



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

MÔNICA LARISSA AIRES DE MACÊDO

**IDENTIFICAÇÃO DE AMBIENTES BIOCLIMÁTICOS NA BACIA HIDROGRÁFICA
DO ALTO RIO PARAÍBA, PB, BRASIL**

**JOÃO PESSOA – PB
2020**

MÔNICA LARISSA AIRES DE MACÊDO

IDENTIFICAÇÃO DE AMBIENTES BIOCLIMÁTICOS NA BACIA HIDROGRÁFICA
DO ALTO RIO PARAÍBA

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia do Centro de Ciências Exatas e da Natureza da Universidade Federal da Paraíba como requisito para obtenção do título de Doutora em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Rodrigues Viana de Lima.

JOÃO PESSOA – PB

2022

Catalogação na publicação Seção de Catalogação e Classificação

M141i Macêdo, Mônica Larissa Aires de.

Identificação de ambientes bioclimáticos na Bacia Hidrográfica do Alto rio Paraíba, PB, Brasil / MônicaLarissa Aires de Macêdo. - João Pessoa, 2020.
180 f. : il.

Orientação: Eduardo Rodrigues Viana de Lima.Tese (Doutorado)
- UFPB/CCEN.

1. Bioclimatologia. 2. Ambientes bioclimáticos - RioParaíba. 3.
Armazenamento de água - Solo. 4. Evapotranspiração. 5. Pluviometria. I. Lima,
Eduardo Rodrigues Viana de. II. Título.

UFPB/BC

CDU 551.586(043)

“Identificação de ambientes bioclimáticos na Bacia Hidrográfica do Alto Rio Paraíba, PB, Brasil”
Por

Mônica Larissa Aires de Macêdo

Tese de Doutorado apresentada ao Corpo Docente do Programa de Pós-Graduação em Geografia do CCEN – UFPB, como requisito total para obtenção do título de Doutor em Geografia

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Eduardo Rodrigues Viana de Lima
Orientador

Prof. Dr. Jonas Otaviano Praça de Souza
Examinador interno

Prof. Dr. Richard Marques da Silva
Examinador interno

Prof. Dr. Iêde de Brito Chaves
Examinador externo

Prof. Dr. Luis Antônio Cestaro
Examinador externo

Prof. Dr. Rafael Câmara Artigas
Examinador externo

**Universidade Federal da Paraíba
Centro de Ciências Exatas e da Terra
Programa de Pós-Graduação em Graduação
Curso de Mestrado e Doutorado em Geografia**

Dezembro/2020

Aos pesquisadores caatingueiros que devotam especial atenção e carinho ao nosso bioma, a Caatinga, dedico esta pesquisa.

AGRADECIMENTOS

A minha família, meus parceiros de vida. Pais, irmãos, cunhados e sobrinhos, grata pelo apoio incondicional, pela paciência e compreensão, dados a ausência e o isolamento das horas de estudo.

Ao meu orientador Eduardo Rodrigues Viana de Lima, pela confiança, apoio, amizade, incentivo, ensinamentos e orientação desde o meu mestrado. Os aprendizados são múltiplos, incluindo o exemplo permanente de integridade e profissionalismo.

Ao professor lêde de Brito Chaves, pela colaboração nas estimativas de dados de solos locais, inexistentes na literatura especializada; pelas críticas e definições das propostas iniciais da pesquisa e pelo apoio, incentivo, orientações e amizade, sem dúvida, enriquecedoras para este trabalho e para minha formação acadêmica.

Aos colegas do doutorado, pelo companheirismo e amizade, em especial a Ericson Torres e, a minha querida amiga Glauciene Justino.

A Dayane, prima e amiga, parceira de conversas acadêmicas; pelo apoio, incentivos e pela gentileza de estar disponível nas horas em que necessitei.

Aos colegas e amigos queridos e generosos da Fraternidade Espírita a Caminho da Luz (FECL), pela força e apoio dado no último ano do doutorado. Em especial a Gracinha, Joana Áurea, Ana Cláudia, Maria, Tânia, Angelina e seu Toinho; instrumentos que me fizeram acreditar na força que o trabalho fraternal e o amor ao próximo têm e como estes nos fortalecem, inclusive, em nossa jornada acadêmica.

À Universidade Federal da Paraíba, instituição que me acolheu desde o mestrado.
À CAPES, pela concessão da bolsa de estudo que oportunizou a dedicação exclusiva ao curso e o trabalho de pesquisa.

Às demais pessoas que não foram citadas aqui, mas que, sem dúvida, contribuíram para o desenvolvimento do meu trabalho.

"...o teu trabalho é a oficina
em que podes forjar a tua própria luz."

Emmanuel

RESUMO

Esta pesquisa apresenta uma proposta de modelo descritivo de ambientes bioclimáticos que utiliza três variáveis (armazenamento de água no solo, evapotranspiração potencial e pluviometria) e que pode ser aplicado em áreas geograficamente diversas. Fazendo uso de Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) e da linguagem de programação em R foi possível caracterizar e integrar espacialmente as variáveis do modelo, fazendo uso da técnica de arranjo simples. Baseado no critério de disponibilidade de água às plantas, com a combinação de dados, obteve-se uma classificação com dois níveis categóricos: classe e subclasse de ambientes. As classes de A a E são definidas pelo grau de limitação hídrica; enquanto as subclasses, expressas por índices numéricos de 1 a 5, especificam as contribuições das limitações exercidas por parâmetro do modelo. Da análise dos resultados foi possível concluir que o relevo, apesar de pouco movimentado, tem influência marcante na distribuição espacial das variáveis estudadas. Observou-se uma baixa amplitude média anual de variação térmica, predominantemente entre 22°C e 24°C. A pluviometria anual variou de 300 mm a 800 mm, distribuindo-se de forma gradativa para oeste e obedecendo o aclive da drenagem. O mapa síntese dos ambientes bioclimáticos resultou em 5 classes e 43 subclasses. Da classe A a E foram definidas áreas entre 25 Km² e 2449 Km². A classe E foi considerada com grau de limitação hídrica muito alta, uma vez que a temperatura é elevada devido à depressão da drenagem. De modo contrário, a classe A foi classificada com grau de limitação muito baixa, ocorrendo em condições mais favoráveis de precipitação e evapotranspiração, em cerca de 25 Km² (0,4%) da área estudada. Por fim, é válido destacar que, apesar das limitações existentes, os resultados obtidos mostraram-se menos generalistas, uma vez que permitiram identificar, de maneira mais condizente com a realidade, as paisagens e suas potencialidades, fato com que se espera propiciar suporte adequado a futuras pesquisas.

Palavras-chave: Ambientes bioclimáticos. Capacidade de armazenamento. Vegetação.

ABSTRACT

This research intends to present a proposal for a descriptive model of bioclimatic environments that can use three variables (soil water storage, potential evapotranspiration and pluviometry) and can be applied in geographically diverse areas. Using Geographic Information Systems (GIS's) and the programming language in R, it was possible to characterize and spatially integrate the model variables, the main subject of this research, the same procedures were used, as well as combinatorial simple. Based on the criterion of water availability to plants, with the combination of data a classification was obtained with two categorical levels, class and subclass of environments. The classes from A to E are defined by the degree of water limitation, while the subclasses, expressed by numerical indices from 1 to 5, specify the contributions of the limitations exercised by each parameter of the model. From the analysis of the results, it can be concluded that relief, although not very active, has a notable influence on the spatial distribution of the variables studied. A low average annual range of thermal variation was observed, predominantly between 22 °C and 24 °C. The annual rainfall varied from 300 mm to 800 mm, spreading gradually from west to obeying the slope of the drainage. The synthesis map of bioclimatic environments led to 5 classes and 43 subclasses. From classes A to E, areas between 25 and 2449 km² were defined. Class E was considered to have a very high degree of water limitation, where the temperature is very high due to drainage depression. Conversely, class A was classified with a very low degree of limitation, occurring in more favorable conditions of precipitation and evapotranspiration, in about 25 km² (0.4%). Finally, it is worth noting that despite the existing limitations the results obtained were less generalist since they allowed the identification of landscapes and their potential, a fact that is expected to provide adequate support for future research.

Keywords: Bioclimatic environments. Storage capacity. Vegetation

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização geográfica do domínio das caatingas brasileiras e sua abrangência em relação aos estados.....	23
Figura 2 – Distribuição da pluviometria anual do Nordeste brasileiro com base em normais climatológicas calculadas para o período de 1960 a 1990, com destaque para a delimitação do semiárido.....	27
Figura 3 – Valores de temperatura média mensal e de evapotranspiração potencial obtido pelo método empírico de Thornthwaite para o município de Coxixola, na Paraíba, considerando normais climatológicas de 1960 a 1990	29
Figura 4 – Distribuição das estepes entre as formações vegetais mais importantes da terra, bem como os diagramas bioclimáticos associados	52
Figura 5 – Exemplos dos diagramas bioclimáticos gerados para cada tipo de regime delimitados	53
Figura 6 – Estrutura geral de um SIG.....	61
Figura 7 – Localização da bacia hidrográfica do Alto Curso do rio Paraíba	67
Figura 8 – Caracterização física da bacia hidrográfica do alto curso do rio Paraíba: a) Mapa de altimetria; b) Mapa de solos	70
Figura 9 – Esquema metodológico da espacialização do balanço hídrico climatológico, geração das unidades bioclimáticas e a caracterização da bacia hidrográfica do alto curso do rio Paraíba.....	99
Figura 10 – Solos, grupos formados, descrição dos grupos estabelecidos e abrangência em Km ²	101
Figura 11 – Quantidade de água disponível no solo por perfil estabelecido.....	113
Figura 12 – Mapa da distribuição espacial do nível da capacidade de água disponível no solo da bacia hidrográfica do Alto Rio Paraíba.....	118
Figura 13 – Mapa da distribuição espacial da temperatura média anual do ar	120
Figura 14 – Mapas da distribuição espacial da temperatura mensal e de sua dinâmica ao longo do ano, considerando as normais climatológicas (1970-2000)de Fick e Hijmans (2017)	124
Figura 15 – Mapa da distribuição espacial da evapotranspiração potencial anual..	128

Figura 16 – Temperatura média e Evapotranspiração Potencial mensais para o município de Amparo.....	131
Figura 17 – Mapa da distribuição espacial da evapotranspiração potencial para todos os meses do ano	132
Figura 18 – Mapa da distribuição espacial da precipitação anual	135
Figura 19 – Mapa da distribuição espacial da precipitação para todos os meses do ano	138
Figura 20 – Distribuição das precipitações médias mensais ao longo do ano considerando os municípios selecionados para análise.....	141
Figura 21 – Classes, subclasses, localização e descrição dos ambientes bioclimáticos estabelecidos	151
Figura 22 – Paisagem típica das vertentes do maciço ao sul sudeste da BHARP, ambiente da Subclasse	153
Figura 23 – Paisagem típica das vertentes do maciço ao sul sudeste da BHAP, ambiente da Subclasse C ₅₂₂	156
Figura 24 – Paisagem típica no terço médio da encosta, localizada na área de preservação ambiental das onças, no município de São João do Tigre, ambiente da Subclasse D ₅₃₃	157
Figura 25 – Paisagem do vale (rio da Serra) descendo das vertentes do maciço sul sudeste da BHARP, ambiente da Subclasse C ₃₄₃	158
Figura 26 – Paisagem representativa do ambiente D ₃₅₃	154
Figura 27 – Paisagem representativa do Ambiente da Classe E, retratando a subclasse E ₅₅₅	155
Figura 28 – Paisagem do ambiente da referente Subclasse E ₃₅₅	161
Figura 29 – Área agrícola/pastoril em solo Luvissolo Crômico com formação de pavimento desértico	162

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Parâmetros estatísticos calculados a partir da base da dados gerados través dos perfis modais utilizados para validar a estimativa da umidade volumétrica a -10 kPa (q10) e a -1.500 kPa (q1.500) a partir do conteúdo de areia total (AT) ...	116
Tabela 2 – Lista das famílias e espécies presentes nas áreas amostradas na serra da Engabelada	129
Tabela 3 – Áreas de ocorrência de classes de precipitação anual na BHARP	137
Tabela 4 – Dados de altimetria e de precipitação mensal, estacional e anual de localidades representativas da BHARP	139
Tabela 5 – Descrição dos ambientes bioclimáticos definidos a partir das classes e subclasses estabelecidas considerando a combinação dos mapas de capacidade de armazenamento de água no solo, evapotranspiração potencial anual e precipitação anual	149

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Descrição das Ecorregiões de Veloso et al (2002) e das unidades do ZANE de Silva et al. (1993) utilizada como base espacial de dados.....	40
Quadro 2 – Regimes bioclimáticos para a zona intertropical onde a caatinga se insere	49
Quadro 3 – Capacidade de armazenamento de água no solo segundo solo e cultivo	67
Quadro 4 – Área de ocorrência das classes de solos da Bacia Hidrográfica do Alto Rio Paraíba	68
Quadro 5 – Exemplo de uma matriz relacionada a 5 pixels amostrais.....	73
Quadro 6 – Exemplo de uma matriz relacionada a 5 pixels amostrais e suas respectivas categorias de variáveis.....	74
Quadro 7 – Exemplo de uma combinação de categorias dos vetores (variáveis), do intervalo pré estabelecido e do vetor soma resultante	75
Quadro 8 – Descrição de classes percentuais de cascalho e percentuais médios considerados	82
Quadro 9 – Dados de entrada utilizados para a criação das classes e das subclasses.....	95
Quadro 10 – Exemplo da matriz utilizada para análise do Rstudio	96
Quadro 11 – Classes de solos representativas de cada agrupamento com suas áreas e percentuais de ocorrência na BHARP determinados a partir dos perfis modais definidos .	102
Quadro 12 – Classes de solos representativas de agrupamentos com suas áreas e percentuais de ocorrência na BHARP definidos a partir dos perfis modais de solo tendo como base os dados de Brasil (1972)	111
Quadro 13 – Níveis, classes reais, ponto médio e porcentagens de contribuição da cada classe estabelecida para a capacidade de armazenamento de água no solo, em milímetros	117
Quadro 14 -- Áreas de ocorrência das classes de temperatura média anual na sub-bacia hidrográfica do Alto Rio Paraíba	121
Quadro 15 – Dados de altimetria e de temperatura média mensal, estacional e anual das localidades selecionadas para representar a BHARP	126

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Agência Nacional das Águas	ANA
Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba	AESA
Agência Pernambucana de Água e Clima	APAC
American Standard Code for Information Interchange	ASCII
Capacidade de Armazenamento	CA
Bacia Hidrográfica do Alto Curso do Rio Paraíba	BHARP
Banco de Dados Climáticos do Brasil	BDCB
Complexos Convectivos de Mesoescala	CCM
Evapotranspiração Potencial Mensal	ET _{p_m}
Evapotranspiração Potencial	ET _p
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária	EMBRAPA
Eventos El Niño-Oscilação Sul	ENOS
Fator de Correção	C _m
Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística	IBGE
Japan Aerospace Exploration Agency	JAXA
Linhas de Instabilidade	LI
Modelo Digital de Elevação	MDE
National Aeronautics and Space Administration	NASA
Paraíba	PB
Pressão ao Nível do Mar	PNM
Pluviometria Anual	P _a
Sistemas de Informações Geográficas	SIG
Temperatura da Superfície do Mar	TSM
Tropical Rainfall Measuring Mission	TRMM
Unidades de Paisagem	UP
Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis	VCAN
Zoneamento Agroecológico do Nordeste	ZANE
27Zona de Convergência Intertropical	ZCIT

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	19
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	26
2.1 O domínio das Caatingas	26
2.1.1 Pluviometria e temperatura	28
2.1.2 Solos	32
2.2 Paisagem.....	36
2.2.1 Sínteses naturalistas	37
2.2.2 Classificações bioclimáticas da vegetação.....	43
2.3 Análise numérica e avaliação integrada na Geografia.....	47
2.4 Disponibilidades e limitações de dados para estudos ambientais no semiárido	50
2.5 Sistemas de Informações Geográficas (SIG's) como instrumentos para estudos ambientais.....	52
2.5.1 O software R: principais características e panorama das aplicações.....	54
3 MATERIAIS E MÉTODOS	58
3.1 Identificação da área de estudo	58
3.2 O método utilizado e instrumentos de apoio.....	64
3.2.1 Técnica probabilística Arranjo Simples na identificação de ambientes bioclimáticos.....	65
3.3 Caracterização bioclimática	68
3.3.1 Base de dados	69
3.3.2 Informações cartográficas	70
3.3.3.1 Perfil modal e parametrização de atributos morfológicos	73
3.3.3.1.1 Mapeamento de solos	75
3.3.3.2 Estimativa da capacidade de água disponível do solo	76
3.3.3.2.1 Mapa da capacidade de armazenamento de água disponível no solo	77
3.3.3.3 Evapotranspiração potencial anual	78
3.3.3.4 O método empírico de Thornthwaite	80
3.3.3.5 Pluviometria anual.....	82
3.4 Estrutura do banco de dados implementados no R.....	82
3.5 Análise integrada dos ambientes bioclimáticos.....	83

3.5.1 Estrutura dos dados	84
3.5.2 Classes e Subclasses	85
3.5.3 Estruturação e mapeamento dos ambientes bioclimáticos.....	87
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	94
4.1 Capacidade de armazenamento de água dos Solos	94
4.1.1 Mapeamento dos solos	95
4.1.2 Perfil modal e capacidade de armazenamento de água dos solos	101
4.1.2.1 Capacidade de Armazenamento de Água dos Solos	107
4.2 Evapotranspiração potencial	109
4.2.1 Temperatura	110
4.2.1.1Temperatura média anual.....	111
4.2.1.2 Temperaturas médias mensais.....	114
4.2.1.3 Evapotranspiração potencial média anual.....	119
4.2.1.4 Evapotranspiração potencial média mensal	121
4.3 Pluviometria.....	125
4.3.1 Pluviometria média anual	125
4.3.2 Precipitação média mensal	128
4.4 Ambientes bioclimáticos	133
4.4.1 Ambientes da Classe A.....	134
4.4.2 Ambientes da Classe B	135
4.4.3 Ambientes da Classe C	136
4.4.4 Ambientes da Classe D	137
4.4.4 Ambientes da Classe E	138
4.4.5 Paisagens ilustrativas.....	144
5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	157
6 REFERÊNCIAS.....	162

1 INTRODUÇÃO

A caracterização, o mapeamento e a quantificação dos aspectos físicos do ambiente, tais como os que envolvem a correta compreensão das relações e dos processos direcionados à análise do conjunto de aspectos intrínsecos à dinâmica existente do espaço terrestre, têm como uma de suas finalidades explicar padrões geográficos, desencadeados por forças e características relacionadas ao controle latitudinal e altitudinal sobre os climas, formas de relevo, entre outros. Desse modo, configuram-se em etapas fundamentais e indispensáveis para que se possa mensurar o grau de intervenção antrópica, sendo possível avaliar as demandas necessárias a diversos estudos ambientais, incluindo os que envolvem subsídios para estudos da vegetação e até do manejo e conservação ambiental (SILVA et al., 1993; RODAL et al., 2002; MACÊDO et al., 2015).

No Brasil, é inegável o esforço de diversos pesquisadores e de órgãos como o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), no sentido de viabilizar propostas relacionadas a modelos de classificações integrativas da natureza, tais como as sínteses naturalistas, fonte de estudos na Geografia Física, e até das classificações bioclimáticas da vegetação. Nesses casos, o intuito é de mostrar a dinâmica espacial desencadeada pela integração das variáveis consideradas em um determinado estudo, de modo a caracterizar os diferentes ambientes de uma dada paisagem.

Sobre as sínteses naturalistas, Cavalcante (2013) ressalta, sem desconsiderar os esforços demandados para a concretização e a importância delas para o cenário do semiárido, que é necessário considerar o entendimento de que elas “carecem de uma estrutura lógica para o tratamento da informação, a fim de que os dados sejam relacionados de modo a refletir a realidade estudada” (CAVALCANTE, 2013, p. 25). Ademais, o autor ressalta a complexidade na estrutura metodológica criada, o que faz supor a dificuldade enfrentada na reprodução ou até

a abstração de informações das propostas de sínteses naturalistas por parte de alguns pesquisadores.

No que se refere aos modelos de classificação da vegetação, é evidente a incessante busca de naturalistas e pesquisadores, tanto em contexto nacional quanto em contexto mundial, por propostas que busquem enquadrar a vegetação em distintos grupos de formação. Essa busca abrange, com frequência, bases climáticas, ecológicas, biogeográficas, fisionômicas, estruturais, puramente florísticas, bioclimáticas; tendo em vista uma combinação dessas bases. Como exemplo disso, é possível citar diversos estudos, entre eles os desenvolvidos por Schimper (1935), Koppen (1930), Mueller Dombois e Elleemberg (1974), Withaker (1972), Walter (1986), Holdridge (1987) e Artigas (2004).

Para Souza e Souza (2016), as configurações originais dos modelos de classificação da vegetação não retratam aspectos relacionados aos solos, clima e processo de uso e ocupação do semiárido. Este último é decorrente de séculos de exploração dessa região. Para os autores supracitados, estudar apenas as diferenças fisionômicas, a densidade de cobertura do solo e até da composição de espécies pode, em um primeiro momento, não trazer respostas satisfatórias. Já Macedo et al. (2015), analisando algumas classificações utilizadas para o estado do Ceará, mostram que muitas não condizem com a realidade do ambiente atual, dadas as mesmas observações feitas por Souza e Souza (2016).

Os modelos de mapeamentos ou classificações bioclimáticas mostram as relações espaciais entre o clima e as comunidades vegetais, sobretudo do comportamento espacial e temporal de variáveis como temperatura, umidade e precipitação (GALVÃO, 1967; CRONEMBERGER, 2012; BARBOSA; KUMAR, 2016). Partindo desses aspectos, a construção de um modelo descritivo que envolva variáveis diretamente relacionadas a solos e clima pode oferecer subsídio para estudos da vegetação em meio a tantas outras possibilidades de modelos classificatórios.

No tocante à base de dados necessários à estruturação dos modelos classificatórios, sobretudo aos estudos voltados ao semiárido, muitas vezes os dados provenientes de estações meteorológicas apresentam uma malha escassa e com falha no acervo histórico dos dados. Outro exemplo de limitação de dados é o

da capacidade de armazenamento de água no solo. Como os mapas de solo têm limitações de escala, como é o caso do mapa da Paraíba, um mapa de capacidade de água disponível, gerado a partir de perfis de solo, não contemplaria a variabilidade local de uma região, senão apenas a ocorrência frequente do solo existente em uma dada unidade de mapeamento. Apesar disso, essas são as poucas alternativas em relação à base de dados voltados a estudos do domínio das Caatingas.

Contudo, pode-se afirmar que a aquisição de bancos de dados obtidos via sensoriamento remoto e as estimativas feitas por modelos aliados ao uso de ferramentas de Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) e de linguagem de programação têm, com algum esforço, sanado grande parte das dificuldades da análise do ambiente semiárido. Por outro lado, é importante destacar que isso não ocorreu com as primeiras classificações, anteriores à década de 1990.

Quando se trata de identificar e espacializar os elementos do ambiente, os registros obtidos via sensoriamento remoto podem auxiliar até no preenchimento de falhas em séries históricas de dados de precipitação, tendo em vista o fato de serem capazes de permitir a identificação de determinados elementos do ambiente. Lima, Pinto e Landim (2014) comentam que, devido ao caráter essencialmente espacial e da periodicidade de obtenção dos mesmos, o sensoriamento remoto é um fator importante no estudo da dinâmica ambiental.

Nesse sentido, é imperativo reconhecer os esforços de especialistas, ao longo dos anos, na busca de uma melhora na caracterização e mapeamento das sínteses naturalistas e até mesmo dos mapas de classificação bioclimáticas por exemplo. Entretanto, apesar dos esforços descomendidos, a falta de dados nas mais diferentes escalas e a clareza, sobretudo a local, dos critérios que norteiam a delimitação de tais mapas é amplamente recorrente. Reconhece-se, contudo, que nem sempre é fácil delimitar ambientes que foquem na potencialidade que estes podem oferecer. Além disso, em alguns casos, as regras que norteiam a formação desses mapas são amplamente qualitativas, e, em muitas situações, fica norteada pela visão do pesquisador.

É importante, portanto, em um primeiro momento, desenvolver mapeamentos que efetivem medidas reais e quantitativas em relação ao ambiente que se propõe

estudar. Além disso, é necessário que essas medidas sejam capazes de simplificar a expressividade dos resultados obtidos, além de consistir em um modelo de fácil aplicação. Diante disso, é importante considerar alguns questionamentos: a) é possível estimar dados de capacidade de armazenamento de água no solo, através de dados e adaptando metodologias preexistentes na literatura? b) é possível criar um modelo descritivo com vista a um mapeamento e que possua um rigor mais quantitativo e menos subjetivo na identificação de ambientes bioclimáticos? c) ao estabelecer uma interface entre Sistema de Informações Geográficas (SIG) e análise matemática, é possível criar diferentes arranjos do ambiente que mostrassem a integração das variáveis estudadas? d) diante da complexidade ambiental existente, sobretudo no semiárido, esta estratégia permite identificar de que modo os fatores ambientais utilizados na análise estariam interligados?

Com o intuito de responder aos questionamentos anteriormente expostos, este trabalho pretende considerar a estimativa de dados de capacidade de armazenamento de água no solo, precipitação e temperatura como base para a identificação de ambientes bioclimáticos que possam ser facilmente mapeados e caracterizados utilizando um SIG, a partir de linguagem de programação e a técnica estatística arranjo simples. Procurando mostrar as diferentes possibilidades que os ambientes possuem – frente às variáveis selecionadas para integração e caracterização da paisagem no estudo – espera-se que os resultados obtidos venham potencializar a acuidade da análise ambiental dentro das limitações impostas pela representação da verdade terrestre e face à supressão pelo efeito de escala. Com isso, pretende-se melhorar os procedimentos dos futuros estudos e de trabalhos diagnósticos de ambientes, particularmente de regiões semiáridas.

Nesse sentido, parte-se do princípio de que um modelo descritivo seja capaz de oferecer subsídios ao desenvolvimento de mapeamentos do ambiente, integrar as variáveis utilizadas, associar-se a um sistema de informação geográfica de fácil manipulação, aprimorar e facilitar a estrutura de mapeamento de sínteses naturalistas, com vistas à caracterização da paisagem; e propor subsídios a estudos do ambiente.

Dito isto, a fim de fundamentar ainda mais as suposições levantadas, neste trabalho, definiu-se a Bacia Hidrográfica do Alto Rio Paraíba (BHARP), localizada na

Paraíba por ser considerada uma área representativa da porção semiárida no Nordeste. Diante das considerações anteriormente expostas, salienta-se que o objetivo geral deste trabalho é propor e avaliar um modelo descritivo, visando classificar e mapear ambientes bioclimáticos na bacia hidrográfica do alto Paraíba. Com isso, propõe-se como inovação a introdução da determinação da capacidade de armazenamento da água do solo, utilizando Linguagem de Programação e um Sistema de Informações Geográfica (SIG).

Deste modo, os objetivos específicos são:

- Caracterizar a BHARP, considerando as normais climatológicas de 1970 a 2000, por meio da precipitação, temperatura e evapotranspiração potencial;
- Agrupar e mapear unidades homogêneas com os solos representativos da BHARP;
- Estabelecer perfis modais dos solos representativos dos agrupamentos;
- Gerar e mapear capacidade de armazenamento de água no solo a partir dos perfis modais;
- Estabelecer critérios interpretativos para integração e geração de um modelo de classificação de ambientes bioclimáticos;
- Gerar um modelo descritivo e um mapeamento de unidades bioclimáticas a partir de evapotranspiração potencial, precipitação e capacidade de armazenamento de água no solo.



Fonte: Acervo da autora.

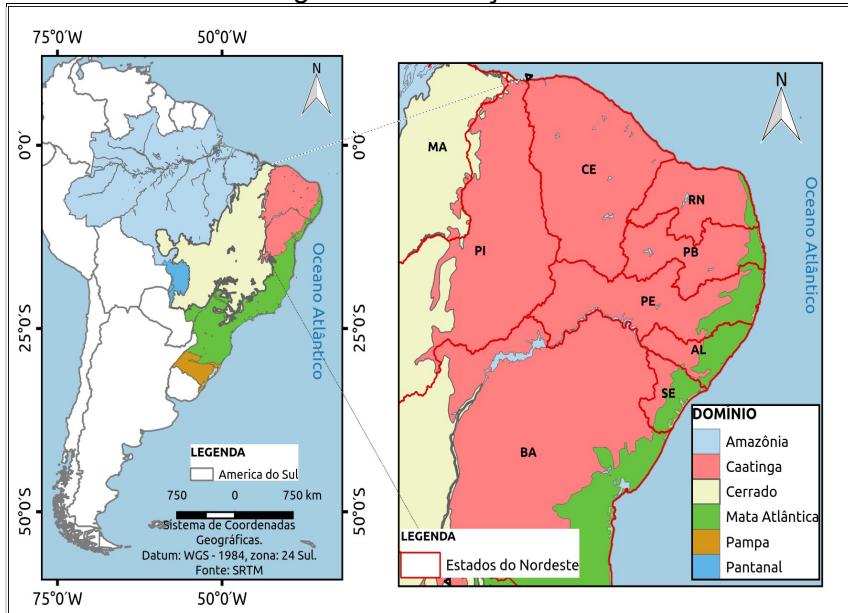
[...] Realmente, entre os agentes determinantes da seca se intercalam de modo apreciável a estrutura e a conformação do solo. Qualquer que seja a intensidade das causas complexas e mais remotas que anteriormente esboçamos, a influência daquelas é manifesta desde que se considere que a capacidade absorvente e emissiva dos terrenos expostos, a inclinação dos estratos, que os retalham, e a rudeza dos ambientes topográficos agravam, do mesmo passo, a crestadura dos estios e gradação extensiva das torrentes [...]. (Trecho do livro *Os Sertões*, de Euclides da Cunha, p. 70).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 O domínio das Caatingas¹

O domínio das Caatingas ocorre na região tropical de clima semiárido, localizada quase que totalmente na região Nordeste do Brasil, numa porção conhecida como Semiárido (IBGE, 2017). Em termos quantitativos, a região em questão tem cerca de 844 mil Km² de área, o equivalente a 11% do território brasileiro. Abrange a totalidade do estado do Ceará, boa parte dos estados da Bahia (BA), Paraíba (PB), Pernambuco (PE), Piauí (PI), Rio Grande do Norte (RN), Alagoas (AL), Sergipe (SE), e pequena parte do norte de Minas Gerais (MG) e do Maranhão (MA) (Figura 1) (PRADO, 2003; IBGE, 2004; MACEDO et al., 2016; CORREA et al., 2019).

Figura 1 - Localização geográfica do domínio das caatingas brasileiras e sua abrangência em relação aos estados



Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados coletados no site do IBGE (2017).

¹ Ab'Saber (2003) ao definir domínio morfoclimático entende que se trata de um conjunto espacial de certa ordem de grandeza territorial. Algo próximo a centenas de milhares a milhões de quilómetros quadrados de área, onde as feições de relevo, tipos de solos, formas de vegetação e das condições climáticas-hidrológicas estejam bem relacionadas.

Os estudos que tratam da origem da Caatinga sugerem que ela é parte de Formações Tropicais Sazonalmente Secas (SDTFs) que ocuparam grandes áreas da América do Sul, em períodos mais secos e frios, durante o Pleistoceno (AB'SABER, 1956; PENNINGTON et al., 2009). Nas palavras de Ab'Saber (1969; 1974), ela é fruto do saldo final de uma série de flutuações climáticas e fitogeográficas do Quaternário. Por isso, ela é dotada de uma tipicidade inerente aos aspectos físicos que foram o seu meio de ocorrência, sobretudo nas áreas *core*, ou seja, as que estão localizadas no interior do domínio das caatingas, representando assim as características intrínsecas a ele.

[...] no interior da área core os padrões de paisagem dotados de maior tipicidade incidem sempre na área principal de exposição dos terrenos antigos, constituídos por gnaisses, granitos e xistos pré-cambrianos. No Nordeste brasileiro os terrenos cristalinos se traduzem por maciços cristalinos, de diferentes ordens de grandeza espacial (Borborema, Baturité, cristas e campos de iselbergs), evolvidos ou interpretados por largas depressões interplanálticas, oriundas de aplanações modernas, referíveis ao Plioceno e ao Quaternário Inferior. (AB'SABER, 1974, pg.3).

Em toda a extensão semiárida, onde ocorre o domínio das Caatingas, desde as áreas mais altas, nas chapadas, até as porções mais baixas, são perceptíveis diferentes nuances de ambientes. Desse modo, a variação entre o relevo, a geologia, a altitude, o clima e, consequentemente, os solos exprimem, muitas vezes, a configuração de suas potencialidades paisagísticas, bem como do padrão de ocorrência da cobertura vegetal e da flora (SIVA et al., 1993; AB'SABER, 2003).

A começar pelo clima, é mercante a deficiência hídrica em boa parte do ano. Esta desencadeada pela baixa pluviosidade, bem como pela forte sazonalidade decorrente de um sistema complexo de formação de chuvas. Quanto às temperaturas, estas giram em torno dos 24 ° C anuais em praticamente toda a área. Disso decorre altas taxas de evapotranspiração, mesmo no período chuvoso. Os solos são derivados de rochas metamórficas, descritas como migmatitos, gnaisses e xistos, além de granitoides. Em áreas pontuais, os solos são provenientes de rochas

sedimentares (ALMEIDA, 1997). A vegetação está adaptada ao clima e às condições dos solos, sendo caracterizada por formações vegetais hipoxerófilas e hiperxerófilas (EITEN, 1983).²

2.1.1 Pluviometria e temperatura

Os trabalhos científicos que tratam dos processos de formação da pluviometria na região semiárida brasileira relatam que elas são caracterizadas como escassas, irregulares, esporádicas e tempestuosas. Desta forma, tais características se dão devido à atuação das células anticiclônicas; as quais, por sua vez, estão relacionadas à dinâmica dos sistemas de circulação global da atmosfera, em conjunto com a posição geográfica da região semiárida, bem como da topografia que a compõe. Esse contexto é amplamente explicado por Nimer (1979), Molion e Bernardo (2002), Ferreira e Mello (2005), Kayano e Andreoli (2009), Reboita et al. (2016) e Penereiro et al. (2018).

Dentre os mecanismos que regem o regime da pluviometria da região semiárida destacados por Ferreira e Mello (2005) estão cinco, a saber: 1) os Eventos El Niño-Oscilação Sul (ENOS); 2) a Temperatura da superfície do mar (TSM) na bacia do oceano Atlântico, Ventos Alísios, Pressão ao Nível do Mar (PNM); 3) a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) sobre o oceano Atlântico; 4) as Frentes Frias; e 5) os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN). Ademais, o autor supracitado também menciona a atuação das linhas de instabilidade (LI), dos

² Trabalhos mais atuais como os de Rito, Arroyo-Rodríguez, Queiroz, Leal e Tabarelli (2017), Silva, Barbosa, Leal e Tabarelli (2017), Ribeiro, Lohbeck, Santos, Arroyo-Rodríguez, Tabarelli e Leal (2019), Barros, Ribeiro, Vanderlei, Paula, Silva, Wirth, Cianciaruso e Tabarelli (2021), Araújo, Souza e Machado (2021) trazem abordagens sobre ambientes semiáridos e a caracterização de um ambiente de caatinga mostrando a sua complexidade de interação entre os seus elementos naturais tais como o regime de chuvas, solos, relevo e vegetação.

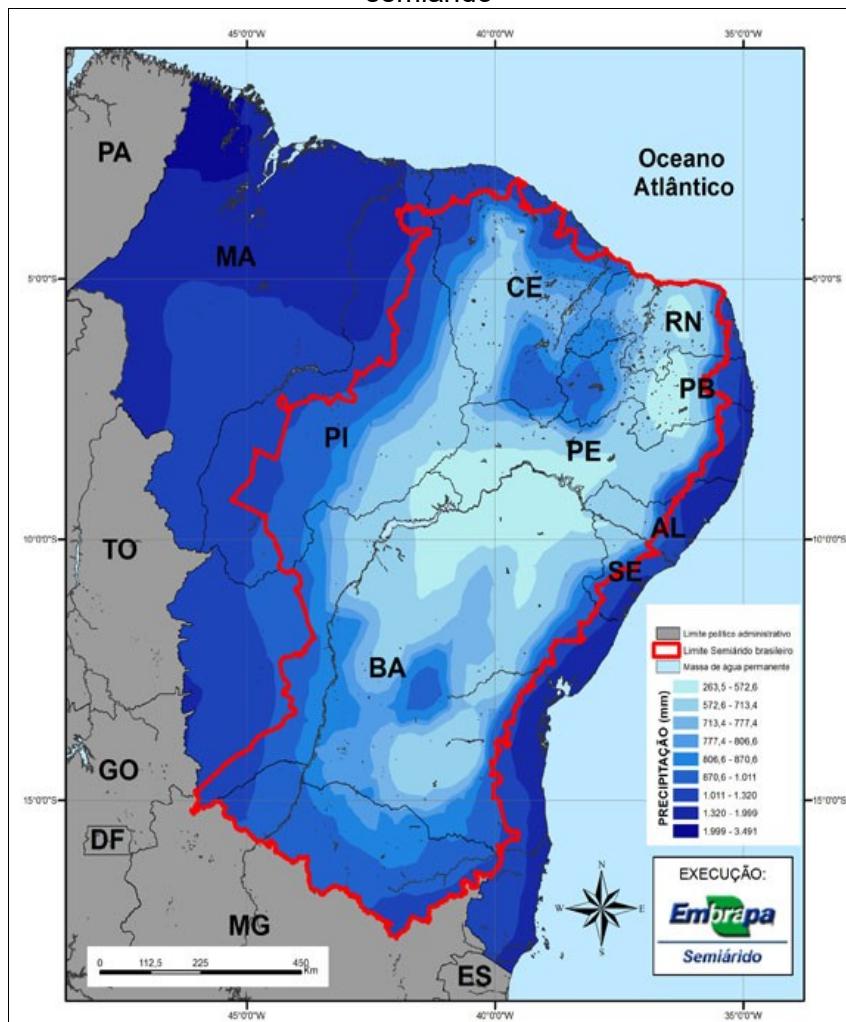
Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM), bem como do efeito das brisas marítimas e terrestres na pluviometria.

Não é ao acaso que a região semiárida recebe essa denominação, pois, tal como descreve Ferreira e Mello (2005), isso se dá justamente pelo fato dela apresentar – no caso da pluviometria, por exemplo – consideráveis variações; tanto no aspecto temporal, quanto no espacial. Nesse caso, os mecanismos anteriormente mencionados corroboram essa dinâmica de diferentes modos e intensidades ao longo do ano. De fato, isso justifica a ideia que Ab'Saber (2003) descreveu quando considerou que os conceitos tradicionais para as quatro estações nessa região se tornam inválidos devido ela estar localizada na zona tropical, o que acaba, por tabela, regendo a dinâmica anteriormente mencionada.

Os aspectos anteriormente descritos proporcionam uma alta porcentagem da pluviometria anual em apenas três meses do ano, conforme apontam Kayano e Andreoli (2009), de modo que: 1) 60 % da pluviometria anual está concentrada de novembro a janeiro, na área que inclui o alto e o médio São Francisco; 2) aproximadamente 60% ocorre de fevereiro a abril, na área que inclui os estados do Maranhão, Piauí, Ceará, além de toda a porção semiárida, localizada a oeste do Planalto da Borborema até o extremo norte da Bahia; e 3) 50 % entre maio e julho, na costa leste do Nordeste Semiárido. Em anos em que ocorrem os Eventos El Niño-Oscilação Sul (ENOS), por exemplo, a intensidade e duração do período da pluviometria dessa da região semiárida é amplamente afetada, corroborando a redução dos percenuais anteriormente descritos (FERREIRA; MELO, 2005).

Considerando a Figura 2, a seguir, é possível observar que a pluviometria, na região semiárida (delimitação com destaque em vermelho), não ultrapassa os 1320 mm.ano^{-1} , a exemplo da Porção Oeste do Litoral. De modo contrário, é visível que, à medida que se avança para a porção mais seca, após a zona do agreste, os totais pluviométricos tendem a diminuir, chegando a alcançar os totais anuais da precipitação entre 263 e 572, 6 mm.ano^{-1} . A escassez das chuvas nessas áreas também está relacionada às depressões, especialmente as situadas com obstáculos a sotavento, a exemplo do sertão do Moxotó, área mais ao sul de Pernambuco e em Cabaceiras, na porção leste do Cariri, área central da Paraíba.

Figura 2 - Distribuição da pluviometria anual do Nordeste brasileiro com base em normais climatológicas calculadas para o período de 1960 a 1990, com destaque para a delimitação do semiárido



Fonte: Moura (2019).

Do mesmo modo que a pluviometria, a temperatura também sofre influência dinâmica dos sistemas de circulação global da atmosfera, da posição geográfica da região semiárida e da topografia que a compõe, embora ela seja pouco estudada, apresente registos de altas temperaturas durante o ano inteiro e possua amplitudes térmicas máximas anuais que giram em torno dos 6 °C, de acordo com Ferreira e Mello (2005).

Autores como Nimer (1979) – que estudou os ritmos das temperaturas na região semiárida – demonstram que, devido esta área estar situada em cerca de 80% de latitudes inferiores a 13° sul, ela contribui para que o Sol atinja essa região; não somente uma, mas duas vezes ao ano. Consequentemente, a região semiárida

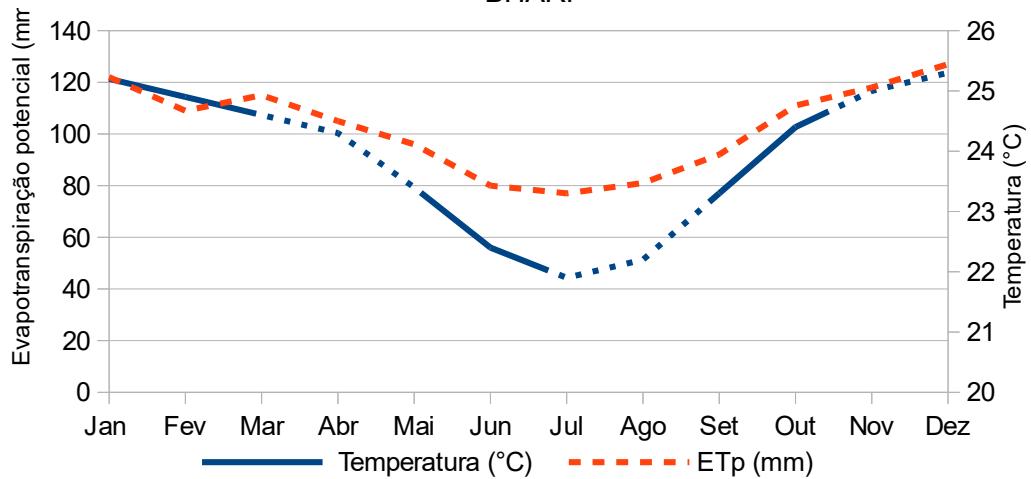
fica submetida a uma forte radiação solar, desencadeando médias anuais que giram em torno dos 26 °C e 28 °C.

Outro fator preponderante está relacionado às isotermas de 26 °C e 22 °C na área semiárida com médias anuais superiores a 24 °C. Este fato revela que a maior parte do Nordeste possui médias anuais muito elevadas. Além disso, não só as médias anuais da temperatura são elevadas, mas as médias dos meses do ano, o que, em outras palavras, implica dizer que, levando-se em conta as temperaturas médias, a variação anual não apresenta grande importância. Este fator reforça ainda mais a grande influência da posição geográfica, pois, conforme descreve Nimer (1979), quanto mais aproximação com o equador, menos importante será a amplitude térmica anual. A exemplo da faixa que se estende do sul da Bahia ao litoral Norte, a amplitude média varia de 5 °C a menos 2 °C.

Tomando como exemplo o Planalto da Borborema, de altitudes acima de 600 a 650 metros a leste e 800 a 850 metros a oeste, é possível encontrar médias anuais inferiores a 20 °C devido ao seu aspecto topográfico.

Na Figura 3, a seguir, são mostrados os valores médios de temperatura e evapotranspiração potencial (ETp) para o período que compreende 1960 a 1990, referente ao banco de dados climáticos do Brasil (BDCB), de acordo com o site da EMBRAPA (2010). Os valores das estimativas da ETp foram obtidos por meio do método empírico Thornthwaite (1948). Destaca-se, na figura em questão, primeiramente, a relação existente entre a temperatura média mensal e a precipitação – embora, entre os meses de janeiro e março, ocorram dois picos diferentes, no sentido de que, em janeiro, o valor da evapotranspiração potencial é de 120 mm.mês⁻¹; ao passo que, em fevereiro, esse valor caia para 110 mm.mês⁻¹ e volte a subir em março 115 (mm.mês⁻¹).

Figura 3 – Valores de temperatura média mensal e de evapotranspiração potencial obtido pelo método empírico de Thornthwaite para o município de Coxixola, cidade localizada na BHARP



Fonte: Banco de dados climáticos do Brasil (EMBRAPA, 2010).

2.1.2 Solos

Segundo explica Jacomine (1996), na região semiárida, ocorre uma grande diversidade de litologias e material originário, relevo e regime de umidade do solo. Estes fatores, por sua vez, proporcionam a presença de diversas classes de solos, apresentando diferentes feições morfológicas e se encontrando em posições distintas na paisagem. Desse modo, a ação direta do clima no ambiente semiárido favorece o intemperismo físico pelo calor, fragmentando as rochas. Entretanto, retarda o intemperismo químico pela limitação de água, reduzindo a taxa de transformação dos minerais e dando origem à formação dos solos lá existentes. Como consequência disso, tem se-solos, em sua maioria, rasos a moderadamente profundos, pedregosos e mal drenados (CUNHA et al. 2010; ARAÚJO FILHO et al., 2017).

Considerando a geologia presente no semiárido, a literatura afirma que ela é bastante variável, embora apresente o predomínio de rochas cristalinas e de rochas sedimentares. No caso das rochas cristalinas, estas ocorrem em menor

proporção do que as sedimentares, estando sobre uma cobertura espessa de sedimentos arenosos, bem como argilosos.

No caso desse trabalho, na área pretendida para estudo, faz-se presente a província estrutural Borborema, onde ocorrem rochas plutônicas ácidas, sobretudo os granitos, e uma menor proporção de granodioritos. Além destas, também é possível encontrar uma mistura de rochas vulcânicas e metamórficas, em diferentes proporções. Ademais, ainda ocorrem domínios mais pontuais de rochas metamórficas, tais como xistos, gnaisses e quartzitos. Nestes podem ser incluídos metarcósios, calcário cristalino e, muito raramente, recobrimentos formando chás no topo de algumas elevações (JACOMINE, 1996).

Ab'Saber (1974) afirma que a província estrutural Borborema é um núcleo cristalino arqueológico que corresponde a áreas do escudo sul-americano oriental, com orientações orogênicas do Atlântico. Ela esteve sujeita a processos erosivos ao longo do Terciário e sua estrutura, embora tenha um segmento de topografia retilínea, apresenta, em sua modelagem, uma estrutura convexa, talhada em litologias do cristalino, com rochas intrusivas e metamórficas oriundas do Pré-cambriano.

Devido ao material de origem, do relevo e da intensidade de aridez do clima, Cunha et al. (2010) revelam que é possível encontrar inúmeras classes de solos no semiárido, representadas por extensões consideráveis de solos jovens, evoluídos e profundos e pouco profundos. Quantitativamente, existem quatro ordens de solo que ocupam cerca de 66% das áreas onde predominam as caatingas, as quais estão distribuídas entre uma porcentagem de 19% de solos Latossolos, 19 % de Neossolos Litólicos, 15 % de Argissolos e 13 % de Luvissolos. Disso resulta um total de 15 tipos de solos que se encontram espacialmente fracionados (CUNHA E GUERRA, 2010).

Em linhas gerais, os Neossolos são solos constituídos por material mineral ou por material orgânico com cerca e 20 cm de espessura, com ausência de qualquer tipo de horizonte B diagnóstico (EMBRAPA, 2018). Além disso, apresentam pouca expressão dos processos pedogenéticos devido à baixa intensidade de atuação desses processos. Estes, segundo Cunha et al. (2010), ainda não foram capazes de desencadear modificações expressivas do material originário, devido a características do próprio material, como consequência da sua resistência frente ao

intemperismo ou composição química e do relevo, impedindo e até limitando a evolução desses solos.

A sequência de horizontes que confere os Neossolos são A-R, A-C-R, A-C_r, A-C, O-R ou H-C, considerando que estes horizontes não atendem aos requisitos estabelecidos nas classes dos Chernossolos, Vertissolos, Plintossolos, Organossolos ou Gleissolos (EMBRAPA, 2018).

Dentre as subdivisões das classes de Neossolos existentes na área pretendida para estudo nesse trabalho estão presentes os Nessolos Flúvicos, os Neossolos Litólicos (NL) e os Neossolos Regolíticos (RR). Dentre essas subdivisões de classes de Neossolos existentes, os Neossolos Litólicos são os mais predominantes. Estes são solos pouco desenvolvidos, muito rasos ou rasos, apresentando solos com horizonte A ou hístico. Além disso, são firmados diretamente na rocha ou sobre horizontes C ou Cr; sobre material composto por 90 % ou mais de sua massa constituída por fragmentos de rocha, em termos de volume. Por isso, são normalmente muito pedregosos e rochosos (EMBRAPA, 2018).

Os Neossolos Litólicos estão presentes em áreas acidentadas de serras e encostas íngrimes, geralmente com problemas de erosão laminar e em sulcos, severa ou muito severa (CUNHA et al., 2010). Ocorrem em praticamente toda a porção semiárida onde a caatinga ocorre, ou seja, geralmente em áreas de relevos ondulados a fortemente ondulados, perfazendo áreas que compreendem um total de 143.374 km², o equivalente a 19,2% do semiárido. Fato curioso é que, em algumas áreas de ocorrência do Neossolo Litólico, a condição do relevo corrobora a presença de mais umidade, proporcionando maior ocorrência de vegetação arbórea, a exemplo do que observou Luguinho (2018), em relevo ondulado, numa área preservada de Caatinga, na Paraíba.

Os Luvissolos variam entre bem e imperfeitamente drenados, apresentando geralmente pouca profundidade, a qual varia entre 60 e 120 centímetros, em uma sequência de horizontes: A, Bt e C. Segundo consta em EMBRAPA (2018), nessas classes de solos predominam grande susceptibilidade aos chamados processos erosivos, que se dá devido ao contraste da textura, cor e/ou estrutura entre o horizonte A e o Bt. Podem ou não apresentar pedregosidade na parte superficial e o caráter solídico ou sódico, na parte subsuperficial. Ademais,

apresenta baixa permeabilidade, possuindo grande representatividade nas áreas mais afetadas pela seca (JACOMINE, 1996).

Não raro de acontecer nas áreas de cristalino do sertão nordestino é a presença de pavimento desértico (revestimento pedregoso) na superfície do solo ou dentro do horizonte A. Jacomine (1996) comenta que estes solos estão em grandes extensões e relacionam-se sobretudo com os biotita-gnaisse e biotita-xisto, em áreas de relevo suave ondulado, em condições de drenagem livre.

No quesito erosão, os Luvisolos são altamente susceptíveis, mesmo que estes estejam situados sobre relevo suave ondulado. Isso ocorre em consequência da coesão e consistência do horizonte superficial, bem como da expressiva mudança textural para o horizonte Bt, segundo descrevem Jacomine (1996) e Cunha et al. (2010).

Os Luvisolos estão presentes em grandes extensões nos estados do Ceará, Paraíba, Pernambuco e Rio Grande do Norte, cujas áreas perfazem um total de 98.938 km², o equivalente a 13,3% da região semiárida (JACOMINE, 1996).

Os Argissolos são solos de profundidade variável e que são fortemente ou imperfeitamente drenados. Quanto à textura, esta varia de arenosa a argilosa, no caso do horizonte A; e de média a muito argilosa, no horizonte Bt. Ressalva-se, todavia, que sempre existe o aumento da argila daquele para esse (EMBRAPA, 2018). Ademais, segundo Cunha et al. (2010), grande parte dos solos que compreendem essa classe têm relevância, no que diz respeito ao incremento no teor de argila; com ou sem decréscimo, do horizonte B para baixo no perfil.

Cunha et al. (2010) afirmam que, no quesito erosão, os Argissilos possuem aspectos inerentes a eles, no sentido de contribuir para que o processo erosivo torne-se fator mais limitante. Isso se justifica pelo fato de os solos que constituem essa classe de solo apresentarem um gradiente textural que geralmente é alto, sobretudo se ocorrer o caráter abrupto. Em outras palavras, quando o teor de argila do horizonte B for muito maior do que o do horizonte A. Ademais, apresentam a presença de cascalhos e relevo mais movimentado, com fortes declividades.

A origem dos Argissolos se dá por meio de diversos materiais de origem e em áreas com variação de relevo suave a montanhoso (EMBRAPA, 2018). Com a mesma morfologia dos Luvisolos, os Argissolos ocorrem em regiões mais úmidas do semiárido e são normalmente mais ácidos e menos férteis. Estes estão presentes

nos estados do Ceará, Bahia, Rio Grande do Norte e Paraíba, perfazendo um total de 110.000 km², o equivalente a 14,7% (JACOMINE, 1996).

Outros solos – tais como os Latossolos, Planossolos e os Vertissolos – também ocorrem no domínio das caatingas. Além destes, há também a ocorrência dos Chernossolos e Plintossolos, em menores proporções. Tomando como exemplo os Chernossolos, Cunha et al.(2010) afirma que estes possuem uma boa drenagem e profundidade que varia entre média e rasa, se fazendo presente nas partes centrais do Ceará, Piauí e Bahia – aproximadamente 1.312 Km², o equivalente a 0,2% da delimitação semiárida.

2.2 Paisagem

Verificou-se, até o momento, como o ambiente é complexo e como ele necessita de uma abordagem integrada para que seja entendido. Dentro dessa ótica, no caso da Geografia Física, estudá-lo sob a perspectiva da paisagem³ proporciona uma excelente via para análise. Entretanto, esse estudo poderá ocorrer por meio dos modelos classificatórios realizados através das sínteses naturalistas e da vegetação; incluindo, nesse último caso, as bioclimáticas. Estas são capazes de estabelecer ferramentas que identificam e delimitam paisagens homogêneas em uma dada região, podendo ser estendidas às paisagens semiáridas.

Assim como as sínteses naturalistas, as classificações bioclimáticas podem ser retratadas de diferentes formas, a depender da metodologia adotada pelo pesquisador. A seguir, serão apresentados alguns exemplos dessas duas modalidades de classificação.

³ A paisagem é termo em constante transformação que tem suas origens vinculadas à geografia européia e que pode ser sintetizado, de uma maneira geral, pelas palavras de Tricart (1981) como “uma dada porção perceptível a um observador onde se inscreve uma combinação de fatos visíveis e invisíveis e interações as quais, num dado momento, não percebemos senão o resultado global” (TIRCART, 1981 in PASSOS, 2003, p. 56).

2.2.1 Sínteses naturalistas

Síntese, segundo o dicionário Houaiss (2013, p. 400), tem como significado uma explicação resumida a respeito de algo; a reunião de vários elementos que formam um todo unificado e coerente; método de demonstração em que se parte dos princípios para as consequências, das causas para os efeitos, das partes para o todo: a síntese opõe-se à análise. No caso da ciência geografia, mais especificamente da linha que aborda o estudo dos aspectos físicos (tanto sob a óptica global quanto sob a local), pode-se afirmar que a intenção primordial de entendimento do que realmente é uma síntese poderá partir do conceito de paisagem. Desse princípio derivam os diferentes olhares sobre as diversas formas de se analisar o espaço, considerado palco das diversas transformações e transfigurações oriundas da relação sociedade e natureza, ocorridas ao longo dos séculos (SUERTGARAY, 2003).

Nesse contexto, as sínteses, modelos de classificação integrativa da natureza, são formas de análise das diferenciações paisagísticas existentes no globo terrestre e têm como base o estudo das relações do conjunto de aspectos relacionados à dinâmica existente do espaço terrestre. Esta é oriunda de interações direcionadas à explicação dos padrões geográficos resultantes de forças e características relacionadas ao controle latitudinal e altitudinal sobre os climas, formas de relevo, entre outros e objetiva propor subsídios em atividades relacionadas a planejamentos da agropecuária, da flora, dos solos, entre outros; conforme relatam Conti (2001), Rodrigues e Silva (2002), Shaw e Oldfield (2007), Vitte (2007) e Ferreira (2010).

A origem desse termo nasce de Vasiliy Vasilievich Dokuchaev, por volta do século XIX, quando esse pesquisador compila uma série de artigos, visando a integrabilidade, numa perspectiva teórica antiga e direcionada à compreensão do espaço terrestre. O conjunto de artigos compilados recebeu o nome de teoria das zonas naturais, costumeiramente chamada de sínteses naturalistas (CAVALCANTI, 2014). Embora exista uma base para a estruturação das sínteses naturalistas, é importante destacar, inicialmente, uma afirmativa muito pertinente de Cavalcanti

(2013) ao chamar atenção para o fato de haver diversas sinonímias: “afiliações terminológicas homogêneas”, oriundas de diferentes regiões e centros de pesquisa. Tais terminologias costumam relacionar-se sobretudo ao olhar e à área objeto de estudo de cada pesquisador.

O motivo de receber diversas sinonímias reside no fato de que as sínteses naturalistas, segundo Cavalcanti (2013), passaram a ser tratadas como objeto de diversas disciplinas. Desse modo, tem-se a Ciência da Paisagem, como descreve Passarge (2013) e Berg (2006); as zonas naturais de Jaimes (1952), a Geoecologia Troll (1968), a Ecologia da Paisagem conforme Leser (1976), a Ecodinâmica de Tricart (1977), a Classificação Ecológica de Terras por Thie e Ironside (1977), as Regiões Naturais de Vasconcelos Sobrinho (1941, 1949, 1970)⁴, o Estudo de Geossistemas de Shochava (1978) e a Geografia de Ecossistemas de Bailey (2009), os domínios morfoclimáticos de Ab’Saber (2003) e até os regimes bioclimáticos de Camara (2003) e tantos outros.

As propostas de sínteses naturalistas idealizadas são normalmente representadas por um mapa, que reúne as informações selecionadas, mostrando sobretudo as correlações existentes entre as variáveis estudadas. Sobre esse aspecto, cabe ressaltar as distintas formas de organização dos dados, que, por vezes, devido aos diferentes olhares dos pesquisadores, leva em consideração diferentes regras para estruturação e análise dos mapas. Dentre as mais evidentes, pode-se considerar, por exemplo, três: 1) a gestão das informações, conforme aponta Cavalcante (2013), sobretudo as relacionadas às fases de coleta, arquivamento, recuperação, classificação, organização e utilização dos dados; 2) a carência de dados com informações mais detalhadas sobre a área objeto de estudo; e 3) a falta de um aparato tecnológico, sobretudo as propostas que foram feitas antes da década de 1990.

A considerar o objeto central desse trabalho, em meio a tantas propostas desenvolvidas, duas podem ser citadas: a proposta de Andrade Lima (1981) e a de Velloso et al. (2002). Ambas se contrapõem às observações de Cavalcanti (2013), anteriormente mencionadas, quando são observas sob a perspectiva das limitações

4 Cavalcante (2013) explica que, com o intuito de tornar a sua metodologia uma linguagem mais acessível, Vasconcelos Sobrinho se esquia de explicitar os pressupostos metodológicos que nortearam a sua classificação.

de dados e aparatos tecnológicos disponíveis na época do desenvolvimento de cada uma.

Apesar de a sua especialidade ser botânica, sobretudo a florística, o professor Dardano Andrade Lima elaborou, em 1981, uma classificação de cunho ecológico, levantando a hipótese de que o clima e o solo são fundamentais para a definição do que se poderia chamar de padrões da vegetação no domínio das caatingas. Tais padrões foram definidos por ele através de seis grandes unidades, tendo como base o índice xerotérmico. Disso derivou a proposta de considerar, dentro dessas seis grandes unidades, a identificação de 12 tipos de caatinga. Os resultados dos índices xerotérmicos calculados, foram espacializados a uma escala de 1:250.000, envolvendo uma área de aproximadamente 800 mil Km², ocupando toda a porção semiárida do nordeste brasileiro.

Sobre a classificação elaborada por Andrade Lima (1981), é importante destacar a grande dificuldade enfrentada pelo pesquisador ao se deparar com os dados necessários à sistematização da sua pesquisa, o que acabou generalizando os seus resultados. A escala dos dados disponíveis possibilitou trabalhar apenas com mapas macroclimáticos, sendo, com isso, possível gerar o índice xerotérmico, embora, em campo, tenha sido evidente a relação com os solos e a vegetação.

Mesmo com todas as lacunas relatadas por Andrade-Lima (1981) o seu trabalho se tornou um subsídio para diversos outros desenvolvidos no âmbito do domínio das Caatingas, a exemplo da proposta de conservação da biodiversidade elaborada por Rodal, Sampaio e Giuliet (2002). O objetivo principal foi traçar a relação entre as comunidades vegetacionais do semiárido brasileiro e o Zoneamento Agroecológico do Nordeste (ZANE) de Silva et al. (1993), mais precisamente entre as unidades de paisagem e as unidades geoambientais definidas pela EMBRAPA.

Rodal et al. (2002) propõem uma correlação entre as unidades e os tipos de caatinga de Andrade-Lima (1981), as unidades de paisagem e as unidades geoambientais de Silva et al. (1993). De acordo com os autores que estabeleceram a proposta de conservação, algumas unidades e tipos de caatinga foram abstraídos por não estarem em correlação com a idealização do ZANE (escala 1:2.000.000).

Cabe destacar que, no ZANE, a proposta de zoneamento foi baseada no agrupamento dos tipos de solos existentes e, apesar dos esforços descomedidos em campo por parte dos pesquisadores que trabalharam nesse projeto, uma lacuna na

gestão da informação se torna evidente. O trabalho elaborado por Correa et al.(2010), baseando-se em informações morfoestruturais, revela que os limites do Planalto da Borborema, mais precisamente no Nordeste Ocidental do Brasil, há uma diferença discrepante de seus resultados em relação aos limites traçados por Silva et al. (1993), tendo como base o agrupamento de solos. Vale ressaltar que, no ZANE, o Planalto da Borborema é retratado como uma Unidade de Paisagem que é dividida ao meio pela Depressão Sertaneja.

O modelo designado para a estruturação das ecorregiões é constituído por dois níveis hierárquicos, em que o primeiro foi determinado pelos limites do Bioma Caatinga (caracterizado pelo contorno da região semiárida do Brasil) e o segundo tem como roteiro as ecorregiões. Valendo ressaltar, ainda, que a proposta de representatividade espacial é a mesma do ZANE e, por isso, também foi considerado o mapa de solos. Nesta ocasião, a solução espacial encontrada para a representação das ecorregiões baseou-se no conceito do geógrafo Robert G. Bailey e nos dados do ZANE, alterando-se os limites de algumas das Unidades de Paisagem (UP) de modo que fosse conveniente para representar as variações ecológicas.

Salienta-se que a proposta de ecorregiões idealizadas por Veloso et al. (2002) fez uso de SIG's em algumas fases do desenvolvimento do trabalho, a exemplo das diferenças discrepantes dos mapas mostrando mais riquezas de detalhes. Ao contrário disso, na proposta de Andrade Lima (1981), o mapa do índice xeritérmico possivelmente foi feito de maneira manual.

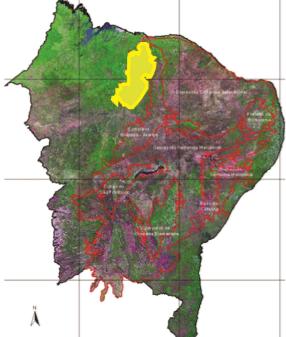
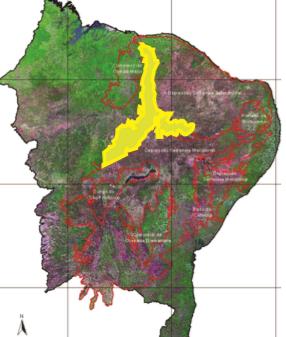
Para além da geografia, a proposta das sínteses naturalistas também ocorre em trabalhos de referência, como é o caso de um estudo idealizado pelos agrônomos Clifford Stuart Christian e George Alan Stewart, no início da década de 1950, na região de Katherine-Darwin, Austrália. O objetivo principal desses autores foi propor indicativos, visando o aproveitamento agropecuário e industrial da região estudada. A proposta resultou na divisão da região em 18 áreas. A partir disso, observou-se a expressividade de padrões relacionados a aspectos topográficos, de solo e de vegetação. As áreas, denominadas de land system, foram reconhecidas por fotointerpretação e amostragem de campo.

Em termos espaciais as Ecorregiões foram estruturadas tendo como base o conceito do geógrafo Robert G. Bailey e da base de dados do Zoneamento

Ecológico Econômico do Nordeste. O quadro um mostra a descrição das Ecorregiões de Veloso et al (2002) e das unidades do ZANE de Silva et al. (1993) utilizada como base espacial de dados (Quadro 1).

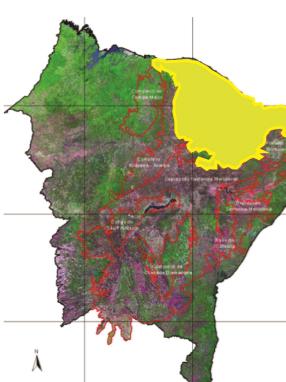
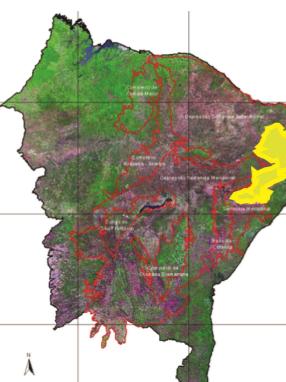
Quadro 1 - Descrição das Ecorregiões de Veloso et al (2002) e das unidades do ZANE de Silva et al. (1993) utilizada como base espacial de dados.

(continua)

Ecorregiões (Veloso et al., 2002)	Características						
	Área	Limites	Clima	UG's do ZANE (Silva et al, 2003)	Geomorfologia / Relevo/altitude /Solos	Influência	Tipo de Vegetação
 <p>Complexo do campo maior</p> <p>Inclui: Quase integralmente no Estado do Piauí, e em uma pequena porção situada a sudoeste no Estado do Maranhão.</p>	41.420 km ²	<p>É limitada a oeste pela mata dicótilo-palmácea (mata de babaçu) que acompanha grande parte do médio e baixo curso do rio Parnaíba. A nordeste encontra a região de cerrasco da Ibiapaba, onde há modificação de solo. Ao sul e sudeste é limitada pelo cerrado e cerradão, onde há mudança de solo. Ao norte encontra a Depressão Sertaneja Setentrional.</p>	<p>Apresenta clima quente e úmido, tropical chuvoso, com precipitação média anual de 1.300 mm, concentrada em poucos meses entre dezembro e junho. Normalmente apresenta mais de 6 meses secos por ano.</p>	<p>Estão presentes as unidades do Complexo de Campo Maior (R1, R2); Superfícies dissecadas dos vales do Gurguéia, Parnaíba, Itapécuru e Tocantins (G2, G4, G5, G6, G13); Superfícies dissecadas diversas (H2, H3); Chapadas intermediárias e baixas (B3, B4, B6, B10).</p>	<p>Solos sedimentares da Formação Longá, com problemas de drenagem, que formam planícies inundáveis com 50 a 200 m de altitude. Predominam os plintissolos (99.9% da área): solos rasos (mais profundos nas chapadas baixas residuais), mal drenados, de textura média/argilosa, ácidos e de fertilidade natural baixa. Presença de elevações não inundáveis nas planícies, que podem chegar a 650 m de altitude. Longá, Poti, Jenipapo e Parnaíba são seus principais rios, ainda perenes, mas sob risco de intermitência em função das pressões antrópicas.</p>	<p>O principal fator controlador da biota nesta região é constituído pelas inundações periódicas que ocorrem nas planícies de solos sedimentares. Um segundo fator importante é a precipitação relativamente alta (1.200-1.500 mm/ano), concentrada em poucos meses.</p>	<p>Ecótonos cerrado/caatinga e cerrado/mata com vegetação caducifólia e sub-caducifólia estacionais. Vegetação herbácea predominante, com fisionomia lembrando a savana africana, e presença de carnaubais em planícies inundáveis: as savanas de Coperníca. Nas partes mais altas que não são inundáveis há vegetação arbustivo-arbórea com elementos de cerrado.</p>
 <p>Complexo Ibiapaba – Araripe</p> <p>Inclui: localizada sobre as serras do centro-oeste (Araripe) e noroeste (Ibiapaba, ao norte) do bioma, estreita e alongada no sentido N-S, com uma porção leste central. Estende-se pelas fronteiras oeste do Ceará e nordeste do Piauí, pelo sul do Ceará e pela parte central do Piauí em direção ao sul, em forma de "Y" invertido.</p>	69.510 km ²	<p>Está limitada por mudanças bruscas de altitude ao norte e leste onde encontra a Depressão Sertaneja Setentrional, e ao sul pela Depressão Sertaneja Meridional, também com limites de altitude (diferença aproximada de 400 m). A oeste há um declive que na parte mais baixa limita com o cerrado, exceto na extremidade noroeste, onde encontra o Complexo de Campo Maior e onde há modificação de solo e disponibilidade de água.</p>	<p>O clima sobre a Chapada do Araripe é quente e semi-árido, com precipitação média anual de 698 mm no setor ocidental e 934 mm no setor oriental. O período chuvoso ocorre entre dezembro e maio. A Chapada da Ibiapaba tem clima quente e úmido em sua porção oriental e quente e semi-árido em sua porção ocidental, com médias pluviométricas anuais acima de 1.100 mm em ambas. O período chuvoso estende-se por aproximadamente seis meses, ocorrendo entre dezembro e julho. Ao longo do reverso da cuesta o clima vai de tropical a quente e semi-árido, com período chuvoso de outubro a abril e precipitação média anual variando de 725 a 959 mm.</p>	<p>Nesta ecorregião estão presentes as unidades das Chapadas intermediárias e baixas (B2, B4, B5, B9); Chapadas altas (A4, A5, A7, A8); Superfícies dissecadas diversas (H1, H3, H4).</p>	<p>A ecorregião é composta pelas Chapadas da Ibiapaba e do Araripe, e pelo reverso da cuesta 1, a oeste e sul das chapadas, que inclina suavemente para o Piauí e Pernambuco. A leste e norte, em direção ao Ceará, o corte das chapadas é bem abrupto. Sobre as chapadas os solos (principalmente latossolos) são profundos, de fertilidade natural baixa, em geral arenosos e muito bem drenados, a ponto de haver pouca água de superfície. A água infiltrada pelo topo da Chapada da Ibiapaba corre por baixo do solo, emergindo em sua maioria na cuesta voltada para o Piauí. Na Chapada do Araripe, a maior parte das nascentes assim formadas corre para o norte, em direção ao Ceará. Na cuesta, os solos são também arenosos e profundos em sua maioria, porém mais férteis e com mais diversidade de tipos de solo do que sobre as chapadas (areias quartzosas, solos litólicos e latossolos). A altitude varia de 650 a 850 m na Chapada da Ibiapaba, de 700 a 950 m na Chapada do Araripe, e de 100 a 700 m no reverso da cuesta.</p>	<p>Um fator característico é relacionado ao solo arenoso, profundo e pouco fértil. Os fatores ligados à disponibilidade de água incluem um gradiente de precipitação tanto de altitude (sobre as chapadas mais altas a precipitação é maior, geralmente acima de 1.000 mm/ano), quanto de longitude, com maior pluviosidade ao norte da ecorregião (onde existe cerradão) do que ao sul. Há ainda a formação de orvalho nas partes altas das chapadas do Araripe e da Ibiapaba, que contém grande concentração de nascentes.</p>	<p>Nas encostas das chapadas (frente leste da Ibiapaba e frente norte do Araripe) há floresta pluvial, enquanto nos topo das chapadas encontram-se um cerradão que guarda pouca relação com as áreas de cerradão do Planalto Central e nenhuma relação com as áreas de cerradão do sudeste meridional (São Paulo). As demais áreas da ecorregião (toda a faixa oeste) são cobertas por cerrasco, inclusive a faixa ao sul da Chapada do Araripe.</p>

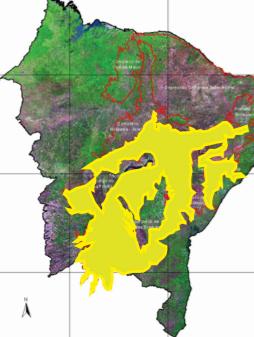
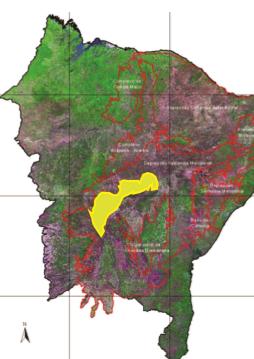
Quadro 1 - Descrição das Ecorregiões de Veloso et al (2002) e das unidades do ZANE de Silva et al. (1993) utilizada como base espacial de dados.

(continua)

Ecorregiões (Veloso et al., 2002)	Características							
	Área	Limites	Clima	UG's do ZANE (Silva et al, 2003)	Geomorfologia/ /Relevo/altitude /Solos	Influência	Tipo de Vegetação	
 <p>Depressão Sertaneja Setentrional Inclui: Ocupa a maior parte do norte do bioma, desde a fronteira norte de Pernambuco, estende-se pela maior parte dos Estados da Paraíba, Rio Grande do Norte e Ceará e prolonga-se até uma pequena faixa ao norte do Piauí, entre o litoral e as ecorregiões do Complexo de Campo Maior e Complexo Ibiapaba-Araripe.</p> <p>206.700 km²</p>		<p>É limitada ao norte pelos Tabuleiros Costeiros (a formação geológica passa para os solos mais profundos da Formação Barreiras e a zona mais costeira tende a receber mais chuva), e chega ao oceano em alguns trechos do litoral do Rio Grande do Norte e Piauí. A leste a ecorregião contorna a parte norte do Planalto da Borborema (limites de altitude), e faz fronteira também com os Tabuleiros Costeiros (mudança de formação geológica e nos níveis de precipitação). Ao sul é limitada pela Chapada do Araripe e pela Serra dos Cariris Velhos (ou Serra de Princesa), assim como a oeste, onde faz fronteira com a ecorregião do Complexo Ibiapaba - Araripe. A ecorregião inclui o Seridó e o Cariri Paraibano (no quadrante sudeste da ecorregião, limitando com o Planalto da Borborema) e a Chapada do Apodi (no quadrante nordeste da ecorregião), com solos distintos, que influenciam a altura da vegetação</p> <p>O clima da ecorregião é quente e semi-árido. Na região mais seca (sertão) o período chuvoso ocorre geralmente de outubro a abril, e de janeiro a junho na região de clima mais ameno (agreste). A chuva nesta ecorregião ocorre de maneira mais concentrada do que no resto do bioma, como se pode ver no mapa de barreira de altitude causada pela Chapada do Máximo Percentual de Contribuição Pluviométrica (Anexo 3), sendo a ocorrência de secas prolongadas mais comum aqui. De modo geral a precipitação média anual fica em torno de 500 a 800 mm, mas contém extremos como o Cariri Paraibano (350 mm/ano).</p>		<p>Nesta ecorregião estão presentes as unidades da Depressão sertaneja (F3, F4, F12, F13, F14, F16, F18, F20, F21, F27, F28, F30, F31, F32, F33, F34); Superfícies cársticas (J10, J11, J12); Tabuleiros costeiros (L9, L13, L14, L15, L16, L17); Maciços e serras baixas (T1, T2, T3); Superfícies dissecadas diversas (H1, H3, H4); Serrote, inselbergs 2 e maciços residuais (U2); Baixada litorânea (M3, M6); Grandes áreas aluviais (N2, N3); Maciços e serras altas (S1); Chapadas altas (A4, A6); Planalto da Borborema (D7); Bacias sedimentares (I5).</p>	<p>Esta ecorregião divide com a Depressão Sertaneja Meridional a paisagem mais típica do semi-árido nordestino: uma extensa planície baixa, de relevo predominante suave-ondulado, com elevações residuais disseminadas na paisagem. Os solos são rasos, pedregosos, de origem cristalina e fertilidade média a alta, mas muito suscetíveis à erosão. Predominam os solos bruns não cárnicos, podzólicos, litólicos e planossolos. A altitude varia de 20 a 500 m na área de depressão, com elevações de 500 a 800 m. Esta ecorregião não contém rios permanentes, mas abrange enclaves de brejos de altitude (bioma Mata Atlântica). Na Chapada do Apodi os solos são mais profundos que no resto da Depressão Setentrional, calcários, mais planos e com água subterrânea. Porém, como é típico de áreas calcárias, não há rede fluvial organizada. A Chapada é uma grande superfície cárstica, onde predominam os cambissolos e os latossolos eutróficos, ambos bem drenados e de alta fertilidade natural. A altitude varia de 20 a 120 m. O Seridó é bastante semelhante ao resto da Depressão Setentrional, de relevo suave- ondulado com elevações residuais. Porém, os solos são pedregosos e tendem a ser mais rasos que o resto da ecorregião, com alta fertilidade natural e grande potencial de minério. Predominam os solos bruns não cárnicos (rasos e moderadamente drenados), mas também ocorrem planossolos e solos podzólicos, além dos solos litólicos das elevações residuais. A altitude varia de 100 a 400 m, com elevações de 400 a 700 m.</p> <p>No Cariri Paraibano predominam os solos bruns não cárnicos, mas são também comuns os solos litólicos eutróficos, pouco desenvolvidos, rasos ou muito rasos e afloramentos de rochas (gnaisses e granitos são os mais comuns), na forma de grandes lajedos ou blocos desagregados, que formam a paisagem típica da região.</p>	<p>A principal característica desta ecorregião é a irregularidade pluviométrica, apresentando deficiência hídrica bastante acentuada na maior parte do ano (embora na Chapada do Apodi não seja tão acentuada, pois os solos retêm mais umidade). A precipitação é mais concentrada que na Depressão Sertaneja Meridional, podendo chegar a 10 meses secos. A ecorregião compreende a área mais seca da caatinga, o Cariri Paraibano, cuja pluviosidade é reduzida devido à barreira geográfica do Planalto da Borborema, e contém também áreas em processo de desertificação (Seridó e a área em torno de Irauçuba, no Ceará, e Cabaceiras e São João do Cariri na Paraíba). Ao contrário da Depressão Meridional, a Depressão Setentrional não possui rios permanentes, mas há a presença importante de corpos d'água temporários (rios e lagoas), com fauna e flora específicas.</p> <p>Os solos rasos constituem também um fator importante, apresentando processos erosivos intensos (em grande parte por pressão humana).</p>	<p>Caatinga arbustiva a arbórea, sobre solos de origem cristalina. Existem áreas remanescentes de caatinga arbórea nas encostas e serras baixas, embora muito degradadas. Os vales continham originalmente caatinga arbórea, e ainda hoje encontram-se remanescentes ciliares (como por exemplo, os carnaubais do Ceará).</p>	
 <p>Planalto da Borborema</p> <p>Inclui: Ecorregião mais a leste do bioma, alongada no sentido N-S em forma de arco, compreendendo partes do Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco e Alagoas. A altitude e o relevo são os fatores principais que determinam os limites da ecorregião. A parte norte do Planalto é circundada pela Depressão Sertaneja Setentrional. A leste, abaixo da Depressão Setentrional, o Planalto encontra a Zona da Mata da Paraíba, Pernambuco e Alagoas. As partes centro-oeste e sul-sudoeste fazem fronteira com a Depressão Sertaneja Meridional, exceto um pequeno trecho onde o Raso da Catarina encontra o Planalto.</p> <p>41.940 km²</p>		<p>Ecorregião mais a leste do bioma, alongada no sentido N-S em forma de arco, compreendendo partes do Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco e Alagoas. A altitude e o relevo são os fatores principais que determinam os limites da ecorregião. A parte norte do Planalto é circundada pela Depressão Sertaneja Setentrional. A leste, abaixo da Depressão Setentrional, o Planalto encontra a Zona da Mata da Paraíba, Pernambuco e Alagoas. As partes centro-oeste e sul-sudoeste fazem fronteira com a Depressão Sertaneja Meridional, exceto um pequeno trecho onde o Raso da Catarina encontra o Planalto.</p> <p>A ecorregião é de clima seco, muito quente e semi-árido. A estação chuvosa vai de fevereiro a maio, e a precipitação média anual varia de 400 a 650 mm, podendo ser mais alta nas encostas onde se formam as matas de altitude.</p>		<p>Nesta ecorregião estão presentes as unidades do Planalto da Borborema (D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7); Serrote, inselbergs e maciços residuais (U2); Maciços e serras baixas (T2, T3); Chapadas altas (A6); Superfícies dissecadas diversas (H1, H3); Depressão sertaneja (F6).</p>	<p>Maciço granítico de relevo movimentado, com solos de profundidade e fertilidade variada (mas em geral férteis), muito suscetíveis à erosão. Predominam os regossolos (medianamente profundos, fortemente drenados, ácidos e de fertilidade média) e os solos podzólicos (profundos, bem drenados, cascalhentos e de fertilidade média a alta). Nos patamares mais suaves ocorrem solos solonetz solodizados (rasos, mal drenados, ácidos e com sérios problemas de sais) e solos litólicos (rasos, argilosos, pedregosos e de fertilidade média). As elevações contêm afloramentos de rocha e solos litólicos; enquanto que as áreas mais baixas e fundos de vales contêm planossolos (rasos, imperfeitamente drenados, argilosos, moderadamente ácidos, baixa fertilidade e com problemas de sais) e solos aluviais (profundos, moderadamente drenados e fertilidade média). Apresenta pouca água subterrânea, com predominância de águas salinas. A altitude varia de 150 a 650 m, com picos de 650 a 1.000 m. Esta ecorregião é recortada por rios perenes de pequena vazão (Paraíba, Capibaribe, Ipojuca, Tracunhaém, etc.), e contém enclaves de brejos de altitude (bioma Mata Atlântica).</p>		<p>Área montanhosa com declives acentuados e relevo bastante movimentado, com presença de afloramentos rochosos de granito. A precipitação é média por conta da posição geográfica: é o anteparo para os ventos de sudeste, constituindo uma barreira para a umidade. É a Borborema que cria as áreas mais secas, que ficam em sua "sombra" (Cariris Velhos) na Depressão Sertaneja Setentrional. Destaca-se também a região do Curimataú, a noroeste do brejo paraibano, que apresenta-se mais seco, com solos rasos e pedregosos, e altitudes mais baixas que o resto do Planalto. Apresenta um grande mosaico de solos que, junto com a umidade mais alta, propicia a variedade de tipologias vegetais. A parte oeste é mais seca que a leste.</p>	<p>Na vertente oriental até a metade do topo apresenta flora característica de área úmida, formando em alguns locais os brejos de altitude. Da metade do topo descendendo pela vertente ocidental existe flora característica de áreas secas. Os tipos de vegetação vão desde caatinga arbustiva aberta a arbórea (com gradações intermediárias), a matas secas e matas úmidas. As matas úmidas (brejos de altitude) estão restritas ao topo e parte da vertente oriental. Os brejos são considerados enclaves de Mata Atlântica, e aparecem como "buracos" no mapa da ecorregião. A caatinga do Curimataú apresenta semelhanças com a caatinga do Cariri Paraibano, sendo principalmente do tipo arbustivo-arbóreo.</p>

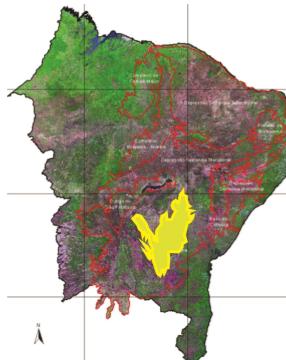
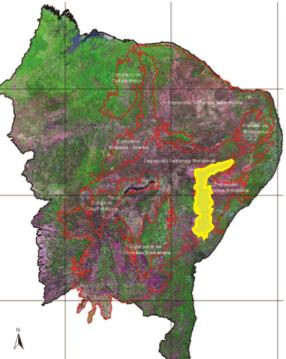
Quadro 1 - Descrição das Ecorregiões de Veloso et al (2002) e das unidades do ZANE de Silva et al. (1993) utilizada como base espacial de dados.

(continua)

Ecorregiões (Veloso et al., 2002)	Características						
	Área	Limites	Clima	UG's do ZANE (Silva et al, 2003)	Geomorfologia/ /Relevo/altitude /Solos	Influência	Tipo de Vegetação
Depressão Sertaneja Meridional 	<p>A oeste faz fronteira com o inicio do Planalto Central, onde começa o cerrado. Ao sul e a leste encontra modificações de solo e precipitação, fazendo limite com o cerrado de Minas Gerais e a Zona da Mata da Bahia, Sergipe e Alagoas. No canto nordeste existe uma barreira de altitude com o inicio do Planalto da Borborema. Três ecorregiões são quase inteiramente (Raso da Catarina) ou inteiramente (Dunas do São Francisco e Complexo da Chapada Diamantina) circundadas pela Depressão Sertaneja Meridional. Durante as discussões para definir os limites das ecorregiões, foram identificadas seis áreas dentro da Depressão Sertaneja Meridional que possuem características particulares. Entretanto, estas áreas foram consideradas suficientemente semelhantes em termos de grandes processos formadores para não constituir ecorregiões separadas como as três mencionadas acima, ou mesmo áreas com distinções particulares, pois a diferenciação entre elas é também menor do que aquela entre a Depressão Setentrional e o Seridó e a Chapada do Apodi, nela contidos.</p> <p>Inclui: Ocupa a maior parte do centro e sul do bioma, limítrofe com todas as outras ecorregiões exceto a do Complexo de Campo Maior. Ao norte e noroeste encontra uma barreira de altitude (Serra dos Cariris e Complexo Ibiapaba - Araripe).</p>	<p>A ecorregião compreende 373.900 km², estando aí incluída a porção disjunta (28.639 km²) pela presença da Ecorregião do Raso da Catarina.</p>	<p>O clima da ecorregião é predominantemente quente e semi-árido, com dois períodos chuvosos distintos principais de outubro a abril nas áreas de sertão (inclusive regiões cársticas) e de janeiro a junho nas áreas de agreste. A precipitação média anual varia de 500 a 800 mm, sendo que nas áreas mais altas do sul da ecorregião pode ultrapassar 1.000 mm/ano.</p>	<p>Nesta ecorregião estão presentes as unidades da Depressão sertaneja (F1, F2, F5, F6, F9, F10, F11, F15, F16, F17, F19, F22, F23, F24, F25, F26, F27, F29, F30); Superfícies cársticas (J1, J2, J3, J5, J6, J7, J8, J9); Chapada Diamantina (C1, C2, C4, C5, C7, C8); Maciços e serras altas (S2, S3); Maciços e serras baixas (T2, T3); Superfícies retrabalhadas (E1, E2, E5, E10, E13); Superfícies dissécanas diversas (H2, H3, H4); Grandes áreas aluviais (N1); Serrotes, inselbergs e maciços residuais (U1, U3); Chapadas intermediárias e baixas (B2, B8); Tabuleiros costeiros (L5, L6, L8); Baixada litorânea (M4); Bacias sedimentares (I11).</p>	<p>Assim como a Setentrional, a Depressão Sertaneja Meridional apresenta a paisagem mais típica do semi-árido nordestino: extensas planícies baixas, de relevo predominante suave- ondulado, com elevações residuais disseminadas na paisagem. Esta ecorregião, entretanto, apresenta uma maior diversidade de relevo em sua metade sul, com relevo acidentado e extensos platôs no entorno da Chapada Diamantina (BA), inclusive áreas de planalto na região de Vitória da Conquista e ao sul de Maracás. Apresenta ainda grandes extensões de áreas que têm sofrido retrabalhamento intenso, principalmente na parte sudeste da ecorregião (a leste da Chapada Diamantina), com relevo disseccado e vales profundos. Os solos são mais profundos que os da Depressão Sertaneja Setentrional, com latossolos (profundos, bem drenados, ácidos e com fertilidade natural baixa) predominando nas partes oeste e sul. Ao norte predominam solos podzólicos, regossolos e solos brunos não cárnicos, todos em geral rasos, cascalhentos ou pedregosos, e de fertilidade natural alta (exceto os podzólicos). Na região entre a Chapada Diamantina e o Raso da Catarina predominam os planossolos (rasos, mal drenados, de fertilidade média e com problemas de sais). Na porção disjunta a leste do Raso da Catarina predominam os solos litólicos (rasos, arenosos, pedregosos, de fertilidade média). As elevações residuais da depressão apresentam afloramentos de rocha ou solos litólicos. Há presença de afloramentos de calcário bambuí na parte sudoeste (Bom Jesus da Lapa, Santa Maria da Vitória, Janaúba, Iuiú) e central (Irecê, Canarana, Junco). Nas áreas retrabalhadas a leste da Chapada Diamantina predominam os solos podzólicos. A altitude varia de 100 a 500 m, com algumas áreas de 500 a 800 m contendo picos acima de 800 m.</p>	<p>Em comparação com a Depressão Sertaneja Setentrional, aqui existe uma maior regularidade da estação chuvosa (menor incidência de secas), e apresenta também uma distribuição de chuvas menos concentrada. Geralmente os solos são mais profundos, principalmente na parte oeste, constituída por latossolos. O relevo é também mais acidentado, contendo rios permanentes, que são os maiores de todo o Nordeste. Existe uma grande freqüência de corpos d'água temporários (rios e lagoas), que propiciam que a flora e fauna sejam mais variadas e muito características. As maiores influências sobre esta ecorregião vêm da Chapada Diamantina e do rio São Francisco.</p>	<p>Caatinga arbustiva a arbórea, de porte mais alto que a da Depressão Setentrional. Nas áreas de afloramentos de calcário bambuí (Irecê, Bom Jesus da Lapa, Santa Maria da Vitória, Janaúba, Iuiú) predominam a caatinga arbórea, e no planalto de Vitória da Conquista (este da Bahia) há mata de cipó. O extremo sudeste da ecorregião, bastante associado ao rio Jequitinhonha, é área de campo rupestre meio seco, com espécies de caatinga mesmo acima de 1.000 m de altitude, com pluviosidade acima de 1.000 mm/ano e menos de seis meses secos. De uma maneira geral, a flora da Depressão Meridional é mais rica em espécies que a da Depressão Setentrional.</p>
Dunas do São Francisco 	36.170 km ²	<p>O limite diagonal sul é quase todo definido pelo rio São Francisco, e a sudoeste limita com a Serra do Estreito na Bahia (limite de altitude). A maior parte da ecorregião fica a oeste do rio São Francisco.</p> <p>Inclui: Ecorregião da parte centro-oeste do bioma, inteiramente circundada pela ecorregião da Depressão Sertaneja Meridional. Os limites respeitam os limites naturais da região das dunas de areias quartzosas, que são disjuntas, conectadas por um trecho de solos arenosos sem dunas, terminando onde os solos se modificam ao norte e oeste para latossolos.</p>	<p>O clima da ecorregião é muito quente e semi-árido, com estação chuvosa de outubro a abril e precipitação média anual de aproximadamente 800 mm na parte sul. A parte norte da ecorregião é mais seca, com precipitação média em torno de 470-500 mm/ano.</p>	<p>Nesta ecorregião estão presentes as unidades da Depressão sertaneja (F10, F15, F22, F23, F24, F27, F29); Dunas continentais (Q1, Q2); Grandes áreas aluviais (N1); Maciços e serras baixas (T2).</p>	<p>As dunas são formadas por extensos depósitos eólicos, podendo ultrapassar 100 m de altura. Os solos são arenosos e profundos, de areias quartzosas, com fertilidade muito baixa. Existem elevações residuais de solos litólicos e afloramentos de rocha. Nas depressões interdunares existem veredas com características hídricas mais favoráveis. Os únicos recursos hídricos provêm das escassas chuvas e dos riachos efêmeros que nascem na região. A altitude varia de 450-500 m na área das dunas propriamente ditas, e de 150-700 m no resto da ecorregião.</p>	<p>As dunas são formadas pelos ventos alísios de sudeste, que movimentam os sedimentos arenosos. A temperatura alta do solo (areia) é um fator importante, mas não há grande diferença de temperatura ambiente entre dia e noite. Na parte mais baixa entre as dunas, de relevo muito plano (Tabuleiro de Remanso, na parte central da ecorregião), o fator mais importante é a inundação periódica, principalmente na região de Remanso.</p>	<p>Caatinga agrupada em moitas, predominantemente arbustiva. As moitas são densas, geralmente com arvoretas e muita macambira (<i>Bromelia laciniosa</i>). Nas áreas de tabuleiro, a caatinga é mais esparsa.</p>

Quadro 1 - Descrição das Ecorregiões de Veloso et al (2002) e das unidades do ZANE de Silva et al. (1993) utilizada como base espacial de dados.

(continua)

Ecorregiões (Veloso et al., 2002)	Características						
	Área	Limites	Clima	UG's do ZANE (Silva et al, 2003)	Geomorfologia / Relevo/altitude /Solos	Influência	Tipo de Vegetação
Complexo da Chapada Diamantina  <i>Inclui:</i> Localizada na parte centro-sul do bioma, alongada no sentido N-S e em forma de "Y", seguindo o alinhamento do divisor de águas da Chapada Diamantina.	50.610 km ²	<p>É inteiramente circundada pela ecorregião da Depressão Sertaneja Meridional. Os limites são explicados principalmente pelas mudanças de relevo, altitude e tipo de solo. É a parte mais alta do bioma Caatinga.</p> <p><i>Inclui:</i> Localizada na parte centro-sul do bioma, alongada no sentido N-S e em forma de "Y", seguindo o alinhamento do divisor de águas da Chapada Diamantina.</p>	<p>Na parte oeste, o clima vai de quente a tropical, com um gradiente crescente de precipitação das menores para as maiores altitudes. Nas áreas mais baixas, a média anual fica em torno de 500 mm, enquanto ultrapassa os 1.000 mm nas partes mais altas. O período chuvoso vai de outubro a abril. Na parte leste o clima vai de tropical a semi-árido, com período chuvoso de novembro a maio e precipitação média de 678 a 866 mm/ano.</p>	<p>Nesta ecorregião estão presentes as unidades dos Maciços e serras altas (S2); Superfícies retrabalhadas (E4, E5, E8); Chapada Diamantina (C1, C3, C6, C8); Superfícies cársticas (J4).</p>	<p>Esta é a ecorregião mais elevada da caatinga, quase toda com mais de 500 m de altitude. O relevo é bastante acidentado, com grandes maciços residuais, topos rochosos, encostas íngremes, vales estreitos e profundos, grandes superfícies planas de altitude e serras altas, estreitas e compridas. As altitudes variam de 200 a 1.800 m, com um pico (Pico do Barbado) de 2.033 m. Nos maciços e serras altas os solos são em geral rasos, pedregosos e pobres, predominando os solos litólicos (rasos, pedregosos e de fertilidade baixa) e grandes afloramentos de rocha. Nos topos planos os solos são em geral profundos e muito pobres, com predominância de latossolos (profundos, bem drenados, ácidos e de fertilidade baixa). Boa parte do leste da Chapada Diamantina é constituída por áreas que têm sofrido retrabalhamento intenso, causando um relevo bastante dissecado com vales profundos, com altitude variando de 200 a 800 m. Nestas áreas predominam os solos podzólicos (medianamente profundos, bem drenados, textura argilosa e fertilidade média) e os latossolos. A Chapada Diamantina contém as cabeceiras de vários rios que correm para a Depressão Sertaneja Meridional.</p>	<p>Gradientes de altitude (inclui os pontos mais altos do NE) que formam "ilhas" de campos rupestres separadas por vales mais baixos de caatinga, processo de isolamento que gera Especiações. Gradiente de temperaturas (apresenta as temperaturas mais baixas do semi-árido). Grande influência de longos períodos secos, contrastando com uma pluviosidade anual acima de 1.000 mm (cheagendo em alguns anos a 2.000 mm - maiores índices pluviométricos do semi-árido) e formação de neblina o ano inteiro. Abriga as nascentes da maioria dos rios perenes da Depressão Sertaneja Meridional, sendo o grande divisor de águas daquela ecorregião. Há influência da Serra do Espinhaço em elementos da flora, e a presença de cavernas é muito importante para a fauna.</p>	<p>Mosaico que inclui caatinga com grande diversidade (abaixo de 1.000 m de altitude), cerrado, campos rupestres, e diferentes tipos de mata (da mais seca à mais úmida). Acima de 1.000 m de altitude, onde existem mais afloramentos rochosos, predominam os campos rupestres (ligados a quartzitos); onde o solo é mais arenoso, predomina o cerrado (solo podzólico). As matas, predominantes nas encostas, são mais ligadas a granitos e gnaiss, e tornam-se mais úmidas à medida em que a altitude aumenta. As matas de caatinga são do tipo floresta estacional caducifólia, com muitas árvores espinhosas, especialmente dos gêneros <i>Acacia</i> e <i>Mimosa</i>, e abundância de <i>Cactaceae</i> e <i>Bromeliaceae</i>. Algumas espécies são marcantes na fisionomia da vegetação, como o umbuzeiro (<i>Spondias tuberosa</i> Arruda) e o juazeiro (<i>Ziziphus joazeiro</i> Mart.). Porém, existe uma diversidade muito grande na flora, e muitos gêneros e espécies endêmicos. A caatinga ocupa grande extensão da ecorregião, em altitudes de até 1.000 m, onde se entremesia com os cerrados de altitude. A caatinga também predomina para o norte, nos vales do rio de Furnas, rio de Contas e rio Paraguaçu, assim como na parte mais a oeste das serras, onde a altura cria uma barreira impedindo a passagem das chuvas.</p>
Raso da Catarina  <i>Inclui:</i> Ecorregião estreita e alongada no sentido N-S, localizada na parte centro-leste do bioma. Os limites respeitam os limites naturais geomorfológicos da bacia sedimentar.	30.800 km ²	<p>Os limites respeitam os limites naturais geomorfológicos da bacia sedimentar. A norte, oeste e leste limita com a Depressão Sertaneja Meridional. Uma ponta nordeste limita com o Planalto da Borborema e a parte sul com o Recôncavo Baiano, na Zona da Mata.</p>	<p>O clima é semi-árido, bastante quente e seco, com precipitação média de 650 mm/ano na parte sul (BA) e período chuvoso de dezembro a julho. Na parte norte (PE), mais seca, a média é de 450 mm/ano e o período chuvoso de janeiro a abril.</p>	<p>Nesta ecorregião estão presentes as unidades das Bacias sedimentares (I3, I4, I6, I7, I8, I9, I10, I11, I12); Depressão sertaneja (F29).</p>	<p>Esta ecorregião é uma bacia de solos muito arenosos, profundos e pouco férteis, de relevo muito plano, mas com canyons na parte oeste (formados por afloramentos de arenito). As altitudes variam de 400 a 600 m na parte sul da ecorregião (BA) e de 350 a 700 m na parte norte (bacia do Jatobá, em PE). Na parte sul (BA) predominam os solos de areia (profundos, excessivamente drenados, ácidos e de fertilidade muito baixa) e latossolos (profundos, bem drenados, ácidos e de fertilidade baixa). Na parte norte (PE) predominam as areias. Existe pouca água de superfície, exceto nas áreas dos canyons.</p>	<p>O Raso da Catarina é uma bacia sedimentar bastante destacada dos ambientes do entorno, com pequena disponibilidade de água de superfície (solos muito arenosos e profundos). Existe um gradiente de precipitação N-S, com maior precipitação no sul. As temperaturas ambiente são muito altas, com diferenças grandes de temperatura entre dia e noite.</p>	<p>Caatinga de areia, predominantemente arbustiva, muito densa e menos espinhosa que a caatinga de solos cristalinos.</p>

Fonte: Silva (2003) e Veloso et al. (2001).

Francisco (2010) considerou uma proposta de classificação e mapeamento de terras para mecanização agrícola do estado da Paraíba, por meio de sistemas de informação geográficas. Para tanto, foram definidas classes de aptidão das terras a partir do grau de limitação (nulo, ligeiro, moderado, forte, muito forte e extremamente forte), tendo como base características como: drenagem, pedregosidade, textura, profundidade efetiva e declividade. Foi gerado um mapa para mecanização de terras, obedecendo a escala do mapa de solos, 1:250.000, por meio do SIG Spring e da linguagem LEGAL, utilizando técnicas de álgebra booleana.

Andrade (1998) elaborou um mapa síntese sob uma perspectiva inteiramente ecológica para classificação de terras de origem canadense, considerada inovadora e pouco utilizada em pesquisas de cunho ambiental. Este autor propôs uma classificação para o território brasileiro, mais precisamente no setor localizado acima do meridiano 44 °W e ao norte do paralelo 16 °S, que corresponde a parte da região Nordeste e do Estado de Minas Gerais.

A proposta de Andrade (1998) envolveu o tratamento estatístico, o qual envolveu 34 variáveis climáticas, correspondentes a 813 unidades de observação. A estruturação dos dados passou inicialmente por um processo de interpolação para só então serem submetidas à análise fatorial. Como resultado a técnica utilizada apontou três fatores, explicando 80% dos dados originais. Através dos fatores, encontraram índices capazes de expressar as características do conjunto de dados utilizados, dentre eles o índice do balanço hídrico e a distribuição da precipitação.

Andrade (1998) utiliza os índices gerados pela análise fatorial para aplicar mais uma técnica estatística chamada análise de agrupamento não hierárquico pelo método convergente, a partir do qual foi possível gerar 9 regiões ecológicas homogêneas e, em seguida, especializadas por meio da interpolação. Com validação dos resultados obtidos foi utilizada a análise discriminante, através da qual encontrou-se um percentual de 93,86% de acerto.

Nesse sentido, as sínteses naturalistas, ao longo dos anos, vêm sendo trabalhadas como forma de compreensão das características relacionadas à dinâmica do ambiente natural. No que se refere à Geografia, sobretudo a Geografia Física, a proposta é buscar a integração de diversas disciplinas científicas, incluindo

a botânica e a climatologia, por exemplo. Uma classificação ou síntese naturalista deve ser elaborada (objeto desse trabalho) com base nessas informações.

2.2.2 Classificações bioclimáticas⁵ da vegetação

No final do século XIX e início do século XX, a vegetação passa a ser caracterizada e configurada a partir de uma abordagem fitoclimática⁶. Dentre os principais precursores dessa linha de pesquisa está Schimper (1935). A sua proposta lançou mão de um olhar mais crítico e detalhista, no que diz respeito à dependência da vegetação em relação à dualidade clima e solo. Segundo ele, analisar apenas a relação entre temperatura e vegetação, com ausência de dados de pluviometria, era insuficiente para descrever a relação de causa e efeito que o clima e o solo proporcionavam, no que diz respeito à adaptabilidade da vegetação aos diferentes habitats do globo. Assim, foi possível compartimentar as categorias climáticas em zonas ecológicas e dividir o território intertropical baseando-se no conceito clássico de formações, conforme cita o IBGE (1991).

O modelo analítico criado por Koeppen (MENDONÇA; DANI Oliveira, 2007) é uma proposta de classificação na qual são definidos diferentes tipos climáticos, nos quais estão diretamente relacionados com os biomas distribuídos pelo globo terrestre.

Para sistematização do modelo analítico criado por Koeppen foram estruturados índices divididos em cinco grandes grupos climáticos compostos por letras maiúsculas (A, B, C, D, E) que correspondem às regiões, distribuídas de

⁵ Nessa pesquisa corroboramos com a perspectiva de que ambiente bioclimático é um conceito que descreve a interação entre os fatores climáticos e a vida (biota) em um determinado local ou região. Essa interação influencia diretamente a distribuição e a adaptação das comunidades biológicas e ecossistemas em resposta às condições climáticas prevalecentes. O conceito de ambiente bioclimático enfatiza a importância da climatologia no estudo da biogeografia, ecologia e biodiversidade de uma área específica. Ele destaca como as variações climáticas, como por exemplo temperatura e precipitação, moldam a distribuição e o comportamento das plantas, animais e outros organismos vivos.

maneira zonal, em faixas latitudinais que vão do Equador aos Pólos, tendo como norte os valores de temperatura. Os subtipos foram representados por letras minúsculas. Com relação às letras minúsculas, tem-se que representam os vinte e quatro subgrupos. Enquanto as letras a, f, m, w, S, W caracterizam a distribuição sazonal da precipitação, as letras a, b, c e d correspondem às características adicionais da temperatura. As regiões áridas são designadas pelas consoantes h e k.

Conforme comentam Mendonça e Danni-Oliveira (2007), mesmo com os méritos atribuídos a essa classificação, ela é alvo de críticas por não apresentar um caráter empírico no seu processo de modelagem. Dentre as críticas destinadas a esse modelo estão a falta de justificativa quanto ao uso de critérios numéricos, o uso de critérios rígidos quanto aos limites climáticos e a ausência da categoria subúmida. Apesar disso, a proposta de Koeppen (1936) serve de base até hoje para pesquisadores que desenvolveram classificações fitoclimáticas. Isto se deu porque Koeppen (1930) buscava sobretudo uma análise indutiva, buscando mostrar que a vegetação estava distribuída conforme as condições climáticas de uma dada região; quando observada sob uma perspectiva macro.

Os diagramas ecológicos elaborados por Walter (1986) representam as zonas climáticas da terra, nas quais são expressas 9 unidades ecológicas que são definidas como zonobiomas. Por sua vez, os zonobiomas estabelecidos são agrupados considerando os fatores solo e vegetação. No contexto dessa classificação, Walter (1986) situou inicialmente a Caatinga dentro do zonobioma equatorial, onde a influência dos ventos alísios e monções, bem como do relevo com inclinações a sotavento e a barlavento, corroboram a dinâmica da distribuição da precipitação. A zona equatorial de Walter (1986) está representada pelas formas mais diversas de vegetação, desde semidesertos até as “pluviisilvas hiperhúmedas” (LIMA, 2012, p.34).

Para elaboração dos diagramas foram considerados por Walter (1986) os seguintes fatores: 1) o padrão anual da precipitação e da temperatura; 2) as estações chuvosas e secas de sua área de estudo, bem como as suas intensidades; 3) a taxa de evaporação; e 4) a observação de períodos de ocorrência ou não de épocas frias no decorrer do ano.

Holdridge (1987) propôs o agrupamento revelando associações entre clima e vegetação. Segundo o autor, as influências atmosféricas e climáticas devem ser consideradas em um único contexto, expressando o que ele denominou de zonas de vida. Como resultado desse agrupamento, Holdridge (1987) desenvolveu um método de classificação climática considerando valores anuais de precipitação, temperatura e umidade. Desse modo, este autor materializou esses resultados em um diagrama retangular que expressa valores de biotemperatura.

A biotemperatura média anual, segundo Holdridge (1987), apresenta valores de temperatura que variam entre de 0 °C e 30 °C, no decorrer do ano. Estas são diretamente influenciadas pela zona latitudinal e altitude, pela precipitação anual e pela evapotranspiração potencial. Segundo o autor, esses fatores podem explicar os padrões de ocorrência da vegetação. Dentro dessa classificação, a vegetação da Caatinga pertence à zona de vida tropical, apresentando um conjunto vegetacional composto por florestas espinhosas tropicais, representadas por cactáceas e bosques tropicais secos, compostos por núcleos de vegetação xerófila.

A classificação biogeográfica de cunho ecológico proposta por Artigas, Batle e Olmo (2004) tem como base os princípios de Huget Villar (1929). Em linhas gerais, tais princípios são geobotânicos e, em outras palavras, procuram mostrar as adaptabilidades das formações vegetais frente aos diversos ambientes formados diante das limitações impostas por fatores mesológicos, como a umidade e a temperatura.

Outro mecanismo teórico utilizado por Artigas, Batle e Olmo (2004) é o fato de as características das formações superficiais⁷ poderem proporcionar, dentro de um mesmo ambiente criado pelas circunstâncias de umidade e temperatura, situações distintas. Uma maneira utilizada por Artigas, Batle e Olmo pelos autores (op. Cit.) para retratar esse mecanismo de análise foi inserir, dentro da classificação por eles proposta, a relação direta entre as formações superficiais (Quadro 3) e as formações vegetais, considerando a capacidade de retenção que o solo possui, por meio da profundidade a que chegam as raízes.

Em um primeiro momento, Artigas (2004) procura estabelecer os regimes bioclimáticos dos domínios zonais da terra em função de características

⁷ Colocar aqui o que seriam formações superficiais

termopluviométricas e da paralização vegetativa das plantas (Quadro 2). Dentro desse contexto, Artigas, Batle e Olmo (2004) consideram que uma faixa de valores pode estabelecer quantitativamente a relação de sobrevivência e adaptabilidade das plantas quanto a habitat e disponibilidade hídrica. No que se refere à Caatinga, é possível enquadrá-la no regime xerófilo, no qual há um condicionamento dominante do fator hídrico. Neste caso, a precipitação mensal está entre 400 e 700 milímetros anuais, a temperatura média varia entre 23 e 29 °C, o valor do índice ombrotérmico de Gaussem varia entre 90 e 20 e o índice de termicidade compensada (ITC) varia entre 550 e 770. O período de paralização vegetativa costuma durar entre 5 e 12 meses, o que, em outras palavras, pode ser interpretada como a estação seca.

O segundo momento está relacionado à caracterização dos ambientes estabelecidos. Para que isso fosse possível, Artigas, Batle e Olmo (2004) fizeram uso de um mecanismo considerado por eles como fundamental. Foram utilizados o balanço hídrico climatológico de Thornthwaite a Matter (1955), bem como o balanço bioclimático de Burgos e Rebollar (1974). A justificativa dada parte do fato de Artigas, Batle e Olmo (2004) considerarem a capacidade de armazenamento de água no solo utilizada no balanço hídrico e a capacidade de retenção útil na aplicação do balanço bioclimático como via de acesso prático à teoria desenvolvida para a ecodinâmica de Tricart (1977) (Figuras 4 e 5).

Quadro 2 - Regimes bioclimáticos para a zona intertropical onde a caatinga se insere.

ZONA	CARACTERÍSTICAS
Intertropical	<p>1. Ombrófila: Formações vegetais que se desenvolvem sem o condicionamento hídrico e térmico. Os totais pluviométricos superam os 1800 mm. Existe excedente de 4 a 12 meses. O período de <i>déficit</i> é inexistente ou pode durar de 1 a 2 meses, apresentando durante estas quantidades significativas de unidades no solo. O índice ombrotérmico está entre 5 e 230. A temperatura média varia entre 23 e 30 °C e o Índice de Termicidade Compensada (ITC) entre 570 a 780. Não há paralisação vegetativa. As espécies são latifoliadas e perenes, dominando as formações de bosques com epífitas e lianas.</p> <p>2. Mesofila: Formações vegetais se desenvolvem em condições ambientais médias. Há excedente, porém não é o suficiente para suprir o ano todo. Os totais pluviométricos anuais estão entre 650 e 1800 mm. O excedente tende a diminuir no decorrer do ano. O <i>déficit</i> hídrico pode prolongar-se, no entanto a umidade do solo permanece durante o período de <i>déficit</i>. O índice ombrotérmico varia de-50 a 50. A temperatura média varia entre 23 a 29°C, com um ITC entre 530 a 770. Não há paralisação vegetativa. As formações de bosques apresentam folha média e pequenas. Algumas esclerófilas. Há a presença de epífitas e bejucos. Pode apresentar espécies de folha caduca, nas áreas que de transição com o regime tropófilo.</p> <p>3. Tropofila: Existe uma descontinuidade na harmonia dos fatores do meio devido à umidade (o <i>déficit</i> hídrico é o condicionamento para a atividade vegetativa que leva a situações de paralisação da seiva). A precipitação está entre 400 e 1300 mm anuais. O excedente pode chegar a até 2 meses, no máximo. Existe paralisação vegetativa por causas hídricas entre 1 a 5 meses que e o <i>déficit</i> hídrico geralmente alcança todo o ano. O índice ombrotérmico está entre-70 a-10. A temperatura média varia entre 23 a 26°C, com uma ITC entre 500 e 800. Predominam as espécies de folhas caducas e na área de transição para o regime xerófilo podem haver plantas espinhosas.</p> <p>4. Xerofila: Existe um condicionamento dominante no fator hídrico do meio. A precipitação mensal está entre 400 a 700 mm anuais. Índice ombrotérmico entre-90 e-20. Não há excedente. A temperatura média varia entre 23 e 29 °C e o ITC de 550 a 770. O período paralisação vegetativa que pode durar entre 5 a 12 meses (a estação seca neste caso será determinada pela duração da paralisação vegetativa. Este período é decorrente do balanço bioclimático). Nesta condição pode-se encontrar duas situações de regimes distintas</p> <p>4.1 Xerófilo: A escassez de água não é extrema e as plantas apresentam espinhos que é tida como uma forma de se proteger da seca. A precipitação está entre 150 a 700 mm anuais. Índice ombrotérmico entre-90 e-55. A temperatura média varia entre 23 e 29 °C, com um ITC entre 550 e 770. O período de paralisação vegetativa está entre 5 e 9 meses. Abarca as situações extremas de tropofilia espinhosa até as etapas quentes. As espécies são predominantemente arbustivas espinhosas.</p> <p>4.2 Hiperxerófilo: A falta de água neste tipo de regime é quase completa. A precipitação está entre 40 a 140 mm anuais. O índice ombrotérmico está entre-100 e-90. A temperatura média varia entre 23 e 26 °C, com um ITC entre 100 e-90. Ela corresponde as áreas de deserto e apresenta períodos de paralisação de 10 a 12 meses. As espécies como as <i>Cacatáceas</i> e as <i>Crasuláceas</i> que vivem nessas áreas apresentam adaptações muito especiais.</p>

Fonte - Adaptado de Artigas, Batle e Olmo (2004).

Quadro 3 - Capacidade de armazenamento de água segundo solo e cultivo.

Profundidade das raízes no solo	Capacidade de campo (água utilizável mm/m)	Profundidade radicular	Capacidade de retenção (água total utilizável mm)
Cultivo com raízes pouco profundas			
Arenoso fino	100	0,50	50
Franco arenoso fino	150	0,50	75
Franco limoso	200	0,62	125
Franco argiloso	250	0,40	100
Argiloso	300	0,25	75
Cultivo com raízes de profundidade melhorada			
Arenoso fino	100	0,75	75
Franco arenoso fino	150	1	150
Franco limoso	200	1	200
Franco argiloso	250	0,80	200
Argiloso	300	0,50	150
Cultivo com raízes de profundas			
Arenoso fino	100	1	100
Franco arenoso fino	150	1	150
Franco limoso	200	1,25	250
Franco argiloso	250	1,00	250
Argiloso	300	0,67	250
Cultivo com raízes de profundas			
Arenoso fino	100	1,5	150
Franco arenoso fino	150	1,67	250
Franco limoso	200	1,50	300
Franco argiloso	250	1	250
Argiloso	300	0,7	200
Bosque fechado			
Arenoso fino	100	2,5	250

Quadro 3 - Capacidade de armazenamento de água segundo solo e cultivo.

(continua)

Franco arenoso fino	150	2	300
Franco limoso	200	2	400
Franco argiloso	250	1,6	400
Argiloso	300	1,2	350

Fonte - Artigas, Batle e Olmo (2004).

Figura 4 – Distribuição das estepes entre as formações vegetais mais importantes da terra, bem como os diagramas bioclimáticos associados.

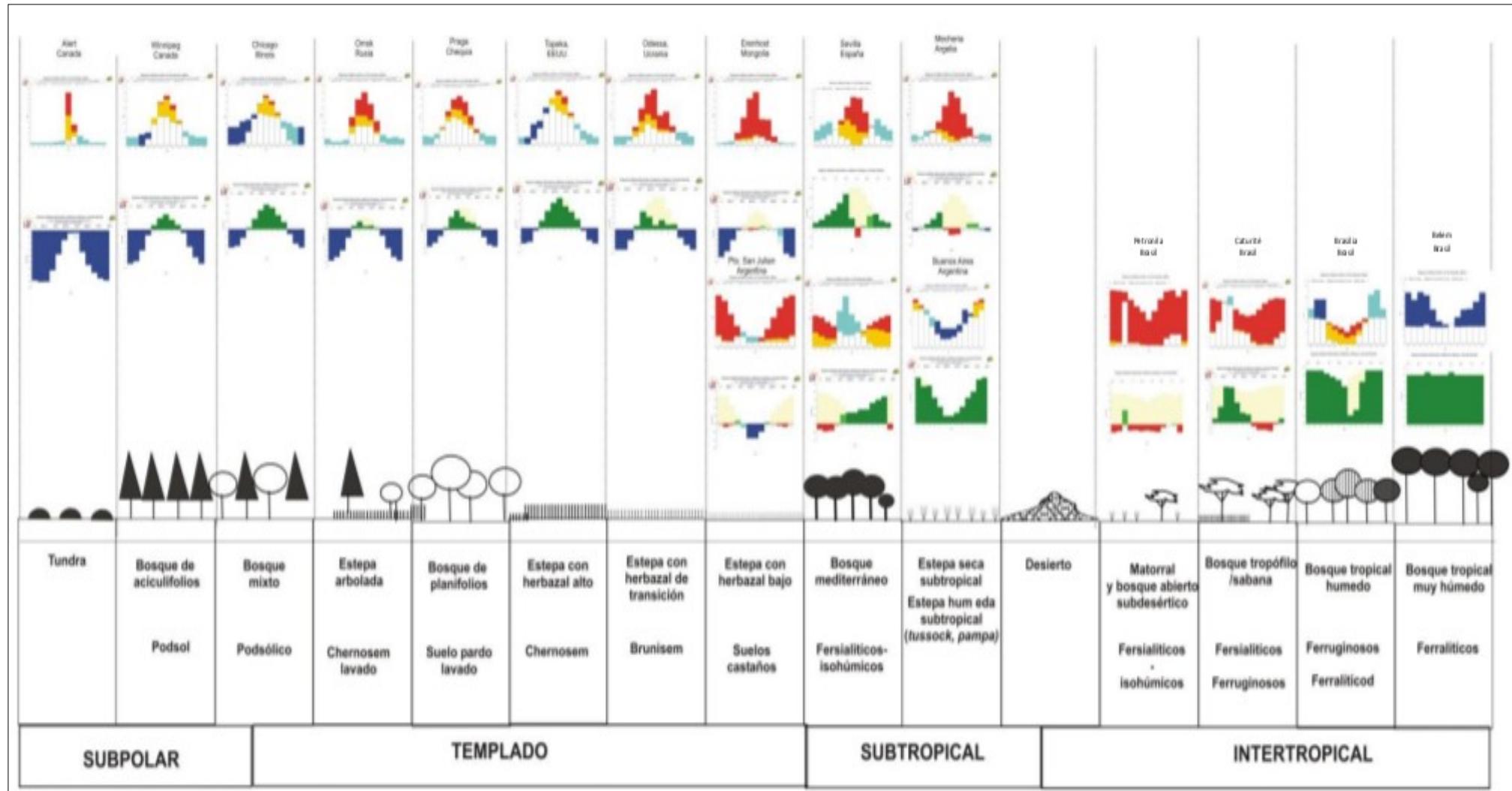
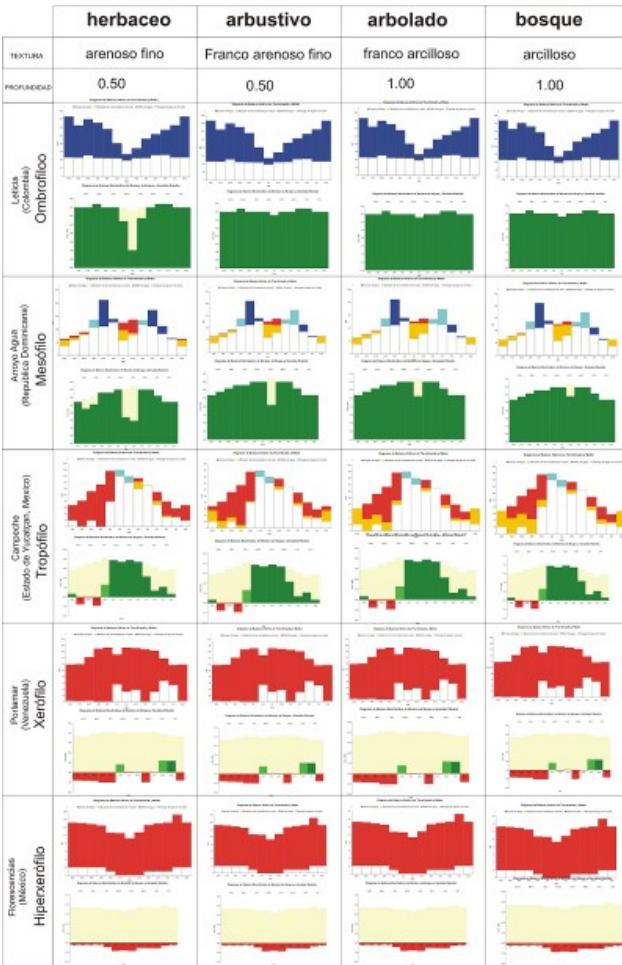


Figura 5 – Exemplos dos diagramas bioclimáticos gerados para cada tipo de regime delimitados



2.3 Análise quantitativa e avaliação integrada na Geografia

Souza (2015) alerta que as discussões e contribuições da Geografia brasileira, via de regra, são tratadas dentro da Geografia Física, no que diz respeito à realização de tratamentos estatísticos e matemáticos que envolvem, por exemplo, a relação entre a vegetação e os elementos abióticos. Além disso, é possível afirmar que as intervenções antrópicas são reducionistas, no sentido de que há pouca integrabilidade entre as ciências exatas e a Geografia. Este fato corrobora a dificuldade dos pesquisadores de realizarem análises que necessitem de técnicas estatísticas e matemáticas.

Desse modo, pode-se perceber a grande importância de dominar técnicas estatísticas e matemáticas em estudos ambientais visando incorporá-los às pesquisas, tornando-as mais confiáveis e, consequentemente, facilitando o processo de análise.

Conforme salientam Legendre e Legendre (2012), a análise quantitativa é uma ferramenta preciosa, uma vez que colabora com análises que visam desvendar a complexidade dos dados ambientais. Em complemento a essa afirmativa, Silva (2003) comenta que as variáveis ambientais são amplamente relacionadas, fato que excede a capacidade de métodos estatísticos e matemáticos elementares. De fato, quando se trabalha com o ambiente, é pertinente considerar que uma gama de condições ambientais é capaz de n possibilidades de resultados, devido ao número de variáveis que as influenciam e que não são perceptíveis ao observador (LEGENDRE; LEGENDRE, 2012).

Embora Souza (2015) afirme a vulnerabilidade na utilização de métodos matemáticos estatísticos na Geografia, é importante considerar que eles foram

inseridos nessa ciência por meio da chamada Geografia Quantitativa, por volta 1950. Todavia, esta foi associada à teoria geral dos sistemas. Embora isso tenha ocorrido durante essa década, apenas nos anos 1970 a estatística ganhou força dentro da Geografia.

No caso do Brasil, os estudos voltados a essa vertente da Geografia surgiram através de grandes pesquisadores, como Antônio Pedro Pinchas Geiger e Speridião Faissol. Esses pesquisadores contaram com o apoio de dois núcleos principais: o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), com sede localizada no Rio de Janeiro; e a Universidade Estadual Paulista (UNESP), mais precisamente a Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, localizada em Rio Claro.

O uso de recursos matemático-estatísticos, dentro da Geografia, serviu de apoio a diversos estudos ambientais. Nas palavras de Christofeletti (1999):

“A geografia quantitativa e a teorética. A primeira expressa a aplicação intensiva das técnicas estatísticas e matemáticas nas análises geográficas e o procedimento quantitativo pode ser considerado entre características básicas da nova geografia. A segunda salienta o aspecto técnico e metodológico, submetendo como imprescindível toda a análise quantitativa e englobando os processos de abstração necessários nas etapas da metodologia científica e da explicação” (CHRISTOFOLETTI, 1999, p. 71).

A Geografia, por ser uma ciência de síntese, costuma trabalhar em parceria com diversas ciências, incluindo esse arsenal científico de estudos ecológicos. Por sua vez, tais estudos costumam mostrar as relações existentes entre as diversas observações ecológicas, bem como seus resultados. Segundo Silva (2003), essas relações fundamentam-se na análise numérica. Ainda segundo esse autor, há diferentes formas de se analisar numericamente, porém existem quatro tipos de relações entre dados ambientais, a saber:

- Modelos determinísticos: nesse tipo de relação há somente um resultado;

- Métodos de análise multivariada: são relações aleatórias, o que gera a possibilidade de inúmeros resultados;
- Teoria dos Jogos: considera as relações estratégicas. Segundo Silva (2003), os resultados dependerão da respectiva estratégia, fundamentada na relação dos organismos e seus respectivos ambientes;
- Teoria do Caos: diz respeito a propostas relacionadas a incertezas, ou seja, a muitas possibilidades e resultados imprevisíveis.

Diante do que vem sendo mostrado, a principal vantagem de se utilizar procedimentos estatísticos matemáticos está relacionada à quantidade de possibilidades a que se pode chegar, dadas as aproximações propícias sobre o território e, consequentemente, sobre a paisagem. Além disso, também é possível mostrar as inter-relações espaciais entre os elementos (variáveis) de cada caso estudado. Os métodos selecionados facilitam as mais diversas análises, proporcionando uma abordagem quantificada e que, sem dúvida, transcende ao que foi abordado nesse item, dada a quantidade de possibilidades existentes.

O que também fica claro é que os trabalhos mostrados nesse item também abordam uma descrição integrada da paisagem, deixando margem para inferir que é possível fazer uma análise em diferentes escalas de detalhe. Contudo, é importante destacar que, para as abordagens de análise da paisagem até então relatadas, é muito importante levar em consideração uma base de dados com consistência, um Sistema de Informação Geográfica (SIG) e um software estatístico adequado. Além disso, também é importante considerar o que diz Silva (2003), ao afirmar a importância de se ater a uma definição acertada de um método área que só então seja possível efetuar as análises necessárias.

2.4 Disponibilidades e limitações de dados para estudos ambientais no semiárido

No passado, a disponibilidade de dados, a exemplo dos de clima e solo, estava relacionada às limitações de acesso aos acervos das instituições públicas, à burocracia estatal e aos mecanismos de processamento, registro e transferência de informações. Na atualidade, com o desenvolvimento da informática, grande parte dos registros antigos já foram processados e disponibilizados eletronicamente. Uma infinidade de novos meios e processos obtêm e disponibilizam prontamente dados sobre o que acontece no mundo real.

Embora a acessibilidade dos dados se faça presente na atualidade, sobretudo no que se refere às ferramentas tecnológicas de apoio – capazes de gerar produtos a serem utilizados, tais como imagens de satélite, entre outros –, muitos autores reportam a dificuldade enfrentada na realização de estudos mais detalhados em nível de semiárido, nas mais variadas escalas, devido a problemas como: a indisponibilidade dos dados, a exemplo das séries hidrológicas temporalmente representativas de pluviometria e fluvíometria, que têm, no mínimo, 30 anos; a dificuldade de se trabalhar com mapas, a exemplo dos mapas de solo, devido à precisão e o nível de detalhamento, o que força o pesquisador a abstrair informações de sua pesquisa, caso ele queira analisar os seus dados em uma escala mais local. Aliado a essa problemática, grande parte do acervo de dados disponível carece de organização, requerendo tempo e esforço no preparo e conversão dos dados para formatos exigidos pelos softwares que estão sendo utilizados.

Um aspecto pertinente a ser levantado em conta sobre a disponibilidade de dados climáticos no Brasil, e isso inclui a região semiárida do Nordeste brasileiro, remete à distribuição espacial das informações hidrometeorológicas que existem no país. Conforme a Organização Mundial de Meteorologia (OMM), mais precisamente as recomendações registradas no Guia de Instrumentação Meteorológica e Métodos de Observação (WMO, 2008), sobre os critérios estabelecidos – no que diz respeito

às densidades mínimas de redes de estações hidrometeorológicas –, é possível observar que os dados coletados a partir destas são genéricos.⁸

Em linhas gerais, em 2018, de acordo com o relatório da Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil disponibilizado pela Agência Nacional das Águas (ANA, 2007), existem no país cerca de 8.000 estações pluviométricas, incluindo tanto as estações operadas pela ANA quanto as operadas pelas unidades federativas. Ressalta-se, ainda, que este número corresponde a uma densidade média a nível nacional de cerca de 1 pluviômetro a cada 987 Km², implicando uma densidade muito discrepante, se seguidas as recomendações dadas pela OMM, seja qual for a unidade fisiográfica considerada. A justificativa plausível dada reside nos problemas relacionados à acessibilidade e ao elevado custo de logística.

Como exemplo de base de dados de temperatura, pluviometria e outros dados climáticos, tem-se o Banco de Dados Climáticos do Brasil (BDCB), lançado em 2003, por meio da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). Entre os dados disponibilizados pelo BDCB estão dados de normais climatológicas, de 1960 a 1990, de temperatura média do ar e precipitação. Tais dados são utilizados para geração dos elementos do balanço hídrico idealizado por Sentelhas et al., (1999), nas escalas mensal e anual gerado para 500 localidades brasileiras. As falhas encontradas nessa base foram preenchidas com dados registrados que foram obtidos por meio de imagens de satélite. A exemplo da região que engloba a bacia hidrográfica do alto curso do rio Paraíba, no estado da Paraíba, existem apenas nove pontos de informações que, dada a extensão da bacia (a qual é de aproximadamente 6.250 Km²), tornam-se um número irrelevante.

Nesse sentido, tendo em vista a escassez elevada de dados pluviométricos e até de temperatura, é crescente o número de trabalhos ambientais utilizando dados de estimativas, como é o caso dos dados de pluviometria fornecidos pelo projeto de missão espacial Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM), feito em consórcio com a National Aeronautics and Space Administration (NASA) e a Japan Aerospace Exploration Agency JAXA, além do set de layers global

⁸ Nessa pesquisa, genérico se refere a dados estimados, que não são coletados em campo.

WorldClim, um projeto que monitora as condições climáticas ao redor do mundo, idealizado por Fick e Hijanmans (2017), que já conta com correções topográficas. O set de layers global WorldClim possui uma base de dados formada a partir de imagens de satélite e de estações meteorológicas distribuídas pelo mundo inteiro. Dentre os produtos disponíveis estão, por exemplo, normais climatológicas para o período de 1970 a 2000 de temperatura média do ar e precipitação, bem como 19 variáveis bioclimáticas, incluindo temperatura mínima e máxima em °C; além da pressão de vapor da água (kPa), com resoluções espaciais variando de 1 Km² (30 segundos) a 340 Km² (10 minutos). Dados como estes ampliam as possibilidades de estudos em áreas do semiárido, apesar da limitação no que se refere à resolução ainda existente.

De maneira análoga aos dados de pluviometria, é recorrente no Brasil uma deficiência muito grande de mapeamentos mais detalhados e capazes de descrever a variabilidade dos solos existentes numa escala mais local, deixando a desejar uma diversidade de estudos, a exemplo dos ambientais. Nesse sentido, o mapeamento a caráter – de nível exploratório, desenvolvido pelo Projeto RADAMBRASIL – foi feito em uma escala de 1:1.000.000. Os mapeamentos em níveis estatuais abrangeram escalas entre 1:100.000 e 1:600.000. Um exemplo de mapeamento exploratório realizado nesse nível é o de Brasil (1972). Tal mapeamento resultou em um mapa de solos com escala 1:500.000.

2.5 Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) como instrumentos para estudos ambientais

De acordo com a definição de Câmara (1996)⁹, os Sistemas de Informações Geográfica são considerados conjuntos de programas computacionais cuja função é

⁹ Colocar uma nota de pesquisa aqui falando das referencias que oitem ser encontradas em relação ao sensoriamento remoto.

armazenar, manipular e gerenciar os chamados dados geográficos. Sob essa linha, a ênfase dada reside na possibilidade de se realizar análises espaciais e modelagens de superfícies. A data de idealização dos SIGs remota da década de 50; tanto nos Estados Unidos, quanto na Grã-Bretanha. Durante esse primeiro momento, ocorreram as primeiras tentativas de automatização de dados, cujo objetivo principal foi reduzir custos.

Dez anos depois (na década de 1960), as tentativas realizadas na década anterior de idealização dos SIGs foram bem-sucedidas e, com isso, foi possível considerar inventários automatizados de recursos naturais (SILVA, 2003; ASSAD et al., 2001; MACÊDO, 2015). Dando sequência aos aprimoramentos, na década de 1970, foram desenvolvidos fundamentos matemáticos numa perspectiva cartográfica, o que corroborou a concretização de análises espaciais. Posteriormente, na década de 1980, os SIGs já estavam mais difundidos, mais aprimorados e com uma gama de funções de análise espacial (SILVA, 2003).

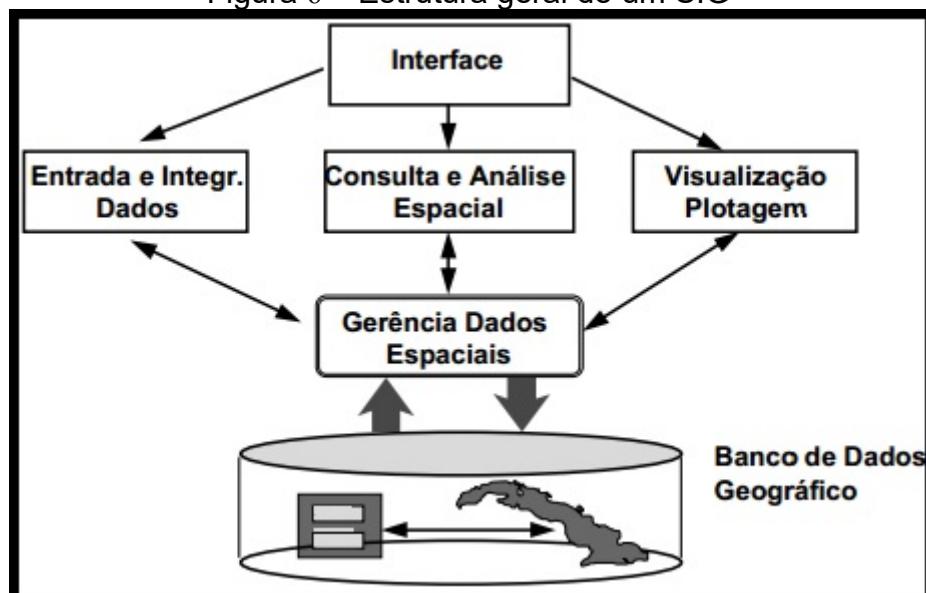
Conforme descrevem Moldes e Teo (1995), os SIGs apresentam as seguintes características básicas:

- Um sistema geográfico capaz de permitir a possibilidade de representação de entidades gráficas, típicas da cartografia automática, referenciadas mediante coordenadas geográficas ou cartesianas; a exemplo de linhas, pontos, símbolos, entre outros;
- Uma base de dados – como os alfanuméricos e os gráficos relacionados a um espaço territorial – capaz de ser gerenciada de modo simples, que esteja agregado ou separado e que também seja capaz de permitir relações espaciais;
- Um sistema de acesso seletivo, a exemplo do Sequencial Query Linguagem (SQL), que seja capaz de permitir consultas e simulações, tanto gráficas quanto alfanuméricas;
- Um sistema de geração cartográfica automática por meio de consultas e simulações;
- Linguagem, em alto nível, capaz de proporcionar grandes aplicações;

- Capacidade de exportar e importar dados.

Todas as características anteriormente mencionadas são imprescindíveis na produção de mapas mais ricos em detalhes, de maneira automatizada, de modo mais eficaz e a baixo custo. A Figura 6, a seguir, descreve a estrutura de um SIG.

Figura 6 – Estrutura geral de um SIG



Fonte: Câmara et al. (1996).

Na atualidade, com os avanços tecnológicos, os SIG's estão cada vez mais automatizados e podem se integrar aos mais variados softwares. Em estudos voltados à análise do meio ambiente, diversas aplicações relevantes são encontradas em Assad e Sano (1998), Meirelles et al. (2007), Zaidan e Silva (2011) e em Vitte e Guerra (2012).

2.5.1 O software R: principais características e panorama das aplicações

O R é uma linguagem orientada a objetos e a um ambiente de livre distribuição que foi criado no início da década de 1990. Seu nome descende de seus criadores, Ross Ihaka e Robert Clifford Gentleman, que, durante a época de sua criação, eram professores no departamento de Estatística da Universidade de Auckland, Nova Zelândia. Atualmente, ele é mantido por uma comunidade de colaboradores voluntários do mundo inteiro que trabalham para contribuir com o seu código fonte. Por sua vez, o seu código fonte está disponível sob licença do sistema operacional General Public License GNU (GNU). Este é capaz de ser compilado em uma ampla variedade de plataformas; incluindo, por exemplo, as do Sistema Operacional Microsoft Windows, Linux, entre outros (BREUER, 2017; DOUGLAS et al., 2020; BREUER, 2017; DOUGLAS et al., 2020).

O R fornece bases para a realização de análises por meio de técnicas estatísticas (modelagem linear e não linear, testes estatísticos clássicos, análise de séries temporais, classificação, agrupamento, entre outros), bem como técnicas de análise espacial, na criação de gráficos, mapas temáticos, download de determinados bancos de dados e criação de documentos (MATLOFF, 2009; TEETOR, 2011; IACOBUCCI; ROBERT, 2012; COGHLAN, 2017; HAFNER, 2019). Para a realização de tais análises, o R conta com uma série de pacotes (aproximadamente 5300). Tais pacotes podem ser desenvolvidos com linguagem R, Java, C, C⁺ e Fortran (WICKHAM, 2015; BREUER, 2017; DOUGLAS et al., 2020).

No momento de sua instalação, o R já conta com alguns pacotes instalados na sua biblioteca, os quais trazem as funcionalidades para análises básicas, incluindo nesse arsenal o cálculo das estatísticas descritivas através do pacote *stats*. Os demais pacotes, isto é, os adicionais, vão sendo incorporados a sua biblioteca, à medida que são necessárias às análises. Sobre os pacotes a serem instalados é importante considerar preliminarmente uma questão: por se tratar de um software de livre distribuição, o R oferece a possibilidade de construção de pacotes, caso os que se encontrem disponíveis não contenham os procedimentos necessários para a realização das análises requeridas (WICKHAM, 2015). É dessa maneira que o R vai sendo alimentado.

Outro aspecto importante do R é a entrada dos dados, os quais, por sua vez, dependerá do tipo de análise que está sendo realizada. Como exemplo, mediante intenção de trabalhar com dados de imagens de satélite, o R lê facilmente as de formato GEOTIFF e American Standard Code for Information Interchange (ASCII), entre outras. No caso de planilhas, os formatos Comma-separated values .csv, .txt podem ser considerados. Os dados tanto podem estar em diretórios no computador quanto em sites. Os dados de saída podem ter esse mesmo formato. Com o passar dos anos, desde a sua primeira versão, foram desenvolvidos muitos melhoramentos que permitiram que o R pudesse trabalhar como um SIG e, além disso, integrá-lo a softwares como o Qgis (SHERMAN, 2017).



Fonte: Acervo da autora.

[...] O Sertão aceita todos os nomes: aqui é os Gerais, lá é o chapadão, lá acolá é a caatinga [...]. (Trecho do livro Grande Sertão: Veredas, de João Guimarães Rosa, p. 20).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção é apresentada uma descrição sucinta da identificação da Bacia Hidrográfica do Alto Rio Paraíba (BHARP), tendo como foco a sua localização geográfica, bem como alguns de seus aspectos físicos, especificamente relacionados a solos e clima (item 3.1), o método utilizado e instrumentos de apoio (item 3.2). Em seguida, é descrita como foi feita a caracterização bioclimática (item 3.3), incluindo a base de dados utilizada, informações cartográficas, bem como as variáveis definidas para a caracterização, além do cálculo do perfil modal, da estimativa da capacidade de armazenamento de água no solo, dos procedimentos adotados para a geração do mapa de solos, feitos a partir dos perfis modais, o mapa evapotranspiração potencial mensal e anual e da pluviometria, ambos já espacializados. No item 3.4 é descrita a estrutura do banco de dados implementado no R. Posteriormente (item 3.5), são apresentados os passos utilizados na definição e espacialização dos ambientes bioclimáticos com a criação do mapa síntese.

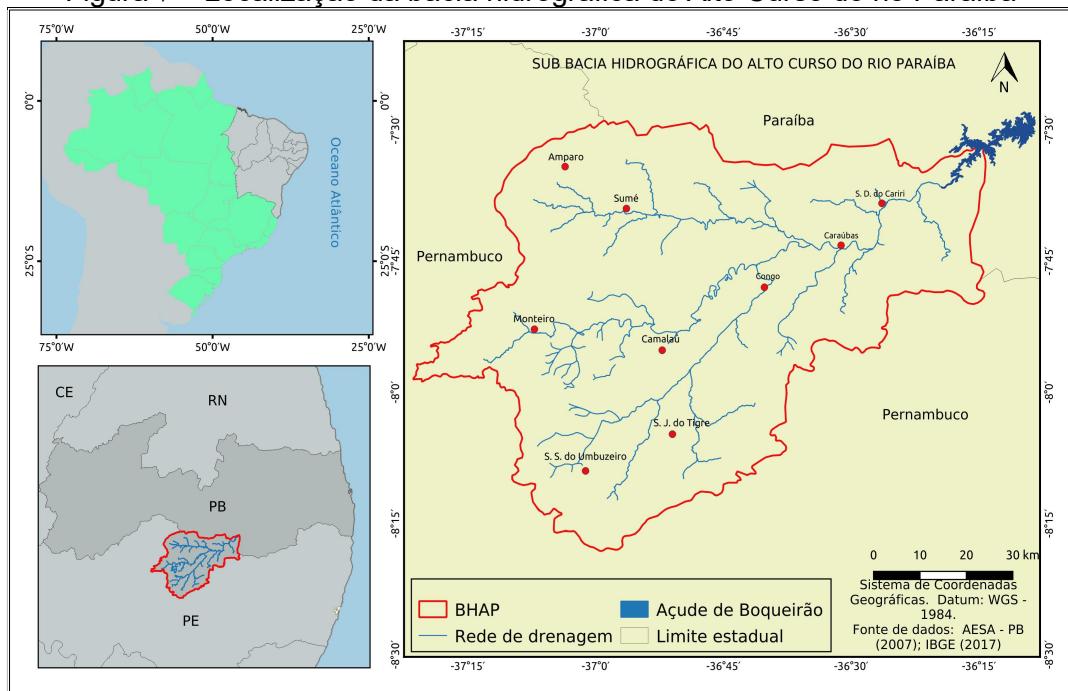
3.1 Identificação da área de estudo

A Bacia Hidrográfica do Alto Rio Paraíba (BHARP), que compreende uma área de aproximadamente 6.250 km², encontra-se ao sul do terço médio do estado da Paraíba (Figura 7). Sua nascente localiza-se na serra de Jabitacá, no município de Monteiro, e seu exutório se dá na confluência com o rio Taperoá, no açude Epitácio Pessoa (Boqueirão), a aproximadamente 140 km de distância da capital do estado, João Pessoa (Figura 7). Na margem esquerda, confluui com o rio Sucuru, que corta a cidade de Sumé; na direita, com o rio do Espinho ou da Serra, que drena ao

sul chegando à cidade do Congo, sendo esses seus principais afluentes. Os limites da BHARP se dão, a leste, com a bacia do riacho de Santo Antônio e, a norte, com a do rio Taperoá, no estado da Paraíba. A oeste, com a bacia do rio Pajeú; ao sul, com a do rio Ipojuca e, a sudeste, com a do rio Capibaribe, no estado de Pernambuco.

A BHARP situa-se entre as superfícies aplainadas (média de 400 e 600 metros de altitude), onde ocorre a presença de serras esparsas consideradas de baixa a moderada altitude (Figura 8a), com topos suaves e ondulados (XAVIER et al., 2016). Mais ao sul, observa-se a presença de serras elevadas, chegando a 1150 metros de altitude, tal como a serra do Paulo. Tais serras bordejam os divisores da BHARP, na fronteira com o estado de Pernambuco. Corrêa et al. (2010) enquadraria essa área nos Maciços Remobilizados do Domínio da Zona Transversal, bastante afetada pelos arqueamentos. Estes revelam uma paisagem onde se fazem presentes elevadas cimeiras e relevos mais pronunciados.

Figura 7 – Localização da bacia hidrográfica do Alto Curso do rio Paraíba



No que se refere à geologia, na BHARP, ocorrem predominantemente unidades litoestratigráficas datadas do período Proterozóico, notadamente as rochas cristalinas formadas de quartzitos, gnaisses, migmatitos e micaxistos. Além dessas, há a presença de granitos originados de rochas plutônicas (LACERDA, 2003; LIMA, 2012; XAVIER et al., 2016).

O quadro 4 e figura 8b mostram as ocorrências das classes de solo segundo o levantamento pedológico do Zoneamento Agropecuário do Estado da Paraíba (PARAÍBA, 1978), compilado pela AESA (2006); e informações dos boletins técnicos desse zoneamento, bem como do Levantamento Exploratório e de Reconhecimento de Solos do estado da Paraíba (BRASIL, 1972).

Os Luvissolos Crônicos (TC) são os solos predominantes, ocupando 43,3 % da área da bacia (Quadro 4), distribuindo-se em grande parte do terço superior e ao longo da drenagem e margem direita do setor sudeste da BHARP (Figura 8b). São solos que apresentam um horizonte B subsuperficial, argiloso, bruno-avermelhado, não hidromórfico, com argila de atividade alta (podendo apresentar características vírticas) e elevada saturação de bases, o que lhes conferem uma alta fertilidade.

O horizonte A – superficial, mais claro e arenoso – apresenta estrutura maciça ou em blocos e é pouco desenvolvida, conferindo alta susceptibilidade a erosão. Isso resulta, com frequência, na presença de manto de pedras superficiais (pavimento desértico). São solos relativamente rasos a moderadamente profundos, pedregosos, que podem ocorrer em relevo suave ondulado a forte ondulado. Também pode ocorrer em ambientes semiáridos mais secos, com vegetação do tipo caatinga hiperxerófila e mais úmido, com caatinga hipoxerófila.

Os Vertissolos Háplicos (VX) ocupam 10,4% da área da BHARP (Quadro 4) e se distribuem no seu terço inferior, ao longo da drenagem, prolongando ao terço médio ao norte, na sub-bacia do rio Sucuru (Sumé), conforme demonstrado na Figura 8b. São solos muito argilosos, com argila de alta atividade e alta saturação de bases; o que lhes confere uma alta fertilidade. Contudo, são de difícil uso e manejo por serem muito plásticos e pegajosos e apresentarem muito baixa drenabilidade.

Ocorrem em áreas planas, não obrigatoriamente de baixios. Estão quase sempre associados aos Luvissolos Crônicos vérticos e Neossolos Litólicos; esses em áreas de relevo mais ondulado.

Quadro 4 – Classes de solos como ocorrência na bacia hidrográfica do Alto Curso do rio Paraíba

Classes de solo	Declividade predominante	Área de ocupação	
		km²	%
Luvissolo Crônico (TC)	Suave ondulado e ondulado	2708	43,3
Neossolo Litólico (NR)	Ondulado e forte ondulado	2330	37,3

Quadro 4 – Classes de solos como ocorrência na bacia hidrográfica do Alto Curso do rio Paraíba
(continua)

Vertissolo Háplico (VX)	Plano e suave ondulado	652	10,4
Neossolo Regolítico (RR)	Plano e suave ondulado	158	2,5
Neossolo Flúvico (RY)	Plano	241	3,9
Planossolo Nátrico (SN)	Plano e suave ondulado	64	1,0
Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA)	Ondulado	70	1,1
Afloramentos		27	0,4
Área Total.....		6.250	100,0

Fonte: Elaborado pela autora a partir de AESA (2006).

Os Neossolos Regolíticos (RR) ocupam 2,5 % da área da BHARP (Quadro 4) e ocorrem em terrenos de posições elevadas, normalmente com topos aplainados e divisores de bacias. É possível identificar duas áreas isoladas no setor norte e em

quatro outras áreas no setor sul (Figura 8b). Esses são solos pouco intemperizados, arenosos, moderadamente profundos ou profundos, predominantes em relevo plano ou suave ondulado. Na região do Cariri estão associados com frequência a afloramentos de rochas constituídos de granitos e gnaisses.

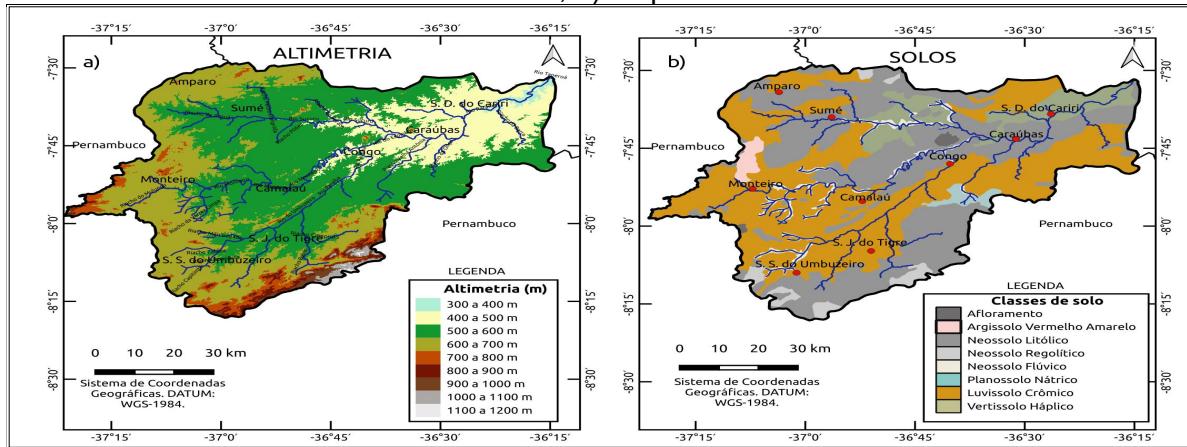
Os Neossolo Flúvico (NY) ou solos de várzeas são pouco desenvolvidos, normalmente profundos e com textura indiscriminada, ocorrendo em áreas planas às margens dos principais rios e de seus tributários, totalizando 3,9% da área da bacia (Quadro 4). Souza e Souza (2016) ressaltam que, por volta da metade do século XVII, quando se deu o início do processo de colonização da área onde se encontra a BHARP, as áreas de várzeas onde se encontram os Neossolos Flúvicos passaram por uma substituição parcial, passando de uma Caatinga Arbórea para agricultura de subsistência.

Os Planossolos Nátricos (SX) ocupam 1 % da área da sub-bacia e estão localizados numa unidade ao centro do setor sudeste, na divisa com o estado de Pernambuco (Figura 7 e 8b). São solos halomórficos, pois apresentam mais de 15% de saturação de sódio trocável no horizonte B, que normalmente tem estrutura colunar ou prismática. Esses solos com horizonte superficial arenoso ocorrem em áreas de relevo plano ou suave ondulado e são bastante utilizados para agricultura, pois são férteis, já que apresentam argila de atividade alta e alta saturação de bases. Contudo, apresentam limitação de drenagem, tendo em vista a baixa permeabilidade do horizonte B e por serem normalmente rasos.

Os Argissolos Vermelho-Amarelos que ocorrem na área da bacia são representados por uma unidade de paisagem bem individualizada, localizada ao norte da cidade de Monteiro (Figura 8b) e ocupam uma área de 1,1 % da BHARP (Quadro 1). Esses solos apresentam textura média cascalhenta e ocorrem em relevo ondulado, associado com os Neossolos Litólicos eutróficos textura arenosa e/ou média, que ocupam as áreas mais declivosas. Sua fertilidade é alta e tem elevada reserva de minerais que podem liberar nutrientes para as plantas. Por estarem localizados em ambiente com precipitação mais alta, têm sido intensivamente explorados. Contudo, devido à textura arenosa e à declividade acentuada, são muito

suscetíveis à erosão (BRASIL, 1972; PARAÍBA, 1978; SOUZA, 2009; EMBRAPA, 2018).

Figura 8 - Caracterização física da bacia hidrográfica do alto curso do rio Paraíba: a) Mapa de altimetria; b) Mapa de solos



Fonte: Elaborado pela autora.

O clima, segundo Mendonça e Danni Oliveira (2007) e Francisco et al. (2015), é do tipo BSh (semiárido quente e seco) e pode ser caracterizado pela alta variabilidade espacial e temporal da precipitação. Esta varia em termos de totais anuais na BHARP, de 350 a 850 mm.ano⁻¹ (BECKER et al., 2009; FRANCISCO, 2017), e acompanha o gradiente de altitude (GOMES, 1981). A estação seca costuma durar de 8 a 10 meses (ALVES, 2016). De fevereiro a maio é o período em que se concentra praticamente 70% da precipitação (NIMER, 1979). Já a temperatura apresenta baixa variação estacional, com médias das mínimas mensais ocorrendo de maio a julho, máximas de novembro a janeiro e com amplitude que não ultrapassa os 4 °C. Pelo efeito da altitude, a temperatura média anual varia de 22 °C nas áreas mais elevadas a 26 °C nas mais baixas (NIMER, 1979).

A vegetação natural na BHARP é do tipo Caatinga, com bosque composto de espécies arbóreas decíduas e cactáceas; cujo porte, densidade e diversidade estão na dependência do seu estado de conservação (CHAVES et al., 2008; ALVES, 2009; SOUZA; SOUZA, 2016).

3.2 O método utilizado e instrumentos de apoio

Em função das considerações apresentadas no item 2.4, no que se refere à integração das variáveis utilizadas em trabalhos que promovem mapas de sínteses naturalistas e no, foi utilizada a técnica probabilística arranjo simples. Tal técnica será implementada em um sistema de informações geográficas associado a um software estatístico, com o intuito de fornecer ao final do trabalho uma metodologia capaz de permitir a integração de informações ambientais provenientes de mapas categóricos baseadas em critérios matemáticos de fácil aplicação.

Para o desenvolvimento deste trabalho foram utilizadas Linguagem de Programação e Sistema de Informações Geográficas (SIGs), a exemplo do Rstudio (TEAM, 2017), na versão 2.3.0; o Qgis (SHERMAN, 2017) e o GRASS GIS 7.0 (PROJECT – GRASS, 2017), na versão 3.10. Todos gratuitos.

A seguir, serão apresentadas as características da técnica probabilística arranjo simples. Esta foi empregada na pesquisa, com ênfase na transformação dos mapas temáticos, em matrizes contendo os valores correspondentes da categoria em cada célula, de forma que possam ser lidas e analisadas no Rstudio (TEAM, 2017). Informações mais detalhadas sobre a técnica probabilística arranjo simples pode ser encontrada nos livros, em textos de Ross (2010) e Morettin e Bussab (2013).

3.2.1 Técnica probabilística arranjo simples na identificação dos ambientes bioclimáticos

A técnica probabilística arranjo simples é definida por Morettin e Bussab (2013) como a combinação (agrupamento) de elementos cuja posição de cada um implica diferenças. Neste caso, tomando como por exemplo o conjunto $A = \{a_1, a_1, a_1, a_1, \dots, a_n\}$, com n elementos distintos e p um número natural, de modo que p reflete na quantidade de arranjos dos n elementos que A possui. No caso do presente trabalho, o número de arranjos se deu com os três vetores das variáveis selecionadas para estudo, sendo elas Capacidade de Armazenamento de Água no solo (Ca), Evapotranspiração Potencial anual (Etp(anual)) e Pluviometria anual (Pa(anual)) (Quadro 5). Em outras palavras, sabe-se que um mapa é uma matriz de dados, e para que a técnica probabilística arranjo simples fosse aplicada os dados ficaram dispostos tal como o exemplo ilustrativo da matriz abaixo:

$$X = \begin{vmatrix} x_{11} & x_{21} & \dots & x_{k1} \\ x_{12} & x_{22} & \dots & x_{k2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{1n} & x_{2n} & \dots & x_{kn} \end{vmatrix}$$

onde: x_{ij} é a observação j -ésima da variável i no pixel. Lembre-se: cada coluna da matriz corresponde a uma variável em estudo que no caso desse trabalho corresponde a Ca, Etp(anual) e Pa(anual).

A título de exemplificação, conforme o Quadro 5, tem-se amostras das variáveis estudadas em cinco parcelas (*pixels*) no terreno, considerando 5 modalidades (categorias ou as classes estabelecidas para os respectivos mapas). Este mecanismo estabelece grupos de arranjos os quais representam à classe e subclasse delimitada uma característica do ambiente estudado, que neste caso está relacionado as categorias (classes) das variáveis Ca, Etp(anual) e Pa(anual). Desse modo, neste trabalho, as variáveis utilizadas são quantitativas ordinais, uma vez que elas estão relacionadas aos mapas temáticos, e suas respectivas classes, definidos para gerar o mapa síntese dos ambientes bioclimáticos. Considerando o que

descreve Bussab (2013) sobre classificações de variáveis pode-se destacar que Ca , $Etp(anual)$ e $Pa(anual)$ são definidas como qualitativas e categóricas, cujas categorias podem variar de 1 a n .

Quadro 5 – Exemplo de uma matriz relacionada a 5 pixels amostrais

Pixel	Ca	ETP	Pa		Ca Etp Pa		
P_1	Ca2	Etp(anual)1	Pa(anual) 2		Ca2	Etp(anual)1	Pa(anual)2
P_2	Ca1	Etp(anual)3	Pa(anual) 1	,	Ca1	Etp(anual)3	Pa(anual)1
P_3	Ca1	Etp(anual)1	Pa(anual) 4	ou	Ca1	Etp(anual)1	Pa(anual)4
P_4	Ca3	Etp(anual)4	Pa(anual) 5	Z_1	Ca3	Etp(anual)4	Pa(anual)5
P_5	Ca3	Etp(anual)2	Pa(anual) 3		Ca3	Etp(anual)2	Pa(anual)3

Fonte: Elaborado pela autora.

() Legenda: Ca_2 = Classe 2 Capacidade de Armazenamento; Etp (anual) = Classe 1 Evapotranspiração Potencial; $Pa(anual)$ = Classe 2 Pluviometria Anual.

Fonte: Elaborado pela autora.

Em termos matemáticos, tem-se um conjunto I (cardinal igual a N) de pixels com observações (variáveis) Q com caracteres qualitativos ordinais (C_1, \dots, C_Q). Supõe-se que, para cada pixel $p \in I$, tem-se as possibilidades dadas por esse pixel a um conjunto de categorias que ele poderá assumir. Cada pergunta Q possui J_q modalidades mutuamente exclusivas e, para cada pergunta, o pixel p escolheu uma e uma só das modalidades possíveis (perguntas postas sob forma disjuntiva completa). Para cada pergunta eliminam-se as modalidades que não foram escolhidas pelo pixel.

Considerando-se a pergunta q , pode-se apresentar o conjunto das respostas dadas pelos pixels $p \in I$ a essa pergunta da seguinte forma: 1) por uma matriz Z_q de N linhas e J_q colunas cujo elemento da $i^{\text{ésima}}$ linha e da $j^{\text{ésima}}$ coluna ($i \in \{1, \dots, J_q\}$) é igual ao valor correspondente à categoria se p escolheu a modalidade j da questão q .

Tem-se, então, um conjunto I com cinco parcelas ($N=5$) para as quais são postas três perguntas ($Q=3$), uma para cada Q variáveis. Quais sejam: 1) qual a classe de Capacidade de Armazenamento de Água no solo (Ca_1, Ca_2, Ca_3, Ca_4 e Ca_5)? 2) qual a classe (categoria) Evapotranspiração Potencial ($Etp(anual)_1$,

$ETp(anual)_2$, $ETp(anual)_3$, $ETp(anual)_4$ e $ETp(anual)_5$? e 3) qual a classe (categoria) de Pluviometria anual ($Pa(anual)_1$, $Pa(anual)_2$, $Pa(anual)_3$, $Pa(anual)_4$ e $Pa(anual)_5$)? As respostas para tais questionamentos são as seguintes combinações: pixel 1 (Ca_2 , $ETp(anual)_1$, $Pa(anual)_2$); pixel 2 (Ca_1 , $ETp(anual)_3$, $Pa(anual)_1$); pixel 3 (Ca_1 , $ETp(anual)_1$, $Pa(anual)_4$); pixel 4 (Ca_3 , $ETp(anual)_4$, $Pa(anual)_5$) e pixel 5 (Ca_3 , $ETp(anual)_2$, $Pa(anual)_3$) conforme descrito nos quadros 5 e 6.

Cabe destacar que a combinação das classes, como por exemplo a classe Ca_2 , que corresponde a subclasse de Ca é equivalente ao índice 2. Logo tomando o exemplo ilustrativo do quadro 6, pode-se observar as combinações de índices (Classes e Subclasses¹⁰) descritas no quadro 6. Tais combinações equivalem à: pixel 1 (1, 1, 2); pixel 2 (1, 3, 1); pixel 3 (1, 1, 4); pixel 4 (1, 1, 2) e pixel 5 (1, 1, 2).

Quadro 6 – Exemplo de uma matriz relacionada a 5 pixels amostrais e suas respectivas categorias de variáveis

Pixel	Ca	ETP (anual)	Pa(anual)		Ca	ETp(anual)	Pa(anual)	
P_1	Ca_2	$ETp(anual)_1$	$Pa(anual)_2$			2	1	2
P_2	Ca_1	$ETp(anual)_3$	$Pa(anual)_1$			1	3	1
P_3	Ca_1	$ETp(anual)_1$	$Pa(anual)_4$			1	1	4
P_4	Ca_3	$ETp(anual)_4$	$Pa(anual)_5$			3	4	5
P_5	Ca_3	$ETp(anual)_2$	$Pa(anual)_3$			3	2	3

Fonte: Elaborado pela autora.

() Legenda: Ca_2 = Classe 2 de Capacidade de Armazenamento; Etp (anual) = Evapotranspiração Potencial =; Pa = Pluviometria anual.

O objetivo principal é encontrar p arranjos de modo que cada observação apresente um arranjo que descreva a característica de uma Classe pertencente (Pixel), limitado pelo valor do intervalo estabelecido preliminarmente. Em outras palavras, toda vez que a soma das células dos três vetores se enquadrar no intervalo preliminarmente estabelecido, um vetor soma é criado e suas células vão sendo preenchidas com um valor que representa a combinação.

Considerando o exemplo do Quadro 6, observa-se que os números um, dois e três correspondem às variáveis (Ca , $ETp(anual)$ e $Pa(anual)$) e que a soma desses valores resulta no número seis. Este, por sua vez, está no intervalo entre 5 e 7.

¹⁰ A definição de classes e Subclasses utilizada nesse trabalho será melhor explicada no item 3.5.2

Nesse caso ilustrativo, o vetor soma recebe o valor um, que corresponde à classe de menor limitação hídrica de acordo com os parâmetros estabelecidos para análise.

Quadro 7 - Exemplo de uma combinação de categorias dos vetores (variáveis), do intervalo pre estabelecido e do vetor soma resultante

	Ca	ETp(anual)	Pa(anual)	Intervalo	Vetor soma	Grau
	Ca	ETp(anual)	Pa(anual)			
x =	(1	2	3)	[5, 7]	1	1
	j1	j2	j3			

Fonte: Elaborado pela autora.

A partir deste método, pode ser gerado um arquivo contendo as combinações possíveis entre as categorias dos mapas utilizados, importantes na geração das classes e subclasses de ambientes bioclimáticos. Esse resultado também é útil na geração dos limites das classes. Por exemplo, se ficou definido que a Classe A pertencerá ao intervalo compreendido entre 5 e 7, e se a soma dos valores que compõem uma dada combinação no vetor estiver nesse intervalo, esta pertencerá classe A. Os pacotes *stringr* (WICKHAM, 2019), *raster* (HIJANS et al., 2019), *rgdal* (BIVAND et al., 2020), *plyr* (WICKHAM et al., 2020) e o pacote *gtools* de Gregory et al. (2020), que contêm a função *combination*, foram utilizados para efetuar os cálculos.

3.3 Obtenção da base de dados para a caracterização bioclimática

De maneira geral, a estruturação deste trabalho foi estabelecida em duas partes. A primeira é composta por uma caracterização bioclimática tendo como base de dados informações relacionadas a solo, pluviometria e temperatura. Entendendo por caracterização bioclimática...(textos do referêncial teórico)

As fontes de coleta foram oriundas da literatura, como é o caso dos dados de solo do Boletim Técnico nº15 do Levantamento Exploratório e de Reconhecimento de Solos do Estado da Paraíba (BRASIL, 1972), do Zoneamento Agropecuário do Estado da Paraíba de (PARAIBA, 1978), e informações dos atributos dos solos provenientes do mapa de solos da Paraíba de AESA (2006). Do Global Climate Data (WorldClim) de Fick e Hijmans (2017) foram coletadas as grades de dados de pluviometria e temperatura mensal e anual.

Devido a limitação de dados de Capacidade de Armazenamento de água no solo (Ca) disponíveis para a BHARP, alguns passos precisaram ser adotados para que estes fossem gerados. Nesse caso, foram identificados e separados dados de perfis de solos semelhantes aos representativos de cada uma das unidades de mapeamento do mapa de solos de AESA (2006), procurando-se definir morfologicamente um “perfil modal”, descrito no subitem 3.3.2.1, síntese das características predominantes dos solos. Foram considerados os atributos morfológicos relativos ao número, tipo, textura, espessura e pedregosidade dos horizontes e sub-horizontes. Estes se repetem, de acordo com o mapa de solos de AESA (2006), em outras regiões do Estado com características fisiográficas semelhantes aos perfis associados aos solos da BHARP.

Foram utilizadas funções de pedotransferência (FPDs) consideradas por Assad et al. (2001), a fim de estimar a água disponível no solo (AD), expressa em percentagem. A ideia desses autores foi encontrar um modelo simplificado de estimativa da AD para solos agrícolas brasileiros, por meio do teor de areia total, com a finalidade de contribuir para os estudos de riscos climáticos em uma escala regional. Nesse trabalho considerou-se que a AD denominada por Assad et al. (2001) é sinônimo da nomenclatura Ca. Diante disso, nos tópicos em que a metodologia for explicada será utilizada a nomenclatura Ca ao invés de AD para fins de adaptação a esse trabalho.

Em linhas gerais, em Assad et al. (2001), foram utilizados dados de água retida no solo em diferentes tensões, determinadas em amostras indeformadas de horizontes e camadas de solos do Brasil. Dando ênfase aos que se dispunham de

resultados analíticos de granulometria da fração fina, tais como areia total, silte e argila, bem como de densidade do solo. Após essa seleção foi feita uma avaliação dos métodos analíticos empregados, a partir da qual foi possível selecionar dois conjuntos de dados que incluíam diversos perfis de solos costumeiramente utilizados em sistemas de produção agrícolas brasileiros, sendo um utilizado para a definição e outro para teste do modelo.

Outro aspecto considerado por Assad et al. (2001), na composição do dado, foi o estabelecimento da curva de umidade em laboratório, a partir de amostras indeformadas, através do método da membrana em diferentes tensões. Deste modo, tanto para a definição quanto para o teste do modelo, foram consideradas as tensões de -10 kPa (q10) como limite superior de água disponível e -1.500 kPa (q1.500) como limite inferior de água disponível. Ademais, Assad et al. (2001) explicam que a análise granulométrica foi realizada por meio do método do densímetro, considerando a quantificação de teores de argila (< 0,002 mm), silte (entre 0,002 e 0,05 mm) e areia (entre 0,05 e 2 mm).

Assad et al. (2001) também deixam claro, em seu trabalho, que as amostras indeformadas obtidas também foram utilizadas para a determinação da densidade global do solo, em todos os horizontes amostrados. As estatísticas descritivas, tais como a média, desvio padrão, mediana, valor máximo e valor mínimo foram calculadas para avaliar a consistência na distribuição dos valores de areia, silte, argila, q10 e q1500 em ambos os conjuntos de dados.

Após as considerações acima descritas, o passo tomado por Assad et al. (2001) foi considerar o cálculo da Ca em duas etapas, das quais tem-se: o ajuste de equações com a finalidade de determinar a umidade volumétrica; proposta em porcentagem nas tensões -10 kPa (q10) e -1.500 kPa (q1.500), em função do conteúdo de areia total (AT) e da quantidade de água disponível. Para tanto, foram adotados dois procedimentos distintos: no primeiro, a Ca estimada foi calculada pela diferença entre q10 e q1.500, obtidos pelas respectivas equações de ajuste; no segundo, ajustou-se um modelo de equação para os dados de AT e Ca disponíveis. Deste modo, de todas as funções testadas, observou-se a que melhor se ajustou

aos dados, considerando dois pontos: a análise do r^2 e o valor do erro padrão de ajuste.

Tendo em vista que, em Assad et al. (2001), várias FPDs foram testadas, identificando-se a que melhor se ajustava aos dados utilizados, considerou-se trabalhar com as FPDs selecionadas por esses autores. Para tanto, espelhamo-nos nos resultados obtidos frente aos procedimentos por ele adotados, conforme já relatado nos parágrafos anteriores.

Tendo como base as grades mensais de temperatura de Fick e Hijmans (2017) foi possível gerar a Evapotranspiração Potencial (Etp) utilizando o método de Thornthwaite e Matter (1955) disponível em Varejão e Silva (2005). Deste modo, nos subitens que seguem, são descritos como foram realizados os passos metodológicos seguidos, desde a criação dos perfis modais até a espacialização dos valores médios de Ca, expressos em milímetros, além da Etp mensal e anual.

3.3.1 Informações cartográficas

Como apoio para a elaboração da base cartográfica no que diz respeito a delimitação da BHARP foram utilizadas imagens disponíveis no Google Earth (citação) para retificação e ajustes e a ferramenta do GRASS GIS 7.0, dentro do ambiente Qgis 3.10. Utilizando-se da ferramenta de caminhamento do programa sobre a imagem, a partir do ponto mais baixo do exutório da drenagem foi se delimitando a área da BHARP, seguindo a linha do divisor de águas. Inicialmente, para oeste com a bacia do rio Taperoá e seguindo até o divisor com o rio Pajeú; derivando para sudoeste, sobre o divisor do Pajeú, que também é a divisa com o estado de Pernambuco, prosseguiu-se ao sul até o limite da bacia do rio Ipojuca; em seguida para leste até a bacia do rio Capibaribe e em seguida para nordeste até o encontro com o limite da bacia do Riacho Santo Antônio; finalmente, derivando para

norte, na Paraíba, até o ponto de confluência no exutório, na bacia hidráulica do açude de Boqueirão, no município de Cabaceiras.

A escala cartográfica adotada neste trabalho foi de 1:400.000, a mesma do mapa de solos elaborado por AESA (2006), a melhor base disponível para a região. Com o recorte da área da BHARP, obteve-se o mapa de solos. Cabe-se ressaltar que por questões de escala, no caso do mapa de solos, cada unidade de mapeamento, representa uma associação de até quatro classes de solos. Essas classes são descritas pela ordem decrescente de suas áreas de ocorrência, e a unidade de mapeamento neste trabalho foi nominado pela classe de maior expressão da associação. Tendo como base esses aspectos, os produtos gerados nesse trabalho, bem como as grades mensais de temperatura e precipitação foram reamostradas, por meio da função *resample* disponível no pacote raster de Hijmans (2019).

3.3.1.1 *Perfil modal e parametrização de atributos morfológicos*

O termo modal está relacionado à moda que, em outras palavras, diz respeito a maior frequência (AMARAL, 2011). No caso dos solos, neste trabalho, significa um perfil modal, representativo da classe de solo que se quer mapear. É importante frisar que, dadas as restrições impostas pela escala do mapa de solos utilizado, muitas informações ficam suprimidas, uma vez que as unidades de mapeamento são associações de solos com até quatro diferentes classes e, por isso, apenas o solo de maior representação espacial pôde ser considerado.

Preliminarmente, da tabela de atributos contida no shape de AESA (2006), foram selecionadas, extraídas e listadas no *LibreOffice Calc* informações das 43 associações de solos (unidades de mapeamento), as quais estão representadas por

sete ordens¹¹ de solos da BHARP. Antes de dar prosseguimento ao trabalho, a nomenclatura das classes dos solos foi atualizada tendo como base Embrapa (2018). Por exemplo, o agrupamento referente à classe de solo NC, com símbolo da unidade referente NC₁₇, com A fraco, fase textura argilosa, fase pedregosa, caatinga hiperxerófila e relevo suave ondulado passou a ser chamado de Luvissolo Crômico (TC₁₇).

Considerando a limitação de se poder representar apenas uma classe de solo por unidade de área mapeado, procedeu-se o agrupamento das unidades de mapeamento originais em torno das classes representativas das associações dos solos, formando-se dezesseis agrupamentos, sendo estes as unidades do mapa final de solo idealizado nesse trabalho, que abrangem sete ordens de solos; algumas com mais de um representante.

Para solos com maior diversidade de ocorrência, adotaram-se artifícios compensatórios para estimativas de dados, para condições ambientais relativas às fases de vegetação, declividade, pedregosidade e/ou profundidade. Foi o caso dos Neossolos Litólicos (RL) e dos Luvissolos Crômicos (TC), em que foi feito um ajuste na morfologia do perfil modal definido, diminuindo a espessura da profundidade do solo, e em particular, do horizonte “A” superficial, simulando a condição de perdas em relação ao aumento da declividade do terreno. Para horizontes, sub-horizontes e camadas descritas com presença de cascalho, pedras e rochas fragmentadas foram considerados como mecanismo de ajuste a redução do espaço poroso os percentuais médios das classes de cascalho conforme Santos et al. (2015 apud Embrapa, 2018). O quadro 8 descreve as classes de intervalos percentuais de cascalho e os percentuais médios de redução para esses intervalos. (que intervalos?)

Quadro 8 – Descrição de classes percentuais de cascalho e percentuais médios considerados

Classe de cascalho	Intervalo percentual	Percentual médio*
Pouco cascalho	> 8 a 15 %	12%

¹¹ Ver Brasil (1972)

Cascalhenta	> 15 à 50%	30%
Muito Cascalho	> 50%	65%

(*) Percentual de redução.

Fonte: Elaborado pela autora com base em Santos et al. (2015) *apud* Embrapa (2018).

No que se refere ao limite da profundidade efetiva do solo foram adotadas até a transição para a rocha (horizontes C/R), incluindo-se, quando presentes, camadas de rochas fragmentadas. Essa condição está relacionada ao fato de que a caatinga é uma vegetação natural, formada por plantas permanentes, com raízes profundas e adaptadas a ambientes; via de regra, pedregoso e cascalhento da região semiárida.

Para o estabelecimento do percentual de Areia Total (AT) necessário para a estimativa da Ca de cada horizonte, sub-horizonte ou camada do solo foi utilizado o valor percentual da fração de areia relativa ao ponto central da classe de textura, estabelecido no diagrama das classes texturais de Santos et al. (2015).

3.3.1.1.1 *Mapeamento de solos a partir dos perfis modais*

O mapeamento dos solos, elaborado neste trabalho, na escala de 1:400.000, partiu da base de dados de AESA (2006), que foi reestruturada, conforme mostrado anteriormente. Para que isso fosse possível foi considerado, a partir do shape de solos de AESA (2006), a redefinição dos polígonos de forma a agrupar as unidades de mapeamento mais semelhantes entre si, através da ferramenta de criação e edição de shapes no Qgis.

Adotaram-se as mesmas cores estabelecidas por EMBRAPA (2018) para o mapa gerado, com modificações apenas na legenda utilizada. Além disso, em vez de conter, por exemplo, a simbologia TC₁₇, referente ao Luvissolo Crômico, este era substituído pelo símbolo TC₂, referente ao grupo de unidades de mapeamento no qual a unidade TC₁₇ estava incluída, levando em consideração o perfil modal que foi definido para cada grupo estabelecido. O objetivo primordial desse mapeamento

foi dimensionar, de maneira quantitativa e espacial, as modificações propostas nesse trabalho e efetivamente utilizadas frente à necessidade de estimar dados de Ca do solo e a limitação imposta pela escala de dados de solo e, consequentemente, pela limitação de dados existente.

3.3.1.2 *Estimativa da capacidade de água disponível do solo*

Trabalhando com um grande número de solos de diferentes texturas, Assad et al. (2001) estabeleceram, para a água na tensão de 10 kPa, uma curva de correlação expressa pela equação 3:

$$q_{10} = a + b * (AT)^c \quad (3)$$

em que:

q_{10} – Percentual volumétrico de água à-10k Pa;

AT – Percentual de areia total; e

a, b e c são os parâmetros de ajuste a, b e c.

Para a tensão de 1.500 kPa (q_{1500}), foi obtida a equação 4, que mostra:

$$q_{1500} = a + b * (AT)^c * \ln(AT) \quad (4)$$

em que:

q_{1500} - Percentual volumétrico de água á -1.500 kPa;

AT – Percentual de areia total; e

a e b são os parâmetros de ajuste.

Calculados q_{10} e q_{1500} , a CA por horizonte é dada pela diferença entre os conteúdos volumétricos de água nas duas tensões, multiplicado pela espessura em milímetro do horizonte ou camada considerada, podendo ser assim calculada:

$$CA_h = (q_{10} - q_{1500}) H \cdot (1 - P_c) \quad (5)$$

em que:

CA_h – capacidade de água disponível do horizonte ou camada qualquer, em milímetro;

q_{10_h} – percentual volumétrico de água à -10 kPa; e

q_{1500_h} - percentual volumétrico de água à -1.500 kPa.

H – Espessura do horizonte, em milímetro.

P_c – fração percentual de pedras e cascalho a ser deduzida, quando houver.

Para se determinar a capacidade de água total disponível do solo em milímetros (CA_T), soma-se as CA_h de todos os “n” horizontes, sub-horizontes e camadas do perfil do solo e, logo em seguida, multiplica-se por 100, conforme a equação 6.

$$CA_T = \sum [CA_{hn}] * 100 \quad (6)$$

em que:

CA_T – capacidade de água disponível total do solo;

$\sum [CA_{hn}]$ – somatória da água disponível dos horizontes e sub-horizontes e camadas do solo.

3.3.1.2.1 Mapa da capacidade de armazenamento de água disponível no solo

O mapa da capacidade de armazenamento de água no solo foi determinado com base nos valores estimados pelos passos adotados no item 3.2, com o principal intuito de espacializar as estimativas encontradas. As categorias

estabelecidas para esse mapa foram associadas aos níveis de água disponíveis: muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto. Neste trabalho, não foram considerados limites vigentes na literatura, apenas os valores encontrados pela estimativa realizada para a BHARP foram adotados como base.

Antes da espacialização das estimativas obtidas, considerou-se preliminarmente delimitar um intervalo, de modo que os valores espacializados foram representados pelos pontos médios das classes estabelecidas. Em linhas gerais, para que fosse possível estabelecer os pontos médios das classes, foram calculadas as estatísticas descritivas: média, variância, desvio padrão, coeficiente de variação e amplitude, conforme Morettin e Bussab (2013). Após esse passo, os limites inferiores e superiores destas foram arredondados para múltiplos de 5, a fim de facilitar a análise.

Após a definição dos valores de capacidade de armazenamento de água disponíveis no solo a serem espacializados, os mesmos foram associados às unidades de solo reagrupadas, ou seja, ao mapeamento de solos estabelecido no item 3.3.3.1.1 e, em seguida, espacializados com a mesma escala do mapa de solos, 1:400.000.

3.3.1.3 Evapotranspiração potencial anual

Segundo Junior (2016) o processo de cálculo da evapotranspiração (ET) é desenvolvido de dois modos distintos. O primeiro envolve a evaporação de corpos d'água e o segundo está relacionado aos aspectos do solo, bem como das superfícies com vegetação e o processo de transpiração das plantas. Dando ênfase ao que vem sendo desenvolvido neste trabalho, a transpiração das plantas pode ser calculada por meio de uma função da evapotranspiração potencial (ETp).

Varejão e Silva (2005) definem a ET_p como um elemento que provém de processos relacionados à perda de água no solo por evaporação, bem como à perda de água da planta por transpiração. Dentre as maneiras de estimar a evapotranspiração potencial estão os métodos empíricos de Thornthwaite e Matter (1955), Penman-Monteith (MONTEITH, 1965), Priestley-Taylor (PRIESTLEY; TAYLOR, 1972) e o de Hargreaves (HARGREAVES et al., 1985). Estes e outros métodos podem ser vistos de maneira detalhada a partir de trabalhos realizados pelos autores supracitados.

Varejão e Silva (2005) comentam que um aspecto pertinente a ser considerado no cálculo da evapotranspiração potencial é o fato desta ser calculada considerando dados de estações meteorológicas coletados em condições que não são consideradas potenciais, o que, em outras palavras, implica afirmar que tais dados conferem uma umidade de solo que destoa da capacidade de campo. Dada a ocasião de que o balanço de energia à superfície está diretamente relacionado a três variáveis climáticas – a disponibilidade da água para evaporação, a temperatura e a umidade do ar –, ressalva-se que elas seriam registradas, caso o solo estivesse em pleno abastecimento.

Neste trabalho, o método empírico de Thornthwaite foi adotado primeiramente pelo fato de que, através dele, é possível calcular a ET_p, considerando-se apenas dados de temperatura mensal. Isso facilita o processo de coleta de dados, tendo em vista o que já foi relatado no item 2.4. Além disso, este é um método que costuma ser utilizado em trabalhos no âmbito da área de estudo deste trabalho, tais como o de Lima (2012), Souza et al. (2015) e Francisco (2017). Com isso, é possível comparar os resultados obtidos a partir de trabalhos preexistentes.

Observando trabalhos como os anteriormente descritos, faz-se necessário considerar, no processo de cálculo, o efeito topográfico frente aos resultados de ET_p e como tal efeito, muitas vezes, é mascarado, tendo em vista as técnicas de geoestatística utilizadas para espacialização dos valores de ET_p. Devido a essa problemática observada, foram utilizadas as grades de dados mensais das

normais climatológicas (1970 a 2000) de temperatura de Fick e Hijmans (2017), já corrigidas topograficamente. Esse mecanismo de escolha adotado facilita a viabilidade não só no aspecto topográfico, mas também da escassez de dados, uma vez que se trata de grades que já dispõem de uma malha desprovida de falhas e que já está espacializada. A seguir, será apresentado o método empírico de Thornthwaite e Matter (1955).¹²

3.3.1.4 O método empírico de Thornthwaite

Em linhas gerais, o método padrão para o cálculo da evapotranspiração potencial desenvolvido por Thornthwaite e Matter (1955) considera que a ETp não ajustada ao fotoperíodo e ao número de dias no mês ou ET pode ser estimada pela equação 7, de acordo com Varejão e Silva (2006).

$$ETp_m = 16^* \left(10 \frac{t_m}{I} \right)^a \quad (7)$$

em que

ETp_m é a evapotranspiração de um dado mês de uma dada célula e t_m é a média mensal da temperatura do ar, medida em °C. I é o índice de calor anual, sendo constituído pelo somatório de doze índices relativos a cada mês do ano, cujos cálculos obedecem à equação 8.

$$I = \sum_{i=1}^{12} \left(\frac{T_m}{5} \right)^{1,514} \quad (8)$$

¹² Colocar quais os demais métodos utilizados além do método de Thornthwaite e Matter (1955).¹²

em que:

a é função de I e calculada pela equação 9.

$$a = 675 (I \cdot 10^{-3})^3 - 77,1 (I \cdot 10^{-3})^2 + 1792 (I \cdot 10^{-5}) + 0,49329 \quad (9)$$

Após realizados os cálculos anteriormente descritos, a ETP_m é multiplicada pelo fator de correção da latitude, considerando a equação 10.

$$ETp_{m(corr)} = ETp_m \times C_m \quad (10)$$

em que

$ETp_{m(corr)}$ é valor da evapotranspiração mensal; ETP_m é a evapotranspiração não ajustada ao fotoperíodo; e

C_m é o fator de correção.¹³

Quando houver um valor de temperatura média do ar igual ou maior que 26,5°C, conforme descrito em Varejão-Silva (2005), a temperatura do ar assume o valor calculado da ETp_m , independe do índice anual de calor (I), e emprega uma tabela apropriada.

De modo geral, para a construção utilizou-se Varejão-Silva (2006) e Vianello e Alves (2000), considerando as funções contidas nos pacotes *stringr* (WICKHAM, 2019), *raster* (HIJANS et al., 2019), *rgdal* (BIVAND, 2019) e *plyr* (WICKHAM, 2019).

3.3.1.5 Pluviometria anual

¹³ Onde consegui o fator de correção e o que se trata.

Das grades de dados de pluviometria anual e mensal de Fick e Hijmans (2017), na escala de 1:100.000, as análises foram pautadas em mostrar a distribuição interanual da pluviometria, além das médias dos totais anuais, visando descrever a realidade espaço temporal da BHARP. Em outras palavras, são mostradas as médias mensais, anual, bem como os períodos mais secos e chuvosos, e como estes estão relacionados ao relevo e à influência dos sistemas atmosféricos atuantes. Como forma de apoio à interpretação dos mapas foram organizados tabelas e gráficos para auxiliar na interpretação dos resultados.

3.4 Ambientes bioclimáticos

Nesse trabalho, a análise dos ambientes bioclimáticos proposta foi feita tendo como base três variáveis correspondentes às informações referentes a três mapas categorizados de Ca, a Etp(anual) e Pa(anual) presentes na caracterização bioclimática, resultando em um mapa-síntese dos ambientes bioclimáticos estabelecidos. O mapa-síntese foi gerado pela técnica probabilística arranjo simples, já descrita no item 3.6. O uso da técnica probabilística anteriormente citada visa delimitar diferentes ambientes considerando um grau de limitação hídrica, configurando-se em paisagens distintas.

O mapa síntese, corresponde inicialmente ao que se pode chamar, de uma interpretação técnica que visa estruturar e classificar ambientes bioclimáticos homogêneos, considerando aspectos climáticos e pedológicos para fins de mapeamento da limitação hídrica, como pré-requisito ao entendimento do desenvolvimento da vegetação de caatinga. Neste caso deste trabalho, adotou-se um critério de realização que teve como essência a metodologia da classificação de terras que é composta por dois níveis hierárquicos de Classes e Subclasses. Esse mecanismo é amplamente utilizado para fins de mecanização agrícola, a exemplo da Classificação de Capacidade de Uso das Terras norteadas por Lepsch et al. (1991) e

do trabalho desenvolvido por Francisco (2010) e (2012), as quais são definidas pelo mais alto grau de limitação imposto por um ou mais atributos diagnósticos.

Para a construção das Classes e das Subclasses, adotou-se o critério de associar a letra A ao ambiente em que, pelo conjunto dos seus atributos, apresentasse um menor grau de limitação hídrica, até a Classe E, maior grau de limitação hídrica. No caso das Subclasses, o número índice gerado com o grau de limitação (1 a 5) imposto por cada um dos parâmetros do modelo, combinação de 3 número, que variam de 1 até 5 cada, no seu conjunto, definem a Classe, enquanto que, individualmente, especificam a natureza da limitação. Tomando como exemplo ilustrativo um ambiente que tivesse como símbolo A₁₁₁, este seria o de condição mais favorável; enquanto que um ambiente de símbolo E₅₅₅ seria o de condições mais limitantes em termos de disponibilidade hídrica.

Para tanto, as categorias dos mapas utilizados foram associadas a níveis. No que se refere a esses níveis, tem-se: a) Ca: (1) Muito alta Ca, (2) Alta Ca, (3) Média Ca,(4) Baixa Ca e (5) Muito baixa; b) Etp(anual): (1) Muito alta Etp (anual), (2) Alta Etp (anual), (3) Média Etp (anual), (4) Baixa Etp (anual), (5) – Muito baixa Etp (anual); e c) Pa (anual): (1) Muito alta Pa (anual), (2) Alta Pa (anual), (3) Média Pa (anual), (4) Baixa Pa (anual), (5) Muito baixa Pa (anual).

Conforme já descrito anteriormente, serão utilizados como base de dados os mapas temáticos. De acordo com Silva (2003), qualquer mapa temático poderá ser construído, tanto na forma vetorial quanto na forma matricial, de acordo com a Figura 10. Esta última formada por uma certa quantidade de mapas, dependendo da resolução e da extensão do mapa trabalhado. No caso dos mapas vetoriais, a construção se dá, por exemplo, na forma de polígonos, pontos e nos no espaço XYZ. Nesse caso, X e Y correspondem às coordenadas cartesianas e Z é o atributo da imagem, que pode ser o código da classe temática. O mesmo ocorre com um mapa em uma dita estrutura matricial, sendo que, neste caso, Silva (2003) afirma que os polígonos presentes em um mapa vetorial são equivalentes a células. Em outras palavras, pixels possuem uma dada resolução espacial, a depender, por exemplo, da disponibilidade do dado que formará o mapa, correspondendo a uma

matriz. Por exemplo, ao se considerar a análise de uma área correspondente a um quadrado de 5 Km de lado e desejando trabalhá-la no formato matricial, esta teria 50 linhas por 50 colunas, resultando em uma matriz de 2500 pixels.

Quadro 10 – Exemplo da matriz utilizada para análise no Rstudio

Coordenadas		CA	ETp	Pa
X	Y			
1	1	4	3	2
2	2	5	2	1
.
.
.
50	50	1	1	1

Fonte: Elaborado pela autora

É possível observar que as linhas da matriz (Quadro 10) são as observações de cada pixel, isto é, o que efetivamente foi mapeado no terreno. A formação das classes e subclasses é feita com uma função desenvolvida para receber os três mapas categóricos responsáveis pela formação do mapa síntese dos ambientes bioclimáticos, transformá-los em três matrizes de dados e, em seguida, uni-las para efetuar os arranjos das categorias que formarão as classes e subclasses de mapeamento. Deve-se destacar que a quantidade de classes e subclasses estabelecidas dependerá, sobretudo, da quantidade de categorias de cada mapa categórico, pois quanto maior o número delas, maior será o número de possibilidades estabelecidas. O ponto de corte de cada classe está relacionado à amplitude e à quantidade de intervalos estabelecidos.

Devido a limitações de dados, o que reflete diretamente na escala adotada, como já salientado anteriormente, o estudo proposto neste trabalho adotou a escala 1:400.000, em todos os produtos gerados. Além disso, mesmo que os dados base de precipitação e temperatura tivessem melhor resolução, estes passaram a ser reamostrados, visando uma melhor correlação com os dados gerados de Ca do solo. No *Rstudio*, além de análises estatísticas, trabalha-se, de maneira eficiente, com dados espaciais. Desse modo, exercendo praticamente a

função de um SIG, ele passou a ser utilizado nesse trabalho como tal, cabendo utilizar o *Qgis* apenas para a edição dos produtos gerados, tais como mapas temáticos. Deste modo, todos os produtos gerados ficaram armazenados no Rstudio.

Conforme já esboçado no item 3.6.1, o Rstudio é um software livre de desenvolvimento integrado para R, que opera com a sua base de dados orientada a objetos. A limitação existente reside no fato desse software não suportar grandes volumes de dados, sendo por isso necessário o uso de alguns mecanismos, o que não foi o caso desse trabalho. Muito embora seja possível acoplar nele informações sem limitações de escala, fusos, projeções dados matriciais ou “raster”, além de dados provenientes de tabelas. A estrutura de organização dos dados para a geração dos produtos desejados envolve a criação de um projeto, que corresponde à inclusão do caminho onde se encontram os diretórios onde se encontra a base de dados e a criação de *scripts* onde se encontram os comandos (programações), a exemplo das funções criadas para gerar a análise.

O passo a passo com os procedimentos realizados no Rstudio e no Qgis para estruturação do mapa-síntese dos ambientes bioclimáticos encontram-se no Apêndice 2.

3.4.2 Classes e Subclasses

Conforme já descrito anteriormente, as Classes e Subclasses foram criadas com base na amplitude das variáveis (categorias) estabelecidas para a delimitações dos ambientes bioclimáticos, os quais estão relacionadas ao grau de limitação hídrica. As classes, em número de cinco, foram categorizadas em termos de graus de limitação hídrica, do menor para o maior grau. As classes foram simbolizadas pelas letras maiúsculas de A a E, representando respectivamente as condições de: muito baixa, baixa, média, alta e muito alta limitação hídrica.

As subclasses especificam a natureza da limitação, isto é, qual e em que grau cada um dos atributos ambientais contribui para limitação hídrica da classe do

ambiente bioclimático. Com a classificação dos dados de cada parâmetro (Ca, Etp (anual) e Pa (anual), ordenados em cinco classes crescentes de valores: muito baixa, baixa, média, alta e muito alta, pôde-se atribuir os índices numéricos das classes, de 1 a 5, que representam o grau e o sentido da contribuição do parâmetro para a limitação hídrica da classe do ambiente bioclimático. Sendo assim, um ambiente com muito baixa Ca e de pluviometria apresentam grau muito elevado, índice 5 de limitação, ao desenvolvimento das plantas. Em contrapartida, quando apresenta muito baixa Evapotranspiração potencial, o grau de limitação é muito baixo e o índice é 1.

Sendo assim, a simbologia de representação de cada unidade de mapeamento dos ambientes bioclimáticos é assim apresentada:

$$C_{XYZ} \quad (17)$$

em que:

C – é o símbolo da classe do ambiente e representa a disponibilidade hídrica, que diminui da classe A a E;

x, y e z – são índices numéricos, que variam de 1 a 5, representando o grau de limitação do atributo à disponibilidade hídrica do ambiente;

x – Capacidade de armazenamento de água disponível do solo (Ca);

y – Evapotranspiração potencial anual (ETpanual); e

z – Precipitação anual (Pa anual).

A Figura 9, a seguir, representa o esquema metodológico deste trabalho.

3.4.3 Paisagens ilustrativas

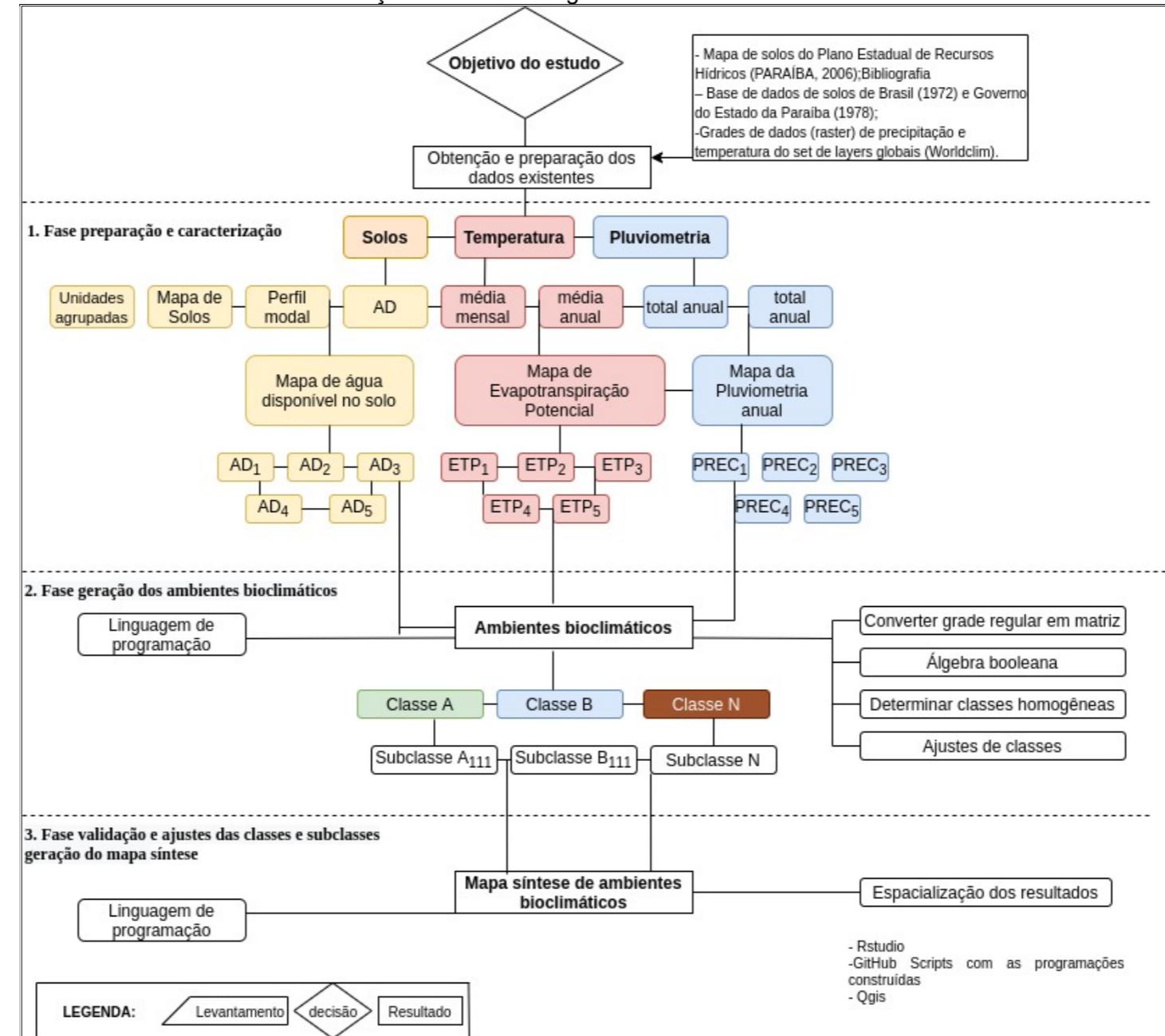
Para fins de ilustração dos ambientes bioclimáticos estabelecidos foram considerados alguns registros realizados na BHARP

A descrição das paisagens selecionadas a partir de registros realizados em campo traz uma forma de ilustrar, ou melhor, validar o que foi obtido em laboratório

com a estruturação do mapa síntese dos ambientes bioclimáticos. Daí a importância de se considerar a qualidade do produto (mapa) elaborado com base em linguagem de programação e técnicas de geoprocessamento. Muito embora isso acarrete a validação e eficácia do produto gerado, deve ser levado em consideração as restrições impostas pela pandemia do coronavírus (COVID-19), momento inesperado em nossas vidas, impossibilitando-nos de realizar viagem de observações e registros fotográficos. Sendo assim, dentro do possível, com acervos de imagens pessoais e o auxílio do Google Earth são apresentadas algumas exemplificações e comentários sobre alguns ambientes característicos da área de estudo.

A Figura 9, a seguir, representa o esquema metodológico deste trabalho.

Figura 9 – Esquema metodológico da espacialização do balanço hídrico climatológico, geração das unidades bioclimáticas e a caracterização da bacia hidrográfica do alto curso do rio Paraíba





Fonte: Acervo da autora.

[...] A originalidade dos sertões no Nordeste brasileiro reside num compacto feixe de atributos: climático, hidrológico e ecológico. Fatos que se estendem por um espaço geográfico de 720 mil quilômetros quadrados [...]. (**Domínios de Natureza do Brasil**, de Aziz Ab'Sáber, p.85)

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção são apresentados e discutidos os dados relativos aos atributos geradores do agrupamento criado pela combinação de três índices, o qual define ambientes bioclimáticos para a BHARP, a partir da Técnica Arranjo Simples. Nesse sentido, na sequência de formatação das classes e subclasses que compõem os ambientes bioclimáticos, serão analisados os dados de Ca (item 4.1), base de dados gerada para este trabalho. Logo em seguida, serão analisadas a Evapotranspiração Potencial e a Pluviometria (itens 4.2 e 4.3) mensal e anual. Na etapa final, é feita a apresentação e considerações sobre os ambientes bioclimáticos, incluindo paisagens ilustrativas relacionadas a algumas classes e subclasses dos ambientes bioclimáticos identificados (item 4.4). Os resultados serão discutidos na ordem de formação dos produtos gerados para a caracterização e definição dos ambientes bioclimáticos construídos.

4.1 Estimativa da Capacidade de Armazenamento de Água no Solo

Embora limitado pelas abstrações impostas pela escala e escassez de dados de Ca para a área da BHARP, com os dados presentes em Brasil (1972) e (1976) e Aesa (2006), e as adapatações realizadas a partir da metodologia de Assad et. al (2016), foi possível encontrar perfis modais representativos dos agrupamentos das unidades de mapeamentos do mapa de solos e com isso encontrar estimativas de

valores de Ca para a BHARP. Desse modo, no presente item, serão mostrados os resultados e análises obtidas frente ao que foi gerado.

4.1.1 Mapeamento dos solos da BHARP a partir dos perfis modais

O mapa de solos elaborado para BHARP neste trabalho (Figura 10) resulta dos agrupamentos das unidades de mapeamento considerando as diferentes associações de solos, estas unidades de mapeamento do levantamento de solos da Paraíba (PARAÍBA 1972; AESA 2006). O quadro x mostra os Agrupamentos das Unidades de Mapeamento obedecendo aos critérios de estruturação dos perfis modais definidos neste trabalho.

Quadro 17 - Unidades de mapeamento agrupadas segundo os critérios de estruturação dos perfis modais

Grupo	unidades de mapeamento por grupo	Unidade de mapeamento utilizada como base para a geração do perfil modal por grupo
NY ₁	NY-3, 6.	NY ₃
RL ₁	RL ₂₀	RL ₂₀
RL ₂	RL-23, 24, 25, 66.	RL ₂₃
RL ₃	RL-70, 32	RL ₃₂
RL ₄	RL-39, 19, 58, 18.	RL ₃₉
RR ₁	RR-11, 15, 17	RR ₁₁
RR ₂	RR ₁₃	RR ₁₃
TC ₁	TC ₁₇	TC ₁₇
TC ₂	TC-19, 37, 38, 41, 44, 45	TC ₁₉
TC ₃	TC-24, 27, 43, 48, 49, 57	TC ₂₄
TC ₄	TC-25, 47, 52, 55	TC ₂₅
TC ₅	TC – 28	TC ₂₈
VX ₁	VX-2, 8, 9, 13	VX ₂

PVA ₁	PVA ₁	PVA ₁
------------------	------------------	------------------

Fonte: Elaborado pela autora.

Como se pode observar no Quadro 11, foram geradas 16 unidades de mapeamento dos solos resultantes do agrupamento de 43 associações de solos identificadas originalmente na BHARP, com base nos dados do mapa de solos da Paraíba, considerando AESA (2006).

No Quadro 11 e na legenda da Figura 9, estas unidades são representadas por sete Subordens de solos e uma classe de Afloramentos de Rochas, que estão representadas por cores no mapa de solo gerado com a partir dos perfis hipotéticos, bem como algumas fases destas Subordens, com diferenciações relativas a um ou mais atributos relacionados a textura, pedregosidade, profundidade e/ou relevo. A identificação das fases é feita por letras referentes às Subordens dos solos e índices numéricos especificando as fases.

Quadro 11 – Classes de solos representativas de cada agrupamento com suas áreas e percentuais de ocorrência na BHARP determinados a partir dos perfis modais definidos

Solos Representativos		Unidades de Mapeamento	km ²	(%)
Afloramento de Rocha (AR)	AR ₁	Associação de Afloramentos de Rocha e Litólicos Eutróficos com A fraco, textura arenosa e/ou média, fase pedregosa e rochosa, caatinga hiperxerófila, relevo forte ondulado e montanhoso, substrato gnaisse e granito.	27	0,4
Neossolo Flúvico	NY ₁	Solos Aluviais Ta, textura indiscriminada, fase caatinga hiperxerófila e relevo plano.	241	3,9
Neossolo Regolítico (NY)	RR ₁	Eutrófico, com fragipan, A fraco, textura arenosa, fase caatinga hiperxerófila e relevo suave ondulado.	111	1,8
	RR ₂	Eutrófico, com A fraco, textura arenosa, fase caatinga hiperxerófila e relevo suave ondulado e ondulado.	42	0,7
Neossolo Litólico (RL)	RL ₁	Eutróficos, com A fraco textura arenosa e/ou média, fase pedregosa, caatinga hiperxerófila, relevo suave ondulado substrato gnaisse e granito.	220	3,5

Quadro 11- Classes de solos representativas de cada agrupamento com suas áreas e percentuais de ocorrência na BHARP determinados a partir dos perfs modias definidos

	RL ₂	Eutróficos, com A fraca textura arenosa e/ou média, fase pedregosa, caatinga hiperxerófila e relevo suave ondulado e ondulado substrato gnaisse e granito.	1109	17,7
	RL ₃	Eutróficos, com A fraco textura arenosa e/ou média, fase pedregosa, caatinga hiperxerófila e relevo ondulado e forte ondulado substrato gnaisse e granito.	406	6,5
	RL ₄	Eutróficos, com A fraco textura arenosa e/ou média, fase pedregosa, caatinga hiperxerófila e relevo forte ondulado e montanhoso.	595	9,5
Luvissolo Crômico (TC)	TC ₁	Órtico, com A fraco, textura argilosa fase pedregosa caatinga hiperxerófila relevo suave ondulado.	824	13,2
	TC ₂	Órtico, com A fraco, textura argilosa, fase pedregosa, caatinga hiperxerófila, relevo ondulado.	13	0,2
	TC ₃	Vértico com A fraco, textura média, fase pedregosa caatinga hiperxerófila e relevo suave ondulado.	952	15,2
	TC ₄	Vértico com A fraco, textura argilosa, fase pedregosa, caatinga hiperxerófila e relevo suave ondulado.	83	1,3
	TC ₅	Vértico com A fraco, textura argilosa, fase pedregosa, caatinga hiperxerófila e relevo ondulado.	832	13,3
Vertissolo Háplico (VX)	VX ₁	Vertissolo com A moderado, fase pedregosa, caatinga hiperxerófila e relevo suave ondulado.	652	10,4
Planossolo Nátrico (VX)	SN ₁	Associação de Planossolo Nátrico Ta, com A fraco, textura média, fase caatinga hiperxerófila, relevo plano e suave ondulado + Solos Litólicos Eutróficos, com A fraco, textura arenosa e/ou média, fase pedregosa e rochosa, caatinga hiperxerófila, relevo suave ondulado e ondulado, substrato gnaisse e granito.	83	1,3
Argissolo Vermelho Amarelo (PVA)	PVA ₁	Argissolo Vermelho Amarelo Eutrófico com A moderado textura média fase caatinga hiperxerófila relevo plano e suave ondulado.	64	1
Total			6250	100

Fonte: Elaborado pela autora

As unidades de mapeamento de Luvissolo Crômico TC₁, TC₃ e TC₅ são as de maiores expressões geográficas, ocupando áreas de 824 km², 952 km² e 832 km²,

respectivamente. As unidades TC_1 , com textura média e relevo suave ondulado, e a TC_5 , com textura argilosa e relevo ondulado, apresentam características vérticas (horizonte B com argila expansiva de atividade alta) e ocorrem predominantemente em altitudes inferiores a 600 m, com exceção de uma área da unidade TC_3 , localizada ao norte da cidade de Amparo (Figura 10). As áreas mais baixas da BHARP são as mais quentes e secas, aspecto que favorece a formação de argilas de atividade alta, conforme descrevem Kampf e Curi (2012).

A unidade TC_2 possui solo argiloso órtico e relevo ondulado, apresentando melhor drenagem e maior desenvolvimento do perfil. Essa unidade está relacionada com precipitações entre 600 e 700 mm.ano⁻¹ e altitudes acima de 600 m. Além disso, está mais especificamente situada nas áreas das cabeceiras de drenagem, a oeste da BHARP.

O Neossolo Litólico é a segunda classe de solo de maior ocorrência, abrangendo uma área de 2326 km², o correspondente a 37,2% da área da BHRAP (Quadro 11). Esses são solos jovens, pouco desenvolvidos, rasos e férteis, que ocorrem em todos os ambientes da BHARP (Figura 10). Em relação à diferenciação de suas unidades de mapeamento, a declividade é o atributo diagnóstico determinante. A RL_2 , com relevo suave ondulado e ondulado, é a unidade predominante de Neossolo Regolítico, ocupando, isoladamente, 17,7% da área total da bacia. Essa unidade tem áreas de ocorrência em praticamente 50% da porção norte da BHARP, assim como também no sentido leste-oeste, desde o exutório no açude de Boqueirão, prolongando-se na sub-bacia do rio Sucuru e em parte da margem esquerda do rio Paraíba. Com menor área de ocorrência está a unidade RL_1 , apresentando relevo suave ondulado, ocupando uma área de 220 km² (Quadro 11), no terço médio da BHARP, na confluência do rio Sucuru com o rio Paraíba, mais especificadamente ao norte da cidade do Congo (Figura 10).

Em condições mais elevadas, acima de 600m, em posições do terço médio e superior do maciço de serras a sudeste do divisor com Pernambuco, ocorrem as duas unidades mais expressivas do Neossolo Litólico. A RL_1 ocorre em relevo suave ondulado, ocupando 220 km², o correspondente a 3,5% da BHARP. Esta unidade

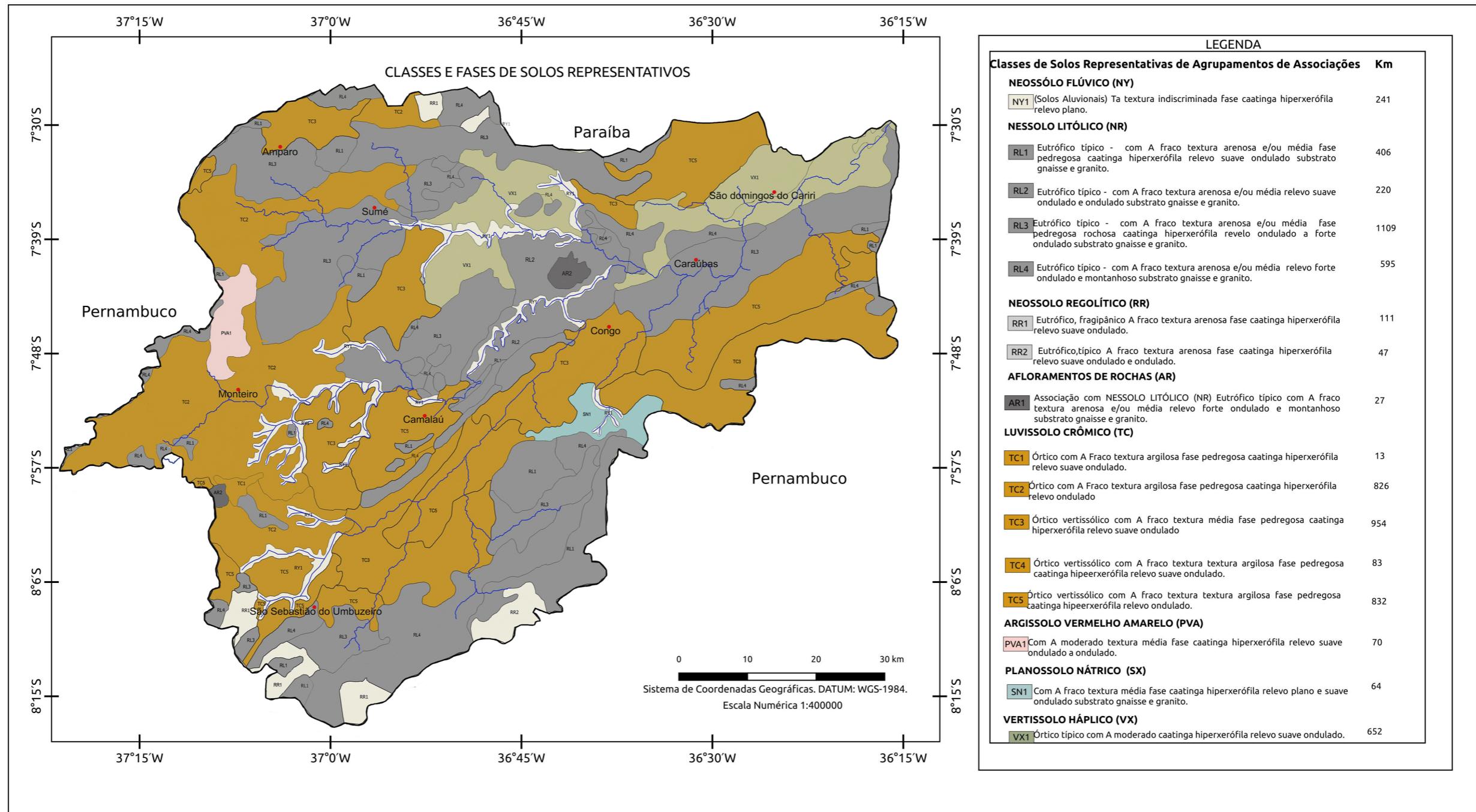
ocorre também em áreas menores e esparsas, nos divisores ao sul e a oeste e, com menor frequência, em outras áreas, mas sempre em posições mais elevadas da paisagem. A unidade RL4 predomina em relevo forte ondulado e montanhoso, estando quase sempre associada às áreas de serras nos divisores e em unidades interiores da BHARP. Embora ela represente áreas de maiores riscos a degradação, apresentam-se mais preservadas por serem de difícil acesso e impróprias para o cultivo, como observaram Chaves et al. (2013), em estudo sobre degradação das terras na bacia do Taperoá.

A unidade NY₁, composta por Neossolo Flúvico, possui textura indiscriminada e está associada aos terraços fluviais dos rios. São solos jovens, com pouca diferenciação de horizontes, que normalmente são profundos. São recorrentes em áreas planas, mais precisamente em margens alargadas da rede de drenagem, conforme descreve a Figura 10. É estimado que ocorra 241 km² de área com esta unidade de mapeamento, o que corresponde a 3,9% da área total da bacia (Quadro 11). Sobre as áreas onde se encontram os Neossolos Flúvicos Lima e Artigas (2013), Souza et al. (2015) e Souza e Souza (2016) afirmam que são áreas de várzeas muito utilizadas para a prática extrativista e agrícola, o que acabou corroborando mudanças acentuadas na cobertura vegetal.

O Neossolo Regolítico é formado da fragmentação de rochas ácidas, granitos e gnaisses do Pré-Cambriano (CD), ocorrendo em ambientes sub-úmidos de caatinga hipoxerófila (BRASIL, 1972). Na área de estudo, ocorrem em ambientes mais elevados dos divisores de água, com maior pluviometria (Figura 10). Ocorrem na bacia as unidades RR₁, que apresentam fragipan e relevo suave ondulado e a unidade RR₂, um Neossolo Regolítico Eutrófico típico com relevo suave ondulado e ondulado. Em ambas unidades os solos são pouco desenvolvidos, arenosos e moderadamente profundos a profundos. A unidade RR₁, com horizonte fragipânico, ocupa uma maior área, 111 km², o que representa 1,8% da área total estudada; enquanto a unidade RR₂, de Neossolo Eutrófico típico, ocupa apenas uma área de 45 km².

A unidade VX₁ é representada por um Vertissolo Háplico Órtico típico, relevo suave onulado, que ocorre em duas áreas grandes no terço inferior e médio da bacia, totalizando 654 km², que, em termos percentuais, abrange 10,4 % da BHARP. Essas áreas são ambientes quentes e secos que favorecem a formação de solo pouco desenvolvido, mas que, sobre rochas básicas, ricas em minerais ferromagnesianos, dão origem a argilas expansivas de atividade alta e com grande reserva de nutrientes minerais, a exemplo das argilas vermiculita e esmectita (KAMP et al., 2012).

Figura 10 – Solos, grupos formados, descrição dos grupos e abrangência em km² estabelecidos a partir dos perfis hipotéticos de solos definidos com base nos dados de Brasil (1972) da área que compreende a BHARP.



Fonte: Elaborado pela autora.

¹⁴ As cores utilizadas no mapa de perfis hipotéticos de solo são as cores sugeridas por Embrapa (2018).

Em área isolada a sudeste, com extensão de 64 km², 1% da BHARP, ocorre a unidade SN₁; Solo Planossolo Nátrico com A fraco textura média. Este tipo de solo é comum na BHARP, ocorrendo também na cidade de Campina Grande, vertentes à margem esquerda do rio Paraíba, progredindo na bacia do rio Taperoá até os municípios de Soledade e Juazeirinho. A altitude da área de ocorrência é próxima a 600m e, em termos de localização geográfica, está na posição do terço superior da drenagem, o que guarda a semelhança com as demais áreas de ocorrência deste solo na região, conforme descreve Brasil (1978).

Outra unidade de solo com ocorrência bem individualizada é a do PVA₁, o Argissolo Vermelho Amarelo, fase caatinga hipoxerófila e relevo suave ondulado. Conforme a Figura 10, localiza-se no terço superior da drenagem, a oeste da BHARP, em altitude próxima aos 700m. Este solo ocupa uma área de 83 km², o que representa 1,3% da área total da BHARP (Quadro 11). A ocorrência desta unidade isolada de solo deve estar relacionada às condições mais favoráveis de precipitação, posição topográfica e à presença de uma unidade geológica diferenciada do entorno, a “Suíte Prata”, um conglomerado de Sienogranito com Basalto e Dacito comagmático, de acordo com a carta geológica de Jaguaribe 1:500.000 (Folha SB.24-Z) (CPRM, 2000). Este solo, que apresenta maior grau de desenvolvimento pedogenético, é normalmente mais profundo e apresenta um arranjo estrutural mais poroso, o que favorece as suas condições hidrológicas.

4.1.2 Perfil modal e capacidade de armazenamento de água dos solos

O estabelecimento de perfis modais adotados neste trabalho teve como objetivo suprir a escassez de dados de solos, viabilizando a estimativa de dados sobre a Ca dos solos expressa em milímetros. Deste modo, conforme já exposto no

item 3.3.3.1, foram considerados os atributos da morfologia dos perfis relativos a número, textura, espessura e pedregosidade dos horizontes e sub-horizontes, conforme é possível observar no Quadro 12. Este apresenta a descrição dos perfis modais estabelecidos para os 16 grupos criados a partir das 43 associações de solos identificadas para a BHARP.

Como se pode observar no Quadro 12, as unidades de mapeamento de Sub-Ordens de solos com maior diversidade de atributos, a exemplo dos Neossolos Litólicos e Luvissolos Crônicos, relativos sobretudo as condições de relevo e pedregosidade, tiveram compensações na morfologia.

Sendo assim, tomando como exemplo inicial a unidade estabelecida de maior expressividade TC_3 (952 km², conforme a Figura 10), tem-se solos Órtico vertissólico, com A fraco, textura argilosa, fase pedregosa e que, de acordo com Brasil (1972), apresenta caatinga hiperxerófila e relevo suave ondulado. Morfologicamente, essa unidade apresenta uma sequência de horizontes A, B_{2t} e C, com profundidades em centímetros de 20, 40 e 30; respectivamente, onde o horizonte A apresenta textura franco arenosa, com 65% de areia. O horizonte B_{2t} possui textura franco argilosa e 32% de areia; o horizonte B_{2t} apresenta textura franco e 40% de areia. Já o horizonte C apresenta textura argilo arenosa, com 51% de areia e com cascalho. Este perfil apresenta profundidade de 94 cm.

Na menor unidade de mapeamento estabelecida, que confere como sendo a unidade TC_2 (13 km², conforme a Figura 10) dentre as de Luvissolo Crônico observa-se que este perfil confere solos Órticos, de textura argilosa e relevo suave ondulado. O TC_2 apresenta uma sequência de horizontes de quatro horizontes: A, B_{21} , IIB_2 e C, com profundidades em centímetros de 15, 20, 25 e 15 centímetros, respectivamente, conferindo uma capacidade de água disponível de 92 mm.

Quanto aos Neossolos Litólicos (RL), observa-se, no Quadro 12, que as unidades estabelecidas apresentam como característica acentuada a variação do relevo. No caso do RL_2 , solo de maior predominância (Figura 10), está presente em relevo suave ondulado e ondulado, sendo formada por solos com três horizontes: A, C e R. O horizonte A, de 15 centímetros e 65% de areia, comportando 15,4mm de

água; horizonte C, com 15 centímetros e textura areia franca, cascalhenta (0,7), bem como 86% de areia e 15,4mm de água disponível no solo; horizonte R, com 15 centímetros, cascalhenta (0,7), bem como 86% de areia e 8 mm de Ca.

Quadro 12 – Classes de solos representativas de agrupamentos com suas áreas e percentuais de ocorrência na BHARP definidos a partir dos perfis modais de solo tendo como base os dados de Brasil (1972)

Solos Representativos		Unidades de Mapeamento	Descrição morfológica do perfil modal estabelecido ^a
Afloramento de Rocha (AR)	AR ₁	Associação de Afloramentos de Rocha e Litólicos Eutróficos, textura arenosa e/ou média, relevo forte ondulado e montanhoso.	Horz. A: 0 – 10 cm, (65% de areia), 10,3 mm de água; C, 10 – 25 cm, (86 % de areia), cascalhenta (0,7), 11 mm de água. (cascalho fator 0,7) AD _T = 21,3.
Neossolo Flúvico (NY)	NY ₁	Solos Aluviais Ta, textura indiscriminada, e relevo plano.	Horz. A ₁ : 0-20 cm, areia franca (86% de areia) e 15,3 mm de água; C ₁ : 40-60 cm, franco arenosa (65 % de areia), e 41,2 mm de água; IIC ₂ : 60 – 90 cm, franco arenosa (65% de areia) e 27,2 mm de água (cascalhenta fator 0,88); IIC ₃ : 90 – 120 cm, franco arenosa (65 % de areia) e 21,6 mm de água (cascalhenta fator 0,77) AD _T = 105,3.
Neossolo Rególico (NY)	RR ₁	Eutrófico, textura arenosa e relevo suave ondulado.	Horz. A ₁ : 0 – 35 cm, arenosa (92 % de areia) e 23,5 mm de água; C ₁ : 35 – 80 cm, areia franca (86 % de areia) e 34,3 mm de água; C ₂ : 80 – 120 cm, areia franca (86 % de areia), e 30,5 mm de água; C ₃ : 120 – 155 cm, franco arenosa (86 % de areia), cascalhenta (0,7), e 18,9 mm de água AD _T = 107,2.
Neossolo Litólico (NL)	RR ₂	Eutrófico, textura arenosa e relevo suave ondulado e ondulado.	Horz. A ₁ : 0 – 25 cm, arenosa (92 % de areia) e 16,8 mm de água; C ₁ : 25 – 80 cm, areia franca (86 % de areia) e 42 mm de água; C ₂ : 80-120, franco arenosa (65% areia), cascalhenta (0,7) e 28,8 mm de água AD _T = 87,4
Neossolo Litólico (NL)	RL ₁	Eutróficos, textura arenosa e/ou média, fase pedregosa e relevo suave ondulado.	Horz. A (0 – 20 cm), franco arenosa (65% de areia) e 20,6 mm; C: (20 – 35 cm) franco arenosa (86 % de areia) e 11,4 mm; R (35 – 50 cm), areia franca (86 % de areia), cascalhenta, fator 0,7, e 8,3 mm. AD _T = 40,3.
Neossolo Litólico (NL)	RL ₂	Eutróficos, textura arenosa e/ou média, fase pedregosa e relevo suave ondulado e ondulado.	Horz. A (0 – 15 cm), franco arenoso (65 % de areia) e 15,4 mm de água; C (15 – 30 cm), franco arenoso (65 % de areia) e 15,4 mm de água; e R (30 – 45 cm), areia franca (75 % de areia), cascalhenta, fator 0,7, e 8 mm. AD _T = 39
Neossolo Litólico (NL)	RL ₃	Eutróficos, textura arenosa e/ou média, fase pedregosa e relevo ondulado e forte ondulado.	Horz. A (0 – 10 cm), franco arenosa (65% de areia) e 10,3 mm; C (10 – 35 cm), franco arenosa (76 % de areia), cascalhenta, fator 0,7, e 13 mm. AD _T = 23,6.
Neossolo Litólico (NL)	RL ₄	Eutróficos, textura arenosa e/ou média, fase pedregosa e relevo forte ondulado e montanhoso.	Horz. A (0 – 15 cm), franco arenosa (65 % de areia) e 10,3 mm de água; e C (15 – 30 cm), areia franca (86 % de areia), cascalhenta, fator 0,7, e 8,1 mm de água. AD _T =18,3.
Luvissolo Crômico (TC)	TC ₁	Órtico, textura argilosa fase pedregosa, relevo suave ondulado.	Horz. A ₁ : (0 – 20) cm, areia (60 % de areia) e 21,6 mm de água; B _{2t} : (20 – 40) cm, areia franca (32 % de areia) e 25,5 mm de água; IIB _{2t} : (40 – 65) cm, areia franca (25 % de areia) e 32,4 mm de água; C: (65– 80) cm, franco argiloarenosa (40 % de areia) e 18,6 mm. AD _T = 98,1 mm
Luvissolo Crômico (TC)	TC ₂	Órtico, textura argilosa, fase pedregosa e relevo ondulado.	Horz. A ₁ : (0 – 15) cm, franco argiloarenosa (60 % de areia) e 16,2 mm de água; B _{2t} : (15 – 35) cm, franco argilo arenosa (32 % de areia) e 25,5 mm de água; IIB _{2t} : (35 – 60) cm, argila (25 % de areia) e 32,4 mm de água; C: (60 – 75) cm, franco (40 % de areia) e 18,6 mm. AD _T = 92 mm.
Luvissolo Crômico (TC)	TC ₃	Vértico, textura média, fase pedregosa e relevo suave ondulado.	Horz. A (0 – 20 cm), franco arenoso (65 % de areia), e 20,6 mm de água; B _{2t} (20 – 60 cm), franco argiloso (32 % de areia), e 51 mm de água; C (60 – 90 cm), franco argilo arenosa (60 % de areia), cascalhenta fator 0,7, e 22,7 mm de água. AD _T = 94 mm.
Luvissolo Crômico (TC)	TC ₄	Vértico, textura argilosa, fase pedregosa, e relevo suave ondulado.	Horz. A (0 – 15 cm), franco arenosa (65 % de areia), e 15,4 mm de água; B _{2t} (15 – 50 cm), franco argilosa (32 % de areia), e 44,6 mm de água; C (50 – 80) cm, argiloso arenoso (51 % de areia), cascalhenta fator 0,7, e 34,8 mm de água. AD _T = 84 mm.
Luvissolo Crômico (TC)	TC ₅	Vértico, textura argilosa, fase pedregosa e relevo ondulado.	Horz. A ₁ (0 – 10 cm), franco arenosa (65 % de areia), e 10,3 mm de água; 2Bt (10 – 35 cm), franco argilo arenosa (32 % de areia), e 31,9 mm de água; IIB _{3t} (35 – 50 cm), franco argiloarenosa (40 % de areia), e 18,6 mm de água; IIC (50 – 65 cm), franco (51 % de areia), e 17,4 mm de água. AD _T = 78 mm.
Vertissolo Háplico (VX)	VX ₁	Vertissolo com A moderado, fase pedregosa e relevo suave ondulado.	Horz. A ₁ (0 – 10 cm), franco (40 % de areia), e 12,4 mm de água; C ₁ (10 – 45 cm), franco argilosa (32 % de areia), e 44,6 mm de água; C ₂ (45 – 80 cm), franco argiloarenoso (60 % de areia), e 37,8 mm de água. AD _T = 94 mm.

Quadro 12 – Classes de solos representativas de agrupamentos com suas áreas e percentuais de ocorrência na BHARP definidos a partir dos perfis modais de solo tendo como base os dados de Brasil (1972)

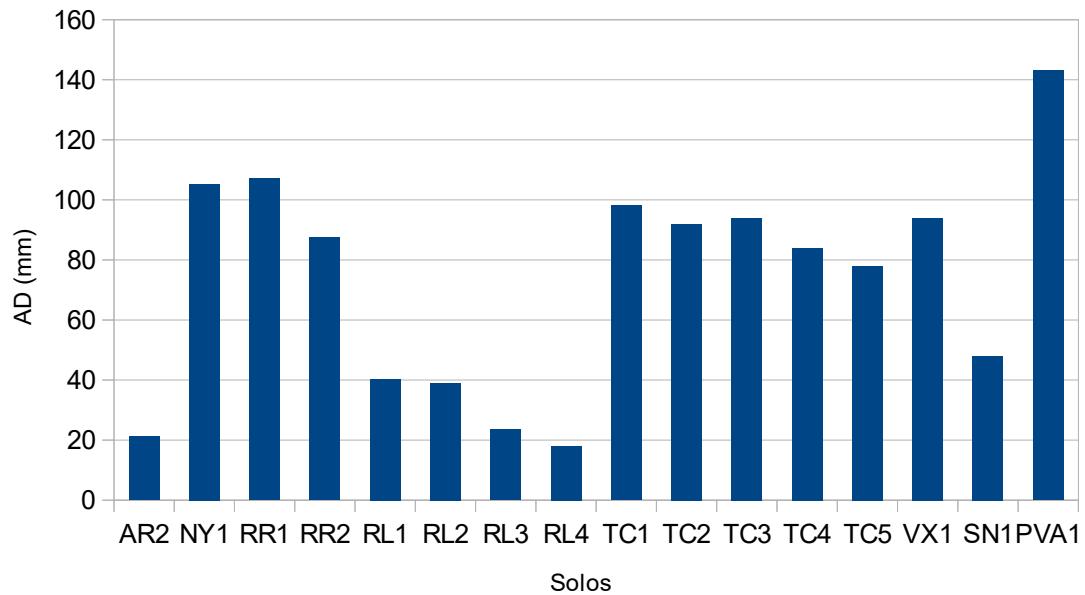
08
(continua)

Planossolo Nátrico (VX)	SN ₁	Textura média, fase caatinga hiperxerófila, relevo plano e suave ondulado.	Horz. A (0 – 20 cm), areia (65 % de areia), e 10 mm de água; B ₂₁ (20 – 40 cm), areia franca (32 % de areia), e 11,4 mm de água; C (40 – 70) com, franco argiloarenoso (51 % de areia), cascalhenta (0,7), e 27 mm de água. AD _T = 48 mm.
Argissolo Vermelho Amarelo (PVA)	PVA ₁	Eutrófico, textura média e relevo plano e suave ondulado.	Horz. A ₁ (0 – 15), franco arenosa (65 % de areia), e 15,4 mm de água; B ₂₁ (15 – 55), franco argiloarenoso (60 % de areia), e 27 mm de água; B ₂₂ (55 – 95), franco argilosa (32 % de areia), e 51 mm de água; B ₃₁ (95 – 135), franco (40 % de areia), e 49,5 mm de água. AD _T = 143 mm.

Fonte: Elaborado pela autora. (*) Água disponível no solo.

Observando a Figura 11, a seguir, é perceptível perceber a variação de água disponível existente entre os grupos de solos estabelecidos. Sem dúvida, esta variação corresponde aos valores relativos aos atributos que compõem cada perfil. No caso dos Neossolos Litólicos, é possível observar, em cada morfologia do perfil estabelecido, que as diferentes condições de relevo e pedregosidade contribuíram para os resultados obtidos.

Figura 11 – Quantidade de água disponível no solo por perfil estabelecido



Fonte: Elaborado pela autora.

De fato, ao se observar, no Quadro 12, as unidades de mapeamento estabelecidas por meio dos agrupamentos das classes de solos, é possível constatar, por exemplo, uma diferença entre as unidades de mapeamentos RL₁ e RL₄, entendendo-as pelas informações observadas no declive e pedregosidade dos horizontes estabelecidos. Nesse caso, a espessura do horizonte A da unidade de mapeamento RL₁ que está sobre um relevo suave onulado é de 20 centímetros (0 – 20 cm), ao passo que a unidade RL₄, em relevo forte onulado e montanhoso, apresenta espessura de 15 centímetros (0 – 15 cm).

A título de comparação com os resultados acima descritos, Lunguinho (2018), estudando perfis de solos em uma área do cariri paraibano, identificou, em uma vertente de afloramento rochoso, um perfil de Neossolo Litólico Eutrófico fragipânico de horizontes A (0 – 8 cm) AC (8 – 35 cm) e CR (35 – 60 cm); todos de textura franco arenosa. Dentre as características observadas com A moderado, observa-se textura média arenosa, cascalhenta e presente em relevo suave ondulado. Esse resultado obtido ressalta, de certo modo, que os valores encontrados por meio da proposta idealizada nesse trabalho demonstram não estarem destoando do que realmente se encontra e campo.

O perfil modal estabelecido para o grupo RR₂ possui quatro horizontes: o primeiro é o A₁, com 35 centímetros, de textura média, 92 % de areia e comporta 6 mm de água; O segundo é o C₁, com 45 centímetros, textura areia franca, cascalhenta, 86 % de areia e comporta 7 mm de água. O terceiro é o perfil C₂, que possui 40 centímetros, textura areia franca, cascalhenta, uma proporção de 86 % de areia e comporta 7 mm de água. Já o terceiro é o C₃, que chega a 35 centímetros, textura franco argilosa, cascalhenta, 86 % de areia e comporta 11 mm de água.

Dentre os grupos anteriormente descritos, o PVA₁ se sobressai pela qualidade, pois, devido a sua formação, é um solo de maior profundidade. De acordo com o quadro 18, ele possui quatro horizontes em seu perfil – A₁, B_{21t}, B_{22t} e B₃ – que juntos resultam em 120 centímetros de profundidade. De maneira geral, a textura existente ao longo desse perfil é areia franco argilo-arenosa, predominantemente sobre um relevo plano e suave ondulado, onde há a recorrência de uma caatinga hiperxerófila.

Do mesmo modo que a unidade PVA₁, os Neossolos Flúvicos (NY₁) são os solos de maior profundidade, formados por quatro horizontes – A₁, C₁, IIC₂, IIIC₃. Respectivamente, o primeiro apresenta 20 centímetros de profundidade, textura areia franca, 86% de areia e suporta cerca de 7 mm de água. O horizonte C₁ possui 40 centímetros de profundidade, textura franco arenosa, 65 % de areia e chega a comportar 10 mm de água. O horizonte IIC₂ tem 30 centímetros de profundidade, textura franco arenosa, cascalhenta, cerca de 0,88 de teor de cascalho, 65 % de

areia e pode armazenar 10 mm de água. O último horizonte, IIIC₃, tem 30 centímetros, textura franco arenosa, 0,77% de teor de cascalho, 65 % de areia e capacidade de armazenar 10 mm de água.

4.1.2.1 Capacidade de Armazenamento de Água dos Solos

Conforme exposto no item 3.7, a determinação da água disponível no solo levou em consideração as PDF's selecionadas por Assad et al. (2001). Desse modo, inicialmente, as equações utilizadas foram ajustadas para determinação da umidade volumétrica, em %, nas tensões de -10 kPa (q_{10}) e -1.500 kPa ($q_{1.500}$), considerando o conteúdo de areia total (AT). Para tanto, considerou-se como base os dados oriundos dos perfis modais estabelecidos. Em seguida, determinou-se a quantidade de água disponível em dois procedimentos distintos: no primeiro foi calculada a diferença entre q_{10} e $q_{1.500}$, por meio das equações de ajustes; no segundo, cada valor calculado por horizonte foi multiplicado pelos centímetros correspondentes a cada perfil e à pedregosidade quando houvesse. Por fim, efetuou-se a soma do perfil correspondente e multiplicou-se por 10, a fim de resultar na quantidade de água em milímetros.

Em linhas gerais, neste trabalho, foi adotado para avaliar a precisão do modelo utilizado para estimar os valores de CA em milímetros os mesmos procedimentos de Assad et al. (2001). Desse modo, o erro foi medido através dos valores mínimo, médio e máximo (Tabela 1). De maneira geral, os coeficientes de determinação (r^2) confirmaram a boa precisão do modelo adotado, no que diz respeito à estimativa de q_{10} e q_{1500} , explicando 90 % e 92 % de variação. Além disso, partindo do mesmo critério de Assad et al. (2001), os valores do erro padrão – obtidos na estimativa de q_{10} e de $q_{1.500}$, em função de AT – encontrados foram relativamente baixos e compatíveis com os que costumeiramente são vistos na literatura, conforme Pachepsky (1999).

Tabela 1 – Parâmetros estatísticos calculados a partir da base de dados gerados através dos perfis modais utilizados para validar a estimativa da umidade volumétrica a -10 kPa (q10) e a -1.500 kPa (q1.500) a partir do conteúdo de areia total (AT)

	Areia Total	q-10	q – 1.500	AD	CA
	(%)	.....volume (%) .....	.....mm.....		
Dados estimados					
Máximo	92	34, 8	21, 8	12,9	142,9
Mínimo	25	10, 2	3, 5	6,7	18
Mediana	65	21, 7	11, 4	10,3	87,6
Média	66	22, 3	12	10,3	72,21
Desvio padrão	20, 3	7, 5	5, 1	2	39,5

De acordo com os dados da Figura 12, pode-se verificar que a área de estudo é majoritariamente caracterizada pelas classes moderada (90 mm) a muito baixa (30 mm), de capacidade água disponível no solo (AD), o correspondente a cerca de 80 % da BHARP. Sob esse aspecto se pode inferir que, em princípio, proporciona um limitado suporte de água para a manutenção de uma cobertura vegetal de maior porte, mesmo que sejam espécies da caatinga.

Os solos mais rasos de mais baixa AD estão relacionados aos ambientes mais declivosos (Figura 8a), até mesmo em áreas onduladas mais secas, onde o regime irregular e intempestivo das chuvas aumenta as perdas de água pelo escoamento, o que limita a formação dos solos (Figura 10). Conforme já descrito anteriormente, essa classe corresponde aos Neossolos Litólicos (RL).

O grande predomínio da classe moderada de AD está relacionado a solos Luvissolos Crônicos (TC). Como se pode ver no Quadro 13, são solos que, em geral, podem apresentar formação de horizontes verticais (argila de atividade alta) em ambientes mais quentes e secos, favorecidos pelo relevo mais plano (Figura 8¹⁵a), ou a solos rasos a moderadamente profundos (Quadro 13 e Figuras 10 e 12), em ambientes com maior disponibilidade de chuvas (Figura 16).

¹⁵ Vide capítulo 4, página 70.

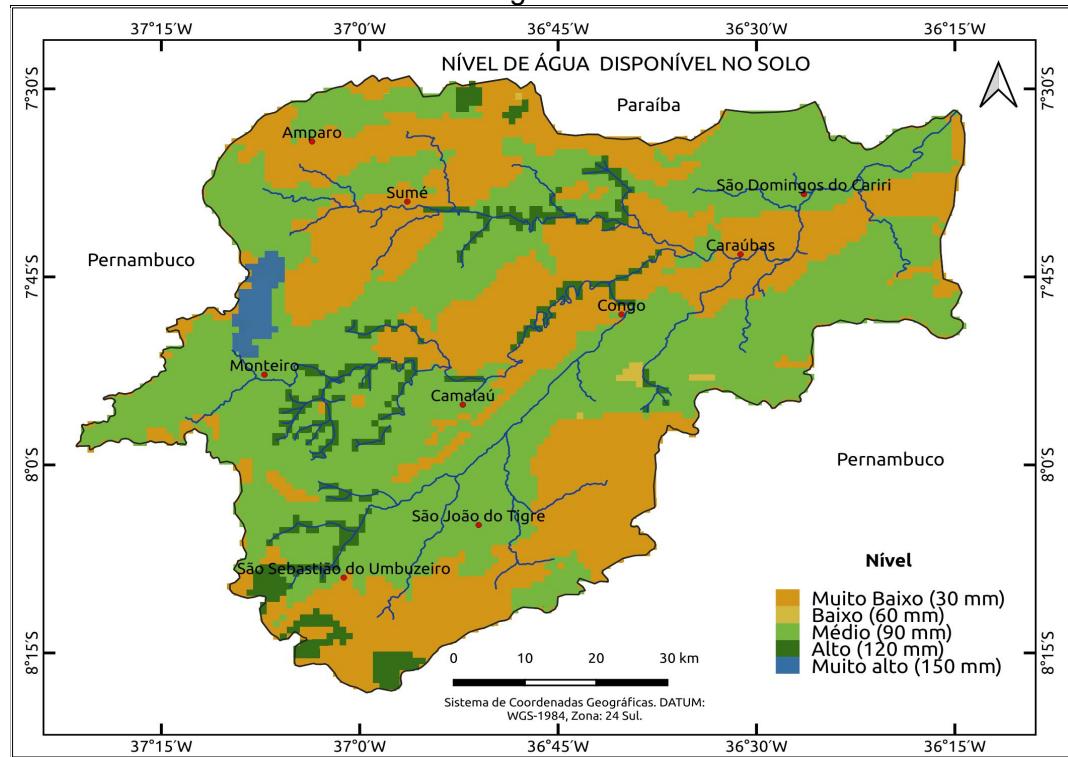
Quadro 13 – Níveis, classes reais, ponto médio e porcentagens de contribuição da cada classe estabelecida para a capacidade de armazenamento de água no solo, em milímetros

Níveis	Classes Reais	Xi*	Fr(%)
Muito Baixa	[15 – 45 [	30	50
Baixa	[45 – 75 [	60	1,5
Média	[75 – 105 [	90	35,3
Alta	[105 – 135 [	120	12
Muito Alta	[135 – 165[	150	0,7
Total	-	-	100

(*) Xi = Ponto médio da classe estabelecida.

Fonte: Elaborado pela autora com base nos valores estimados para o perfil modal.

Figura 5 12 - Mapa da distribuição espacial do nível da capacidade de água disponível no solo da bacia hidrográfica do Alto Rio Paraíba



4.2 Evapotranspiração potencial

A evapotranspiração potencial, em que pesem as dificuldades de sua determinação, pode ser entendida como a transferência de vapor d'água para a atmosfera, estando o solo plenamente abastecido de água e revestido por vegetação rasteira, sã e em plena atividade vegetativa, sendo utilizada a grama batatais como planta de referência, como explica Varejão-Silva (2006). Em última

análise, a evapotranspiração é uma medida do potencial de energia do ambiente, medido pela quantidade de água transformada em vapor.

Independente de ser um estudo de caracterização climática para o semiárido ou outra área no globo, uma representação adequada dos dados climáticos, uma boa representação deles é de fundamental importância para que se possa obter descrever bem a área estudada. Nesse sentido, são apresentadas nessa seção a temperatura média e a evapotranspiração potencial. Devido à estreita relação entre a evapotranspiração potencial e a temperatura, neste trabalho, julgou-se pertinente realizar uma apresentação de ambas as variáveis.

4.2.1 Distribuição da temperatura

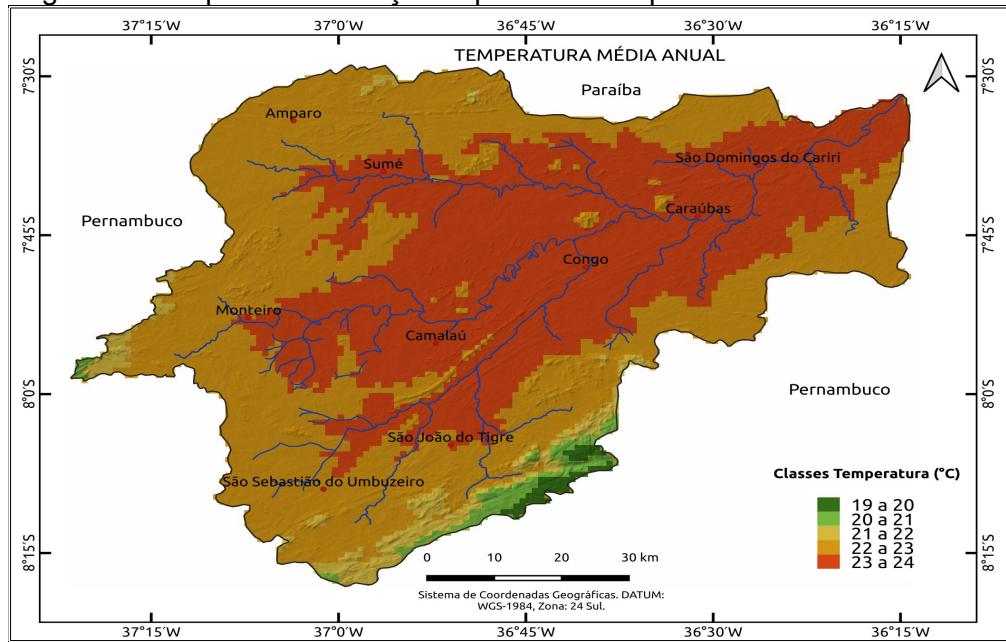
A temperatura, por sua vez, como medida da energia acumulada pelo ambiente, é influenciada pelas condicionantes locais relativas à latitude, altitude, continentalidade, relevo (superfícies de exposição à luz e ao vento), solos, vegetação e atividades humanas (SOUZA; MIRADA, 2013).

4.2.1.1 *Temperatura média anual*

Pelos dados representados na Figura 13, foi possível observar que a temperatura média anual (Tma) na BHARP varia predominantemente entre 22 °C e 24 °C, temperaturas estas que ocorrem em 93,5% do seu território (Quadro 14). Além disso, verificou-se que a área mais quente, com temperatura variável entre

23°C e 24°C, ocorre na proximidade da drenagem, sobretudo nas porções mais rebaixadas da paisagem, ocupando 45,2% da área total. As áreas mais baixas apresentam temperaturas mais elevadas, o que pode ser pelo explicado efeito da compressão do ar atmosférico, capaz de gerar um maior acúmulo de energia e aumento da temperatura (VAREJÃO-SILVA, 2006; SOUZA; MIRADA, 2013). Afastando-se da drenagem, à medida que vai aumentando a altitude (Figura 8a), a Tma vai baixando, chegando aos 22°C nos limites dos divisores onde a altitude não chega a ultrapassar os 700m (Figura 8a¹⁶). Esta classe de temperatura (22° C a 23° C) ocupa a maior área da bacia, o correspondente a 48,3 % do total (Quadro 14).

Figura 13 - Mapa da distribuição espacial da temperatura média anual do ar



Fonte: Elaboração própria com base nas estimativas dos valores médios das normais climatológicas (1970-2000) de Fick e Hijmans (2017) a da grade de altimetria de SRTM (2017).

As áreas com Tma abaixo de 22°C ocupam 6,5% da BHARP e são formadas por serras em posições elevadas no interior da BHARP e em áreas que se encontram acima dos 700 m de altitude, próximas ao divisor ao norte; a oeste, no conjunto das elevações que formam a serra de Jabitacá, nascente do rio Paraíba, a

¹⁶ Vide capítulo 3, página 70.

sudoeste da cidade de Monteiro; e em maior proporção nos contrafortes do maciço de serras do divisor nos limites sul sudeste, onde a altitude chega a ultrapassar os 1.000 m e a Tma pode chegar aos 19 °C.

Quadro 14 - Áreas de ocorrência das classes de temperatura média anual na sub-bacia hidrográfica do Alto Rio Paraíba

Classes (°C)	Temperatura média anual	
	(Km ²)	Área (%)
19 a 20	46	0,74
20 a 21	100	1,60
21 a 22	263	4,21
22 a 23	3.016	48,26
23 a 24	2.825	45,20
Totais	6.250	100,00

Fonte: Elaboração própria com base nas normais climatológicas (1970-2000) de Fick e Hijmans (2017).

O que pese a baixa latitude da BHARP, entre 7° 15' e 8° 00' sul, o efeito da altitude confere às áreas com temperaturas mais baixas, em altitudes superiores a 600 metros de altitude (Figura 8a). De modo análogo, sob essa mesma latitude, em áreas da Depressão Sertaneja na zona oeste do estado da Paraíba, sendo que em altitudes variando entre 200 m a 300 m, a Tma chega aos 27 °C conforme demonstram Francisco e Santos (2017). Isso se dá porque além do efeito da latitude e da altitude nessas áreas, deve ser levado em conta, a proximidade do oceano a leste, uma vez que os ventos predominantes são os alísios de sudeste.

Estudos termodinâmicos no litoral do estado realizados por Alcântara (2007) demonstram que associado ao fluxo dos alísios o efeito das brisas marítimas, resultante do aquecimento diferenciado do continente, contribui para baixar a temperatura sobre o Planalto da Borborema. Disso decorre o fato de que a posição favorável da depressão e orientação da drenagem do rio Paraíba para leste, onde se situa a BHARP, em relação à direção dos ventos alísios de sudeste facilita a penetração das massas de ar litorâneas.

No terço mais baixo da BHARP no sentido das laterais da drenagem, nas altitudes um pouco acima dos 500 m (Figura 8¹⁷a) a classe de temperatura muda, atingindo um gradiente térmico próximo a 1 °C a cada 100 m (Figura 13). Enquanto que, ao longo da drenagem esta mudança se dá a aproximadamente 600 m de altitude, onde pela figura 12 é possível inferir a ocorrência de um gradiente térmico 1 °C, a cada 200 m. Este efeito na temperatura ao longo da drenagem pode ser atribuído ao menor aclive do terreno nesta direção, significando menor resistência a expansão do ar, fato que facilita a formação de um fluxo de arraste, que retarda a queda da temperatura do ar em ascensão. Para efeitos de comparação dessa dinâmica, Reboita et al. (2014) registraram e analisaram a formação das brisas de vale (ventos anabáticos) e de montanha (ventos catabáticos) na região da serra da Mantiqueira, na cidade de Itajubá-MG e encontraram um efeito semelhante ao encontrado para a BHARP considerando relação da temperatura com o relevo.

É importante ressaltar que, além dos condicionantes termodinâmicos locais, relacionados as variações da temperatura na BHARP, a atuação permanente dos ventos alísios de sudeste nessa área é alterada, tornando mais complexa a análise da dinâmica local da temperatura. Nesse caso, deve ser levado em conta que a BHARP está a sotavento da linha do divisor com o Capibaribe, e os alísios de sudeste, mais frio e mais seco, ao cruzar o divisor sofrem compressão causando turbulência, desencadeando as condições atmosféricas vigentes na BHARP.

4.2.1.2 *Temperaturas médias mensais*

A análise das temperaturas médias mensais (Tam) retrata a distribuição temporal da média anual. Deste modo, como se pode observar na figura 14, de

¹⁷ Vide capítulo 3, página 70.

novembro a março é o período em que ocorrem as mais altas temperaturas na BHAP. Fevereiro é o mês mais quente, com o predomínio das Tam variando entre 24 °C a 26 °C. Neste período mais quente, apenas as áreas mais elevadas, acima dos 600 m (Figura 8a), apresentam Tam abaixo de 24 °C. Já o período mais frio vai de junho a agosto, ocasião em que a temperatura média da BHARP está abaixo dos 22 °C. Julho é o mês mais frio, ocorrendo ampliação das áreas com temperaturas abaixo dos 20 °C, nos divisores mais elevados ao norte, a oeste na serra do Jabitacá e na área do maciço a sul sudeste da BHARP.

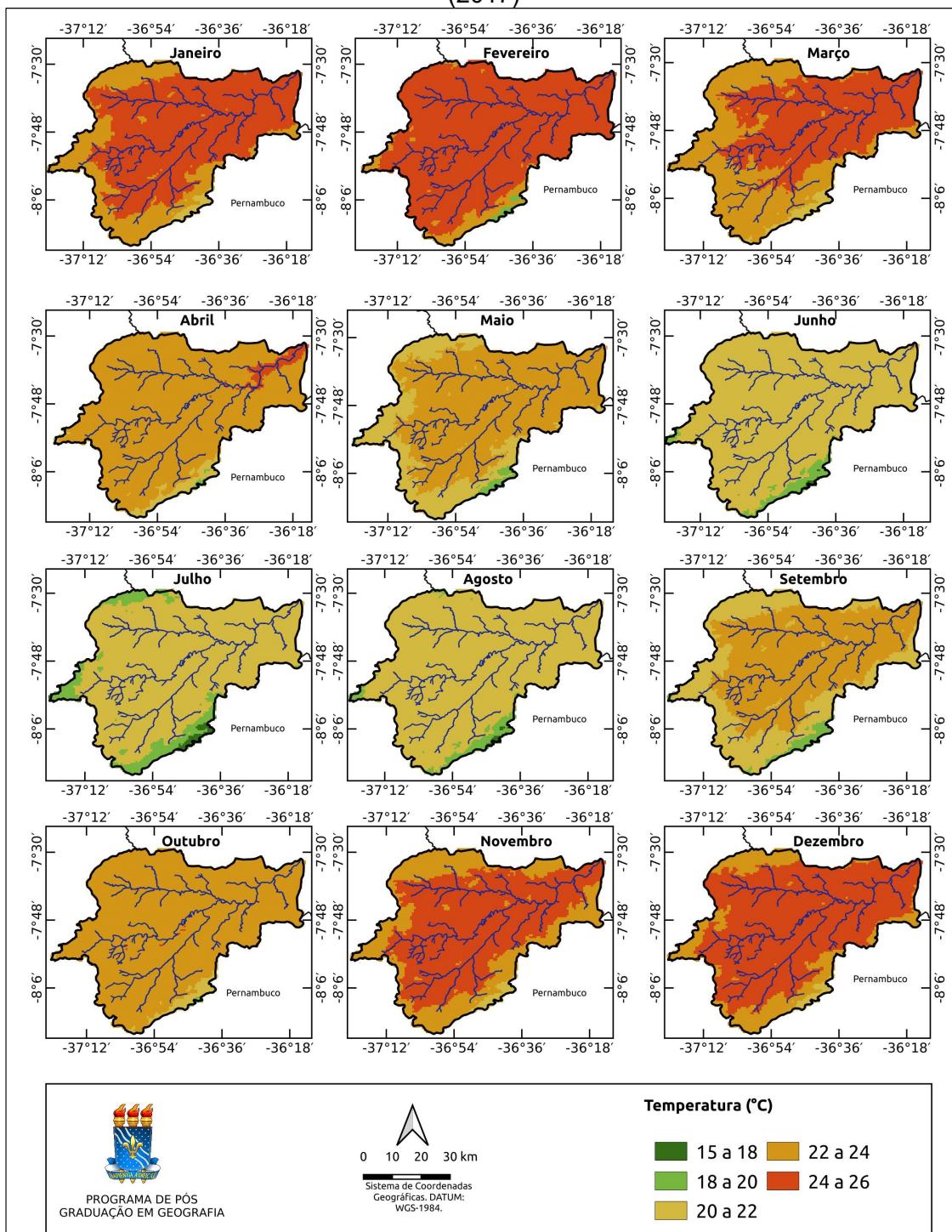
Comparando-se as temperaturas médias mensais de fevereiro, o mês mais quente, com as de julho, o mês mais frio, pode se observar que para 90% da área da bacia, aproximadamente, a amplitude de variação é, em termos médio, de 4 °C. Fato que corrobora o efeito da baixa latitude, dada a pouca variação da incidência luminosa. De modo que o período mais frio para a BHARP se concentra entre os meses de junho a julho, nos quais os valores da temperatura média mensal oscilam entre 15 e 22 °C. Do contrário, as temperaturas distribuem-se ao logo dos demais meses entre os 22 e 26 °C, mantendo-se sobretudo na porção central, onde as cotas altimétricas são em média 500 metros (Figura 8a¹⁸).

Ainda na análise da figura 13 é possível observar que a área mais a sudeste da BHARP se mantém com temperaturas que não superam o intervalo de 20 a 22 °C. Certamente este fato é explicado pelo que foi explicitado no item 3.1, pois nas palavras Corrêa et al. (2010) nesta área os Maciços Remobilizados do Domínio da Zona Transversal são predominantes, decorrendo disso a relação direta com certos arqueamentos, onde se fazem presentes elevadas cimeiras e relevos mais pronunciados, por isso a área com maior cota altimétrica da BHARP. Do contrário, na parte leste, é possível observar que as temperaturas são superiores aos 20 °C. Junto a esse aspecto se pode dizer que em termos de localização geográfica esses valores da temperatura se mantêm, pois a exemplo do que demonstram Nascimento (2009) e Alves (2013) ao descrever alguns fatores que levam a escassez das chuvas, bem como os valores de temperaturas para o município de Cabaceiras um

¹⁸ Vide capítulo 3, item 3.1, página 70.

pouco mais elevados do que o a área da BHARP como um todo, uma vez que a porção leste da BHARP situa-se imediatamente a sotavento da Serra do Cornoíó, essa condição da temperatura é justificável.

Figura 14 - Mapas da distribuição espacial da temperatura mensal e de sua dinâmica ao longo do ano, considerando as normais climatológicas (1970-2000) de Fick e Hijmans (2017)



Comparando-se as temperaturas médias mensais de fevereiro, o mês mais quente, com as de julho, o mês mais frio, pode se observar que para 90% da área da bacia, aproximadamente, a amplitude de variação é, em termos médio, de 4 °C. Fato que corrobora o efeito da baixa latitude, dada a pouca variação da incidência luminosa.

De modo que o período mais frio para a BHARP se concentra entre os meses de junho a julho, nos quais os valores da temperatura média mensal oscilam entre 15 e 22 °C. Do contrário, as temperaturas distribuem-se ao logo dos demais meses entre os 22 e 26 °C, mantendo-se sobretudo na porção central, onde as cotas altimétricas são em média 500 metros (Figura 8a¹⁹).

Ainda na análise da figura 13 é possível observar que a área mais a sudeste da BHARP se mantém com temperaturas que não superam o intervalo de 20 a 22 °C. Certamente este fato é explicado pelo que foi explicitado no item 3.1, pois nas palavras Corrêa et al. (2010) nesta área os Maciços Remobilizados do Domínio da Zona Transversal são predominantes, decorrendo disso a relação direta com certos arqueamentos, onde se fazem presentes elevadas cimeiras e relevos mais pronunciados, por isso a área com maior cota altimétrica da BHARP.

Do contrário, na parte leste, é possível observar que as temperaturas são superiores aos 20 °C. Junto a esse aspecto se pode dizer que em termos de localização geográfica esses valores da temperatura se mantêm, pois a exemplo do que demonstram Nascimento (2009) e Antunes (2010) ao descrever alguns fatores que levam a escassez das chuvas, bem como os valores de temperaturas para o município de Cabaceiras um pouco mais elevados do que o a área da BHARP como um todo, uma vez que a porção leste da BHARP situa-se imediatamente a sotavento da Serra do Cornoió, essa condição da temperatura é justificável.

Adotando-se o critério de se estabelecer o verão pelos três meses mais quentes do ano, os dados do quadro 15, de localidades representativas das diversas classes de temperatura média da BHARP, foram ordenados a partir de novembro, considerando-se como o início da estação do verão. Como se sabe, no hemisfério

¹⁹ Vide capítulo 3, item 3.1, página 70.

sul o verão se inicia em 21 de dezembro, contudo devido à baixa latitude (7° sul), o sol logo se faz presente, fazendo com que o início do verão seja um pouco mais cedo, em novembro. Numa análise preliminar dos dados apresentados no quadro 15, pode se observar uma grande similaridade dos valores mensais e de sua variação anual entre as localidades, o que se reflete na baixa amplitude de variação entre os valores médios anuais. Como se pode observar no mapa da figura 14 os valores médios mensais apresentam uma distribuição ao longo do ano muito semelhantes, com uma amplitude de temperatura entre o mês mais frio e o mês mais quente sempre inferior a 5°C .

Quadro 15 - Dados de altimetria e de temperatura média mensal, estacional e anual das localidades selecionadas para representar a BHARP

Estações	Meses	Localidades								
		Amparo	Monteiro	S.S. Umbuzeiro	Sumé	Camalaú	Congo	Caraúbas	S.Domingos Cariri	
		Altimetria (m)								
		620	603	599	544	542	485	462	413	
Temperatura média mensal ($^{\circ}\text{C}$)										
Verão	Nov	23,8	24,5	24,4	24,4	24,6	24,5	24,4	24,6	
	Dez	24	24,6	24,5	24,5	24,8	24,7	24,8	25	
	Jan	23,8	24,2	24,2	24,5	24,6	24,6	24,8	25	
	Fev	23,6	23,9	23,9	24,3	24,3	24,5	24,7	25	
Outono	Mar	23,8	24,1	23,8	24,4	24,4	24,6	24,7	25	
	Abr	23	23,4	23,1	23,7	23,6	23,9	24	24,1	
	Mai	22	22,3	22,3	22,7	23,7	23	23	23	
	Jun	21	22,2	21,3	21,5	21,6	21,8	21,7	22	
Inverno	Jul	20,4	20,9	20,8	21	21,9	21,1	21,1	21,4	
	Ago	20,6	21,5	21,4	21,4	21,7	21,5	21,4	21,5	
	Set	21,8	22,4	22	22,5	22,6	22,6	22,7	22,7	
Primavera	Out	23	23,7	23,8	23,8	24	23,8	23,7	23,9	
	Médias	22,6	23,2	23	23,3	23,4	23,4	23,5	23,8	

Fonte – Normais climatológicas mensais de Fick e Hijmans (2017).

Amparo é a localidade com maior altitude (620 m) e que apresenta as temperaturas mais baixas ao longo do ano, com um valor médio anual de $22,6^{\circ}\text{C}$. De modo que São Domingos do Cariri é a cidade localizada em menor altitude (413 m) e que apresenta temperaturas mais altas em relação a BHARP, que giram em torno de um valor médio anual de $23,8^{\circ}\text{C}$. Em outras palavras, entre estas cidades o desnível é de 207 m e a diferença da temperatura média anual é de $1,2^{\circ}\text{C}$.

Excluindo a cidade de Amparo a amplitude de variação é de bem é de 0,8 °C para a cidade São Sebastião do Umbuzeiro, fato que pode corroborar com a baixa variação da temperatura. No quadro 15, os meses foram ordenados seguindo o critério de identificação da estação do verão, pelo trimestre com mais alta temperatura, sendo assim, a relação dos meses neste quadro, se inicia em novembro. Neste caso, o verão fica antecipado com o aquecimento que se verifica já a partir de outubro. Contudo, pode-se observar que para as localidades mais a leste da bacia e de mais baixa altitude e mais altas temperaturas, como Caraúbas e São Domingos do Cariri, o trimestre mais quente é de dezembro a fevereiro. A localidade de Congo com longitude intermediária apresenta valor indiferente, ou seja, a temperatura média mensal de novembro é igual à de fevereiro. Embora haja diferença do início da estação do verão para algumas localidades da BHARP, a estação do inverno, caracterizada como os três meses mais frios do ano, não difere do período oficial do calendário, ou seja, corresponde aos meses de junho a agosto.

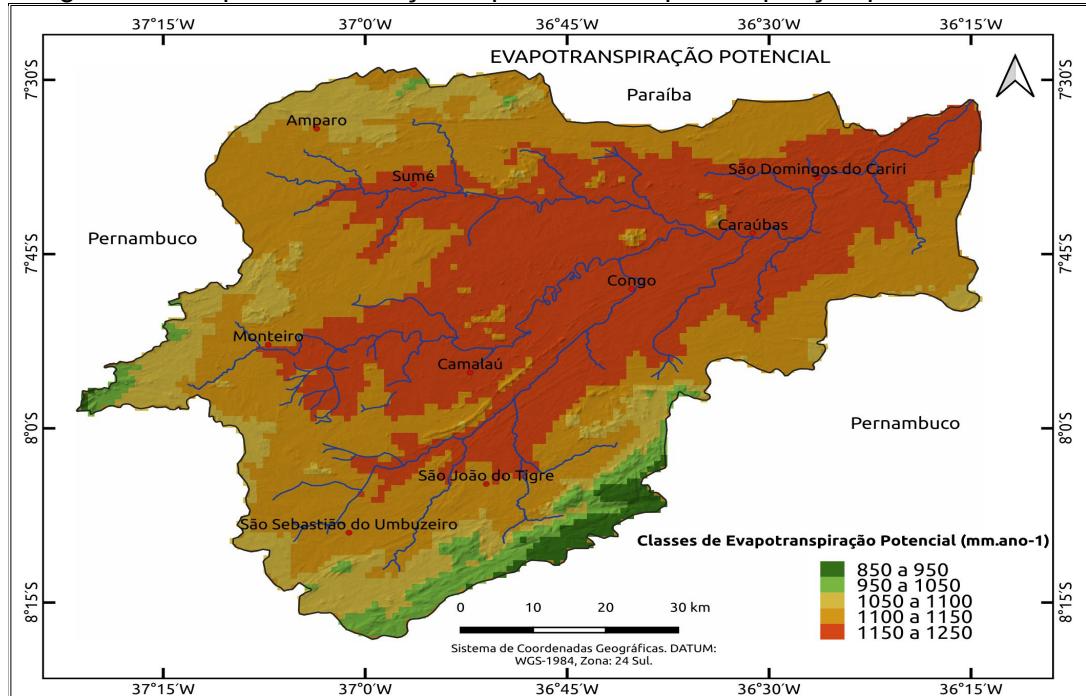
4.2.1.3 *Evapotranspiração potencial média anual*

Na figura 14 é apresentada a variação espacial média anual da evapotranspiração potencial (ETp) calculada a partir das normais climatológicas de temperatura de 1970 a 2000 de Fick e Hijmans (2017). Pode se observar que a amplitude dos valores calculados da ETp variaram entre 850 a 1250 mm.ano⁻¹. A área com maior potencial de evapotranspiração com intervalo 1150 a 1250 mm.ano⁻¹ ocorrem nas porções mais rebaixadas do entorno da rede de drenagem da BHARP, onde a altimetria é predominante inferior a 600 m (Figura 8^{20a}) e abrange cerca de

²⁰ Vide capítulo 3, página 70.

2.572 Km², o equivalente a 41,2 % da área total da BHARP conforme explicitado na tabela 2.

Figura 15 - Mapa da distribuição espacial da evapotranspiração potencial anual



Fonte: Elaboração própria com base nas estimativas dos valores médios das normais climatológicas (1970-2000) de Fick e Hijmans (2017) a da grade de altimetria de SRTM (2017).

Com o aumento da altimetria, à medida que se afasta das depressões da drenagem a ETp vai diminuindo, podendo chegar aos 1.050 mm.ano⁻¹ em partes mais elevadas próximas a linha do divisor, que em grande parte não chega a ultrapassar os 700 m. Como se pode observar pelos dados apresentados no quadro 13, em 94,4% da área da bacia a ETp é superior a 1.050 mm.ano⁻¹, chegando aos valores de 1.250 mm.ano⁻¹, nas áreas mais baixas do terço inferior da drenagem, nas proximidades do município de São Domingos do Cariri.

As áreas com os menores valores estimados de ETp, que correspondem aos intervalos de 850 a 950 e 950 a 1050 mm.ano⁻¹, são praticamente as mesmas áreas

de ocorrência dos menores valores de temperatura média anual, ocupando áreas com 101 e 248 Km², respectivamente. Estas se situam nas posições mais elevadas da BHAP, em maciços de serras, onde os totais altimétricos ultrapassam a marca dos 700 metros (Figura 8²¹a). Como se pode observar na figura 14 ocorrem duas áreas pequenas ao norte, ao oeste no sentido do município de Monteiro, o conjunto de serras de Jabitacá, e em maiores proporções no maciço de serras ao sul sudeste na linha do divisor, onde as altitudes superam a marca dos 1000 metros.

Tabela 2 - Áreas de ocorrência de classes de evapotranspiração potencial na bacia hidrográfica do alto rio Paraíba

Classes (mm.ano ⁻¹)	Evapotranspiração Potencial	
	(km ²)	Área (%)
850 a 950	101	1,6
950 a 1050	248	4
1050 a 1100	802	12,8
1100 a 1150	2527	40,4
1150 a 1250	2572	41,2
Totais	6.250	100,00

Fonte: Elaboração própria com base nas normais climatológicas (1970-2000) de Fick e Hijmans (2017).

Em termos comparativos com o trabalho de Lima (2012) que fez uso da evapotranspiração potencial para explicar a vegetação de caatinga, com base nos dados climáticos do Brasil (BDCB) normais climatológicas de 1960 a 1990 de precipitação e temperatura. Para esta mesma área foi encontrado valores entre 600 a 1700 mm.ano⁻¹, valores estes que de certo modo obedeceram a distribuição da altitude, como observado neste trabalho.

4.2.1.4 Evapotranspiração potencial média mensal

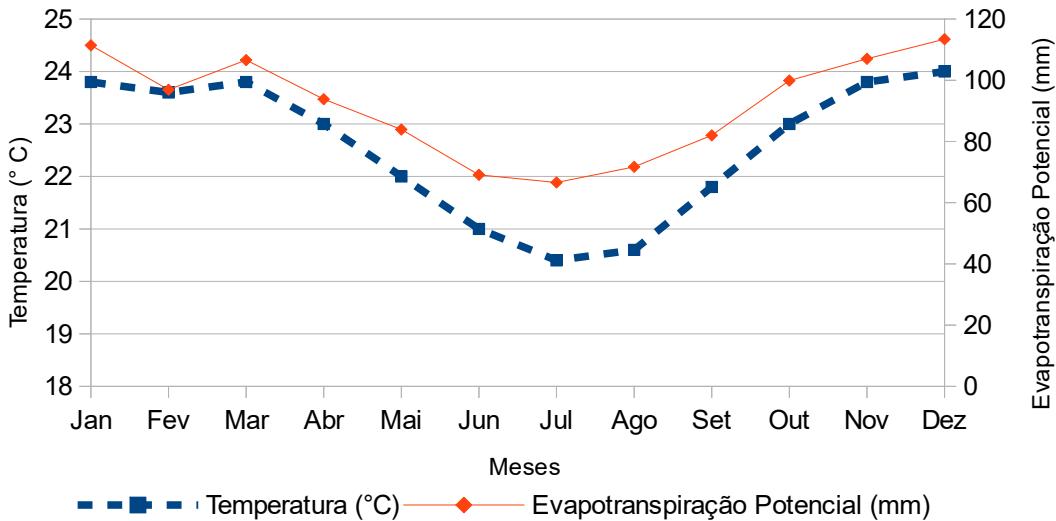
²¹ Vide capítulo 3, página 70.

Os valores da evapotranspiração potencial mensal (ETpm), distribuídos ao longo do ano, possuem algumas peculiaridades. Tais peculiaridades estão relacionadas primeiramente a sazonalidade dos valores, que até certo ponto se assemelham aos valores mensais de temperatura analisados anteriormente. Desse modo, é possível observar na figura 15 que as taxas de ETpm calculadas variam de 60 mm a 130 mm mensais. Estes valores se comparados aos valores mensais de temperatura apresentam uma relação direta, muito embora um fato pertinente a ser destacado está relacionado aos valores encontrados para o mês de fevereiro.

É possível ver pelo gráfico idealizado para município de Amparo (Figura 16) que a temperatura média entre os meses de janeiro a março pouco oscila, registrando médias mensais de 23, 8 °C, 23, 6 °C e 23, 8 °C (Quadro 15) respectivamente, e de modo contrário, nesse mesmo período, a ETpm com uma variação significativa registrando valores de 111, 4 mm. mês⁻¹, 96, 9 mm. mês⁻¹ e 106, 6 mm. mês⁻¹.

Uma explicação dada pelo fato de não haver relação entre Tm e a ETpm para os meses anteriormente mencionados é a de que os valores de ETpm levam em consideração um fator de correção, C_j, que por sua vez está relacionado fotoperíodo médio e o número de dias do mês em questão. Desse modo, no caso do mês de fevereiro o C_j leva em consideração 28 dias, enquanto que em janeiro e março são contabilizados 31 dias (VAREJÃO – SILVA, 2006).

Figura 16 - Temperatura média e Evapotranspiração Potencial mensais para o município de Amparo



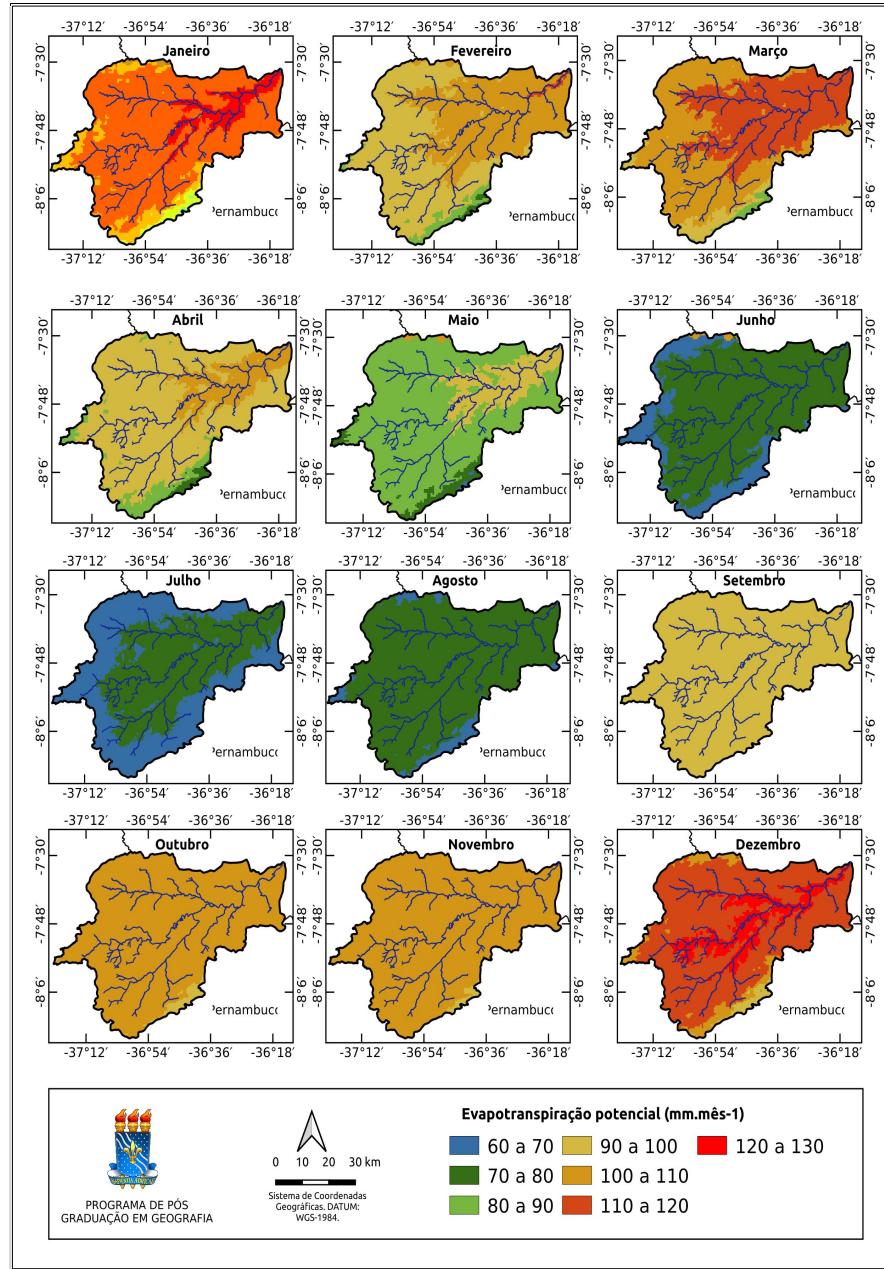
Em fevereiro nos meses de dezembro a março é o quadrimestre com maiores valores mensais de evapotranspiração potencial (ETpm) na BHARP. O mês de fevereiro é quando ocorre o pico da evapotranspiração. Na maior parte da bacia a ETpm oscila entre 100 e 130 mm. mês⁻¹, ocorrendo as maiores taxas na parte mais baixa da bacia, o setor a nordeste, onde as temperaturas são mais elevadas.

Durante essa época mais quente do ano, apenas as áreas mais elevadas da BHARP, acima dos 800 metros (Figura 8a²² e 17), apresentam valores abaixo de 90 mm. mês⁻¹ de ETpm, em particular sul sudeste, a mais elevada da bacia. Em contrapartida, os menores valores de ETpm estão compreendidos no mês mais frio que vão de junho a agosto, sobretudo no mês de julho.

No mês de julho, a ETpm oscila em grande parte da bacia entre duas classes de valores, entre 60 a 80 mm. mês. Assim como com a temperatura, é nas partes mais rebaixadas, onde se localiza a rede de drenagem, que ocorrem os valores mais elevados de ETpm.

²² Vide capítulo 3, página 70

Figura 17 - Mapa da distribuição espacial da evapotranspiração potencial para todos os meses do ano



Fonte: Elaboração própria com base nas normais climatológicas (1970-2000) de Fick e Hijmans (2017).

4.3 Distribuição da Pluviometria

A pluviometria na BHARP se distribui de maneira irregular no tempo e no espaço, sendo esta uma característica peculiar da região semiárida, com substanciais variações da precipitação pluviométrica conforme destacam Ferreira e Melo (2005).

4.3.1 Pluviometria média anual

Para se procurar entender a distribuição das chuvas na BHARP (Figura 18) é importante considerar a orografia do seu entorno. Desse modo, as chuvas que chegam nessa área são predominantemente formadas pela umidade, trazida pelos alísios de nordeste, desencadeados pela atuação da ZCIT. Estes perdem umidade ao se elevarem sobre os contrafortes orientais do maciço, formadores da região úmida do brejo paraibano. Da mesma forma, a umidade dos alísios de sudeste é reduzida na Zona da Mata e nos contrafortes do Planalto da Borborema, no território pernambucano, e mais para o interior, na linha de serras do divisor das bacias dos rios Paraíba e Capibaribe, que tem sentido sudoeste nordeste, contrapondo-se a direção destes ventos. Esse fato minimiza a contribuição de chuvas desencadeada pelos sistemas atmosféricos que atuam no litoral e atingem a BHARP.

Em termos locais, é possível observar na Figura 18 a ocorrência de um aumento progressivo da precipitação, dos 300 aos 800 mm.ano⁻¹, de leste para oeste, no sentido em que também aumenta a altimetria (Figura 8a²³). Outro fator

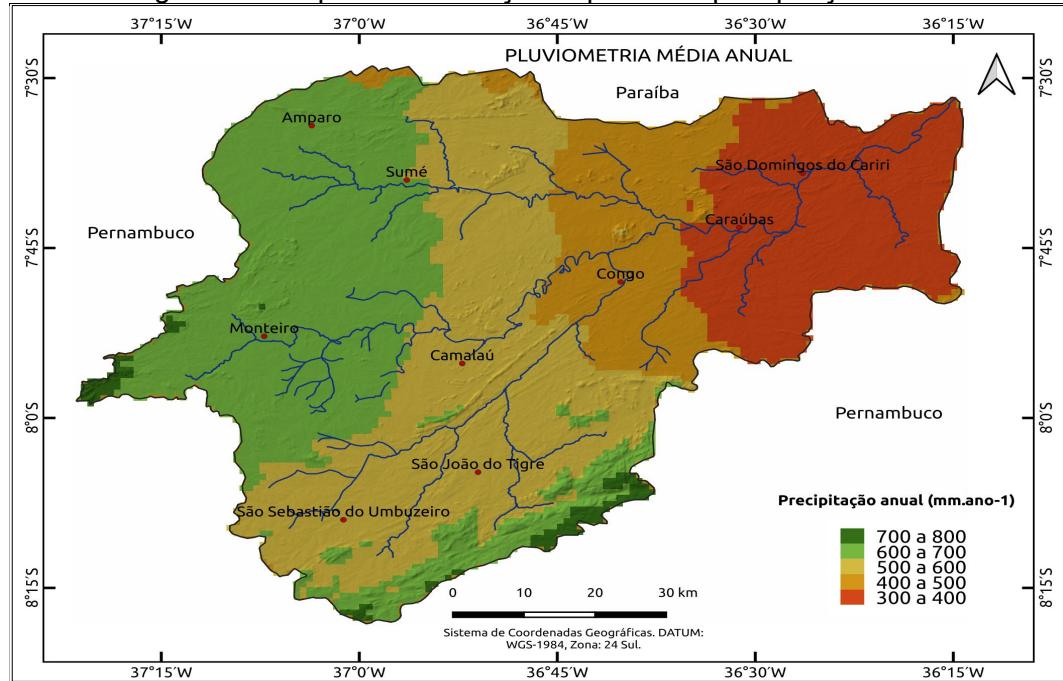
²³ Vide capítulo 3, página 70

importante na distribuição da precipitação é a disposição da drenagem dos rios Sucuru e do Meio (Paraíba), particularmente, facilitando o fluxo dos alísios em ascensão aos divisores a oeste, fazendo aumentar o gradiente da precipitação. Efeito semelhante foi encontrado por Reboita et al. (2014) ao estudar o desenvolvimento de circulação de brisa vale montanha e mostrar que a brisa de montanha é mais duradoura, estando associada à influência do efeito de aquecimento urbano nos gradientes horizontais de pressão existente entre o vale e a região montanhosa.

Já para sudoeste, ao longo da sub-bacia do rio do Espinho ou da Serra, afluente a margem direita do Rio Paraíba (Figura 18), a progressão da precipitação em relação à altimetria é menor, não chegando a ultrapassar os 600 mm de média anual. Esta menor progressão da precipitação pode ser atribuída aos alísios de sudeste, que ao cruzar a linha do divisor, sofrem compressão a sotavento, o que faz baixar a umidade relativa do ar, alterando a formação das chuvas na área da baixada. Em uma análise acerca das chuvas orográficas na região central do Rio Grande do Sul Forgiarini et al. (2014) chegou à conclusão que o efeito orográfico da região intensifica as chuvas ditas frontais, oriundas das massas de ar polares. Semelhante ao efeito proporcionado pelos alísios de sudeste na BHARP.

Esse resultado encontrado corrobora com os que foram encontrados por Alves et al. (2015). Esses autores investigaram o comportamento da precipitação pluvial frente a interação com as características físicas do relevo na mesma área objeto de estudo desse trabalho considerando um modelo digital de elevação (MDE) e dados de precipitação pluvial referente a estações meteorológicas distribuídas em 21 municípios do Cariri paraibano. Por meio do teste de Mann-Kendall aplicado as séries estudadas, os principais resultados evidenciaram uma forte variação crescente no sentido Leste – Oeste, e totais anuais pluviométricos de 320 mm.ano^{-1} em Cabaceiras e de 680 mm.ano^{-1} nos municípios de Prata e Ouro Velho.

Figura 18 - Mapa da distribuição espacial da precipitação anual



Fonte: Elaboração própria com base nas estimativas dos valores médios das normais climatológicas (1970-2000) de Fick e Hijmans (2017) a da grade de altimetria de SRTM (2017).

Na área mais elevada a sul sudeste do divisor, ocorre o aumento da precipitação tanto pelo efeito orográfico pelo lado de Pernambuco, que atinge o topo das elevações do lado paraibano; como pelo efeito da convecção, a partir do interior da BHAP, com a formação de chuvas pela formação das Brisas de Montanha e ventos anabáticos

A área com as mais baixas precipitações e altitudes (Figura 7a) da BHAP é o setor a leste. Nela a precipitação média anual varia de 300 a 400 mm.ano⁻¹, e ocupa uma extensão de 1168 Km² (18,7%), como apresentado no Tabela 3. Esta área é parte do núcleo seco da Paraíba, que junto ao núcleo do Raso da Catarina na Bahia são as áreas mais secas do Brasil (NIMER, 1979).

Tabela 3 - Áreas de ocorrência de classes de precipitação anual na BHARP

Classes (mm)	Pluviometria anual	
	Área (km ²)	(%)
300 a 400	1168	18,7
400 a 500	838	13,4
500 a 600	2080	33,3
600 a 700	2065	33
700 a 800	99	1,6
Totais	6.250	100,00

Fonte: Elaboração própria com base nas normais climatológicas (1970-2000) de Fick e Hijmans (2017).

As classes de precipitação com áreas de ocorrência mais expressivas estão na faixa de 500 mm a 700 mm médios anuais, e abrange 66,3% da área total da bacia (Tabela 3). As áreas com precipitação acima de 700 mm.ano⁻¹ ocupam uma extensão relativamente pequena, de 99 km², ou seja, 1,6% da total, representando inclusões de ambientes subsumidos, normalmente com altitudes acima dos 800 m (Figura 8a²⁴).

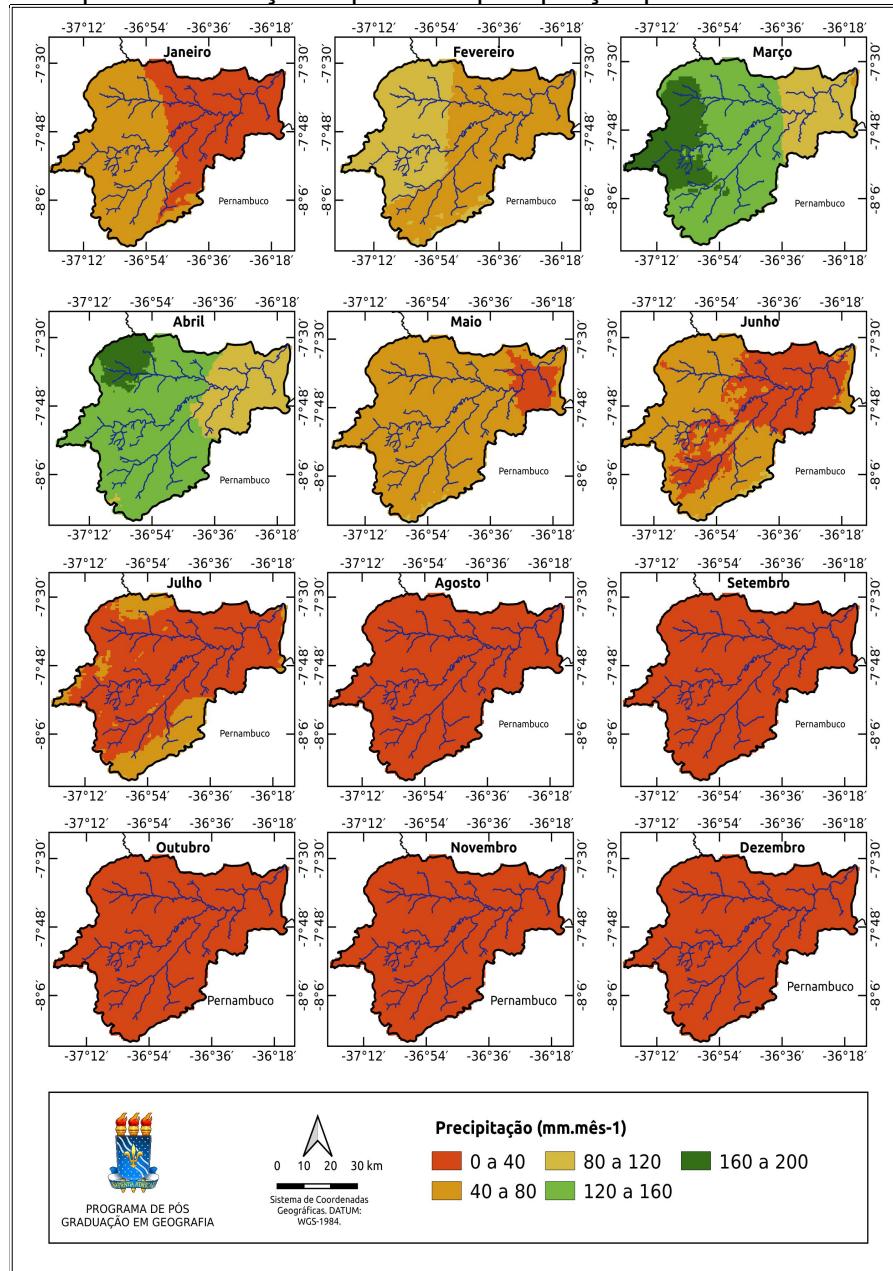
4.3.2 Precipitação média mensal

Numa análise dos mapas das precipitações mensais da BHARP (Figura 19) pode se observar o quanto a precipitação varia ao longo do ano. Considerando-se como ausência de chuva a precipitação média mensal igual ou inferior a 40 mm, por exemplo, são cinco meses consecutivos, de agosto a dezembro, que praticamente não chove em toda a BHARP. Caso seja levada em conta apenas a área do núcleo mais seco, por exemplo, com precipitação média anual inferior a 400 mm no terço inferior da BHARP, o período seco pode chegar a 9 meses, se estendendo de maio a janeiro do ano seguinte.

²⁴ Vide capítulo 3, página 70

Por outro lado, ao se considerar uma precipitação média mensal igual ou superior a 80 mm, por exemplo, como sendo o limite para que um mês seja considerado chuvoso, serão apenas dois meses, março e abril, em que toda área da BHAP atinge ou ultrapassa esta precipitação (Figura 19). No entanto, mesmo se for levado em conta apenas a parte mais chuvosa da BHARP, são só três meses, de fevereiro a abril, o período que em média, a precipitação mensal é igual ou superior a 80 mm. Vale se ressaltar que estes são valores médios mensais, contudo a variabilidade temporal e espacial das chuvas é grande e aumenta a medida que diminui precipitação média anual do local. Anos e meses menos chuvosos apresentam uma maior variabilidade espacial e temporal da precipitação, e geralmente são desencadeados pelo efeito do ENOS.

Figura 19 - Mapa da distribuição espacial da precipitação para todos os meses do ano



Fonte: Elaboração própria com base nas normais climatológicas (1970-2000) de Fick e Hijmans (2017).

Com o aumento do calor, as chuvas chegam imprevisíveis, torrenciais e esporádicas, mas o período chuvoso só vem a se estabelecer com um a dois meses de atraso. Este aspecto pode ser observado pelo aumento sistemático da precipitação no mês de janeiro em todas as localidades dentro da BHARP (Tabela 4). São chuvas esporádicas de verão, com alta intensidade e curta duração, que na

média refletem no total do mês. Na mesma latitude, as chuvas no Ceará e em parte do Sertão Paraibano se iniciam em dezembro, demonstrando um caminhamento da atuação da ZCIT do oeste para leste, fato observado por diversos autores tais como Molion e Bernardo (2002) e Becker et al. (2011).

Tabela 4 - Dados de altimetria e de precipitação mensal, estacional e anual de localidades representativas da BHARP

Estações	Meses	Localidades							
		Amparo	Monteiro	Sumé	S.S. Umbuzeiro	Camalau	Congo	Caraúbas	S. Domingos Cariri
		620	603	544	599	542	485	462	413
Precipitação mensal (°C)									
Verão	Nov	10	12	11	11	10	5	4	3
	Dez	30	28	27	25	25	21	10	10
	Jan	55	53	52	47	47	30	20	25
	Fev	97	92	89	81	81	55	50	50
Outono	Mar	160	153	148	135	134	130	110	98
	Abr	149	141	138	125	124	118	104	99
	Mai	60	62	60	55	55	64	41	39
	Jun	43	41	40	36	36	33	25	30
Inverno	Jul	35	33	32	29	29	24	24	23
	Ago	19	18	18	16	16	4	6	7
	Set	10	9	9	9	8	2	2	3
	Out	30	28	27	25	25	3	3	3
Médias		698	670	651	594	590	489	399	390

Fonte: Elaboração própria com base nas normais climatológicas (1970-2000) de Fick e Hijmans (2017) e em SRTM (2017).

Como se pode observar no quadro 16, o trimestre mais chuvoso do ano corresponde aos meses do outono, em todas as localidades da BHAP, independente das diferenças dos totais anuais da precipitação. Março é o mês mais chuvoso, seguido do mês de abril, com uma diferença entre seus totais mensais que diminui progressivamente da área mais chuvosa, a oeste, para a área mais seca, a leste da bacia. Em São Domingos do Cariri, a cidade mais oriental da bacia março e abril tem praticamente a mesma precipitação.

Na figura 20 é mostrada a distribuição das precipitações médias mensais ao longo do ano, das localidades selecionadas na BHARP, e como pode se observar, existe uma similaridade entre os perfis de distribuição, independente dos totais médios anuais da precipitação das localidades. Contudo, as diferenças entre as precipitações médias mensais são maiores nos meses mais chuvosos, do outono,

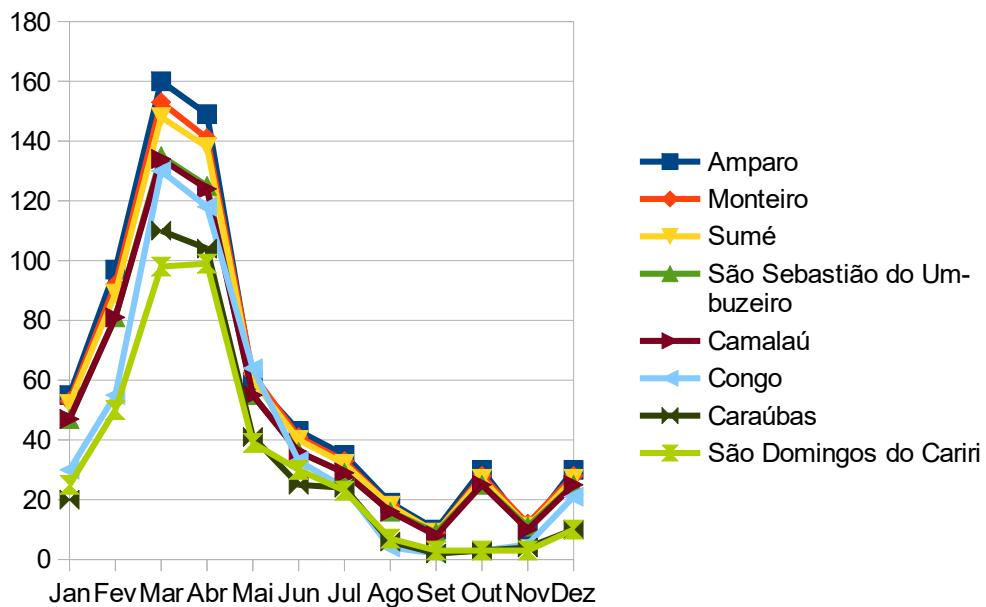
de fevereiro a abril. Para os demais meses, observa-se que existe uma tendência à diminuição das diferenças entre as precipitações médias mensais das localidades, as medidas em que, estas precipitações diminuem.

Comparando com os perfis de distribuição das precipitações mensais ao longo do ano, com os encontrados por Becker et al. (2011), para região pluviometricamente homogênea do Cariri, pode se observar que, para os dados da rede da Sudene, tido como de referência, o perfil de distribuição se assemelha ao da localidade de São Domingos do Cariri, com a precipitação de abril ligeiramente maior que março. Enquanto que para as duas séries de 15 anos de dados mais recentes de postos da AESA (uma dos mesmos postos da Sudene e outra de todos os postos disponíveis na região), março é isoladamente o mês de maior precipitação, seguido de abril, contudo com decresce bem mais acentuado, do que os observados nos ambientes da BHARP.

Fato curioso é a ruptura da tendência do declínio dos dados que ocorrem no mês de outubro, como pode ser visualizado na Figura 16, e quantificado pelos dados do Quadro 16. A pluviometria média mensal aumenta uniformemente, para um patamar de 25 mm a 30 mm.mês⁻¹, em cinco das localidades com maiores precipitações (acima de 590 mm. mês⁻¹), e situadas em posições mais elevadas, do centro para o oeste da bacia; enquanto que nas cidades de Congo, Caraúbas e São Domingos do Cariri, do terço oriental, mais baixo e seco, a tendência foi de declínio.

Embora mereça uma análise mais especializada é provável que as mais altas precipitações no oeste da BHARP estejam relacionadas ao efeito combinado da convergência dos Alísios com a orografia do Planalto da Borborema. Os Alísios de nordeste carregados de umidade penetram pela depressão sertaneja e ascendem pela encosta ocidental do Planalto sofrendo resfriamento, enquanto que os Alísios de sudeste, mesmo após perderem umidade nos contrafortes orientais, permanecem em ascensão pela contraposição frontal do relevo e caminhamento da drenagem no interior da BHARP, concentrando umidade e provocando um maior volume de chuvas a medida em que ascende para linha oeste dos divisores.

Figura 20 - Distribuição das precipitações médias mensais ao longo do ano considerando os municípios selecionados para análise



Fonte: Elaboração própria com base nas normais climatológicas (1970-2000) de Fick e Hijmans (2017).

4.4 Ambientes bioclimáticos

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos da análise do espaço semiárido, o território delimitado pela BHARP, em que foi utilizando um modelo descritivo que integra atributos bioclimáticos para identificar, caracterizar e mapear ambientes bioclimáticos. Os resultados aqui apresentados mostram de maneira descritiva a análise dos produtos gerados e procuram revelar o quanto as estimativas são concordantes com a fisiografia da paisagem da BHARP.

Para os parâmetros do modelo considerado neste trabalho, o ambiente bioclimático de melhor condição hídrica passível de ser encontrado na BHARP seria o da Classe “A”, Subclasse “A₁₁₁”. Este ambiente seria aquele em que o solo fosse mais profundo e argiloso, o que refletiria uma maior capacidade de armazenamento e disponibilização de água, ou seja, índice “1” (solo da classe muito alta de

capacidade de armazenamento de água, mais de 150 mm); ambiente que apresentasse as menores temperaturas, o que corresponderia um menor potencial de evapotranspiração, índice “1” (classes muito baixa evapotranspiração, menos de 900 mm.ano⁻¹) e onde ocorressem as maiores precipitações, índice “1” (classe muito alta de precipitação, entre 750 a 900 mm.ano⁻¹). Já os ambientes da classe E, em contraposição aos da classe A, são os que apresentam as condições mais desfavoráveis em termos de disponibilidade hídrica, com grau muito alto de limitação em todos os três parâmetros do modelo, ou seja: capacidade de armazenamento de água do solo (CA), evapotranspiração potencial (ETp) e temperatura (T).

4.4.1 Ambientes da Classe A

Considerando o interesse particular em categorizar áreas do ambiente semiárido, predominante na BHARP, optou-se em ampliar a tolerância das limitações dos fatores determinantes da Classe A, agrupando em uma só classe da precipitação, muita alta (700 mm a 800 mm.ano⁻¹), as áreas do ambiente mais úmido, existentes em menor proporção na bacia.

Como pode se observar pelos dados apresentados no quadro 14, o ambiente mais favorável ao desenvolvimento da vegetação encontrado na BHARP é o da classe A, estando representado por uma única Subclasse, a A₃₁₁, que ocupa uma área de 25 km², o correspondente a 0,4% da área de estudo. Trata-se de uma unidade que apresenta um solo com média capacidade de armazenamento de água (90 mm), grau “3” de limitação; em ambiente com muito baixo potencial de evapotranspiração (850 a 950 mm), grau “1”, limitação muito baixa e muito alta precipitação (750 a 850 mm), grau “1”, limitação muito baixa (Figura 21). Na bacia sua ocorrência está restrita as áreas mais elevadas, situadas ao sudeste/sul ao

longo do divisor com o Estado de Pernambuco, como pode se observar no mapa hipsométrico da figura 5a. Na Figura 21 a representação deste ambiente (Subclasse A₃₁₁) está na cor verde escura. São áreas de ocorrência dos solos Neossolos Regolíticos (Figura 10)²⁵ que apresentam textura arenosa e são moderadamente profundos (90 mm).

4.4.2 Ambientes da Classe B

Os ambientes da classe B segundo os critérios adotados neste trabalho têm características climáticas semelhantes aos do ambiente hipoxerófilo (PARAÍBA, 1972), dada a combinação das condições determinantes dos parâmetros do modelo. Como pode ser visto no Figura 5, a soma do grau de limitação dos parâmetros deve ter uma amplitude entre 6 e 7 pontos, grau de limitação considerado baixo. Neste caso, teoricamente, se um ambiente tiver um parâmetro numa condição de máxima restrição hídrica, índice “5”, os demais parâmetros deverão obrigatoriamente apresentar as condições mais favoráveis, ou seja, muito baixa restrição, índice “1”, para que não ultrapasse o limite de 7 pontos.

Como pode se ver na Tabela 5, os ambientes da classe B ocupam uma área de 200 Km², o que representa 3,2% da área total da BHARP. Estes ambientes estão distribuídos em 8 Subclasses, cujas características são determinadas predominantemente, por grau de restrição dos parâmetros do modelo de muito baixo (índice “1”) a médio (índice “3”). Faz exceção os ambientes das subclasse B₅₁₁ e B₁₄₂ (Figura 19). O primeiro ocorrendo em área de relevo montanhoso do maciço a sul sudeste da BHAP, em condições de solo Neossolo Litólico muito raso, com muito baixa CA, e o outro ambiente, da subclasse B₁₄₂, apesar de ocorrer em solo com

²⁵ Vide item 4.1, página 107.

muito alta capacidade de armazenamento (índice “1”), o Argissolo Vermelho Amarelo, e alta precipitação (índice “2”), apresenta alta ETp por estás em situação mais rebaixada do divisor, áreas localizadas ao norte da cidade de Monteiro.

4.4.3 Ambientes da Classe C

Os ambientes da classe C apresentam um grau de limitação considerado moderado, com uma amplitude de valor que pode variar de 8 a 10 pontos (Quadro 14). Esta é a classe de ambiente em que apresenta a segunda maior expressão em termos de área, ocorrendo em 2.162 Km², o equivalente a 34,6% da bacia, e que tem o maior número de subclasses, dezesseis, em grande parte ocupando o terço superior da bacia, como pode ser observado na figura 19.

Como mostra os dados do Tabela 5, as Subclasses C₃₃₂, C₃₄₂, C₃₄₃ e C₃₅₂ representam 72,1% da área ocupada pela Classe C. Pelos índices de seus fatores, pode se constatar que ocorre predominância nestes ambientes de solos com moderada CA, 90 mm de armazenamento (índice “3”); alta precipitação média anual, de 600 a 700 mm (índice “2”) e alto evapotranspiração potencial, de 1100 mm a 1150 mm.ano⁻¹ (índice “4”). Vale ressaltar que os ambientes com alta ETp, representados pelas Subclasses C₃₄₂ e C₃₄₃ somam 47,3% da área total do ambiente da Classe C, de moderado grau de limitação pedoclimático.

Ainda nesta classe de ambiente, as Subclasses C₂₅₂ e C₂₅₃, com área aproximada de 55 Km² cada, estão relacionadas a solos de aluvião “Neossolos Flúvicos textura indiscriminada”, que tem alta capacidade de armazenamento de água (120 mm de lâmina), índice “2”; devido a sua maior profundidade. Estas são áreas de baixada com muito alta ETp (1150 mm a 1250 mm), índice “5”, e ocorrem em áreas com precipitação alta e moderada. Fora destes ambientes de várzeas

ocorrem a Subclasse C₂₃₃, com 76 Km², que também apresenta solo mais profundo, os Neossolos Regolíticos (RR₁) com alta CA e moderadas condições de ETp e P, que se localiza em área no divisor ao norte, acima da cidade de Sumé.

4.4.4 Ambientes da Classe D

Os ambientes da Classe D são os que ocupam a maior área em extensão na bacia e a segunda maior diversidade de subclasses. São 12 Subclasses e uma área 2.449 Km², o equivalente a 39,2% da bacia (Quadro 14). Estes ambientes se caracterizam por apresentarem um grau de limitação alto em termos de disponibilidade hídrica, definido por uma soma das limitações de seus atributos pedoclimáticos variando em uma amplitude de 11 a 12 pontos.

Visualizando-se a figura 20 pode se constar que os ambientes da Classe D, com alto grau limitação pedoclimática (Tabela 5), predominam no terço médio da BHAP, com exceção da área central mais rebaixada, as margens do rio Paraíba, na altura das cidades de Congo e Camalaú, onde ocorrem condições mais severas de disponibilidade hídrica, Classe E, devido particularmente a solos de muito baixa capacidade de armazenamento e condições de muito alto potencial de evapotranspiração.

No terço inferior da bacia, apesar das condições mais severas da precipitação muito baixa (índice 5) da região, a ocorrência de ambientes da Classe D está associada as condições mais favoráveis de armazenamento de água do solo Luvissolo Crômico vertissólico textura média (TC₃), com grau de limitação médio índice “3”, e a condições de mais baixo potencial de evapotranspiração, índice “4”, nas áreas elevadas e afastadas da drenagem, devido a mais baixa temperatura. Ou seja, ambiente da subclasse D₃₄₅, que ocupa uma área de 345 Km², o que representa 14,1% da área de ocorrência da Classe D na bacia.

No terço central da bacia, ao sul, se destacam em termos de área de extensão as unidades das subclasse D₃₅₄ em ambiente mais seco, na proximidade da cidade do Congo e subindo a rede de drenagem, no vale do rio da Serra (do Congo), a Subclasse D₃₅₃, em ambiente mais úmido. Ambas em condições semelhantes em relação a CA, relacionada aos solos Luvissolo Crômico, agrupamentos TC₃ e TC₅, respectivamente, e as condições de muito alto potencial de evapotranspiração.

A noroeste da BHARP, na sub-bacia do rio Sucuru, a ocorrência do ambiente da classe D está predominantemente associado a muito baixa CA dos solos, índice 5, e ao muito alto (índice 5), e alto (índice 4) potencial da evapotranspiração, mais severo nas áreas mais rebaixadas da drenagem.

4.4.4 Ambientes da Classe E

Pelos dados do quadro 14 é possível ver que os ambientes da Classe E apresentam uma amplitude de limitação hídrica entre 13 e 15 (soma dos graus de limitações hídrica dos três parâmetros do modelo). Esta classe ocupa cerca de 1400 Km², o que representa um percentual equivalente a 22,6 % da área da BHARP. A classe E ocorre predominante nas áreas mais rebaixadas, no entorno da drenagem, do centro para o enxutório a nordeste da BHARP, estando representada na cor vermelha no mapa da figura 21.

Das subclasse que compõem a Classe E, a E₅₅₅ é o ambiente de maior grau de limitação dos atributos bioclimáticos, ou seja: solos muito rasos com textura média/arenosa, apresentando muito baixa capacidade de armazenamento, índice “5”; como também as mais altas temperaturas, ou seja, muito alto potencial de evapotranspiração, índice “5” e ocorrem na área mais seca, ou seja, com muito

baixa precipitação, índice “5”. Esta Subclasse (E₅₅₅) ocorre numa só unidade no terço inferior da BHAP, na circunvizinhança da cidade de São Domingos do Cariri, sobre a unidade de solo RL₃, um Neossolo Litólico Eutrófico textura arenosa e/ou média com relevo ondulado à forte ondulado (Figura 9), ocupando uma área de 288 Km², o que representa 20,4% deste ambiente da Classe E (Tabela 5).

Ocupando áreas de tamanho aproximado a subclasse E₅₅₅, os ambientes das subclases E₅₅₄ e E₅₅₃ ocorrem rio acima, em unidades próximas das cidades de Congo e Camalaú, respectivamente, como pode ser visto na figura 21. Estes ambientes apresentam as mesmas condições de solos e potencial de evapotranspiração que a subclasse E₅₅₅, diferenciando-se apenas pelo aumento gradativo da precipitação (Figura 18²⁶), que passa ao grau de limitação alto, índice “4” na proximidade da cidade de Congo e médio, índice “3” na cidade de Camalaú.

O ambiente da Subclasse E₃₅₅ ocupa 417 Km², o equivalente a 29,5% da área de ocorrência da classe E. Esta subclasse está, portanto, relacionada a área da BHAP com as mais altas taxas de evapotranspiração potencial anual (entre 1150 a 1250 mm.ano⁻¹) e as mais muito baixa pluviometria anual (entre 300 e 400 mm.ano⁻¹), contudo apresentam um grau mediano de limitação (índice 3) em relação a capacidade de armazenamento de água dos solos (90 mm). Os solos que ocorrem nestes ambientes são das classes Vertissolo Háplico Órtico (VX₁) e o Luvissolo Crômico Órtico vertissólico textura argilosa (TC₅), conforme o mapa da (Figura 10²⁷). Estes são solos que apesar de rasos apresentam argilas expansivas de atividade alta e higroscópica, o que lhes conferem maior capacidade de armazenamento de água (KAMP et al., 2012)

Observando-se os dados da tabela 5 pode se constatar que os ambientes que predominam na BHARP são os da classe D, com abrangência de 2.449 Km², que representa 39,2% da área total; e os da classe C, com 2.162 Km², o equivalente a 34,6%. Visualizando-se a Figura 20 pode se constar que os ambientes da Classe D, com alto grau limitação bioclimática, índice com amplitude de 11 a 12 pontos (Tabela 5), predominam no terço médio da BHARP, com exceção da área central

²⁶ Vide item 4.3, página 135.

²⁷ Vide item 4.1, página 107.

mais rebaixada, as margens do rio Paraíba, na altura das cidades de Congo e Camalaú, onde ocorrem condições mais severas de disponibilidade hídrica, classe E, devido particularmente a solos de muito baixa capacidade de armazenamento e condições de muito alto potencial de evapotranspiração.

No terço baixo da bacia, apesar das condições mais severas da precipitação muito baixa (índice 5) da região, a ocorrência de ambientes da classe D está associada as condições mais favoráveis de armazenamento de água do solo Luvissolo Crômico vertissólico textura média (TC_3), com grau de limitação médio índice “3”, e a condições de mais baixo potencial de evapotranspiração, índice “4”, nas áreas elevadas e afastadas da drenagem, devido a mais baixa temperatura

Tabela 5 - Descrição dos ambientes bioclimáticos definidos a partir das classes e subclasses estabelecidas considerando a combinação dos mapas de capacidade de armazenamento de água no solo, evapotranspiração potencial anual e precipitação anual

Ambiente	Clima	Solo	Classe	Área (Km)	Área (%)	Amplitude das limitações das classes	Decomposição das classes em subclasses		
							Subclasses	Área (Km ²)	Área (%)
1	Precipitação entre 700 e 800 mm anuais, com temperaturas médias anuais entre 20 e 21 °C e muito baixas taxas de evapotranspiração (entre 850 e 900 mm.ano ⁻¹).	Solo com média capacidade de armazenamento (90 mm), mais precisamente o Neossolo Regolítico, grupo RR ₂ , por sua vez caracterização conforme descrito no quadro 10 e figura 5.	A	25	0,4	[3,5]	A ₃₁₁	25	0,4
2	Precipitação apresentando duas faixas de intervalos, sendo uma entre 700 mm e 800 mm e a outra entre 600 mm a 700 mm. As taxas de evapotranspiração variam de muitos baixas a altas, onde a mais alta está entre 1100 mm a 1150 mm.	Solo varia entre muito alta, alta, média e muito baixa capacidade de armazenamento, apresentando valores de 150, 120, 90 e 30 mm, respectivamente. Como se pode observar no quadro 10 e figura 36 essas são características atenuantes dos grupos de classes de solos PVA ₁ , RR ₁ , TC ₂ e RL ₁ .	B	200	3,2	[6,7]	B ₁₃₂	45	22,5
							B ₁₄₂	29	14,5
							B ₂₂₂	20	10
							B ₂₃₂	14	7
							B ₃₁₂	20	10
							B ₃₂₁	30	15
							B ₃₂₂	13	6,5
							B ₅₁₁	29	14,5
3	Precipitação apresentando quatro faixas de intervalos, taxas de evapotranspiração variam de muito baixas a altas, onde a mais alta está entre 1100 mm a 1150 mm.	Solo varia entre alta, média e muito baixa capacidade de armazenamento, apresentando valores de 120, 90 e 30 mm, respectivamente. Como se pode observar no quadro 10 e figura 36 essas são características dos grupos de classes de solos VX ₁ , FY ₁ , TC ₂ , TC ₃ , TC ₅ e RL ₂ e do RL ₃ .	C	2162	34,6	[8,10]	C ₂₃₃	76	3,5
							C ₂₄₂	27	1,2
							C ₂₄₃	46	2,1
							C ₂₄₄	3	0,1
							C ₂₅₂	54	2,5
							C ₂₅₃	56	2,6
							C ₃₃₂	256	11,8
							C ₃₃₃	7	0,3
							C ₃₃₄	4	0,2
							C ₃₄₂	614	28,4
							C ₃₄₃	408	18,9
							C ₃₅₂	282	13
							C ₅₁₂	28	1,3
							C ₅₂₁	13	0,6
							C ₅₂₂	144	6,7
							C ₅₃₂	144	6,7
			D	2449	39,2	[11,12]	D ₂₅₄	59	2,4

4							D ₃₃₅	28	1,1
---	--	--	--	--	--	--	------------------	----	-----

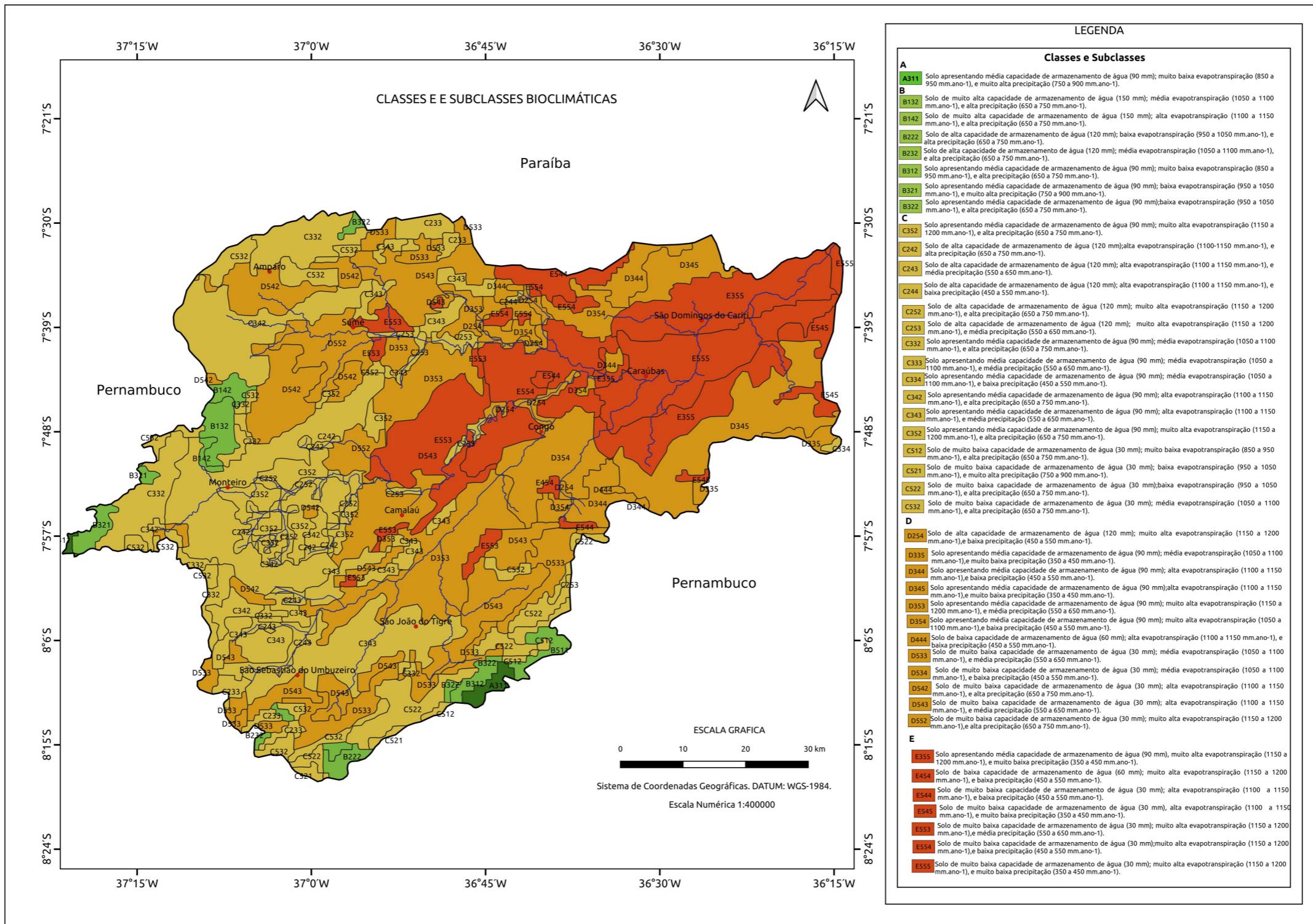
Tabela 5 – Descrição dos ambientes bioclimáticos definidos a partir das classes e subclasses estabelecidas considerando a combinação dos mapas de capacidade de armazenamento de água no solo, evapotranspiração potencial anual e precipitação anual

(continuação)

Ambiente	Clima	Solo	Classe	Área (km ²)	Área (%)	Amplitude das limitações das classes	Decomposição das classes em subclasses		
							Subclasses	Área (Km ²)	Área (%)
4	Precipitação apresentando duas faixas de intervalos, sendo uma entre 700 mm e 800 mm e a outra entre 600 mm a 700 mm. As taxas de evapotranspiração variam de muitos baixas a altas, onde a mais alta está entre 1100 mm a 1150 mm.	Solo varia entre alta, média e muito baixa capacidade de armazenamento, apresentando valores de 120, 90 e 30 mm, respectivamente. Como se pode observar no quadro 10 e figura 36 essas são características dos grupos de classes de solos VX ₁ , FY ₁ , TC ₃ e TC ₅ e do RL ₁ , RL ₄ , SN ₁ , RR ₁	D	2449	39,2	[11,12]	D ₃₄₄	139	5,7
							D ₃₄₅	345	14,1
							D ₃₅₃	551	22,5
							D ₃₅₄	266	10,9
							D ₄₄₄	4	15,8
							D ₅₃₃	235	9,6
							D ₅₃₄	5	0,2
							D ₅₄₂	267	10,9
							D ₅₄₃	386	15,8
							D ₅₅₂	164	6,7
5	Precipitação apresentando duas faixas de intervalos, sendo uma entre 700 mm e 800 mm e a outra entre 600 mm a 700 mm. As taxas de evapotranspiração variam de muitos baixas a altas, onde a mais alta está entre 1100 mm a 1150 mm.	Solo varia entre alta, média e muito baixa capacidade de armazenamento, apresentando valores de 120, 90 e 30 mm, respectivamente. Como se pode observar no quadro 10 e figura 36 essas são características dos grupos de classes de solos AR ₁ , RL ₄ , TC ₅ , SN ₁ e do VX ₁ .	E	1414	22,6	[13,15]	E ₃₅₅	417	29,5
							E ₄₅₄	8	0,6
							E ₅₄₄	74	5,2
							E ₅₄₅	58	4,1
							E ₅₅₃	288	20,4
							E ₅₅₄	281	19,9
							E ₅₅₅	288	20,4

Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 21 - Classes, subclasses, localização e descrição dos ambientes bioclimáticos estabelecidos



Fonte: Elaborado pela autora

4.4.5 Paisagens ilustrativas

A descrição das paisagens selecionadas a partir de registros realizados em campo traz uma forma de ilustrar, ou melhor, validar o que foi obtido em laboratório com a estruturação do mapa síntese dos ambientes bioclimáticos. Daí a importância de se considerar a qualidade do produto (mapa) elaborado com base em linguagem de programação e técnicas de geoprocessamento. Muito embora isso acarrete a validação e eficácia do produto gerado, deve ser levado em consideração as restrições impostas pela pandemia do coronavírus (COVID-19), momento inesperado em nossas vidas, impossibilitando-nos de realizar viagem de observações e registros fotográficos. Sendo assim, dentro do possível, com acervos de imagens pessoais e o auxílio do Google Earth são apresentadas algumas exemplificações e comentários sobre alguns ambientes característicos da área de estudo.

Ambientes da Classe A e B

O ambiente bioclimático da Classe A (Figura 21²⁸), e particularmente o da Subclasse A₃₁₁ que ocorre ao sul sudeste, em posição mais elevada da BHARP, pode ser ilustrado pela figura 22. Neste caso, trata-se de um ambiente onde ocorre o solo Neossolo Regolítico com A fraco e textura arenosa, sobre relevo plano (RR₂) (Figura 10²⁹). Embora esse seja um solo mais profundo, a textura arenosa limita a CA de água em 90 mm, considerada, segundo os critérios adotados neste trabalho, como de grau médio de limitação. Este mesmo tipo de solo (RR₂) em área contígua,

²⁸ Vide item 4.4, página 151.

²⁹ Vide item 4.1, página 107.

mas em condições de precipitação mais baixa passa a pertencer ao ambiente da Subclasse B₃₁₂.

O Neossolo Regolítico Eutrófico fragipânico (RR₁) embora apresente maior CA (Quadro 11³⁰ e Figura 10³¹) devido ao horizonte argílico fragipânico no perfil, ocorre em áreas mais baixas e quentes, com maior ETp e precipitação mais baixa em ambiente da Subclasse B₂₂₂. Esse tipo de solo apesar de ser típico da região do Agreste do Planalto da Borborema (BRASIL, 1972), ocorre nas regiões mais secas dessa região, sempre em posições de topo mais elevados e aplainados, mais especificamente sobre os divisores das bacias e sub-bacias. São áreas agrícolas, quase sempre ocupadas por minifúndios. Esses solos são considerados de moderada fertilidade, ocorrendo costumeiramente em terrenos planos (Figuras 8a³² e 10³³), em áreas com maior disponibilidade de chuvas (Figura 18³⁴), oportunizando condições melhores de subsistência, sendo por isso áreas fáceis de trabalhar. Devido a esses aspectos a vegetação de caatinga é praticamente inexistente, se fazendo presente em áreas mais íngremes consideradas de difícil acesso, conforme

Figura 22 - Paisagem referente as vertentes **do maciço ao sul sudeste da BHARP** representativa do ambiente bioclimático da Classe A, Subclasse A₃₁₁



³⁰ Vide item 4.1, página 102.

³¹ Vide item 4.1, página 107.

³² Vide capítulo 3, item 3.1, página 70.

³³ Vide item 4.1, página 107.

³⁴ Vide item 4.3, página 135.

relata Souza (2009).

Acima: Ocorrência de Neossolo Regolítico, unidade RR₂, relevo plano, com topos de serra ao fundo, caatinga hipo e hiperxerófila

Fonte: Iêde Brito Chaves.

Outro solo que forma ambiente da Classe B na BHARP é o Argissolo Vermelho Amarelo. Embora não se tenha uma imagem da paisagem com este tipo de solo é importante a sua referência nesse trabalho, por se tratar de uma área bem expressiva e individualizada da paisagem, em posição elevada do divisor, mais precisamente a oeste da BHARP (Figura 10³⁵), ao norte da cidade de Monteiro, representada pela Subclasse B₁₃₂ (Figura 21³⁶).

Das Subclasses que compõem a Classe B, a Subclasse B₁₃₂ representa o ambiente com menor grau de limitação hídrica em relação aos atributos atributos bioclimáticos definidos nesse trabalho: Solos profundos, com textura média arenosa, presentando muito alta capacidade de armazenamento, de 150 mm, (Tabela 5³⁷ e Figura 21³⁸) ocorrendo em relevo suave ondulado à 700 metros de altitude (Figura 8a³⁹); ao mesmo tempo em que ocorrem temperaturas entre 21 e 22 °C (Figura 13⁴⁰), o que confere médias taxas de evapotranspiração potencial anual entre 1000 e 1100 mm.ano⁻¹ (Figura 13⁴¹). Nesse caso, a pluviometria anual está entre 600 e 700 mm.ano⁻¹, classificada como sendo de baixa limitação nesse trabalho.

Fato curioso que precisa ser destacado nesse trabalho, e que de certo modo valida os resultados aqui obtidos com a metodologia desenvolvida para identificação e espacialização dos ambientes bioclimáticos, está relacionado a Subclasse B₁₃₂. Cruzando as informações das figuras 10⁴² e 21⁴³ é possível observar que esse ambiente bioclimático estabelecidos é formado pela unidade de mapeamento que confere o solo Argissolo Vermelho Amarelo (PVA), conforme já mencionado

³⁵ Vide item 4.1, página 107.

³⁶ Vide item 4.4, 151.

³⁷ Vide item 4.4, página 149

³⁸ Vide item 4.4, 151.

³⁹ Vide capítulo 3, item 3.1, página 70.

⁴⁰ Vide item 4.2, página 120.

⁴¹ Vide item 4.2, página 120.

⁴² Vide item 4.1, página 107.

⁴³ Vide item 4.4, 151.

anteriormente, é apontado no levantamento pedológico do Zoneamento Agropecuário do Estado da Paraíba (PARAÍBA, 1978) e do Boletim Técnico nº15 do Levantamento Exploratório e de Reconhecimento de Solos do Estado da Paraíba (BRASIL, 1972) como sendo formado por um ambiente de caatinga hipoxerófila, corroborando com os resultados encontrados. Uma vez que correspondem a condições mais favoráveis de disponibilidade de água (Figura 10⁴⁴).

Também é possível constatar considerando as duas literaturas anteriormente descritas que no caso da vegetação do entorno, unidade TC₁, composta por Luvissolos Crônicos possui um ambiente classificado por uma caatinga hiperxerófila. Constatando a influência da capacidade de armazenamento de água no solo enfatizada nesse trabalho.

Ambientes das Classes C e D

Utilizando-se de uma linha de caminhamento do divisor ao sul a 900 m de altitude aproximadamente (Figura 8a⁴⁵), à cidade de São João do Tigre ao norte (Figura 7⁴⁶), gradando o perfil topográfico do maciço de serra do sul sudeste da BHARP (Figura 8a), procurar-se-á com as imagens disponíveis e o mapa dos ambientes bioclimáticos, descrever e ilustrar alguns ambientes das Classes C e D da paisagem.

A imagem da figura 23 representa o ambiente do terço superior da encosta, vertentes do maciço, área de relevo forte ondulado a montanhoso (Figura 8a⁴⁷), com solos Neossolo Litólicos muito rasos, pedregosos e rochosos de muito baixa CA (30 mm, nível “5”) (Figura 8a). Observa-se na figura 23 que neste ponto da paisagem predomina o ambiente da Subclasse C₅₂₂ (Figura 8a). Apesar da limitação do solo, apresenta condições mais favoráveis de baixa ETp (índice “2”) e Precipitação alta (índice “2”). Ambiente que se repete para nordeste, em unidades no entorno do

⁴⁴ Vide item 4.1, página 107.

⁴⁵ Vide capítulo 3, item 3.1, página 70.

⁴⁶ Vide capítulo 3, item 3.1, página 67.

⁴⁷ Vide capítulo 3, item 3.1, página 70

promontório mais elevado do maciço, e que no seu conjunto ocupa uma área de 144 km² (6,7%).

Figura 23 - Paisagem típica das vertentes do maciço sul sudeste da BHARP, ambiente da Subclasse C₅₂₂



Acima: Neossolo Litólico muito raso forte ondulado e montanhoso, muito baixo armazenamento de água, baixa evapotranspiração e alta precipitação.

Fonte: Iêde Brito Chaves.

Com pluviometria anual variando entre 700 e 800 mm.ano⁻¹, o ambiente que corresponde a classe C, a exemplo da figura 23, subclasse C₅₂₂ é uma paisagem típica localizada ao sul sudeste da BHARP. Vale-se destacar que mesmo possuindo alto grau de limitação devido aos solos rasos e ao relevo forte ondulado e montanhoso, são normalmente áreas mais preservadas da paisagem abrigando uma vegetação de maior porte. O difícil acesso e a distância destas áreas elevadas das comunidades rurais e urbanas são apontados como fatores favoráveis à preservação destes ambientes na região do Planalto da Borborema, como observaram Chaves et al. 2015 e Francisco et al. 2020.

A encosta do maciço por estar a sotavento dos alísios de sudeste apresenta uma mudança brusca de clima com a altitude, propiciando uma diversidade de ambientes. A figura 23 representa área do terço médio da encosta com os mesmos

solos, Neossolos Litólicos em relevo ondulado a forte ondulado, com muito baixa capacidade de armazenamento de água (grau “5” de limitação). Pode se observar na figura 24, que a medida que diminui a altitude (abaixo de 700 m) aparece ambientes da classe D, primeiro a Subclasse D₅₃₃, e em seguida a Subclasse D₅₄₃. A

Figura 24 - Paisagem típica no terço médio da encosta, localizada na Área de Preservação Ambiental das onças, no município de São João do Tigre, ambiente da Subclasse D₅₃₃



precipitação cai para classe moderada, índice “3” (500 a 600 mm.ano⁻¹) e a ET_p inicialmente aumenta, passando para classe moderada, índice “3” (1050 a 1100 mm.ano⁻¹), e em seguida para a classe alta, índice “4” (1100 a 1150 mm.ano⁻¹).

Acima: Neossolo Litólico ondulado à forte ondulado raso, armazenamento de água muito baixo, e evapotranspiração e precipitação moderadas.

Fonte: A autora.

Prosseguindo na direção da cidade de São João do Tigre passando para altitudes inferiores a 600 m, o ambiente volta à classe C devido ao aumento da CA do solo, que muda para um Luvissolo Crômico Órtico vertissólico textura média relevo suave ondulado (TC₃). O ambiente formado é o da Subclasse C₃₄₃ (ambiente

de moderado grau de limitação hídrica), como pode ser visto na figura 21⁴⁸, e ilustrado pela figura 23. É uma paisagem da depressão, relevo suave ondulado, onde a altitude, ainda considerável, mantém as mesmas condições climáticas de ETp alta e precipitação moderada do ambiente anterior (D₅₄₃) (Figura 8a). Para fins comparativos pode-se considerar o trabalho realizado por Lima (2012), onde foi aplicado o método dos regimes bioclimáticos de Artigas (2004). Nesse trabalho a autora constatou que em áreas semelhantes à da Subclasse D₅₃₃ a umidade do solo poderá ocorrer em boa parte do ano. Isso porque a pluviometria nessas áreas costuma atingir entre 800 e 1800 mm anuais e temperaturas entre 19 °C e 21 °C, o que confere um Regime Tropical, com a presença de uma Floresta Mesófila Subúmida.

Figura 25 - Paisagem do vale (rio da Serra) descendo das vertentes do maciço sul sudeste da BHARP, ambiente da Subclasse C₃₄₃



Acima: Luvissolo Crômico com armazenamento de água moderado, evapotranspiração alta e precipitação moderada e presença de caatinga arbustiva fechada.

Fonte: Iêde Brito Chaves.

Prosseguindo para norte, após passar a cidade de São João do Tigre, o ambiente muda para a classe D, subclasse D₃₅₃, como pode se comprovar pelo mapa da figura 19 (Figura 8a). Nesta área, apesar de o solo mudar para o (TC₅) Luvissolo Crômico textura argilosa (Figura 8a) relevo ondulado (Figura 8) a CA permanece no grau moderado, índice “3” (90 mm), e também a precipitação (500 a 600 mm.ano⁻¹). A ETp é que muda, do grau severo para o muito severo, muito alta evapotranspiração, índice “5” (1100 a 1150 mm.ano⁻¹), isto devido ao rebaixamento gradual do terreno no sentido da drenagem, o que faz aumentar a pressão atmosférica e consequentemente a temperatura, resultando num aumento do potencial de evapotranspiração.

A imagem da figura 26 exemplifica ambientes de ocorrência da classe de solo TC₅, Luvissolo Crômico vertissólico relevo ondulado da subclasse D₃₅₃, que também é encontrado em áreas mais secas de baixa e muito baixa precipitação (Figura 8a). Estes ambientes das Subclasses D₃₄₄ e D₃₄₅ que ocorrem em posições mais elevadas onde a ETp é mais baixa.

Figura 26 - Paisagem representativa do ambiente D₃₅₃



Acima: Solo Luvissolo Crômico Vertissólico (TC4) relevo ondulado, de moderada CA (3), ETp muito alta (5) e precipitação moderada (3).

Fonte: Iêde Brito Chaves.

Ambientes da classe E

Os ambientes da classe E apresentam os mais altos graus de limitação bioclimática, com amplitude de valores que variam de 13 a 15 pontos (Quadro 14). Neste contexto, a subclasse E₅₅₅ é o ambiente da BHARP que reúne as condições mais críticas de armazenamento de água do solo (30 mm), evapotranspiração muito alta (1150 a 1250 mm.ano⁻¹) e precipitação muito baixa (300 a 400 mm.ano⁻¹). Predomina as margens do rio Paraíba, no terço inferior da BHAP, na proximidade da cidade de São Domingos do Cariri (Figura 25).

A imagem da figura 27 retrata o ambiente da subclasse E₅₅₅, onde ocorre o solo Neossolo Litólico Eutrófico típico com A fraco textura arenosa e/ou média fase pedregosa/rochosa relevo ondulado a forte ondulado substrato gnaisse e granito, símbolo RL₃. Trata-se de um solo muito raso, pedregoso e declivoso, condição que lhe facilita muito baixa capacidade de armazenamento de água. Em áreas como essas prevalecem cactáceas pela sua adaptabilidade e resistência a este ambiente que é considerado muito seco a exemplo do *Pilosocereus gounellei* (F.A.C.Weber) Byles & Rowley, popularmente conhecido como xique-xique. Em estudo realizado por Souza, Artigas e Lima (2015) em localidade situada no município de São

Figura 27 - Paisagem representativa do Ambiente da Classe E, retratando a subclasse E₅₅₅



Domingos do Cariri constataram deficiência hídrica tanto do ponto de vista climático quanto do pedológico ao longo de todo ano, corroborando para o aparecimento da espécie anteriormente mencionada.

Acima: Ambiente com condições mais críticas de disponibilidade hídrica, em um Neossolo Litólico, fase pedregosa rochosa e relevo ondulado.

Fonte: Iêde Brito Chaves.

Como se pode observar na figura 21⁴⁹, ambientes da classe E de mesmo grau de limitação em relação a CA do solo e potencial de ETP da subclasse E₅₅₅, ocorrem a montante da drenagem em condições mais favoráveis de precipitação (Figura 8a). São unidades da subclasse E₅₅₄ com precipitação baixa, índice “4” (400 a 500 mm.ano⁻¹) que é localizada na confluência do rio Sucuru; e a subclasse E₅₅₃, com precipitação moderada, índice “3” (500 a 600 mm.ano⁻¹) que ocorre prosseguindo no curso do rio Paraíba (Figura 8a) a sua margem esquerda da BHARP. Estes ambientes acima mencionados embora ocorram sobre um mesmo solo, o Neossolo Litólicos, se diferenciam em termos de fases de declividade e pedregosidade nos agrupamentos LR₂ e LR₃. Contudo não diferem quanto a classe de armazenamento de água, que é de muito baixa, índice “5” (30 mm).

A figura 28 retrata um ambiente da subclasse E₃₅₅, em condições de solo com moderada capacidade de armazenamento de água. O solo é um Luvisolo Crômico Vertissólico textura argilosa relevo ondulado (TC₅).

Figura 28 - Paisagem do ambiente referente a Subclasse E₃₅₅



Acima: Ambiente em solo Luvissolo Crômico Vertissólico, moderada capacidade de armazenamento de água e muito alta limitação pela evapotranspiração e precipitação.

Fonte: Iêde Brito Chaves.

Pelo porte e densidade baixa das plantas pode se afirmar que o ambiente retratado na figura 29 se apresenta bastante impactado. Em trabalho utilizando parâmetros de vegetação e solos na Bacia Hidrográfica do Rio Taperoá (BHRT) na mesma região do Cariri paraibano, observaram que a degradação das terras está relacionada aos altos níveis de degradação da vegetação (59,2%) e a susceptibilidade à erosão dos solos (59,4%), contudo os níveis de degradação das terras da bacia são moderado devido a predominância do relevo plano e suave ondulado em 87% das terras da BHRT (FRANCISCO et al., 2013; CHAVES et al., 2015).

Os Luvissolos são solos com acentuado gradiente textural entre o horizonte A superficial e o horizonte B de subsuperfície tornando-os muito suscetível a erosão. Estes solos perdem facilmente o horizonte superficial resultando em acumulação residual de pedras e afloramentos de rochas na superfície, como pode ser vista na figura 27, área desmatada para uso agricultura/pecuária (CHAVES et al., 2015).

Figura 29 - Área agrícola/pastoril em solo Luvissolo Crômico com formação de pavimento desértico



Acima: Área agrícola/pastoril com uma caatinga arbustiva ao fundo em solo Luvissolo Crômico com formação de pavimento desértico.

Fonte: Iêde Brito Chaves.

Nas porções um pouco mais elevadas no município do Congo (Figura 8a), onde o ambiente foi classificado como sendo de Classe E e Subclasse E₅₄₄, em altitudes entre os 600 e 800 metros (Figura 8a), foram observados 15 pontos, na localidade conhecida como Serra da Engabelada. As observações foram feitas no mês de junho (Apêndices C e D).

A paisagem da Serra da Engabelada de acordo com Luguinho (2018) possui uma extensão de 22,044 km². É caracterizada como um afloramento rochoso em que a alocação de água em seu entorno auxilia na manutenção de um refúgio

mantido pelo afloramento, sendo por isso considerada uma zona de exceção da caatinga. Ocorre que, ao contrário das áreas mais planas, áreas como essas são mais preservadas devido à dificuldade de acessibilidade.

Ao final de tudo, todos os procedimentos propostos no presente estudo foram norteadores para entender a necessidade de melhorar as bases constitutivas de classificação da vegetação. Porém, torna-se ainda pertinente analisar mais a fundo, mostrando a necessidade de se validar a proposta adotada, tendo a alternativa de realizar estudos fitofisionômicos nos ambientes formados, com a finalidade de identificar possíveis modos de distribuição da vegetação.

Além disso o presente trabalho procurou além disso, procurou mostrar a importância de se definir unidades bioclimáticas e como essas são de fundamental importância para o reconhecimento das diferentes potencialidades de desenvolvimento da vegetação.

Ademais, conforme comentado na seção 3.2, as palavras de Cavalcante (2013, p. 25) em sua tese de doutorado, corroboram com o que foi constatado neste trabalho, quando ele afirma que as classificações ou sínteses naturalistas “[...] carecem de uma estrutura lógica para o tratamento da informação, a fim de que os dados sejam relacionados de modo a refletir a realidade [...]”.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Mesmo com as condições impostas pelas restrições de dados e limitações de representatividade das variáveis ambientais aplicadas no modelo pôde se a um (Texto truncado que não permite dar continuidade ao entendimento.) modelo descritivo de classificação que retrata com fidelidade de nuances da diversidade dos ambientes semiáridos (Sugiro não dar esta ênfase, uma vez que a validação do mapeamento tem pouca consistência.) da BHARP, separando áreas, classes de ambientes bioclimáticos, de acordo com o grau de limitação hídrica e aponta com a descrição das subclasses, o grau de participação restritivo de cada fator determinante do modelo. De onde foi possível tirar as seguintes conclusões:

- O terço inferior da bacia, por ser a área mais baixa, apresenta temperaturas mais elevadas, e por isso potencial de evapotranspiração muito alto (5). Esses quando associados a precipitações muito baixas (5), resultantes da posição a barlavento dos alísios, propiciam ambientes da classe E, enquadrados como sendo os de mais altos graus de limitação hídrica;
- A classe E ocorre também no centro do terço médio da BHARP, onde a temperatura em é muito alta devido a depressão da drenagem, o que faz elevar o potencial da Etp (anual), além da ocorrência esparsa desta classe de ambiente em áreas circunvizinhas, decorrentes das restrições impostas por solos muito rasos, de muito baixa Ca. No total estes ambientes da Classe E ocupam uma área de 1414 km², que corresponde a 22,6% da área da BHARP;
- Os ambientes bioclimáticos da classe D, com alto grau de limitação hídrica (4) ocupam a maior área da BHARP, numa extensão de 2449 km² que corresponde a 39,2% da área total, distribuídos em grande parte no terço médio, onde a ETp muito alta (5) é compensada pelo aumento da precipitação, e no terço inferior da BHAP nas partes mais elevada onde a ETp alta (4) está associada a solos com moderada CA de água;

- Ocupando a segunda maior área em extensão na bacia, os ambientes da classe C, com grau moderado de limitação hídrica (3) abrangem 2162 km², o equivalente a 34,6% da área total e se distribui em grande parte no terço superior da BHARP, onde a ETp muito alta (5) e alta (4) são compensadas pela precipitação alta (4) e a ocorrência de solos com CA moderada (3);
- Os ambientes da classe B com grau de limitação hídrica baixo ocupam 200 km² (3,2%) e os da classe A com grau de limitação muito baixa ocupam 25 km² (0,4%), ambos ocorrem em condições mais favoráveis de precipitação e evapotranspiração, particularmente os ambientes da classe A que ocorrem de muito alta ETp e sobre solo Neossolo Regolítico de alta CA de água;
- Com relevo de variações discretas, em grande parte com altitudes entre 400 m e 700 m, a BHARP apresenta baixa amplitude de variação térmica, predominantemente entre 22 °C e 24 °C de média anual, o que influência na maior abrangência das classes definidas como alta (4) e muito alta (5) de evapotranspiração;
- Da mesma forma influenciada pelo relevo, a variação da precipitação anual de 300 mm a 800 mm apresenta uma distribuição gradativa para oeste acompanhando o aclive da drenagem, faz exceção às áreas mais elevadas dos divisores ao sul e sudeste onde a precipitação embora possa ultrapassar os 900 mm.ano⁻¹ ficaram agrupadas na classe de precipitação (5) muito alta (700 mm a 800 mm);
- A capacidade de armazenamento de água dos solos (CA) apesar de ter tido um peso mais discreto nos ambientes das classes C, D e E, com mais altos graus de limitação hídrica, teve destaque em ambientes da classe B, subclasse B142 e B132, que ocorrem sobre solo Argissolo Vermelho Amarelo de muito alta CA (unidade próxima a cidade de Monteiro) compensando as limitações impostas pela Evapotranspiração alta (4) e média (3) locais.

Em linhas gerais, para que fossem atingidos o objetivo geral desse trabalho foram realizados aprimoramentos que compreenderam três tipos de procedimentos

principais, a saber: 1) De maneira inédita foi realizado o cálculo da estimativa dos valores da capacidade de armazenamento de água nos solos, tendo como suporte a base de dados de Paraíba (1972), Brasil (1978) e AESA (2006); 2) A definição dos ambientes bioclimáticos com a técnica de arranjo simples, tendo como base os mapas categóricos da capacidade de armazenamento de água no solo, bem como da evapotranspiração e da pluviometria anuais; e 3) A elaboração de rotinas de programação no software estatístico R contendo uma função que permitiu a aplicação da técnica de arranjo simples, objetivando definir ambientes bioclimáticos e espacialização dos mesmos. (Este parágrafo também não é conclusão. É mais uma síntese das estratégias metodológicas.)

No caso da estimativa dos valores da capacidade de água no solo, o que foi obtido está diretamente relacionado com as características morfológicas do solo utilizadas para a geração dos perfis modais, acrescido do tipo de relevo em que esses solos se encontram. Isso sem dúvida foi muito importante, pois analisando o trabalho como um todo, os valores estimados foram um grande impulso ao bom desenvolvimento do trabalho, uma vez que os resultados obtidos tiveram relação direta com os resultados dessa estimativa. (O texto está confuso.)

Sobre as paisagens selecionadas para relacionar com as unidades bioclimáticas, mais uma vez foi mostrada a eficácia do que foi desenvolvido, principalmente quando além de comparar com os resultados obtidos, também com os resultados de outras pesquisas para essa área. (Não se pode fazer esta afirmação a partir da estratégia utilizada. Pode ser dito que as observações visuais levam a uma coerência dos resultados, mas não mais do que isto.) Os dados dos trabalhos de campo realizados foram de extrema importância para a efetivação dos resultados. (Não ficou claro para mim quais os dados que foram levantados em campo.)

Na última etapa do trabalho, as estatísticas e os gráficos obtidos, bem como a caracterização da paisagem “in loco” considerando relevo, solo e predominância do tipo de caatinga, colaboraram para a caracterização das cinco unidades bioclimáticas propostas, por sua vez expressas em classes e subclasses. (Este parágrafo é metodologia.)

Não é objetivo desta pesquisa desenvolver o melhor modelo para fins de identificação de ambientes, mas mostrar as vantagens de se considerar uma maneira mais simples e clara de realizar o procedimento de identificação dos ambientes bioclimáticos aliado a linguagem matemática, procedimentos de programação e SIG. Desse modo, pode-se dizer que a identificação de ambientes bioclimáticos e posterior criação do mapa síntese constitui-se numa forma alternativa para a elaboração de um mapa síntese que mostre as diferentes condições bioclimáticas de um dado local.

Algumas questões foram observadas no decorrer da pesquisa, cuja execução podem ser alcançadas de acordo com a sugestão abaixo:

- Construir um pacote no software estatístico R contendo a função criada que permita a realização do arranjo simples e posterior espacialização do resultado gerado;

Contudo, ressalta-se, mais uma vez, que as propostas no presente estudo tiveram como objetivo primordial gerar um mapa de ambientes bioclimáticos frente a problemática da subjetividade das propostas de classificação da vegetação até então desenvolvidas, (Apoiada em que bases você faz esta afirmação?) não anulando as que já foram construídas até o momento e nem impondo que o que foi desenvolvido nesta pesquisa, apesar de apresentar maior consistência (Apoiada em que bases você faz esta afirmação?). Tendo em vista esse aspecto, estudos adicionais podem ser acrescidos, com o objetivo de considerar que outros elementos podem figurar numa melhor classificação da vegetação – a exemplo do período de atividade vegetativa por causas hídricas úteis na caracterização dos mecanismos de aproveitamento e adaptação das plantas de caatinga, frente ao stress hídrico que repercute nas plantas.

Conforme apontado anteriormente, são exemplos de processos que ainda requerem adaptações ao desenvolvimento das plantas em áreas não só de caatinga nativa (Qual a razão para a ênfase? Existe caatinga exótica?), mas de áreas que passaram por processos de intervenção antrópica.

Além de propostas de classificação da vegetação serem inadequadas para a representação do que realmente ocorre no ambiente (Não foi tratado deste assunto durante toda o relatório. Talvez seja extemporâneo falar deste tema aqui.), a falta de uma base de dados coerente e que por vezes é escassa ou generalista, também são fontes de incertezas nos produtos gerados. Nesse sentido, são necessários esforços voltados para a obtenção e compilação de dados consistentes (Sobretudo a geração de dados primários precisos, coletados sistematicamente e numa densidade maior.), por serem esses o motor que viabiliza a geração de produtos mais condizentes com a realidade. Trabalhos nesse sentido tem mostrado a eficácia de dados obtidos via sensoriamento remoto, como uma boa alternativa, a exemplo do que Santos (2019) e Neto (2017) fizeram na análise da precipitação para o estado da Paraíba com dados TRMM e o zoneamento bioclimático para o Rio de Janeiro realizado por Cronemberger (2012), que fez uso da grade de dados wordclim já corrigida topograficamente para a geração do balanço hídrico climatológico normal de Thornthwaite (1955).

Além disso, também é evidente a necessidade de se avançar cada vez mais em estudos que envolvam relações mais sinérgicas entre técnicas de programação, grandes bancos de dados, bem como a aplicabilidade dessas ferramentas em áreas que não costumam utilizar com frequência, como é o caso da Geografia, mais precisamente no âmbito da geografia física. É preciso quebrar esse paradigma, pois só assim se encontra uma via de se obter resultados fisicamente justificáveis e mais representativos da realidade.

Por fim, sugere-se que a proposta idealizada nesse trabalho possa ser avaliada em outros tipos de recorte e considerando dados provenientes de mapas com melhores resoluções a fim de analisar se o mapeamento proposto também se mostra eficaz.

6 REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A. N. Depressões periféricas e depressões semiáridas no Nordeste brasileiro. **Boletim Paulista de Geografia**, São Paulo, n. 22, p. 3-18, mar. 1956.
- AB'SABER, A. N. Participação das superfícies aplainadas nas paisagens do nordeste brasileiro. **Geomorfologia**, São Paulo, n. 19, p. 1-38. 1969.
- AB'SABER, A. N. O domínio morfoclimático semiárido das caatingas brasileiras. **Geomorfologia**, São Paulo, v. 43, p. 1-39. 1974.
- AB'SABER, A. N. Espaços ocupados pela expansão dos climas secos na América do Sul, por ocasião dos períodos glaciais quaternários. **Paleoclimas**, São Paulo, n. 3, p. 1-17. 1977.
- AB'SABER, A. N. FLORAM: nordeste seco. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 4, n. 9, p. 149-170, mar. 1990.
- AESA. Agência Executiva e de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. **Plano Estadual de Recursos Hídricos do estado da Paraíba**. 2006. Disponível em: <http://www.aesa.pb.gov.br/perh/>. Acesso em: 31 mai. 2017.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. Evolução da rede hidrometeorológica nacional. Brasília: ANA, 2007. p. 15.
- ALCÂNTARA, C. R. **Aplicação de teorias termodinâmicas às circulações de brisa utilizando simulações numéricas**. 2007. 91 f. Trabalho de conclusão de curso (Dissertação em Meteorologia) – Curso de Meteorologia, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2007.
- ALVES, J. J. A. Caatinga do cariri paraibano. **Geonomos**, [S.I.], v. 1, n. 17, p. 19-25, fev. 2013.
- ALVES, T. L. B.; AZEVEDO, P. V.; FARIA, A. A.. Comportamento da precipitação pluvial e sua relação com o relevo nas microrregiões do Cariri Oriental e Ocidental do estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, n. 6, p. 1601-1614, 2015.

ANDRADE LIMA, D. Domínio das caatingas. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 4, p. 149-153, 1981.

ANDRADE-LIMA. D. Vegetação. *In:* IBGE. Atlas Nacional do Brasil. Conselho Nacional de Geografia, Recife, 1966.

ANDRADE, L. A. **Classificação Ecológica do Território Brasileiro Situado a Leste do Meridiano de 44º Oeste e ao Norte do Paralelo de 16º Sul - Uma abordagem climática.** 1999. 147 f. Trabalho de conclusão de curso (Doutorado em Ciência Florestal) – Curso de Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1999.

ARAÚJO FILHO, J. C.; RIBEIRO, M. R.; BURGOS, N.; MARQUES, F. A. Solos da Caatinga: solos dos biomas brasileiros. *In:* CURI, N.; KER, J. C.; NOVAIS, R. F.; VIDAL-TORRADO, P.; SCHAEFER, C. E. G. R (org). **Pedologia: solos dos biomas brasileiros. Solos dos Biomas Brasileiros.** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2017. p. 227-260.

ARAÚJO, Elânia Daniele Silva; SOUZA, Jonas Otaviano Praça de; MACHADO, Célia Cristina Clemente. VARIAÇÃO DA VEGETAÇÃO E SUA RELAÇÃO COM O ÍNDICE TOPOGRÁFICO DE UMIDADE – ITU NO ENCLAVE SUBÚMIDO DAS SERRAS SERTANEJAS-PARAÍBA, NORDESTE, BRASIL. **Raega - O Espaço Geográfico em Análise**, [S.L.], v. 50, p. 153, 12 abr. 2021. Universidade Federal do Paraná. <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v50i0.74614>.

ARTIGAS, R. C. Escalonamiento bioclimático, regímenes ecodinámicos y formaciones vegetales de la isla de La Española en República Dominicana. *In:* ESTÉBANEZ, N. L. et al (org.). **Estudios en biogeografía 2004:** libro homenaje a José Manuel Rubio y Jesús García. Espanha: Aster. 2004. p. 39-55.

ARTIGAS, R. C.; BATLE, J. R. M.; OLMO, F. D. **Método de Regímenes Ecodinâmicos basado (MEREC) en las técnicas de balances hídricos y balances bioclimáticos.** Disponível em: http://personal.us.es/rcamara/index_archivos/merec.htm. Acesso em: 26 mar. 2017.

ARROIO JÚNIOR, P. P. **Aprimoramento de rotinas e parâmetros dos processos hidrológicos do modelo computacional Soil and Water assessment tool - SWAT.** 2016. 180 f. Trabalho de conclusão de curso (Doutorado em Engenharia Ambiental) – Curso de Ciências da Engenharia Ambiental, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016.

ASSAD, E. D.; SANO, E. E. Sistema de Informações Geográficas: aplicações na

Agricultura. 2. ed. Brasília: Embrapa, p. 434, 1998.

ASSAD, M. L.; SANS, L. M; ASSAD, E. D.; JR, J. Z. Relação entre água retida e conteúdo de areia total em solos brasileiros. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v. 9, n.3, (Nº Especial: Zoneamento Agrícola), p. 588-596, dez. 2011.

AUBRÉVILLE A. Principes d'une systématique des formations végétales tropicales. **Adansonia**. p. 165-196, 1965.

BAILEY, R. G. Ecosystem Geography: From Ecoregions to Sites. 2. ed. New York: Springer, p. 251, 2009.

BARBOSA, H.A.; KUMAR, T.V. Lakshmi. Influence of rainfall variability on the vegetation dynamics over Northeastern Brazil. **Journal Of Arid Environments**, [s.l.], v. 124, p. 377-387, jan. 2016.

BERG, L.S. The objectives and tasks of Geography. Proceedings of the Russian Geographical Society. *In: WIENS, J.A.; MOSS, M.R.; TURNER, M.G.; MLADENOFF, D. J. (ed.). Foundation papers in landscape ecology. New York: Columbia University Press*. 2006. p.11-18.

BREUER, J. R The International Encyclopedia Of Communication Research Methods. **Wiley**, [s. l.], p. 1-2, nov. 2017.

BIVAD, R.; KEITT, T.; ROWLINGSON, B.; PEBEBESMA, E. **rgdal**. Versão 1.5.18. [s.l.], out, 2019. Disponível em: <https://cran.r-project.org/web/packages/rgdal/index.html>. Acesso em: nov. 2020.

BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA (org.). **Levantamento Exploratório e de Reconhecimento dos Solos do Estado da Paraíba**. Rio de Janeiro: Convênio Ma/conta/usaid/Brasil, pedológica n. 8, Boletim técnico n. 15, p. 686, 1972.

Brockmann-Jerosch, H. Baumgrenze und Klimacharakter in Pflanzengeographische Kommission der Schweiz. Naturforschenden Gesellschaft, Beiträge zur Geobotanischen Landesaufnahme, Rascher, Zürich, v. 6, 1919.

BURGOS, J. L. M.; REBOLLAR, J. L. G. **Diagramas bioclimáticos**. Madrid: Egraf, 1974. p. 49.

BUSSAB, W. O.; MORETTIN, P. A. **Estatística básica**. 8. ed. – São Paulo: Saraiva, 2013.

CÂMARA, G.; CASANOVA, M. A; HEMERLY, A. S.; MAGALHÃES, G. C.; MEDEIROS, C. M. B. Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica. Campinas: Instituto de Computação, UNICAMP. 1996.

CONTI, J. B. Resgatando a “Fisiologia da Paisagem”. **Revista do Departamento de Geografia**, Universidade de São Paulo, [s. l.], v. 14, p. 59 – 68, 2011.

CAVALCANTI, Lucas Costa de Souza. **Da Descrição de Áreas à Teoria dos Geossistemas: Uma Abordagem Epistemológica sobre Sínteses Naturalistas**. 2013. 216 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Curso de Geografia, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2013.

CAVALCANTI, L. C. S.; CORRÊA, A. C. B. Da descrição de áreas às sínteses naturalistas: uma abordagem historiográfica sobre a ideia de ‘áreas naturais’. **Espaço e Geografia**, Brasília, v. 17, n. 2, p. 377-422, dez. 2014.

CHAVES, I. B.; LOPES, V. L.; FFOLLIOTT, P. F.; PAES-SILVA, A. P. Uma classificação morfo-estrutural para descrição e avaliação da biomassa da vegetação da caatinga. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 21, n. 2, p. 204-213, mar/jun. 2008.

CHAVES, I. B.; FRANCISCO, P.F.M.; VIANA, E.R. & L.H.G. CHAVES. Modelagem e mapeamento da degradação da caatinga. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 28, n. 1, p. 183-195, jan./mar. 2015.

COGHLAN, A. **A Little Book of R For Bioinformatics**. U.K., 2017. p. 193.

CORRÊA, A. C. B.; TAVARES, B. A. C.; MONTEIRO, K. A.; CAVALCANTI, L. C. S.; LIRA, D. R. Megageomorfologia e morfoestrutura do Planalto da Borborema. **Revista do Instituto Geológico**, [s. l.], v. 31, n. 1-2, p. 35-52. 2010.

COSTA, J. L. P. O. Caracterização geral dos Sistemas de Classificação da vegetação no Brasil. 2012. 106 f. **Trabalho de conclusão de curso** (Graduação em Geografia) – Centro de Ciências Humanas e Letras, Universidade Federal do Piauí, Teresina – PI, 2012.

CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. **Geomorfologia do Brasil**. 4. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010. p. 392.

CRONEMBERGER, Felipe Mendes; VICENS, Raúl Sánchez; BASTOS, Julia Silva; FEVRIER, Paulo Vinicius Rufino; BARROSO, Guilherme Melo. Mapeamento Bioclimático do Estado do Rio de Janeiro. In: XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE

SENSORIAMENTO REMOTO, não use números Romanos ou letras, use somente números Arábicos., 2011, Curitiba. **Anais [...].** [S. L.]: Inpe, 2011. p. 5745-5772.

DOUGLAS, A.; ROOS, D.; MANCINI, F.; COUTO, A.; LUSSEAU, D. **An Introduction to R.** 2020. p. 325.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação brasileiro de classificação de solos. Brasília, DF: Embrapa Produção de Informação, 2018. p. 412.

FERNANDES, A. **Fitogeografia brasileira.** Fortaleza: Multograf, 2000, p. 340.

FERREIRA, Cicero Alves; SANTOS, Edilton José dos (Orgs.). **Jaguaribe SE: folha SB.24-Z: estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco.** Rio de Janeiro: CPRM, 2000. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil - PLGB.

FERREIRA, V. O. A abordagem da paisagem no âmbito dos estudos ambientais integrados. **Geotextos**, [s. l.], v. 6, n. 2, p. 187-208, jan. 2011.

FERREIRA, A. G.; MELLO, N. G. S. Principais Sistemas Atmosféricos Atuantes Sobre a Região Nordeste do Brasil e a Influência dos Oceanos Pacífico e Atlântico no Clima da Região. **Revista Brasileira de Climatologia**, [s. l.], v. 1, n. 1, p. 15-28, dez. 2005.

FICK, S. E.; R. J.; HIJMANS. WorldClim 2: new 1 km spatial resolution climate surfaces for global land areas. **International Journal of Climatology**, v. 37, n. 12, p. 4302 - 4315. 2017.

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

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

FRANCISCO, Paulo Roberto Megna; MEDEIROS, R. M.; MATOS, R. M. de; SANTOS, D.; SABOYA, L. M. F. Evapotranspiração de referência mensal e anual pelo método de Thornthwaite para o Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Climatologia**, Universidade Federal do Paraná [S.I.], v. 20, n. 13, p. 135-147, ago. 2017.

FORGIARINI, Francisco; VENDRUSCOLO, Daniel; RIZZI, Elias. ANÁLISE DE CHUVAS OROGRÁFICAS NO CENTRO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. **Revista Brasileira de Climatologia**, [S.I.], v. 13, p. 107-119, jun/dez. 2014.

FRITZSONS, E.; WREGE, M.S.; L.E. MANTOVANI. Altitude e temperatura: estudo do gradiente térmico no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Climatologia**, São Paulo, v. 16, p. 108-119, jan./jul. 2015.

GALVÃO, Marília Velloso. Regiões bioclimáticas do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, v. 29, n. 1, p. 3-36, jan/mar. 1967. Trimestral.

GOVERNO DO ESTADO DA PARAÍBA – Secretaria de Agricultura e Abastecimento – CEPA – PB. **Zoneamento Agropecuário do Estado da Paraíba**. Relatório. UFPB-ELC. dez., 1978. p. 448.

GIULIETTI, Ana Maria; NETA, Ana Luiza Du Bocage; CASTRO, Antônio Alberto J. F.; GAMARRA-ROJAS, Cíntia F. L.; SAMPAIO, Everardo V. S. B.; VIRGÍNIO, Jair Fernandes; QUEIROZ, Luciano Paganucci de; FIGUEIREDO, Maria Angélica; RODAL, M. de J. N.; BARBOSA, M. R. de V. **Diagnóstico da vegetação do bioma caatinga**. Brasília: MMA., 2002, p. 48 a 78.

GONZAGA DE CAMPOS, I. F. **Mapa florestal do Brasil**. Ministério da agricultura, Indústria e Comércio. Rio de Janeiro, STA, p. 14, 1926.

GREGORY, R. W.; BOLKER, B.; HENRY, L.; LUMLEY, T., K. gtools. Versão 1.0.2. [s.l.], mar, 2020. Disponível em: <https://cran.r-project.org/web/packages/gtools/index.html>. Acesso: Agosto de 2020.

HAFNER, S. **An Introduction to R for Beginners**. [s.l.], 2019. p. 360.

HARGREAVES, G. H.; HARGREAVES, G. L.; RILEY, J. P. Agricultural benefits for Senegal River Basin. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 111, n. 2, p. 113- 124. 1985.

HIJMANS, J. R; ETTEM, J. V.; SUMNER, M.; CHENG, J.; BASTON, D.; BEVAN, A.; BIVAND, R.; FORREST, D.; GHOSH, A.; GOLICHER, D. GRAY, J.; GREENBERG, J. A.. **raster**. Versão 3.3.13. [s.l.], jul, 2020. Disponível em: <https://cran.r-project.org/web/packages/raster/index.html>. Acesso: Agosto, 2020.

HOLDRIDGE, L. R. **Ecología basada em zonas de vida**. Editora do IICA: San José, Costa Rica, 1987. p. 216.

HOUAISS, Antônio. **Pequeno dicionário Houaiss da língua portuguesa**. 2. ed. [S.º]: Moderna, 2015. 1114 p.

GOMES, M. A. F. **Padrões de Caatinga nos Cariris velhos, Paraíba**. 1981. 88 f. Dissertação (Mestrado em Botânica) - Curso de Pós-Graduação em Botânica, Botânica, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Fortaleza, 1981.

GOMEZ, G. P. **Patrón espacial de distribución de la vegetación de la India em función de variables bioclimáticas**. 2018. 58 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Geografia) - Curso de Geografia, Universidad de Sevilla, Sevilla, 2018.

KAYANO, M. T.; ANDREOLI, R. V. Clima da Região Nordeste do Brasil. *In:* CAVALCANTE, I. F. A. et al (org.). **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p. 213-231.

IBGE. **Classificação da vegetação brasileira adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: IBGE, 1991. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/>

IBGE. **Classificação da vegetação brasileira adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/>

IBGE. **Mapa de biomas do Brasil**: primeira aproximação. Rio de Janeiro: IBGE, 2017. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/>

IACOBUCCI, A; ROBERT, C. The Art of R Programming: a tour of statistical software design by Norman Matloff. **Chance**, [S.º], v. 25, n. 2, p. 55-56, 16 abr. 2012.

JACOMINE, P. K. T. Solos sob caatingas: características e uso agrícola. *In:* ALVAREZ, V.; FONTES, M. P. F. (ed.). **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa: Sbcs/ufv-ds, 1996. p. 95-111.

JAMES, P.E. Observations on the physical geography of Northeast Brazil. **Annals of the Association of American Geographers**, v. 42, n. 2, p.153-176. 1952.

LACERDA, A. V. **A semiaridez e a gestão em bacias hidrográficas**: visões e trilhas de um divisor de ideias. João Pessoa: Autor Associado/UFPB, 2003. p. 164.

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**. 4 a Aprox. SBCS, Campinas-SP. 1991. 175 p.

LESER, H. **Landschaftökologie**. Stuttgart: Ulmer Verlag, 1976. p. 432.

KÖPPEN, W. **Das geographisca System der Klimate**. 2. ed. Berlin: Gebruder Borntraeger, 1936. p. 44.

LIMA, E. R. V.; PINTO, S. A. F.; LANDIM, P. M. B. Análise multivariada e cartografia de síntese no estudo da erosão dos solos. **Revista do Departamento de Geografia**, [S. I.], n. spe, p. 40 – 93, 2014.

LIMA, V. R. P. **Caracterización biogeográfica del bioma Caatinga en el sector semiárido de la cuenca del Río Paraíba – Noreste de Brasil**: Propuesta de Ordenación y Gestión de un medio semiárido tropical. 2012. 502 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Curso de Geografia, Departamento de Geografía Física y Análisis Geográfico Regional, Universidad de Sevilla, Sevilla, 2012.

LEGENDRE, Pierre; LEGENDRE, Louis. **Numerical Ecology**. 3. ed. Amsterdam: Elsevier Science, 2012.

LUNGUINHO, R. L. **Nos Caminhos dos relevos residuais**: Contribuição à ecohidrologia de encostas do semiárido brasileiro. 2018. 266 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Curso de Geografia, Centro de Ciências Exatas e da Natureza, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2018.

MACÊDO, M. L. A. **Análise estatística e geotecnologia no estudo dos indicadores de desertificação nos “Cariris Velhos” - PB**. 2015. 129 f. Tese (Mestrado em Geografia) - Curso de Geografia, Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências Exatas e da Natureza, João Pessoa – PB, 2015.

MATLOFF, N. **The Art of R Programming**: A Tour of Statistical Software Design. United States: No Starch Press, 2009. p. 400.

MARTINELLI, G. **Campos de altitude**. Rio de Janeiro: Index, 1996.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia**: noções básicas e climas do Brasil. São Paulo: Oficina de texto, 2007.

MOREIRA, E. R. F. **Mesorregiões e microrregiões da Paraíba**: delimitação e caracterização. João Pessoa: GAPLAN, 1989. p. 64.

MEIRELES, M. S. P.; CAMARA, G.; ALMEIDA, C. M. (ed.). **Geomática**: modelos e aplicações ambientais. Brasília – DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2007.

MOLION, L.; C. B.; BERNARDO, S. O. Uma revisão da dinâmica das chuvas do Nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 17, n. 1, p. 1-10. 2002.

MONTEITH, J. L. Evaporation and environment. In: SYMPOSIUM OF THE SOCIETY FOR EXPERIMENTAL BIOLOGY, XIX, 1965, Swansea. The State and Movement of Water in Living Organisms. New York: Cambridge University Press, 1965. p. 205-234.

MORO, M. F.; MACEDO, M. B.; MOURA-FÉ, M. M.; CASTRO, A. S. F.; COSTA, R. C. Vegetação, unidades fitoecológicas e diversidade paisagística do estado do Ceará. **Rodriguésia**, [s. l.], v. 66, n. 3, p. 717-743, set. 2015.

MOGNI, V. Y.; OAKLEY, L. J.; PRADO, D. E. The distribution of woody legumes in neotropical dry forests: The pleistocene arc theory 20 years on. **Edinburgh Journal Of Botany**, [s. l.], v. 72, n. 1, p.35-60, dez. 2014.

MORETTIN, Pedro A.; BUSSAB, Wilton de O. **Estatística Básica**. 8. ed. São Paulo: Saraiva, 2013. 548 p.

MORO, M. F.; LUGHADHA, E. N.; ARAÚJO, F. S.; MARTINS, F. R. A Phytogeographical Metaanalysis of the Semiarid Caatinga Domain in Brazil. **The Botanical Review**, [s. l.], v. 82, n. 2, p. 91-148, maio. 2016.

MOLDES TEO, F. Javier. Tecnología de los sistemas de información geográfica. Madri: Rama, 1995. p. 190.

MUELLER-DOMBOIS D.; E. H. **Aims and methods of vegetation ecology**. New York: John Wiley & Sons, 1974.

NASCIMENTO, S. S.; ALVES, J. J. A. Ecoclimatologia do Cariri Paraibano. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 2, n. 3, p. 28-41. 2008.

NETO, R. M B. **Análise de seca no estado da Paraíba utilizando dados do satélite TRMM 3B42V7**. 2017. 92 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2017.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE/SUPREN, 1979.

PENNINGTON, R. T.; LAVIN, M.; PRADO, D. E.; PENDRY, C. A.; PELL, S. K.. Climate change and speciation in neotropical seasonally dry forest plants. **Tropical Forests And Global Atmospheric Change**, [s. l.], p. 199 – 214, jun. 2005.

PENNINGTON, R. T.; PRADO, D. E.; PENDRY, C. A. Neotropical seasonally dry forests and Quaternary vegetation changes. **Journal Of Biogeography**, [s. l.], v. 27, n. 2, p. 261-273, mar. 2000.

PENEREIRO, J. C.; BADINGER, A.; MACCHERI, N. A.; MESCHIATTI, M. C. Distribuições de Tendências Sazonais de Temperatura Média e Precipitação nos Biomas Brasileiros. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [s. l.], v. 33, n. 1, p. 97-113, mar. 2018.

PRADO, D. E.; GIBBS, P. E. Patterns of Species Distributions in the Dry Seasonal Forests of South America. **Annals Of The Missouri Botanical Garden**, [s. l.], v. 80, n. 4, p. 902. 1993.

PRADO, D. E. Seasonally dry forests of tropical South América: from forgotten ecosystems to a new phytogeographic unit. **Edinburgh Journal Of Botany**, [s. l.], v. 57, n. 3, p. 437-461, nov. 2000.

PRADO, D. E. As Caatingas da América do Sul. In: LEAL, I. R. et al (ed.). **Ecologia e conservação da caatinga**. Recife: Universitária da UFPE, 2003. p. 3-63.

PRIESTLEY, C. H. B.; TAYLOR, R. J. On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. **Mon. Weather. Rev.**, v. 100, p. 81-92, 1972.

PROJECT – GRASS. **Geographic ressource analysis support system**. Version 3.10 (2013). Disponível em: <http://grass.osgeo.org>

PASSARGE, S. Physiogeographie und vergleichend Landschaftsgeographie. **Mitteilungen Geographischen Gesellschafts des Hamburgen**. p.122-151, 1913.

REBOITA, M. S.; ASSIREU, A.; SILVA, L. C.; RIOS, N. Evidências de circulação de brisa vale-montanha na Serra da Mantiqueira: cidade de Itajubá. **Ciência e Natura**, [s. l.], v. 36, n. 1, p. 61-71, fev. 2014.

RECIFE. E. J. S. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. **Geologia e recursos minerais do estado da Paraíba**: Texto explicativo dos mapas geológico e de recursos minerais do estado da Paraíba. Recife: CPRM, 2002.

RODAL, M. J. N.; BARBOSA, M. R. V. **Diagnóstico da vegetação nativa do bioma Caatinga**. Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2003. p. 44.

RODAL, M. J. N. et al. A vegetação do bioma caatinga. In: SAMPAIO, E. V. S. B.; GIULIETTI, A. M.; VIRGÍNIO, J.; GAMARRA-ROJAS, C. F. L. **Vegetação e flora da caatinga**. Recife: Associação Plantas do Nordeste, 2002. p. 11-24.

ROSS, S. **Probabilidade**: Um curso moderno com aplicações. 8. ed. – Porto Alegre: Bookman, 2010.

RIBEIRO, Elâine M. S.; LOHBECK, Madelon; SANTOS, Braulio A.; ARROYO-RODRÍGUEZ, Víctor; TABARELLI, Marcelo; LEAL, Inara R.. Functional diversity and composition of Caatinga woody flora are negatively impacted by chronic anthropogenic disturbance. **Journal Of Ecology**, [S.L.], v. 107, n. 5, p. 2291-2302, maio 2019. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/1365-2745.13177>.

RIBEIRO, Elâine M. S.; LOHBECK, Madelon; SANTOS, Braulio A.; ARROYO-RODRÍGUEZ, Víctor; TABARELLI, Marcelo; LEAL, Inara R.. Functional diversity and composition of Caatinga woody flora are negatively impacted by chronic anthropogenic disturbance. **Journal Of Ecology**, [S.L.], v. 107, n. 5, p. 2291-2302, maio 2019. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/1365-2745.13177>.

RIZZINI, C. T. Nota prévia sobre a divisão fitogeográfica do Brasil. **Revista brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, v. 25, n. 1, p. 64, 1963.

RODRIGUEZ, J. M. M.; SILVA, E. V. A classificação das paisagens a partir de uma visão geossistêmica. **Mercator**, Fortaleza, v. 1, n. 1, p. 95 - 112, jan/jun. 2009.

ROGERSON, Peter A. **Métodos estatísticos para a geografia**: um guia para o estudante. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2012. 367 p.

SANTOS, I. B. Aspectos geral da vegetação do Brasil. Rio de Janeiro: Boletim geográfico, v. 73, p. 1 - 68 73, 1943.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. Á.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAÚJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. – Brasília: Embrapa, 2018.

SANTOS, R. D.; SANTOS, H. G.; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C.; SHIRIMIZU, S. H. **Manual de descrição e coleta de solo no campo.** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015. p. 102.

SANTOS, Celso A. G.; NETO, R. B.; SILVA, R. M. da; GONÇALVES, S. Cluster Analysis Applied to Spatiotemporal Variability of Monthly Precipitation over Paraíba State Using Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) Data. **Remote Sensing**, [s.l.], v. 11, n. 6, p.637-655, mar. 2019.

SENTELHAS, P. C.; PEREIRA, A. R.; MARIN, F.R.; ANGELOCCI, L.R.; ALFONSI, R. R.; CARAMORI, P. H.; SWART, S. **Balanços Hídricos Climatológicos do Brasil - 500 balanços hídricos de localidades brasileiras.** Piracicaba: ESALQ, 1999. CD-ROM.

SHAW, D. J. B.; OLDFIELD, J. D. Landscape Science: a russian geographical tradition. **Annals Of The Association Of American Geographers**, [s. l.], v. 97, n. 1, p. 111-126, mar. 2007.

SHERMAN GE, SUTTON T, BLAZEK R, HOLL S, DASSAU O, MORELY B, MITCHELL T AND LUTHMAN L. **Quantum GIS User Guide - Version 3.4.6 “Madeira”.** Disponível em: <https://qgis.org/en/site/>

SCHIMPER, A. F. W. **Pflanzengeographie auf physiologischer grundlage.** Jena Alemanha, G. Fischer, v. 2. 1935.

SILVA, F.B.R., G.R. RICHÉ, J.P. TONNEAU, N.C. SOUZA NETO, L.T.L. BRITO, R.C. CORREIA, A.C. CAVALCANTI, F.H.B.B.; SILVA, A.B. SILVA, J.C. ARAÚJO FILHO & A.P. LEITE. Zoneamento agroecológico do nordeste: diagnóstico do quadro natural e agrossocioeconômico. **EMBRAPA – CPATSA/CNPS**, Petrolina. 1993.

SILVA, J. S. V. **Análise multivariada em zoneamento para planejamento ambiental; estudo de caso:** bacia hidrográfica do alto rio Taquari MS/MT. 2003. 216 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas – SP, 2003.

SILVA, J. M. C. et al. The Caatinga: Understanding the Challenges. *In:* SILVA, J. M. C. et al (ed.). **Caatinga: The Largest Tropical Dry Forest Region in South America.** S.d: Springer, 2017. p. 3-19.

SILVA, José Maria Cardoso da; BARBOSA, Luis Cláudio Fernandes; LEAL, Inara R.; TABARELLI, Marcelo. The Caatinga: understanding the challenges. **Caatinga**, [S.L.], p. 3-19, 2017. Springer International Publishing. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-68339-3_1.

SOCHAVA, V. B. **Introdução à Teoria do Geossistema**. Nova sibéria, Nauka, 1978. p. 320.

SOUZA, B. I.; SUERTEGARAY, D. M. A.; LIMA, E. R. V. Desertificação e seus efeitos na vegetação e solos do cariri paraibano. **Mercator – Revista de Geografia da UFC**, [s. l.], v. 8, n. 16, p. 217-232, set. 2009.

SOUZA, L.; MIRANDA, R. A. C. **Climatologia geográfica**. Rio de Janeiro: Fundação CECIERJ, 2013. 246 p.

SOUZA, B. I.; ARTIGAS, R. C.; LIMA, E. R. V. de. Caatinga e Desertificação. **Revista Mercator**, Universidade Federal do Ceará, [s.l.], v. 14, n. 01, p.131-150, abr. 2015.

SOUZA, B. I.; SOUZA, R. S. Processo de ocupação dos Cariris Velhos – PB e efeitos na cobertura vegetal: contribuição à Biogeografia Cultural do semiárido. **Caderno de Geografia**, Minas Gerais, v. 26, p. 2318-2962, out. 2016.

SUERTEGARAY, Dirce Maria Antunes. Geografia e interdisciplinaridade. Espaço geográfico: interface natureza e sociedade. **Geosul**, Florianópolis, v. 18, n. 35, p. 43-54, jan./jun. 2003.

TEAM, R. C. A Language and Environment for Statistical Computing. Version 2.3.0 (2017). Disponível em: <https://www.R-project.org/>

TEETOR, P. **R Cookbook: Proven Recipes for Data Analysis**. [s.l.]: O'Reilly Media, 2011. p. 438.

THORTHRNWAITE, C. W.; MATHER, J. R. The Water Balance. **Laboratory of Climatology**. Climatol v. , 8, p. 1-104, 1955.

THIE, J.; IRONSIDE, G.R. (org.) Ecological (Biophysical) Land Classification in Canada. Proceedings of the 1st Meeting. **Ecological Land Classification Series**, Ottawa: Lands Directorate, n. 1, p. 269, 1977.

TRAVASSOS, I. S. **“Florestas Brancas” do semiárido nordestino**: desmatamento e desertificação no cariri paraibano. 2012. 148 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Centro de Ciências Exatas e da Natureza, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2012.

TROMPETTE, R. R.; UHLEIN, A.; SILVA, M. E.; KARMANN, I. O cráton brasiliense do São Francisco: uma revisão. **Revista Brasileira de Geociências**, [s. l.], v. 22, n. 4, p. 481-486, mar. 1992.

TRICART, J. F. L. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: FIBGE/SUPREN, 1977. p. 91.

TROLL, C. T. Geoecology of the mountainous regions of the tropical. Proceedings of the UNESCO Mexican Symposium. Colloquim Geographicum. Bonn: Ferd. Dümmer Verlag. 1968. p. 223.

UVÖ, C.; BERNDTSSON, R. Regionalization and spatial properties of Ceará State rainfall in northeast Brazil. **Journal Of Geophysical Research: Atmospheres**, [s.l.], v. 101, n. 2, p. 4221-4233, fev. 1996.

WALTER, H. **Vegetação e zonas climáticas**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1986.

WITTAKER, R. H. Evolucion and Mensurament of diversity species. **TAXON – International associaton for plant taxonomy (IAPT)**, v. 21. n. 2/3, p. 213-251, maio. 1972.

WICKHAM, H. **stringr**. Versão 1.4.0. [s.l.], fev, 2019. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=stringr>. Acesso: Dezembro de 2019.

WICKHAM, H; FRANÇOIS, R.; HENRY, L.; MULLER, K.. **dplyr**: A Grammar of Data Manipulation. Versão 1.0.2. [s.l.], ago, 2020. Disponível em: <https://cran.r-project.org/web/packages/dplyr/index.html>. Acesso: Agosto de 2020.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Evaporação e evapotranspiração**: Meteorologia e Climatologia. Brasilia: INMET. 463p., 2006, p. 393 a 442.

VASCONCELOS SOBRINHO, J. As regiões naturais de Pernambuco. **Arquivos do Instituto de Pesquisas Agronômicas**, Recife, n. 3, p. 25-32. 1941.

VASCONCELOS SOBRINHO, J. **As regiões naturais de Pernambuco, o meio e a civilização**. Recife: Instituto de Pesquisas Agronômicas. 1949. p. 219.

VASCONCELOS SOBRINHO, J. **As regiões naturais do Nordeste**: o meio e a civilização. Recife: Conselho do Desenvolvimento de Pernambuco. 1970. p. 441.

WICKHAM, H. **R Packages**. [s.l.]: O'Reilly Media, 2015. p. 202.

VITTE, A. A terceira crítica kantiana e sua influênci no moderno conceito de geografia física. **GEOUSP Espaço e Tempo**, [online], v. 10, n. 2, p. 33-52, dez. 2006.

VELLOSO, A. L.; SAMPAIO, E. V. S. B.; PAREYN, F. G. C. (ed.). Ecorregiões: Propostas para o bioma Caatinga. **PNE – Associação Plantas do Nordeste**,

Instituto de Conservação Ambiental, The Nature Conservancy do Brasil, 2002, p. 76.

VIANELLO, Rubens Leite; ALVES, Adil Rainier. Climatologia. In: VIANELLO, Rubens Leite; ALVES, Adil Rainier. **Meteorologia Básica e aplicações**. Viçosa: Ufv, 2000. Cap. 7. p. 377-446.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION - WMO. **Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation**. Geneva: Chairperson, Publications Board, 2008. p. 681.

XAVIER, R. A. et al. Mapeamento geomorfológico da bacia do rio Paraíba (PB) utilizando classificação baseada em objetos. **Acta Geográfica**, Boa Vista, v. 10, n. 23, p. 10-23, maio. 2016.

VITTE. A. C.; GUERRA, A. J. T. **Reflexões sobre a Geografia física no Brasil**. 5. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011. p. 31-63.

ZAIDAN, R. T.; SILVA, Jorge Xavier da. Geoprocessamento aplicado ao zoneamento de áreas com necessidade de proteção: o caso do parque estadual do Ibitipoca – mg. In: SILVA, J. X. (org.). **Geoprocessamento e análise ambiental: aplicações**. 5. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011. p. 31-63.

APENDICE B – Passos adotados no Rstudio e no Qgis para a construção do mapa sintese dos ambientes climáticos

- (a) Carregar com a função *library* os pacotes de apoio da nova função criada;
- (b) Reunir, no R, os três mapas categorizados das variáveis do modelo, gerando, assim, por meio do critério da soma, o mapa de ambientes bioclimáticos. Em termos práticos, os três mapas são lidos no R no formato “GeoTIFF”, de modo que, em cada célula dos produtos “raster”, há um valor relacionado à categoria de cada mapa. Desse modo, o quarto mapa é construído somando-se os três valores que compõem o índice;
- (c) Com a função “raster To points”, cada raster é transformado em um vetor contendo os valores correspondentes das categorias, livre das colunas das coordenadas (x, y). Após esse procedimento, cria-se um data.frame contendo os quatro vetores referentes aos “rasters” das três variáveis e o vetor resultante da soma. É importante observar que cada linha corresponde a uma dada célula dos produtos raster;
- (d) Definir intervalos considerando a coluna do data. frame relativa à soma dos índices. Esse procedimento requer ajustes, pois dependerá não só dos cálculos efetuados, mas do conhecimento da área de estudo. Em outras palavras, para a construção dos intervalos, parte-se de um valor mínimo de amplitude obedecendo ao intervalo de valores mínimo e máximo observados na coluna da variável soma. Em outras palavras, se na coluna estiverem valores entre 3 e 15, por exemplo, a definição dos intervalos começará com uma amplitude 2. Deste modo, o primeiro intervalo estará entre [3, 5] e assim sucessivamente;
- (e) Cria-se mais duas colunas no data.frame, uma para receber um valor numérico e outra para receber uma letra;
- (f) Uma vez identificado o intervalo, é considerada a função “if else” sob a seguinte condição: Se a soma dos três valores que compõem o índice estiver dentro da faixa de intervalo estabelecida, a ele é associado um número que corresponde a

uma letra do alfabeto. Nesse caso, se a soma dos índices estiver em um intervalo fechado entre 3 e 5, anota-se o valor 1 em uma coluna e a letra A em outra;

(g) O último passo dessa sequência está em espacializar os resultados obtidos no passo anterior, sobretudo considerando primeiramente a coluna numérica criada. Esta corresponde às classes do mapa de ambientes bioclimáticos. No R, o procedimento adotado é feito a partir da função “*rasterFromXYZ*”. Uma vez efetuados todos os passos, o raster criado passa a ser analisado, tendo como base não só os mapas categóricos das três variáveis utilizadas para a análise, mas do mapa de solos e das imagens do Google Earth. Caso ainda não possua uma distribuição espacial condizente com a realidade estudada, os passos (c), (d), (e), (f) e (g) serão aplicados novamente.

(h) Uma vez criado o raster definitivo, tanto o *data.frame* (no formato *.x/s*) quanto raster final, são exportados para serem lidos no *software Qgis*, para que sejam feitos os procedimentos de editoração. Desse modo, primeiramente, o *raster* foi convertido para o formato *shape* e, logo em seguida, foi feita uma fusão com a planilha de dados oriunda do *data.frame*. Devido à escala do mapa de solos, o mapa de ambientes bioclimáticos precisou ser editado, passando por um refinamento das áreas não mapeáveis com o intuito de eliminar possíveis áreas menores do que 2,5 Km². Considerando a maior escala dentre as da base de dados utilizada, que, neste caso, foi o mapa de solos, o mapa final foi reproduzido na escala de 1:400.000.