RODRIGUES, J. A. S.; COELHO, R. R. Cultivo do Sorgo. Cultivares. Embrapa Milho e Sorgo. Sistema de Produção. 2a. Versão Eletrônica. 6ª edição. 2010. Disponível em: http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/sorgo_6_ed/cultivares.htm. Acesso em: 17 de março de 2021.
- TUCCI, C.E.M. (Org.) Hidrologia: ciência e aplicação. 2. ed. Porto Alegre: Editora da Universidade: ABRH, 1997. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos; v.4).
- TUGRUL, K. M. Soil Management in Sustainable Agriculture. In: HASANUZZAMAM, M.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; FUJITA, M.; NOGUEIRA, T. A. R. Sustainable Crop Production. IntechOpen, 2020. 338p.
- TURRAL, H.; SVENDSEN, M.; FAURES, J. M. Investing in irrigation: Reviewing the past and looking to the future. Agricultural Water Management, v.97, n.4, p.551-560, 2010.
- TYSON, J. M. Quo vadis - sustainability? Water Science and Technology, v.32, n.5-6, p.1-5, 1995.
- USA. Department of Interior. Bureau of Reclamation. Reclamation manual: irrigated land use: land classification. v.5. part. 2. Denver, 1953. 54p.
- VALVERDE, M. C.; MARENGO, J. A. Extreme Rainfall Indices in the Hydrographic Basins of Brazil. Open Journal of Modern Hydrology, v.4, n.1, p.10-26, 2014.
- VAREJÃO-SILVA, M. A.; BARROS, A. H. C. Zoneamento de aptidão climática do Estado de Pernambuco para três distintos cenários pluviométricos. Governo do Estado de Pernambuco. Secretaria de Produção Rural e Reforma Agrária. Recife, 2002. 51p.
- VIEIRA JÚNIOR, P.A.; BUAINAIN, A. M.; DOURADO NETO, D.; GRUNDLING, R. D. P. Irrigação: o próximo salto da agricultura brasileira. In: PAOLINELLI, A.; DOURADO NETO,

D.; MANTOVANI, E. C. (Org). Diferentes abordagens sobre agricultura irrigada no Brasil: História, Política Pública, Economia e Recurso Hídrico. ESALQ/USP. Piracicaba, 2021. 574p.

VIEIRA, C.; PAULA JÚNIOR, T. J.; BORÉM, A. Feijão: Aspectos gerais e cultura no Estado de Minas. 2.ed. Viçosa. Universidade Federal de Viçosa, 2006. 600p.

WADT, P. G. S.; NÓBREGA, M. S.; ANJOS, L. H. C. Grau de limitação quanto aos impedimentos à mecanização no sistema de aptidão agrícola das terras em nível de propriedade rural. In: Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, 17, 2008. Anais...Rio de Janeiro, 2008.

WALTER, J.; LÜCK, E.; BAURIEGEL, A.; FACKLAM, M.; ZEITZ, J. Seasonal dynamics of soil salinity in peatlands: A geophysical approach. *Geoderma*, v.310, p.1-11, 20128.

WANG, X. Managing Land Carrying Capacity: Key to Achieving Sustainable Production Systems for Food Security. *Land*, v.11, n.4, e484, 2022.

WU, J. Landscape sustainability science: ecosystem services and human well-being in changing landscapes. *Landscape Ecology*, v.28, p.999–1023, 2013.

YAMAZAKI, Y.; RAO, V. B. Tropical cloudiness over the South Atlantic Ocean. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, v.55, p.205-207, 1977.

YAN, W.; ZHONG, Y.; SHANGGUAN, Z. Evaluation of physiological traits of summer maize under drought stress. *Acta Agricultura e Scandinavica*, v.66, n.2, p.133-140, 2016.

ZHAO, J.; YANG, X. Distribution of high-yield and high-yield-stability zones for maize yield potential in the main growing regions in China. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.248, p.511-517, 2018.

ANEXOS

Anexo 1. Linguagem Espaço-Geográfico baseada em Álgebra para classificação do mapa parcial entre o mapa de irrigação dos solos e de capacidade de retenção de água dos solos.

```
{
Tematico t1 ("risco-climaticosolos"), t2 ("irrigacao"), t3 ("potencial-produtivo-agricola");
t1 = Recupere (Nome="riscosolos_rec");
t2 = Recupere (Nome="classes irrigacao_mediopb");
t3 = Novo (Nome="irrigacaoxcapretagua",ResX=30,ResY=30,Escala=25000);
t3 = Atribua (CategoriaFim="potencial-produtivo-agricola")
{
"M1":
(t1.Classe == "T1" && t2.Classe == "I3") ,
"M2":
(t1.Classe == "T2" && t2.Classe == "I3") ,
"M3":
(t1.Classe == "T3" && t2.Classe == "I3") ,
"M4E":
(t1.Classe == "AP" && t2.Classe == "I3") ,
"B1":
(t1.Classe == "T1" && t2.Classe == "I4") ,
"B2":
(t1.Classe == "T2" && t2.Classe == "I4") ,
"B3":
(t1.Classe == "T3" && t2.Classe == "I4") ,
"B4E":
(t1.Classe == "AP" && t2.Classe == "I4") ,
"MB1":
(t1.Classe == "T1" && t2.Classe == "I6") ,
"MB2":
(t1.Classe == "T2" && t2.Classe == "I6") ,
"MB3":
(t1.Classe == "T3" && t2.Classe == "I6") ,
"MB4E":
(t1.Classe == "AP" && t2.Classe == "I6")
};
}
```

Anexo 2. Linguagem Espaço-Geográfico baseada em Álgebra para classificação do mapa de potencial para produção agrícola.

```
{
Tematico t1 ("potencial-produtivo-agricola"), t2 ("climatica"), t3 ("potencial-produtivo-
agricola");

t1 = Recuperar (Nome="irrigacaoxcapretagua");
t2 = Recuperar (Nome="milho 75_mediopb");
t3 = Novo (Nome="potencial producao agricola milho",ResX=30,ResY=30,Escala=25000);
t3 = Atribua (CategoriaFim="potencial-produtivo-agricola")
{
"MA1":
(t1.Classe == "MA1" && t2.Classe == "C1") ||
(t1.Classe == "MA2" && t2.Classe == "C1") ||
(t1.Classe == "MA3" && t2.Classe == "C1") ,
"MA2":
(t1.Classe == "MA1" && t2.Classe == "C2") ||
(t1.Classe == "MA2" && t2.Classe == "C2") ||
(t1.Classe == "MA3" && t2.Classe == "C2") ,
"A1":
(t1.Classe == "A1" && t2.Classe == "C1") ||
(t1.Classe == "A2" && t2.Classe == "C1") ||
(t1.Classe == "A3" && t2.Classe == "C1") ,
"A2":
(t1.Classe == "A1" && t2.Classe == "C2") ||
(t1.Classe == "A2" && t2.Classe == "C2") ||
(t1.Classe == "A3" && t2.Classe == "C2") ,
"M1":
(t1.Classe == "M1" && t2.Classe == "C1") ||
(t1.Classe == "M2" && t2.Classe == "C1") ||
(t1.Classe == "M3" && t2.Classe == "C1") ||
(t1.Classe == "MA4" && t2.Classe == "C1") ||
(t1.Classe == "A4" && t2.Classe == "C1") ,
"M2":
(t1.Classe == "M1" && t2.Classe == "C2") ||
(t1.Classe == "M2" && t2.Classe == "C2") ||
(t1.Classe == "M3" && t2.Classe == "C2") ||
(t1.Classe == "MA4" && t2.Classe == "C2") ||
(t1.Classe == "A4" && t2.Classe == "C2") ,
"M3":
(t1.Classe == "MA1" && t2.Classe == "C3") ||
(t1.Classe == "MA2" && t2.Classe == "C3") ||
(t1.Classe == "MA3" && t2.Classe == "C3") ,
"M4":
(t1.Classe == "MA1" && t2.Classe == "C4") ||
(t1.Classe == "MA2" && t2.Classe == "C4") ||
(t1.Classe == "MA3" && t2.Classe == "C4") ,
"M5":
(t1.Classe == "A1" && t2.Classe == "C3") ||
(t1.Classe == "A2" && t2.Classe == "C3") ||
(t1.Classe == "A3" && t2.Classe == "C3") ||
```

```

(t1.Classe == "MA4" && t2.Classe == "C3") ,
"M6":
(t1.Classe == "A1" && t2.Classe == "C4") ||
(t1.Classe == "A2" && t2.Classe == "C4") ||
(t1.Classe == "A3" && t2.Classe == "C4") ||
(t1.Classe == "MA4" && t2.Classe == "C4") ,
"M7":
(t1.Classe == "M1" && t2.Classe == "C3") ||
(t1.Classe == "M2" && t2.Classe == "C3") ||
(t1.Classe == "M3" && t2.Classe == "C3") ||
(t1.Classe == "A4" && t2.Classe == "C3") ,
"M8":
(t1.Classe == "M1" && t2.Classe == "C4") ||
(t1.Classe == "M2" && t2.Classe == "C4") ||
(t1.Classe == "M3" && t2.Classe == "C4") ||
(t1.Classe == "A4" && t2.Classe == "C4") ,
"B1":
(t1.Classe == "B1" && t2.Classe == "C1") ||
(t1.Classe == "B2" && t2.Classe == "C1") ||
(t1.Classe == "B3" && t2.Classe == "C1") ||
(t1.Classe == "M4" && t2.Classe == "C1") ,
"B2":
(t1.Classe == "B1" && t2.Classe == "C2") ||
(t1.Classe == "B2" && t2.Classe == "C2") ||
(t1.Classe == "B3" && t2.Classe == "C2") ||
(t1.Classe == "M4" && t2.Classe == "C2") ,
"B3":
(t1.Classe == "B1" && t2.Classe == "C3") ||
(t1.Classe == "B2" && t2.Classe == "C3") ||
(t1.Classe == "B3" && t2.Classe == "C3") ||
(t1.Classe == "M4" && t2.Classe == "C3") ,
"B4":
(t1.Classe == "B1" && t2.Classe == "C4") ||
(t1.Classe == "B2" && t2.Classe == "C4") ||
(t1.Classe == "B3" && t2.Classe == "C4") ||
(t1.Classe == "M4" && t2.Classe == "C4") ,
"MB1":
(t1.Classe == "MB1" && t2.Classe == "C1") ||
(t1.Classe == "MB2" && t2.Classe == "C1") ||
(t1.Classe == "MB3" && t2.Classe == "C1") ||
(t1.Classe == "MB4" && t2.Classe == "C1") ||
(t1.Classe == "B4" && t2.Classe == "C1") ,
"MB2":
(t1.Classe == "MB1" && t2.Classe == "C2") ||
(t1.Classe == "MB2" && t2.Classe == "C2") ||
(t1.Classe == "MB3" && t2.Classe == "C2") ||
(t1.Classe == "MB4" && t2.Classe == "C2") ||
(t1.Classe == "B4" && t2.Classe == "C2") ,
"MB3":
(t1.Classe == "MB1" && t2.Classe == "C3") ||
(t1.Classe == "MB2" && t2.Classe == "C3") ||
(t1.Classe == "MB3" && t2.Classe == "C3") ||

```

```

(t1.Classe == "MB4" && t2.Classe == "C3") ||
(t1.Classe == "B4" && t2.Classe == "C3") ,
"MB4":
(t1.Classe == "MB1" && t2.Classe == "C4") ||
(t1.Classe == "MB2" && t2.Classe == "C4") ||
(t1.Classe == "MB3" && t2.Classe == "C4") ||
(t1.Classe == "MB4" && t2.Classe == "C4") ||
(t1.Classe == "B4" && t2.Classe == "C4") ,
"MB5":
(t1.Classe == "MA1" && t2.Classe == "C5") ||
(t1.Classe == "MA2" && t2.Classe == "C5") ||
(t1.Classe == "MA3" && t2.Classe == "C5") ,
"MB6":
(t1.Classe == "A1" && t2.Classe == "C5") ||
(t1.Classe == "A2" && t2.Classe == "C5") ||
(t1.Classe == "A3" && t2.Classe == "C5") ||
(t1.Classe == "MA4" && t2.Classe == "C5") ,
"MB7":
(t1.Classe == "M1" && t2.Classe == "C5") ||
(t1.Classe == "M2" && t2.Classe == "C5") ||
(t1.Classe == "M3" && t2.Classe == "C5") ||
(t1.Classe == "A4" && t2.Classe == "C5") ,
"MB8":
(t1.Classe == "B1" && t2.Classe == "C5") ||
(t1.Classe == "B2" && t2.Classe == "C5") ||
(t1.Classe == "B3" && t2.Classe == "C5") ||
(t1.Classe == "M4" && t2.Classe == "C5") ,
"MB9":
(t1.Classe == "MB1" && t2.Classe == "C5") ||
(t1.Classe == "MB2" && t2.Classe == "C5") ||
(t1.Classe == "MB3" && t2.Classe == "C5") ||
(t1.Classe == "MB4" && t2.Classe == "C5") ||
(t1.Classe == "B4" && t2.Classe == "C5")
};
}

```