

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE

CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS, LETRAS E ARTES

DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

JÔNATAS OLIVEIRA VASCONCELOS

**MODELAGEM DO RELEVO EM BACIAS HIDROGRÁFICAS: Uma abordagem
de semidetalhe na Bacia do Rio Espinharas, PB, Brasil.**

Natal, 2020

JÔNATAS OLIVEIRA VASCONCELOS

MODELAGEM DO RELEVO EM BACIAS HIDROGRÁFICAS: Uma abordagem de semidetalhe na Bacia Hidrográfica do Rio Espinharas, PB, Brasil.

Dissertação de Mestrado a ser apresentada ao Departamento de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito para obtenção do título de Mestre em Geografia.

Área de pesquisa: Dinâmica Geoambiental, Riscos e Ordenamento do Território.

Orientador: Silvio Braz de Sousa

Natal, 2020

Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN
Sistema de Bibliotecas - SISBI

Catálogo de Publicação na Fonte. UFRN - Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes - CCHLA

Vasconcelos, Jônatas Oliveira.

Modelagem do relevo em bacias hidrográficas: uma abordagem de semidetalhe na Bacia do Rio Espinharas, PB, Brasil / Jônatas Oliveira Vasconcelos. - 2021.
102f.: il.

Dissertação (mestrado) - Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes, Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, 2022.
Orientador: Prof. Dr. Silvio Braz de Sousa.

1. Compartimentação Morfopedológica - Dissertação. 2. Bacia Hidrográfica - Dissertação. 3. Semiárido - Dissertação. I. Sousa, Silvio Braz de. II. Título.

RN/UF/BS-CCHLA

CDU 91(813.2)

Jônatas Oliveira Vasconcelos

MODELAGEM DO RELEVO EM BACIAS HIDROGRÁFICAS: Uma abordagem de semidetalhe na Bacia Hidrográfica do Rio Espinharas, PB, Brasil.

Dissertação defendida em 18 de novembro de 2021 no Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

BANCA EXAMINADORA

Dr. SILVIO BRAZ DE SOUSA, UFRN

Presidente da Banca

Dr. RHERISON TYRONE SILVA ALMEIDA, UFG

Examinador Externo à Instituição

Dr. LUIZ ANTONIO CESTARO, UFRN

Examinador Interno

RESUMO

O estudo da paisagem em ambientes semiáridos, mesmo com grande número de pesquisas, ainda carece de abordagens, essencialmente destinadas às questões ambientais e ao planejamento territorial. Dessa maneira, uma das formas de representação e caracterização da paisagem se dá por meio de abordagens morfológicas nos estudos da compartimentação morfopedológica, técnica capaz de criar zoneamentos homogêneos para definição de critérios de uso, fragilidade e potencialidades ambientais. Esta pesquisa tem como objetivo geral identificar e caracterizar os compartimentos do relevo presentes na Bacia Hidrográfica do Rio Espinharas (BHRE), no semiárido paraibano e refletir sobre suas fragilidades e potencialidades ambientais. Quanto aos objetivos específicos têm-se: 1) Caracterizar os elementos da paisagem por meio de mapas temáticos da BHRE; 2) Identificar os compartimentos do relevo na BHRE, 3) Analisar as potencialidades ambientais na BHRE com base nos compartimentos do relevo com direcionamento para a gestão territorial. Para realização desta pesquisa tem-se, por base, técnicas de Geoprocessamento e processamento digital de imagens, à luz das orientações de Cavalcanti (2010) e Castro; Salomão (2000), além de dados secundários do IBGE, CPRM e dados de trabalhos de campo. Foi possível delimitar sete unidades morfopedológicas, que são: áreas rebaixadas sem uso explícito (1), áreas rebaixadas de relevo suavemente ondulado de uso predominantemente agropecuário (2), serras baixas com predominância de rocha exposta e inselbergs (3), serras elevadas de relevo ondulado com uso agropecuário (4), cimeiras com solo predominantemente litólico (5), cimeiras com solo predominantemente regolítico (6) e, por último, a área elevada com característica montanhosa (7). De forma geral, a BHRE apresenta solos rasos e vegetação em estresse hídrico e fatores de limitação para o uso das terras. A BHRE possui uma ascendência hipsométrica de norte a sul com presença de inselbergs e blocos rochosos, ou seja, áreas indicadas à preservação. No tocante à vegetação, a BHRE apresenta uma fitofisionomia de savana estépica de aproximadamente 65%. As unidades 1,2,4 e 6 apresentam relevos planos e suavemente ondulados, propensas à utilização agropastoril, apresentando maior intensidade de uso. As unidades 3, 5 e 7, possuem relevos mais ondulados e montanhosos, dificultando a utilização e passíveis de áreas de proteção e preservação.

Palavras-chaves: Compartimentação Morfopedológica; Bacia Hidrográfica; Paraíba; Semiárido.

ABSTRACT

Semiarid landscapes studies, even with many Scientific's researches, still have a lack of approaches, essentially those assigned to environmental and territorial management. Therefore, one kind of landscape's characterization and representation is through morphological approaches as part of the morphological compartmentation studies. In other words, a technique capable of creating homogeneous zoning areas to define criteria for use, fragility, and environmental potentialities. The principal goal of this research is to identify and characterize relief compartments at the Espinharas River Watershed (BHRE), at the Paraiba's semiarid, and look through their environmental fragilities and potentialities. As for the specific objectives, 1 - characterize the landscape elements through thematic maps, 2 - identifying relief compartments at the BHRE, taking as base the methodology proposed by Cavalcanti (2013), and Castro; Salomão (2000), 3 - Assay environmental potentialities at the BHRE based on relief compartments, previously defined, to territorial management purpose. To accomplish the research was considered geoprocessing techniques and images digital processing, based on Cavalcanti (2010) and Castro; Salomão (2000) guidelines, also secondary data from IBGE, CPRM, and fieldwork data. Thereby, it was possible to delimitate seven morphological units. The first one has recessed areas without explicit use - 1, Sunken areas of bland undulating relief for predominantly agricultural use - 2, Short Mountain ranges with a predominance of exposed rock and inselbergs - 3, High Mountain with an undulating relief and with agricultural use - 4, Summits with predominantly litotic soil - 5, summits with predominantly regolith soil - 6, and elevated areas with mountainous character - 7. In general, BHRE presents shallow soils and vegetation with hydric stress, limiting factors for land use purposes, principally, because of a lack of support at rural extension areas in this region. BHRE has an ascending hypsometry north to south, with inselbergs and rock blocks, in other words, areas properly indicated to preservation purposes. Regarding BHRE's vegetation, it is shown a physiognomy composed, approximately 65%, with a savannah-type. Units 1, 2, 4, and 6 presents wavy plane reliefs and bland reliefs, predisposed to agropastoral uses, presenting higher intensity of use. units 3, 5, and 7 presents more wavy and mountainous reliefs, making it difficult to use and subject to protection and preservation areas.

Keywords: Morphological compartmentation; Watershed; Paraiba; Semiarid.

SUMÁRIO

RESUMO	3
INTRODUÇÃO	5
ÁREA DE ESTUDO	8
CAPÍTULO 1: FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICO-METODOLÓGICA	13
1.1 PAISAGENS COMO SISTEMAS COMPLEXOS E CATEGORIA DE ANÁLISE	17
1.2. BACIA HIDROGRÁFICA COMO UNIDADE DE PLANEJAMENTO	20
1.3 GEOPROCESSAMENTO E SUA UTILIZAÇÃO PARA DELIMITAÇÃO E PLANEJAMENTO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS	22
CAPÍTULO 2: PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	25
2.1 DADOS UTILIZADOS	25
2.1.1 DADOS SENTINEL 2 E LANDSAT 8 OLI-TIRS	27
2.1.2 DADOS ESTATÍSTICOS E CENSITÁRIOS	29
2.1.3 PRODUTOS E PROCESSOS	30
2.1.4 MAPEAMENTO DE USO E COBERTURA DA TERRA	31
2.1.5 TRABALHO DE CAMPO	33
2.2 DEFINIÇÃO DAS TIPOLOGIAS	34
CAPÍTULO 3: MODELAGEM DO RELEVO EM BACIAS HIDROGRÁFICAS: UMA ABORDAGEM DE SEMIDETALHE NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ESPINHARAS, PB, BRASIL	35
3.1.1 GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA	35
3.1.2 SOLOS E VEGETAÇÃO	45
3.1.3 CLIMA E RECURSOS HÍDRICOS	52
3.1.4 USO E COBERTURA DA TERRA	56
3.2 COMPARTIMENTAÇÃO MORFOPEDEOLÓGICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ESPINHARAS.	65
CONSIDERAÇÕES FINAIS	66
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68

INTRODUÇÃO

A busca pela compreensão da paisagem semiárida, de acordo com Cavalcanti (2018), tem, nos últimos séculos, assumido um caráter sofisticado tanto nos seus conceitos teórico-metodológicos como nas práticas de manejo ambiental de forma que a busca por essa compreensão fez com que renomados pesquisadores como Vasconcelos Sobrinho (1970) e Ab'Saber (1990) desenvolvessem trabalhos sobre as mais diversas concepções, tipos, subtipos, gêneros e suas muitas interações existentes, fornecendo bases e também princípios para o planejamento ambiental, pelo menos nos últimos dois séculos (LUDWIG; TONGWAY, 1995; LUDWIG et al., 2005; FURTADO; SOUZA, 2016; VITTE, 2007; CAVALCANTI, 2010).

Segundo Cavalcanti (2010), esse desenvolvimento foi importante para o planejamento ambiental, que possui como uma de suas principais funções e aplicações, prover dados sobre o território de forma que esses dados, ao serem estruturados, possam gerar informações ambientais significativas para o ordenamento territorial, melhorando não só o entendimento sobre os ambientes semiáridos, mas também auxiliando as sociedades que usufruem de tais ambientes a viverem em melhores condições.

Uma das metodologias utilizadas para a representação da paisagem e seu planejamento é a modelagem do relevo para os estudos das Unidades da Paisagem (UP). Essa representação da paisagem, segundo Nakashima (1999) e Vitte (2007), trata da captação intuitiva e a transformação da dinâmica da natureza e seus atuantes em uma estética objetiva do espaço. É por meio da percepção e da sensibilidade paisagística que podemos iniciar a compreensão da dinâmica ambiental, concebendo a este objeto da Ciência Geográfica uma reflexão teórico-metodológica e suas aplicações técnicas na realidade.

Os estudos aplicados a essa perspectiva de trabalho são de tal relevância que países possuem leis e códigos florestais específicos para a adequação do território à dinâmica socioambiental, por meio de zoneamentos e outras medidas de preservação e/ou conservação. O Código Florestal Brasileiro (BRASIL, 2012) é um exemplo de instrumento normativo que se baseia nas premissas socioambientais para nortear zoneamentos de diversas formas. Ademais, é importante frisar que o ordenamento jurídico é fruto da análise e reformulação de diversas políticas ambientais do Brasil, que se iniciam em 1934 com o Código das Águas e o Código Florestal em decretos emitidos por Getúlio Vargas, passando a 1965 com o novo Código

Florestal e 1981 com a Política Nacional de Meio Ambiente (Lei nº 6.938 de 31 de agosto de 1981).

Outro exemplo é o Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE), política de intervenção do Governo Federal, que tem como propósito a estratégica retomada do quadro ativo produtivo do país, de forma que o ZEE sirva para a articulação no combate à desigualdade social concomitante à conservação dos recursos naturais do território nacional, valorizando as particularidades de cada Estado, conforme o Decreto Federal nº4.297/2002, Art. 2º e Art. 3º (BRASIL, 2002) obedecendo os seguintes princípios (Art. 3º, parágrafo 2º do Decreto de 28 de dezembro de 2001):

- “I – Abordagem interdisciplinar visando à integração de fatores e processos para possibilitar a elaboração de zoneamento, levando-se em conta a estrutura e a dinâmica ambiental e econômica, bem como os valores histórico evolutivos do patrimônio biológico e cultural do País;
- II – Visão sistêmica que propicie a análise de causa e efeito, permitindo estabelecer as relações de interdependência entre os subsistemas físico-biótico e socioeconômicos.”

Proveniente dessa política de gestão e planejamento, foi institucionalizado o Macrozoneamento nacional em cooperação com os estados brasileiros, regidos pela lei complementar nº 140 de 8 de dezembro de 2011 (BRASIL, 2020). Essa cooperação visa correlacionar os deveres nacionais de competência comum prevista no artigo 23 da Constituição Federal (CF) de 1988.

No tocante ao estado da Paraíba, local onde se encontra a área de estudo desta pesquisa, o projeto de ZEE é criado a partir do decreto estadual nº 15.149 de 1993, ao mesmo tempo em que se constitui uma comissão para administrá-lo. O ZEE em questão teve como início os estudos e a proposta de gestão com a mesorregião da Borborema em uma escala de 1:100.000, com área de abrangência de 15.572 km². Contudo, segundo a Secretaria de Estado de Infraestrutura, Recursos Hídricos, do Meio Ambiente e da Ciência e Tecnologia (SERHMACT), o projeto ainda se encontra apenas com o planejamento concluído e com o diagnóstico em andamento, com os demais processos e a finalização sem previsão de conclusão (SERHMACT, 2020).

Assim, é possível observar que mesmo sendo feitas diversas reformulações jurídicas que auxiliam o processo de zoneamento ambiental no Brasil, os ZEE e seus devidos estudos ainda não foram elaborados para todo o território nacional. Silva (2003) e Cavalcanti (2010) alertam que algumas dessas propostas, realizadas por órgãos federais para os estudos nacionais gerais como os da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e demais órgãos competentes, possam apresentar possíveis problemas metodológicos para áreas específicas como o semiárido brasileiro. Um deles é no tocante à própria distribuição da paisagem nos ambientes nacionais.

Dessa maneira, uma das formas de representação da paisagem, e que também segue o modelo de padronização do ambiente de forma a se produzir um zoneamento, é o mapeamento geomorfológico e as compartimentações morfopedológicas. Segundo Castro e Salomão (2000), é possível, a partir destes e, principalmente do mapeamento morfopedológico, delimitar áreas com ênfase no comportamento e funcionamento dos solos, sendo necessário levar em consideração o substrato geológico, relevo e os solos. Esses, a partir do estudo de abordagem integrada, delimitam lineares do solo e suas respectivas funcionalidades e potencialidades ambientais e são capazes de gerar indicadores comportamentais mais seguros, proporcionando um subsídio para a elaboração de planos de controle, principalmente preventivo, do uso e ocupação do espaço e dos solos.

Adentrando ainda nessa perspectiva, Segundo Castro e Salomão (2000) e Liu (2007), a partir das últimas três décadas houve desenvolvimento tecnológico suficiente para servir de auxílio para tais estudos, como o aprimoramento dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e a melhoria na qualidade das imagens de Satélites com melhores resoluções espaciais. Castro e Salomão (2000) definem que é possível, a partir dos estudos de cunho geomorfológicos juntamente com o auxílio tecnológico, a compartimentação morfopedológica pela sobreposição cartográfica, partindo de dados já existentes (secundários) com uma inspeção presencial do pesquisador para possíveis correções. Esta metodologia funcional permite à pesquisa em tempo hábil e com redução de custos.

De acordo com o já exposto anteriormente, a presente pesquisa tem como perspectiva a análise da paisagem no semiárido na Microbacia Hidrográfica do Rio Espinharas – BHRE (Figura 1), no estado da Paraíba, considerando a investigação por meio das compartimentações morfopedológicas no sentido de buscar o respeito às forças naturais regentes e a busca da harmonia entre estes ambientes e a sociedade (BERTALANFFY, 1973; VITTE, 2007).

Assim, esta pesquisa tem como objetivo geral, identificar e caracterizar compartimentos do relevo presentes na BHRE e refletir sobre suas fragilidades e potencialidades ambientais. Quanto aos objetivos específicos, têm-se: 1). Caracterizar os elementos da paisagem por meio de mapas temáticos da BHRE; 2) Identificar os compartimentos do relevo da paisagem na BHRE por meio de metodologia cartográfica baseado nas metodologias de Cavalcanti (2013); Castro e Salomão (2000); 3) Analisar as potencialidades ambientais na BHRE com base nos compartimentos do relevo com direcionamento para a gestão territorial.

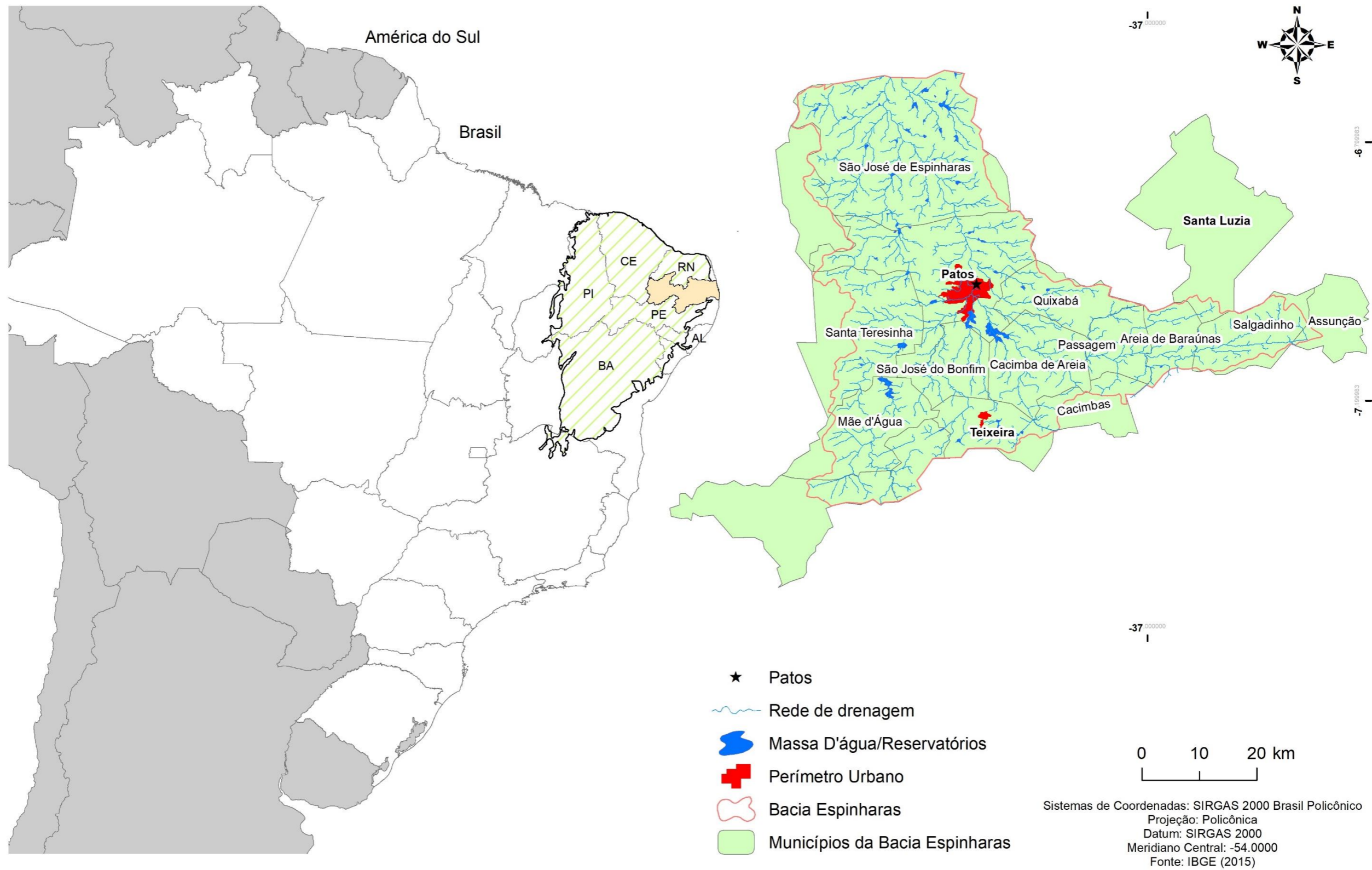
ÁREA DE ESTUDO

A BHRE representada na figura 1 está localizada em terrenos dos estados da Paraíba e Rio Grande do Norte (entre latitudes 6°41'18'' – 7° 21'51''S e longitudes 36° 43'41'' – 37° 33'50'' O), e possui área total aproximada de 3.303 km². Na Paraíba, a BHRE abrange o território de 14 municípios, os quais se enumeram: 1- Areia de Baraúnas, 2- Assunção, 3- Cacimba de Areia, 4- Cacimbas, 5- Mãe d'água, 6- Passagem, 7- Patos, 8- Quixabá, 9- Salgadinho, 10- Santa Luzia, 11- Santa Teresinha, 12- São José de Espinharas, 13- São José do Bonfim, 14- Teixeira.

A região está inserida morfoestruturalmente na Província Borborema, próxima à escarpa ocidental do Planalto da Borborema, semiárido paraibano (SANTOS, FERREIRA e SILVA JR, 2002, CORRÊA et al., 2010). O rio principal, de mesmo nome da bacia, origina-se pela confluência do Rio da Cruz com o Rio Farinha, e é um dos principais afluentes do médio curso do Rio Piranhas-Açu, que drena terrenos dos estados da Paraíba e do Rio Grande do Norte.

O Rio Piranhas-Açu, de área 17.498,5 km², drena água de aproximadamente 32,8% do estado Rio Grande do Norte (RN), possui assim como a BHRE, predominância do clima semiárido, solos rasos e pedregosos (AMORIM et al., 2007). Nela, se localiza o maior polo de fruticultura irrigada do RN, com a produção melões, bananas, uvas, maçãs, entre outras. Ainda, segundo Veras (2019) e Alves et al. (2018), o melão e a banana merecem destaques dentre as demais frutas, pois são responsáveis por uma porção considerável dos investimentos tanto de incentivos federais locais, quanto de empresas internacionais. Veras (2017), Alves et al. (2018) e Hespanhol (2016) apontam que, para a fruticultura, houve um processo que se vale de injeção de produtos químicos e a evolução tecnológica para o aumento deste tipo de produção.

Figura 1: - Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Espinharas, estado da Paraíba – Brasil, com destaque nos municípios inseridos entre seus limites.



Considerando que a BHRE é um dos principais afluentes do médio curso do Rio Piranhas-Açu, ela possui importância para a fruticultura, fazendo parte do processo de acúmulo de nutrientes e fluxo d'água que é direcionado para o Rio Grande do Norte.

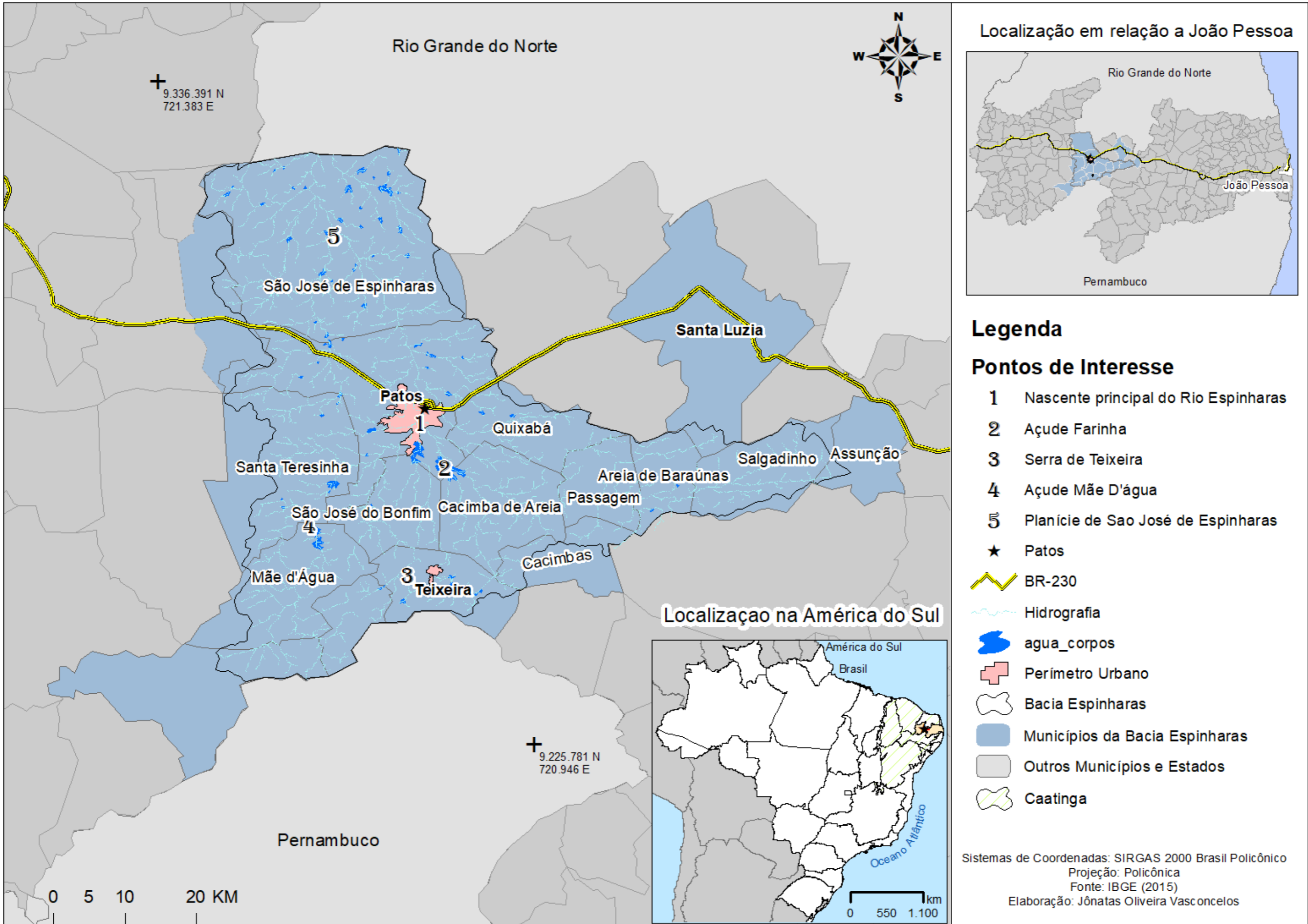
A BHRE passou por intensos fluxos demográficos e econômicos. Patos, principal município no ambiente da pesquisa representa, é o principal núcleo urbano e de desenvolvimento da BHRE (SIMÕES, 2017), já que apresenta evolução demográfica bem significativa, com aumento de ~33% de sua população entre 1960 e 2000, passando de 61.678 mil habitantes para 91.761 mil habitantes no ano de 2000, e um crescimento de 8.85% entre 2000 e 2010 (LUCENA, 2014; IBGE, 2020), passando a ser a 4ª mais populosa da Paraíba (IBGE, 2020).

Outro fato importante é que a drenagem principal do Rio Espinharas começa também na extremidade do município de Patos, correndo em direção ao estado do Rio Grande do Norte. Historicamente, as cidades tendem a crescerem junto aos rios, pois esses locais fornecem condições básicas para o desenvolvimento da vida, principalmente em locais áridos e semiáridos, onde a água é bem mais escassa que nos locais úmidos. Contudo, esse crescimento se deu principalmente na mudança das atividades econômicas, de agricultura familiar, produção de algodão para a criação de gado, comércio e industrialização em alguns municípios do semiárido como no Patos. (LUCENA, 2014).

Para avaliação e comparação dos fluxos demográficos e das mudanças no solo e vegetação, foi analisado o trabalho feito por Simões (2017), o qual faz um estudo sobre a vegetação da BHRE com foco principal no município de Patos, utilizando o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN), no qual observou-se aumento significativo de áreas com solo exposto/extratos urbanos. É interessante ressaltar que poucos estudos sobre a BHRE estão disponíveis na literatura, constituindo-se mais um motivo para que sejam realizadas mais pesquisas, como a aqui apresentada.

Na figura 2 a seguir, é apresentado um panorama regional da área de estudo, a qual possui pontos de interesse da pesquisa. As figuras selecionadas tem o intuito principal de habituar o leitor à localização e feições importantes, citados no decorrer do texto.

Figura 2 – Feições da Paisagem e Pontos de Interesse Para Orientação de Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Espinharas



CAPÍTULO 1: FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICO-METODOLÓGICA

A Teoria Geral dos Sistemas (TGS), entre as décadas de 1950 e 1960, juntamente com a “Nova Geografia”, buscou quantificar e qualificar os elementos presentes em um determinado ambiente, de modo que a TGS, proporcionou um reavivamento do entendimento sistemático científico, tendo a paisagem também adentrado nesse novo rumo das ciências da natureza. As pesquisas antes da TGS, tais como as realizadas por Humboldt (1794-1804) e Dokuchaev (1869-1901), foram ratificadas como pensamentos e estudos sistematizados e complexos e, posteriormente, aprimorados com cientistas como Sotchava e Bertrand (VITTE, 2007; WULF, 2016; CAVALCANTI, 2014).

Contudo, Bertalanffy (1973) afirma que, embora a TGS sobrepusesse a ideia de um complexo de elementos em interação, sua teoria, propriamente dita, está focada em resolver problemas que, em relação à ciência clássica, são de “natureza mais gerais” (BERTALANFFY, 1973, P.38). Da mesma forma, ocorreu com a análise da paisagem, sendo essa, foco de estudos mais gerais dos ambientes físicos.

A paisagem como perspectiva sistêmica, consolidou-se a partir da década de 1960 com autores como, Sotchava, Christofolletti e Bertrand, sendo entendida como uma forma concreta do espaço, resultado da interação entre o potencial antrópico, potencial ecológico, biológico e físico com interações dinâmicas e instáveis entre esses elementos. Ou seja, a paisagem se torna resultado das interações entre os diversos elementos existentes na mesma e/ou das interações resultantes entre os diversos subsistemas existentes em uma paisagem (BERTALANFFY, 1973; BERTRAND, 2004; SOTCHAVA, 1977; PINTO-CORREIA et al., 2001; AMORIN; OLIVEIRA, 2008).

Desse modo, foram criadas, em distintos países do mundo, diversas técnicas e metodologias para entender a paisagem, as quais são aplicadas no Brasil. Cavalcanti (2013), cita algumas dessas técnicas e metodologias: 1) “Regiões Naturais” por Vasconcelos Sobrinho (1949, 1970) e Hilton Sette (1985); 2) Os Domínios de Natureza (ou Domínios Paisagísticos) por Aziz Nacib Ab’saber (2003, 2006), e os Geossistemas que foi tratado tanto por Bertrand como por Sotchava (CAVALCANTI, 2013); 3) A compartimentação morfo-pedológica introduzida por Castro e Salomão (2000) com referências a trabalhos clássicos como o de Aziz Nacib Ab’saber (1969), Salomão (1994) e Castro et al. (1997).

Entretanto, além dos estudos mundialmente aceitos e propostos como o de Geossistemas de Bertrand e Sotchava, é necessário citar outros métodos que são aplicados. Hay et al. (2003) afirma que, por meio da metodologia do “problema de unidade de área modificável (*modifiable areal unit problem*)” ou MAUP), foi possível também se obter uma delimitação da paisagem, analisando uma área do Quebec, no Canadá. Esta metodologia utiliza praticamente técnicas de sensoriamento remoto, onde são aplicadas três técnicas principais: “*Fractal Net Evolution Approach* (FNEA), *Linear Space-Space and Blob -Feature Detection* (SS) e a *Mustiscale Objetic-Specific Analisis* (MOSA). Essas técnicas, em suma, utilizam-se da análise dos resultados multiescalar e visual dos pixels gerados por uma imagem de satélite, avaliando os padrões de cores gerados, comparando os pixels das imagens de satélites, com base na tonalidade e na dinâmica que esses mesmos pixels apresentam ao se mudar a escala de análise.

Nouri et al. (2013) dispõem sobre as unidades de paisagens de vegetação urbana afirmando que essa é uma importante área de pesquisa e um aspecto importante para a sociedade, pois os ambientes urbanos possuem muitos problemas e benefícios associados aos ambientes naturais, nesse caso os ambientes proporcionados pela vegetação.

Para tal estudo, Nouri et al. (2013) fazem uma comparação entre algumas técnicas plausíveis para a mensuração e estimação dessas paisagens urbanas, as quais são: Balanço Hídrico do Solo, a utilização do Lisímetro, o “*Sap Flow*” (fluxo de seiva), covariância de *Eddy*, balanço de rotação de energia de Bowen, e o WUCOLS. Dentre tais técnicas, uma das mais interessantes para o estudo de delimitação (zoneamento), é a técnica de WUCOLS, a qual apresenta coeficientes com dimensões específicas para as paisagens florísticas, considerando variáveis introduzidas para a análise, como espécies, clima entre outras de acordo com a necessidade do pesquisador.

Ainda nessa perspectiva de trabalhos internacionais voltados ao zoneamento e planejamento ambiental, Ludwig (1995) também utiliza a metodologia de transectos, dispondo-os ao longo do gradiente topográfico, a fim de que, dessa forma, facilite a compreensão e a delimitação das paisagens. Nesse trabalho apresentado por eles, os transectos variam, de acordo com a largura e as dimensões das paisagens, de 300 a 500m. Ao longo dos transectos, foram coletados exemplares do tipo de solo e vegetação. A partir disso, foram levados para análise de nutrientes presentes no solo e das condições da vegetação. Após análises gerais foi possível descrever a hierarquia das unidades de paisagens (compartimentações morfopedológicas) encontradas.

É possível, a partir da observação dessas metodologias, inferir que a necessidade de se estudar o meio ambiente para fins diversos ainda se faz importante e adentra com grande relevância no âmbito científico. De forma que, como exposto a seguir, a compartimentação morfopedológica com princípio nos estudos de Castro e Salomão, é uma das metodologias de destaques e se adequada com os propósitos do estudo aqui em questão.

Sobre a compartimentação morfopedológica, Castro e Salomão (2000) afirmam que é caracterizada pela fisionomia do meio abiótico que evidencia delimitações reconhecíveis do relevo esteado (alicerçado) sobre estruturas primárias (litológicas e pedológicas) em que seu funcionamento e os atributos desses delineamentos mostram padrões históricos-evolutivo no tempo e no espaço. Para esses, a compartimentação morfopedológica é considerada como uma caracterização de primeiro nível, tendo em vista que abarca toda a área de estudo, em uma escala regional, “com estudos analíticos temáticos e integrados dos atributos do meio físico” (CASTRO e SALOMÃO, 2000, p. 35).

Nakashima (1999) afirma que nesse nível são possíveis e aconselháveis escalas de 1:250.000 ou maiores, tendo em vista que é um estudo primário da área, a fim de que se possa conhecer o funcionamento geral da área de pesquisa. Um nível considerado ideal, já que a área de estudo da presente dissertação não apresenta estudos com o foco na compartimentação da paisagem e de seu funcionamento para a gestão territorial.

Contudo, na compartimentação existem outros níveis de detalhamento, nos quais se faz necessário a utilização de outras técnicas que permitem análises em maior detalhe. A tabela 1 a seguir, adaptada de Castro e Salomão (2000), segue com os demais níveis e suas respectivas características de trabalho e escalas ideais para a realização das mesmas. Segundo Hermuche et al. (2009), esse tipo de compartimentação, permite análises comparativas e associativas dos condicionantes físicos (geologia, hipsometria, declividade e geomorfologia) com as classes pedológicas da área de pesquisa, de forma que o entendimento da paisagem prossiga e adentre em uma perspectiva sistêmica e integrada.

Tabela 1. Roteiro metodológico para a compartimentação morfopedológica e estudo de seu comportamento atual.

NÍVEIS DE TRATAMENTO / TIPOS DE TRATAMENTO	ATIVIDADES PRINCIPAIS / ESCALAS IDEAIS	PROCEDIMENTOS PRINCIPAIS
1º Nível – compartimentação morfopedológica (em toda a área de estudo)	Estudos analíticos temáticos e integrados dos atributos do meio físico, em escalas regionais (idealmente até ou maiores que 1:100.000, com controle de reconhecimento em campo para validação Seleção dos compartimentos morfopedológicos para estudo detalhado	-Superposição de mapas temáticos. -Mapa geológico ou litológico -Mapa geomorfológico -Mapa de solos -Delimitação de unidades morfopedológicas homogêneas (mapa de compartimentos morfopedológicos e cruzamento com: - Mapa de ocorrência do problema para seleção (erosão, etc.) com compartimentos
2º Nível – caracterização dos sistemas pedológicos (em cada compartimento morfopedológico)	Levantamento, descrição morfológica bidimensional dos solos (em topo sequências) em campo, em escalas 1:2.000 ou maiores; coleta de amostras e análise em laboratório; se possível, estudo micromorfopedológico	- Representação gráfica das topo sequências - Tabulação e representação gráfica dos resultados laboratoriais e elaboração de interpretação das relações espaciais
3º Nível – estudo do comportamento físico-hídrico (em cada sistema pedológico)	Ensaio de caracterização do comportamento físico-hídrico (e/ou outro) dos sistemas pedológicos em campo, se possível com monitoramento do comportamento hídrico-climático; ensaios físicos-hídricos em laboratório; escala real de campo (pode-se implementar experimentações se houver o tempo necessário	-Registros das medições físico-hídricas dos sistemas pedológicos e sua representação gráfica sobretudo dos fluxos hídricos; correlação com a topografia, a morfologia dos sistemas pedológicos, o seu uso, ocupação. Manejo e o problema enfocado (erosão ou outros)
4º Nível – generalização dos resultados (para toda a área)	Sistematização dos resultados obtidos através da identificação da relação dos processos e problemas estudados com os sistemas pedológicos e seu significado espacial na unidade morfopedológica e no conjunto dos compartimentos morfopedológicos escalas 1:50.000 (final) ou maiores para detalhamento de informações e dados específicos (zoom)	-Mapa de sistemas pedológicos -Cartas de restrições (ou risco) ao uso e ocupação -Mapa geotécnico (áreas urbanas) -Mapa de capacidade de uso das terras (áreas rurais)
5º Nível – planejamento (para toda a área e cada compartimento morfopedológico em particular)	Elaboração do plano diretor de uso e ocupação do solo	-Elencamento de medidas mitigadoras -Redação do plano diretor e do manual técnico de orientação

Fonte: Castro e Salomão (2000).

Todavia, os estudos e escalas ideais são condicionadas aos recursos disponíveis para o desenvolvimento da pesquisa (CASTRO; SALOMÃO 2000; CAVALCANTI 2010), de maneira que, o estudo em questão buscou propor uma síntese da paisagem, por meio da compartimentação morfopedológica.

1.1. BACIA HIDROGRÁFICA COMO UNIDADE DE PLANEJAMENTO

Para delimitação espacial de uma bacia hidrográfica leva-se em consideração, principalmente, as dimensões físicas-naturais. Tais dimensões são conglomerado de terras drenadas por um fluxo hídrico (rios) e seus diversos afluentes, que é inicialmente formado em áreas mais altas e íngremes, divisores topográficos, onde a precipitação desenvolve um fluxo superficial e/ou subterrâneo, formando rios secundários, terciários e, conseqüentemente, desenvolvendo seu curso para as áreas mais baixas e planas até encontrarem o seu exutório (TUCCI, 1997).

Segundo Chorley (1964), a bacia hidrográfica emerge como uma rede complexa e sistêmica de relações entre os diversos elementos geográficos, sociais e físico-naturais, demarcado pela confluência de fluxos hídricos, hidrogeológicos e morfogenéticos, juntamente aos processos e desenvolvimentos socioculturais. Desse modo, se torna de vital importância pois, trata com um elemento indispensável à vida e ao desenvolvimento físico-natural e que é fator fundamental, também, no desenvolvimento da paisagem (EISEL, 1972).

Essa delimitação e seus respectivos elementos internos e externos formam também um sistema complexo de análise, devido suas inúmeras inter-relações. Portanto, torna-se necessário uma análise integrada para viabilizar o planejamento e a gestão da mesma (LIMA, 2015; PORTO; PORTO, 2008; ALIEVE, 2017).

Contudo, a falta de aplicação de políticas públicas ambientais e de planejamento dos recursos naturais no Brasil trouxe um “*delay*” em relação a outros países do mundo, em que as políticas de gestão de recursos, principalmente os hídricos, mundo à fora, começaram séculos atrás (PORTO; PORTO, 2008; ALIEVE, 2017). No Brasil, essas políticas são relativamente novas, ganhando força no início da década de 1990 e, principalmente, após a Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, quando foi instituída a Política Nacional de Recursos Hídricos e também a criação do Conselho Nacional de Recursos Hídricos, assim como o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

A partir disso, o Brasil foi conduzido por uma série de leis e decretos que visam a melhor gestão das bacias hidrográficas, como por exemplo: a Lei nº 9.984 de 17 de julho de 2000, criação da Agência Nacional das Águas (ANA); Lei nº 10.881 de 2004 para disposição dos contratos de gestão entre a ANA e entidades responsáveis pelas funções de Agências de Águas relativas à gestão de recursos do domínio da União; Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010 com estabelecimento da Política Nacional de Segurança de Barragens, etc.

A constituição de 1988 também teve um papel fundamental na utilização da bacia hidrográfica como unidade de planejamento, pois “definiu a água como bens de uso comum e alterou a dominialidade das águas do território nacional, anteriormente definida pelo Código de Águas de 1934 (Decreto n.24.63, de 10.7.1934)” (PORTO; PORTO, 2008, p. 45). Ou seja, observamos um “*gap*”, entre 1934-1988 para novamente levar em consideração tais estudos. A partir disso, e de outras ideias já postas, a bacia hidrográfica é consolidada como uma unidade de planejamento sólida, que pode proporcionar dimensão espacial adequada a estudos regionais e de escala geográfica passível de interferência do ser humano (EISEL, 1972; IORIS, 2011; FARIAS, 2015).

Essas leis e medidas buscam, por meio de ações preventivas, corretivas e de preservação, gerir e planejar bacias hidrográficas de modo que estas possam servir de melhor forma a sociedade, respeitando os recursos existentes no meio ambiente (FARIAS, 2015).

Existem diferentes técnicas e metodologias de planejar e desenvolver estudos sobre bacias hidrográficas e suas paisagens, sejam para o uso preventivo ou para a conservação desses ambientes. Duas delas, exploradas no tópico a seguir deste trabalho, são: a utilização dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) para atividades de geoprocessamento e os trabalhos de campo.

1.2 GEOPROCESSAMENTO E SUA UTILIZAÇÃO PARA DELIMITAÇÃO E PLANEJAMENTO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS

Geoprocessamento é a utilização de informações Geoespaciais estruturadas para produção de informação ambiental, com diferentes níveis de aplicação, permitindo o suporte a decisão em intervenções. Neste contexto, os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) se constituem como ferramentas de condução da pesquisa, por permitir uma enorme capacidade de armazenamento de dados e sobreposição de conteúdos sobre um determinado objeto de estudo, com posições devidamente georreferenciadas, e possibilidade de se relacionar um

grande número de atributos (MILLER; GUERTIN; HEILMAN, 2004; ROSA, 2013; JÚNIOR, 2017).

Os resultados obtidos a partir de técnicas de geoprocessamento, e seus instrumentos, tais como o Sensoriamento Remoto e o Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS) são modelos da superfície terrestre e, com controle de campo e técnicas de banco de dados, podem proporcionar meios eficazes, mais baratos e mais rápidos para a tomada de decisão e/ou medidas preventivas, corretivas e de preservação ou conservação (JÚNIOR, 2017).

É importante ressaltar a importância das principais técnicas utilizadas na presente pesquisa. A primeira delas é a cartografia digital, que trata diretamente com a parte de produção, composição e idealização dos mapas. No entanto, esta composição só é possível a partir da manipulação matemática para correção das distorções de arquivos vetoriais e em formato raster, pois precisam estar devidamente adequadas a um SIG, e padronizadas adotando por exemplo os mesmos parâmetros Geodésicos.

Enquanto dados, temos como principais bases para os mapeamentos na atualidade, os produtos de Sensoriamento Remoto orbital e aéreo, que tratam da captação de informações de um objeto sem que haja contato físico, por meio de sensores sensíveis a radiação eletromagnética (REM) que é refletida e emitida por todos os objetos da superfície terrestre (LIU, 2007). Desta maneira, os objetos presentes na superfície terrestre absorvem e refletem diferentes quantidades de energia, permitindo assim, os sensores remotos obterem registrarem estes em um formato passível de ser entendido.

O uso de dados coletados por satélites supre as necessidades de grande parte das aplicações cartográficas, haja vista que, as novas tecnologias espaciais já conseguem gerar imagens multiespectrais com altas resoluções métricas e sub-métricas, como por exemplo o QUICKBIRD II e o IKONOS com resoluções espaciais de um metro, o Sentinel 2 com resoluções de 10 metros nas bandas do infra vermelho próximo, vermelho, verde e azul e os satélites World View 2 e GeoEye que possuem resolução de 50 centímetros (LIU, 2007; FITZ, 2008). Estas imagens permitem a visualização dos elementos presentes da superfície terrestre e a construção dos mapas de elementos fisiográficos e de uso e cobertura da terra.

Além das imagens multiespectrais, há imagens de Radar, tais como as da missão *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), com essas imagens nos permite-se, por exemplo, em uma análise do relevo, gerar um Modelo Digital de Elevação (MDE), em que é possível projetar as direções e possíveis concentrações dos fluxos de escoamento superficial. Além disso, permite

delimitar uma bacia hidrográfica com alta precisão e com o mínimo de distorção (LIU, 2007; FITZ, 2008).

Os dados Geoespaciais e as análises em Geoprocessamento, juntamente com os bancos de dados secundários de órgãos federais, estaduais e municipais responsáveis pelos recursos hidrogeológicos, pedológicos e de vegetação, possibilitam a pesquisadores a elaboração de análises complexas pela sobreposição de dados. É claro que essa é apenas uma ferramenta que está sujeita às tomadas de decisões humanas, sendo o pesquisador, fundamental para dar inteligência espacial aos dados e fazer uma boa análise integrada, assim como é importante a adoção de trabalho de campo.

Segundo Castro e Salomão (2000), o grande desafio que tem surgido por parte dos pesquisadores em nosso país são as muitas metodologias adotadas para os mesmos fins dentro das compartimentação morfopedológica, geomorfológica e de geoprocessamento de ambientes já modificados pelo homem, tendo em vista que o processo de ocupação das terras ocorrem de forma semelhante em diversos estados com condições totalmente diferentes, sendo necessário a adaptação dessas metodologias de acordo com a necessidade.

Castro e Salomão (2000) e Cavalcanti (2013) afirmam que é possível, por meio do geoprocessamento, a identificação de ambientes com mesmas funcionalidades também no semiárido, contudo, com diferentes reflexões por parte do pesquisador, que precisa ter um maior conhecimento do local de estudo, pois o semiárido tem funcionalidades diferentes dos ambientes do Centro-Sul do país, mais úmidos e de rios perenes, que são mais presentes na literatura.

CAPÍTULO 2: PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

2.1 DADOS UTILIZADOS

Para fins de conclusão dos objetivos da presente pesquisa, foram utilizados para a modelagem altimétrica do relevo os dados dos satélites da missão *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), já para dados de satélite multiespectrais do espectro refletido adotou-se imagens do satélite estadunidense LANDSAT 8. No tocante às imagens dos satélites, essas foram devidamente re-projetadas do Datum WGS 84 para o Datum SIRGAS 2000 e projetados para o Sistema Universal Transversa de Mercator (UTM), Zona 24 S em consonância com as orientações do IBGE. Essas informações foram utilizadas tanto para elaborar os dados de drenagem da BHRE, como extrair a altimetria, elaborar o uso e cobertura da terra e classificação dos modelados terrestres segundo as metodologias de Castro e Salomão (2000) e Cavalcanti (2013).

2.1.1 DADOS SENTINEL 2 E OLI LANDSAT

Segundo Ferreira et al. (2008), a série de satélites Landsat foi um dos programas mais bem-sucedidos de sensoriamento remoto, principalmente, para fins do mapeamento e do monitoramento da superfície terrestre. De acordo com Ferreira et al. (2008) e Matias (2019), os satélites Landsat colhem imagens há mais de 40 anos e até agora possuem sete lançamentos produtivos, sendo o último deles o Landsat 8 com sensores *Operation Land Imager* (OLI) e *Thermal Infrared Sensor* (TIRS), o qual será utilizado na presente pesquisa juntamente com o Sentinel 2. Todos os dados foram extraídos do Portal *United States Geological Survey* – USGS (Serviço Geológico dos Estados Unidos, disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>).

O satélite Landsat 8 possui órbita polar, circular e heliossíncrona, com altitude próxima de 705 km e com uma inclinação de 98,2°. Este é um satélite lançado pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA). Em comparação com os satélites anteriores da série, esse possui um acréscimo de três bandas espectrais. A banda 1 corresponde ao *coastal aerosol*, a banda 9 aos *Cirrus* e uma nova banda no sensor TIRS do infravermelho térmico com 30 metros de resolução (Tabela 3).

Tabela 3 – Características espectrais e espaciais dos satélites L8 e S2.

Banda	Faixa Espectral Central		Região do Espectro	Resolução Espacial	
	μm			m x m	
	S2	OLI L8		S2	L8
1	0,443	0,443	Azul	10	30
2	0,49	0,483	Verde	10	30
3	0,56	0,561	Vermelho	10	30
4	0,665	0,654	IV Próximo	10	30
5	0,705	0,864	IV Médio	20	30
6	0,74	1,609	IV Termal	20	30
7	0,783	2,201	VIS IV Próximo	10	15

Foram analisadas imagens de dois meses nos quais a primeira imagem representa a data de maior período de umidade anual na BHRE (final de janeiro) e a segunda imagem compreende o um dos meses do período seco do semiárido paraibano (outubro). Ambas as imagens são órbita/ponto 215/65, conforme a Tabela 4.

Tabela 4 – Dados satelitários e datas de aquisição das imagens.

Sensor	Path/Row (S2 – Numero de órbita)	Fonte	Formato	Sistema de Referência Original	Resolução Espacial (m)	Resolução Espacial da Banda Pancromática (m)	Data de aquisição
SRTM (Imagem 1)		USGS	Geotif	WGS 84	30		11/02/2000
SRTM (Imagem 2)		USGS	Geotif	WGS 84	30		11/02/2000
SRTM (Imagem 3)		USGS	Geotif	WGS 84	30		11/02/2000
SRTM (Imagem 4)		USGS	Geotif	WGS 84	30		11/02/2000
Landsat-8 OLI-TIRS (janeiro)	215/65	USGS	Raster	WGS 84	30	15	25/01/2019
Landsat-8 OLI-TIRS (outubro)	215/65	USGS	Raster	WGS 84	30	15	24/10/2019
Sentinel 2 (Imagem 1)	52	USGS	Raster	WGS 84	30	10	28/10/2019
Sentinel 2 (Imagem 2)	52	USGS	Raster	WGS 84	30	10	28/09/2019
Sentinel 2 (Imagem 3)	52	USGS	Raster	WGS 84	30	10	23/10/2018

Já o Sentinel 2A (S2) possui órbita circular, quase polar, heliosíncrona descendente com aproximadamente 98.5° de inclinação, com altitude próxima a 786 km. Possui um sensor MSI (*Multispectral Instrument*) com 4 bandas nas faixas do visível e infravermelho; 6 bandas na ponte vermelha (*red edge*) e no infravermelho próximo (de ondas curtas); e 3 bandas destinadas a correções atmosféricas e resolução espectral variada de 10 a 60 metros (Tabela 3). As bandas 2, 3, 4 e 8 possuem 10 metros de resolução. As 5, 6, 7, 8ª, 11 e 12 possuem 20 metros de resolução e as bandas 1, 9 e 10, 60 metros (ESA, 2015; MATIAS, 2019).

Para o S2 foram coletadas imagens de dois anos, 2018 e 2019. As datas foram escolhidas em função do período mais recente disponível e com menores coberturas de nuvens. Todas as imagens foram coletadas pela órbita 52 e com direção de órbita descendente, conforme a tabela 4.

No tocante à escolha destes satélites, ambos foram escolhidos pela disponibilidade gratuita de dados e pela qualidade consolidada pela literatura científica em estudos ambientais em escala regional. Para construção do mapa de uso e cobertura da terra, foram utilizadas as imagens do S2, devido a melhor qualidade após a construção da composição de bandas (vermelho, verde, azul e infravermelho próximo) para a BHRE, quando comparado com as composições do OLI Landsat, possibilitando melhor acurácia a pesquisa. Com intuito de facilitar a visualização, análise e comparação dos satélites, foi elaborada a Tabela 3, já exposta, com as características satelitárias dos respectivos satélites (MATIAS, 2019; TEIXEIRA et al., 2019).

2.1.2. MISSÃO SHUTTLE RADAR TOPOGRAPHY MISSION (SRTM)

A missão SRTM, foi iniciada em fevereiro do ano 2000, durou aproximadamente 11 dias e cobriu cerca 80% das terras emersas da superfície terrestre. Essa missão foi elaborada pela *National Aeronautics and Space Administration of United States – NASA* e a *National Imaging and Mapping Agency of United States – NIMA* e Segundo Santos et al., (2006), com participações da *Deutsche Zentrum fur Luft-und Raumfahrt – DLR* da Alemanha e a *ASI (Agenzia Spaziale Italiana)* da Itália. Foi feita a bordo da nave Endeavour e cumpriu a varredura por meio de satélites e a técnica baseada em captura de “imagem” (DIAS et al. (2004). Mais especificamente, a *Interferometric Synthetic Aperture Radar (inSAR)*, que é uma técnica para delimitar (mapear) a deformação do solo.

Segundo o Centro de Pesquisa de Geologia dos Estados Unidos (2021), também conhecida pela sigla USGS, as capturas feitas por radar possuem total eficácia, pois penetram

na maioria das nuvens e são de mesma forma eficazes em ambientes mais escuros com precisão de até centímetros. Ainda forneceu modelos tridimensionais com amplitude de 30 metros na SRTM 1 e 90 metros na SRTM 3. Os dados disponibilizados são compatíveis com a maioria, ou se não, todos os SIG e segundos Dias et al. (2004), por ser uma abstração de dados via radar, os sensores utilizados para os dados da SRTM são ativos, não necessitando da luz solar para o imageamento, e sem sofrer a influência do ambiente, haja vista que atuam na faixa de espectro eletromagnética (SANTOS et al., 2006). Tornando essas imagens viáveis para para os estudos geomorfológicos, cartográficos, geológicos dentre muitos outros.

2.1.3 DADOS ESTATÍSTICOS E CENSITÁRIOS

Para os dados urbanos e rurais foram utilizados os dados populacionais disponíveis nos dois últimos censos demográficos 2000 e 2010 do IBGE (<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao>), assim como os dados da Pesquisa da Pecuária Municipal (PMM) e da Produção Agrícola Municipal (PAM) para os anos de (2000, 2010 e 2018), elaborados também pelo IBGE, disponibilizado e por meio do Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA) no site <https://sidra.ibge.gov.br>.

Os anos foram escolhidos pelos critérios de atualidade. Para os dados do PAM e PMM, a fim de manter a proporção de temporalidade, mesmo existindo dados anuais mais recentes, deu-se prioridade aos mesmos anos em que os censos demográficos foram disponibilizados, contudo demonstrando os números e análises para comparações a partir dos dados mais recentes (2018).

2.1.4. DADOS SECUNDÁRIOS

Para os dados geológicos, foram considerados dois principais estudos, ambos realizados pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais do Brasil (CPRM). Os principais dados aqui abordados foram os mapas geológicos da CPRM para o ano de 2002, feito para o Brasil todo em uma escala de 1:250.000, para fins de análises primárias e primeiras reflexões sobre o ambiente e também por ser o primeiro estudo de relevância para todo o Brasil no tocante à Geologia no início deste presente século. A fim de realizar a extração de dados secundários para análise definitiva, a composição da tabela geológica e também para gerar os dados estatísticos geomorfológicos presente no trabalho, como *shapefiles*, dimensões e propriedades

de cada unidade mapeada, foi tomado o trabalho de Geodiversidade, feito na escala de 1:250.000 também pela CPRM.

Por fim, no que diz respeito a geologia, para composição das análises e reflexão da área e também para o complemento de detalhamento do mapa geológico e geomorfológico, foram tomados os dados fornecidos por Corrêa et al. (2010) e também o padrão de cores para os mapas geológicos definidos pela Comissão para Mapas geológicos do Mundo, Paris-França, 2012.

Para os dados de vegetação, dimensão e suas principais características tomou-se por base os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) para os anos de 2007 e 2012. Estes dados compreendem o tamanho (dimensão física) das classes de vegetação presente, as quais seguiram o mesmo padrão do IBGE, contudo com o aprimoramento do mesmo, devido o acréscimo da análise das imagens de satélites com a classificação supervisionada. Também foi levado em consideração o estudo de Simões (2017), sobre o qual o autor expõe uma aplicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN) para a bacia em questão, poupando assim um certo tempo contudo, sendo feito uma reavaliação do trabalho pela reaplicação do IVDN para comprovação dos dados.

Os dados de meteorologia, volume dos açudes, monitoramento e de temperatura da BHRE foram provenientes da Agência Executiva de Gestão das Águas da Paraíba (AESAs). Contudo, como há falhas em muitas das estações provenientes da AESA, e algumas não possuem todos os anos registrados, foram levadas em consideração nove estações, localizadas nos municípios Cacimbas de Areia, Mãe d'água, Passagem, Patos, Salgadinho, Santa Luzia, Santa Teresinha, São José do Espinharas e Teixeira, entre os anos de 1994-2015. Vale Salientar que Felix (2015) faz uma análise temporal de 40 anos sobre as chuvas da BHRE, porém com dados apenas de seis municípios e com muitas técnicas de preenchimento de dados para suprir as “falhas” existentes na coleta dessas precipitações e, por causa disso, o estudo em questão deu preferência a elaborar uma análise de menor período, mas com os registros originais de cada estação.

Finalmente, para a validação dos dados hídricos e climáticos foi decidido utilizar o Índice de Anomalia da Chuva (IAC), proposto por Freitas (1998), o qual compara por meio de um índice os anos chuvosos e secos. O IAC é calculado segundo as fórmulas I e II e identificando se os anos foram extremamente secos, muito secos, secos, úmidos, muito úmidos e extremamente úmidos de acordo com a Tabela 2.

$IAC3 \left[\left(\frac{N-\bar{N}}{\bar{M}-\bar{N}} \right) \right]$, para anomalias positivas. (I).

$IAC-3 \left[\left(\frac{N-\bar{N}}{\bar{X}-\bar{N}} \right) \right]$, para anomalias negativas. (II).

“Em que: N = precipitação mensal atual (mm); \bar{N} = precipitação média mensal da série histórica (mm); \bar{M} = média das dez maiores precipitações mensais da série histórica (mm); \bar{X} = média das dez menores precipitações mensais da série histórica (mm); Anomalias positivas são valores acima da média e anomalias negativas são valores abaixo da média (FREITAS, 1998).

“

Tabela 2. Classes de intensidades do IAC. Fonte: FREITAS (2004; 2005).

Índice de Anomalia da Chuva (IAC)	
Faixa de IAC	Classes de Intensidade
De 4 acima	Extremamente úmido
2 a 4	Muito Úmido
0 a 2	Úmido
0 a -2	Seco
-2 a -4	Muito seco
De - 4 abaixo	Extremamente seco

2.1.5 PRODUTOS E PROCESSOS

Foi adotada como base teórico-metodológica para o desenvolvimento desta pesquisa, a proposta apresentada por Castro e Salomão (2000) com a interconexão da metodologia utilizada por Cavalcanti (2013), reconhecendo que ambas se tratam de abordagem de semidetalhe, necessária para satisfazer os objetivos e responder as perguntas de pesquisa, considerando a BHRE como unidade de análise.

A luz das propostas de Castro e Salomão, que classificam o relevo a partir das conexões entre as variáveis físicas-naturais, pode-se, atualmente, valer-se de toda evolução dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e das técnicas do sensoriamento remoto para compartimentação expostas na Tabela 1 para a elaboração da metodologia do trabalho exposta na Figura 3.

O trabalho seguiu pelo cruzamento dos dados litológicos de relevo e solos por superposição cartográfica das respectivas cartas temáticas elaboradas em ambiente SIG com dados secundários, contudo com o acréscimo do acompanhamento por meio de atividades de campo e conferência da delimitação das unidades relativamente homogêneas.

Para a pesquisa, foram escolhidos eixos topográficos, com o auxílio dos dados de declividade da BHRE proporcionados por imagens de satélite em ambientes SIG, devidamente classificados segundo as normas da Empresa Brasileira de Pesquisa e Agropecuária (EMBRAPA, 1999), conforme mostra a Tabela 5.

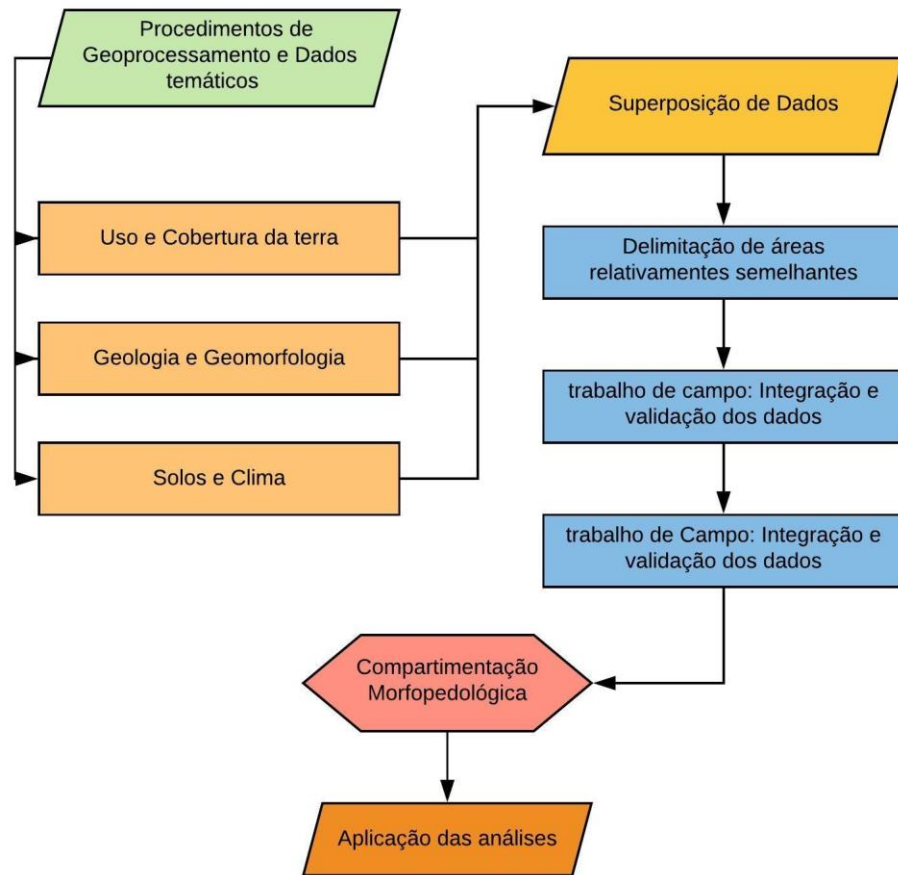
Tabela 5 – Correlação de declividade e relevo. Fonte: EMBRAPA (1979).

DECLIVIDADE (%)	RELEVO
0 – 3	Plano
3 – 8	Suave-Ondulado
8 – 20	Ondulado
20 – 45	Forte-Ondulado
> 45	Montanhoso

Após a caracterização do gradiente da bacia, foram, então, separadas as classes e superpostas pelo mapa de solo e litologia. Os dados tiveram como “máscara” para a superposição as delimitações da BHRE. Após isso, foram compartimentadas as Unidades do Relevo da área de pesquisa.

Posteriormente, foi feita a aplicação das análises, baseada na metodologia já exposta, com o auxílio do “quadro de correlações” com os dados obtidos segundo Cavalcanti (2013, p. 40). De acordo com Cavalcanti (2013, p. 40), o quadro de correlações é “uma ferramenta lógica que busca a correspondência de informações distintas de modo a obter uma síntese delas”, sendo assim, interessante e útil para o auxílio das análises, também facilitando a elaboração do banco de dados.

Figura 3. Fluxograma esquemático referente ao conjunto de procedimentos metodológicos adotados para o processo da produção da modelagem do relevo na BHRE.

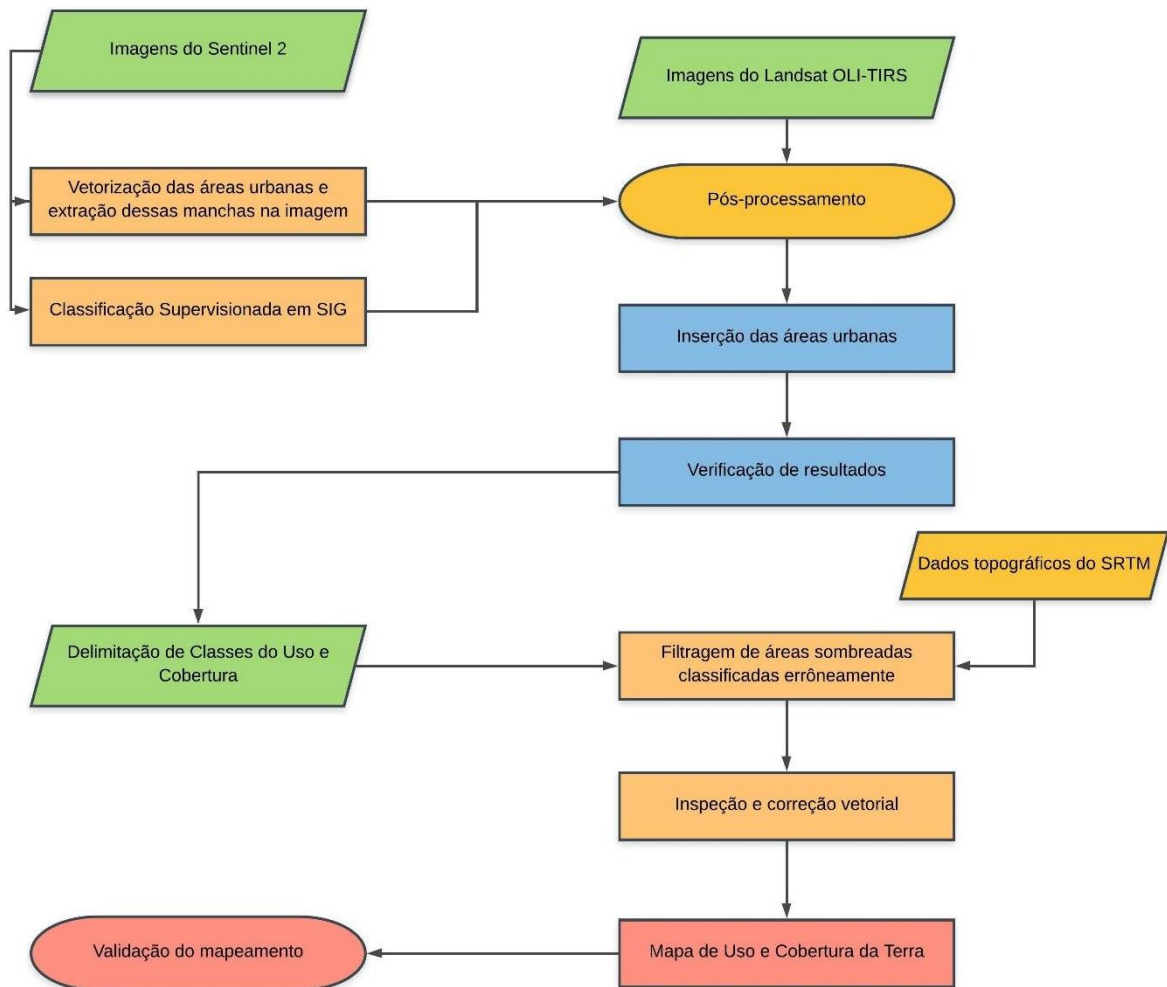


2.1.6 MAPEAMENTO DE USO E COBERTURA DA TERRA

Os dados de sensoriamento remoto serviram principalmente para a elaboração do mapa de uso e cobertura da terra, que foi elaborado de acordo com a Figura 4.

A princípio, foi feita uma composição Sentinel 2 do tipo cor verdadeira. Após tal procedimento, foi executada a vetorização manual das áreas urbanas, as quais foram mascaradas no processo de classificação supervisionada em ambiente SIG. Isso permitiu que a classificação supervisionada da BHRE, de outros alvos menos propensos a confusão e erros de classificação.

Figura 4. Fluxograma esquemático referente ao conjunto de dados e procedimentos metodológicos adotados para o mapeamento da cobertura e uso da terra.



Fonte: Fluxograma elaborado pelo autor.

A segmentação e classificação supervisionada classificou os pixels das imagens nas seguintes classes: Corpos D'água, Perímetro Urbano, Afloramento rochoso com presença de Caatinga Aberta, Afloramento Rochoso, Solo Rochoso, Caatinga Arbórea Fechada, Caatinga Arbustiva Arbórea Aberta e Vegetação Rasteira Espaçada intercalada com Solo Exposto, tais classes foram selecionadas pois refletem a diversidade de uso e cobertura da terra na região. A classificação preliminar passou por em quatro etapas de pós-classificação: 1) inclusão dos dados de manchas urbanas (vetorizados manualmente); 2) identificação de pixels não classificados, para rotulação dos mesmos segundo as classes inspecionadas pelas imagens do S2; 3) correção via máscara derivada da imagem de satélite para a área de estudo, para correção de eventuais discrepâncias e erros de classificação das superfícies cobertas por vegetação; 4) delineamento final do mapa de uso e ocupação pré-campo.

Após a delimitação do uso e cobertura da terra, foi feita uma correção das áreas sombreadas, as quais podem ter sido de forma errônea classificadas como água, ou uma correção de áreas de vegetação seca, erroneamente classificadas como solo exposto. Para isto, foram utilizados os dados topográficos provenientes das imagens da SRTM com 30 metros de resolução por pixel, convertendo áreas de declividade maior que 20% classificadas como água para a classe vegetação.

Dessa forma, foi possível a inspeção visual dos dados em SIG do uso e cobertura, correção vetorial das camadas e delimitações dos elementos presentes para, por último, fazer a validação e interpolação desses dados por meio de trabalhos de campo, com o auxílio dos registros fotográficos e GPS.

2.1.7 TRABALHO DE CAMPO

Os trabalhos de campo foram separados em duas etapas, com datas representadas na tabela 6.

- A primeira foi a etapa de inspeção da BHRE para primeiras evidências e comparação com dados secundários já obtidos pelos órgãos nacionais já citados. Foram utilizados o GPS, caderno de anotação e câmera fotográfica.
- A segunda foi etapa foi dividida em duas partes. A primeira para comprovação dos dados e para verificação da veracidade dos resultados preliminares. A segunda Para análise dos pontos de interesse para comprovação dos dados coletados e já previamente analisados.

Tabela 6 – Datas de realização dos trabalhos de campo e seu respectivo objetivo

CAMPOS	Data	Objetivo
Campo 1	14/09/2019-16/09/2019	Análise geral da área e coleta de dados primários
Campo 2	10/08/2020-14/08//2020	Correção de dados preliminares

2.2 COMPARTIMENTAÇÃO MORFOPEDOLÓGICAS E DEFINIÇÃO DAS TIPOLOGIAS

Os compartimentos morfopedológicos foram definidos com base nos critérios utilizados por Salomão (1999) e Castro e Salomão (2000). Foram utilizados os dados temáticos, em conjunto com a interpretação do MDE da BHRE, de tal forma que foram especificadas classes com suas respectivas aptidões, capacidade de uso e singularidades.

As tipologias foram definidas a partir das compartimentações geomorfológicas de maiores representatividades na bacia hidrográfica, seguidas dos divisores de águas e as respectivas subdivisões pelas características dominantes em cada compartimento. Essa ideia está aplicada em consonância com Ponçano et al; (1979), os quais orientam que as áreas adjacentes da área de pesquisa que apresentam peculiaridades físicas distintas entre si, podem ser separadas em “unidades de relevo” segundo suas próprias características, sendo fator também da caracterização da nomenclatura de cada unidade compartimentada. Além disso, Florenzano (2008) e Ponçano et al. (1979), afirmam que essas nomenclaturas devem estar de acordo com o padrão da escala adotada para o trabalho.

Desta forma, como o trabalho segue por um viés de detalhamento regional, as tipologias aqui adotadas adquirem aspectos de grande dimensão para cada compartimento. São elas: áreas rebaixadas sem uso explícito (1); áreas rebaixadas de relevo suavemente ondulado de uso predominantemente agropecuário (2); serras baixas com predominância de rocha exposta e inselbergs (3); serras elevadas de relevo ondulado com uso agropecuário (4); cimeiras com solo predominantemente litólico (5); cimeira com solo predominantemente regolítico (6); e, por último, a área elevada com característica montanhosa (7).

CAPÍTULO 3: MODELAGEM DO RELEVO EM BACIAS HIDROGRÁFICAS: Uma abordagem de semidetalhe por meio de técnica de Geoprocessamento na Bacia Hidrográfica do Rio Espinharas, PB, Brasil

A BHRE, apesar de ser uma sub-bacia do Rio Piranhas, sofre processo de formação estrutural diferenciada e está entre dois grandes domínios geológicos presentes na Paraíba, O Domínio Rio Grande do Norte e o Domínio Transversal, ambos separados pela Zona de Cisalhamento de Patos (SANTOS; FERREIRA; SILVA JR, 2002).

Em termos gerais, essa dimensão de estudo concentrada, principalmente, nas pesquisas de cunho morfoestrutural ratifica a atual condição da morfoestrutura da paisagem, que é condicionada pelos processos evolutivos que ocorreram na mesma, desde seus processos tectônicos aos processos de erosão que ocorrem na estrutura do relevo (geomorfologia) condicionadas pela litologia local. Dessa forma, o fator da estrutura física da paisagem e, conseqüentemente, os processos de evolução geológica e geomorfológica e demais elementos frutos de processos ocorridos nesta bacia hidrográfica, requerem atenção de seus fatos, porque os processos físicos naturais antecedem a ocupação e o desenvolvimento social e são elementos chave na modelagem do relevo e da paisagem na BHRE (CORRÊA et al., 2010; FARIAS 2012).

3.1.1 GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA

Os elementos geomorfológicos (Figura 5), assim como os geológicos (Figura 6), seguem uma hierarquia tanto dimensional como temporal, distinguindo a ordem estrutural a nível de escala geográfica, seguindo de suas maiores proporções, as províncias, adentrando às de menores dimensões, sub-províncias, terrenos geológicos, unidades geológicas e litologia, podendo ser de origens mais antigas no arqueano ao mais moderno ciclo temporal cenozoico.

No que diz respeito à BHRE, foi tomado como base para os estudos geológicos, o mapeamento feito pela CPRM de escala de 1:250.000 e o trabalho elaborado por Corrêa et al. (2010). Segundo Corrêa et al., (2010) a província aqui exposta é a da Borborema e esta abarca cerca de 4% do território nacional, sendo uma Estrutura de porte considerável na influência no controle dos eventos e processos de escalas mais locais. De acordo com Corrêa et al. (2010) e Santos et al. (2002), possivelmente, a região sofreu processos de soerguimento tectônico gradual, permitindo assim, o desenvolvimento de diversas feições morfológicas à medida que os processos de erosão/degradação, assim como os intemperismos são constantes, e estão

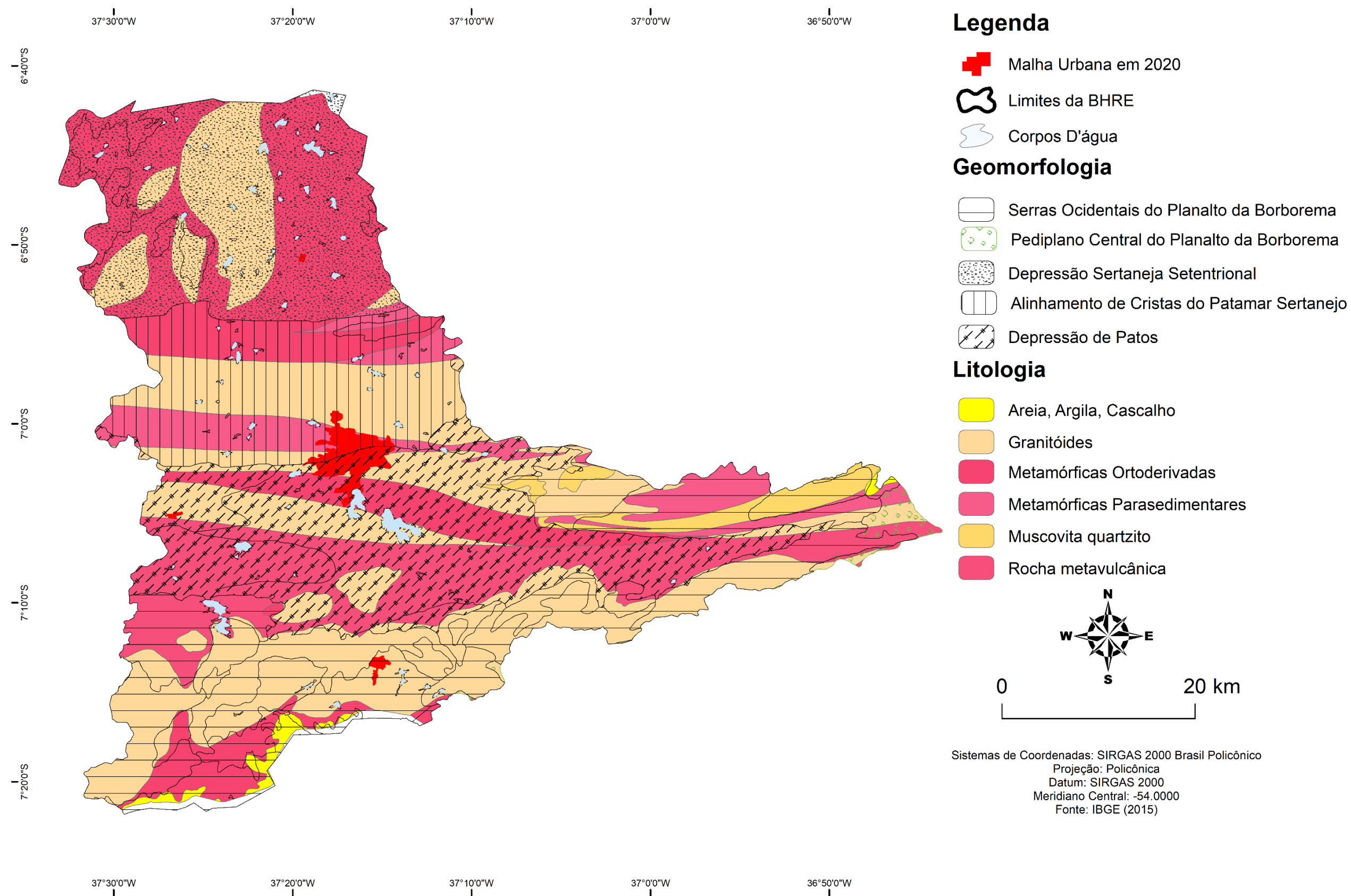
sempre em atuação, sendo em menor ou maior proporção (SANTOS et Al., 2002; CORRÊA, 2010).

Ainda Corrêa et al. (2010), afirmam que, nos entremeios da Borborema é possível observar corpos intrusivos de caráter graníticos, marcados e expostos por relevos residuais isolados, que estão elevados se comparados a superfície geral do Planalto da Borborema, que apresenta formas rebaixadas, como a Depressão Sertaneja e Depressão de Patos, marcadas por composições mineralógicas ricas em potássio e feldspato, facilitando processos morfogênicos recorrentes no semiárido (SANTOS et al., 2002; CORRÊA et al., 2010; TORRES e SILVA, 2016).

No que diz respeito aos domínios geológicos da bacia hidrográfica, há uma certa diversidade, embora estejam com limites bem próximos um do outro e com algumas semelhanças. O domínio Rio Grande do Norte (DRGN) é caracterizado, principalmente, por uma faixa turbidítica neoproterozóica, composta pela Faixa Seridó (FSE) e pelos terrenos Granjeiro (TGJ), São José do Campestre (TJC) e Piranhas (TRP). Estes possuem uma estrutura que, usualmente, têm maior teor de feldspato e plagioclásio, o que explica as superfícies mais trabalhadas pela ação da lixiviação e demais retrabalhamentos do relevo. Isso explica porque a maioria destes terrenos se encontram em porções menos elevadas, com exceções dos morros testemunhos (*inselbergs*) de maior resistência, com teores mais elevados de quartzo e mica (SANTOS, FERREIRA e SILVA JR, 2002; TORRES e SILVA, 2016).

O DRGN é limitado ao sul, nas proximidades do médio curso do rio Espinharas pela zona de cisalhamento (lineamento de patos), que praticamente divide o território paraibano em duas partes, seguindo a leste mais de 900 km até o continente africano, e a oeste pela zona de cisalhamento Portalegre, sendo melhores detalhados por Santos, Ferreira e Silva Jr (2002) no texto explicativo dos mapas geológicos e de recursos minerais do estado da Paraíba, elaborado pelo programa de levantamento geológico básico do Brasil do Ministério de Minas e Energia e executado pela CPRM.

Figura 5. Mapa de Geologia e Geomorfologia da Bacia Hidrográfica do Rio Espinharas.



Fonte: VASCONCELOS (2021).

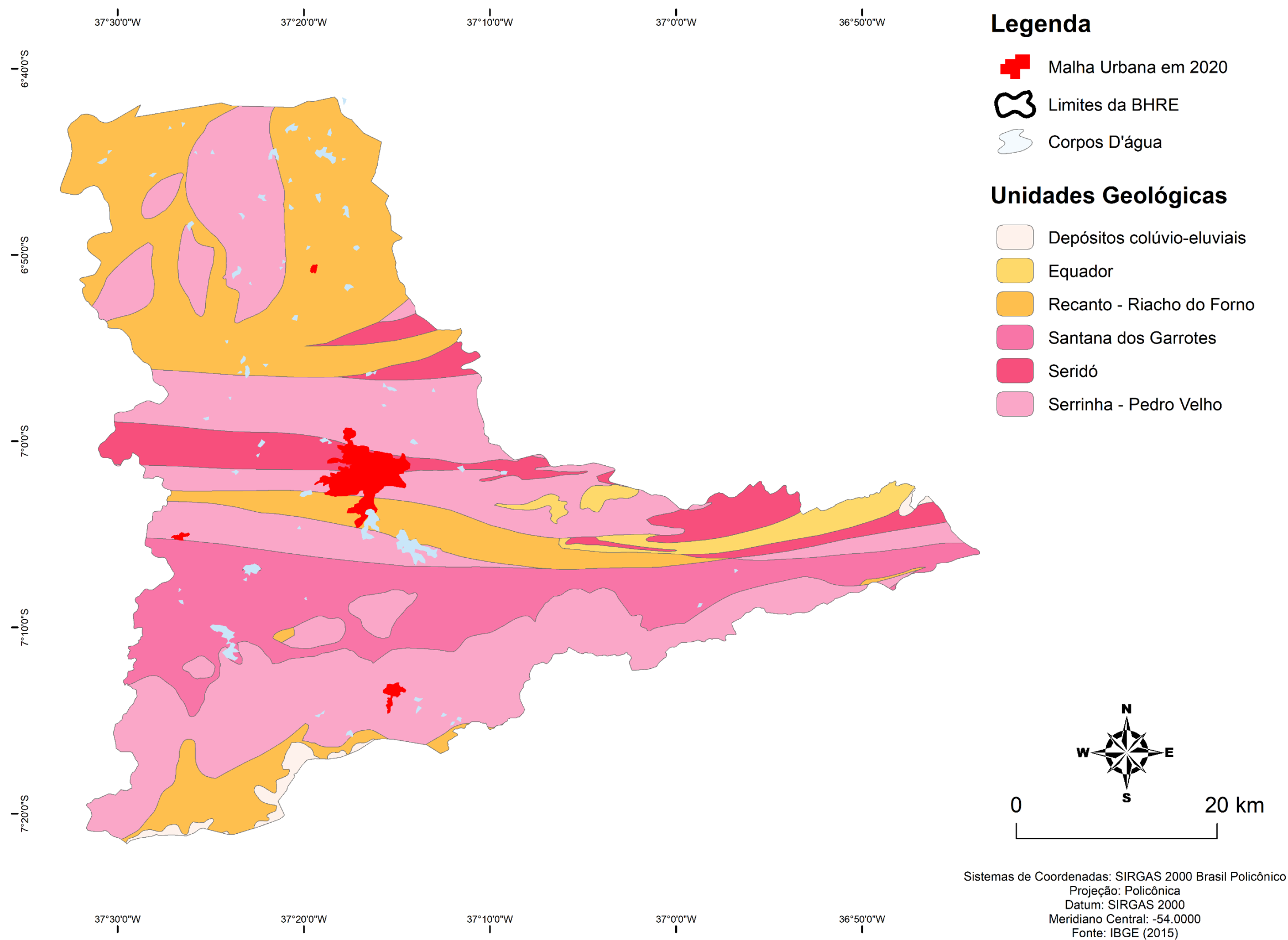
Na porção mais ao Sul da bacia do Rio Espinharas se encontra o Domínio Transversal. Esse domínio é compreendido por uma faixa (Piancó-Alto Brígida -FPB) e três terrenos (Alto Pajeú-TAP; Alto Moxotó-TAM; Rio Capibaribe-TRC), organizados em uma “Megaestrutura em Dominó”. Seus limites são marcados por zonas de cisalhamento, com TAP de origem Vulcano-sedimentar e TAM por rochas metassedimentares, complexos plutônicos e vulcânicos e o TRC de nappes cristalinas e turbidíticas. Tais características proporcionam a esse domínio uma certa resistência quando comparada aos terrenos à jusante da bacia hidrográfica do Rio Espinharas (SANTOS, FERREIRA e SILVA JR, 2002; TORRES e SILVA, 2016).

No tocante às unidades geológicas, a bacia hidrográfica do Rio Espinharas apresenta 18 Unidades (Caicó -1, Cobertura Detrito-Laterítica Neogênica-2, Equador-3, Granitóides Indiscriminados-4, Granitóide de Quimismo Indiscriminado-5, Itaporanga-6, Jucurutu-7, Máfica Intermediária-8, Poço da Cruz-9, Recanto-Riacho do Forno-10, Salgueiro-Riacho Gravata-11, Santana dos garrotes-12, Seridó-13, Serra dos Quintos-14, Serrinha-Pedro Velho-15, Serrita-16, São Caetano-17, Teixeira-Solidão-18). As unidades 1, 3, 9, 12 e 18 são as mais representativas e, por isso, estas serão discriminadas, pois representam, aproximadamente, 78% do território, como mostra a Figura 6.

A Unidade Caicó pode ser encontrada na parte centro-norte da bacia hidrográfica. Embora possua majoritariamente a litologia de tipo Ortognaissica, que apresenta uma coloração mais acinzentada com composição “tonalítica-trondhjemítica-granodiorítica” e em locais mais específicos, dentro do Complexo Granjeiro, xenólitos metamáficas e metraultramáficas, também é composta por granitoides, rochas metamórficas ortoderivadas em geral e parassedimentares. (SANTOS, FERREIRA e SILVA JR, 2002).

A Unidade Equador – NP3sec, localizada ao sudeste da bacia hidrográfica, encontra-se entre duas sub-províncias, sendo elas: a Faixa Seridó e Rio Grande do Norte. A NP3sec é, predominantemente, composta por muscovita quartzito de coloração esbranquiçada a creme e cinza, com granulação fina, média e foliação bem desenvolvida. Com sedimentação clástica de plataforma com aparições acima do embasamento paleoproterozóico e é datada com proximidades no período do Neoproterozóico Ediacarano.

Figura 6. Mapa de Unidades Geológicas da Bacia Hidrográfica do Rio Espinharas.



Fonte: VASCONCELOS (2021).

O Poço da Cruz, localiza-se ao norte da bacia, onde possui altitudes mais baixas em comparação à bacia do Espinharas. Datada do Paleoproterozóico Orosiano, é composta, principalmente, por biotita metagranitóide de textura augen gnaiss, com composição variada de quartzito monzolítica à manzongranítica, de frente curstal.

Santana dos Garrotes (NP2casg) é uma Unidade Geomorfológica, datada do período Neoproterozóico Criogeniano, composta por metarritimitos pelíticos e metaturbidíticos, além de, mesmo que em menor escala, rochas metavulcânicas básicas à acidada e rochas metapiroclásticas. Ainda possui, em seu entorno, algumas raras formações ferríferas.

Por fim das unidades mais representantes, segue a unidade Teixeira-Solidão (NP3(G)3ts). Esta, que é datada também do Neoproterozóico Ediacarano, é composta em sua maioria por granitoides, principalmente o shonítico, compreendendo quartzos monzolíticos e monzodioritos, biotita sienogranito leucocrático, piroxênio sienogranito e sieno leucorácitos.

Como reflexo dessa megaestrutura apresentada, assim como alguns aspectos essenciais para a compreensão geral da área, é possível observar uma certa consonância com os resultados e as devidas formas do relevo, com suas respectivas altitudes e declividades.

Torres e Silva (2016) definem 5 tipos de Unidades Geomorfológicas (Figura 5) para a bacia hidrográfica do Rio Espinharas, que são: Depressão Sertaneja; Depressão de Patos; Alinhamentos de Cristas do Patamar Sertanejo; Serras Ocidentais do Planalto da Borborema; Pediplano Central do Planalto da Borborema, com o acréscimo das Planícies Fluviais feita pelo autor.

As duas Depressões possuem certas similaridades, embora elas tenham seus limites abarcando os 2 domínios geológicos e a zona de cisalhamento. Sua estrutura litológica e composição mineral não se diferenciam tanto, estando elas a altitudes médias de 154 a 300 metros, contudo sem discrepâncias em suas declividades, com relevos planos (Figura 10), e algumas partes suaves onduladas e forte onduladas marcadas pelos inselbergs, morros e serras baixas e com cerca de 90% dessas depressões marcadas pelos relevos de superfícies aplainadas degradadas. (TORRES e SILVA, 2016; IBGE, 2007).

No tocante à Unidade de Alinhamento de Cristas do Patamar Sertanejo, ainda que possuam uma boa parte de relevo de superfícies aplainadas degradadas, é marcada pela numerosa exposição de inselbergs, alinhados ou não, principalmente de origens magmáticas e ricas em quartzo e mica, o que comparado às composições das rochas e sedimentos ao redor rico em

feldspato, propiciam uma maior resistência aos processos erosionais e degradacionais. Estes, que se encontram geralmente em altitudes de 500 metros nas cristas, mas no entorno uma média de 250 metros de altitude, obtém montanhosos e escarpados em suas cristas. Porém com sua parte majoritária ondulada e forte ondulada.

Na Unidade Geomorfológica Serras Ocidentais do Planalto da Borborema é a unidade com maior diferenciação altimétrica, assim como de declividade, possuindo uma discrepância de valores que vão desde 300 metros a 1186m, com declividades forte onduladas e montanhosas, caucionando uma maior probabilidade à erosão e à produção de sedimentos para as áreas mais baixas da bacia, assim como diferenciação paisagística propiciada pela probabilidade de mudança climática devido a hipsometria.

A Unidade do Pediplano Central do Planalto da Borborema abarca apenas uma pequena porção na parte sudeste da bacia hidrográfica, encontrando-se com altitudes de 551 a 650 metros com relevo plano e suave ondulado. Dando um caráter mais estável com relação as outras Unidades Geomorfológicas da Bacia Hidrográfica.

Afim de dar melhor visibilidade a morfologia da BHRE, foi feita representação 3D (Figuras 7 e 8) com perspectivas diferentes, além do mapa hipsométrico com as altitudes da bacia que vão de 81 a 1.190 metros (Figura 9).

Figura 7. Modelado 3D da Bacia Hidrográfica do Rio Espinharas com direção Norte a Sul.

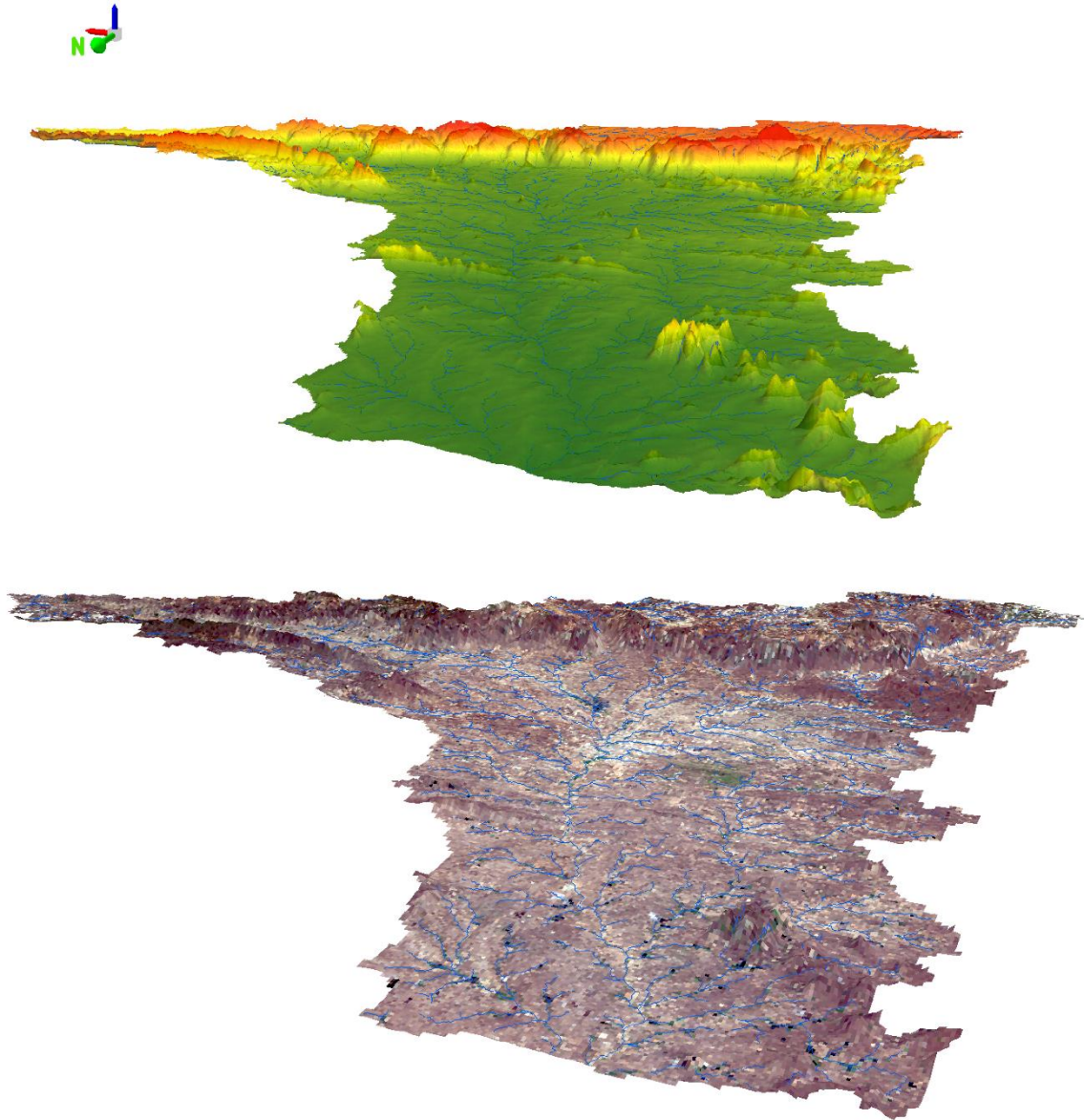


Figura 8. Modelado 3D da Bacia Hidrográfica do Rio Espinharas com direção Norte a Sul.

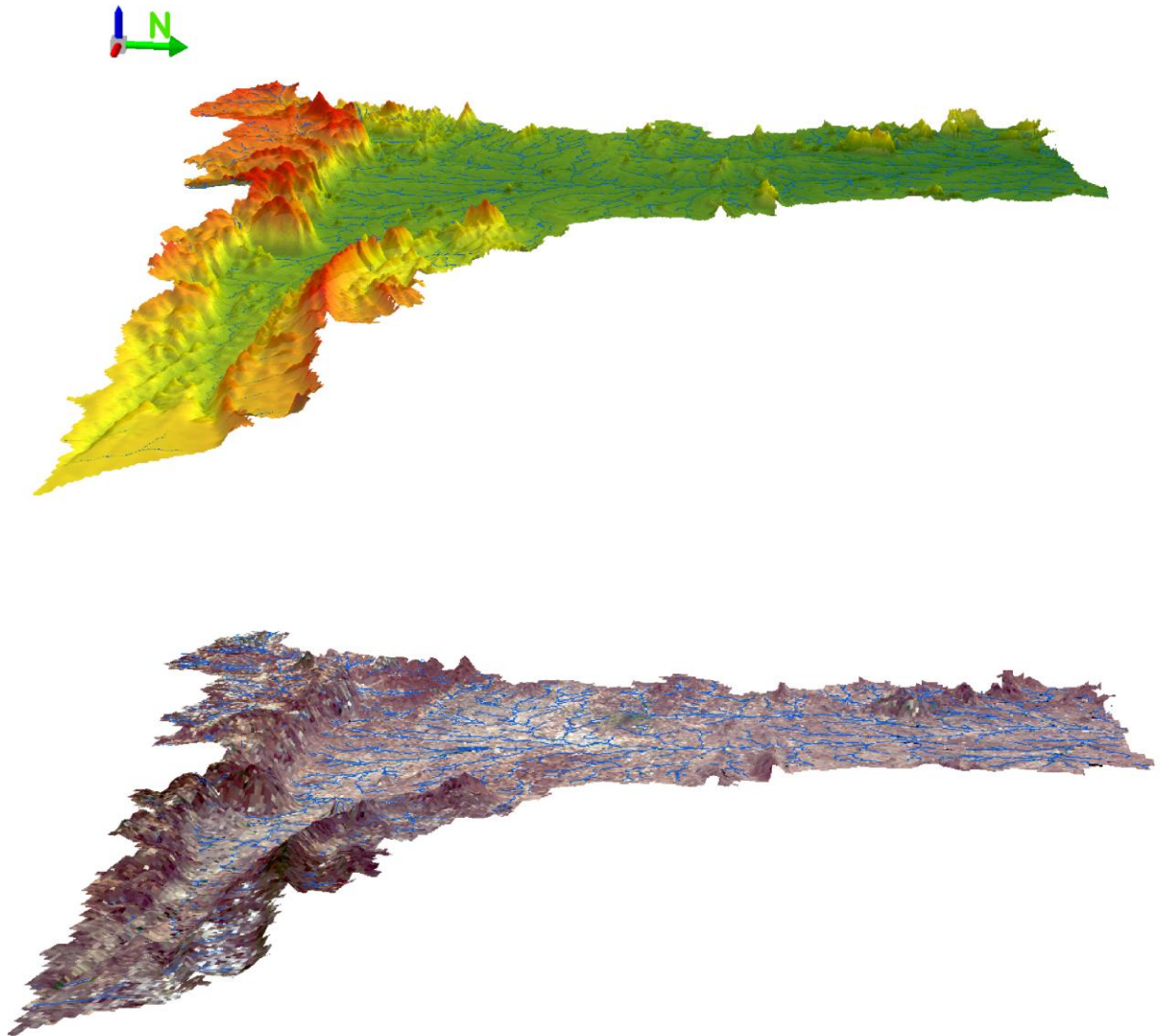
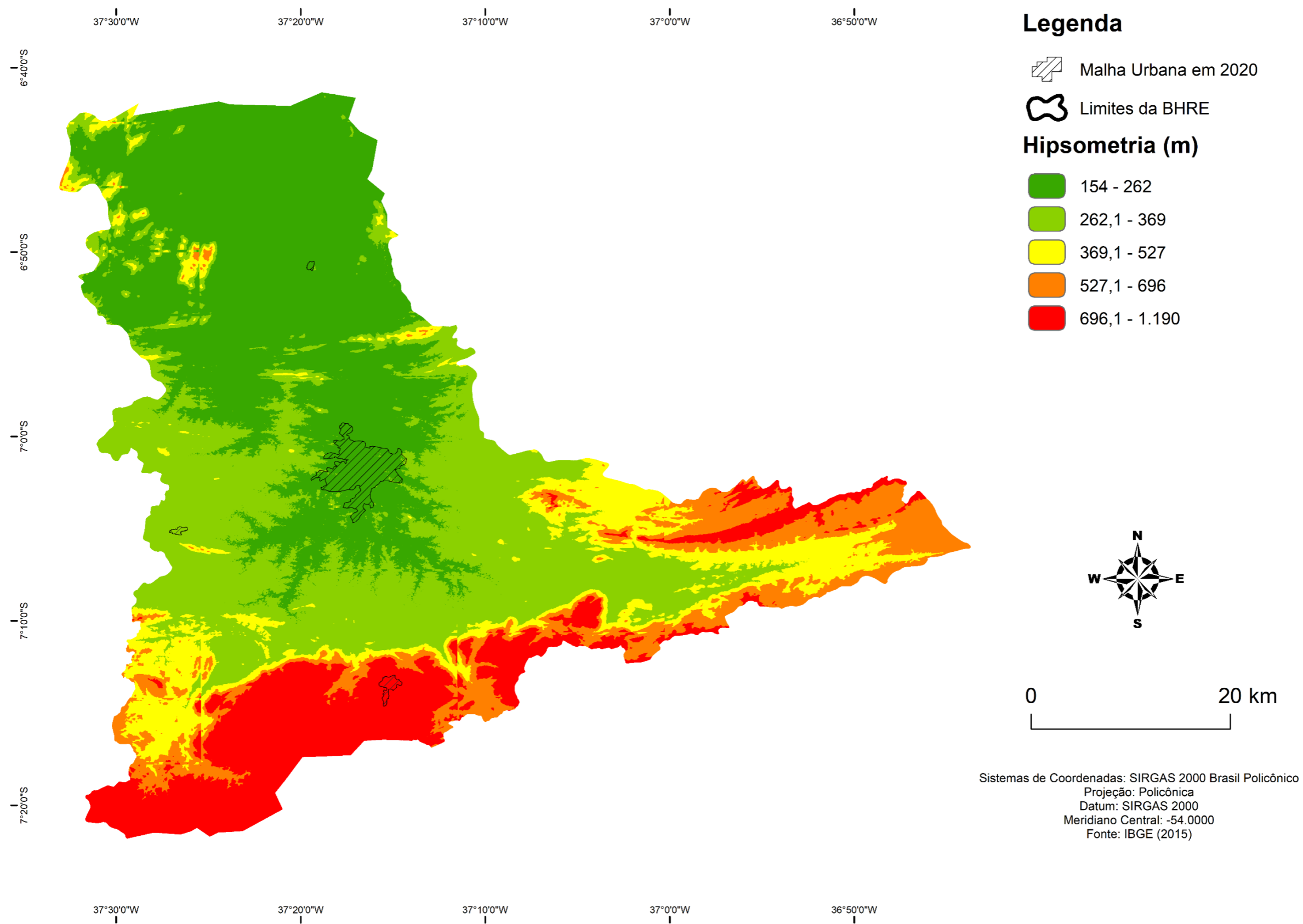
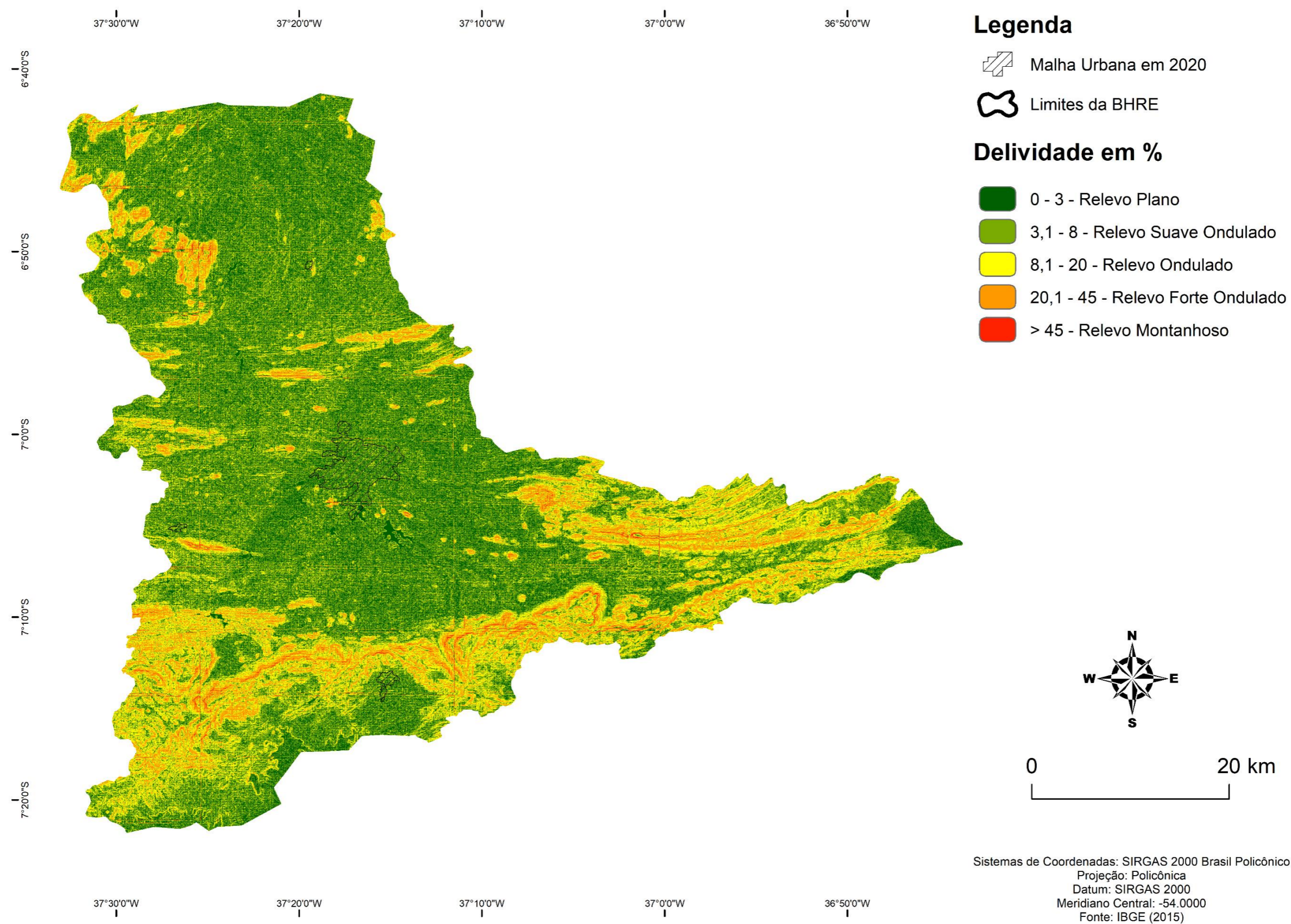


Figura 9. Mapa de Hipsometria da Bacia hidrográfica do Rio Espinharas.



Fonte: VASCONCELOS (2021).

Figura 10. Mapa de declividade da Bacia Hidrográfica do Rio Espinharas.



Fonte: VASCEONCELOS (2020).

3.1.2 SOLOS E VEGETAÇÃO

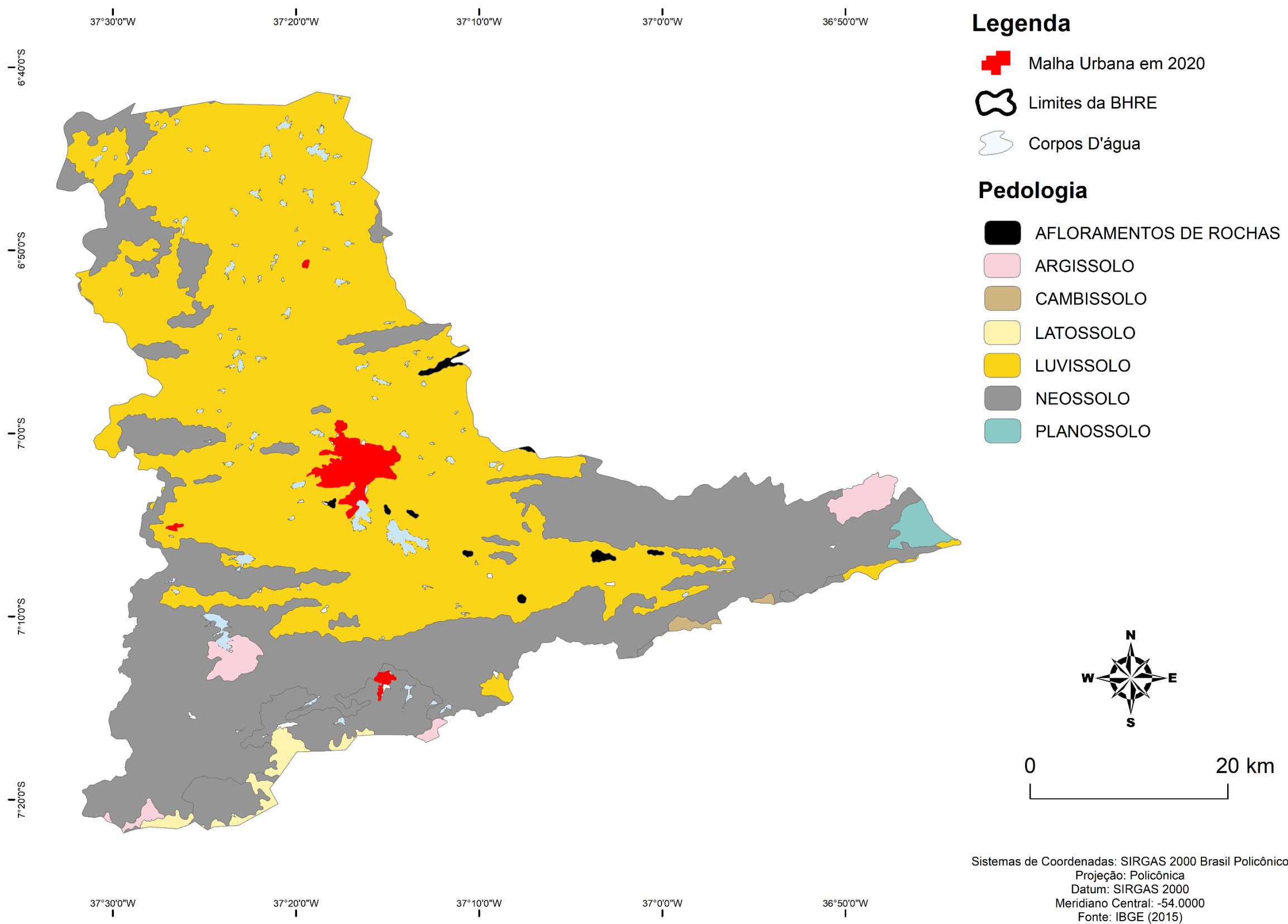
No tocante aos aspectos pedológicos (Figura 11), há falta de dados em escala de detalhe da BHRE. Por causa disto, foi utilizado como base para as análises o mapeamento do IBGE – EMBRAPA (1999) com retrabalhamento, realizado por meio de reamostragem de pixels de “vizinho mais próximo”, para o melhoramento do mesmo. Além disso, foi utilizado o trabalho de Silva et al. (2014) e os estudos disponibilizados pelo governo da Paraíba (2006) a fim de permitir análise mais adequada e eficiente.

Segundo o IBGE-EMBRAPA (1999) e Silva et al. (2014), a BHRE é composta, principalmente, por Luvisolos Crômicos e Neossolos Litólitos, os quais se espalham por todos os tipos de relevo e hipsometria. Contudo, mesmo que em menores dimensões, existem também Latossolos Vermelho-Amarelo, Cambissolos Háplico, Argissolo Vermelho, Neossolo Regolítico e Planossolo Nátrico, além dos afloramentos rochosos.

Os Luvisolos Crômicos se distribuem em, aproximadamente, 1.800 km² da bacia e são os solos predominantes. Esses apresentam coloração, geralmente, avermelhada ou amarelada com uma taxa de saturação por base elevada. Segundo o IBGE (2007), esse tipo de saturação corresponde aos solos eutróficos o que condiz com a característica de fertilidade do solo, ou seja, estes solos possuem alta fertilidade, precisando de bem menos adubação. Contudo, em locais como a BHRE tal propriedade acaba sendo limitada pela profundidade do solo. Dificilmente solos como esses ultrapassam um (1) metro de profundidade, o que explica o porte da vegetação que estes suportam: vegetações mais arbustivas e espaçadas (Figura 12). Estes tipos de solos ocorrem em lugares mais propícios ao estresse hídrico, que quase sempre apresentam pedregosidade média a alta na superfície, no caso, no horizonte mais elevado, dificultando o uso de máquinas agrícolas, com severas condições de compactação devido à criação de gado, que é frequente na região nordestina (TORRES e SILVA, 2016; EMBRAPA, 2019).

Os Neossolos Litólitos se concentram mais ao sul da bacia hidrográfica e se distribuem, aproximadamente, em 750 km², embora exista representação mínima nos entremeios dos luvisolos crômicos mais ao norte. Os neossolos são também rasos, chegando, aproximadamente, até 50 centímetros, com aparição em relevos mais declives, geralmente interligados à existência de morros e serras/cristas. Devido à pouca profundidade e à declividade apresentadas nos locais de ocorrência, os usos são bem limitados, até porque há grande propensão há erosões (IBGE, 2007).

Figura 11. Mapa Pedológico da Bacia hidrográfica do Rio Espinharas.



Fonte: Vasconcelos (2021).

Figura 12. Vegetação de Savana-Estépica Arborizada nas proximidades do ponto 5 de interesse.



Fonte: VASCONCELOS (2021). Foto tirada em 3 de Julho de 2020.

Embora exista uma gama de subdivisões dentro dos neossolos, os mais comuns na região da bacia do Espinharas são os Estróficos e Distróficos, os quais são caracterizados devido à litologia exposta em cada local (IBGE, 2007; EMBRAPA, 2019). Os neossolos regolíticos, possuem certas similaridades, além de também serem solos rasos, contudo possuem horizontes A e C com o contato lítico além dos 50 centímetros pós-superfície e uma composição de 4% em média de minerais alteráveis e 5% de fragmentos rochosos (IBGE, 2007).

Desta forma, os tipos de solos condicionam tanto a permanência quanto os diferencia em relação aos tipos de vegetação (figura 13), pois as vegetações necessitam de uma certa adaptação tanto radicular, quanto estrutural e morfológica. Assim, a partir do conhecimento de tais condições físicas, é possível orientar os tipos de vegetação existentes na área de estudo, levando em consideração que o relevo, declividade e os solos são fatores que, juntamente com o clima e os recursos hídricos (expostos no próximo tópico), são determinantes nos tipos de vegetação.

Em suma, na BHRE, os solos geralmente são marcados pela pequena espessura e profundidade, de modo que, em conjunto com o estresse hídrico, que segundo a AESA (2010) ocorre entre os meses de julho a dezembro, proporcionam a presença de vegetações mais arbustivas e/ou arbóreas mais espaçadas nas áreas mais planas ou suave onduladas. Todavia, nas partes mais elevadas e também nas de maiores declividades da BHRE, devido ao acúmulo de água ser maior, por causa dos escoamentos e infiltração da água, acabam por dar suporte a vegetações mais densas.

O Bioma predominante na área de estudo é denominado Caatinga, já descrito por muitos outros como Ab'Saber e reafirmado segundo SILVA, LIMA e MENDONÇA (2014). Contudo, será levado em consideração as nomenclaturas e distribuições elaboradas pelo manual técnico do IBGE de 2012, no qual eles apresentam a Savana Estépica Arbórea (SEA), Savana Estépica Florestada (SEF), Savana-Estépica Granumeno-Lenhosa e a Savana Estépica de Parque (SEP), considerando a agropecuária como um tipo de utilização ou de solo exposto (IBGE, 2012).

As Savanas Estépicas (Caatingas). possui grande parte composta por caducifólias, as quais perdem sua folhagem nos períodos mais secos para, assim, preservarem a água em seus organismos por mais tempo e, usualmente, apresentam estratos lenhosos e espinhosos (IBGE, 2012). Segundo Simões (2017), estas são as vegetações e/ou bioma mais “degradados pelo homem, devido às centenas de anos de uso inadequado e insustentável dos solos e dos seus recursos naturais” (SIMÕES, p. 18, 2017).

Corroboram com a pesquisa Silva, Lima e Mendonça (2014), pois identificam, por meio do estudo da cobertura da vegetação por NDVI no período de 10 anos (2000-2010), que o porte de adensamento, como o de aparição e de regeneração da vegetação não se modificou em maiores proporções, levando a crermos que o atual cenário de degradação da bacia Hidrográfica do Rio Espinharas já é de longa data ou até mesmo do acúmulo dos usos não sustentáveis pela população sertaneja. No entanto, isso pode ter sido também reflexo da falta de rigor de políticas de ordenamento do território de governos passados.

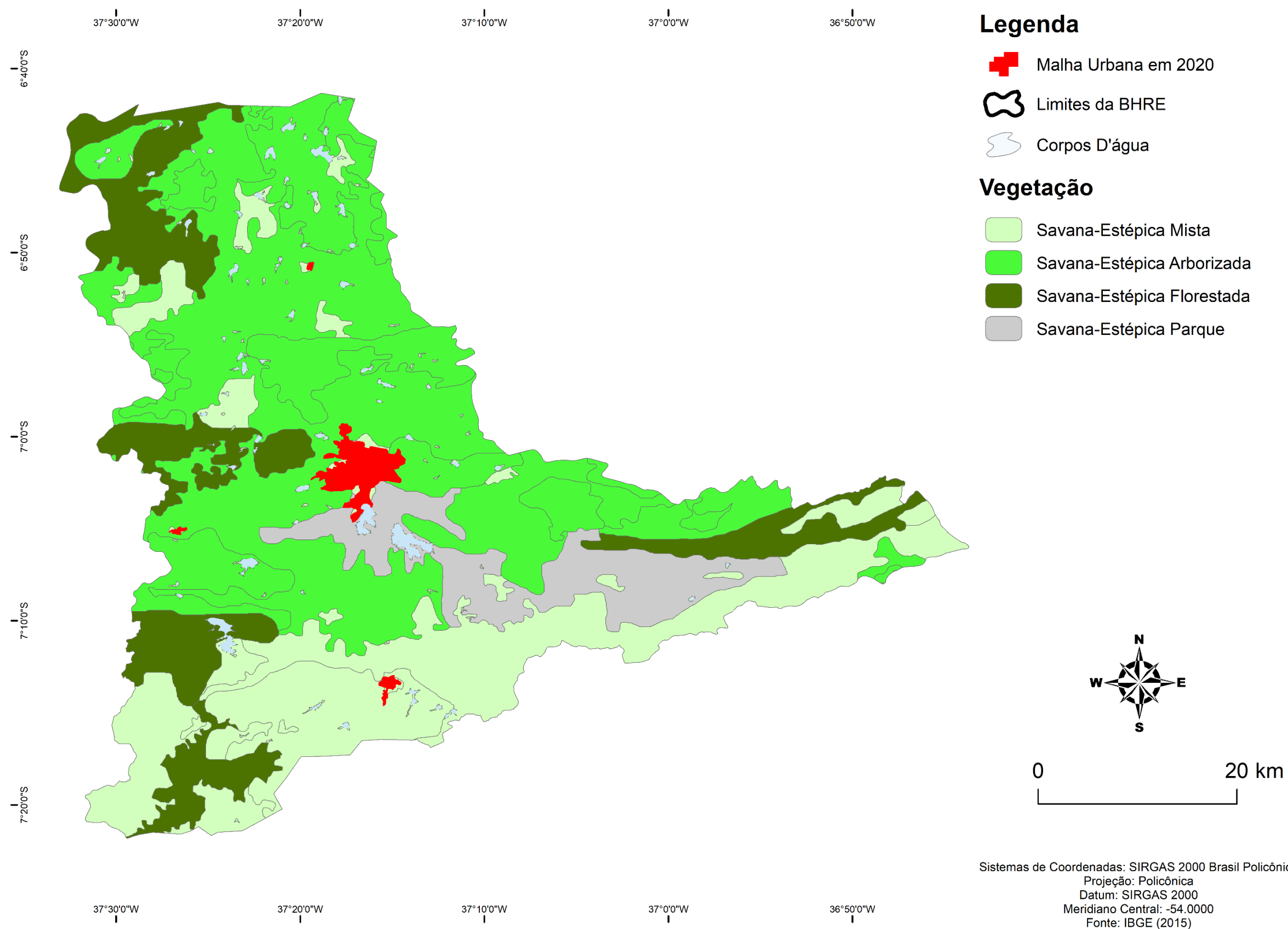
Esse tipo de vegetação decidual e/ou semidecidual é composta, principalmente, por caducifólias e cactáceas e se distinguem pelos muitos mecanismos que apresentam para resistir ao estresse hídrico constante (BARRETO e BARBOSA, 2001; SIMÕES, 2017). Sendo assim, seguem as devidas características das classificações da vegetação na área de estudo, segundo os dados secundários disponibilizados pelo IBGE (2012).

A SEA é caracterizada principalmente por um estrato de predominância de nanofanerótifas, que possui períodos decíduos com meio termo de adensamento de troncos grossos e um segundo estrato de gramíneas-lenhosas, “descontínuas e de pouca expressão fisionômica” (IBGE, p. 121, 2012)

A SEF é caracterizada também por dois importantes estratos principais, sendo eles o Arbustivo-Arbóreo esparso e um gramíneo-lenhoso mais adensado. Já a SEP é caracterizada por fisionomias arbustivas e árvores de menor porte, sendo elas mais esparsas, e com um pseudo-ordenamento de espécimes lenhosas herbáceas e gramíneas (IBGE, p. 125, 2012).

Embora as vegetações de grande porte (geralmente nas áreas florestadas) demandem uma boa profundidade de solo para seu pleno desenvolvimento radicular, as condições dos solo, geralmente, são sobrepostas por camadas orgânicas, principalmente nas áreas mais próximas às serras, áreas de declividade acentuada, ou nas áreas mais elevadas pois, usualmente, recebem maior quantidade de umidade e/ou são capazes de armazenar mais águas em seus sopés, propiciando algumas atipicidades na região semiárida (SIMÕES, 2017; SILVA, LIMA e MENDONÇA, 2014).

Figura 13. Mapa de fitofisionomias vegetais da Bacia Hidrográfica do Rio Espinharas.



Fonte: VASCONCELOS (2021).

Vale salientar que a vegetação é um importante fator tanto para a manutenção do ciclo hidrológico, como para a manutenção e a composição dos solos. Esta, por meio de seu adensamento, forma uma espécie de “guarda-chuva” impedindo o contato direto entre as águas provenientes da precipitação e o solo, evitando assim o efeito “splash”, que deixa o solo nessas regiões com maiores propensões ao acúmulo de água e, conseqüentemente, evitando em parte os processos erosionais ocasionados pelo escoamento superficial. Sendo assim, onde a cobertura vegetal se encontra mais esparsa e com menor porte de cobertura, a precipitação entra em contato direto com o solo, o que proporciona o efeito “splash”, compactando o solo e aumentando a possibilidade do escoamento superficial nas terras secas que, em conjunto da má utilização do solo e a criação bovina desgovernada, pode chegar a nível de quase impossibilitar os processos de infiltração (QUANSAH, 1981).

Além da resistência do solo à erosão das chuvas e dos fluxos d'águas, Operstein (2000, ainda apresenta uma lista de estudos prévios que analisam a capacidade radicular nesta tarefa, além de auxiliar na manutenção do ciclo hidrológico (GRAY, 1987; WALDRON e DAKESSIAN, 1981; OPERSTEIN; FRYDMAN, 2000).

3.1.3 CLIMA E RECURSOS HÍDRICOS

No tocante ao clima, a BHRE é considerada, segundo a classificação de Koppen, como árida (CORRÊA, 2010; FELIX, 2015), e se mantém com temperaturas médias de 27° C nos meses de junho-dezembro e 25°C nos meses de janeiro-abril. Isso ocorre, principalmente, pelo estresse hídrico entre os períodos de julho a dezembro em tais regiões do semiárido paraibano (FRANCISCO e SANTOS, 2017). Os regimes de precipitação se dão principalmente de formas torrenciais e concentradas em poucos dias ou meses, beneficiadas ou sofrendo diversos agravamentos de acordo com os muitos mecanismos de circulação atmosférica atuantes na região (FELIX, 2015; FRANCISCO e SANTOS, 2017).

A precipitação é algo essencial no ciclo hidrológico e de vital importância para os aspectos climáticos em geral, evolução e dinâmica da paisagem, assim como a manutenção da vida. Com isso, uma análise sobre o clima e precipitação na bacia hidrográfica do rio Espinharas pode nos ajudar a compreender a composição da feição atual da paisagem local, além de nos possibilitar inferir sobre os recursos hídricos.

No nordeste brasileiro, e não diferentemente no semiárido paraibano, segundo Francisco e Santos (2017), existem alguns mecanismos que possibilitam o aumento ou diminuição das precipitações, como a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), Vórtice Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN), os distúrbios de Leste, ou alguns de mecanismos de interferência global como o El Niño (EM) e La Niña(LN).

Pode-se observar que, de acordo com o CPTEC/INPE (2019), os eventos de El Niño (EM) e La Niña (LN) são bem expressivos na configuração da precipitação no nordeste brasileiro. Isso é visível na tabela 7, a qual mostra diretamente os índices de precipitação recolhidos pelos postos da AESA, possibilitando inferir sobre dados nos períodos pré e pós eventos de alta magnitude, e nas tabelas de ocorrência tanto do EM como da LN (FELIX, 2015; FRANCISCO E SANTOS, 2017).

Há também que se levar em consideração que, nos meses onde os dois principais eventos (EM e LN) se encontram com um certo padrão de nível moderado ou fraco, os índices podem ter sido diretamente afetados pelos outros mecanismos de ordem menor que os aqui citados (FRANCISCO e SANTOS, 2017).

Juntamente com os dados já expostos, a precipitação média anual da BHRE presente na figura 12 demonstra a relação dos índices pluviométricos com os eventos de EM e LN, ao expor todos os anos de atuação desses mecanismos globais atmosféricos. Pode-se ver que, logo após os eventos de EM, em 1997-1998, 2002-2003, 2006-2007, assim como os outros, houve uma diminuição, às vezes até drástica na precipitação (mm) média anual da BHRE, e logo após os eventos de LN 1997-1998, 1999-2000, 2007-2008 e 2010-2011 houve uma significativa resposta à concentração pluviométrica.

Em geral, podemos observar dois picos extremos de precipitação na bacia durante esse recorte histórico: no ano de 2009 há uma das maiores descargas d'água na bacia, e no ano de 2012 os menores índices pluviométricos. Com exceção dos anos de 1994,1997, 1999, 2000 e 2008, os demais meses se mantiveram próximos da mesma faixa de precipitação, ou seja, houve um certo controle nos padrões dos mecanismos globais de circulação atmosférica.

Tabela 7. Precipitação média anual entre 1994 e 2015 dos municípios da BHRE em mm³.

	Cacimbas de Areia	Mãe d'água	Passagem	Patos	Salgadinho	Santa Luzia	Santa Teresinha	S. Jose do Espinharas	Teixeira
1995	769,4	901,8	671,0	719,8	742,6	652,8	1041,2	578,0	884,6
1996	671	718,2	675,6	1011,1	429,8	490,8	985,4	697,2	762,7
1997	627,2	665,2	541,9	670,6	414,8	623,8	648,9	531,6	689,8
1998	428,3	205,4	181,4	256,4	135,1	71,2	331,9	62,4	335,9
1999	911,6	633,7	604	722,8	294,1	270,4	986,4	580,4	794,3
2000	694,4	554	550,8	708,3	450,2	433,3	884,5	454	899,2
2001	406,6	474,2	525,2	436,9	410,6	235,2	495,6	516,4	564,4
2002	745,3	915,3	468,8	770,6	562	471,4	112,8	797,5	939,4
2003	530,8	751	294,6	543,5	403,7	234	637	357,2	717,4
2004	814,4	947,4	978,5	746,5	805,3	703,8	1061,4	966,7	1090
2005	552,4	520	607,9	771,3	544,1	445,4	928	659,5	810,8
2006	879,8	589,8	968,2	867,5	655,2	637,8	1046,4	729,5	1142,8
2007	493,2	612	503,1	594,2	376,4	450,2	642,5	644,9	694,6
2008	1064,5	911,7	924,3	1365,7	962	876	1248,2	1442,4	1131
2009	1292	952,5	1145,5	1394,3	807,4	805,8	1486,3	708,6	1497,6
2010	669,5	562	607	595,4	620	546,4	713	140,1	700,8
2011	809,4	806,1	860,3	888,9	722,3	653,2	886	805,1	970,3
2012	91,6	129,5	116	199,1	85,6	118,8	265,9	119,1	177,6
2013	384,2	443,2	331,1	379,6	215,9	220,1	690,9	340,3	549,2
2014	719,5	689,8	392,1	983,8	287,2	384,9	1030,2	910,7	981
2015	296,3	400	299,5	495,7	413,1	357,1	318,4	565,2	398
Média	668,1	656	596,1	738	500,3	475,2	796,5	615,5	782,5

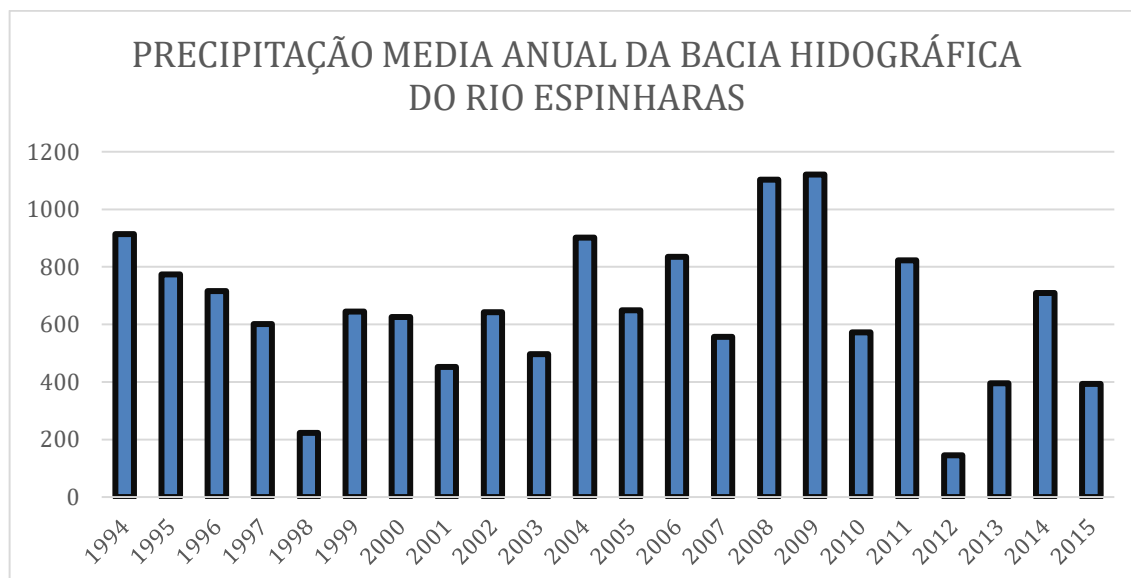
Figura 14. Gráfico de precipitação média anual da Bacia Hidrográfica do Rio Espinharas em mm³.

Tabela 8. Ocorrências de El Niño no período estudado. Fonte: CPTEC/INPE.

	1992-1993	
	1997-1998	
	2002-2003	
	2006-2007	
	2009-2010	
	2015-2016	
Forte	Moderada	Fraca

Tabela 9. Ocorrência de La Niña no período estudado. Fonte: CPTEC/INPE.

	1998-1999	
	1999-2000	
	2007-2008	
	2010-2011	
Forte	Moderada	Fraca

Os dados brutos nos proporcionam uma boa consideração a respeito da precipitação e do clima. Contudo, para dar maior relevância a tais inferências sobre os dados, assim como, discutir a validade deles como exposto nos processos metodológicos, foi utilizado o IAC. A partir dos cálculos dos IACs, é possível observarmos uma boa correlação entre os resultados obtidos e a quantidade de precipitação disponível nos postos de coletas, ratificando assim os resultados das anomalias causadas na bacia hidrográfica ao longo dessa série histórica. Estes dados foram devidamente sumarizados na tabela 10.

Tabela 10. Ano e respectivos Índices de Acumulação de Chuvas.

ANO	IAC
1994	3,88
1995	1,82
1996	0,97
1997	-0,71
1998	-6,29
1999	-0,08
2000	-0,36
2001	-2,92
2002	-0,10
2003	-2,26
2004	3,70
2005	-0,01
2006	2,74
2007	-1,37
2008	6,66
2009	6,92
2010	-1,13
2011	2,54
2012	-7,44
2013	-3,75
2014	0,87
2015	-3,77

Pode-se inferir, portanto, que os dois anos extremamente chuvosos, 2008 e 2009, realmente apresentam as maiores precipitações da bacia hidrográfica, seguido dos anos de 1994, 2004 e 2011 que se encontram no eixo de valores de 2-4, sendo considerado, então, anos muito úmidos. Entre os intervalos de 0-2 se encontram apenas 3 anos. Os 14 anos que restam vão de secos a extremamente secos, ou seja, a maior parte do tempo essa área de captação se encontra realmente sobre o clima árido. É importante salientar que esse indicador considera apenas o índice de precipitação, contudo o clima e as condições áridas não se dão apenas pelas precipitações, mas sim do resultado final da diferença da precipitação pela evapotranspiração, a qual no semiárido, em muitos casos, superam as chuvas. Com efeito, tem-se mais uma representação da realidade local para inferirmos sobre as condições hídricas e que também são parâmetros para identificação de terras secas (FELIX, 2015; FRANCISCO e SANTOS, 2017).

O IAC da BHRE (Figura 15) também mostra que há uma certa irregularidade na pluviometria, dificultando sua atuação como agente principal estabilizador na hidrologia do rio Espinharas. A falta dessa água reflete diretamente nas condições locais de utilização do solo, ou até mesmo nas condições de captação de água para utilização pessoal.

A partir da descrição detalhada dos elementos condicionantes para o regime climático da bacia hidrográfica em questão, é possível se obter uma compreensão sobre seus recursos hídricos, sejam eles superficiais ou subterrâneos, haja vista que a precipitação, geologia e geomorfologia tendem a direcionar a disposição dos recursos hídricos, assim como sua disponibilidade no sistema.

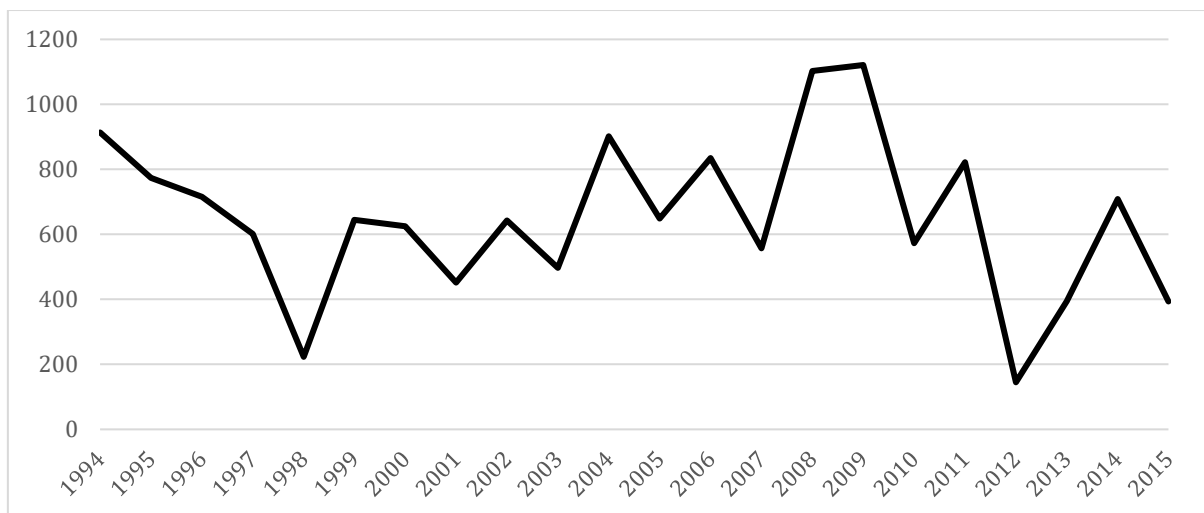
Tendo em vista que o embasamento da bacia em questão é praticamente todo composto por uma geologia de predomínio cristalino, é possível afirmar que esta possui já um potencial de armazenamento d'água reduzido, que concomitantemente com os eventos torrenciais, logo após um prolongado regime de estiagem, favorece o aparecimento de rios com vazões temporárias e expondo características hidrológicas diferentes para cada etapa do ano.

Contudo, as regiões compostas por uma camada mais espessa de pedimentos, principalmente nas depressões, assim como nas áreas de sopés e encostas das serras, há tendência a um maior acúmulo de água, fornecendo água por um período de maior extensão temporal (LUNGUINHO, 2018).

A bacia do Rio Espinharas, embora seja uma sub-bacia do Rio Piranhas, compreende uma importante área, tendo em vista que é uma das principais drenagens de abastecimento hídrico no sertão paraibano, compreendendo uma área de aproximadamente 2940 km² na

Paraíba e continuando com aproximadamente mais 200 km² na porção do Rio Grande do Norte, onde entra em contato com o Piranhas-Açu.

Figura 15. Índice de Acumulação de Chuvas na BHRE entre os anos de 1994 e 2015.



Fonte: CPTEC/INPE.

A bacia, segundo a AESA (2019), possui também uma área de captação considerável, sendo importante para o abastecimento de pelo menos 14 municípios, com aproximadamente 170 mil pessoas, das quais 100.695 vivem no município de Patos. Há também 7 açudes principais, responsáveis por boa parte do abastecimento hídrico da BHRE: Bastiana, Capoeira, Farinha, Jatobá 1, Sabonete, São Francisco 2 e Riacho das moças. Juntos, eles compreendem uma capacidade total de 111.262,731 m³ de água, porém, nem sempre essa capacidade total está toda disponível ou até mesmo em boas condições para a utilização. Atualmente, só há 35,51 % dessa capacidade preenchida, o que é um tanto preocupante para os processos de aplicação de políticas públicas e recomposição de recursos hídricos da região.

O açude Bastiana possui capacidade máxima de 1.271,560 m³ e se encontra com apenas 19,92% de seu reservatório preenchido e é o principal responsável pelo abastecimento do município de Teixeira, assim como o Açude Sabonete, Riacho das Moças e o São Francisco 2. O Sabonete tem a menor capacidade dentre eles, com apenas 1.271,560 m³ e encontra-se com apenas com 0,12% de sua capacidade máxima. O Riacho das Moças possui capacidade máxima de, aproximadamente, 6.413.411 m³ e está com 12,27% de sua capacidade máxima. Já o São Francisco 2 possui 4.920.000 m³ e está com 14,86 % de sua capacidade (AESA, 2019).

Os açudes que estão no município de Teixeira são os que estão nas posições mais elevadas se comparados aos demais, o que reflete diretamente em maiores probabilidades de condições climáticas mais úmidas e, conseqüentemente, menor evapotranspiração, assim como maior probabilidade de chuvas orográficas, ou seja, mesmo que não sejam os açudes de maiores magnitudes, eles tendem a passarem mais tempo com seus volumes estáveis. Outro aspecto relevante é que por estarem em posições mais elevadas, o deslocamento hídrico se torna mais fácil para os demais açudes, além de que podem se tornar um recurso de vital importância para o planejamento e o desenvolvimento dos municípios vizinhos, que não possuem reservatórios ou outras condições de emergências.

O açude Capoeira é o açude de maior capacidade na Bacia do Espinharas. Possui, aproximadamente, 53.450.000 m³ e é o principal responsável pelo abastecimento de Santa Teresinha e de outros municípios, caso haja a necessidade. Atualmente ele se encontra com 27,42% de sua capacidade (8.096.185m³) disponível (AESAs, 2019).

Por fim, embora os açudes Jatobá 1 e Farinha não possuam a dimensão do açude Capoeiras, os dois juntos são responsáveis pelo abastecimento para o maior adensamento populacional da bacia hidrográfica. Ambos se encontram no município de Patos, nas proximidades das áreas urbanas. O Farinha possui capacidade máxima de 25.738.500 m³ e possui atualmente 69,86% de sua capacidade preenchida. O Jatobá 1 possui 17.516.000 m³ e está com 29,09% de sua capacidade (AESAs, 2019).

Esses açudes são os principais mantenedores dos recursos hídricos da bacia, haja vista que os rios atuantes são todos intermitentes e passam de 7 a 9 meses sem lâminas d'água propriamente ditas. Por isso, tais reservatórios são considerados os principais provedores para planos de contingências ou em algum caso de extrema necessidade hídrica (AESAs, 2019).

No entanto, em virtude dos rios passarem parte do ano sem fluxo d'água, existem demasiadas migrações de gados e caprinos na região, o que resulta na dispensa de muita matéria orgânica (fezes e demais resíduos), assim como dispensas de produtos químicos provenientes da própria agricultura local. Conseqüentemente, quando ocorrem os eventos torrenciais de precipitação, o fluxo d'água tende a carregar todos esses dejetos para a sua zona de acumulação (as barragens), tornando assim as águas nem sempre passíveis de serem diretamente utilizadas (AESAs, 2019).

Portanto, a precipitação, os 3 principais rios da bacia (Riacho do Saco, Farinha e Espinharas) e os açudes da região são os principais recursos hídricos dessa bacia. Todos esses

elementos são importantes e devem ser levados em consideração para um plano de atuação de zoneamento voltado ao planejamento e gestão ambiental, juntamente com os demais elementos ambientais físicos-naturais existentes.

3.1.4 USO E COBERTURA DA TERRA

O mapa de uso e cobertura da terra da BHRE, ano base 2019 (Figura 16) e o cálculo das áreas realizados em ambiente SIG (Tabela 8), observou-se, que a área de estudo possui uma área urbana relativamente pequena, com um percentual significativo de solo exposto com vegetação rasteira bem espessada (15,57%). Boa parte dos solos expostos está perto de perímetros urbanos, ou próxima das áreas menos elevadas, caracterizando locais de acúmulos de água ou de leito de rios.

Essa porcentagem de solo exposto na BHRE mostra uma intensa conexão entre o exposto pelo IBGE (PAM; PPM) e o estudo feito por Matias (2019), em que o mesmo expõe um aumento de degradação vegetacional na evolução do padrão do NDVI entre as décadas de 1990 e 2010, principalmente, nas depressões da BHRE.

Os dados do PAM de 2018, apontam que a BHRE possui 10.687 hectares de terra plantada, aproximadamente 106,87 km², entre áreas de cultivo permanente e temporário (Tabelas 12 e 13), ou seja, aproximadamente a quarta parcela da área total dos solos expostos. Por meio dessas tabelas é possível também observar que a área destinada à colheita temporária é, aproximadamente, 98 km² maior que a colheita permanente. Isso se deve, principalmente, à questão do estresse hídrico que ocorre na região, de forma que os agricultores não conseguem manter o mesmo tipo de cultivo o ano todo, e também às colheitas que, geralmente, são feitas para suprir sustento básico de vida (SIMÕES, 2017; IBGE, 2018).

Tabela 11. Área e percentual das Classes de Uso e Cobertura da Terra para o ano de 2019 da Bacia Hidrográfica do Rio Espinharas.

Classes	Área (km ²)	%
Caatinga Arbórea Fechada	373,67	12,92
Afloramento Rochoso	110,00	3,80
Solo Rochoso	597,77	20,67
Afloramento Rochoso Com presença de Caatinga Aberta	579,10	20,02
Caatinga Arbustiva Arbórea Fechada	482,25	16,68
Vegetação rasteira espaçada intercalada com solo exposto	450,29	15,57
Caatinga Arbustiva Aberta	222,56	7,70
Perímetro Urbano	53,21	1,84
Corpos D'água	23,06	0,80
Total	2.892	100

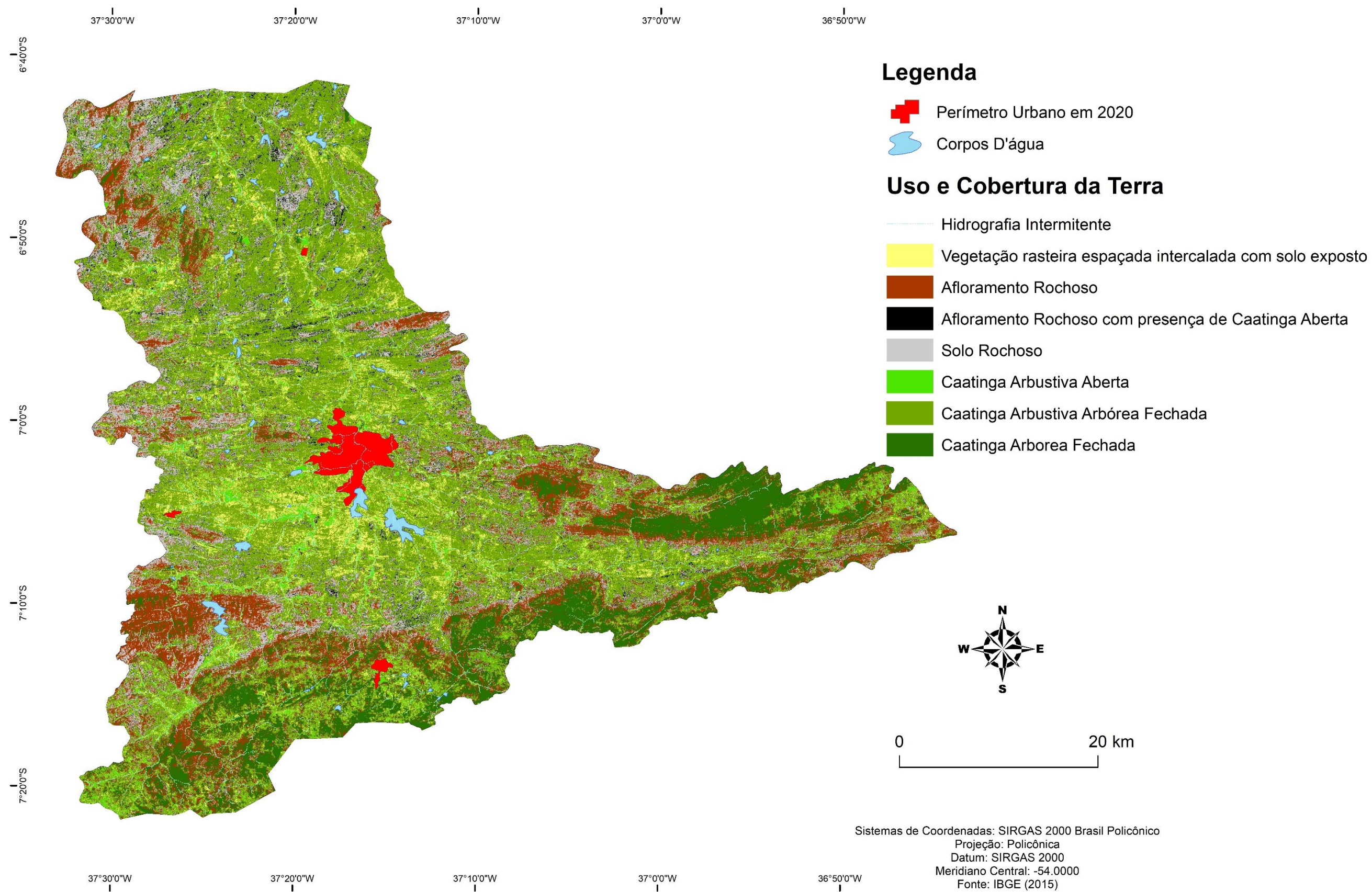
Além disso, é possível também destacar o percentual significativo de Caatingas Arbustivas, abertas e fechadas. Verifica-se 24% de Caatinga Arbustiva proporcionada, principalmente, pelas próprias características de solo e clima da região da BHRE e do uso da terra para criação ou cultivo, de forma que a vegetação não é capaz de alcançar seu ápice de desenvolvimento.

Tabela 12. Área de produção agrícola permanente para o ano de 2018 da Bacia Hidrográfica do Rio Espinharas.

MUNICÍPIOS	Área destinada à colheita (HECTARES)	Área em km ²
Areia de Baraúnas	13	0,13
Assunção	25	0,25
Cacimbas	21	0,21
Cacimba de Areia	6	0,06
Mãe d'Água	28	0,28
Passagem	2	0,02
Patos	19	0,19
Quixaba	-	-
Santa Teresinha	47	0,47
São José de Espinharas	13	0,13
São José do Bonfim	11	0,11
Salgadinho	30	0,30
Santa Luzia	14	0,14
Teixeira	172	1,72
Total	401	4,01

Fonte: IBGE - Produção Agrícola Municipal (PAM).

Figura 16. Mapa de Uso e Cobertura da Terra da Bacia Hidrográfica do Rio Espinharas (2019).



Fonte: VASCONCELOS (2021).

É perceptível que esse tipo de vegetação está, predominantemente, nas partes menos elevadas da BHRE, com relevo plano ou suavemente ondulado. Nesses locais, segundo o IBGE (2010), verifica-se a maior concentração populacional da BHRE.

É possível, a partir do mapa, também visualizar que, com relação aos perímetros urbanos, praticamente só foram considerados 4 municípios, e que a maior parcela do perímetro urbano descartado faz parte do município de Patos. Os demais municípios da BHRE são considerados rurais, ou os que possuem algum tipo de calçamento são muito pequenos (Figura 12) para serem considerados em uma análise de pixel da imagem do S2.

As delimitações de Caatinga Arbórea Fechada ocupam 373 km² da bacia, cerca de 12,92 % da BHRE. Essa classe é marcada, principalmente, pelas partes mais altas da BHRE (acima de 600 metros) e nas áreas onde a declividade se encontra forte ondulado ou montanhoso. O alto declive impossibilita, em parte, a utilização dessas áreas para o plantio devido às dificuldades técnicas para esse propósito. Embora os solos na região não sejam tão profundos nas porções montanhosas e altas, o clima semiúmido e também o escoamento superficial e lateral das encostas, disponibilizam à vegetação um ambiente passível de desenvolvimento. Também são nesses ambientes onde a maior parte da fauna de maior porte e selvagem se encontra na BHRE, justamente pelo difícil acesso, assim como pelo não uso e/ou interesse antrópico.

São nas áreas mais altas da BHRE, onde há uma certa proporção de Caatinga Arbórea maior e também com afloramentos rochosos elevados, que se encontra o considerado ponto mais alto da Paraíba, o “Pico do Jabre” (Figura 17, 18 e 19), localizado no município de Maturéia. Ainda que este seja, de algum modo, um ponto turístico visitado por muitos, não existe uma política de apoio às atividades turísticas na região, nem pelos municípios próximos, nem por parte do estado. Este poderia ser um ponto de apoio e desenvolvimento às populações dos municípios menores, e que de alguma forma agregaria valor ao patrimônio geográfico cultural da Paraíba.

Tabela 13. Área de produção agrícola temporária para o ano de 2018 da Bacia Hidrográfica do Rio Espinharas.

Municípios	hectares	Área colhida (km ²)
Areia de Baraúnas	371	3,71
Cacimba de Areia	654	6,54
Mãe d'Água	514	5,14
Passagem	301	3,01
Patos	484	4,84
Quixaba	412	4,12
Santa Teresinha	530	5,30
São José de Espinharas	715	7,15
São José do Bonfim	291	2,91
Cacimbas	1748	17,48
Teixeira	2140	21,40
Salgadinho	811	8,11
Santa Luzia	710	7,10
Assunção	605	6,05
Total	10286	102,86

Figura 17. Fotografia retirada no Pico do Jabre com direção ao norte da BHRE com vistas para a Depressão de Patos.



Fonte: VASCONCELOS (2021). Foto tirada em 4 de Julho de 2020.

Figura 18. Fotografia com vista da porção leste da BHRE a partir do Pico do Jabre.



Fonte: VASCONCELOS (2021). Foto tirada em 3 de Julho de 2020.

Figura 19. Fotografia com imagens do município de Maturéia, a partir do Pico do Jabre.



Fonte: VASCONCELOS (2021). Foto tirada em 3 de Julho de 2020.

3.2 COMPARTIMENTAÇÃO MORFOPEDOLÓGICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ESPINHARAS.

A partir dos mapas temáticos e da interpretação da paisagem, em conjunto com a observação de Modelo Digital de Elevação (MDE), foi possível realizar a delimitação de compartimentos morfopedológicos para a BHRE (Figuras 20 e 21). Nesta compartimentação, foram diagnosticados sete compartimentos do relevo, com características físicas homogêneas, cada qual com suas singularidades para a aptidão ao uso e planejamento, analisados em conjunto com os dados fornecidos pelo SICAR das propriedades e imóveis rurais da região, pois são as unidade territoriais de melhor escala disponível.

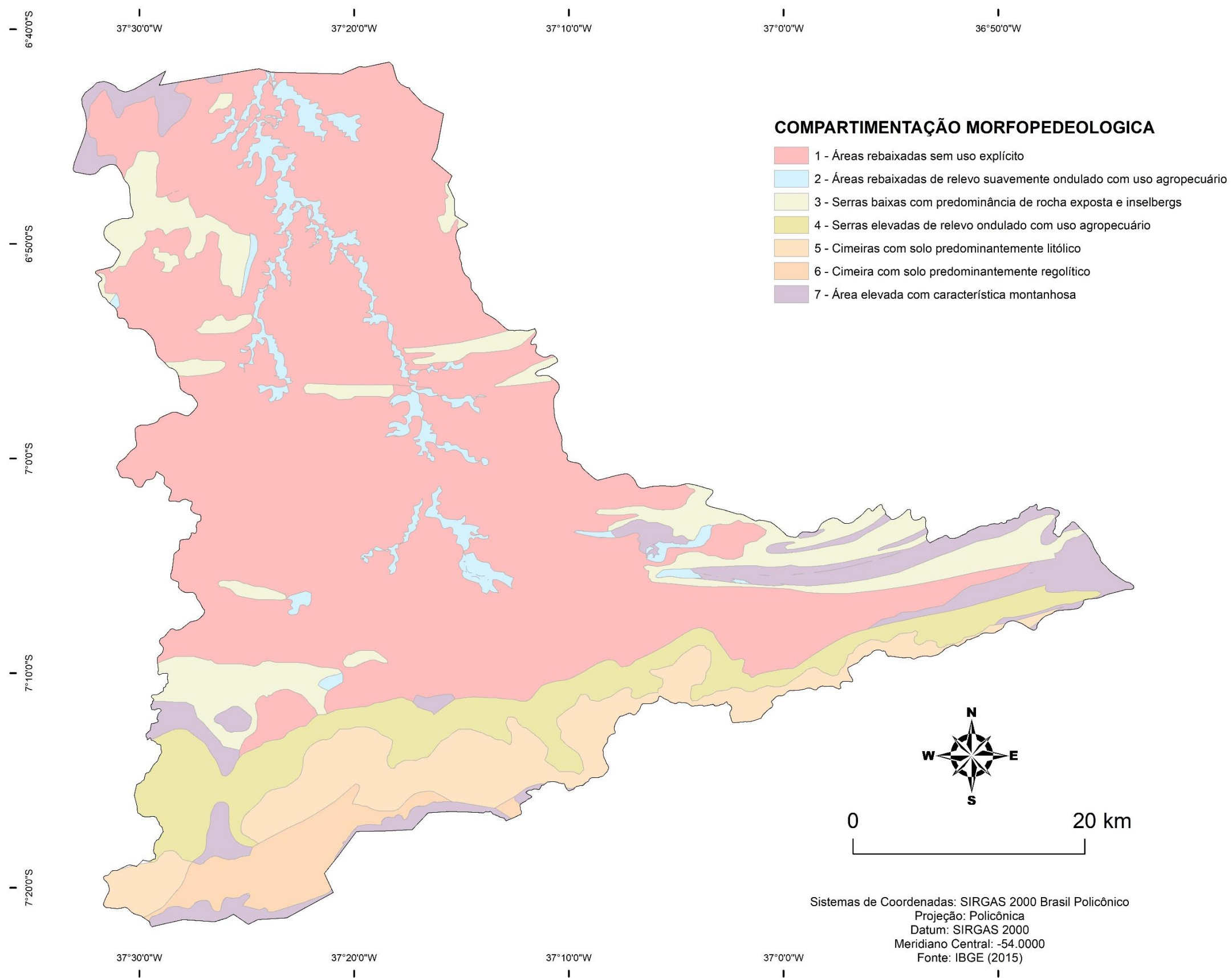
No tocante as propriedades rurais da BHRE cadastradas no SIGEF/INCRA (Figura 22), há aproximadamente 261.626,76 de hectares já cadastrados, ou seja, aproximadamente 2.616 km² e 79% da bacia (Tabela 14).

Tabela 14. Áreas de Imóveis consolidadas.

Município	Modulo Fiscal (ha)	Menor propriedade (ha)	Maior Propriedade (ha)	Tamanho médio	Desvio Padrão
Areia de baraúnas	60	1,17	465	36,65	64,55
Assunção	55	0,46	1.356,7	52,62	134,04
Cacimba de Areia	55	0,24	1.971,61	39,24	154,76
Cacimbas	40	0,079	194,32	9,22	18,02
Mãe D'água	40	0,26	292,43	25,31	44,35
Passagem	60	0,1	583,92	50,41	96,84
Patos	55	0,033	2.624,13	48,33	155,89
Quixabá	55	0,12	407,41	42,23	64,64
Salgadinho	55	0,66	1711	39,08	126,14
Santa Luzia	55	0,078	1.061,9	60,27	101,34
Santa Teresinha	55	0,25	2.582,28	90,96	310,17
São José do Espinharas	55	0,19	2.717,88	134,5	348,3
São José do Bonfim	55	0,038	872,42	36,41	72,83
Teixeira	40	0,106	630,71	11,87	32,68

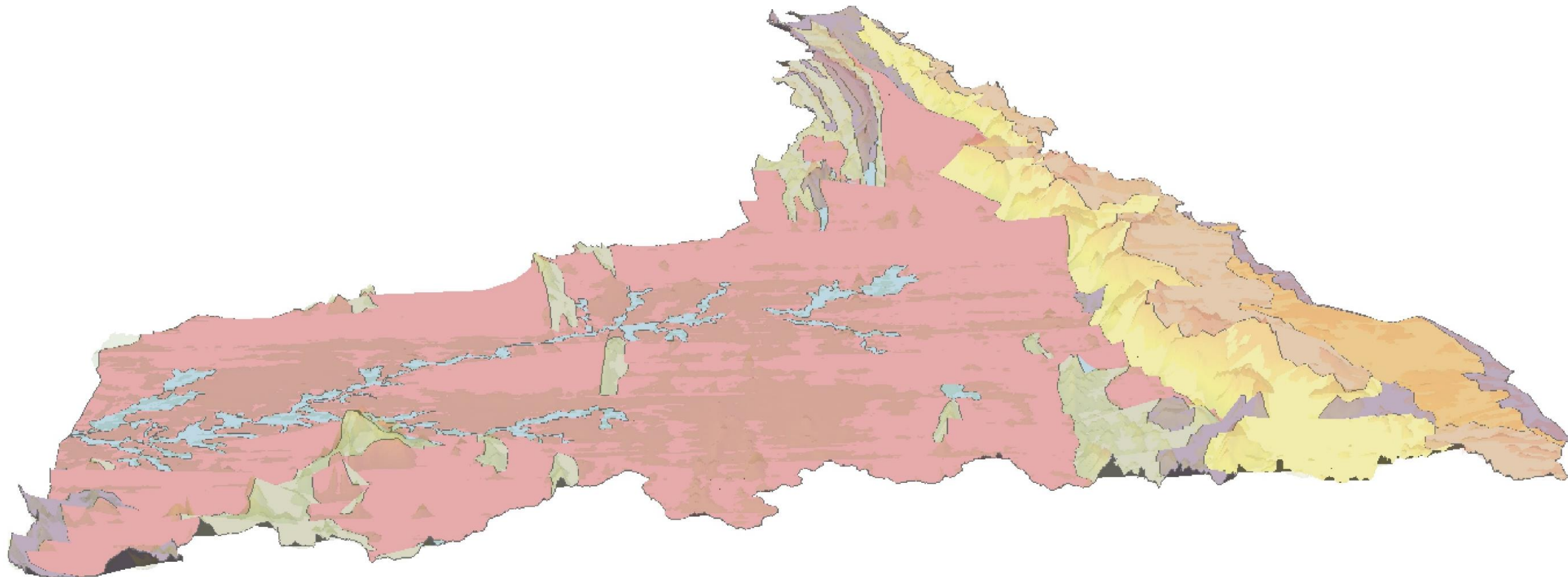
Fonte: SIGEF (INCRA)

Figura 20. Mapa de Compartimentos Morfopedológicos da Bacia Hidrográfica do Rio Espinharas.



Fonte: VASCONCELOS (2021).

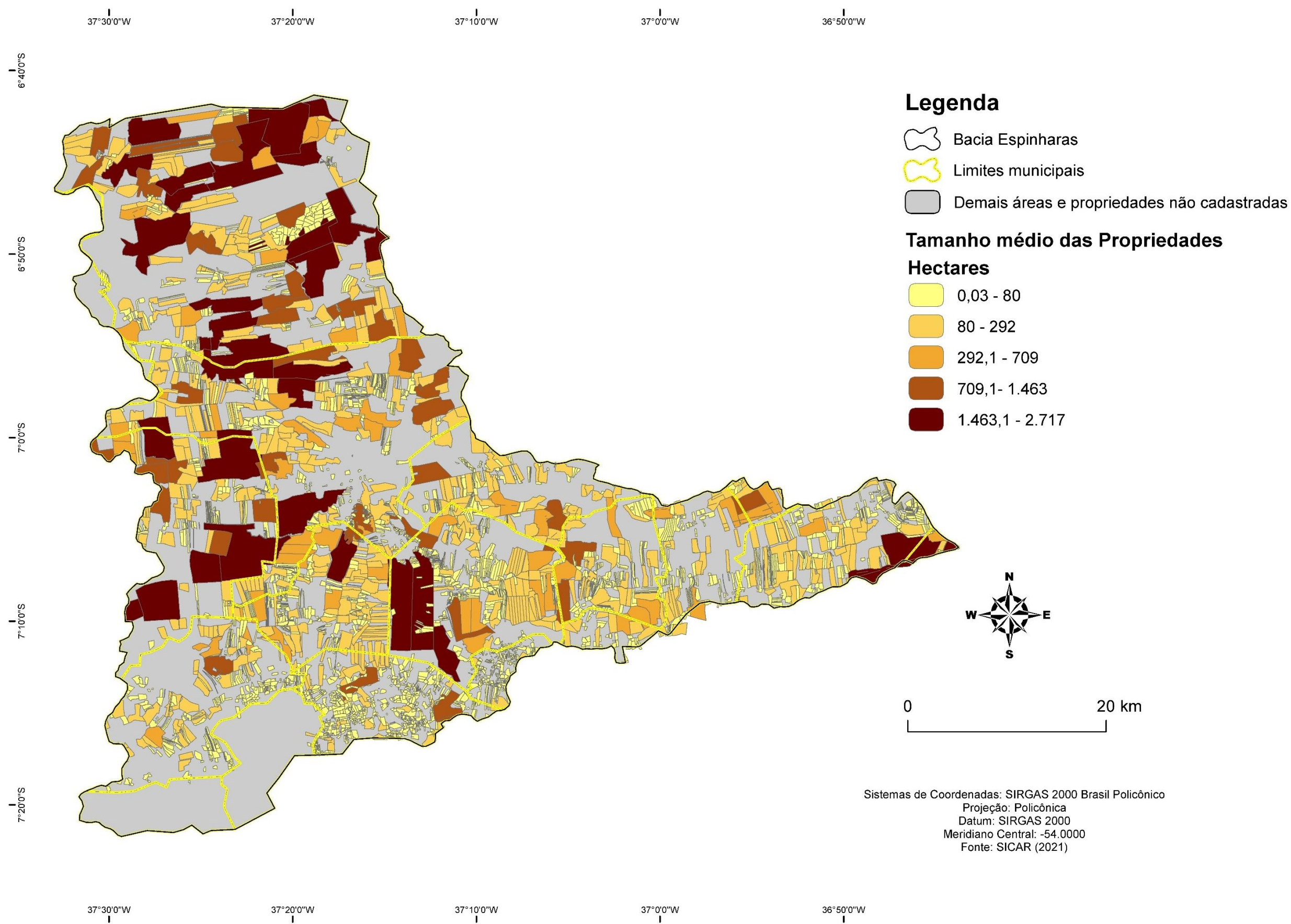
Figura 21. Compartimentos Morfopedológicos em visualização 3D sombreado.



Legenda: 1 2 3 4 5 6 7

Fonte: VASCONCELOS (2021).

Figura 22. Mapa de distribuição das áreas de imóveis consolidadas na Bacia Hidrográfica do rio Espinharas.



A unidade 1 – Áreas rebaixadas sem uso dinâmico (Figura 23) – possui área aproximada de 1.919,24 km² (65,28% do território da BHRE), e é localizada nas menores altitudes da bacia, de 156 a 369 metros, com os menores valores de declividades, sobre as depressões de Patos e a Sertaneja e Alinhamentos de Cristas.

Essa unidade, no tocante ao uso e ocupação, é limitada pela profundidade do solo e estresse hídrico, de forma que, a maior parte dessa unidade seja coberta por vegetação de caatinga espaçada e utilizada, praticamente, para a criação extensiva de caprinos e gados.

Esse tipo de utilização também é espelhado nas propriedades e na espacialização dos imóveis rurais cadastrados, é nessa unidade que se apresenta as maiores propriedades bacia, com propriedades até com 2.717 hectares, e também com maior média de módulo fiscal da BHRE (~53ha), sendo sua maioria composta por módulos fiscais de 55 ha. Contudo essa proporção não é padrão para toda a unidade como mostra a figura 24 e a tabela 15 já relatada .

A taxa de evapotranspiração, segundo Francisco; Santos (2017), é elevada, de modo que os solos permanecem secos e com altas temperaturas na maior parte do ano, devido à exposição constante ao sol, dificultando o crescimento arbóreo da vegetação. Desse território, aproximadamente 1643,04 km² é coberto por Luvissolos e 276,2 km² de Neossolos, e apresenta riscos à erosão, principalmente linear e laminar, sem riscos de desabamentos ou quedas de blocos de rochas.

No tocante à geologia, o compartimento 1 é composto pelas unidades Recanto-Riacho do Forno, Santana dos Garrotes e Seridó e apresenta maior parte de composição metamórfica parassedimentares e ortoderivadas com presença também de granitóides.

Figura 23. Unidade 1 - Áreas rebaixadas sem uso dinâmico.

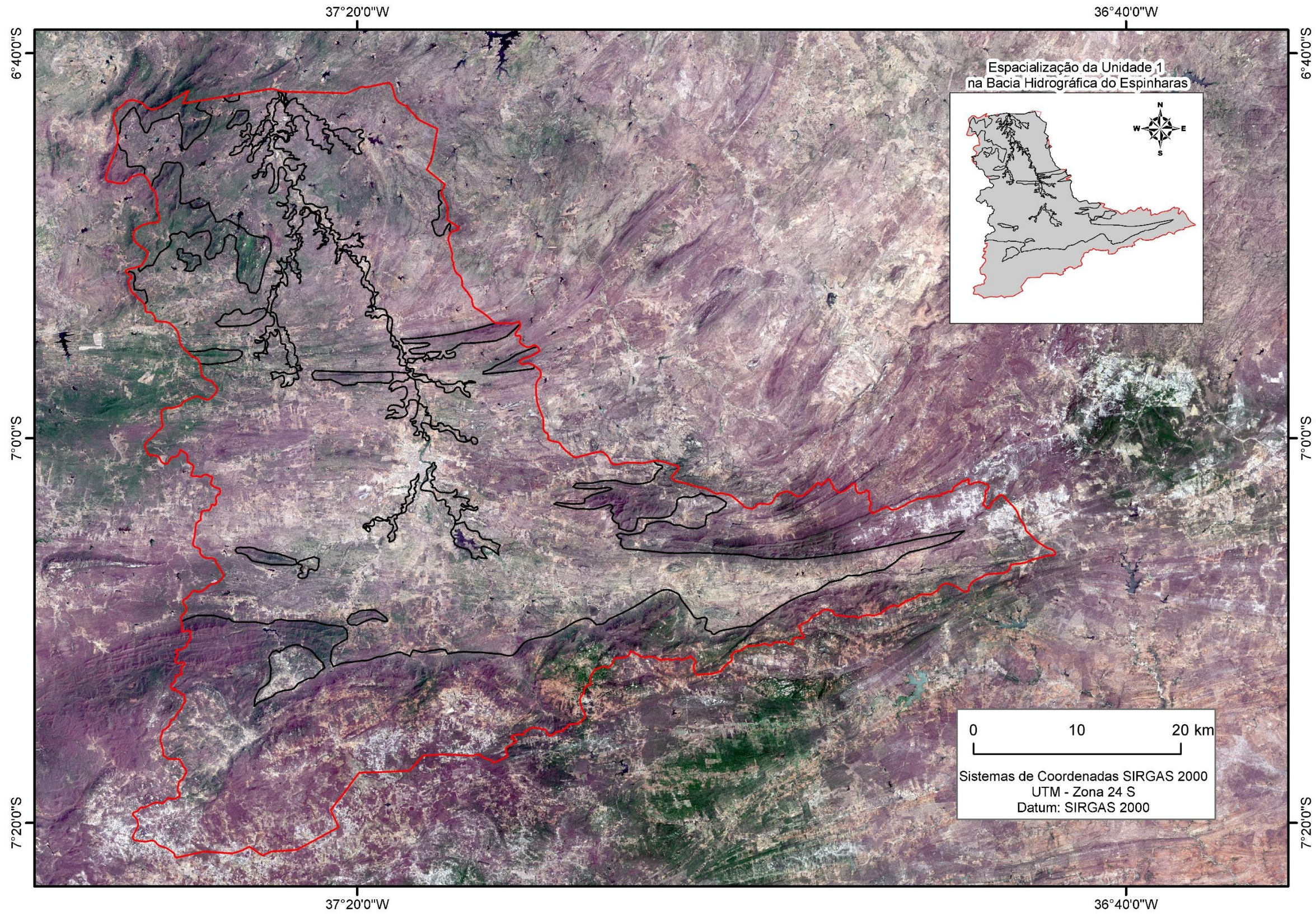
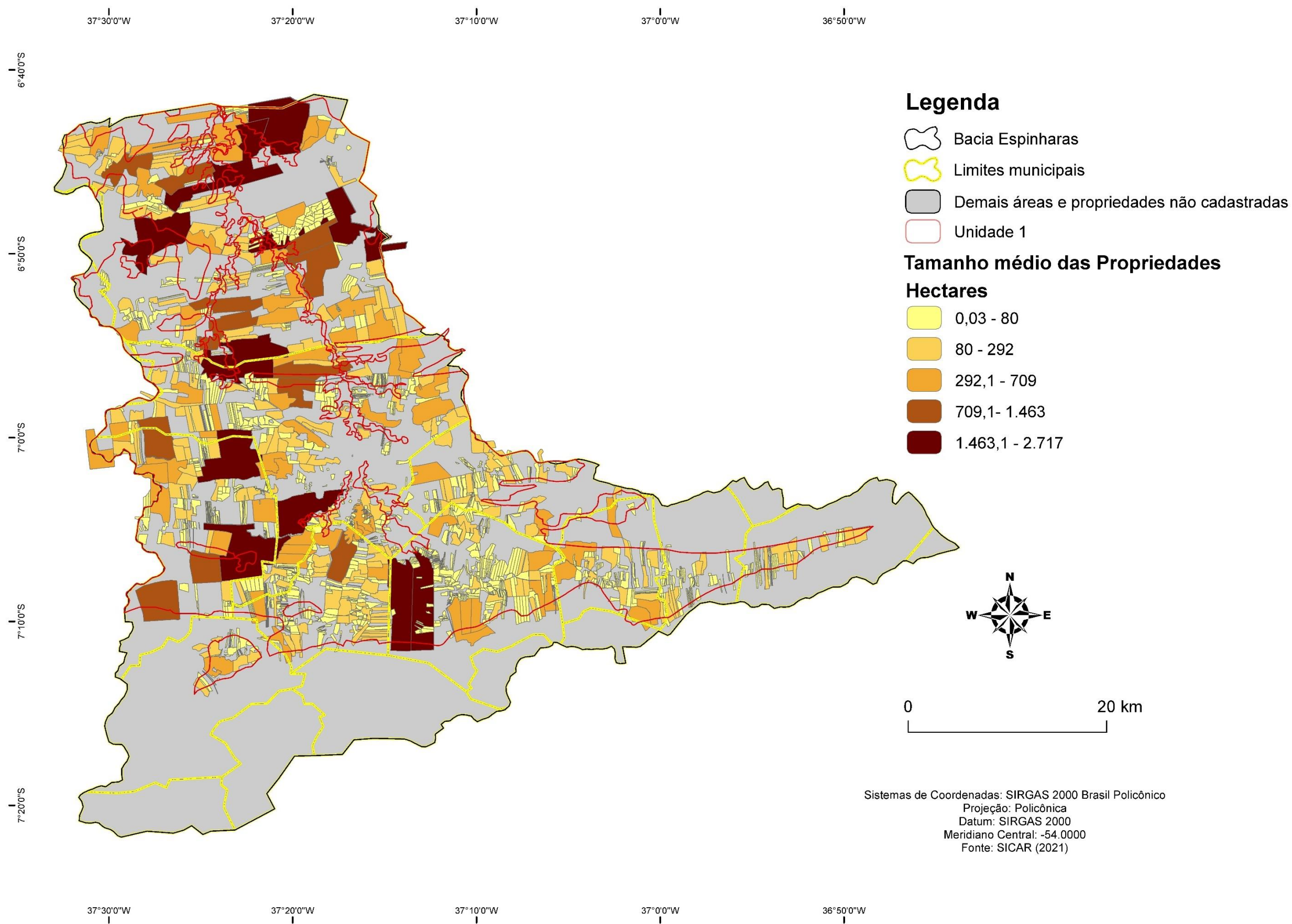


Figura 24. Limite das propriedades rurais da unidade 1 cadastrados no SICAR.



A unidade 2 - Áreas rebaixadas de relevo suavemente ondulado com uso agropecuário (Figura 25) - ocupa aproximadamente 79,38km² (2,7% da BHRE), tem relevo plano, encontra-se em baixas altitudes (154 a 262 metros) e possui composição pedológica de Luvisolos. Embora os solos nessa unidade sejam rasos, existe maior constância na disponibilidade hídrica, em função de sua proximidade com o leito do Rio Espinharas, que apesar de intermitente, possui reserva hídrica subsuperficial, possibilitando até áreas destinadas à ocupação, preservação e terrenos adequados à produção agrícola em pequena escala.

Essa característica permite à população manter culturas de período mais extenso, assim como maior diversidade de culturas. O solo permanece em constante utilização e, quando não utilizado, passa a maior parte do tempo sem cobertura vegetal ou com algum fluxo d'água. No que diz respeito à geologia, o compartimento 2 é composto pelas unidades de Serrinha – Pedro Velho, Recanto e Santana dos Garrotes, com predomínio de granitóides e presença de rochas metamórficas Ortoderivadas. Esse compartimento está parcialmente sobre a Depressão Sertaneja, e parcialmente sobre os alinhamentos de Cristas do Patamar Sertanejo.

A respeito da espacialização dos imóveis, há alguma discrepância na espacialização das mesmas, pois, poucas são as propriedades que possuem centroides e maioria de terreno dentro do território da unidade como mostra a figura 26, apresentando apenas aproximadamente 8.671,1 hectares (~8.6 km²).

No tocante as aptidões e riscos, os compartimentos 1 e 2, apresentam riscos a erosão laminar, ambas são áreas planas e passíveis de uso. O compartimento 1 está mais apto ao uso urbano e apresenta o município com maior densidade urbana da BHRE (o município de Patos). No compartimento 1 e coincidentemente nas proximidades de Patos se encontra uma das barragens com maior estabilidade de acúmulo d'água no decorrer do ano, o Jatobá, que fornece água para todo o município de Patos, e em alguns tempos críticos para outros municípios nas mediações. No decorrer de sua extensão há a possibilidade de criação de cultivos não permanentes, mas de longa duração, se houver um investimento em técnicas de irrigação e tratamento do solo. Também, necessita ser cultivos em que não necessitem de tanta profundidade de solo para se desenvolver.

Figura 25. Unidade 2 - Áreas rebaixadas de relevo suavemente ondulado com uso agropecuário.

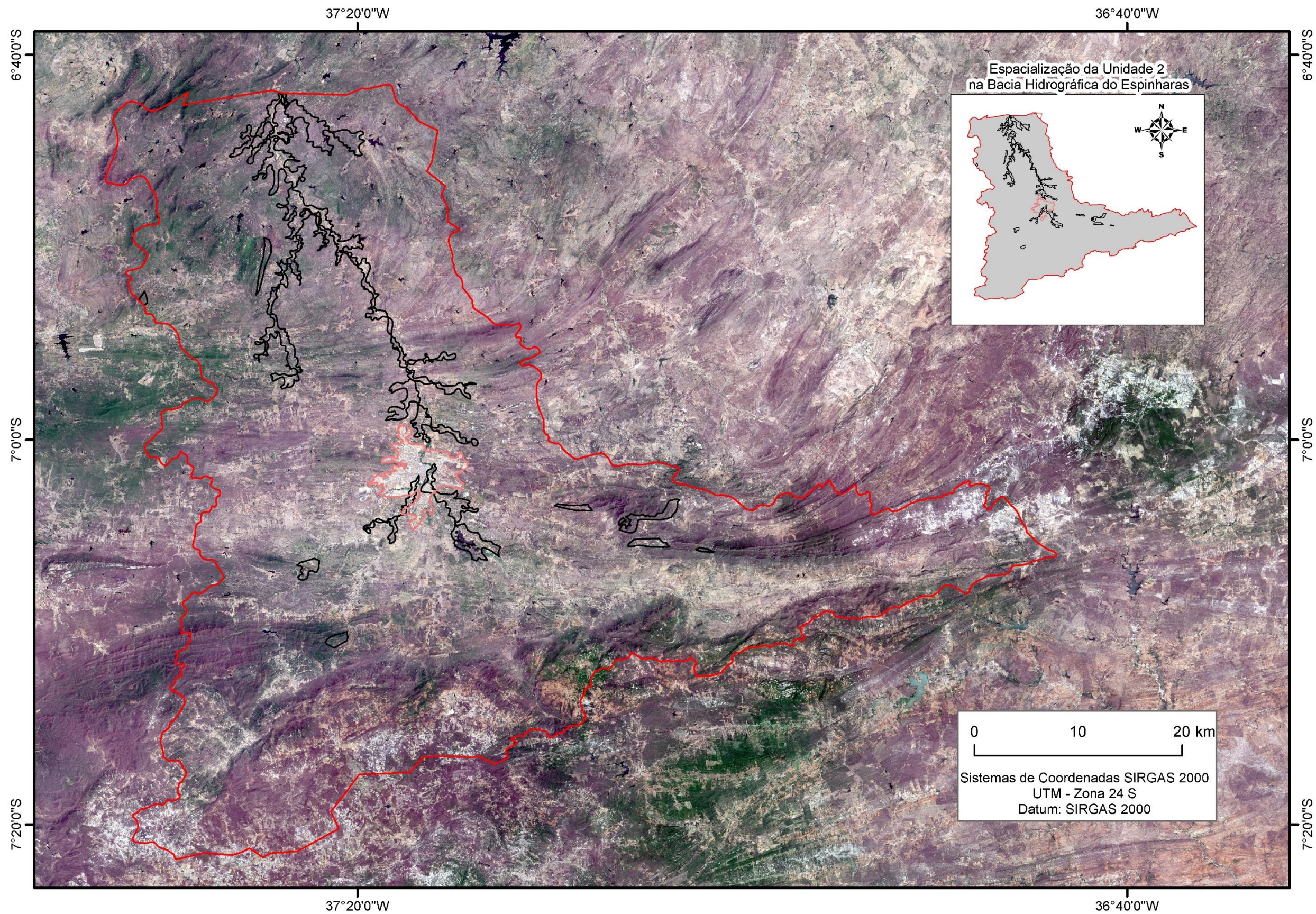
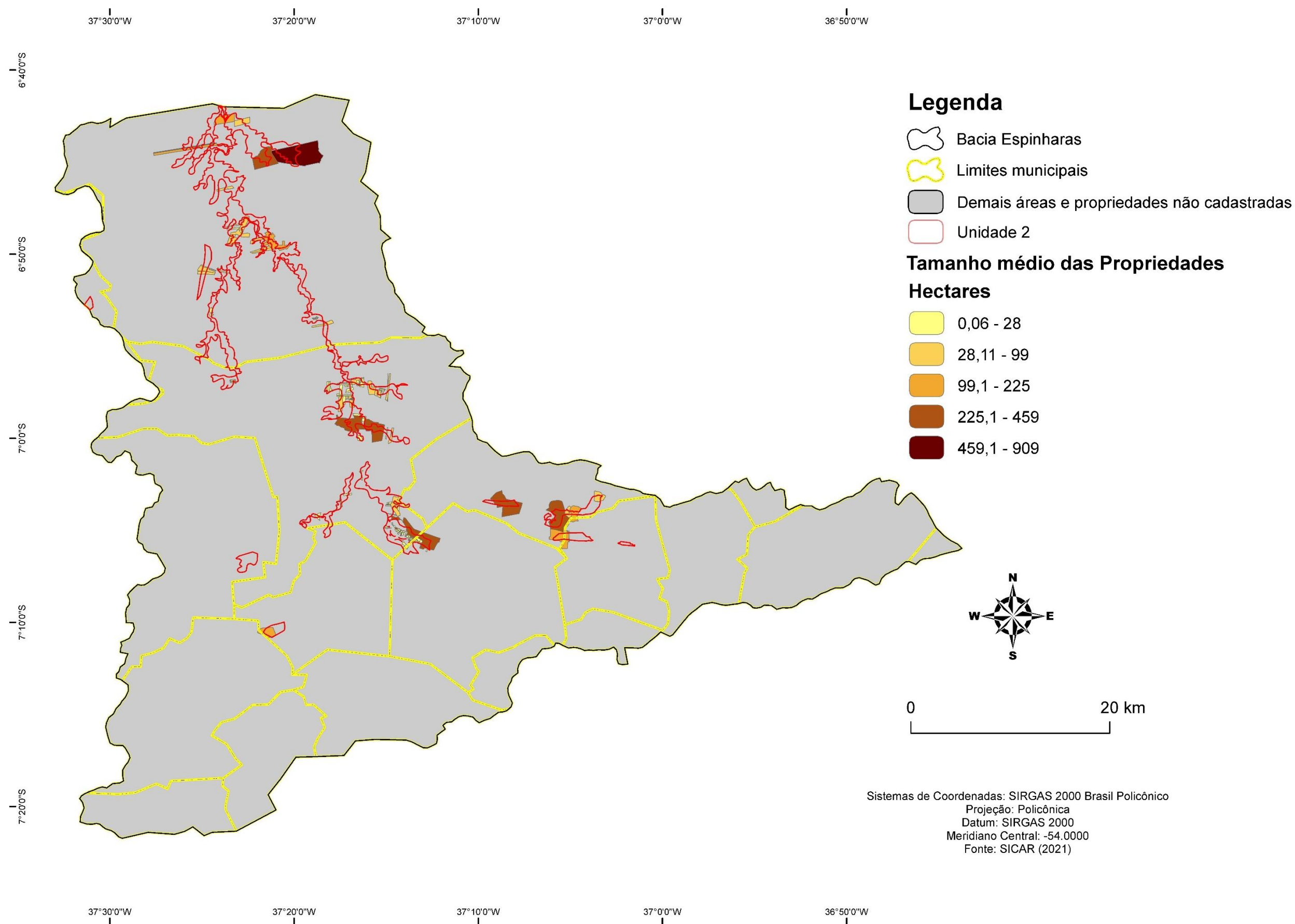


Figura 26. Limite das propriedades rurais da unidade 2 cadastrados no SICAR.



Já a unidade 2, por se encontrar em parte sobre o leito do rio, mesmo que não permanentemente com fluxo d'água, é mais apta à agricultura no período intermitente do rio. O leito do rio Espinharas na BHRE passa praticamente o ano todo sem cobertura vegetal, de forma não há tempo suficiente para se desenvolver fragmentos mais robustos de cobertura vegetal. Devido a isto, é necessário que haja pesquisas para averiguar a situação ambiental destas áreas. A necessidade disso se faz, pois embora sejam áreas de APPs, as margens do rio já são comumente ocupadas pela população, tendo inclusive a criação de poços artesianos no leito do rio, para facilitar a irrigação, mesmo que em pequena proporção. A unidade 2 necessita de atenção especial nos planos de conservação dos órgãos ambientais do estado da Paraíba como a Secretaria de Estado dos Recursos Hídricos, do Meio Ambiente e da Ciência e Tecnologia (Serhmact) e a Superintendência de Administração do Meio Ambiente (Sudema).

A unidade 3 – Serras baixas com predominância de rochas expostas e inselbergs (Figura 27), por sua vez, possui uma área de 176,4 km² (6,01% do terreno), é composta por serras baixas e inselbergs, apresentando altitudes de até 527 metros, relevo ondulado e montanhoso. Possui maior parte de sua extensão com exposição rochosa e com vegetação savana estépica mista-fechada nas suas bases, sendo áreas impróprias para qualquer tipo de utilização. No tocante à geologia, possui composição mista de granitóides e metamórficas, tendo cobertura sobre a unidade de Serrinha, Recanto e Seridó. Suas bases e onde possui cobertura pedológica são marcadas por solos rasos de composição de Neossolos e Argissolos que, embora possua probabilidade de acúmulo d'água proveniente do escoamento lateral, o difícil acesso impossibilita essa área de ser caracterizada para algum tipo de uso, além de preservação.

Esta unidade, por sua vez, sendo uma unidade composta principalmente por corpos rochosos, sua principal aptidão, em condições normais, seria destinada à conservação. Contudo, Lunguinho (2018), afirma que, em meios a esses rochedos, serras e *inselbergs* há uma capacidade de armazenamento de umidade em suas bases, o que permite a utilização destas terras na agricultura familiar e de subsistência. Estes ambientes, geralmente, acabam se constituindo refúgio para a determinados tipos de fauna e flora, haja vista que o estresse hídrico é muito grande no semiárido. Além disso, há áreas nessa unidade que são passíveis de quedas de blocos rochosos, em sua maioria pequenos blocos rochosos, em parte por ação do intemperismo ou de reação da fauna e da flora a estes ambientes. A diversidade florística e da fauna ainda acabam ganhando algum espaço para se desenvolver.

Figura 27. Unidade3 - Serras baixas com predominância de rochas expostas e inselbergs.

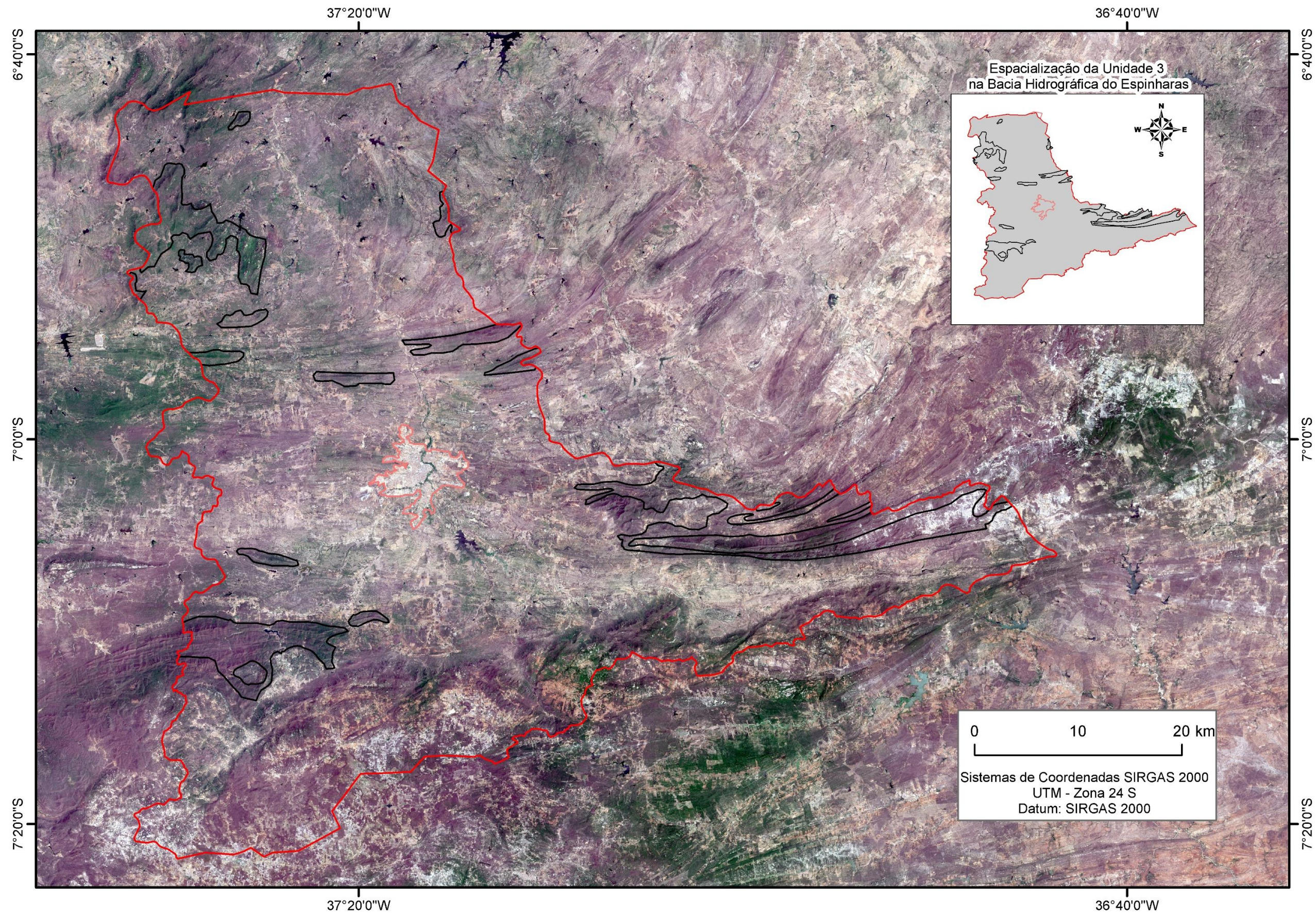
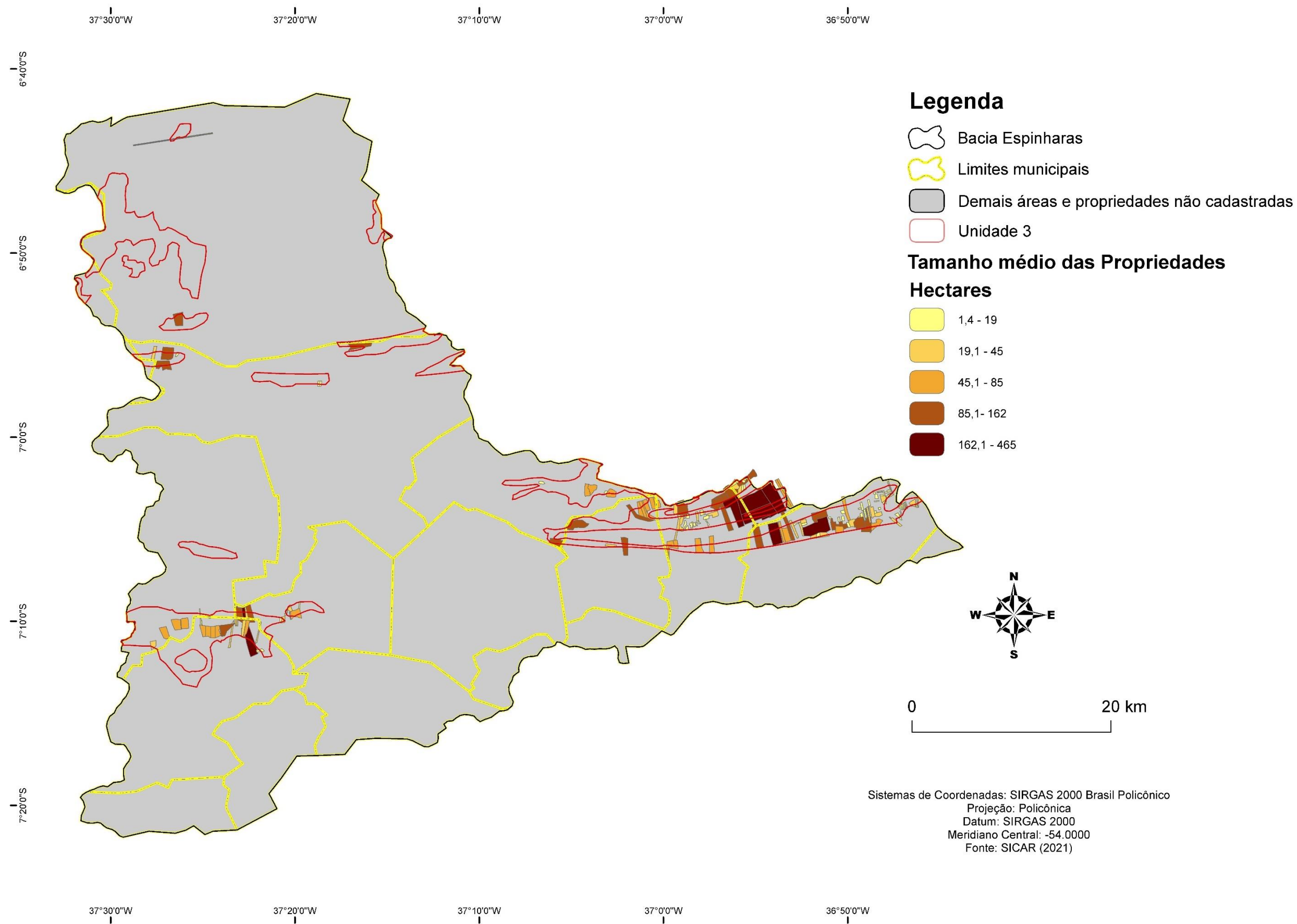


Figura 28. Unidade 3 - Limite das propriedades rurais da unidade 3 cadastradas no SICAR.



Com relação as áreas de imóveis cadastrados, a unidade 3 apresenta aproximadamente 110 km² (~11382 hectares), aproximadamente 61 % da área total desse compartimento. Dessa forma, ratificando a possibilidade da utilização do acúmulo de água em suas bases e em locais menos íngremes para o uso do solo de acordo com suas limitâncias. Nessa unidade as propriedades cadastradas vão de 1,4 hectares até 465 hectares, com média de 49,27 hectares por propriedade e com desvio padrão entre suas amostras de 72,16 hectares. Seguindo mesmo padrão da unidade 2.

A unidade 4 – Serras elevadas de relevo ondulado com uso agropecuário (Figura 29), é composta de serras elevadas com altitudes que vão de 527,1 a 1.190 metros, com relevo ondulado e montanhoso e cobre aproximadamente 8% da BHRE (235,2 km²). Mesmo que apresente solos com boa susceptibilidade ao acúmulo d'água em suas bases e cobertura vegetal mista e fechada, são áreas de difícil acesso, sendo caracterizadas como não apropriadas para a ocupação urbana, mas com possibilidade de uso nas partes menos elevadas, caso tenha um manejo adequado e auxílio tecnológico para o mesmo. As áreas que apresentam relevo forte ondulado e montanhoso são impróprias para qualquer tipo de uso. É composta pela unidade geológica Serrinha-Pedro Velho com predominância de granitóides.

Mesmo que, a unidade 4 tenha composição litológica semelhante a unidade 3, essa unidade tem maiores proporções com relação as composições litológicas, o que acarreta acúmulo de solo em maior proporção em suas bases, permitindo a vegetação se desenvolver mais em relação a unidade 3. De modo que, é possível nesses ambientes, encontrar com mais frequências plantações ou criação de animais em suas bases. Essa unidade, ainda possui risco de queda de bloco rochoso e com maiores riscos de erosão linear quando comparado as 3 ultimas unidades. É um compartimento em que se deve ter um estudo prévio para a adequação ao uso agropecuário com mais frequência, mas que por prática e também conhecimento herdado a população já explora e usa, mesmo que sem desenvolver em seu potencial máximo.

No que diz respeito a distribuição dos imóveis atualmente cadastrados no SICAR (Figura 30), essa unidade tem números semelhantes a unidade 3, embora apresente área de maior expressão. Apresenta cerca de 14.191,6 hectares (aproximadamente 14km²) de imóveis cadastrados, desses imóveis há uma média de 39,4 hectares por propriedade, sendo que existe propriedades com menos de 1 hectare e outras com aproximadamente 823 hectares, deixando o desvio padrão próximo aos 75,17 na unidade.

Figura 29. Unidade 4 - Serras elevadas de relevo ondulado com uso agropecuário.

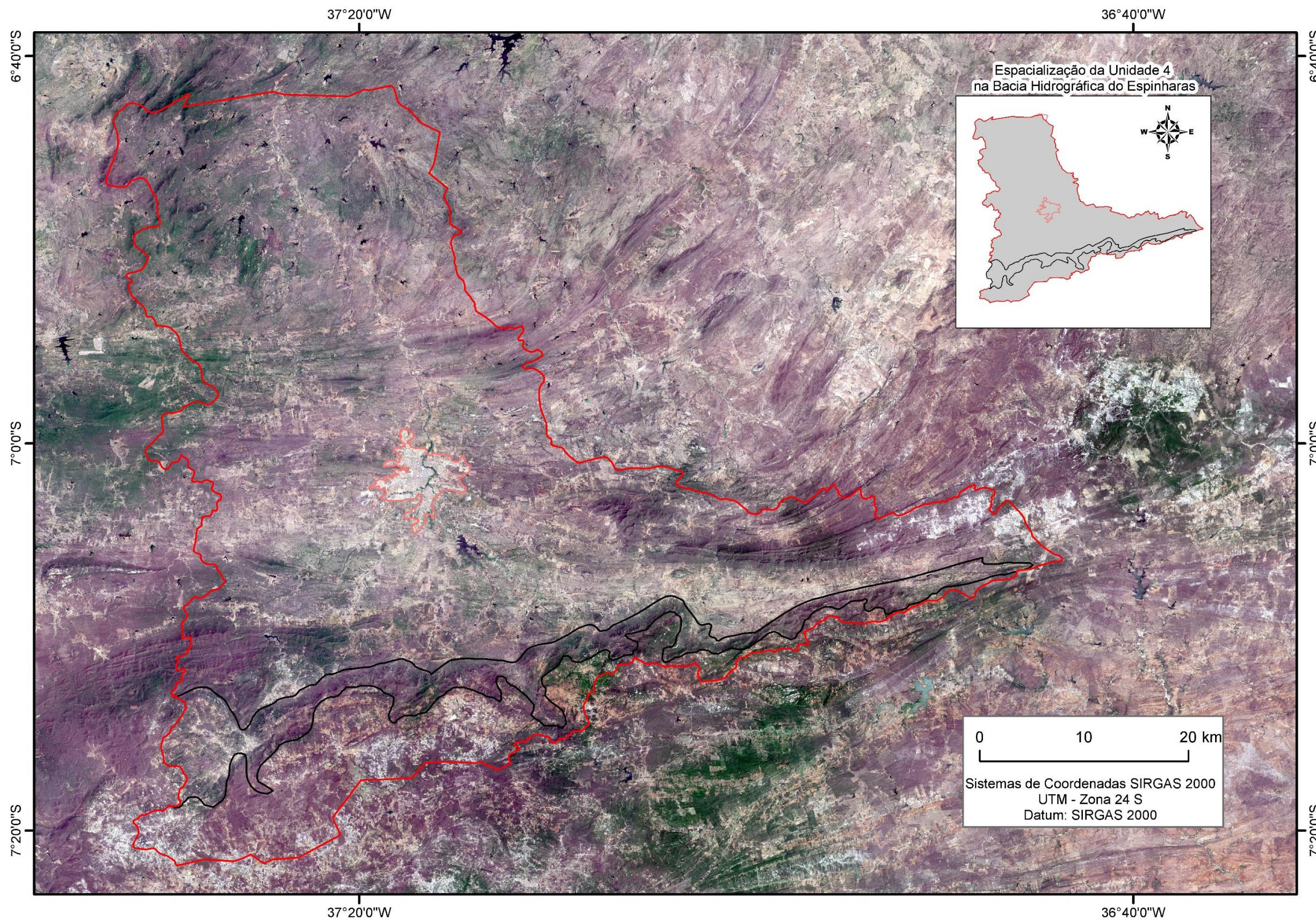
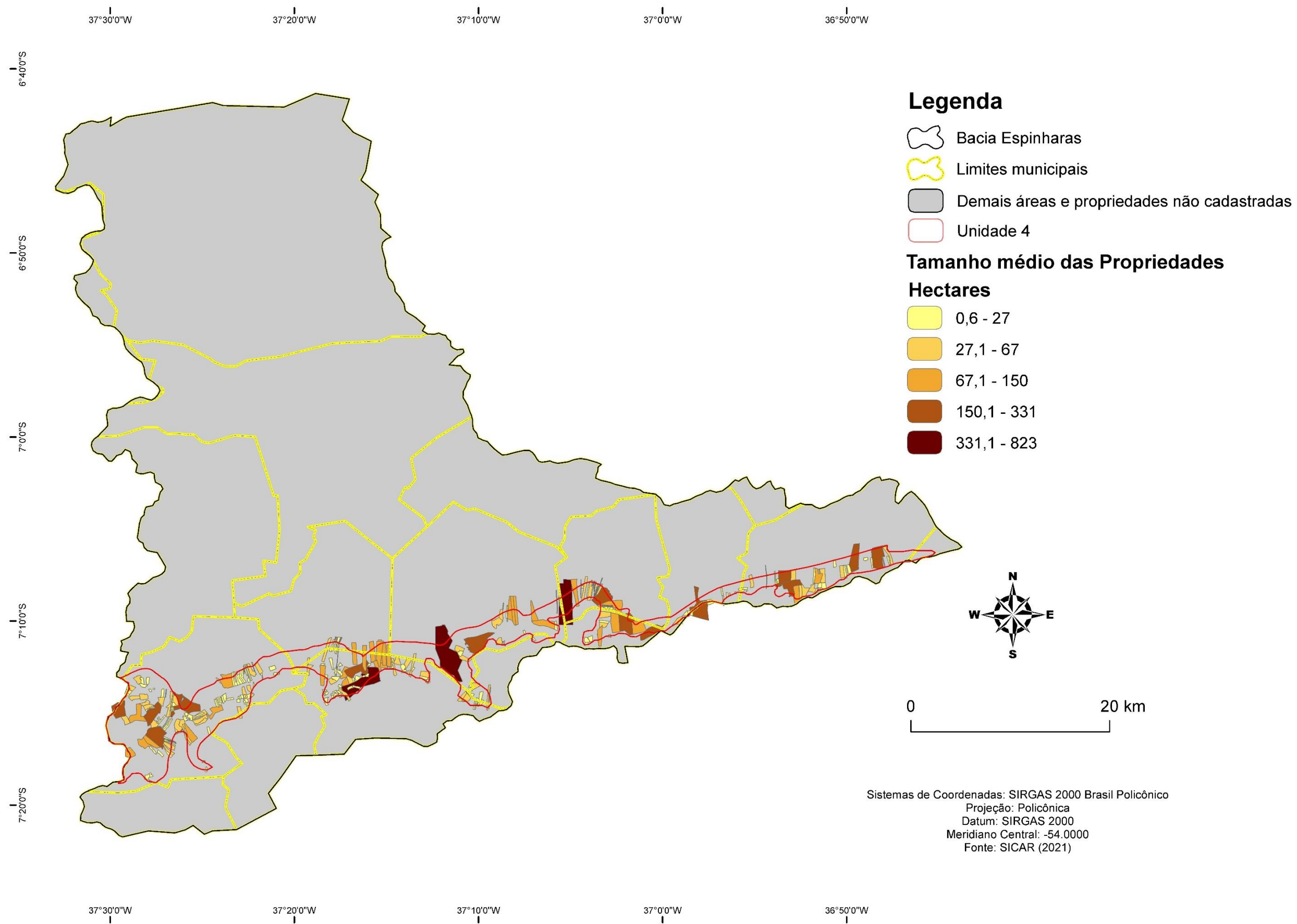


Figura 30. Limite das propriedades rurais da unidade 4 cadastradas no SISCAR.



A unidade 5 – Cimeiras com solo predominantemente litólicos (Figura 31) e a unidade 6 – Cimeiras com solo predominantemente Regolíticos (Figura 32), ambas, são marcadas pela presença de cimeiras com relevos planos e suaves ondulados, com altitudes entre 527 a 1190 metros e compõem 60,85 km² (2%) e 211,68 km² (7,2%) respectivamente da área da BHRE e estão sobre as serras ocidentais do Planalto da Borborema. Por serem elevadas, com maior probabilidade de umidade, mesmo apresentando solos rasos e de profundidade média, estão propensas e possuem aptidão ao uso agropecuário e de culturas anuais. Apresentam reservatórios de água naturais de pequeno porte, consequência, principalmente, de chuvas orográficas, facilitando, em parte, a utilização dos solos.

A diferença dessas unidades se encontra no predomínio e extensão dos solos e geologia. A unidade 5 possui, predominantemente, Neossolos Litólicos, enquanto a unidade 6 possui, predominantemente, Neossolos Regolíticos, mas também com presença de pequena extensão de areia, argila e cascalho na parte sudoeste da BHRE. No tocante à geologia, o compartimento 5 é composto pela unidade geológica Serrinha e granitóides. Já a unidade 6, apresenta a unidade Recanto-Riacho do Forno além de Serrinha-Pedro Velho, com composição mista de rochas metamórficas e cristalinas.

Com relação as aptidões e riscos, estão bem cobertas pela vegetação no decorrer do ano todo, embora isso diminua a proporção do risco de erosão laminar quando comparado as outras unidades. Essas regiões, quando comparado as demais de mesma declividade, são as que mais apresenta umidade devido a suas altitudes. Mesmo que o solo não seja profundo, essas características já são suficientes, juntamente com algum tratamento do solo para a adequação de culturas como feijão, milho e outras.

A espacialização dos imóveis rurais no CAR (2021), Figuras 33 e 34, demonstra que apenas aproximadamente 10 km² (10.503,86 hectares) território das unidades possuem cadastro e talvez sejam utilizados para algum tipo de uso já citado acima, sendo unidades de grande potencial de investimentos para o aumento produtivo da região. Devido a extração do shapefile ter sido pela presença do centroide no polígono, visualmente a unidade 6 acabou absorvendo boa parte das propriedades, pois prevaleceu a não divisão dos imóveis cadastrados. Assim, a unidade 5 tendo apenas 546 hectares cadastrados e a unidade 6 cerca de 9956,88 hectares. Juntas essas apresentam apenas aproximadamente 3.66% do território das unidades.

A unidade 5 apresenta média de 44,35 hectares por propriedade. Já a unidade 6, meados dos 96,84 hectares por propriedades. Com relação a tamanho mínimo e máximo dos imóveis

cadastrados, apresentam diferenças praticamente no tamanho máximo que na unidade 5 chega apenas a 202,3 e na unidade 6 a 630,7 hectares.

De modo geral, embora essas unidades apresentem severas semelhanças físicas. Outro fator também a ser observado, é que boa parte das propriedades, principalmente da unidade 6, se encontra nas proximidades do centro urbano de Teixeira e das rodovias principais sentido Patos, o que segundo Lucena (2014), foi um dos processos de ocupação gradual já explicados anteriormente no trabalho.

Figura 31. Unidade 5 - Cimeiras com solos litólicos

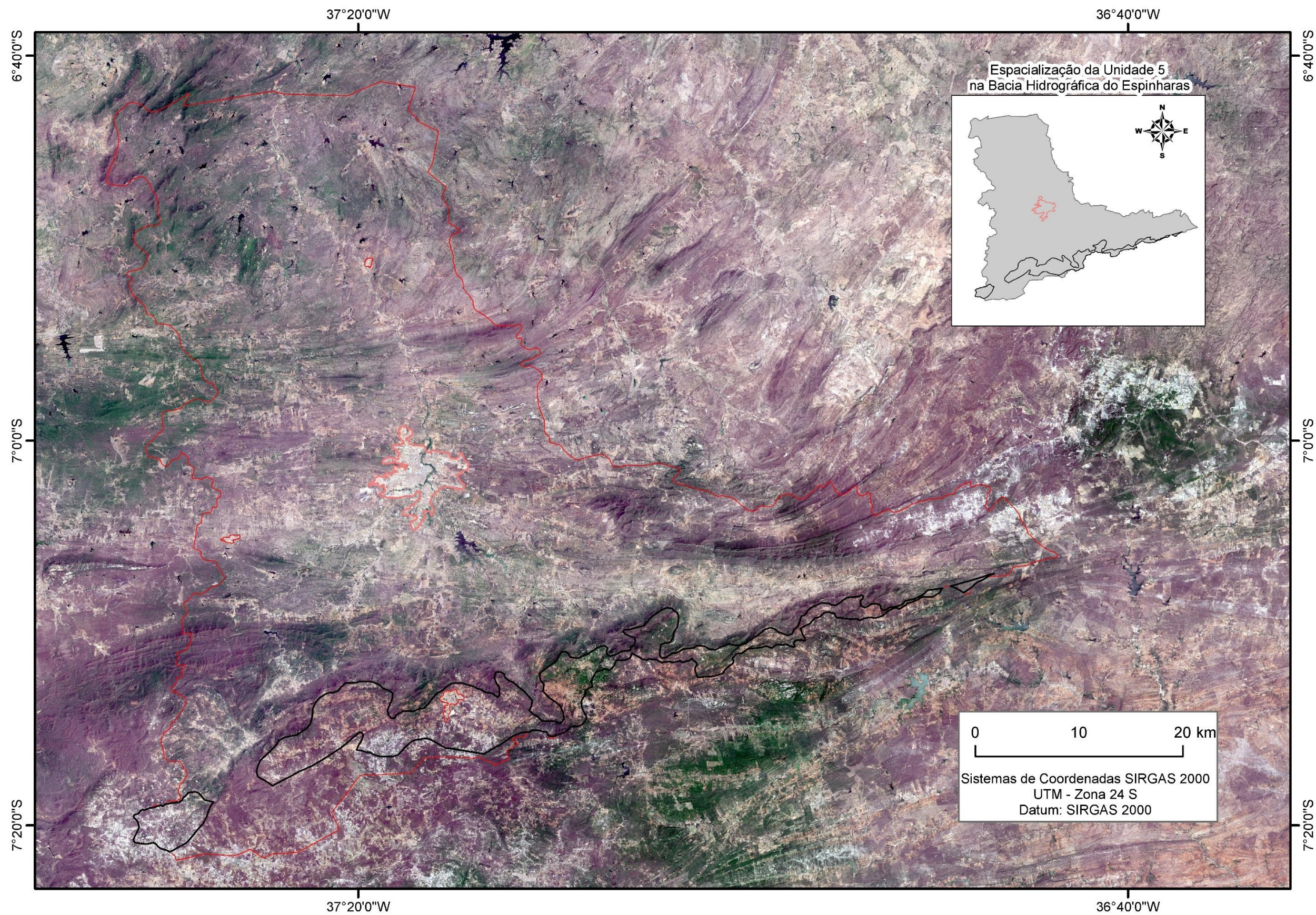


Figura 32. Unidade 6 - Cimeiras com solos Regolíticos.

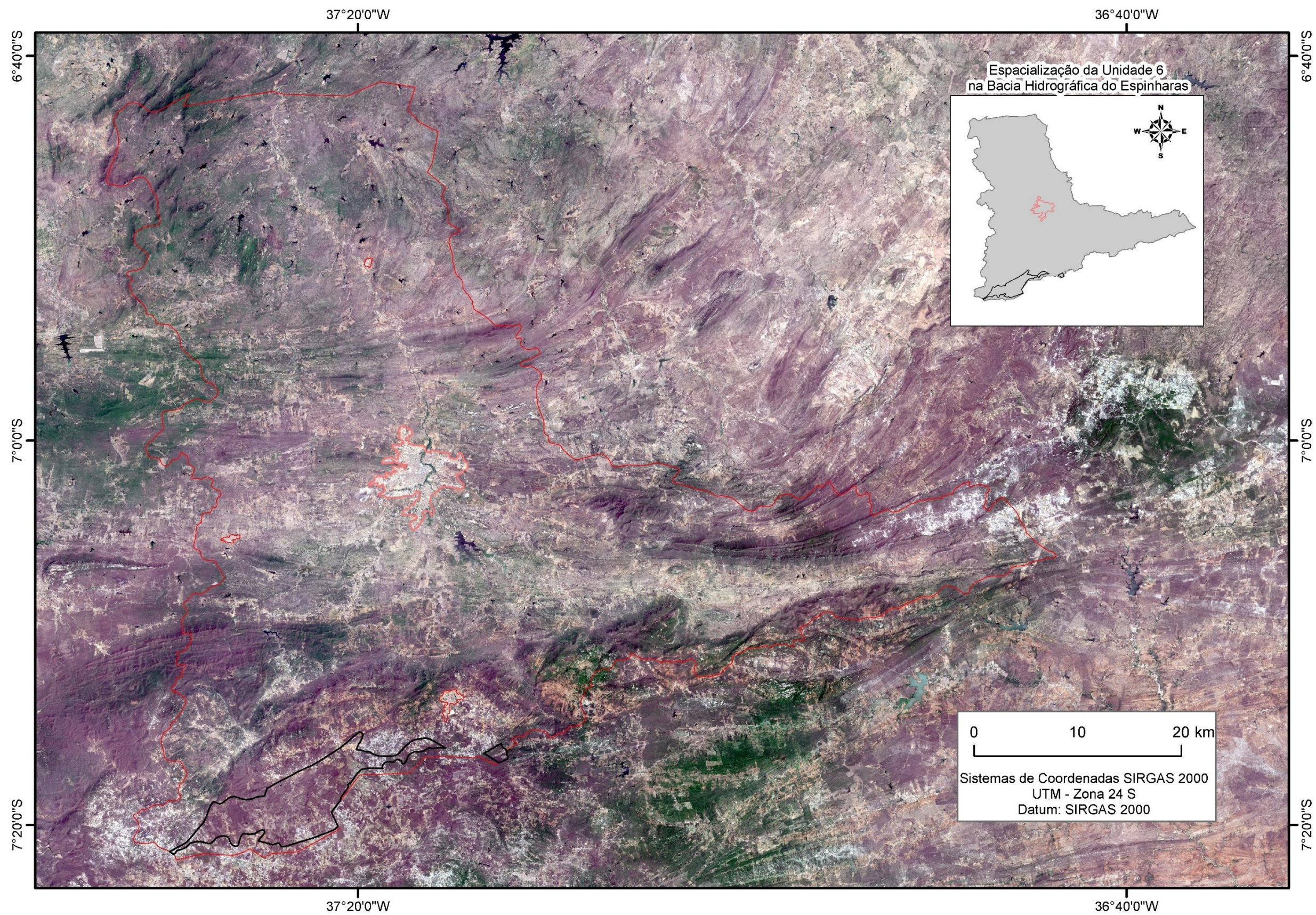


Figura 33. Limite das propriedades rurais da unidade 5 cadastradas no SISCAR.

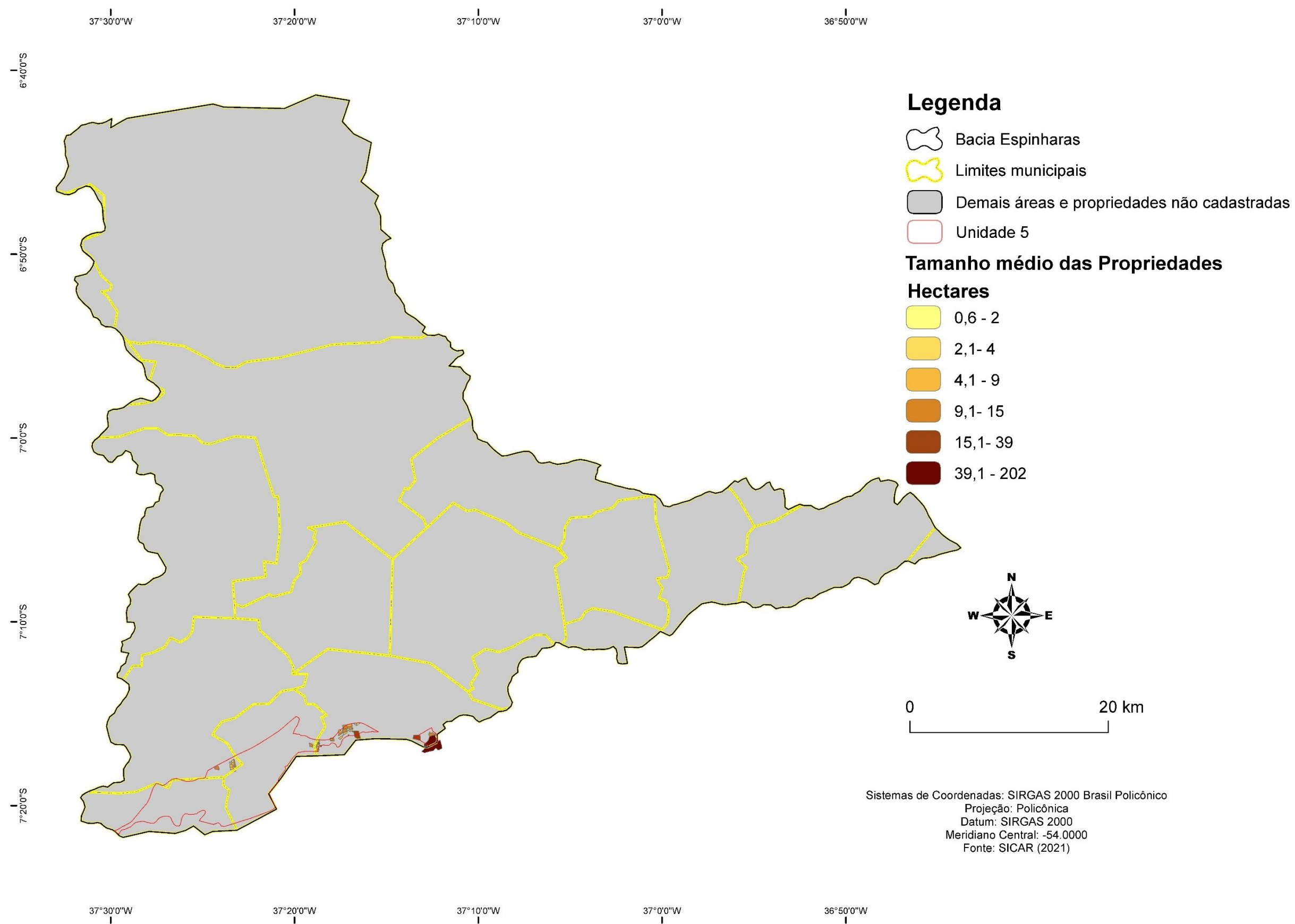
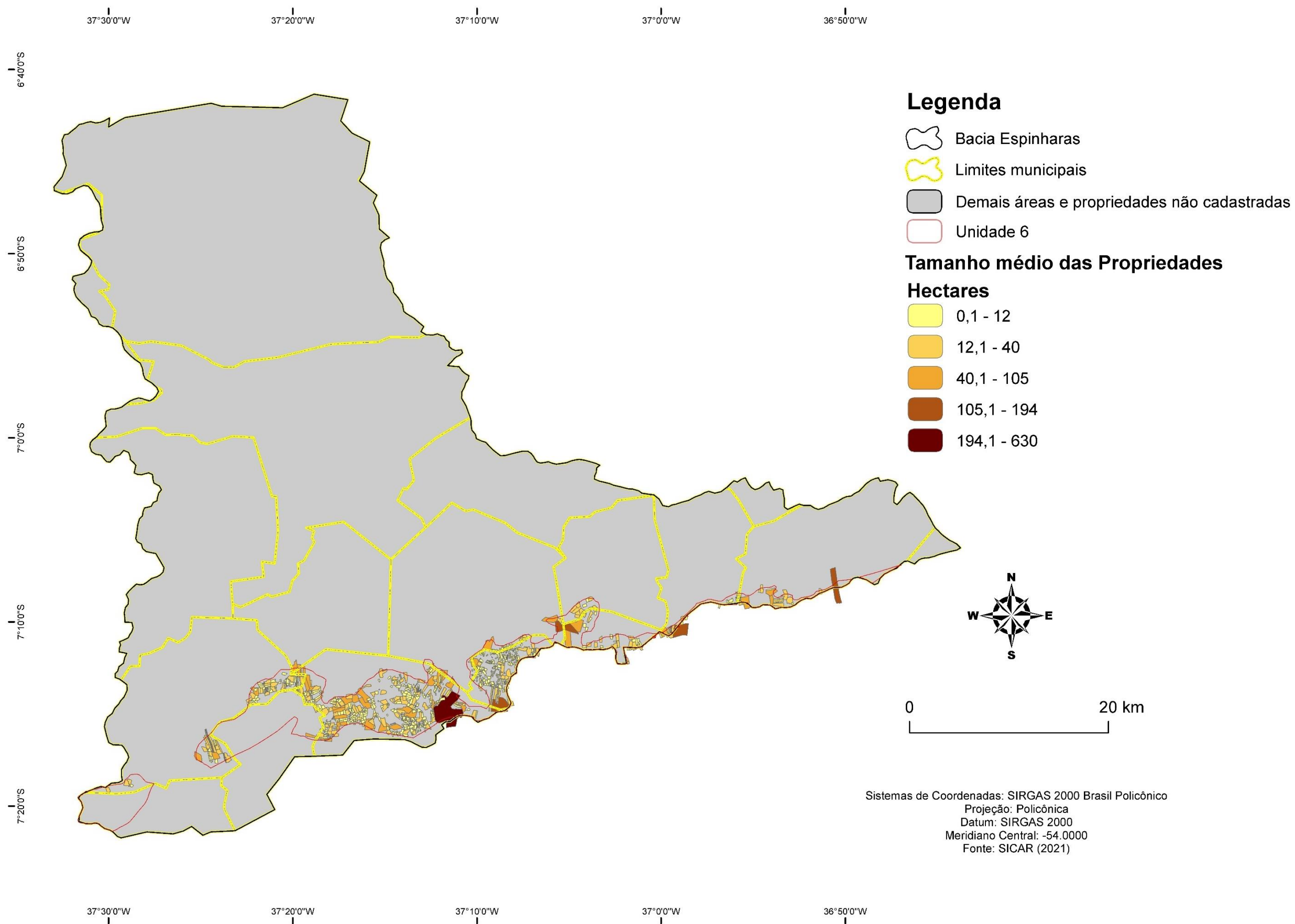


Figura 34. Limite das propriedades rurais da unidade 6 cadastradas no SISCAR.



Por fim, a unidade 7 – Área elevada com característica montanhosa (35) - possui aproximadamente 257,25 km² (8,75% do território da BHRE) é composto por relevo em 93% montanhoso e 7% de relevo forte ondulado. Essa unidade ainda se encontra nas partes mais elevadas da bacia, entre 696,1 a 1.190 metros, com cristas acentuadas, declividades maiores que 45% e com grandes blocos rochosos expostos.

Apesar de serem áreas com umidade relativamente alta, quando comparado às demais unidades da Bacia, são lugares de difícil acesso, sendo impróprias para qualquer tipo de uso a não ser o de preservação. É nessa unidade que se encontra o “Pico do Jabre, lugar considerado mais alto do estado da Paraíba. Quando há presença de solos, esses são predominantemente Neossolos Litólicos com profundidade média de 40 centímetros a 1 metro. A fitofisionomia da vegetação predominante é de Savana Estépica Arborizada e fechada, com frações de savana estépica mista em suas bases, também é a área que apresenta maior diversidade de vegetação remanescente. Essas áreas estão propensas a quedas de blocos rochosos, assim como erosão linear e laminar, além de, deslizamentos em suas vertentes. São as áreas mais conservadas da BHRE e, geralmente, pontos de nascentes dos afluentes do rio Espinharas. No que diz respeito à geologia, é de composição mista de rochas metamórficas e granitoides, tendo alternância entre as unidades Equador, Santana dos Garrotes, Serrinha-Pedro Velho, Seridó e Recanto-Riacho do Forno.

No tocante a seus riscos, a unidade 7, apresenta risco elevado de erosão linear, laminar e de quedas de blocos rochosos assim como deslizamentos em alguns locais, esses riscos são apresentados, principalmente, devido ao grau acentuado de declividade na unidade, juntamente da rasa espessura dos solos, além dos grandes blocos rochosos isolados, soltos e expostos. São áreas impróprias para ocupação, com menos da metade de sua área ocupada, aproximadamente 108km, e com menos de 11km² de imóveis cadastrados como mostra a Figura 36. Devido aos fatores já expostos, esta é uma unidade potencialmente destinada, principalmente, a proteção e conservação, mas também propício para a extração de minérios, segundo a CPRM demonstrado também em um mapa de áreas requeridas para exploração mineral (Figura 37) e discutido mais adiante.

Figura 35. Unidade 7 - Área elevada com característica montanhosa.

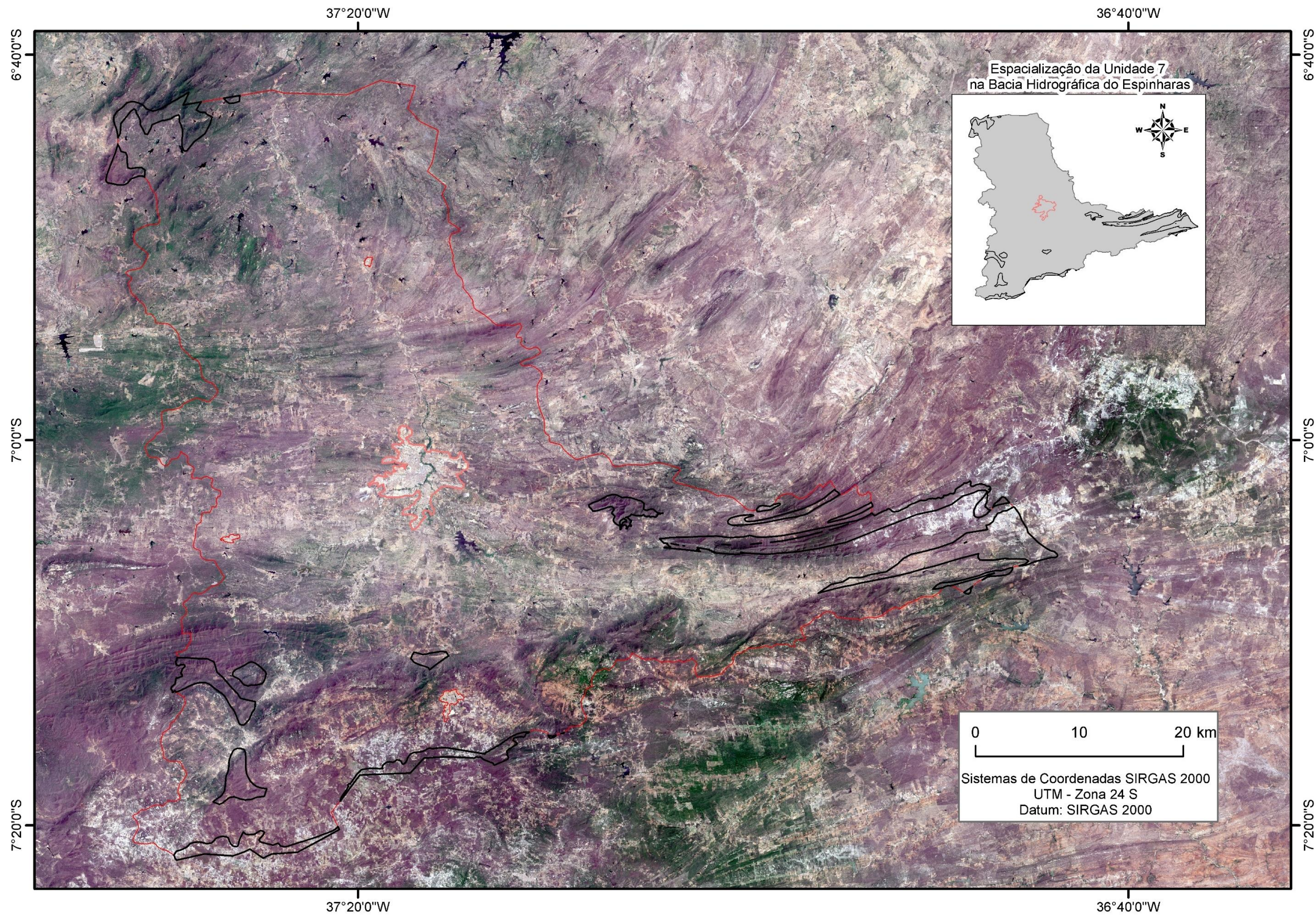
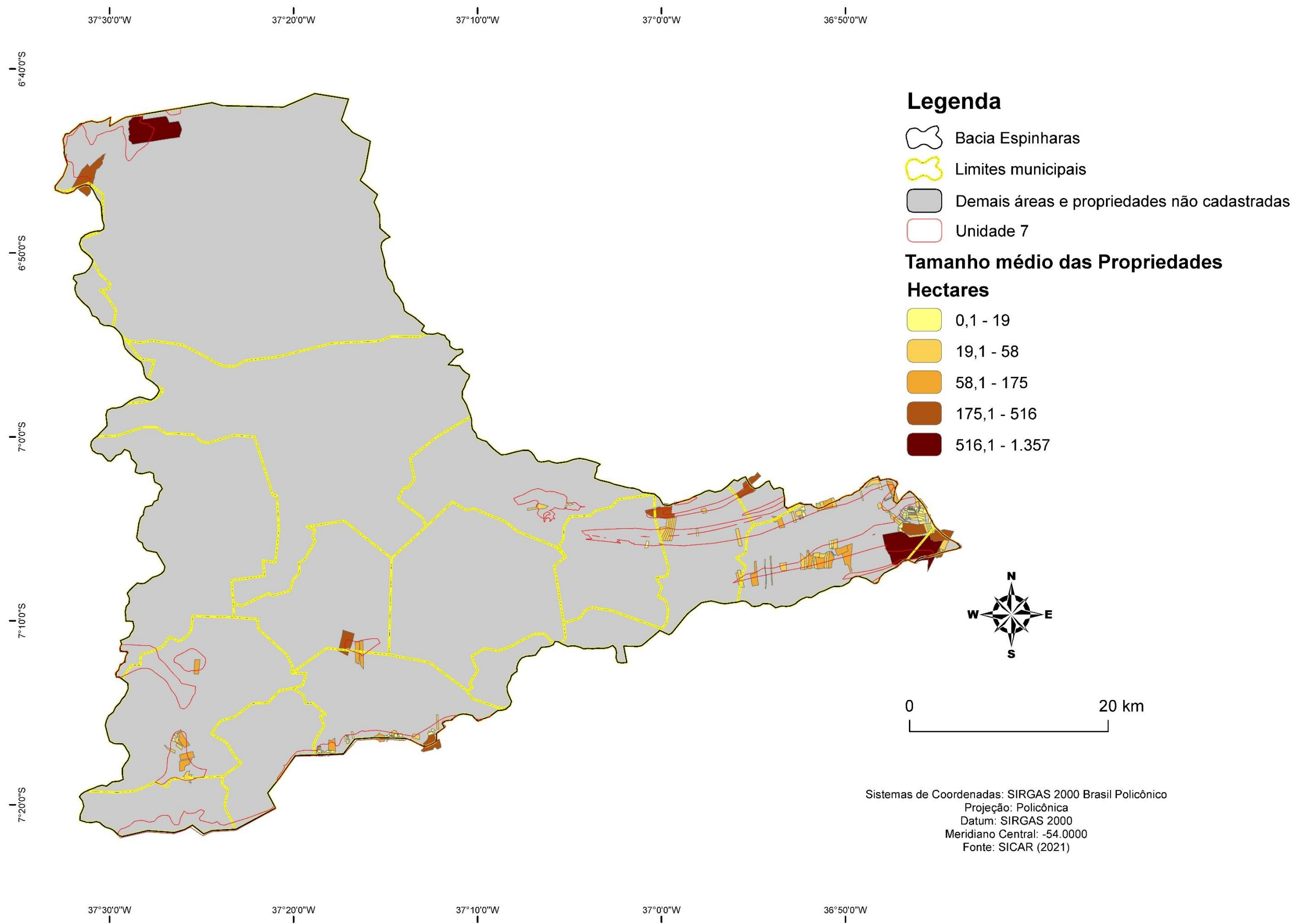


Figura 36. Limite das propriedades rurais da unidade 7 cadastradas no SISCAR..



De maneira a sintetizar as informações sobre os dados dos imóveis cadastrados na BHRE, foi elaborado a tabela 15, com as dimensões das propriedades cadastradas, assim como os índices de menor e maior propriedade, tamanho médio, desvio padrão e área total por compartimento. Assim como a tabela 16 com a síntese das informações principais dos compartimentos morfopedológicos.

Tabela15. Média de dados dos imóveis cadastrados por compartimento morfopedológico.

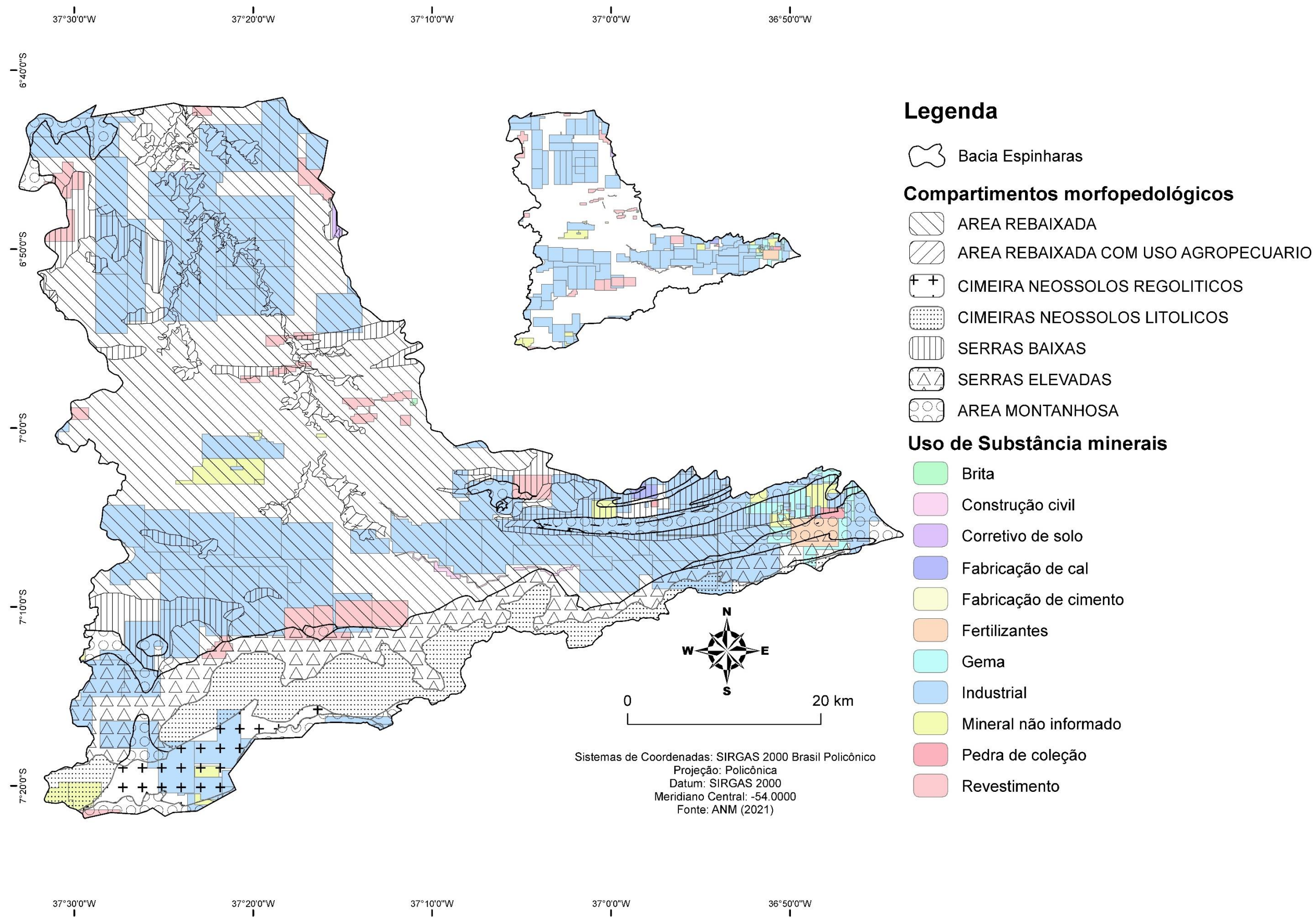
UNIDADES	Menor propriedade (ha)	Maior propriedade (ha)	Tamanho médio (ha)	Desvio Padrão	Área Total (ha)
Unidade 1	1,17	465	36,65	64,55	206.068,8
Unidade 2	0,46	1.356,7	52,62	134,04	8.671,1
Unidade 3	0,24	1.971,61	39,24	154,76	11.382,4
Unidade 4	0,079	194,32	9,22	18,02	14.191,6
Unidade 5	0,26	292,43	25,31	44,35	546,9
Unidade 6	0,1	583,92	50,41	96,84	9.956,8
Unidade 7	0,033	2.624,13	48,33	155,89	10.809
Total					262.173,5

É possível observar, que o padrão da área total ocupada por imóveis cadastrados, também segue a dimensão de cada unidade. Em porcentagem a unidade 1 possui, aproximadamente, 78,76 %, a 2 unidade 3,3%, a unidade 3 – 4,3%, a unidade 4 – 5,43 %, a unidade 5 – 0,2%, unidade 6 – 3,79 e a unidade 7 – 4,12%. Com relação ao tamanho de menor propriedade, os valores são similares, contudo, já há uma diferença considerável entre os tamanhos de maiores propriedades para cada compartimento, essas tendo tendência de estarem em lugares onde há maior possibilidade de acúmulo d'água, ou com tendência a relevos mais aplainado, o que ocorre na unidade 1.

Tabela 16. Síntese de informações dos Compartimentos Morfopedológicos.

Unidade	Area (km ²)	Declividade (%)	Altitude (m)	Geologia	Solos	Características	Riscos	Aptidões
1	1.919,24	0-3	154-369	Transição de norte a sul com a unidade Serrinha – Pedro Velho (Norte), Recanto – Riacho Forno (Centro) e Seridó(Sul).	Luvissolo, Neossolo	Relevo plano e suavemente ondulado, baixas altitudes, solos rasos e rochas com resistência média ao intemperismo, vegetação com fitofisionomia de savana estépica arborizada espaçada e savana estépica mista.	Risco baixo de erosão linear e perda e degradação do solo. Risco a erosão laminar	Unidade passível de ocupação, podendo ser destinadas a produtividade específica diante de manejo técnico adequado.
2	79,38	0-3	154-262	Transição de norte a sul com a unidade Serrinha – Pedro Velho (Norte e centro da BHRE), Recanto – Riacho Forno (Centro-Sul) e Seridó(Sul).	Luvissolo	Relevo plano, baixa altitude, solos rasos, rochas com resistência mediana ao intemperismo, vegetação com fitofisionomia savana estépica arborizada e pequena porção de Savana estépica Parque	Risco de erosão linear, laminar e perda e degradação do solo.	Unidade com potencialidade de uso de culturas de duração média e imprópria para a ocupação.
3	176,4	8,1-20	369-527	Alternância com transição de Norte para o Sul de Recanto – Riacho Forno, Santana dos garrotes, Serrinha-Pedro Velho e Seridó	Neossolo, Argissolo	Relevo ondulado, altitude média, rocha com resistência moderada ao intemperismo, vegetação com fitofisionomia estépica arborizada e florestada.	Riscos de erosão linear, perda de solo e queda de pequenos blocos rochosos.	Unidade imprópria a ocupação e uso. Indicada a preservação e conservação.
4	235,2	8,1-45	369-696	Unidade geológica Serrinha-Pedro Velho	Neossolo	Relevo ondulado e forte ondulado, rocha com resistência alta ao intemperismo, com vegetação de fitofisionomia Savana estépica mista e de parque.	Risco de erosão linear, com riscos de queda de blocos rochosos.	Unidade imprópria a ocupação, podendo ser destinadas a culturas anuais, atividades agropecuárias desde que haja manejo adequado
5	60,85	8,1-20	527-1187	Unidade geológica Serrinha-Pedro Velho	Neossolo Litólico e Regolítico	Relevo plano, suave ondulado e ondulado, solos rasos e médios, vegetação com fitofisionomia savana estépica mista e florestada.	Baixo risco a susceptibilidade a erosão e perda do solo.	Unidade própria a ocupação urbana e a culturas anuais
6	211,68	0-3	527-1187	Transição de norte para Sul das Unidades Serrinha-Pedro Velho (Norte) e Recanto-Riacho do Forno (Sul)	Neossolo Regolítico, Latossolo	Relevo plano, suave ondulado, solos rasos, vegetação com fitofisionomia savana estépica mista e florestada.	Baixo risco a susceptibilidade a erosão e perda do solo.	Unidade própria a ocupação urbana e a culturas anuais.
7	257,25	8,1 - >45	696-1187	Alternância de Norte a Sul das unidades Recanto-Riacho Forno, Santana dos Garrotes, Seridó, Serrinha-Pedro Velho e Equador.	Neossolo, Latossolo, Argissolo	Relevo montanhoso com porções suaves ondulados, solos rasos e afloramentos rochosos, vegetação com fitofisionomia mista e florestada	Riscos de erosão linear, laminar, quedas de blocos rochosos e perda e degradação do solo.	Unidade Imprópria para ocupação, indicadas a recuperação e preservação ambiental

Figura 37. Áreas requeridas para exploração mineral e uso de substâncias minerais na Bacia Hidrográfica do rio Espinharas.



Com a síntese dos dados acima e com o auxílio da tabela 16, é possível observarmos que há a presença de estrutura cristalina por toda a BHRE. Isso reflete na disposição e na disponibilidade de exploração de substâncias minerais na bacia. Fato este corroborado pelos dados fornecidos pela Agência Nacional de Mineração – ANM na figura 37 já exposta anteriormente e que representam aproximadamente 1.843,2 km² (~55,79% da BHRE) requeridas para exploração ou pesquisa mineral. Ainda é possível dizer que tais dados, ratificam a aptidão da unidade 7 para a exploração mineral.

Entre as áreas requeridas, aproximadamente 0,8 km² são destinadas a explorar brita; 9 km² para explorar corretivos do solo; 5,8 km² para minerais para construção civil; 9 km² para produção de cal mineral; 0,4 km² a produção de cimento; 14,26 km² de Fosfato para produção de fertilizantes; 27 km² são de extensões de exploração de Gemas; 1.650 km² de substâncias minerais destinadas a indústria; 6,07 km² de pedras de coleção; 95,49 km² de tipo de substância não informada e 24,03 km² de uso para explorar minerais para revestimentos em geral.

Contudo de toda essa área, aproximadamente 1.730,72 km², se encontram em fase de autorização de pesquisa. 28,14 km² (0,85%) em concessão de lavra. 21,8 km² (0,66%) em fase de direito de requerer a lavra. 27,66 km² (0,83%) apenas com a disponibilidade de recurso, mas ainda sem nenhum andamento de qualquer processo. 6,74 km² (0,20%) de lavra garimpeira. 8,38 km² em processo de licenciamento e 19,5 km² em fase de requerimento de lavra.

Desta forma, é possível analisarmos que apenas aproximadamente 28,64 km² da BHRE inteira possui empreendimento com concessão de lavra e/ou desfrutando de tal atividade. Este fato, configura que caso se configure cenário positivo das pesquisas, há possibilidade de crescimento econômico na região. Como é possível observar também a partir do mapa 37, com exceção da unidade 4 (Cimeiras com predominância de solos litólicos), todas os outros compartimentos possuem áreas cadastradas e necessita ainda de uma avaliação mais detalhada para se compreender esses processos já cadastrados e verificar realmente a situação em que estão.

Ainda vale ressaltar que embora esses dados estejam devidamente cadastrados na Base da Agência Nacional de Mineração (ANM), se necessita de uma fiscalização detalhada para o bom andamento das atividades em acordo com as normas ambientais. Por fim, apenas para sintetizar os dados de usos das substâncias minerais, foi elaborado a tabela 17.

Tabela 17: Substâncias minerais e extensão requerida

Uso de substâncias minerais	Área (km ²)	Área (%)
Britas	0,8	0,04
Construção Civil	5,8	0,18
Corretivo do Solo	9	0,28
Fabricação de Cal	9	0,28
Fabricação de Cimento	0,4	0,02
Fertilizantes	14,26	0,44
Gemas	27	0,8
Industrial	1.650	49,95
Uso não informado	95,49	2,89
Pedra de coleção	6,07	0,18
Revestimento	24,03	0,73

Fonte: ANM (2021)

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho apresenta uma análise das variáveis do meio físico-natural e do uso e cobertura da terra da BHRE, por meio de uma abordagem cartográfica de sobreposição de camadas via técnicas de geoprocessamento, com foco no preparo para posteriores estudos ambientais e criação de compartimentação morfopedológica.

Os resultados levantados sobre o uso e cobertura da terra na BHRE ratificam que, embora existam áreas de difícil manejo e utilização, principalmente devido ao estresse hídrico local, há uma conversão de parte dessas áreas em locais de produção (aproximadamente 3%), principalmente nas áreas próximas ao leito do Rio Espinharas, ou até mesmo cobrindo a área do leito nos períodos intermitentes. Com efeito, é de necessidade um bom investimento em extensão rural na BHRE, pois torna visível que os fatores trazidos à lume limitam a capacidade de produção local. No tocante aos aspectos geológicos do uso e cobertura, os *inselbergs* e os blocos rochosos que se encontram em mesmo estado, foram classificados como áreas que mantem suas características naturais, de modo que, aproximadamente 652 km² (22%) da BHRE possui uso antrópico e 2.282km² (78%) está em estado de conservação, embora apenas 26% (782km²) se encontram em melhores condições para o uso agropecuário. Ou seja, há capacidade de se incorporar, aproximadamente, pelo menos cerca de mais 23% da BHRE em áreas economicamente produtivas, mas com necessidades de estudos ainda mais detalhados para confirmação.

Nos municípios mais rurais da BHRE (Areia de Braúnas, Cacimba de Areia, São José do Bonfim, Salgadinho, Passagem e São José do Espinharas), em aproximadamente 15% da área, observa-se que a prática de criação de bovinos e caprinos de forma extensiva, pode degradar os solos (rasos e secos), podendo diminuindo ainda mais a capacidade de uso. Deste modo, fica expressa a capacidade de melhorias de produção para a região, sendo tais ações, responsabilidade e atribuição, principalmente, do governo do estado da Paraíba e seus respectivos órgãos ambientais, como a Secretaria de Estado do Desenvolvimento da Agropecuária e da Pesca – SEDAP, secretaria de estado da agricultura familiar e desenvolvimento do semiárido e a Secretaria de Estado da Infraestrutura, dos Recursos Hídricos e Meio Ambiente (SEIRHMA).

A gestão da BHRE é extremamente importante, tendo em vista que é um dos principais mantenedores hídricos da bacia Piranhas-Açu, produtora de parte majoritária da produção de frutas do Rio Grande do Norte, fazendo possível uma parceria para o planejamento e

desenvolvimento de toda região. A necessidade de gestão integrada para área é, de fato, um fator importante, a fim de garantir sustentabilidade e produção agrícola na região. Além disso, a gestão integrada pode tampar lacunas, tais como a falta de estudos detalhados, ausência de recursos destinada ao incentivo agropastoril e para a execução de extensão rural, bem como a falta de políticas voltadas para o desenvolvimento urbano da região. As secretarias municipais, juntamente com o governo do estado da Paraíba, podem tomar providências, sobretudo, incentivando e captando recursos e outros agentes para contribuírem com o desenvolvimento da região.

No que concerne às contribuições deste trabalho para a cartografia e para o mapeamento morfopedológico, pode-se evidenciar o papel fundamental das imagens de satélites Sentinel 2B e OLI Landsat para o entendimento e redução de erros de mapeamento na escala de paisagem (~1:250.000), tendo em vista que, estas são essenciais para estudos de regiões como a BHRE, as quais carecem de estudos de detalhes e de semidetalhes. Também foi possível, mais uma vez, validar a operacionalidade do uso dos satélites para os estudos dessa natureza, pois são imagens disponibilizadas gratuitamente e com boas resoluções espaciais.

Evidentemente, quando há recursos disponíveis, existe a possibilidade de desenvolvimento de pesquisas mais detalhadas, pois existem imagens comerciais com melhores resoluções espaciais, chegando ao domínio métrico e até submétrico, e também Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTS), que com limitações espaciais e de autonomia de voo, podem embasar estudos de alto detalhe com produtos de resolução espacial na casa de centímetros, contudo, em mapeamentos regionais, a série Landsat ainda continua sendo a opção mais operacional e com maior série temporal disponível.

Foram mapeados sete grandes compartimentos morfopedológicos para a BHRE. Os dois primeiros com baixas altitudes, solos rasos, maior ocupação urbana, conseqüentemente maiores índices de degradação do solo, e exposição extrema ao sol, fatos que dificultam a utilização das terras para o uso agropecuário, mas que com tecnologia e técnicas adequadas, parte dessas regiões pode possibilitar a produção agrícola.

Os compartimentos 3 e 4, apresentam zonas de Serras, altitudes medianas em relação a BHRE e locais de possível exploração para agricultura familiar e de subsistência, embora haja risco de quedas de pequenos blocos rochosos, são áreas que possibilitam algum tipo de utilização para atividades agropastoris.

Por sua vez, os compartimentos 5 e 6, se constituem de áreas mais propícias a utilização das terras, são áreas elevadas e com relevos planos e suaves ondulados, o que facilita sua utilização. Embora os solos ainda sejam razoavelmente rasos, a concentração de umidade pode auxiliar em atividades agrícolas. Por fim, o compartimento 7, possui relevo montanhoso e as áreas mais elevadas da bacia, apresenta declividade bem acentuada, sendo inviável o uso e ocupação da área, com riscos elevados de quedas de blocos rochosos e de erosão linear, assim como deslizamentos, sendo áreas destinadas a preservação e/ou conservação.

Ressalta-se que estudos ambientais e de compartimentação de relevo, que partem de uma concepção integrada, auxiliam a compreensão entre os aspectos e os fenômenos físicos de uma área, permitindo o entendimento da dinâmica local. De forma que, pode auxiliar nas propostas de gestão da área, como em medidas tomadas pelas secretarias de desenvolvimento e agricultura do estado e do semiárido na Paraíba.

Os dados gerados nesta pesquisa permitem uma primeira aproximação da BHRE, servindo de base para mapas de ação, de acordo com suas potencialidades e demandas da região. Também é possível a partir das características aqui expostas, auxiliar os planos de gestão territorial, e também possíveis políticas públicas que tratem a respeito do tópico, respeitando os polos já concretizados, como o de Patos, incentivando novas formas promoção de desenvolvimento econômico e social.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SÁBER, Aziz Nacib (1990). FLORAN: Nordeste seco. In: *Estudos Avançados*, revista do IEA-USP, v. 4, n. 9, p. 149-174, São Paulo.

ALBANO, G. P.; SÁ, A. J. Vale do Açu-RN: A passagem do extrativismo da carnaúba para a monocultura de banana. Recife-Pernambuco. **Revista de Geografia-UFPE**, v. 26, n. 3, 2009.

ALMEIDA, E. P. C.; ZARONI, M. P.; SANTOS, H. G. **Luvissolos Crômicos**. In: Solos Tropicais – Árvore do Conhecimento. https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONT000gn230xhm02wx5ok0liq1mqv181o7y.html. Acessado em 11 de setembro de 2019.

ALIEVE, A. A. Bacia hidrográfica enquanto recorte espacial e analítico em geografia da saúde: Hidrogeoquímica e saúde coletiva na bacia do rio Pirapó-PR. Tese (tese de doutorado). **Universidade Estadual de Londrina**. Londrina, 216p, 2017.

ALVES, V. E. L.; AQUINO, R. J.; FILHO, R. I. S. A modernização da fruticultura irrigada e seus impactos socioeconômicos e ambientais no vale do Açu/RN. Assú. **Revista GeoInterações**, v. 2, n. 1, p. 35-56, 2018.

AMORIN, R. R.; OLIVEIRA, R. C. As Unidades de Paisagens como uma categoria de análise geográfica: O exemplo do município de São Vicente-SP. Uberlândia-MG. **Sociedade & Natureza**, v. 20, n. 2 p. 177-198, 2008. ISSN 1982-4513.

AMORIN, R. F.; ALMEIDA, S. A. S.; CUELLAR, M. Z.; GOMES. Mapeamento de Uso e Ocupação do solo na Bacia Hidrográfica Piranhas/Açu, utilizando imagens CBERS e técnicas de classificação supervisionada. Florianópolis. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, INPE, p; 5159-5166, 2007.

ARANZABAL, I.; SCHMITZ, M.; AGUILERA, P.; PINEDA, F. Modelling of landscape changes derived from the dynamics of social-ecological systems: A case of study in a semiarid Mediterranean landscape. **Ecological Indicators**, n. 8(5), p. 672-685, 2008.

BARRETO, A. F; BARBOSA, J. K. A. Mecanismos de resistência à seca que possibilitam a produção em condições do semi-árido nordestino. **3º Simpósio brasileiro de captação de água de chuva no semiárido**. UFPB. Petrolina, PE, 2001.

BARROS, A. C. M.; SOUZA, J. O. P.; CORRÊA, A. C. B. Sensitividade da paisagem na Bacia do Riacho Mulungu, Belém de São Francisco, Pernambuco. **Revista de Geografia**. Recife: UFPE – DCG/NAPA, v. especial, n. 2, 2010.

BERTALANFFY, L. V. Teoria Geral dos Sistemas. **Editora Vozes LTDA**, Petrópolis-Rio de Janeiro, 1973.

BERTRAND, G. Paisagem e geografia física global. Esboço Metodológico. Curitiba. **R. RA'E GA**, n.8, p. 141-152, 2004.

BRACKEN, L.J.; COX, N.J.; SHANNON, J. The relationship between rainfall inputs and flood generation in south-east Spain. **Hydrological Processes**, n. 22, p. 683–696, 2008.

BRASIL – Secretaria Especial do Desenvolvimento Social. Programa Cisternas, 2019. Disponível em < <http://mds.gov.br/assuntos/seguranca-alimentar/acesso-a-agua-1/programa-cisternas>>, acessado em 7 de outubro de 2019 as 09:45.

BRASIL. Decreto nº4.297, de 10 de julho de 2002. Regulamenta o art. 9o, inciso II, da Lei no 6.938, de 31 de agosto de 1981, estabelecendo critérios para o Zoneamento Ecológico-Econômico do Brasil - ZEE, e dá outras providências.

BRASIL. Lei complementar nº140 de 8 de dezembro de 2011. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/LCP/Lcp140.htm, acessado em 08 de dezembro de 2020 as 21:05.

BRASIL – Casa Civil. Lei nº 12.651, de 25 de Maio de 2012. Disponível em < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm>, acessado em 08 de dezembro de 2020 as 21:04.

BRIERLEY, G. J. Landscape memory: The imprint of the past on contemporary landscape forms and processes. **Area**, Auckland. v. 41, n. 2, p. 76-85, 2010.

CASTRO, S.S. & CASSETI, V. Programa de pesquisa e desenvolvimento da Bacia do Alto Araguaia. UFG/IESA, 1997.

CASTRO, S. S.; SALOMÃO, F. X. T. Compartimentação Morfopedológica e sua aplicação: Considerações metodológicas. São Paulo. **GEOUSP**, N°7, 2000.

CAVALCANTI, L. C. S. Geossistemas no estado de Alagoas: Uma contribuição aos estudos da natureza em geografia. Dissertação (Mestrado em Geografia). **Universidade Federal de Pernambuco**. Recife, Pernambuco, 2010.

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

CAVALCANTI, L. C.S; Da descrição de áreas à Teoria dos Geossistemas: Uma abordagem Epistemológica sobre Sínteses Naturalistas. Tese (Doutorado em Geografia). **Universidade Federal de Pernambuco**. Recife, Pernambuco, 2013.

CAVALCANTI, L. C. S. Cartografia de Paisagens: fundamentos. **Oficina de textos**, São Paulo, 2º edição revista e atualizada, 2018. ISBN: 978-85-7975-292-6

CENTRO DE PREVISÃO DO TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS – CPTEC.; INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. Monitoramento do El Niño DJF. Disponível em < <http://enos.cptec.inpe.br/>>, acessado em 4 de outubro de 2019.

CHOLLEY, A. Observações sobre alguns pontos de vista geográficos. **Boletim Geográfico**. Rio de Janeiro, nº 179 e 180, p. 139-145, 1964.

CHRISTOFOLETTI, A. Modelagem de sistemas ambientais. São Paulo: **Editores Blucher**, 1999.

COMPANHIA DE ÁGUA E ESGOTOS DA PARAÍBA – CAGEPA. Sistemas de Abastecimentos. Disponível em < www.cagepa.pb.gov.br >. Acessado em 7 de outubro de 2019.

CORRÊA, A. et al. Megageomorfologia e morfoestrutura do planalto da borborema. **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, 31 (1/2), 35-52, 2010.

DIAS, L.S.O.; ROCHA, G.A.; BARROS, E.U.A.; MAIA, P.H.P. Utilização do radar interferométrico para delimitação automática de bacias hidrográficas. **Bahia Análise & Dados**, Salvador, v. 4, n.2, p.265-271, 2004

EISEL, L. M. Watershed Management: A system Approach. **Water Resource Research**, v. 8, n. 2, 1972.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, Serviço de Produção de Informação, 1999. 412p
FARIAS, J. F. Aplicabilidade da geoecologia das paisagens no planejamento ambiental da bacia hidrográfica do rio Palmeira-Ceará/Brasil. Tese (tese de doutorado). **Universidade Federal do Ceará** – Departamento de Geografia, 222p, 2015.

FITZ, P. R. Geoprocessamento sem complicações. **Oficina de Textos**, São Paulo-SP. 160p, 2008. ISBN: 978-85-86238-82-6.

FLORENZANO, T. G (Org). Geomorfologia: Conceitos e tecnologias atuais. São Paulo: **Oficina de Textos**, 2008, 318p

FREITAS, M. A. S. **A previsão de secas e a gestão hidroenergética: o caso da bacia do Campina Grande** (processo – 504189/2003-4), 2004.

FREITAS, M. A. S. Um Sistema de Suporte à Decisão para o Monitoramento de Secas Meteorológicas em Regiões Semi-Áridas. **Revista Tecnologia Suplem**, p. 84-95, 1998.

FURTADO A. V. B. D; SOUZA, J. O. P. Mapeamento geomorfológico para a bacia do Alto Curso do Rio Paraíba de acordo com as normas do Manual Geomorfológico do IBGE. **REGNE**, v. 2, nº especial, 2016.

GRAY, D. H. Role of woody vegetation in reinforcing soils and stabilising slopes. **Symposium of Soil Reinforcing and Stabilizing Techniques**. Sydney, p. 253-306, 1987.

HANSON, C. L. Long-term precipitation database, Reynolds Creek Experimental Watershed, Idaho, United States. **Water Resources Research**, v. 37, n. 11, p. 2831-2834, 2001.

HAY, G. J.; BLASCHKE, T.; MARCEAU, D, J.; BOUCHARD, A. A comparison of three image objects methods for the mutiscale analysis of landscape structure. **Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**, n. 57, p. 327-345, 2003.

HERMUCHE, P. M.; GUIMARÃES, G. M. A.; CASTRO, S. S. Análise dos compartimentos morfopedológicos como subsídio ao planejamento do uso do solo em jataí – GO. **GEOUSP – Espaço e Tempo**, São Paulo, n. 26, p. 113 – 131, 2009.

HESPANHOL, I. Um novo paradigma para a gestão de recursos hídricos. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 131-158, 2008.

HESPANHOL, A. N. Constituição e reestruturação produtiva da fruticultura irrigada no Baixo-Açu e no vale do Apodi-Mossoró-RN-Brasil. **Revista Formação**, Edição especial, v. 1, n. 23, p. 62-91, 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Manual técnico da vegetação brasileira: sistema fitogeográfico, inventário das formações florestais e campestres, técnicas e manejo de coleções botânicas, procedimentos para mapeamentos. Rio de Janeiro: IBGE- Diretoria de Geociências, 2012. 271p. (Manuais Técnicos de Geociências, 1).

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Manual técnico de pedologia. Rio de Janeiro: IBGE-Diretoria de Geociências, 2007. 316p. (Manuais Técnicos de Geociências, 4).

ISACHENKO, A. G. On the Method of Applied Landscape Research, **Soviet Geography**, 14:4, 229-243, 1973. DOI: 10.1080/00385417.1973.10770583

JÚNIOR, J. S. B. Análise espacial de unidades de paisagem do município de Quatipuru – Pará. Dissertação (dissertação de mestrado). **Universidade Federal do Pará**, Belém, 77p, 2017.

KITE, G. W.; KOWEN, N. Watershed modeling using land classifications. **Water Resource Research**, v. 28, n. 12, p. 3193-3200, 1992.

LIMA, A. G. A bacia hidrográfica como recorte de estudos em geografia humana. **Geografia**. Londrina, v. 14, n. 2, 2015.

LIMBERGUER, L. Abordagem Sistêmica e complexidade na geografia. **Geografia**, Londrina-PR, v. 15, n. 2, p. 95-109, 2006.

LIU, W. T. H. Aplicações de sensoriamento remoto. **UDINERP**, Campo Grande-SP, 908p, 2007.

LUCENA, Wilma Guedes de. A produção do espaço urbano da cidade de Patos/PB: do BNH ao programa minha casa minha vida. 2014. 231 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2014

LUDWIG, J. A.; TONGWAY, D. J. Spatial Organization of landscapes and its function in semi-arid woodlands, Australia. **Landscape Ecology**, Amsterdam, v. 10, n. 1, p. 51-63, 1995.

LUDWIG, J. A.; WILCOX, B. P.; BRESHEARS, D. D.; TONGWAY, D. J.; IMERSON, A. C. Vegetation patches and runoff–erosion as interacting hydrological processes in semiarid landscapes. **Ecological Society of America**, n. 86, p. 288-297, 2005.

LUNGUINHO, R. L. NOS CAMINHOS DOS RELEVOS RESIDUAIS: Contribuição à ecidrologia de encostas no semiárido brasileiro. Tese (tese de doutorado). **Programa de pós-graduação em geografia da Universidade Federal da Paraíba** - UFPB. João Pessoa – PB, 265p, 2018.

MATTOS, S. H. V.; PEREZ FILHO, A. Complexidade e Estabilidade em Sistemas Geomorfológicos: uma introdução ao tema. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, ano 5, n. 1, p. 11-18, 2004.

McGUINNESS, J. L.; HARROLD, R. R. Role of Storm Surveys in Small Watershed Research.

Water Resource Research, v. 1, n. 2, p. 219-222, 1965.

MILLER, R. C.; GUERTIN, D. P.; HEILMAN, P. Information technology in watershed management decision making. **Journal of the American Water Resources Association – JAWRA**, p. 347-358, 2004.

NAKASHIMA, P. Cartografia dos Sistemas Pedológicos do Noroeste do Paraná: Distribuição e subsídios para o controle da erosão. **USP- FFLCH- DG**. Tese de Doutorado, São Paulo, 1999.

NICHOLS, M. H.; NEARING, M. A.; POLYAKOV, V. O.; STONE, J. J. A sediment budget for a small semiarid watershed in southeastern Arizona, USA. **Elsevier: Geomorphology**, n. 180-181, p. 137-145, 2013.

NOURI, H.; BEECHAM, S.; KAZEMI, F.; HASSANLI, A. A review of ET measurement techniques for estimating the water requirements of urban landscape vegetation. Inglaterra, **Urban Water Journal**, v. 10, n.4, p. 247-259, 2013. DOI: 10.1080/1573062X.2012.726360

OPERSTEIN, V.; FRYDMAN, S. The influence of vegetation on soil strength. **Ground Improvement. Thomas Telford Ltd**, Israel, v. 4, p. 81-89, 2000.

PARAÍBA. Secretaria de Estado da Ciência e Tecnologia e do Meio Ambiente – SECTMA. PERH-PB: plano estadual de recursos hídricos: resumo executivo & atlas / Governo do Estado da Paraíba; Secretaria de Estado da Ciência e Tecnologia e do Meio Ambiente, SECTMA; Agência Executiva de Gestão de Águas do Estado da Paraíba, AESA. – Brasília, DF: Consórcio TC/BR – Concremat, 112p.: il. 2006.

PASKET, C. J. Watershed Management—A Method of Decreasing Reservoir Sediment Accumulation. **Water International - Routledge**, v. 7:2, p. 59-63, 2009.

PHILLIPS, J. D. Sources of nonlinearity and complexity in geomorphic systems. **Progress in Physical Geography**. v. 27, n. 1, p. 1-23, 2003.

PONÇANO, W. L., BISTRICHI, C. A., CARNEIRO, C. D. R. O Conceito de Sistemas de Relevo Aplicado ao Mapeamento Geomorfológico do Estado de São Paulo. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. – IPT. 1979. 10 pp.

PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. L. Gestão de bacias hidrográficas. **Estudos Avançados**, n. 22 (63), p. 46-60, 2008.

PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. L.; AZEVEDO, L. G.; A participatory approach to watershed management: the Brazilian system. **Journal of the American Water Resources Association**, v. 35, n. 3, p. 675-683, 1999.

PINTO- CORREIA, T. P.; CANCELA D'ABREU, A.; OLIVEIRA, R. Identificação de Unidades de Paisagem: Metodologia Aplicada a Portugal Continental. **FINISTERRA**, v. 72, p. 195-206, 2001.

QUANSAH, C. The effect of soil type, slope, rain intensify and their interactions on splash detachment and transport. **National College of Agricultural Engineering**. Silsoe-Bedford, v. 32, p. 215-224, 1981.

RAZAVIAN, D. Hydrologic responses of an agricultural watershed to various hydrologic and management conditions. **Water Resources Bulletin – American Water Resources Associations**, v. 26, n. 5, p. 777-785, 1990.

RIBAS, A. D.; VITTE, A. C. Da cosmologia à geografia física: A contribuição de Immanuel Kant à História da Geografia. Rio Claro. **GEOGRAFIA**, v. 35, n. 2, p. 253-274, 2010.

RIBEIRO, M. C.; METZGER, J. P.; MARTENSEN, A. C.; PONZONI, F. J.; HIROTA, M. M. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological Conservation**. Essex, v. 142, n.6, p. 1141–1153. 2009.

RODRIGUES, J. O.; ANDRADE, E. M.; MENDONÇA, L. A. R.; ARAUJO, J. C.; PALÁCIO, H. A. Q.; ARAÚJO, E. M. Respostas hidrológicas em pequenas bacias na região semiárida em função do uso do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande-PB, v. 17, n. 3, p. 312-318, 2013.

ROSA, R. Introdução ao Geoprocessamento. **Universidade Federal de Uberlândia – Laboratório de Geoprocessamento**, 2013.

ROSEMBERG, A. **Philosophy of Science – a contemporary introduction**. Abingdon. Taylor & Francis Group, 2005. 320p. ISBN: 978-0-415-34317-6

SALOMÃO, F.X.T. **Processos erosivos lineares em Bauru (SP) - regionalização cartográfica aplicada ao controle preventivo urbano e rural**. Universidade Estadual de São Paulo-FFLCH-DG. Tese de Doutorado, São Paulo, 1994.

SALOMÃO, F.X.T. Controle e prevenção dos processos erosivos. In: GUERRA, T.A.J.; SILVA, A.S. & BOTELHO, R.G. (Organizadores), **Erosão e Conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999, p. 229-265.

SANTOS, E. J.; FERREIRA, C. A.; SIVA JR, J. M. F. Geologia e Recursos Minerais do Estado da Paraíba – Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil, **Serviço Geológico do Brasil – CPRM**, Recife, 2002.

SANTOS, P.R.A.; GABOARDI, C.; OLIVEIRA, L.C. Avaliação da precisão vertical dos modelos SRTM para a Amazônia. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, v.58, n.1, p. 101-107, 2006.

SANTOS, H. G.; ZARONI, M. J.; ALMEIDA, E. P. C. **Neossolos Litólitos**. In: EMBRAPA-Solos Tropicais – Árvore do Conhecimento. https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONT000gn230xho02wx5ok0liq1mqxhk6vk7.html, acessado em 11 de setembro de 2019.

SERHMACT – Secretaria de Infraestrutura, dos Recursos Hídricos e do Meio Ambiente da Paraíba. Disponível em < <https://paraiba.pb.gov.br/diretas/secretaria-de-infraestrutura-dos-recursos-hidricos-e-do-meio-ambiente/legislacao/legislacao-meio-ambiente>>. Acessado em 08 de dezembro de 2020 as 21:11.

SHAW, D. J. B.; OLDFIELD, J. Landscape Science: a Russian Geographical tradition. Londres. **Annals of the Association of American**, n. 97(1), p. 11-126, 2007. ISSN: 0004-5608.

SILVA, A. S. A. Trilhando a paisagem: Uma abordagem de conceitos e diálogos. **Revista Eletrônica História, Natureza e Espaço**, Rio de Janeiro – Baixada Fluminense, n. 2, v. 5. ISSN 2317-8361.

SIMÕES, E. M. Aplicação do índice de vegetação por diferença normalizada (nvdi) associada às variáveis pluviométricas para sub-bacia do rio espinharas, pb/rn. Dissertação (dissertação de mestrado). **Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)**, Patos-Paraíba, 2017.

SILVA, R. M. P.; LIMA, J. R.; MENDONÇA, I. F. C. Alteração da Cobertura vegetal na sub-bacia do Rio Espinharas no período de 2000-2010. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. Campina Grande, v.18, n.2, p. 202 – 209, 2014.

SOTCHAVA, V. B. O estudo dos geossistemas. São Paulo. **Métodos em Questão**, n. 6, 1977. 50p.

TORRES, F. S. M.; SILVA, E. P. Geodiversidade do Estado da Paraíba – Programa Geologia do Brasil, Serviço Geológico do Brasil – CPRM, Recife, 2016.

TUCCI, C. E. M. Hidrologia: ciência e aplicação. 2.ed. Porto Alegre: ABRH/Editora da UFRGS, v. 4, 1997.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. Vulcan Hazards Program: InSAR – Satellite-based technique captures overall deformation “picture”. Disponível em: <https://www.usgs.gov/natural-hazards/volcano-hazards/insar-satellite-based-technique-captures-overall-deformation-picture>. Acessado em 11 de fevereiro de 2021.

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

VERAS, T. T. G. A Evolução do desempenho das exportações agrícolas brasileiras destacando a contribuição da fruticultura e a produção do melão no Rio Grande do Norte no Período de 1997 a 2017. Monografia, **Universidade Federal do Rio Grande do Norte**, Natal-Rio Grande do Norte, 2019.

VERONA, Juliana Augusta; GALINA, Márcia Helena; TROPPEMAIR, Helmut. GEOGRAFIA E QUESTÕES AMBIENTAIS (archaeological sites and stretches of sand in south-east Rio Grande do Sul state). **Mercator**, Fortaleza, v. 2, n. 4, nov. 2008. ISSN 1984-2201. Available at: <<http://www.mercator.ufc.br/mercator/article/view/153>>. Acessado em 08 de dezembro de 2020

VITTE, A. C. O Desenvolvimento do Conceito de Paisagem e sua inserção na Geografia Física. **MERCATOR**, n. 11, 2007.

VITTE, A. C. Influências da Filosofia Kantiana na gênese da geografia física. **MERCATOR**, ano 07, n. 14, 2008.

WALDRON L. J.; DAKESSIAN, S. Soil reinforcement by roots: calculation of increased soil shear resistance from root properties. **Soil Science**, v. 132, n. 6, p. 427-435, 1981.

WITH, K. A.; CRIST, T. O. Critical thresholds in species responses to landscape structure. **Ecology**, n. 76, p. 2446-2459, 1995, acessado em 06 de dezembro de 2018. Disponível em <<https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.2307/2265819>>.

WULF, A. **A Invenção da natureza: a vida e as descobertas de Alexander von Humboldt**. São Paulo: Planeta do Brasil, 2016. 585 p (Tradução de: The Invention of Nature). ISBN: 978-85-85-422-0755-2