



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CARIRI
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO
REGIONAL SUSTENTÁVEL – PRODER**

THIAGO FELIX DE LIMA

**ANÁLISE GEOESPACIAL E AMBIENTAL DA MICROBACIA DO RIO CARIÚS
PARA USO SUSTENTÁVEL**

**CRATO-CEARÁ
NOVEMBRO – 2023**

THIAGO FELIX DE LIMA

**ANÁLISE GEOESPACIAL E AMBIENTAL DA MICROBACIA DO RIO CARIÚS
PARA USO SUSTENTÁVEL**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Desenvolvimento Regional Sustentável, da Universidade Federal do Cariri – UFCA, como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Desenvolvimento Regional Sustentável.

Linha de Pesquisa: Tecnologia e Modelagem

Sublinha de pesquisa: Sensoriamento remoto e monitoramento ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Wagner Oliveira

Co-orientador: Prof. Dr. Marcelo Martins de Moura Fé

CRATO-CEARÁ

NOVEMBRO– 2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Cariri
Sistema de Bibliotecas

L732a Lima, Thiago Felix de.
Análise geoespacial e ambiental da microbacia do Rio Cariús para uso sustentável /
Thiago Felix de Lima – 2023.
126 f. il. color.; 30 cm.
(Inclui bibliografia, p.125).

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Cariri, Mestrado em
Desenvolvimento Regional Sustentável (PRODER), Crato, 2023.

Linha de Pesquisa: Tecnologia e Modelagem.

Sublinha de pesquisa: Sensoriamento remoto e monitoramento ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Wagner Oliveira.

Co-orientador: Prof. Dr. Marcelo Martins de Moura Fé.

1. Geoprocessamento. 2. Morfometria. 3.Unidades Geomorfológicas. 4. Uso e
ocupação do solo. I. Título.

CDD 551.49098131

Bibliotecário: João Bosco Dumont do Nascimento – CRB 3/1355

THIAGO FELIX DE LIMA

**ANÁLISE GEOESPACIAL E AMBIENTAL DA MICROBACIA DO RIO CARIÚS
PARA USO SUSTENTÁVEL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional Sustentável da Universidade Federal do Cariri (PRODER/UFCA), como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento Regional Sustentável.

Linha de Pesquisa: Tecnologia e Modelagem

Sublinha de pesquisa: Sensoriamento remoto e monitoramento ambiental.

Aprovada em: 22/09/2023

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente

 **CARLOS WAGNER OLIVEIRA**
Data: 30/11/2023 08:26:40-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Carlos Wagner de Oliveira (Orientador)
Universidade Federal do Cariri (UFCA)

Documento assinado digitalmente

 **MARCELO MARTINS DE MOURA FE**
Data: 27/11/2023 12:28:16-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Marcelo Martins de Moura Fé (Co-orientador)
Universidade Regional do Cariri (URCA)

Documento assinado digitalmente

 **ANA CELIA MAIA MEIRELES**
Data: 27/11/2023 14:43:06-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr^a. Ana Célia Maia Meireles (Membro)
Universidade Federal do Cariri (UFCA)

Documento assinado digitalmente

 **JULIANA MARIA OLIVEIRA SILVA**
Data: 29/11/2023 13:52:38-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr^a. Juliana Maria Oliveira Silva
Universidade Regional do Cariri (URCA)

Aos meus pais amados Maria das Neves
Ludgerio e Cicero Felix que me amam e que
me educaram da melhor forma possível.

AGRADECIMENTOS

Devemos ser gratos, não só por estar vivos, mas, por encontrarmos e convivermos diariamente com pessoas especiais que agregam uma carga enorme de aprendizados que levaremos para toda a vida. Creio que palavras não bastam para demonstrar o quão sou grato pelo apoio que obtive. Em todos os sentidos, sou grato. Destacarei alguns nomes, mas fico receoso de esquecer o nome de alguém, mesmo assim, independente dos nomes aqui contidos, eu agradeço e reconheço toda e qualquer parcela de contribuição nesse processo de construção da minha dissertação.

Agradeço a toda a minha família que se manteve presente durante esse período do curso de pós-graduação, por sempre acreditar em mim sem desistir de investir na minha educação, fazendo os sacrifícios necessários para fazer com que a realização dos meus sonhos fosse possível. Amo muito todos vocês!

Ao meu orientador, Carlos Wagner de Oliveira, pela contribuição de inúmeros conhecimentos repassados, desde o momento que me acolheu e se dedicou intensamente a minha orientação, me conduzindo com responsabilidade e paciência na construção do trabalho apresentado. Obrigado pelo apoio, principalmente nos momentos mais difíceis dessa minha caminhada. Que Deus pai continue te abençoando infinitamente.

Ao meu Co-orientador, Marcelo Martins de Moura Fé, por abraçar junto comigo essa temática tão importante, principalmente por se tratar de um trabalho pioneiro no meu município, onde cresci. Por fim, agradeço por toda orientação, que foi executada com maestria pelo professor.

À professora Ana Célia Maia Meireles, pela participação na qualificação, na defesa, e por todas as contribuições feitas ao longo do processo em que esteve presente, principalmente durante a construção do primeiro artigo da minha dissertação.

À professora e amiga, Juliana Maria Oliveira Silva, pela participação na qualificação e agora também na defesa, por sempre me incentivar antes e durante o meu período no curso de mestrado, e pela amizade, que está além dos muros da universidade.

À Universidade Federal do Cariri (UFCA) e ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional Sustentável (PRODER), pela oportunidade de fazer parte do programa e por ter contribuído para o meu crescimento profissional enquanto professor e pesquisador.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo estímulo financeiro, concedido através da bolsa para realização da pesquisa e para minha permanência no programa, mesmo que concebido de forma breve.

A minha amiga e parceira, Tamyres Barbosa, por acreditar em mim e depositar todo incentivo, que ajudou a me manter firme e centrado durante o curso. Apesar dos percalços, a nossa amizade e rede apoio mútua se manteve forte.

A minha amiga, Angélica Rodrigues, que mesmo não tendo me conhecido pessoalmente durante o mestrado, contribuiu de várias formas para o meu empenho em finalizar a pós-graduação e me tornar mestre.

A minha amiga e pesquisadora, Mirelle Oliveira, que desde da graduação sempre foi a minha caixinha de autocontrole e inspiração. Sou muito grato pela ajuda e paciência durante todo esse período que você se dispôs a contribuir com minha pesquisa.

A minha amiga e pesquisadora, Sinara Gomes, que desde muito tempo vem me acompanhando e contribuindo, tanto para o meu trabalho, quanto na busca de crescimento profissional, sempre me incentivando e se dispondo a ajudar, mesmo estando muito ocupada.

A minha amiga e pesquisadora, Joyce Gomes, pelo incentivo inicial para ingressar no programa de mestrado. Foram seis tentativas que despertaram em mim inúmeras sensações, como, medo, angústia, felicidade, euforia e em todas elas, você se manteve firme acreditando em mim.

As minhas professoras e amigas de Graduação Maria Daniely, Cleysley Maria e Ana Cristina pelo apoio e incentivo para ingressar e me dedicar ao mestrado.

A minha professora e amiga Gabriela Estevão pelo impulsionamento, dedicação, paciência durante a minha atuação durante todo o estágio de regência na Universidade Regional do Cariri - Urca.

Ao meu melhor amigo e irmão Diego Felix que independente de tudo sempre me apoia e me ajuda a conquistar novos horizontes. Que Deus sempre seja teu escudo.

À minha irmã e amiga Cicera Felix que me ensinou que devemos sempre dar o nosso melhor ao mundo, às pessoas e nunca o pior. Que os caminhos sempre estejam abertos para ti.

Ao meu irmão e a Diassis que sempre tem orgulho de mim e das minhas conquistas, sejam

elas pequenas ou grandes. Que o melhor sempre chegue em ti.

A Antonio Sidrim por, mesmo nos períodos mais “complicados” desse período do mestrado, ter sido um amigo sempre presente. Obrigado pelos conselhos e por todas as contribuições na academia e na vida.

Também agradeço aos meus amigos Susana Terto, Iarlon Mariano, Karol Braulio, Jayne Nuvens, Jorge Nuvens, Gabriela Saraiva, Claudia Correia, Paloma Lais, Michael Oliveira, Julia Leopoldino, Henrique Paulo, Vinicius Luna, Luciano Temoteo, Rafael Cruz, Maraiza Gregório, Melina, Kaio, Cecilia, Karine, Maria Janiele, Madrinha Erica Magalhães que dividiram comigo inúmeros momentos de aflição e de conquistas.

A todos os meus amigos e amigas, os próximos e distantes que me incentivaram a concluir esse tão sonhado curso de mestrado. Muito obrigado!

Agradeço a todos de infinitas formas que contribuíram para a minha formação. Meus humildes agradecimentos.

Por mais que as borboletas
morram cedo, nunca deixem de
admirá-las.

(Thiago Felix)

RESUMO

O planejamento dos recursos hídricos é uma função complexa, afetando de modo direto os diversos interesses da sociedade. A microbacia do rio Cariús, localizada no município de Santana do Cariri, ao sul do estado do Ceará, possui, ao longo de sua área várias atividades econômicas diferentes desenvolvidas. Nessa área, a inapropriada ocupação do solo e a falta de uma infra-estrutura ocasionou diversos problemas ambientais, como a poluição da água e do ar, processos erosivos, descarte inadequado do lixo, entre outros. Diante disso, esta pesquisa teve como objetivo compreender o comportamento da microbacia do rio Cariús, levando em conta a sua dinâmica geoespacial e de suas características físicas, através dos Sistemas de Geoinformação (SIG), proporcionando a produção de informações provenientes da sua visualização cartográfica como: A morfometria, a geomorfologia e o uso e ocupação do solo. Para isto, a pesquisa resultou em três artigos: no primeiro, apresenta como se dá a dinâmica ambiental da microbacia, a partir da caracterização da bacia hidrográfica, analisando os parâmetros morfométricos. O segundo artigo expõe informações voltadas à representação do seu relevo, destacando as suas formas estruturais e esculturais. O terceiro artigo trata das relações entre classes de uso e ocupação, apontadas durante a sua classificação na área de estudo, comparadas e discutidas em uma escala temporal de 30 anos. Com base nisso, conclui-se que a produção de dados e informações primárias voltados para microbacia do rio Cariús, possam auxiliar em novos estudos podendo alcançar o uso sustentável da microbacia, tanto a nível local quanto regional.

Palavras-Chave: Geoprocessamento. Morfometria. Unidades Geomorfológicas. Uso e ocupação do solo.

ABSTRACT

Water resources planning is a complex function, directly affecting the diverse interests of society. The Cariús river microbasin, located in the municipality of Santana do Cariri, south of the state of Ceará, has several different economic activities developed throughout its area. In this area, inappropriate land occupation and the lack of infrastructure caused several environmental problems, such as water and air pollution, erosion processes, inadequate waste disposal, among others. Given this, this research aimed to understand the behavior of the Cariús river microbasin, taking into account its geospatial dynamics and its physical characteristics, through Geoinformation Systems (GIS), providing the production of information from its cartographic visualization as : Morphometry, geomorphology and land use and occupation. For this, the research resulted in three articles: in the first, it presents how the environmental dynamics of the microbasin occurs, based on the characterization of the hydrographic basin, analyzing the morphometric parameters. The second article presents information focused on the representation of its relief, highlighting the its structural and sculptural forms. The third article deals with the relationships between classes of use and occupation, highlighted during their classification in the study area, compared and discussed on a time scale of 30 years. Based on this, it is concluded that the production of data and primary information focused on the Cariús river microbasin can assist in new studies and can achieve sustainable use of the microbasin, both at local and regional levels.

Keywords:Geoprocessing. Morphometry. Geomorphological Units. Land use and occupation..

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 2

- Figura 1** - Infográfico com os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.....29
Figura 2: Os sistemas controladores do sistema geomorfológico.....40

CAPÍTULO 3

- Figura 1-** Localização da MBRC 50

CAPÍTULO 4

- Figura 1-** Localização da Microbacia do Rio Cariús74
Figura 2- Mapa de altimetria e de declividade da MBRC79
Figura 3- Unidades geomorfológicas da MBRC81
Figura 4- Vista parcial da cimeira e da encosta do Araripe.....84
Figura 5- Vista parcial da planície do rio Cariús e do pedimento da MBRC.....85
Figura 6-Vista parcial da Planície Aluvial na MBRC.....86

CAPÍTULO 5

- Figura 1-** Localização da Microbacia do Rio Cariús96
Figura 2 - Roteiro metodológico empregado pelo MapBiomias99
Figura 3 - Mapas de USO para os anos de a) 1985, b) 1990, c) 1995 e d) 2000101
Figura 4 - Mapas de USO para os anos de e) 2005, f) 2010, g) 2015 e) 2020.....103
Figura 5 - Área de pastagem.....105
Figura 6 - Área de pastejo para bovinos.....106
Figura 7 - Área de plantio de milho e feijão.....108

LISTA DE GRÁFICOS

CAPÍTULO 5

Gráfico 1 - Paisagem ocupada por Formação Florestal 1985 a 2020.....	104
Gráfico 2 - Paisagem ocupada pela Pastagem 1985 a 2020.....	106
Gráfico 3 - Paisagem ocupada pelo Mosaico de Agricultura e Pastagem 1985 a 2020.....	107
Gráfico 4 - Paisagem ocupada pela Formação Savânica 1985 a 2020.....	109
Gráfico 5 - Paisagem ocupada por Rio e Lago 1985 a 2020.....	110
Gráfico 6 - Paisagem ocupada pela Formação Campestre 1985 a 2020.....	111
Gráfico 7 - Paisagem ocupada pela Área Urbanizada 1985 a 2020.....	112
Gráfico 8 - Paisagem ocupada por Outras Áreas não Vegetadas 1985 a 2020.....	112
Gráfico 9 - Paisagem ocupada por Outras Lavouras Temporárias de 1985 a 2020.....	113

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 3

Tabela 1 - Parâmetros morfométricos analisados na MBRC.....	52
Tabela 2 - Índices morfométricos de classificação geométrica da MBRC.....	55
Tabela 3 - Índices morfométricos de classificação de drenagem da MBRC.....	57
Tabela 4 - Aspectos da rede de drenagem da bacia de contribuição da MBRC.....	59
Tabela 5 - Índices morfométricos de caracterização do relevo da MBRC.....	60

CAPÍTULO 5

Tabela 1 - Métricas número de fragmentos de 1985 a 2020.....	114
Tabela 2 - Métricas dos maior fragmentos (ha) de 1985 a 2020.....	117
Tabela 3 - Métricas da média dos fragmentos (ha) de 1985 a 2020.....	119

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Caracterização das classes de uso e cobertura do solo.....	97
--	----

LISTA DE SIGLAS

- (A) - Área
- (APA) Área de Proteção Ambiental
- (APP) Áreas de Preservação Permanente
- (COGERH) Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos
- (CMMAD) Comissão Mundial de Meio Ambiente e Desenvolvimento
- (CBHs) Comissão de Bacias Hidrológicas
- (Cr) Comprimento da rede de drenagem
- (Dh) Densidade hidrográfica
- (Dmeb) Declividade média da bacia
- (Dd) Densidade de drenagem
- (Dmab) Declividade máxima da bacia
- (Dmib) Declividade mínima da bacia
- (emax) Elevação máxima
- (emin) Elevação na foz
- (EMBRAPA) Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
- (FUNCEME) Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
- (H) Amplitude altimétrica
- (IBGE) Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- (IC) Índice de circularidade
- (IPECE) Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará
- (Ir) Índice de rugosidade
- (IS) Índice de sinuosidade do rio principal
- (Kc) Coeficiente de compacidade
- (Kf) Fator de forma
- (Lb) Comprimento do eixo
- (LecoS) Landscape Ecology Statistics
- (LRP) Comprimento do talvegue do rio principal
- (MBRC) Microbacia hidrográfica do rio Cariús
- (MDE) Modelo Digital de Elevação
- (Nt) Número de seguimento de córregos d'água
- (Ob) Ordem da bacia
- (ODS) Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

(ONU) Organização das Nações Unidas
(P) Perímetro
(IPCC) Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
(PNUMA) Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
(Pd) Padrão de drenagem
(PNRH) Política Nacional de Recursos Hídricos
(PRONAF) Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (PRONAF)
(PNRS) Política Nacional dos Resíduos Sólidos
(R) Comprimento do rio principal
(Rb) Razão da bifurcação
(Rbm) Razão de bifurcação média
(Re) Razão de alongação
(Rr) Razão de relevo
(SR) Sensoriamento remoto
(S1) Declividade do álveo
(SIG) Sistemas de Informações Geográficas
(Sin) Sinuosidade do rio principal
(Sin) Sinuosidade do rio principal
(SRTM) Shuttle Radar Topography Mission
(T) Razão de textura
(TOPODATA) - Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil
(UCs) Uso Sustentável
(UNRIC) Centro Regional de Informação das Nações Unidas
(UNCED) Meio Ambiente e Desenvolvimento
(UOS) Uso e Ocupação do Solo
(USGS) Serviço Geológico dos Estados Unidos
(UTM) Universal Transversa de Mercator

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1.....	20
1. INTRODUÇÃO.....	21
CAPÍTULO 2.....	24
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	25
2.1 Desenvolvimento Sustentável.....	25
2.1.1 Aspectos sociais.....	30
2.2 Bacias Hidrográficas.....	31
2.3 Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas.....	33
2.4 Uso e ocupação do Solo.....	35
2.5 Geomorfologia.....	38
2.5.1 Cartografia Geomorfológica.....	41
CAPÍTULO 3.....	45
3. ANÁLISE MORFOMÉTRICA DA MICROBACIA DO ALTO CURSO RIO CARIÚS EM SANTANA DO CARIRI -CE.....	46
1. INTRODUÇÃO.....	47
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	48
2.1. Caracterização da área de estudo.....	48
2.2. Metodologia.....	51
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	54
3.1 Índices morfométricos de classificação geométrica da MBRC.....	54
3.2 Índices morfométricos de classificação de drenagem da MBRC.....	56
3.3 - Aspectos da rede de drenagem da bacia de contribuição da MBRC.....	59
3. 4 - Índices morfométricos de caracterização do relevo da MBRC.....	60
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	61
REFERÊNCIAS.....	62
CAPÍTULO 4.....	69
4. MAPEAMENTO GEOMORFOLÓGICO DA MICROBACIA DO RIO CARIÚS EM SANTANA DO CARIRI -CE.....	70
1. INTRODUÇÃO.....	71
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	72
2.1 Caracterização da área de estudo.....	72
2.2 Metodologia.....	75
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	76
3.1. Morfogênese dos terrenos da bacia.....	76
3.2. Classificação do relevo: unidades geomorfológicas.....	80
3.3. Morfodinâmica atual.....	83
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	86
REFERÊNCIAS.....	87
CAPÍTULO 5.....	91

5. ANÁLISE TEMPORAL (1985-2020) DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA MICROBACIA DO RIO CARIÚS NO MUNICÍPIO DE SANTANA DO CARIRI - CE...	92
1. INTRODUÇÃO.....	93
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	94
2.1 Caracterização da área de estudo.....	94
2.2 Metodologia.....	94
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	100
3.1 Uso e Ocupação do solo das paisagens ocupadas pelas classes de 1985 a 2020.....	100
3.2- Gráficos de uso e ocupação pelas classes de 1985 a 2020.....	104
3.3 Análise da fragmentação da paisagem.....	114
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	119
REFERÊNCIAS.....	120
CAPÍTULO 6.....	124
6. CONCLUSÕES.....	125
REFERÊNCIAS.....	126

CAPÍTULO 1

1. INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural indispensável para as atividades humanas, e tem sido instrumento de disputas entre diferentes sociedades. Sua gestão requer ações em termos de planejamento no que se refere ao uso e ocupação do solo, e das propriedades morfométricas, que contribuem para o entendimento da sua dinâmica hídrica. Uma vez que agem direcionados ao ciclo hidrológico, como também para a sua disponibilidade (Oliveira *et al.*, 2018; Santos *et al.*, 2021).

De acordo Silva e Ferreira (2019), a bacia hidrográfica é a unidade mais adequada para os estudos dos fluxos d'água, voltados para o carregamento dos nutrientes e sedimentos no rio principal e seus tributários, tornando-se apropriada para comandar as atividades de desenvolvimento voltadas à gestão e gerenciamento da água, favorecendo a realização de medidas estratégicas para os seus diversos usos.

Desse modo, as propriedades físicas da bacia hidrográfica influenciam diretamente nos elementos componentes e vazões. A partir disso, as análises e os trabalhos desenvolvidos em bacias hidrográficas atuam como importantes ferramentas para a gestão dos recursos hídricos, pois o planejamento dessas áreas ajudam a minimizar os impactos negativos ocasionados nas unidades e na qualidade do meio ambiente.

O uso e ocupação efetuado pelo ser humano em áreas próximas aos corpos hídricos, sem o devido planejamento, causa a instabilidade do sistema natural, como a degradação ambiental e a redução da disponibilidade hídrica. As áreas de lixo ao redor de nascentes, queimadas, atividades de pastagem e agricultura, lançamentos de água de esgoto, urbanização nas Áreas de Preservação Permanente (APP), uso da água sem outorga, são exemplos altamente prejudiciais as bacias (Aragão *et al.*, 2019; Silva; Lima, 2019).

Nas últimas décadas, especialmente nas regiões semiáridas do Nordeste, o debate sobre a gestão e disponibilidade de recursos hídricos aumentou diante de longos períodos de estiagem. Embora o Brasil seja rico em diversos recursos naturais, a vulnerabilidade hídrica é crítica, pois a disponibilidade hídrica está diminuindo nos reservatórios do semiárido e nos reservatórios superficiais e subterrâneos (Aires *et al.*, 2021).

No entanto, dado o crescimento urbano desordenado que decorre da falta de políticas sociais e estruturais que contribui para o crescimento populacional e do processo de crescimento do desenvolvimento urbano e agroindustrial, apontam que os recursos naturais estão em risco, especialmente em termos de segurança hídrica (Kroth; Vieira e Ykeizumi, 2020). Desse modo, enfatiza-se que a integração da política e regulamentação na gestão dos sistemas hídricos é fundamental para a tomada de decisões.

Os principais impactos da urbanização incluem concreto e asfalto tornando as superfícies impermeáveis e alterando a infiltração da água, levando a drenagem artificial e temperaturas ambientes elevadas. As construções causam mudanças no relevo e outros impactos, levando a um aumento significativo do escoamento superficial e da produção de sedimentos, o que leva, entre outras coisas, ao assoreamento da rede de drenagem e o transporte de contaminantes adicionados ao sedimento, resultando em um crescimento na produção de resíduos sólidos. Dessa forma, os recursos hídricos são os mais afetados por esses problemas, isso ocorre porque os rios são o destino final dos cursos d'água em uma bacia hidrográfica.

Segundo Mendes e Cirilo (2001), os problemas identificados nos rios são o resultado final dos sintomas causados pelos problemas que ocorrem em toda a bacia. Desse modo, o canal principal atua como um elemento integrador, assim como os canais, a montante e a jusante, estabelecendo assim uma relação causal entre o que acontece na superfície da bacia hidrográfica e o que é posteriormente transmitido ao canal e às águas subterrâneas. A descarga pode ser considerada como um indicador do estado de equilíbrio de uma bacia de drenagem para contabilizar os efeitos das atividades realizadas ao longo da bacia hidrográfica.

Desse modo, as bacias hidrográficas são cada vez mais utilizadas como unidades de planejamento e gestão territorial, sendo estudadas como unidades geoespaciais para a elaboração de processos e atividades relacionadas aos recursos naturais. Porém, é fundamental não desassociar os diversos fatores que compõem a bacia hidrográfica, como por exemplo os fatores físicos, químicos, biológicos, intervenção antrópica, e as distintas formas de atividades econômicas como agricultura, indústria e pecuária, pois há uma interação constante entre eles.

De acordo com Tucci (2002), um dos agravantes da situação atual em que se encontra a maior parte das bacias hidrográficas brasileiras é a ocupação dos espaços urbanos, em geral não levar em consideração a dinâmica dos recursos ambientais, resultando em grandes transtornos e prejuízos para a sociedade e o meio ambiente.

Nos municípios que integram boa parte de microbacias, não detém de políticas públicas que favoreçam a implementação de estações de tratamento de esgoto, ocorrendo assim, prejuízos para as populações próximas aos rios, principalmente durante o período chuvoso. Esses problemas decorrentes da rápida e precária urbanização das comunidades, combinados com as significativas pressões urbanas e influências antrópicas no entorno dessas microbacias incentivaram esse estudo.

Nesse contexto, a microbacia do alto curso da rio Cariús, situada no município de Santana do Cariri, no sul do estado do Ceará, é um exemplo de como é escasso o

gerenciamento dos recursos naturais e como a ocupação e uso do solo são irregulares, sendo capazes de influenciar no seu equilíbrio ambiental. A referida bacia é apontada como um dos mais importantes afluentes da bacia hidrográfica do Alto Jaguaribe, a qual se destaca por atender múltiplos usos em função da sua disponibilidade hídrica.

Diante disso, o presente estudo teve como objetivo compreender o funcionamento da microbacia do rio Cariús, considerando a sua dinâmica geoespacial e de suas características físicas, por meio da utilização de sistemas de informação geográfica, que constituem importantes instrumentos de apoio no estudo de bacias hidrográficas. Para alcançar este, foram delimitados neste trabalho os seguintes objetivos específicos: I - avaliar a caracterização morfométrica da microbacia do rio Cariús; II - identificar e caracterizar as unidades geomorfológicas da Microbacia do rio Cariús; III- realizar uma análise espaço-temporal e entender a dinâmica do uso do solo na microbacia do rio Cariús.

Este trabalho encontra-se estruturado da seguinte forma: introdução, que consiste na apresentação da temática, justificativa e os objetivos, que estão divididos em 3 artigos científicos. O primeiro artigo trata da análise e discussão da caracterização morfométrica da microbacia do rio Cariús, a partir dos parâmetros morfométricos. O segundo artigo diz respeito ao mapeamento geomorfológico da microbacia do rio Cariús, tratando da representação do seu relevo, quanto as suas formas estruturais e esculturais. O terceiro artigo discute as relações entre classes de uso e ocupação, identificadas na área de estudo, correlacionados em escala temporal com comparativos entre os anos do aumento e a diminuição da extensão dessas áreas.

CAPÍTULO 2

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Desenvolvimento Sustentável

O Desenvolvimento Sustentável é obtido quando as atividades humanas são economicamente eficientes, socialmente justas e ecologicamente corretas (Jardim, 2012). Do mesmo modo que a administração dos recursos naturais é considerada o primeiro passo para alcançar atividades humanas mais sustentáveis, podendo ser efetivamente implementada utilizando as bacias hidrográficas como unidade de gestão. Com os três pilares do desenvolvimento sustentável, evidencia-se o meio ambiente que está associado com a disponibilidade dos recursos naturais, em consequência, à disposição quanto ao uso e ocupação do solo. (Vendruscolo *et al.*, 2021).

A princípio, o mesmo tem sido abordado e debatido sob diversos ângulos, considerando todos ou parte dos aspectos econômicos, sociais e ambientais associados à existência da sociedade. Portanto, os pesquisadores têm se concentrado em compreender e propor novas formas organizacionais de negócios, comunidade e sociedade considerando as modificações causadas pelas novas dinâmicas ambientais, sociais e de mercado.

Barbosa (2008), relata que o termo "Desenvolvimento Sustentável" surgiu por meio de estudos realizados pelas Nações Unidas sobre as mudanças climáticas, como resposta humana a uma crise social e ambiental, ocorrida na segunda metade do século XX. Mais claramente, o termo foi usado nas décadas de 1980 e 1990, e sua inauguração global ocorreu em 1987, através da Comissão Brundtland. No início da década de 1990, o Desenvolvimento Sustentável foi acelerado, graças a uma significativa ampliação da qualidade e do volume da legislação ambiental, bem como dos acordos internacionais, além de estruturar o perfil das mudanças ambientais, provocando também uma transformação na política global (Feil, 2017).

O chamado Relatório Brundtland, desenvolvido pela Comissão Brundtland, representa o Desenvolvimento Sustentável como o desenvolvimento que atende às necessidades do presente sem comprometer as gerações futuras. Revela também que ele acaba por ser um processo de mudança, onde ao utilizar recursos a favor do investimento, orienta-se sobre como cumpri-lo, de forma harmonizada com respeito ao meio ambiente satisfazendo as necessidades humanas (Brasil, 2012).

Além disso, a temática está cada vez mais nos debates políticos, nas pesquisas acadêmicas e em todos os campos sociais, principalmente quando se trata de questões complexas decorrentes da relação entre recursos naturais e crescimento econômico, o que permitiu que o conceito de Desenvolvimento Sustentável nascesse (Stoffel, 2015).

Contudo, o seu conceito se tornou um modelo da sociedade contemporânea e se espalhou para todos os setores sociais. Diante disso, o que interessa é a questão de que diferentes segmentos da sociedade colocam em relação ao crescimento econômico, à preservação dos recursos naturais e à justiça social com o ambiente institucional. Com isso em mente, o Desenvolvimento Sustentável não é uma conversa para as gerações futuras, mas uma tarefa a ser feita no presente (Arruda, 2010).

Diante disso, diversos documentos e autores de relevância nacional e internacional têm contribuído para o avanço deste tema. O relatório da Comissão Mundial de Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD, 1991) – visto desde 1987 como Relatório Brundtland, apesar de ter sido publicado há pouco mais de trinta anos, continua relevante devido aos conceitos de importância local e global.

A apreensão da comunidade internacional com a temática da sustentabilidade antecedeu e sucedeu o relatório, destacando crescimentos como os: da Agenda 21 (criada em evento acontecido no Rio de Janeiro, em 1992), que aumentou o escopo do debate para abranger os padrões insustentáveis de produção e consumo e as pressões demográficas; como também dos novos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), produzidos no âmbito da Cúpula de Desenvolvimento Sustentável, realizada em 2015, na sede da Organização das Nações Unidas (ONU), correspondendo à Agenda 2030, que renovou o debate (ONU Brasil, 2020).

“Na natureza nada se cria, nada se perde, tudo se transforma” (Iaquinto, 2011, p. 29). Esse conhecimento, direcionado ao químico francês Antoine Laurent de Lavoisier, que viveu no decorrer do século XVIII, é atribuído ao título de um artigo de Kalinka Iaquinto (2011), no qual enfatiza como essa expressão nos traz, ainda hoje, pertinentes reflexões. Conforme a autora, o mundo está cada vez mais globalizado, e onde há cada vez mais consumidores como nós o excesso de desperdício é sempre uma preocupação.

Aplicando esse famoso ditado a um exemplo prático, podemos dizer que as coisas não podem simplesmente ser descartadas da terra. Os resíduos vão para algum lugar: um aterro, para serem queimados ou enterrados; um centro de reciclagem, para serem reaproveitados; ou para a compostagem, onde os resíduos orgânicos são capazes de serem devolvidos à natureza e utilizá-la. Portanto, quanto mais nos preocupamos com o destino dos resíduos produzidos, mais responsável é a nossa existência perante a natureza.

Tal como a nossa história de intervenção na natureza, especialmente com base nas estratégias de desenvolvimento urbano e econômico utilizadas em muitos locais, temos vivido diferentes alterações climáticas e crises ambientais. As crises hídricas, alimentares e de

recursos renováveis encontram-se cada vez mais importantes para a vida cotidiana e as catástrofes naturais estão a ocorrer com maior frequência; e novos vírus estão a surgir com maior frequência (Galvão, 2022).

Diante desse cenário Veiga (2010), relata que a sustentabilidade emerge como um possível ponto de inflexão para interromper a linha de crescimento acelerado em direção à destruição do meio ambiente e, conseqüentemente, da espécie humana. O vocábulo está associado principalmente a conceitos de ecologia, que se referem à capacidade de apoiar ou conservar processos biológicos para garantir a vida.

Embora poderemos considerar a revolução industrial como um ponto de início de uma mudança mais profunda no modo de vida adotado pelas diferentes sociedades em todo o planeta, as conseqüências do crescimento desordenado da população sobre a saúde do ambiente começam a ser evidenciadas a partir de eventos que incluem a poluição atmosférica registrados em meados da Segunda Guerra Mundial e poluição da água na década de 1950 (Pott; Estrela, 2017).

Na obra do livro “Primavera Silenciosa”, divulgado em 1962, a autora Rachel Carson evidencia relatos a respeito da alteração dos ciclos de vida nos ecossistemas, da fauna e da flora. Atuando como bióloga marinha nos Estados Unidos, ela reuniu, a partir do ano de 1940, informações de diversos fazendeiros sobre o que vinha causando danos o ciclo biológico dos animais e da flora, bem como sobre os efeitos nocivos dos pesticidas que foram desenvolvidos, após o encerramento da segunda guerra mundial no meio ambiente, em especial nas aves (Carson, 2010). Contudo, a aflição da autora com o futuro do planeta refletiu por todo o mundo, sendo um pontapé para a ação ecológica (Bonzi, 2013).

É visto, por exemplo, a Conferência Intergovernamental sobre o Uso Racional e Conservação da Biosfera em Paris (1968), e a Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente em Estocolmo (1972), foram eventos importantes no debate sobre o uso sustentável da biosfera. No primeiro caso, surgiu a necessidade de novos desenvolvimentos. Nesse momento, o conceito de desenvolvimento referia-se apenas à ideia ou grau de desenvolvimento sistemático da produção e da acumulação (de bens materiais, dinheiro, poder) e, portanto, ao desenvolvimento ecologicamente sustentável e à satisfação das necessidades humanas a nível individual (Unesco, 1969; Sachs, 2002). A segunda fase viu a criação do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e a criação de uma declaração que aborda os direitos das diferentes gerações de usar os recursos naturais com sabedoria para evitar danos ambientais. Vale ressaltar que as prioridades do PNUMA incluem: Aspectos ambientais de desastres e conflito, a gestão de ecossistemas; Governança ambiental;

Desenvolvimento Sustentável, Eficiência de Recursos e Mudanças Climáticas nos Níveis Nacional e Global (ONU, 1972).

Há também algumas ideias importantes no contexto de pesquisas e produções bibliográficas. Na década de 1970, o livro "Limites do crescimento" foi comissionado pelo clube de Roma, uma organização internacional que lida com problemas ambientais. Os autores empregaram sistemas computacionais para simular as consequências das interações entre os sistemas naturais e humanos da terra. Entre as conclusões expostas está a indicação de que, para evitar atingir o limite de crescimento do planeta, é necessário modificar as tendências de desenvolvimento e estabelecer uma condição de estabilidade ecológica e econômica. Quanto antes isso acontecer, maiores serão as chances de sucesso (Meadows *et al.*, 1973).

Como parte da reflexão sobre os limites do planeta, a *Global Footprint Network* desenvolveu o conceito de “pegada ecológica” criado por Mathis Wackernagel e William Rees, no início de 1990, para analisar o impacto das atividades humanas na natureza. Eles trabalharão com a New Economics Foundation, uma organização de pesquisa independente do Reino Unido, para determinar o “Dia da Sobrecarga da Terra”, o dia em que a Terra não será mais capaz de atender à alta demanda por recursos ecológicos renováveis e pelos serviços que eles fornecem. De acordo com dados e cálculos já realizados, em meados do século XXI poderíamos atingir necessidades de recursos correspondentes à produção de dois planetas Terra. (Museu do Amanhã, 2016; Footprint Network, 2021).

Em termos de um novo modelo de desenvolvimento almejado, o economista polaco Ignacy Sachs propôs, no final da década de 1980, uma "ecologização" do sistema de produção de riqueza, denominada ecodesenvolvimento, que combina a racionalidade na utilização do desenvolvimento e dos recursos ambientais. Ressaltando que sua teoria se baseia em três pilares: eficiência econômica, justiça social e prudência ecológica (Sachs, 1986). Isso destaca a necessidade de considerar a sustentabilidade, a partir de diferentes perspectivas e dimensões. Fortalecendo a importância de não apenas discutir e divulgar estes conceitos a nível global, mas também de criar ferramentas para orientar a formulação de políticas sobre essa questão, a ONU iniciou várias atividades neste sentido, incluindo as seguintes:

a) Em 1983, a Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (WCED) foi criada para discutir estratégias de desenvolvimento sustentável. O comitê emitiu um relatório contendo uma série de medidas que os países necessitam tomar para buscar a

harmonia entre o homem e a natureza, ou seja, o desenvolvimento sustentável e para lembrar as pessoas dos graves problemas ambientais que a Terra já vinha enfrentando.

b) Em 1988, criou o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), cujo objetivo principal é produzir relatórios regulares baseados numa revisão da literatura científica dedicada às alterações climáticas, a fim de fornecer informações úteis para a tomada de decisões políticas (Duarte, 2019).

c) Em 1992, a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (UNCED) foi realizada no Rio de Janeiro. Conhecida como "Rio 92" ou "Cúpula da Terra", a conferência reuniu mais de 179 países e um dos seus principais resultados foi a Agenda 21, “um instrumento de planejamento para a construção de sociedades sustentáveis [...] que concilia métodos de proteção ambiental, justiça social e eficiência econômica”. (MMA, (MMA, s/d, s/p));

d) Em 2015, a Cúpula das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável foi realizada em Nova York. A reunião gerou uma agenda, acordada por 193 Estados-membros da ONU, intitulada “Transformando Nosso Mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável”.

Dentre os já conhecidos “17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável” figura 2, a declaração também inclui “169 objetivos, secções sobre meios de implementação e novas parcerias globais, bem como mecanismos de avaliação e monitorização”.(ONU Mulheres, 2015, s/p).

Figura 1 – Infográfico com os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável



Fonte: ONU BRASIL (s/d).

Os trechos aqui apresentados de algumas das ações desenvolvidas pelas Nações Unidas sobre este tema, fornecem uma breve visão geral do escopo, a relevância e complexidade das discussões sobre desenvolvimento sustentável em nível internacional, incluindo diversas variações voltadas ao conceito. Por exemplo, Sachs (2002), acredita que o desenvolvimento sustentável só pode ser alcançado se todos os aspectos forem levados em conta (política social, cultural, ambiental, econômica, espacial, psicológica, nacional e internacional).

Na divisão conceitual proposta por Elkington (1999), inclui três dimensões: social, ambiental e financeira. O chamado tripé da sustentabilidade (ou, do inglês, Triple Bottom Line), representa uma extensão do modelo de negócio tradicional que, além dos aspectos financeiros, considera também os aspectos ambientais e sociais das empresas e organizações.

2.1.1 Aspectos sociais

Segundo o Centro Regional de Informação das Nações Unidas (UNRIC), a proposta do trabalho está relacionado com o Desenvolvimento Sustentável, estando retratado em uma dimensão ambiental com foco no contexto de organizações referente à ODS 15 – Vida terrestre: proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, deter e reverter a degradação da Terra e deter a perda da biodiversidade às práticas ambientais.

Evidentemente, se a maioria das empresas atuais resistirem à sustentabilidade, perderão espaço no mercado e acabarão por fechar. Com isso, procuramos desenvolver uma visão otimista para o futuro e desenvolver as estratégias sociais, econômicas e ambientais indispensáveis para concretizar Elkington (1997). Prova disso é a forma como o capital é calculado, definido e avaliado. Essa necessidade de mudar as atitudes consumistas, especialmente no Norte, tem sido influenciada pelo Sul, Sachs (2000). Propõem um novo conceito de desenvolvimento baseado na propriedade efetiva de todos os direitos humanos, políticos, sociais, econômicos e culturais, incluindo os direitos ambientais colectivos. O desenvolvimento sustentável deve, portanto, ocorrer à escala global, promovendo uma utilização equilibrada de todos os recursos naturais, possibilitando às pessoas viver com dignidade e proporcionando as mesmas oportunidades às gerações futuras.

Ao resolver problemas que envolvem os aspectos econômicos e sociais do desenvolvimento sustentável, há sempre a necessidade de equilibrar o uso dos recursos naturais e manter a proteção da diversidade biológica. Diante disso, os recursos hídricos, que são parte integrante da biodiversidade, são itens importantes a serem monitorados, pois

sabemos que alterações nos recursos hídricos relacionadas às mudanças climáticas podem causar danos à sociedade. Isso resultou na necessidade de focar na proteção do meio ambiente para que a geração atual possa viver uma vida digna e as gerações futuras possam desfrutar desse recurso (Sachs, 2000).

2.2 Bacias Hidrográficas

Segundo Assis, Mateus e Silva (2019), as bacias hidrográficas caracterizam-se pelo sistema de circulação das águas que correm pelos seus conjuntos de rios e são importantes mecanismos de promoção da água em termos de quantidade e qualidade. Partindo desse pressuposto, para Targa *et al.* (2012), uma bacia hidrográfica é definida como um conjunto de terrenos delimitados por um divisor topográfico, cuja malha de drenagem faz com que a água escoe para um único ponto denominado exutório no qual sistema de drenagem é composto por nascentes para córregos perenes, olhos de água para córregos intermitentes, denominados de afluentes e subafluentes.

De acordo com a Lei Federal nº 9.433 33 de 1997 da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), a bacia hidrográfica é constituída por uma unidade gestora nos planos de recursos hídricos elaborados para o estado e para o país, utilizados para planejar ações para pessoas (BRASIL, 1997). É enfatizado que as definições de bacias, sub-bacias e microbacias são feitas a partir da hierarquia no sistema de drenagem, de modo que cada bacia hidrográfica está conectada a outra em nível superior, formando uma sub-bacia em relação com a última bacia. Assim, o termo “microbacia”, mesmo quando promovido em nível nacional, carrega uma conotação subjetiva (Ortega, 2011).

As BHs apresentam-se como uma unidade paisagística ideal para estudos ambientais, pois além de exibirem características sistêmicas integrando fatores ecológicos, socioeconômicos e culturais, também são consideradas uma unidade de planejamento e gestão territorial. Como sistemas ambientais, os conceitos teóricos e as metodologias aplicadas à BH análise são baseados nos pressupostos da ciência ambiental, pois estão vinculados a uma abordagem de análise integrativa e multidisciplinar (Botelho, 2010).

Nesse sentido, a divisão de uma bacia hidrográfica em sub-bacias e microbacias propiciam na compreensão de algumas ideias confusas a respeito do que se comporta uma bacia hidrográfica, o que também acaba facilitando, através da proximidade em escala gráfica o reconhecimento da degradação dos recursos naturais e o compromisso sustentável com a adequação do uso da terra.

Os componentes que estão presentes em uma bacia hidrográfica são os recursos naturais como camadas de solo, vegetação, clima, geomorfologia, geologia coincidem de forma dinâmica, respondendo às mudanças naturais e antrópicas que interferem no ambiente (Silva *et al.*, 2017). Esses componentes naturais estão em constante mudança sob a influência de processos evolutivos naturais e atividades humanas, e as intervenções antrópicas nesse ambiente pode causar alterações nesses componentes que compõe esse sistema, causando impactos e/ou processos de degradação que mudam a dinâmica do ciclo natural (Christofoletti, 1999).

Conforme Girardi (2008), as águas pluviais, a declividade do relevo, os tipos de solos e a cobertura vegetal afetam a dinâmica do fluxo, provocando duas condições diferentes na qualidade da água. A primeira situação se revela positiva, pode haver a diluição das cargas dos poluentes por meio da renovação de águas pluviais e do aumento da concentração de oxigênio na água, essencial para a manutenção de espécies de vida aquática. No segundo, uma situação negativa, dependendo da conservação do solo, o deflúvio transporta as partículas atmosféricas e terrestres, as quais conduzem em direção aos corpos hídricos e drenam o solo, contribuindo para com a poluição desses recursos naturais.

A Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, formulou a Política Nacional de Recursos Hídricos no Brasil, estipulando que a gestão dos recursos hídricos consistia em ser descentralizada. Através da participação do poder público, junto aos usuários da água e da participação da comunidade. A gestão das bacias hidrográficas e execução dos recursos hídricos nacionais, consistem em uma unidade regional de política de recursos e desempenho do sistema nacional de gestão de recursos hídricos. Mudança essa na legislação de recursos hídricos acabou levando à criação da Comissão de Bacias Hidrológicas (CBHs), como condicionamento para democratizar o sistema. (Brasil, 1997).

Segundo Moraes (2018), a CBHs está em operação atualmente sendo financeiramente insustentável e carece de apoio político e capacitação, de forma que seus membros não podem desempenhar satisfatoriamente suas funções representativas. No entanto, eles são órgãos colegiados importantes para a gestão desses recursos hídricos e receberam o poder de lidar com as principais questões de recursos hídricos do país, dessa forma descentralizada para então gerenciar de forma satisfatória o conflito de interesses entre o governo e os usuários.

De acordo com o artigo 39 da Lei nº 9.433, o CBHs deve ser composto por representantes: da União, cujos territórios estejam localizados ou mesmo parcialmente situados em suas respectivas áreas de atuação; municípios localizados, total ou parcialmente,

em suas áreas de atuação; das entidades civis de recursos hídricos com atuação evidenciada na bacia (Brasil, 1997).

Segundo dados do Governo Federal, o Brasil detém aproximadamente 12% dos recursos hídricos mundiais. No entanto, nos últimos anos, principalmente devido às características geográficas de várias regiões e às mudanças na vazão dos rios ao longo do ano, elas têm enfrentado uma grave escassez de água. Essas mudanças podem vir de oscilações climáticas, como também a ausência de planejamento ou crescimento populacional. (Brasil, 2018).

De acordo com a Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, as microbacias hidrológicas são consideradas a menor unidade de gestão territorial. Com base na Política Nacional de Recursos Hídricos, a água é um bem público com atribuições econômicas. Sua gestão deve incluir as bacias hidrológicas que são a base para o planejamento, gestão e o uso sustentável da água e do solo.

Segundo Ávila (2016), as informações geradas por pesquisas relacionadas à água podem subsidiar seus padrões de gestão e tomada de decisão. Esses estudos dependem diretamente de medições e observações que são coletadas continuamente e com precisão no local. Sem dados básicos como vazão e precipitação, é impossível expressar as características do regime hídrico de qualquer bacia. No início deste século, vários países começaram a utilizar microbacias hidrológicas como unidades experimentais. Um grande número de resultados tem sido obtido mostrando que o uso do solo e as atividades florestais não afetam apenas a quantidade e as condições de fluxo, como também a qualidade do solo.

Tendo em vista os desafios atuais de garantir a disponibilidade de água para as gerações presentes e futuras, o bom uso e a proteção dos recursos hídricos devem ser planejados e geridos dentro dos princípios da sustentabilidade, visando garantir o abastecimento de água para as populações. A gestão desses recursos deve ser considerada como parte do processo de aquisição, visando manter a disponibilidade e a qualidade da água nos reservatórios superficiais e subterrâneos (Pieron *et al.*, 2019).

2.3 Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas

É evidente que o uso das geotecnologias, como Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas (SIG), são eficazes para tomada de decisões no planejamento e gestão sustentável de territórios. A aplicação da tecnologia SIG, facilita o acompanhamento do uso da terra porque as informações fornecidas por essas tecnologias permitem avaliação,

restauração e avaliações pontuais e temporais (Bargos *et al.*, 2017). Diante disso o Sistema de Informações Geográficas (SIG) se trata de um:

Modelo matemático dinâmico construído com um banco de dados digitais gerenciados para facilitar a atualização e ampliação dos dados georreferenciados de infinitas camadas de informação no planejamento e na otimização de uma determinada tarefa.[...] O SIG é empregado na integração e análise de fontes dispersas, como imagens digitais de satélites, mapas digitais de usos e tipos de solo, topográficos, hidrologias, vegetação, floras e faunas, cartas climatológicas, censos socioeconômicos e outros. Para alcançar seu objetivo de aplicações diversas, a construção de um banco de dados digitais georreferenciados é crucial. Os processos incluem a escolha, obtenção e armazenagem de dados de modo padronizado, em escalas compatíveis para fornecer e facilitar aos usuários a utilização, recuperação e manipulação das várias camadas de dados para atender suas aplicações específicas” (LIU, 2006, p.811).

Desse modo o SIG inclui uma série de ferramentas da tecnologia e permite o processamento de dados individual ou coletivamente. Da mesma forma que possui equipamentos capazes de responder a questões sobre a ocorrência de fenômenos no campo de interesse, sua outra função é estabelecer relações espaciais entre elementos gráficos para realizar estudos de lugares, feições e propriedades. Obtendo a capacidade de processar dados gráficos e não gráficos (alfanuméricos), com destaque na análise espacial e modelagem da superfície terrestre (Moreira, 2011).

O uso de técnicas de SIG são utilizadas para selecionar áreas de estudo, especialmente aquelas que utilizam métodos flexíveis de avaliação de diferentes critérios para auxiliar na tomada de decisão. Basicamente, a análise espacial em SIG visa gerar novas informações, o que acontece por meio de manipulação e integração com camadas de dados existentes (Lang Blaschke, 2009). Permitindo, ainda, avaliações complexas e precisas em um amplo território, em termos de tempo e qualidade dos resultados. Entretanto, o método e a eficiência vão depender da atualização e da qualidade da base de dados utilizada para realizar a análise, tais informações nem sempre estão disponíveis em municípios brasileiros e requerem investigação prévia dos dados e avaliação criteriosa dos resultados (Bohnenberger *et al.*, 2018).

De acordo com Santos *et al.* (2020), o enfoque nas questões ambientais requer a busca por novas análises e estratégias de pesquisa que considerem os mais diversos temas relacionados ao espaço geográfico. Portanto, com o surgimento das geotecnologias, a análise temporal do uso e cobertura do solo tornou-se mais eficaz. As novas tecnologias de geoprocessamento e sensoriamento remoto, amparadas pelas imagens de satélite, portanto, Augusto (2016), enfatiza que o (SIG), é o tipo de sistema que melhor pode auxiliar o geoprocessamento.

Em seguida o sensoriamento remoto (SR), se trata de uma tecnologia que possibilita o estudo das particularidades de um objeto, sem que haja ou se estabeleça qualquer tipo de contato físico com o mesmo. O procedimento ocorre através de sensores orbitais, que registram a radiação eletromagnética refletida ou emitida, adquirindo-se imagens de um determinado local da superfície terrestre a distâncias remotas (Mendonça *et al.*, 2013).

As tecnologias e métodos de processamento de imagem (SR), dispõem de um potencial para serem indispensáveis na análise ambiental pois fornecem informações sobre a cobertura da terra e sua dinâmica. Os seus produtos podem monitorar as mudanças na paisagem em termos de tempo e espaço. Com os produtos do processamento de imagens de satélite é possível: quantificar a biomassa superficial; distinguir as diferentes características da cobertura vegetal; estimar concentração de clorofila, umidade do solo e temperatura da superfície; categorizar diferentes formas de uso da terra; entre outras funções, que contribuem para a modelagem de processos naturais e antrópicos na superfície como também na atmosfera (Novo, 2008).

De acordo com Melo *et al* (2019), nessa tecnologia, existem imagens de satélite, que são obtidas a partir de sensores conectados a satélites que orbitam a Terra. Sensores especiais embutidos no satélite que captam bandas espectrais que o olho humano não consegue perceber, como infravermelho e ultravioleta. Esses dispositivos gravam essas imagens espectrais e criam um conjunto de imagens dentro de um mesmo objeto, representando cada uma delas com diferentes comprimentos de onda. Isso permite a visualização de anomalias em características espectrais, seja em culturas agrícolas, florestais ou pecuárias, solo e corpos d'água.

2.4 Uso e ocupação do Solo

O solo é a camada mais delicada e superficial da Terra e sustenta todos os seres vivos no planeta. É um recurso fundamental para a sobrevivência das espécies e um elemento necessário do ambiente natural, proporcionando espaços para todos os seres vivos, além da regulação de serviços ecossistêmicos, abastecimento de água e clima, conservação da biodiversidade, armazenamento de carbono e serviços culturais (Brevik *et al.*, 2015).

O uso da terra é a base para o desenvolvimento das plantas e auxilia na estabilidade da vegetação natural, assim como das plantas cultivadas, incluindo não só nossas diversas florestas, mas também as pastagens, assim, como a grande variedade de plantas manejadas para alimentação, conforme seja as necessidades da sociedade.

Com o avanço do crescimento populacional, aumenta a demanda por novas superfícies, para atender necessidades habitacionais ou para realizar determinadas atividades. Em muitas vezes, isso acaba sendo uma consequência, levando à ocupação desorganizada do espaço e ao uso desequilibrado dos recursos naturais. Contudo, o uso indevido do solo pode levar a impactos ambientais, como erosão intensa, perda de biodiversidade, inundações e sedimentação de reservatórios e cursos d'água (Santos, 2010; Vaeza *et al.*, 2010).

O uso descontrolado dos recursos naturais devido ao crescimento populacional gera conflitos no processo no uso e ocupação do solo, principalmente em ambientes com limites urbano-rurais, ou seja, especificidades de áreas periurbanas, como ilhas de calor, redução de fragmentos florestais e remoção de terras. A retirada da vegetação para a pavimentação, não respeita a conservação da água e reduz a resiliência dos ecossistemas conectados às redes de urbanização.

Hinata (2023), enfatiza que o uso da terra, incluindo tipos de vegetação e atividades humanas, afeta a produção de água. Esse fator é uma das considerações mais relevantes na gestão de bacias hidrográficas. Outra maneira de avaliar essa mudança é por meio da análise de dados baseada em sensoriamento remoto, que pode melhorar a forma de como se utiliza o uso da terra, verificando pixel a pixel das mudanças de classe em intervalos de tempo específicos.

A ocupação humana devido ao alto uso do solo sinaliza a ausência de propostas de ordenamento territorial, levando a impactos ambientais negativos como redução de matéria orgânica, salinização, impermeabilização, compactação e deslizamentos de terra, poluição do solo, remanejamento de matas ciliares, incêndio, erosão, desertificação, irrigação, exploração, perda de flora e fauna; todos os impactos humanos combinados com impactos naturais, como terremotos, erupções vulcânicas, inundações, ciclones e marremotos, contribuem para a perda de biodiversidade (Simonetti *et al.*, 2019).

Embora a agropecuária tenha função importante na economia brasileira, a ausência de práticas conservacionistas também faz dessa atividade um agente de degradação e conflitos. O excesso de sedimentos, fertilizantes, pesticidas e estrumes carregados aos corpos hídricos diminuem o oxigênio e elevam a temperatura da água, resultando num ambiente adverso para os organismos sobreviverem. O arado excessivo e as águas da chuva também causam o empobrecimento do solo, contribuindo para a erosão hídrica: o terreno tem sua estrutura despreendida de matéria orgânica rica em nutrientes e esta, por sua vez, deposita-se nas depressões dentro das vertentes e fundos de vales (Giri; Qiu, 2016).

Efetivamente, a contaminação causada por forte desperdício de resíduos sólidos pode ser um problema atual genuíno que, quando supervisionado de forma ineficaz, pode resultar em diversos infortúnios que influenciam vários ângulos, como impedimentos no meio ambiente e até com o bem-estar da saúde humana. Nesse sentido, cabe destacar que o termo resíduo sólido é determinada na “Política Nacional dos Resíduos Sólidos” (PNRS – Lei 12.205/2010), da seguinte maneira:

Material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível.

De acordo com Pessoa *et al* (2019), a falta de manuseio e armazenamento adequado desses resíduos resultou na falta de controle sobre esse material, de modo que esse resíduo sólido costuma ser transportado para corpos d'água. Esse é um dos maiores problemas ambientais da atualidade, portanto, ações devem ser tomadas, seja em campanhas de incentivo à redução do consumo, seja em projetos de coleta e destinação desses resíduos. De acordo Oliveira, Tores e Gonçalves (2019, p.1),

O crescente aumento do consumo de água para as diferentes necessidades: consumo humano, irrigação, recreação etc. é uma realidade que tem permeado debates em diferentes instâncias, governos, instituições de pesquisas, sociedade civil organizada, e outros segmentos, há décadas. A escassez desse recurso tem resultado em diferentes modos de armazenamento. Uma das práticas mais comuns utilizadas dentre os povos com a finalidade de armazenar água visando atender às prioridades básicas, sobretudo, em períodos de falta de chuva, época de secas é a construção de barragens.

Desde o momento no qual o homem passou a relacionar esses efeitos ao mau uso da terra, surgiu o interesse em entender as causas desses desastres e, ao mesmo tempo, pensar em formas de proteger o solo e a produtividade. Conforme Silva e Silva (2019), nos últimos séculos, o processo de urbanização global nas áreas marginais desses corpos d'água tem se intensificado. O processo de reorganização é frequentemente realizado leva a um aumento do impacto ambiental e aumento da pressão sobre os processos e elementos naturais da bacia hidrográfica, mesmo que tenha impacto sobre o rio, levando entre outros efeitos, a degradação dos cursos de água, portanto, a sociedade se recusa a restaurar as condições naturais dessa drenagem natural.

Segundo Dinotte *et al* (2019), os processos naturais associados com as ações antrópicas, através da ocupação do homem no espaço visando os meios de produção e subsistência podem trazer danos irreparáveis para o meio ambiente. A remoção da vegetação

nativa para inserção de pastagem ou culturas podem iniciar ou acelerar processos erosivos, com o solo exposto por ações antrópicas ou naturais e o início das chuvas, através do efeito *splash* das gotas da chuva que causam o desprendimento das partículas e sendo carregada pelas águas pluviais, formando micro redes de drenagem que vão se intensificando com decorrer dos anos. Bueno (2017), afirma que:

O crescimento populacional, aliado à aglomeração de sítios urbanos em locais sem a devida observância da sua capacidade de abastecimento produzida pelos seus serviços ecossistêmicos, causam pressão constante e crescente sobre recursos renováveis, principalmente por água para abastecimento, além de constituírem caminho irreversível rumo a degradação ambiental. Apesar da demanda mundial por água crescer constantemente, os suprimentos globais são limitados e sua disponibilidade vem se tornando um problema real para um número cada vez maior de países. (Bueno, 2017, p. 01)

Portanto, com o interesse em conter a degradação dos recursos naturais e estabelecer um equilíbrio entre o desenvolvimento natural e a proteção, às disposições legais que regulam o uso e a gestão dos recursos naturais foram formuladas leis para proteger os recursos hídricos, paisagens e geologia estável, biodiversidade, além de defender o fluxo gênico em animais e plantas, protegendo o solo e garantindo o bem-estar da população (BRASIL, 2012). Na visão de Brito et. al., (2019, p.1).

Mediante a recorrente falta de planejamento, e a ocupação desordenada do homem sobre a superfície terrestre, a preocupação de como ocorre a utilização dos recursos naturais em detrimento à preservação do ambiente, tem se tornado cada vez mais alvo de debates no meio acadêmico e em várias esferas da sociedade. As áreas destinadas à preservação permanente são consideradas essenciais ao meio natural e a sociedade humana por desempenharem um papel fundamental na manutenção e proteção dos mananciais.

Além disso, entender e monitorar os tipos de uso e ocupação do solo é essencial para a compreensão dos padrões de organização dos espaços naturais, pois eles podem ser analisados a partir de uma perspectiva espaço-temporal e, portanto, a partir dos resultados desses monitoramentos, abordagens mais sustentáveis podem ser propostas, cujo objetivo principal é mitigar os impactos ambientais, principalmente os negativos (Ribeiro; Albuquerque, 2017).

2.5 Geomorfologia

A Geomorfologia é um campo específico da Geografia física, que faz parte da gama de conhecimentos de disciplinas que compõem as geociências. É uma ciência integradora, pois contempla o estudo dos processos de formação do relevo, incluindo características litológicas, tectônicas, climáticas, hidrológicas e do solo (Silva; Rodrigues, 2009). Rodrigues (1998), destaca ainda que esta ciência classifica e analisa as formas da superfície terrestre, com o

objetivo de compreender as relações dinâmicas atuais e passadas de acordo com os vários aspectos do processo interligados, tais como: genéticos, cronológicos, morfológicos, e dinâmicos.

Segundo Christofolletti (1980), a geomorfologia se refere à modelagem topográfica de determinadas partes do espaço. O autor completa ainda a questão das forças que regulam a paisagem geomorfológica, já abordada no ponto anterior, que são formadas por um conjunto de processos ativos que transformam e moldam a superfície terrestre. Nesse sentido, levanta-se a questão sobre a grande relação entre formas e processos essenciais para a ciência geomorfológica, o que conduz, conseqüentemente, ao estudo do sistema geomorfológico.

Desse modo, um sistema geomorfológico consiste em padrões, processos e relações entre eles. Trata-se de um sistema aberto que interage e influencia outros sistemas. Essa relação entre processo e forma é compreendida pela ciência geomorfológica que busca a compreensão por meio da análise do funcionamento dos sistemas de relevo. O resultado dessas análises implica conhecer os aspectos e a dinâmica da topografia atual, que varia de acordo com a diversidade climática e estrutural, onde os processos e as formas dependem das mesmas, pois as formas são respostas aos processos, enquanto os processos são respostas às condições estruturais e climáticas (Christofolletti, 1980).

Para melhor compreensão as formas de relevo e o sistema geomorfológico, é indispensável a abordagem dos quatro principais sistemas antecedentes dos fatos iniciais que o compõem:

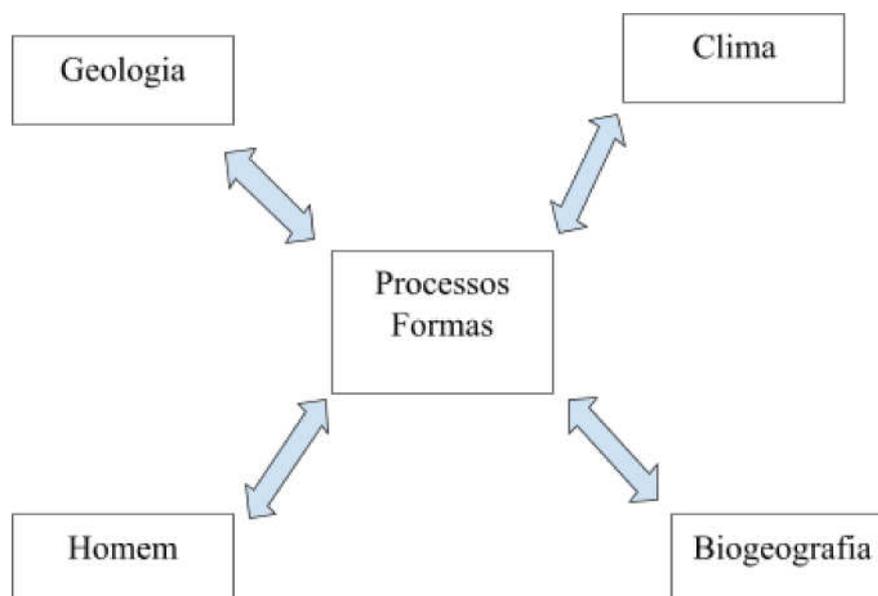
a) Um sistema climático que suporta e mantém a dinâmica dos processos através do calor, da umidade e dos movimentos atmosféricos.

b) O sistema biogeográfico, representado pela cobertura vegetal e pela vida animal associada, segundo as suas características, desempenha o papel de fator diferenciador na modalidade e intensidade dos processos e na introdução e na retirada da matéria

c) Sistema geológico que, pela sua disposição e variabilidade litológica, é o principal fornecedor de materiais e representa um fator passivo influenciado pelos processos.

d) O sistema antrópico, representado pelas atividades humanas, é o fator responsável pelas alterações na distribuição de matéria e energia nos sistemas, alterando seu equilíbrio. Consciente ou involuntariamente, os humanos produzem mudanças perceptíveis em processos e formas através de influências destrutivas ou controladoras em sistemas sequenciais (Christofolletti, 1980). A Figura 2 corresponde os quatro sistemas que manipulam e controlam o sistema geomorfológico

Figura 2: Os sistemas controladores do sistema geomorfológico.



Fonte: Adaptado de CHRISTOFOLETTI, 1980.

Além disso, a geomorfologia deve ser entendida como multidisciplinar, pois fundamenta a compreensão das estruturas espaciais com base tanto na natureza física dos processos quanto em relação à sua natureza socioeconômica (Argento, 2007). Segundo Casseti (1991), o relevo promove a inter-relação entre o homem e o meio ambiente e é, portanto, um elemento de grande importância, pois pode orientar, facilitar e influenciar as ações humanas.

Nesse sentido, é importante destacar a preocupação com o ambiente natural inerente ao desenvolvimento do conhecimento geomorfológico que vem da escola germânica que incluía também russos e poloneses e com Passarge (1922), e Troll (1932), se consolidou o desejo de proteção do meio ambiente e de busca de melhores condições para o povoamento da superfície terrestre encontra-se nas pesquisas geomorfológicas, por vezes representadas na cartografia de relevo, elemento essencial na apresentação dos fatos geomorfológicos (Casseti, 1991).

Ao considerar a topografia, é oportuno atentar para a sistematização da análise geomorfológica em três níveis de integração proposta por Ab'Sáber (1969). Este autor produziu uma importante contribuição metodológica ao sistematizar a abordagem da geomorfologia em três níveis.

O primeiro nível condiz à subdivisão topográfica, que se refere ao estudo e descrição dos relevos (análise horizontal). No segundo nível, pretende-se obter informação sobre a estrutura superficial das paisagens, correspondente a todos os intervalos morfológicos observados, permitindo compreender a cronogeomorfologia através dos processos paleoclimáticos e morfoclimáticos quaternários da área estudada (análise vertical), e por último o nível da fisiologia da paisagem, que visa compreender os recentes processos morfoclimáticos e pedogenéticos em que o homem está envolvido como fator de apropriação do ambiente e de modificação das relações processuais entre a morfodinâmica e a resposta do solo.

Quanto à subdivisão topográfica, objeto deste trabalho, é necessário levar em conta os diferentes níveis topográficos e as características do relevo para se obter um produto que dê suporte quanto à forma de uso e ocupação da superfície terrestre (Cassetti, 2005). Este aspecto deve ser destacado pela cartografia geomorfológica, que é responsável pela representação e classificação das formas geomorfológicas e fornece um meio de comunicação e análise da ciência geomorfológica a fim de facilitar a compreensão dos resultados obtidos (Silva; Rodrigues, 2009). Contudo os estudos geomorfológicos permitem examinar vários elementos que desempenham um papel na modelação das formações terrestres. Cooke e Doornkamp (1990), possibilitam o estudo dos processos geomorfológicos e a compreensão de suas diferentes formas por meio da cartografia.

2.5.1 Cartografia Geomorfológica

Como ferramenta de análise e síntese, Ross, 2014 aponta que a cartografia geomorfológica possibilita a representação genética das formas do relevo, suas relações com estruturas e processos, bem como a dinâmica desses processos em sua especificidade (Cassetti, 2015). Nesse sentido, a análise diz respeito a aspectos morfogenéticos (processos endógenos e exógenos), morfográficos (formas de relevo), morfométricos (elevação, faixa de elevação, declividade, etc.), morfodinâmicos (erosão atual, processos de deposição), e morfocronológicos (idade absoluta ou relativa das formas de relevo) (Torres *et al.*, 2013). A síntese, por sua vez, está vinculada a uma visão compartilhada desses atributos, de modo que o mapa geomorfológico se traduza em diagnósticos ambientais e em conhecimento sobre as possibilidades e limitações do ambiente para as atividades humanas (IBGE, 2009).

Com isso, o mapa geomorfológico é uma das ferramentas mais eficazes na investigação paisagística porque ilustra a fisiografia e a dinâmica das formas do relevo num determinado espaço. Esta representação pode surgir como uma síntese da interação de

elementos da paisagem, principalmente solo, vegetação e relevo, sendo este último o fator principal; bem como o foco exclusivo em elementos geomorfológicos como estrutura de falhas, leques, depressões de blocos. Independentemente da forma de análise e representação da paisagem geomorfológica, é clara a importância da cartografia geomorfológica, tanto para o domínio do espaço como para a compreensão da sua configuração e dinâmica natural.

Na geomorfologia, a cartografia serve para representar gráfica e espacialmente os fatos geomorfológicos, ou seja, os objetos e fenômenos examinados. A cartografia geomorfológica representa, portanto, uma ferramenta de grande importância para a geomorfologia, pois envolve a síntese e análise de pesquisas geomorfológicas (Florenzano, 2008).

A análise geomorfológica é uma ferramenta comum em contextos não acadêmicos e é praticada para diversos fins, com especial atenção para: apoiar o planejamento do uso de terras agrícolas ou urbanas, gestão dos recursos naturais da região, avaliar o potencial de abastecimento de água para energia hidroelétrica, irrigação e outros projetos. Um mapa geomorfológico é praticamente um plano de informação obrigatório para qualquer tipo de pesquisa ambiental.

No entanto, a maioria dos estudos geomorfológicos científicos são de natureza puramente descritiva e não pretendem gerar dados aplicáveis a outras áreas de investigação geocientífica. Segundo Saadi (2013), a maioria das publicações científicas na área da geomorfologia dão a impressão de que apenas estudam a aparência da superfície terrestre e, em última análise, a sua evolução ao longo do tempo geológico, apenas como um exercício puramente acadêmico, mas muitas vezes sem previsões práticas e relevantes para o avanço de outras áreas científicas.

Devido à necessidade de representar um grande número de parâmetros e feições, o mapeamento geomorfológico é uma atividade complexa, principalmente porque não existe uma padronização internacional para a identificação e classificação de feições geomorfológicas. Portanto, na prática da cartografia geomorfológica, um conjunto de convenções é selecionado com base na relação entre o uso pretendido, o método utilizado e o âmbito de representação, para que os documentos cartográficos resultantes cumpram a sua função fundamental, fornecendo informações sobre o assunto em questão (Correia, 2008).

Segundo Ross (2007), um mapa geomorfológico deve orientar a pesquisa e, quando concluído, apresentar uma síntese que seja o resultado da pesquisa. É uma informação e uma oportunidade para novas pesquisas. Nesse sentido, o mapa de relevo torna-se indispensável para as ciências geomorfológicas.

Porém, produzir mapas geomorfológicos não é uma tarefa fácil. Na verdade, esta afirmação pode ser derivada da existência de numerosos trabalhos sobre os métodos de cartografia geomorfológica. Ross (2007), levanta novamente a questão da complexidade de tais mapas em comparação com outros mapas temáticos, uma vez que o objeto cartográfico (o relevo), é um elemento de ordem relativamente abstrata e um mapa geomorfológico deve representar dinâmica e gênese desse elemento.

Portanto, surgem diversas questões sobre o que, como e qual elemento, representação ou metodologia deve ser utilizado para criar um documento cartográfico que descreva a geomorfologia de uma determinada região ou local. Além disso, permanecem preocupações quanto à captação de outras informações como gênese, idade, bem como processos morfogenéticos que influenciam a dinâmica do relevo. Há também a questão da extensão do processamento ou representação, que se refere ao nível de detalhe que pode ser aplicado ao mapeamento.

Para estudar a paisagem morfológica desde as suas origens, é necessário primeiro levar em conta o tempo sequencial e identificar os vestígios da sua história evolutiva. Para isso, é necessário percorrer as fases evolutivas da paisagem que antecederam a sua morfologia atual. Teorias e abordagens geomorfológicas combinadas com pesquisas *in loco* facilitam a interpretação dos diversos relevos.

Pesquisas relacionadas à drenagem fluvial podem contribuir para a compreensão e explicação de muitos problemas geomorfológicos, visto que os rios são um dos processos morfogenéticos mais ativos na formação da paisagem. A drenagem é um dos elementos mais sensíveis às alterações topográficas, especialmente aquelas associadas a sintomas tectônicos ou climáticos, o que se reflete na sua resposta morfológica e morfométrica e na sua adaptação a um estado de quase equilíbrio (Christofoletti, 1980; Santos, Ladeira e Batezelli, 2019).

Os autores ainda afirmam que o efeito do clima e da tectônica envolve a formação e modificação de feições geomorfológicas por meio de diversos mecanismos, que levam a assinaturas geomorfológicas resultantes do uso dos rios e podem representar importantes indicadores diagnósticos da origem e da natureza dos processos envolvidos no processo. Ocorrendo desenvolvimento de ambientes, modernos e do passado, nas áreas em domínios de interior continental.

A dinâmica do relevo pode ser compreendida sob uma perspectiva sistêmica (Christofoletti, 1999). A complexidade da ideia do sistema é aceita em estudos relevantes e varia, entre outras coisas: dependendo do tamanho da área, do intervalo de tempo, das formas e dos processos e do detalhamento da análise.

Atualmente não existe um modelo de cartografia geomorfológica unificado e padronizado. Esse parece ser o caso da pesquisa geomorfológica devido ao grande número de métodos existentes e aos critérios de seleção, tais como: a natureza do ambiente, um melhor enquadramento taxonômico e regionalização, a diversidade de legendas e outros parecem ser um problema. Portanto, é interessante compreender como foram construídas as técnicas utilizadas para representar as formas e processos do relevo, gerando discussões sobre como a forma da superfície é criada e analisada, para que haja a necessidade ou não para que seja padronizada.

CAPÍTULO 3

3. ANÁLISE MORFOMÉTRICA DA MICROBACIA DO ALTO CURSO RIO CARIÚS EM SANTANA DO CARIRI -CE

RESUMO

As Bacias hidrográficas apresentam-se como uma unidade paisagística ideal para estudos ambientais, pois além de exibirem características sistêmicas integrando fatores ecológicos, socioeconômicos e culturais, também são consideradas uma unidade de planejamento. O estudo morfométrico em microbacias hidrográficas é fundamental para a produção de conhecimentos voltados às suas características específicas, contribuindo diretamente para a sua gestão territorial. Nesse contexto, o objetivo deste estudo foi avaliar a caracterização morfométrica da microbacia do alto curso do rio Cariús, que está localizada em sua maior parte no município de Santana do Cariri- CE, através de dados do Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), Sistema de Informações Geográficas (SIG), com o auxílio do software livre Quantum GIS (QGIS) 3.22.7, utilizando o Modelo Digital de Elevação (MDE). Foram definidos parâmetros que atuam no comportamento hidrológico da área da microbacia. Com base no processamento e análise dos dados do modelo digital de elevação e da metodologia utilizada, foi possível obter e analisar as características morfométricas da MBRC divididas em classificações geométricas, de drenagem e relevo. Contudo, o conhecimento dos aspectos físicos e morfométricos resultou na capacidade de auxiliar na sua gestão.

Palavras-Chave: Bacia hidrográfica. Geoprocessamento. Caracterização. Morfometria.

MORPHOMETRIC ANALYSIS OF THE MICROBASIN OF THE UPPER CARIÚS RIVER IN SANTANA DO CARIRI -CE

ABSTRACT

Watersheds are an ideal landscape unit for environmental studies, as in addition to exhibiting systemic characteristics integrating ecological, socioeconomic and cultural factors, they are also considered a planning unit. The morphometric study in river basins is fundamental for the production of knowledge focused on their specific characteristics, directly contributing to their territorial management. In this context, the objective of this study was to evaluate the morphometric characterization of the microbasin in the upper reaches of the Cariús River, which is mostly located in the municipality of Santana do Cariri- CE, through data from the Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), System of Geographic Information (GIS), with

the help of the free software Quantum GIS (QGIS) 3.22.7, using the Digital Elevation Model (DEM). Parameters that affect the hydrological behavior of the watershed area were defined. Based on the processing and analysis of data from the digital elevation model and the methodology used, it was possible to obtain and analyze the morphometric characteristics of the MBRC divided into geometric, drainage and relief classifications. However, knowledge of the physical and morphometric aspects resulted in the ability to assist in its management.

Keywords: Hydrographic basin. Geoprocessing. Description. Morphometry.

1. INTRODUÇÃO

As bacias hidrográficas caracterizam-se pelo sistema de circulação das águas que correm pelos seus conjuntos de rios e são importantes mecanismos de promoção da água em termos de quantidade e qualidade (Assis; Mateus; Silva, 2019). Partindo desse pressuposto, uma bacia hidrográfica pode ser ainda definida como um conjunto de terrenos delimitados por um divisor topográfico, cuja malha de drenagem faz com que a água escoe para um único ponto denominado exutório, no qual seu sistema de drenagem é composto por nascentes para córregos perenes, olhos de água para córregos intermitentes, denominados de afluentes e subafluentes (Silva *et al.*, 2018).

Geralmente ocorrem problemas entre os espaços antrópicos e naturais, que se repetem cada vez com mais frequência, principalmente nas cidades onde as ferramentas da gestão de uso e ocupação do solo não são eficientemente empregadas (Lima *et al.*, 2020). Destacando-se as ocorrências de doenças endêmicas (Lima *et al.*, 2018), as inundações (Segundo *et al.*, 2020), e a contenção dos padrões de qualidade da água (Castro *et al.*, 2020), que são alguns exemplos do impacto humano sobre os sistemas ambientais presentes em áreas urbanas.

Os efeitos diretos do comportamento humano no processo hidrológico têm consequências significativas no ambiente que são responsáveis por alterar a área da bacia hidrográfica. A compreensão da dinâmica dessas áreas é um desafio constante devido à falta de informações, especialmente em análises temporais e a longo prazo (Andrade; Mello; Beskow, 2013; Raiol *et al.*, 2022; Santos *et al.*, 2020).

Dessa forma, a caracterização morfométrica das bacias hidrográficas é apresentada como um método que realiza análises hidrológicas e evidencia a dinâmica ambiental local e regional, pois consiste na avaliação de parâmetros geométricos, de drenagem e de relevo, os

quais estão interligados e afetam o sistema hidrológico (Raiol *et al.*, 2022; Silva; Farias, 2021).

Entre muitas técnicas de caracterização geoambiental, se evidencia o uso de ferramentas de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), bastante utilizadas para caracterização morfométrica de bacias hidrográficas (Crispim *et al.*, 2021). As ferramentas SIG são preferidas devido à sua velocidade e precisão de cálculo de muitas variáveis geomorfológicas, que permitem o processamento e armazenamento de informações em volumes ponderados e áreas com alta resolução espacial, sem a necessidade de um forte suporte tecnológico (Santos *et al.*, 2017).

Segundo Rodrigues e Barbosa (2020), a microbacia hidrográfica do rio Cariús (MBRC) tem sua nascente no município de Santana do Cariri, Ceará, e possui um dos mais importantes afluentes da Bacia do Alto Jaguaribe, que sofre com a influência do clima da região e a antropização, e ainda, contribui com o abastecimento público de água, irrigação, piscicultura, construção civil e agropecuária.

Contudo, muitos são os impactos ambientais existentes nesta bacia, tais como a perda da vegetação nativa no sistema de drenagem, o aumento da quantidade de sedimentos em suspensão e o assoreamento do rio, podem causar danos tanto ao sistema hídrico como aos solos (Oliveira *et al.*, 2022), bem como a falta de políticas públicas que afeta o adequado planejamento da infraestrutura urbana, a exemplo da instalação de tratamento de esgoto que o município não possui, ocasionando danos a população situada próxima ao rio no período chuvoso, como inundações, alagamentos, infestações de mosquitos transmissores de doenças.

Essas problemáticas resultam da rápida e precária urbanização desse município, aliadas à pressão substancial das aglomerações e ações antrópicas presente na microbacia (Baldissera *et al.*, 2017), motivaram a realização deste estudo. A partir disso, a exploração dos dados morfométricos foi realizada por meio de técnicas de geoprocessamento, buscando a identificação do padrão de drenagem e relacioná-los com as formas do relevo. Visando melhorar a oferta do gerenciamento do seu uso e como também das intervenções já existentes, bem como fornecer contribuição de pesquisas e informações adicionais aos produtores rurais, instituições públicas e privadas e autoridades da região.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Caracterização da área de estudo

A área de estudo compreende à MBRC Figura 1, localizada no município de Santana do Cariri, no sul do estado do Ceará, o qual é um dos nove municípios que compõem a Região

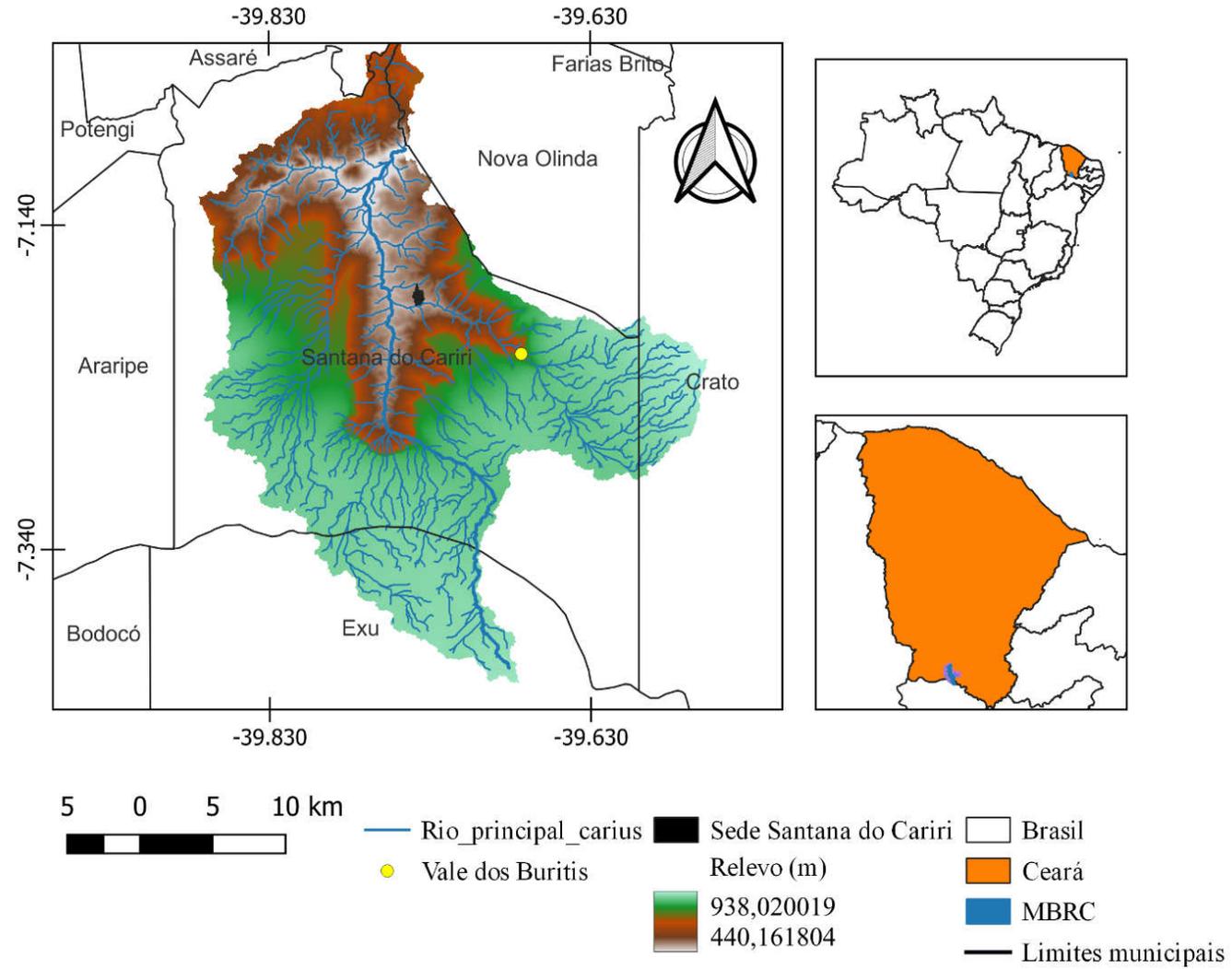
Metropolitana do Cariri. O município possui uma extensão territorial de 855,165 km² com uma população estimada em 17.726 habitantes (IBGE, 2022).

A precipitação média anual na região está em torno de 898,8 mm (FUNCEME, 2023). O clima é predominante Tropical Quente Semi-árido, Tropical Quente Semiárido Brando, Tropical Quente Sub-úmido. Na questão geomorfológica, encontra-se na área a Chapada do Araripe e a Depressão Sertaneja. A vegetação é caracterizada, de forma geral, pela presença do cerrado, mata seca (floresta subcaducifólia tropical), mata úmida (floresta subperenifólia tropical plúvio-nebular), caatinga arbórea (floresta caducifólia espinhosa) e carrasco (IPECE, 2017).

Com água aflorando numa altitude de 717 metros, o Rio Cariús nasce no Vale dos Buritis, no sopé da Chapada do Araripe, entre as coordenadas 7°13'12.49S e 39°40'22.98W, em Santana do Cariri, a 11 Km da sede do Município. De lá, passa pelos municípios de Nova Olinda, Farias Brito, Cariús, antes de desaguar no Rio Jaguaribe, em Jucás. Por isso, as chuvas nesta região são as principais responsáveis pela recarga do Orós, o segundo maior reservatório do Estado do Ceará (Cogerh, 2022).

A área apresenta grande variedade de vegetação, tendo a presença de veredas, que são ambientes típicos de áreas de chapadões recobertos por Cerrados e estão localizados onde há abundância de umidade (Guerra, 2020). Também se encontra no local a presença de espécies da Caatinga, domínio predominante, assim como também espécies da Mata Atlântica. Há a presença de oito tipos de Gleissolos Melânicos, solos com presença de carbonato de cálcio sem que este afete o desenvolvimento da maioria das plantas, onde se tem as chamadas veredas (Guerra, 2020).

Figura 1- Localização da MBRC



Fonte: Autor (2022), adaptado da base de dado USGS (2022)

2.2. Metodologia

Para a delimitação da MBRC utilizou-se o Modelo Digital de Elevação (MDE), do projeto Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), obtido no site do EarthExplorer (USGS, 2022), correspondente à imagem do Landsat Caminho 217 linha 65, com resolução espacial de 30m. A delimitação da MBRC foi realizada, a partir do *software* QGIS versão 3.22.7 pelo qual foram operadas ferramentas do algoritmo SAGA (*System for Automated Geoscientific Analyses*), versão 7.8.2, para extrair a área de interesse no MDE em resolução espacial original de 30 m.

Após a estruturação do MDE, foram feitas projeções dos mesmos, migrando do sistema de coordenadas geográficas para o sistema de coordenadas cartesianas; este processo foi indispensável para determinar a área e o perímetro da projeção UTM. A seguir efetuou-se recorte do MDE utilizando um retângulo que envolveu a bacia para reduzir a dimensão da imagem, acelerando os processamentos seguintes. Em seguida, seguiu-se o seguinte fluxo de trabalho descrito pelos algoritmos SAGA para obter o divisor topográfico para a bacia.

Para corrigir o MDE e remover pixels que pudessem colocar em risco a continuidade do fluxo de água foi aplicado o preenchedor de depressões (Fill Sink). A partir deste, com o auxílio do algoritmo Channel Network and Drainage Basins, foi possível determinar o fluxo de pixel a pixel em somente uma direção dentro de oito caminhos possíveis em relação aos pixels vizinhos. Esta etapa cria três arquivos, um mostrando o curso d'água (Channels), as junções entre os trechos dos cursos (Junctions), e o outro, a microbacias (Basis). Este último arquivo não foi usado.

Na determinação da área de contribuição, foi marcado o ponto de exutório, que consiste em uma representação de um ponto de drenagem, ou seja, da seção de controle. A bacia de interesse foi então determinada utilizando o algoritmo *Upslope Área* do SAGA, resultando em uma área de contribuição a montante do ponto de exutório. A bacia criada é então usada para recortar os canais criados na etapa anterior (*Channel Network and Drainage Basins*). O arquivo gerado é em formato vetorial (polígono), permitindo calcular sua área e perímetro. Os arquivos de canais também são em formato vetorial (linha), permitindo o cômputo dos comprimentos dos trechos e o número de trechos.

Após a delimitação, e para entender o funcionamento de uma bacia hidrográfica, torna-se necessário expressar quantitativamente os valores dos parâmetros morfométricos: nela estão presentes as características geométricas, drenagem e relevo. Na MBRC essas particularidades morfométricas foram avaliadas e divididas quanto aos parâmetros, alguns

deles aplicáveis à bacia como um todo, enquanto que outros relativos a apenas algumas características do sistema. Os resultados desses parâmetros foram obtidos por meio de processamentos executados no QGIS 3.22.7, como especificado na Tabela 1.

Tabela 1- Parâmetros morfométricos analisados na MBRC

Parâmetro	Descrição	Equação	Fonte
Perímetro (P) (Km)	Comprimento da divisão da bacia hidrográfica que envolve a bacia.	Através de ferramentas do QGis	Horton (1945)
Área (A) (Km ²)	Consiste na área drenada.	Através de ferramentas do QGis	Horton (1945)
Comprimento do eixo (Lb) (Km)	Demonstra a maior distância entre dois pontos, geralmente é expresso em km.	Através de ferramentas do QGis	Horton (1945)
Fator de forma (Kf)	Relação entre a área da bacia (A) e o comprimento do eixo da bacia (L).	$Kf = A/L^2$	Horton (1945)
Índice de circularidade (IC)	Relação entre a área da bacia (A) e o perímetro (P) da bacia.	$IC = 12,57$	Miller (1953)
Razão de alongação (Re)	Relação entre índices pré determinados, a área da bacia (A) e o comprimento do eixo da bacia (L).	$Re = 1,128.(A.0,2)/L$	Schumm (1963)
Coefficiente de compacidade (Kc)	Relação entre o perímetro (P) da bacia e a área da bacia (A).	$Kc = 0,28.(P/\sqrt{A})$	Lima (1969)
Comprimento do rio principal (R)	Da nascente ao exutório.	Através de ferramentas do QGis	Horton, 1932)
Comprimento do talvegue do rio principal (LRP)	Comprimento do rio principal em linha reta	Através de ferramentas do QGis	Horton, 1932)
Comprimento da rede de drenagem (Cr)	Relação entre o comprimento da rede de drenagem (Cr) e a área da bacia (A)	$Dd = Cr / A$ (km/km ²)	Horton (1945)
Número de seguimento de córregos d'água (Nt)	Soma de todos os canais da bacia Classificação hierárquica.	$Nt = N1 + N2 + \dots + Nn$	(Horton, 1932)
Padrão de drenagem (Pd)	O padrão de drenagem é o resultado do trabalho das águas que atingem, penetram e se escoam pela superfície do solo	Através de ferramentas do QGis	(Silva, 2003).

Ordem da bacia (Ob)	Classificação hierárquica	Através de ferramentas do QGis	Strahler (1964)
Razão da bifurcação (Rb)	Relação de bifurcação é a relação entre o número total de segmentos de uma certa ordem e o número total dos de ordem imediatamente superior.	$Rb = Nu/Nu+1$	Christofolletti (1980)
Razão de bifurcação média (Rbm)	Definido com o objetivo de encontrar um índice de bifurcação mais representativo que a relação de bifurcação	$Rbm = \sum Rb / n$	Schumm (1956)
Densidade de drenagem (Dd)	Relação entre o comprimento da rede de drenagem (Cr) e a área da bacia (A).	$Dd = Cr / A$ (km/km ²)	Horton (1945)
Densidade hidrográfica (Dh)	Relação entre o número de segmentos de rios (Nt) e a área da bacia (A).	$Dh = Nt / A(\text{km}^2)$	Christofolletti (1969)
Razão de textura (T)	Relação entre o número de segmentos de rios (Nt) e o perímetro da bacia (P).	$T = Nt / P(\text{km})$	França (1968) Smith (1950)
Sinuosidade do rio principal (Sin)	Relação entre o comprimento rio principal (R) e o perímetro do talvegue do rio principal (LRP).	$Sin = R / LRP$	Schumm (1963)
Índice de sinuosidade do rio principal (IS)	Relação entre o comprimento rio principal (R) e o perímetro do talvegue do rio principal (LRP).	$IS = 100 \cdot (Rp - LRP) / Rp$	Schumm (1963)
Declividade de álveo	Relação da variação da cota (ΔH) e do comprimento do rio principal (R); Da área abaixo do perfil (Abp); Da extensão horizontal (Li) e da declividade (Di), ambos de cada trecho.	$S1 = \Delta H / R$ $S2 = 2 \cdot Abp / R^2$ $S3 = L / [\sum (Ri / \sqrt{Di})]$ $S4 = \Delta H / R$ (10-85%)	Villela e Mattos, 1975
Amplitude altimétrica (H)	(H) Diferença entre as altitudes máxima e mínima ocorrentes na bacia.	$H = e_{max} - e_{min}$	Strahler (1952)

Índice de rugosidade	Relação entre a variação da cota (ΔH) e a Densidade de drenagem (Dd).	$Ir = \Delta H * Dd,$	Christofoletti (1969)
Razão de relevo (Rr)	Relação entre a variação da cota (ΔH) e o comprimento do eixo da bacia (L).	$Rr = \Delta H/L$	Christofoletti (1969)

Fonte: Autor (2022)

A caracterização foi feita através de cálculos dos parâmetros físicos como descritos na tabela 1 que relacionam as principais medidas da bacia por Área (A), Perímetro (P), Comprimento do eixo (Lb), Coeficiente de compacidade (Kc), Fator de forma (Ff), Índice de circularidade (Ic), Razão de alongação (Re).

Nas características hidrográficas relacionadas com as principais dimensões da rede hidrográfica da bacia, estão presentes o comprimento do rio principal (R), Comprimento do talvegue rio principal (LRP), Comprimento da rede de drenagem (Cr) e Ordem da bacia (Ob) determinado de acordo com Strahler (1957), Densidade de drenagem (Dd), Densidade hidrográfica (Dh), Razão de textura (T), Sinuosidade do rio principal (Sin), Índice de sinuosidade (Is), inclinação alveolar S1, S2, S3 e S4 e Razão de bifurcação média (Rbm).

As características do relevo, que associam as principais medidas do comportamento das altitudes e declividades na bacia, foram determinadas Elevação na foz – emin (m), Elevação máxima - emax (m), Amplitude altimétrica -H (m), Declividade máxima da bacia - Dmaxb (%), Declividade média da bacia - Dmeb (%), Declividade mínima da bacia – Dminb (m), Razão de relevo - Rr e o Índice de rugosidade - Ir.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Índices morfométricos de classificação geométrica da MBRC

A partir do processamento e análises dos dados de modelo digital de elevação e metodologias supracitadas, foi possível obter as características morfométricas da MBRC, divididas em classificação geométrica, de drenagem e de relevo.

Os índices derivados da caracterização geométrica da MBRC são apresentados na (Tabela 2). Para Tucci (2009), a principal característica na definição de seu potencial hídrico e hidrológico é a área da bacia, uma vez que o seu valor multiplicado pela lâmina da chuva precipitada define o volume de água recebido pela bacia, enquanto a forma da bacia define se ela possui tendência ao risco de cheias ou não.

Tabela 2 - Índices morfométricos de classificação geométrica da MBRC

Características geométricas	Valor
Área (A)	694,757 km ²
Perímetro (P)	231,202 km
Comprimento do eixo (Lb)	37,22 km
Coefficiente de compacidade (Kc)	2,456
Fator de forma (Kf)	0,502
Índice de circularidade (Ic)	0,165
Razão de alongação (Re)	0,112

Fonte: Autor (2022).

O valor da área (A), atua como parâmetro inicial para a análise morfométrica, de onde pode ser combinado com outras variáveis. Correspondendo a toda a área drenada do sistema fluvial em sua projeção horizontal entre seus divisores topográficos (Machado; Torres, 2012). Na MBRC obteve-se um valor de área (A), de 694,757 km², permite entender que nas épocas de concentração pluviométrica pode ser captado um grande volume de água. Reforçando que é através da área que pode-se determinar o potencial hídrico da bacia, pois a área da própria bacia é a área onde se acumula a água depositada (Collischonn; Tassi, 2008). Machado *et al.* (2011), verificaram que quanto maior o valor de (A), maior deverá ser o monitoramento, pressupondo também maior diversidade de ambientes.

O perímetro (P), da MBRC é de 231,202 km, e representa a extensão total da projeção ortogonal da microbacia, de modo que a extensão da linha de captação envolve a mesma, podendo contribuir com as outras características. Dessa forma, é possível estabelecer uma relação entre o (P), da bacia com o (P), de um círculo de mesma área (Cardoso *et al.*, 2006). Já o valor do comprimento do eixo (L), que foi de 37,22 km, permite uma melhor compreensão da forma da bacia, se ela é alongada ou mais arredondada quando relacionada a área da bacia (Horton, 1945). Esse valor foi calculado no QGIS, usando a maior distância entre dois pontos.

O coeficiente de compacidade (Kc), de uma bacia hidrográfica, além de ser utilizado para indicar seu formato, também indica intensidade e susceptibilidade a sofrer picos de enchentes, em condições normais de precipitação. A bacia hidrográfica do rio Cariús, apresentou um Kc igual a 2,456. Para Mello e Silva (2013), bacias que apresentaram valores de Kc superiores a 1,5 apresentam formato alongado e não estão sujeitas a enchentes. Elsadek (2018), afirma que valores elevados do Kc indicam que a bacia possui formato não circular,

possuindo maior tempo de concentração da água, aumentando a oportunidade de infiltração da mesma no solo.

O índice de circularidade (I_c), e a fator forma (K_f), são outros índices utilizados para correlacionar a forma da bacia com figuras geométricas conhecidas. De acordo com Horton (1932), quanto menor o Fator de Forma (K_f), mais longa e estreita a bacia, obtendo uma menor chance da ocorrência de enchentes, uma vez que há menos possibilidade de ocorrência de chuvas intensas cobrindo simultaneamente toda a sua extensão, além da contribuição dos tributários atingirem o curso de água principal em vários pontos, o que evita a sua acumulação ao mesmo tempo. Para a bacia em estudo, o valor de K_f encontrado foi de 0,502, observando-se que é uma bacia de pouca circularidade e com pequena possibilidade de gerar enchentes, segundo a classificação proposta por Villela e Mattos (1975), definindo que quanto mais próximo de 1, mais circular é a bacia e maior é a sua tendência a gerar enchentes rápidas e acentuadas.

Já no índice de circularidade (I_c), o valor encontrado foi de 0,165. Quanto mais próximo estiver de 1, mais circular a bacia e maior será a probabilidade de enchentes no curso de água principal, ocasionadas por precipitações intensas. Por outro lado, quanto mais distante for de 1, mais alongada e estreita será a bacia e menores as chances de ocorrerem enchentes (Silva *et al.*, 2016).

A Razão de alongação (R_e) revela, assim como o (K_f), um indicador de susceptibilidade da bacia à enchente com base na sua forma. Portanto, quanto maior o valor de (R_e), mais próxima estará de um círculo e maior será a possibilidade de enchente, enquanto valores inferiores observados na R_e se devem a uma bacia mais alongada e menos propensa a cheias.

Conforme Machado e Torres (2012), às águas provenientes das vertentes e dos tributários que se apresentam ao curso de água principal são em sua maioria simultâneos, ou seja, eles coletam em um curto período de tempo o que acaba gerando um pico de vazão. A Razão de alongação (R_e) obtida foi 0,112 corresponde, assim, a uma bacia alongada. Lima *et al* (2013) constatam que essa geometria promove um fluxo de água bem distribuído ao longo do todo canal principal, resultando cheias de volume inferior em comparação com uma bacia de forma circular.

3.2 Índices morfométricos de classificação de drenagem da MBRC

Os índices morfométricos de caracterização hidrográfica são apresentados na Tabela 3. As principais medidas da drenagem da MBRC são o comprimento do rio principal de 47,876

km, o comprimento do talvegue do rio principal de 36,092 km. A classificação da rede de drenagem, segundo o Strahler (1957), disponibiliza parâmetros que podem ser utilizados para se conhecer o grau de ramificação e ou a bifurcação dentro da bacia hidrográfica (Campos *et al.*, 2012), além de ser possível mensurar a extensão dos cursos de água. Villela e Mattos (1975), constatam que quanto mais ramificada a rede, ou seja, de maior ordem, mais eficiente é a drenagem. Essa extensão de escoamento superficial é nomeada Extensão Média do Escoamento Superficial.

Tabela 3 - Índices morfométricos de classificação de drenagem da MBRC

Características drenagem	Valor
Comprimento do rio principal (R)	47,876 km
Comprimento do talvegue rio principal (LRP)	36,092 km
Comprimento da rede de drenagem (Cr)	957,47 km
Número de seguimento de córregos d'água (Nt)	902 Unid
Padrão de drenagem	Dendrítico
Ordem da bacia (Ob)	5
Densidade de drenagem (Dd)	1,378 km.km ⁻²
Densidade hidrográfica (Dh)	1,298 canais.km ⁻²
Razão de textura (T)	3,90 km ⁻¹
Sinuosidade do rio principal (Sin)	1,326 km.km ⁻¹
Índice de sinuosidade (Is)	32,65 %
Declividade do Álveo 1 (S1)	0,010 m.m ⁻¹
Razão de bifurcação média (Rbm)	1,96

Fonte: Autor (2022)

Verifica-se quantitativamente que a extensão do comprimento de toda a rede de drenagem da bacia foi de 957,47 km, com 902 unidades de trechos (segmentos), de vazão. O padrão de drenagem da microbacia foi, segundo a classificação de Christofolletti (1980), do tipo dendrítico, assemelhando-se ao formato de uma árvore, que se desenvolve nas rochas sedimentares presentes na microbacia. A drenagem da microbacia foi classificada como de 5ª ordem, indicando que, segundo o sistema de drenagem, a bacia é bastante ramificada.

A bacia apresenta 455 canais de 1ª ordem, 211 caracterizadas de 2ª ordem, 98 de 3ª ordem, 99 de 4ª ordem e 39 de 5ª ordem. De acordo Tonello *et al* (2006), quanto mais ramificada a rede, mais eficiente é o sistema de drenagem. Essas estimativas afetam diretamente as particularidades, da densidade de drenagem (Dd), densidade hidrográfica (Dh), e razão de estrutura (T) (Souza *et al.*, 2021).

Conforme Baratto e Trentini (2012), a densidade de drenagem é um parâmetro essencial para a análise morfométrica, essa variável representa o número de canais de drenagem em bacias hidrográficas. Com base na elaboração feita pela Funceme (2012), os tipos de solos presentes como Latossolo Amarelo, Vermelho-Amarelo, Argissolo Vermelho-Amarelo, Argissolo Vermelho, Nitossolo Vermelho e Vertissolos da MBRC atuam na densidade de drenagem, uma vez que as rochas menos permeáveis propiciam a um maior escoamento superficial, formando um número maior de cursos de água. Por outro lado, em solo arenoso ocorre uma maior infiltração da água, o que acaba impedindo a formação de canais fluviais.

Os valores baixos de O_d estão normalmente relacionados a regiões de rochas permeáveis e de regime pluviométrico caracterizados por precipitações de baixa intensidade ou devido a pouco acúmulo das chuvas, e valores altos estão associados a baixa densidade da cobertura vegetal, maior perceptual de dissecação do relevo, fatores, declividade, existência de material subsuperficial não muito permeável, dentre outros (Alves *et al.*, 2020).

A classificação da D_d , desenvolvida por Beltrame (1994), permite conhecer o potencial de drenagem da bacia hidrográfica, o que leva a uma maior ou menor intensidade dos processos erosivos na escultura do canal. Conforme Horton (1945), observado em Vilella e Mattos (1975), a D_d pode variar de $0,5 \text{ km/km}^2$ em microbacias com drenagem pobre, a $3,5 \text{ km.km}^{-2}$ ou mais, em microbacias excepcionalmente bem drenadas. Já Christofolletti (1969), considera a densidade de drenagem de uma bacia menor que $7,5 \text{ km.km}^{-2}$ como baixa drenagem.

A MBRC apresentou uma D_d de $1,378 \text{ km/km}^2$ indicando, segundo Vilella e Mattos (1975), que esta bacia se enquadra dentre o percentual de bacias com drenagem regular, e segundo Christofolletti (1969), drenagem pobre. Este fato se deve à presença de rochas sedimentares da formação geológica Santana, rochas essas permeáveis que propiciam um menor escoamento superficial, formando um número menor de cursos de água, sendo a maioria canais de drenagem de 1ª ordem. O que também foi observado por Parente *et al.* (2020), que afirmam que solos permeáveis conferem uma baixa densidade de drenagem à bacia, sobretudo nas áreas com cotas mais altas no alto curso.

A D_h é um índice importante porque permite analisar a capacidade de uma determinada área de criar novos corpos d'água e tende a mudar continuamente de acordo com a densidade de drenagem (Raiol *et al.*, 2022). Para a bacia em estudo, o D_h calculado foi de 1,298 número de canais/ km^2 aponta que a bacia possui maior facilidade em drenar a água precipitada, pois, segundo Gerber (2018), os baixos valores de densidade de drenagem

hidrográfica, refletem a dificuldade da água encontrar rapidamente um canal para ser drenada. O valor da relação de textura (T), é de 3,90 km⁻¹ e caracteriza-se como média, indicando maior número de canais no terreno.

A sinuosidade do canal (Sin), principal é um agente que controla a velocidade do fluxo de água, pois quanto maior a sinuosidade, maior o obstáculo da água encontrado no seu percurso até a foz, resultando em uma menor velocidade (Batista *et al.*, 2022). Conforme Souza *et al* (2017), valores de sinuosidade muito próximos de 1, apontam que o canal tende a ser retilíneo e, valores maiores que 2 revelam canais tortuosos. Valores entre 1 e 2 indicam formas transicionais, formas regulares e irregulares. O valor obtido do Sin para a MBRC foi de 1,326 km.km⁻¹ e Is de 32,65%, indicando classificação quanto a sinuosidade do canal como retilíneo e um pequeno número de irregularidades. Este recurso permite a interpretação do tempo de retenção de água, concluindo que está próximo aos canais de padrão retilíneo.

O valor médio de declividade do álveo (S1), foi de 0,010 m.m⁻¹, o que permite verificar as mudanças na declividade do curso de água do canal principal. Este parâmetro é de grande importância para o manejo de bacias, pois influencia diretamente no escoamento de água e, conseqüentemente, no tempo de concentração.

3.3 - Aspectos da rede de drenagem da bacia de contribuição da MBRC

A Razão de bifurcação média (Rbm), indica o grau de permeabilidade e suscetibilidade à erosão da bacia, onde valores elevados do parâmetro indicam pico de vazão prematuro e possibilidade de inundação, causando severa degradação do solo (Howard, 1990). Christofolletti (1980) mostra que o resultado não pode ser menor que 2, esses valores indicam o grau de dissecação da bacia, quanto maior o valor do índice de bifurcação, maior o grau de dissecação. Relevos mais dissecados são constituídos de vales profundos ou incisos e topos pouco largos (Bertolini, Deodoro, 2018). Valores, geralmente, menores que 2 indicam relevo colinoso (Castro; Carvalho, 2009). A razão de bifurcação média (Rbm), foi de 1,95 apontando que em média são necessários 1,95 canais de uma ordem para formar um canal de ordem superior, como representado na Tabela 4.

Tabela 4 - Aspectos da rede de drenagem da bacia de contribuição da MBRC

Nº Ordem	Nº Canais	Razão Bifurcação	Razão Média
----------	-----------	------------------	-------------

1	455		
2	211	2,1563981042654	
3	98	2,1530612244898	
4	99	0,98989898989899	1,95945496427893
5	39	2,53846153846154	

Fonte: Autor (2022)

3. 4 - Índices morfométricos de caracterização do relevo da MBRC

A caracterização e os índices morfométricos de classificação de relevo da MBRC pode ser observados na Tabela 5. A amplitude de altimétrica (Hm), é a razão das variações topográficas na bacia e equivale à diferença de altura em metros entre a altura da foz (altura mínima), e o ponto mais alto da distribuição topográfica (altura máxima), próximo ao eixo (Strahler, 1952). A microbacia possui elevação na foz de 439,05m e a altura máxima de 918,0 m. Dessa maneira, o valor encontrado para a amplitude altimétrica (H), foi de 478,991. O que indica que esta bacia possui um relevo suavemente plano ondulado, podendo ser destinadas a culturas anuais, requerendo práticas simples de conservação e uso das terras (Lepsch *et al.*, 2002). Essas propriedades de amplitude têm pouco efeito sobre a quantidade de radiação interceptada pela bacia e, portanto, sobre a evapotranspiração, temperatura e precipitação (Lopes, 2016).

Tabela 5 - Índices morfométricos de caracterização do relevo da MBRC

Características relevo	Valor
Elevação na foz (emin)	439,05453 m
Elevação máxima (emax)	918,0462 m
Amplitude altimétrica (H)	478,991 m
Declividade máxima da bacia (Dmab)	6,588 %
Declividade média da bacia (Dmeb)	1,478%
Declividade mínima da bacia (Dmib)	0,0149%
Razão de relevo (Rr)	0,01286 m/m
Índice de rugosidade (Ir)	660,050 km

Fonte: Autor (2022)

Os parâmetros de declividade da MBRC expressam um auxílio essencial no seu gerenciamento, pois estão voltados ao tempo de duração do escoamento superficial e a concentração da precipitação dos seus cursos de água (Simonetti; Silva; Rosa, 2022). Estando presente, a associação através da declividade com a morfologia da bacia, onde alguns determinantes como o uso do solo, a infiltração da água e do escoamento superficial são relevantes para a definição de áreas protegidas pela lei (Silva *et al.*, 2022). A declividade média encontrada para a bacia foi 1,478%, apresentando um menor escoamento e, conseqüentemente, não susceptível à erosão.

Conforme Schumm (1956), quanto maior a razão de relevo da bacia, maior o desnível entre a nascente e a foz e, conseqüentemente, a declividade média da bacia. O resultado obtido da bacia observada de (Rr), foi de 0,01286 m/m, é considerado um valor baixo (Rodrigues; Werlang, 2011), sugerindo uma microbacia com relevo relativamente suave. O resultado encontrado significa que existe uma taxa de velocidade baixa do escoamento superficial e melhor infiltração de água no solo, conforme o que também foi observado por Zanata *et al.* (2011), no córrego da Cachoeira-SP. A baixa amplitude altimétrica possibilitou a visualização de baixos valores de razão de relevo, correspondendo a uma bacia com relevo suave com potencial para a agricultura segundo essa característica.

O Índice de rugosidade (Ir), calculado para bacia em questão resultou em 660m. Assim pode-se concluir que a área da bacia possui um índice de rugosidade relativamente baixo. O valor do (Ir), de uma bacia hidrográfica é influenciado pelos valores da densidade da drenagem e amplitude altimétrica; valores elevados levam a um maior valor declividade do terreno e maior de valor de declividade, atividade que reforça a intensificação do escoamento superficial e processos erosivos (Batista *et al.*, 2011; Sousa; Rodrigues, 2012).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O conhecimento dos aspectos físicos e morfométricos de uma bacia deve fazer parte do planejamento do uso e ocupações, fornecendo diagnósticos e características do relevo e informações das áreas que não são adequadas a determinados usos.

A partir da análise da morfometria conclui-se que a MBRC quanto a sua geometria detém formato alongado e não está sujeita a enchentes em condições normais de chuva. Possui formato não circular, dispondo de maior tempo de concentração das águas. A baixa declividade da microbacia apresenta um menor escoamento e, conseqüentemente, não susceptível a erosão, permitindo concluir que o solo tem uma condição melhor a uma maior infiltração da água de precipitação e menor escoamento superficial da água.

Quanto à drenagem e ao relevo, a microbacia é caracterizada de 5º ordem e seu padrão de drenagem formado pelos cursos de água caracteriza-se como do tipo dendrítico bastante ramificadas. A sinuosidade demonstrou um canal como retilíneo e um pequeno número de irregularidades na microbacia, seguido do índice de rugosidade que é relativamente baixo, indicando potencialidades do uso do solo com pastagens para a prática da agropecuária. Destacando também que a utilização inapropriada dessas terras pode provocar problemas sérios de inundações, assoreamento entre outros.

Por fim, os softwares livres são apontados com uma ferramenta eficaz para a partir da análise da morfometria conclui-se que a MBRC, de uma forma facilitada e automatizada, e através dos processamentos e avaliações são capazes de auxiliar na gestão e no gerenciamento dos recursos hídricos. Demonstrando também uma opção prática e viável, minimizando custos e tempo, usando apenas dados SRTM e softwares livres.

REFERÊNCIAS

- ALVES, W. S.; MARTINS, A. P.; MORAIS, W. A.; PÔSSA, É. M.; MOURA, D. M. NS.L.; MOREIRA, E.P. **Morfometria da bacia hidrográfica do rio verdinho, sudoeste de Goiás, Brasil. Revista Brasileira de Geografia Física**, 13(07), p. 3636-3658, 2020. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.07.p3636-3658>.
- ANDRADE, M.A.; MELLO, C. R. D.; BESKOW, S. **Simulação hidrológica em uma bacia hidrográfica representativa dos Latossolos na região Alto Rio Grande, MG. Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, 17(01), 69- 76.2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000100010>.
- ARAÚJO, M. D.; RIBEIRO, M. M. R.; BRAGA, C. F. C. **Integrando a modelagem da alocação de água ao sistema de indicadores FPEIR: aplicação ao semiárido do Brasil. Engenharia Sanitária e Ambiental** 24, 6, 1167-1181, 2019.
- ASSIS, P.C.; MATEUS, N.B.; SILVA, A.P.M. **Análise de impactos nos cursos hídricos da bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Rosa. XVIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada (SBGFA)**. 2019.
- ATAÍDE, L. C. P.; RODRIGUES, R. S. S.; PESSOA, F. C. L. **Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Tauá, nordeste paraense. Rev. Brasileira de Gestão Ambiental**, 11(1), 130-138, 2017.
- BARATTO, D.S.; TRENTIN, R. **Análise das unidades de relevo da bacia hidrográfica do Arroio Puitã (RS). Revista Geonorte, Edição Especial**, v. 3, n. 4, p. 543-555, 2012.
- BALDISSERA, A. D.; RIBEIRO, E.; GALLI, C.P.; MERLO, T.B.S. **Urbanização Difusa. Anais de Arquitetura e Urbanismo / ISSN 2527-0893, [S.l.]**, v. 1, n. 1, p. 159 - 170, june 2017.

ISSN 2527-0893. Disponível em:<<https://uceff.edu.br/anais/index.php/cau/article/view/26>>. Acesso em: 28 Mai 2023.

BATISTA, D. F.; CABRAL, J. B. P.; ROCHA, T.; BARBOSA, G. R. **caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Ribeirão Santo Antônio - Go.** Geoambiente On-line, Goiânia, n. 29, 2018. DOI:<https://doi.org/10.5216/revgeoamb.v0i29.50882>.

BELTRAME, A.V. **Diagnóstico do meio físico de bacias hidrográficas: modelo e aplicação.** Florianópolis: UFSC, 1994.

CAMPOS, S.; PISSARRA, T.C.T.; CARREGA, E.F.B. **Geoprocessamento aplicado na avaliação morfométrica da microbacia do Ribeirão Tabuleta – Piquete (SP).** Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista, v. 8, n. 2, p. 422-436, 2012.DOI: <https://doi.org/10.17271/19800827822012270>.

CARDOSO, C.A.; DIAS, H.C.T.; SOARES, C.P.B.; MARTINS, S.V. **Caracterização morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Debossan, Nova Friburgo, RJ.** Revista *Árvore*, v. 30, n. 2, p. 241-248, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622006000200011>.

CASTRO, D.C.C.; RODRIGUES, R.S.S.; FERREIRA FILHO, D.F., **Escoamento superficial na área convergente aos lagos Bolonha e Água Preta em Belém e Ananindeua, Pará.** Research, Society and Development 9, e38932373.2020. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i3.2373>.

CEARÁ, Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. **Ceará em mapas interativos** – Distritos. Fortaleza/CE, 2018. Disponível em:<<https://www.ipece.ce.gov.br/ceara-em-mapas-interativos/>> . Acesso em: 04 Jan. 2022.

CHRISTOFOLETTI, A. **Análise morfométrica das bacias hidrográficas.** Notícia Geomorfologia, Campinas, v.18, n.9, p.35-64, 1969.

CHRISTOFOLETTI, A., 1980. **Geomorfologia**, 2a edição. Editora Edgard Blucher, São Paulo 188 p.

COLLISCHONN, W.; TASSI, R. **Introduzindo hidrologia.** IPH – UFRGS, 5a versão. 2008. 151p.

CEARÁ. **Caderno Regional da Sub-Bacia do Alto Jaguaribe.** Conselho de Altos Estudos e Assuntos Estratégicos, Assembleia Legislativa do Estado do Ceará. Fortaleza: INESP, vol. 5, p. 120, 2009.

COGERH. **Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos.** Disponível em: www.cogerh.com.br. Acesso em: 8 de Dezembro. 2022.

CRISPIM, D. L.; SILVA, P. E.; GABRIEL, V. D. A.; FERNANDES, L. L. **Morphometric characterization of the Igarapé Quarenta Horas hydrographic basin in the municipality of Ananindeua, Pará.** *Journal of Hyperspectral Remote Sensing* v. 11, n. 1, p. 1-10, 2021.

FRANCISCO, V. A. L. E. **Caracterização morfométrica e uso do solo da bacia hidrográfica do Rio Pontal**. 2016. Tese de Doutorado. UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO.

ELSADEK, W. M.; IBRAHIM, M. G.; MAHMOD, W. E.; KANAE, S. **Developing an overall assessment map for flood hazard on large area watershed using multi-method approach: case study of Wadi Qena watershed, Egypt**. Natural Hazards, [s.l.], v. 95, n. 3, p.739-767, 30 out. 2018. Springer Science and Business Media LLC. DOI : <http://dx.doi.org/10.1007/s11069-018-3517-3>.

FRANÇA, G. V. **Interpretação fotográfica de bacias e de redes de drenagem aplicadas a solos da região de Piracicaba**. 1968, 151p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

FUNCEME, **Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. Calendário das Chuvas no Estado do Ceará**. Disponível: <http://funceme.br/app/calendario/produto/ceara/media/anual>. Acesso em: 8 mar.. 2023.

GERBER, D.; PERTILLE, C.T.; VIEIRA, F.S.; CORRÊA, B.J.S.; SOUZA, C.F. **Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Itajaí – Santa Catarina**. Acta Biológica Catarinense 5, 72-83, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.21726/abc.v5i1.446>.

GUERRA, M.D. F.; SOUZA, M.J. N.; SILVA, E.V. **Veredas da Chapada do Araripe: subespaços de exceção no semiárido do estado do Ceará, Brasil**. Ateliê Geográfico, v. 14, n. 2, p. 51-66, 2020. Doi: <https://doi.org/10.5216/ag.v14i2.62824>.

HORTON, R. E. **Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology**. Geological Society of America Bulletin, v. 56, n. 3, p. 275-370, 1945. Disponível em: DOI: <[https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1945\)56\[275EDOSAT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1945)56[275EDOSAT]2.0.CO;2)>.

HORTON, R.E. **Drainage Basin Characteristics**. Trans American Geophysical Union, v. 13, p. 350-361, 1932.

HOWARD, A. D. **Role of hypsometry and planform in basin hydrologic response**. Hydrological Processes, v. 4, n. 4, pp. 373- 385, 1990. DOI:<https://doi.org/10.1002/hyp.3360040407>.

LEPSCH, I. F. **Formação e Conservação dos solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 178p. 2002.

LIMA, A.C.M.; FERNANDES, L.L.; LOPES, D.F.; BITTENCOURT, G.M.; VINAGRE, M.V.A.; SILVA, E.M. **Urbanização e canais urbanos: avaliação da qualidade das águas da bacia hidrográfica do Una no Município de Belém, Brasil**. Research, Society and Development 9, e232973866. 2020. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i7.3866>.

LIMA, G. C.; SILVA, M. L.; CURI, N.; SILVA, M. A.; OLIVEIRA, A. H.; AVANZI, J. C.; FREITAS, D. A. F. **estimativa do potencial de recarga na sub-bacia das posses, extrema (MG), em função dos atributos fisiográficos, pedológicos e topográficos**. Geociências, São Paulo, v. 32, n. 1, p.51-62, jun. 2013.

LIMA, J.S.; SANTOS, G.C.S.; RODRIGUES, R.S.S.; SANTOS, F.V. **Morbidade e mortalidade por doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado em Belém do Pará.** *Ciência e Sustentabilidade* 4, p.115-132,2018. DOI: <https://doi.org/10.33809/2447-4606.422018115-132>.

LIMA, W.P. **Manejo de bacias hidrográficas.** Piracicaba: ESALQ.p. 242, 1969.

MACHADO, P.J.; TORRES, F.T.P.O. **Introdução à hidrogeografia.** Cengage Learnin, São Paulo. p.178, 2012.

MACHADO, R.A.S.; LOBÃO, J.C.B.; VALE, R.M. C.; SOUZA, A.P.M.J. **Análise morfométrica de bacias hidrográficas como suporte à definição e elaboração de indicadores para a gestão ambiental a partir do uso de geotecnologias.** Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, INPE, p. 1441-1448, 2011.

MEDEIROS, R.B.; PINTO, A.L.; SÃO MIGUEL, A.E.; GOMES, W.M. **Morfometria do relevo da bacia hidrográfica do córrego moeda, Três Lagoas/MS.** *Revista Formação* (online), v. 1, n. 24, p. 204-223, 2017.

MELLO, C.R.; SILVA, A.M. **Hidrologia: princípios e aplicações em sistemas agrícolas.** Editora UFLA, 1.ed.,p. 455, 2013.

MILLER, V. C. **A quantitative geomorphic study of drainage basins characteristic in the Clinch Mountain area.** Technical Report (1953), (3), Dept. Geology, Columbia University.

OLIVEIRA, J. D.; SOUZA, C. A., GALBIATI, C.; SOUSA, J. B. **Componentes ambientais e hidrodinâmica na bacia hidrográfica do Rio Branco, contribuinte do Pantanal Mato-Grossense.** *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 15, n. 1, p. 465-486, 2022.

PARENTE, Y. Y.; MENDES, A. C.; MIRANDA, A. G. O.; DOURADO JÚNIOR, O. C. **Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Curuçá (Pará) e demarcação de nascentes fluviais como subsídio à gestão.** *Journal of Hyperspectral Remote Sensing*, Recife, v. 10, n. 3, p. 138 -152, 2020.

RADWAN, F.; ALAZBA, A.A.; MOSSAD, A. **Analyzing the geomorphometric characteristics of semiarid urban watersheds based on an integrated GIS-based approach.** *Modeling Earth Systems and Environment* 6, p. 1913–1932, 2020.

RAIOL, L. L.; FERREIRA, M. T.; SANTOS, D. C. R.; HAYASHI, S. N. **Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Caripi, Zona Costeira Amazônica.** *Revista Brasileira de Geografia Física*, 15(05), p. 2354-2370, 2022.

RODRIGUES, F.; WERLANG, M. K. **Avaliação do estágio de evolução do relevo em pequenas bacias hidrográficas no sudoeste do município de São Pedro do Sul, RS.** *Ciência e Natura*, v. 33, p. 133-144, 2011. DOI: <https://doi.org/10.5902/2179460X9976>.

RODRIGUES, A.; BARBOSA, H. **Pouco conhecido, Rio Cariús garante recarga hídrica ao Açude Orós.** *Diário do nordeste.* 2020.
<<https://diariodonordeste.verdesmares.com.br/regiao/pouco-conhecido-rio-carius-garante-recarga-hidrica-ao-acude-oros-1.2220329>>. Disponível em: Acesso: 10 de Abril de 2021.

SANTOS, L.L.M.; RODRIGUES, R.S.S.; BITTENCOURT, G.M. **Morfometria das bacias hidrográficas dos rios Caraparu e Maguari-Açú, Região Metropolitana de Belém, Pará, Brasil.** *Revista Brasileira de Gestão Ambiental*, 11, p. 66-75, 2017.

SCHUMM, S. A. (1956). **Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey.** *Geological society of America bulletin*, 67(5), 597-646.

SCHUMM, S.A. **Sinuosity of alluvial rivers on the great plains.** *Geological Society of America Bulletin*. v. 74, n. 9, p. 1089-1100, 1963.

SCHUMM, S.A. **Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey.** *Bulletin Geological Society fo America*. n. 67, p.597-646. 1956.

SEGUNDO, A.A.; DASM.; PAIXÃO, G.V.; BASTOS, L.C.S.; SANTOS, R.F.; LIRA, B.R.P.;BITTENCOURT, G.M.; FERNANDES, L.L.**Avaliação de pontos de alagamento no Setor Profissional da Cidade Universitária Professor José da Silveira Netto.** 2020 *Research, Society and Development* 9, e21996525. DOI :<https://doi.org/10.33448/rsd-v9i9.6525>.

SILVA, A.M. **Caracterização agroambiental de área de mananciais do Rio Paraíba do Sul, Piquete (SP), utilizando técnicas de geoprocessamento e fotointerpretação.** 84f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2003.

SILVA, C.G. **Caracterização física e ambiental da bacia hidrográfica do rio Pandeiros-MG em eventos de El Niño-Oscilação Sul.** 2018. Dissertação (Programa Pós-Graduação Em Engenharia Agrícola E Ambiental) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica-RJ.

SILVA, G.R.; MUNIZ, R.S.; OLIVEIRA JUNIOR, A.I.; VALÕES, D.C.P; PEREIRA, D.D.M. **Caracterização da bacia do Rio Pajeú-PE situada na bacia do São Francisco.***Revista de Geografia*, v.39, n.3, p.209-221, 2022.

D. C. C., ALBUQUERQUE FILHO, J. L.; Sales, J. C. A.; Lourenço, R. W. **Uso de indicadores morfométricos como ferramentas para avaliação de bacias hidrográficas.** *Revista Brasileira de Geografia Física*, 9(2), 221-217. 2016.DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v9.2.p627-642>.

SILVA, D.C.C.; FILHO, J.L.A.; SALES, J.C.A.; LOURENÇO, R.W. **Uso de indicadores morfométricos como ferramentas para avaliação de bacias hidrográficas.** *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 9, n. 2, p. 627-642, 2016. Doi: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v9.2.p627-642>.

SILVA, J.S.A.; RODRIGUES, R.S.S.; BITTENCOURT, G.M. **Aplicação de diferentes MDE'S para extração de variáveis morfométricas de uma bacia hidrográfica.** *Journal of Hyperspectral Remote Sensing* 10, 10-19.2020. DOI: <https://doi.org/10.29150/jhrs.v10.1.p10-19>.

SIMONETTI, V. C.; SILVA, D. C. DA C. E.; ROSA, A. H. **Correlação espacial compartimentada dos padrões de drenagem com características morfométricas da bacia hidrográfica do rio Pirajibu-Mirim.** *Revista Brasileira De Geomorfologia*, 23(1).2022. DOI : <https://doi.org/10.20502/rbg.v23i1.2037> .

SMITH, K. G. **Standars for grading texture of erosional topography**. Am. J. Sci., 248:655-668, 1950.

SOUSA, F.A.; RODRIGUES, S. C. **Aspectos morfométricos como subsídio ao estudo da condutividade hidráulica e suscetibilidade erosiva dos solos (Morphometrics Aspects as Subsidy To The Study Of The Hydraulical Conductivity And Erosive Susceptibility Of Soils)**. Mercator, Fortaleza, v. 11, n. 25, p. 141 a 151, june.

SOUZA E. G. F.; NASCIMENTO, A. H. C.; CRUZ, E. A.; PEREIRA, D. F.; SILVA R. S.;

SILVA, T. P.; FREIRE, W. A. **Delimitação e caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Riacho do Navio, Pernambuco, a partir de dados SRTM processados no QGIS**. Revista Brasileira de Geografia Física, 14(03), 1530-1540, 2021. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.3.p1530-1540>.

SOUZA, C. F.; PERTILLE, C. T.; SCHRAMM CORRÊA, B. J.; VIEIRA, F. **S.Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Ivaí - Paraná** Geoambiente On-line, Goiânia, n. 29, 2018. DOI: <https://doi.org/10.5216/revgeoamb.v0i29.50602>.

STRAHLER, A. N. **Hypsometric analysis of erosional topography**. Bull. Geol. Soc. Am., 63:111-1141, 1952.

STRAHLER, A.N. **Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks**. In: Chow VT (ed) Handbook of applied hydrology. McGraw- Hill, New York, 1964, pp. 439-476.

TONELLO, K.C.; DIAS, H.C.T.; SOUZA, A.L.; RIBEIRO, C.A.A.S.; LEITE, F.P. **Morfometria da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhões-MG**. Revista Árvore, v.30, n.5, Viçosa set./out.2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622006000500019>.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 4.ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, p.943, 2009.

TUCCI, C.E.M. **Hidrologia: ciência e aplicação**.4. ed. UFRGS e EDUSP ABRH, Porto Alegre. 2012.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. **Earth Resources Observation and Science (EROS) Center. USGS EROS Archive - Digital Elevation - Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) Non-Void Filled**. Disponível em: https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-digital-elevation-shuttle-radar-topography-mission-srtm-non-void-filled?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects. Acesso em: 03 setembro. 2022.

VILLELA, S.M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, p. 245, 1975.

VINCY, M.V.; RAJAN, B.; PRADEEPKUMAR, A.P. **Geographic information system-based morphometric characterization of sub-watersheds of Meenachil river basin, Kottayam district, Kerala, India**. Geocarto International 27, 661-684.2012. DOI: <https://doi.org/10.1080/10106049.2012.657694>.

ZANATA, M.; PISSARRA, T. C. T.; ARRAES, C. L.; RODRIGUES, F. M.; CAMPOS, S. **Influência da escala na análise morfométrica de microbacias hidrográficas**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 15, n. 10, p. 1062-1067, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662011001000009>.

BERTOLINI, W.Z.; DEODORO, S.C. **Estudo da dissecação do relevo no alto rio Piranga (MG)**. Geosciences= Geociências, v. 37, n. 1, p. 183-192, 2018.

CAPÍTULO 4

4. MAPEAMENTO GEOMORFOLÓGICO DA MICROBACIA DO RIO CARIÚS EM SANTANA DO CARIRI -CE

RESUMO

O mapeamento geomorfológico compreende a representação da superfície terrestre com informações específicas do relevo, associados à morfologia, estrutura, gênese ou idade. Isso nos ajuda a entender os processos de evolução da superfície terrestre e da paisagem, bem como os estudos voltados para os recursos minerais e reconhecimento de riscos naturais, fomentando o planejamento de recursos espaciais, incluindo bacias hidrográficas. Diante disso, o objetivo deste trabalho foi elaborar o mapeamento e a caracterização das unidades geomorfológicas presentes na Microbacia do Rio Cariús (MBRC), a partir da base de dados cartográficos, elaborada no Sistema de Informações Geográficas - SIG e gerada por meio do software ArcGis 10.8 com auxílio das informações de elementos presentes como a litologia, solo, declividade, altimetria e curvas de nível. Como resultados foram identificadas 3 morfoestruturas: Chapada do Araripe, Maciço do Quincuncá e a Depressão Periférica. Embutidas nas morfoestruturas foram identificadas as seguintes unidades morfoesculturais: Encosta da chapada, Superfície de Cimeira a 950m e 870m, Encosta do Quincuncá, Glacis de Erosão e Planície aluvial. Em conclusão, a análise da MBRC se mostrou eficaz para o mapeamento geomorfológico, permitindo assim, verificar o conjunto de formas e processos que contribuem para a dinâmica da paisagem da área de estudo.

Palavras-Chave: Geomorfologia. Geoprocessamento. Unidades geomorfológicas. Região Metropolitana do Cariri.

4. GEOMORPHOLOGICAL MAPPING OF THE MICROBASIN OF THE CARIÚS RIVER IN SANTANA DO CARIRI-CE

ABSTRACT

Geomorphological mapping comprises the representation of the Earth's surface with specific relief information, associated with morphology, structure, genesis and/or age. This helps us to understand the processes of evolution of the earth's surface and the landscape, as well as studies focused on mineral resources and recognition of natural hazards, fostering the planning of spatial resources, including watersheds. Therefore, the objective of this work was to map and

characterize the geomorphological units present in the Cariús River Microbasin (MBRC), from the cartographic database, elaborated in the Geographic Information System - GIS and generated through the ArcGis software 10.8 with the aid of information from elements present such as lithology, soil, slope, altimetry and contour lines. As a result, 3 morphostructures were identified: Chapada do Araripe, Maciço do Quincuncá and the Peripheral Depression. Embedded in the morphostructures, the following morpho-sculptural units were identified: Slope of the plateau, Summit Surface at 950m and 870m, Slope of Quincuncá, Erosion Glacier and Alluvial Plain. In conclusion, the MBRC analysis proved to be effective for geomorphological mapping, thus allowing the verification of the set of forms and processes that contribute to the landscape dynamics of the study area.

Keywords: Geomorphology. Geoprocessing. Geomorphological units. Metropolitan Region of Cariri.

1. INTRODUÇÃO

Os estudos geomorfológicos apresentam possibilidades e dinâmicas do desenvolvimento da paisagem, através da espacialização, hierarquização e explicação das formas de relevo e suas condições geomórficas, tornando-se úteis tanto para a comunidade científica quanto para os responsáveis pelo planejamento e gestão de determinadas áreas (Campos *et al.*, 2018). Dentre os estudos geomorfológicos, o mapeamento geomorfológico proporciona diversas investigações e possui como propósito a representação do relevo, quanto a suas formas estruturais e esculturais, procurando exibir uma proximidade com a realidade, em função da visualização humana e da representação de forma generalizada, a partir da escala de análise a ser utilizada (Farias; Corrêa; Ribeiro, 2022).

Desse modo, consegue-se expressar a compartimentação geomorfológica, pois considera as variáveis encarregadas pela estrutura e escultura decorrentes do meio físico, a partir da organização de um esboço geomorfológico, determinando uma síntese de divisão dos seus reflexos na ocupação do solo (Ferreira; Campos, 2017). Logo, mapeamentos dessa natureza possuem eficácia, ao poderem ser tomados como um instrumento de análise da paisagem e também como ferramenta de auxílio para o planejamento ambiental, por meio da inclusão do conjunto de formas e processos que contribuem para o dinamismo da paisagem, considerando a geologia, geomorfologia, clima e classes de solos de um determinado recorte espacial, que são cada vez mais utilizadas na área de planejamento ambiental, consideradas interações entre a dinâmica natural e as atividades humanas (Silva; Rehbein, 2018).

Dessa forma, considera-se o mapeamento geomorfológico uma ferramenta indispensável ao planejamento ambiental, uma vez que este expõe elementos de análise essenciais ao subsídio e administração do meio, auxiliando na utilização dos recursos de forma precisa, sem causar degradação, podendo minimizar os impactos causados pelas ocupações atuais (Luiz; Lamas, 2022). As informações geomorfológicas são fundamentais para o planejamento ambiental, permitindo elucidar as relações existentes entre as configurações superficiais do terreno, a disposição espacial dos núcleos de povoamento e os distintos tipos de uso do solo e as limitações colocadas pelo relevo (Rodrigues; Augustin; Nazar, 2023).

Nesse contexto, as geotecnologias têm proporcionado um grande avanço no que diz respeito ao monitoramento e gerenciamento da superfície terrestre. A partir da integração de dados de diversas fontes, elas podem nos fornecer informações de forma rápida e contribuir para o conhecimento do relevo terrestre (Nascimento *et al.*, 2017). Neste trabalho, buscou-se mapear e caracterizar as unidades geomorfológicas da Microbacia do rio Cariús (MBRC), a partir da integração de elementos presentes como litologia, solo, declividade, altimetria e curvas de níveis (Silva *et al.*, 2017).

Ao observar a lacuna existente na exploração acadêmica voltada para estudos geomorfológicos na região Sul do Ceará, notou-se possibilidades para uma construção de um mapeamento geomorfológico da microbacia do rio Cariús, dando ênfase na disseminação do conhecimento sobre a dinâmica que a envolve. Por isso, considera-se que o presente estudo pode contribuir para a organização e uma melhor interpretação dos territórios contidos na área de estudo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização da área de estudo

Localizada no município de Santana do Cariri - CE, a MBRC Figura 1 está inserida majoritariamente no município de Santana do Cariri, no sul do estado do Ceará, o qual compõe um dos nove municípios que integra a Região Metropolitana do Cariri (RMC), com uma área de aproximadamente 855,165 km², e com uma população estimada de 17.726 habitantes (IBGE, 2022).

De forma geral, o quadro geológico cearense apresenta uma ampla diversidade geomorfológica ao apresentar diferentes estruturas e litologias. Essas condições, associadas com aspectos paleoclimáticos e climáticos, resultam em uma gama de classes de solos e disponibilidade e potencial hídrico. A área de estudo apresenta uma condição geomorfológica

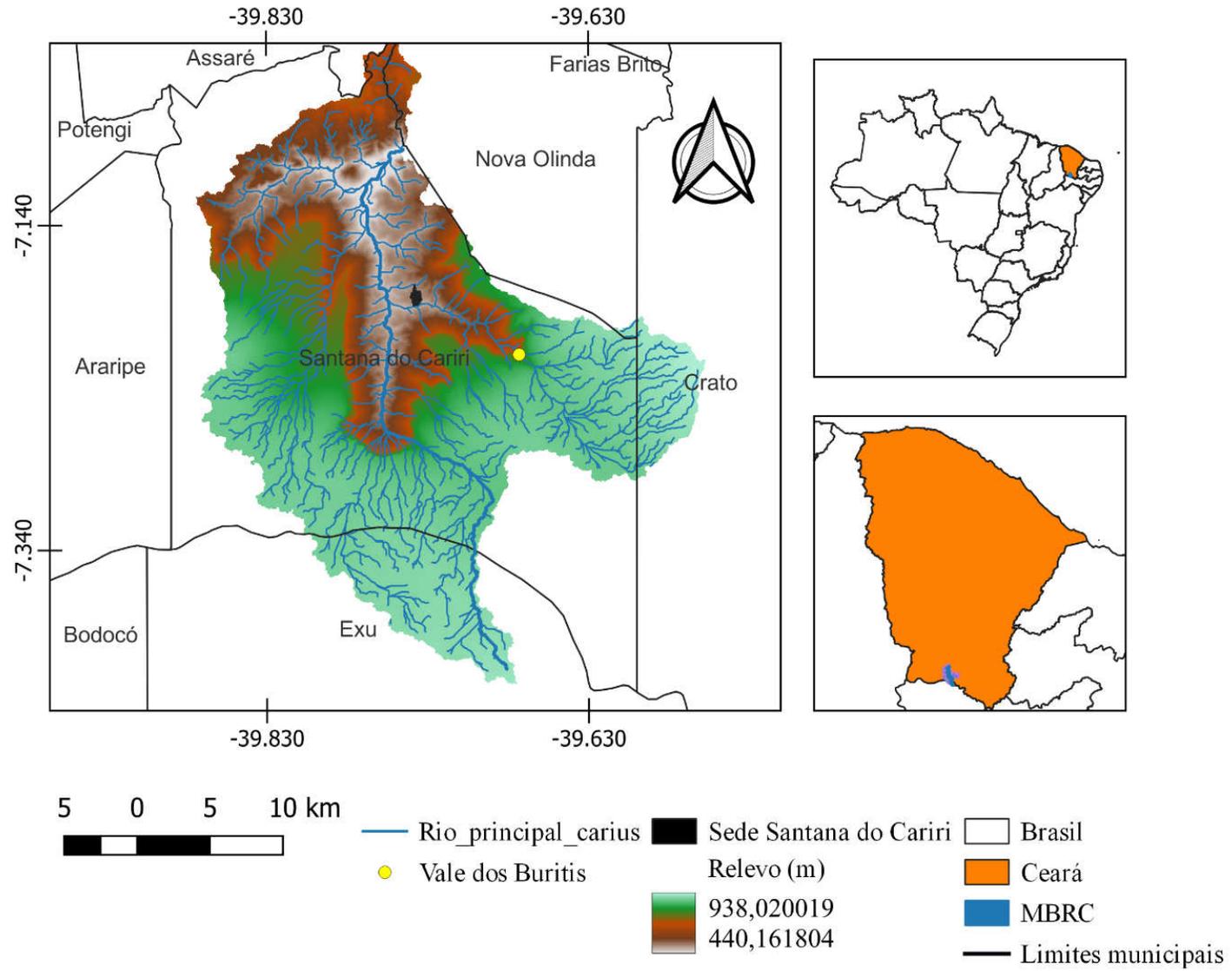
derivada, sobretudo, da Chapada do Araripe e das adjacentes depressões periféricas (FUNCEME, 2012).

De modo geral, na área são encontradas vegetações do tipo: Mata Úmida do Sedimentar, Mata Seca do Sedimentar, Caatinga do Sedimentar, Cerrado e Cerradão Interiores (Moro *et al.*, 2015). Possui os climas Tropical Quente Semi-árido, Tropical Quente Semiárido Brando, Tropical Quente Sub-úmido. Apresenta uma precipitação média de 898.8 (FUNCEME, 2023).

A MBRC está inserida em sua maior parte de extensão no município de Santana do Cariri - CE e possui uma área de 694.757 km² (CEARÁ, 2009), caracterizada pelas condições hidrológicas da Chapada que alimentam várias nascentes (Guerra, 2020). A região do Cariri dispõe de uma boa quantidade de nascentes oriundas da Chapada. Assim, o rio Cariús é um curso fluvial que se origina a partir da disposição de nascentes localizadas no sopé da Chapada do Araripe no município de Santana do Cariri, percorrendo os municípios de Nova Olinda e Farias Brito. O rio possui uma área de extensão de 7.876 km², e deságua no rio Jaguaribe em Jucás, sendo importante sua contribuição para a bacia do Alto Jaguaribe e recarga do açude Orós (COGERH, 2022).

Entre as coordenadas 7°13'12.49 S e 39°40'22.98 W, e altitude que pode atingir até 750 m, o Vale dos Buriti, localizado a 10 km da sede do município, é onde passa um dos afluentes do rio Cariús, estando introduzido na Área de Proteção Ambiental (APA) da Chapada do Araripe, Unidade de Conservação (UC) de Uso Sustentável, criada pelo decreto de 04 de agosto de 1997, o que fortalece a necessidade de se estar atentos aos recursos naturais e na sua potencialidade para várias atividades.

Figura 1- Localização da Microbacia do Rio Cariús



Fonte: Autor (2022), adaptado da base de dado USGS (2022).

2.2 Metodologia

Foi realizado uma pesquisa bibliográfica acerca dos temas relacionados à cartografia geomorfológica a partir de materiais disponíveis em pesquisas anteriores que trabalharam com o foco no objetivo desse estudo como: Valeriano (2008), Miranda (2005), Guerra (2020), Bertrand (2004), Campos *et al.*, (2018), Casseti (1981), Luiz e Lamas (2022), entre outros trabalhos relativos à análise geoambiental da área.

Para a individualização destes conjuntos de feições, são considerados como parâmetros fatores causais, de natureza estrutural, litológica, pedológica, climática e morfodinâmica, responsáveis pela evolução das formas do relevo e pela composição da paisagem no decorrer do tempo geológico. De acordo com a ordem decrescente de grandeza são identificados: Domínios Morfoestruturais, Regiões Geomorfológicas, Unidades Geomorfológicas, Modelados e Formas de Relevo (morfoesculturas) (IBGE, 2009).

Para o mapeamento geomorfológico utilizou-se como base o manual do IBGE (2009) com o princípio básico no ordenamento dos fatos geomorfológicos de acordo com uma classificação temporal e espacial, na qual se distinguem os modelados como unidade básica e seus grupamentos hierarquicamente relacionados. Desse modo, foi realizada a identificação das unidades morfoestruturais, que são unidades maiores tratadas em escala regional, e das unidades morfoesculturais, que expressam a ação dos processos geomorfológicos que atuam na modelagem da superfície terrestre.

As imagens utilizadas foram obtidas a partir da instituição United States Geological Survey (USGS) com resolução de 30 m, sendo necessário reprojeter as imagens para SIRGAS 2000, para então extrair as curvas de nível. Para o Modelo Digital de Elevação - MDE foi utilizada imagem de radar *Shuttler Radar Topography Mission* - SRTM com resolução refinada para 30 m obtidas a partir do projeto TOPODATA/INPE (Valeriano, 2008) da base digital cartográfica do Zoneamento Geoambiental da Mesorregião Sul do Estado do Ceará, com escala de 1:250.000, disponibilizado pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME, 2006).

Na identificação e classificação das unidades de relevo, foi necessário fazer Perfis Topográficos, através das ferramentas “*Interpolate Line*” e “*Profile Graph*” (ArcGis 10.8), e analisá-los a partir da altitude e declividade, considerando-se, também, os dados geológicos e sua influência na definição das formas. Posteriormente, foi produzido o mapa de unidades geomorfológicas da microbacia do rio Cariús, a partir do cruzamento de informações com o mapa geológico, perfil de topografia, curvas de níveis, declividade e dados coletados em

campo. A compartimentação e a vetorização das unidades se deram a partir da criação de camadas em polígono no formato *shapefile* (.shp), utilizando as curvas de nível como base.

Os mapas de altimetria e declividade foram fundamentais para a construção do mapa da unidade geomorfológica da área de estudo gerados a partir de imagem SRTM/TOPODATA (VALERIANO, 2008), com resolução de 30 m com dados da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) do Monitoramento por Satélite (MIRANDA, 2005). Toda a base de dados cartográficos foi gerada no ambiente Sistema de Informações Geográficas - SIG e elaborada através do software ArcGis 10.8.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Morfogênese dos terrenos da bacia

O município de Santana do Cariri está inserido na chapada do Araripe, um dos principais relevos da região sul do Ceará, sendo caracterizado por uma forma sub-horizontal com inclinação suave mais para leste (Sousa, Silva, Loiola, 2021). Avaliada a partir de imagens SRTM, a máxima altimétrica é de 1000m, com uma altitude média de cerca de 960 metros, avaliado pela imagem SRTM. A chapada é mais larga no sentido E-W, com distância de 174 km, e no sentido N-S, a parte mais longa tem distância máxima de 65 km (Silva *et al.*, 2017; Silva *et al.*, 2022). Referente à declividade, percebe-se que o topo apresenta relevo plano a suave ondulado, ausente de feições de dissecação, uma vez que a permoporosidade da formação Exu não permite a formação de redes de drenagem no platô (Funceme, 2012).

A Orogênese Brasileira foi um dos eventos tectônicos mais relevantes na estruturação geológica do Nordeste Brasileiro (Claudino-Sales, 2016). A sua gênese está ligada a esse evento, que resultou na intrusão de corpos graníticos na crosta em regiões distensionais (Maia *et al.*, 2018). A geomorfologia da área resulta das condições estruturais e esculturais do ambiente, em que o relevo permanece simétrico e com vertentes íngremes nos rebordos. Apresentando a Chapada como principal unidade geomórfica, acompanhada de morro testemunho e depressão periférica, relevos típicos se desenvolvendo na compartimentação dos Planaltos Sedimentares do Ceará (Bastos *et al.*, 2016). Moraes Neto *et al.* (2005, 2006 p. 116) afirmam que “a topografia da Chapada do Araripe é atribuída a um período de soerguimento relacionado (ou imediatamente posterior) ao evento de resfriamento do Neocretáceo, iniciado por volta de 100 - 90 Ma”.

Aponta-se que as camadas sedimentares de arenito e calcário foram descaracterizadas ou se formaram quando ocorreu a divisão da América do Sul com a África na separação da

Pangeia da cadeia Brasileira, demonstrando que o platô sedimentar ao topo da bacia de idade Paleozóica e pela área rebaixada de idade mesozóica (Claudino-Sales, 2016).

Além disso, destaca-se que as particularidades atuais do relevo resultam do processo de denudação e erosão diferencial, avalia-se “[..] que no mínimo 1,5 km de seção sedimentar foi removida por efeito de denudação” (Morais Neto *et al.* 2005, 2006, p. 116). Assim, evidencia-se que como consequência do processo denudacional de porções sedimentares, acontece, de modo geral, em específicas áreas a exumação do embasamento cristalino.

As escarpas erosivas, as quais possuem interação com o platô, são encontradas nos rebordos da Chapada e exibem altitudes que oscilam de 600 a 800 m. Estas feições apresentam declividade que variam do forte ondulado a escarpado, sendo formadas por rochas sedimentares da formação Exu, Araripina, Santana e, também por rochas do embasamento cristalino na porção oeste, e ainda pelas superfícies colúvio-eluviais no setor noroeste do relevo. Essas formas erosionais, geradas por rochas magmáticas, metamórficas e sedimentares, desempenham a comunicação entre o topo da Chapada e a base da mesma, a qual é formada por áreas cristalinas e sedimentares.

Nesse contexto, é importante destacar que o processo de erosão diferencial realizou e ainda realiza no recuo das escarpas erosivas, feições encontradas nos rebordos da Chapada. Peulvast e Bértad (2015), apontam que um nítido contraste morfológico pode ser visto entre o platô e as regiões circundantes a uma faixa de elevação entre 400 e 750 m. Os autores ainda ressaltam que a altura das escarpas diminui levemente para oeste.

As condições hidrogeológicas presentes na área surgem em condições imprescindíveis para o surgimento e manutenção das Veredas na Chapada do Araripe (Guerra, 2019). Essas resistências, provenientes das disposições dos aquíferos encontrados na Bacia do Araripe, são responsáveis, em grande parte, pelo fornecimento de água na zona rural e urbana dos municípios que situam-se nos arredores da Chapada. Gomes *et al.* (2018, p. 1833), destacam que a “região do Cariri tem nas águas subterrâneas da Bacia Sedimentar do Araripe a principal fonte de recursos hídricos necessário para seu desenvolvimento socioeconômico, com o abastecimento das populações [...]”.

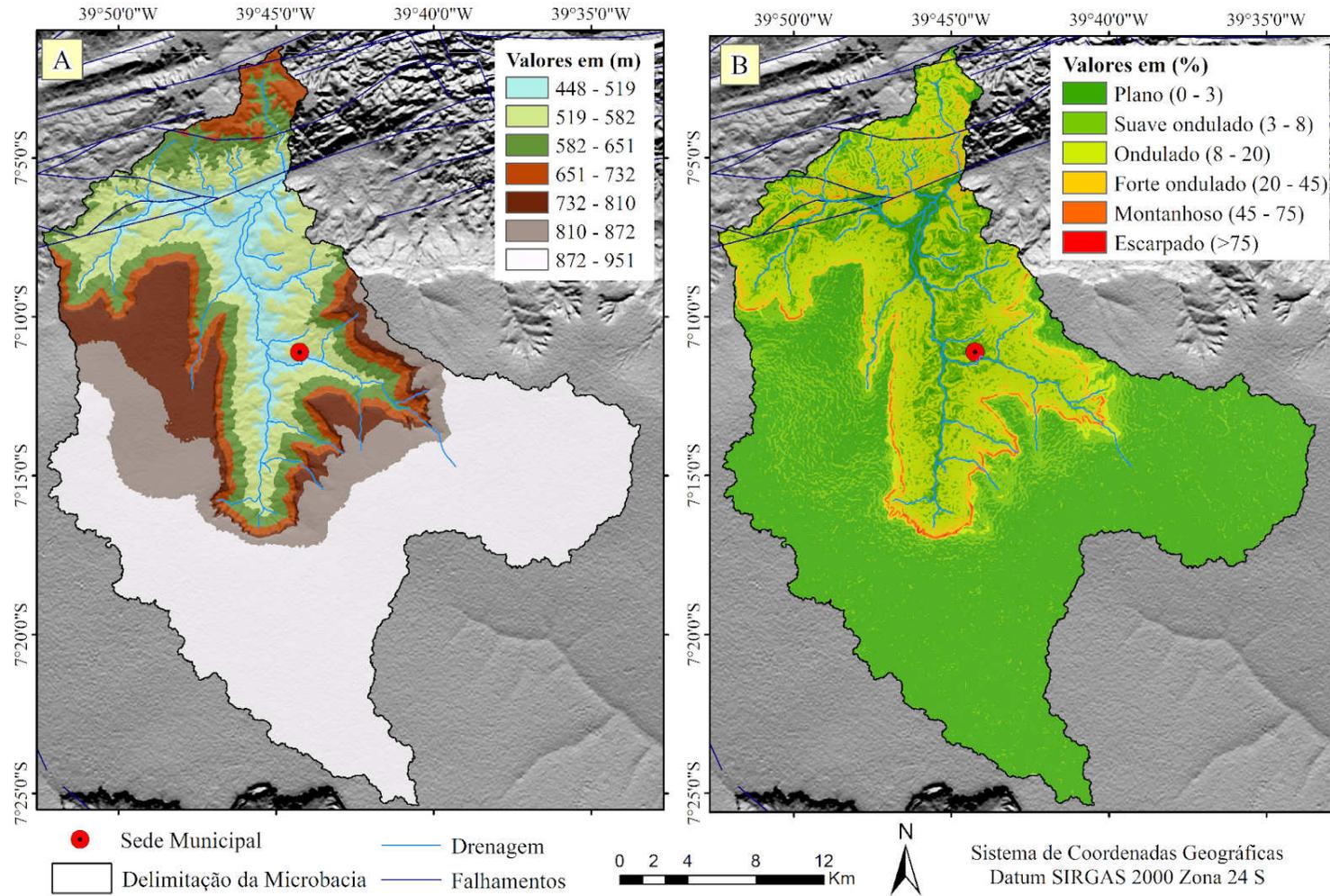
Com isso, esses sistemas de água subterrânea são condicionados a partir da configuração geológica, e são esses sistemas que alimentam as áreas úmidas localizadas nos rebordos da Chapada. Em geral, a Bacia Sedimentar do Araripe é dividida em 3 sistemas de aquíferos, o inferior – formação Cariri, médio- formações Barbalha, Abaiara e Missão Velha e superior – formações Exu e Araripina. A área também possui dois aquíferos nas formações

Santana e Brejo Santo (BRASIL/DNPM, 1996). Contudo, é a partir dos contatos entre as formações Exu- Araripina-Santana que afloram várias nascentes.

Desse modo, a região onde está localizada a área de estudo, possui um potencial hidrológico nas áreas de abrangência da bacia do Araripe e do seu entorno imediato (Fernandes, 2006; Guerra *et al.*, 2020; Souza, 2000; Souza, 2006). Na qual a microbacia comporta o nascimento do rio Cariús que se destaca como sendo um dos cursos de água mais importantes da região. Baseado na classificação da Embrapa (1979), na Figura 2 é possível observar os valores altimétricos e de declividade de toda microbacia apresentando cotas altimétricas em sua superfície com valores de 519 m no ponto mínimo, na planície aluvial, alcançando 951 m no ponto máximo na chapada, com declividade variando do Plano (0-3) ao Escarpado (>75).

Figura 2 - Mapa de altimetria e de declividade da MBRC

Classes de Hipsometria (A) e Declividade (B) da Microbacia do Rio Cariús, Santana do Cariri - CE



Fonte: Autor (2023), adaptado da base de dado USGS (2023).

3.2. Classificação do relevo: unidades geomorfológicas

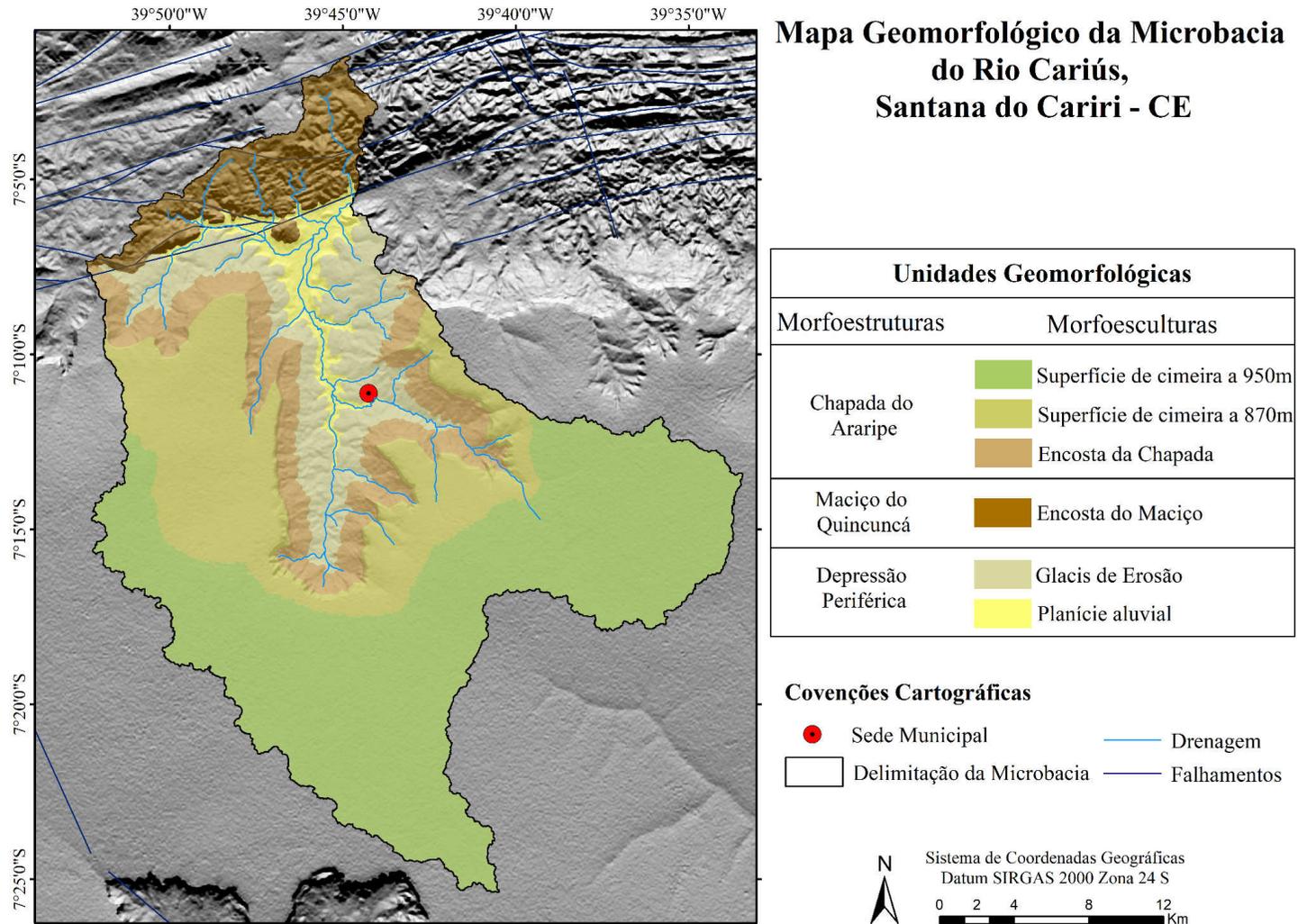
No mapa são apresentadas diferentes unidades geomorfológicas no qual os componentes como litologia, solo, declividade, curvas de níveis, foram essenciais para a definição dessas unidades. Seguido da compilação e processamento desses dados por meio do uso das geotecnologias, pode-se gerar o mapa das unidades geomorfológicas Figura 3, onde foram mapeadas 3 unidades morfoestruturais que estão fragmentadas em seis unidades morfoesculturais. A identificação de cada unidade favoreceu para caracterizar os depósitos sedimentares de superfície introduzidos em toda microbacia do rio Cariús.

A geomorfologia da região é resultante das condições estruturais e esculturais do ambiente, exhibe a Chapada como principal unidade geomórfica, seguida pelo morro testemunho e depressão periférica, relevos típicos de bacias sedimentares (Bastos *et al.*, 2016). Dentro do escopo da chapada do Araripe e áreas adjacentes como revelado na Figura 3, foram mapeadas e identificadas as unidades morfoesculturais como a Encosta da chapada e Superfície de Cimeira a 950m e 870m, que estão inseridas na unidade morfoestrutural Chapada do Araripe, enquanto que a morfoescultura determinada também de Encosta do Quincuncá, se faz presente na morfoestrutural de Maciço do Quincuncá e por fim os elementos de Glacis de Erosão e Planície aluvial que ocorrem na unidade morfoestrutural Depressão Periférica.

A morfoestrutura Chapada do Araripe se apresenta, como sendo uma das superfícies elevadas do interior do nordeste apoiada pelos terrenos paleo-mesozóicos da Bacia Sedimentar do Araripe (sub-bacia leste-vale do Cariri), uma bacia intracratônica do tipo rift (Lima; Corrêa, 2018). Essa morfoestrutura se encontra modelada em superfícies conservadas tanto por material sedimentar da bacia quanto pelas coberturas quaternárias na forma de colúvio, colúvio-alúvio e alúvio. São superfícies delimitadas na paisagem por colinas convexas alongadas, encostas dissecadas com rampas de colúvio, fundos de vales abertos, planícies e glacis dissecados (Lima, 2015).

Derivando da morfoestrutura da Chapada do Araripe (Figura 3), foram identificadas duas Superfícies de Cimeiras na MBRC. A cimeira de 870 é apontada devido à ocorrência da ação da dissecação que acontecem de forma mais disseminada na paisagem brasileira, exercida pela atuação da drenagem (IBGE, 2009), ocorrendo de forma mais expressiva nessa superfície que também pode ser justificada pela declividade voltada para uma variação do suave ondulado (3-8) para ondulado de (8 -20).

Figura 3 - Unidades geomorfológicas da MBRC



Fonte: Autor (2023), adaptado da base de dados USGS (2023), processado a partir de imagem SRTM/TOPODATA (Valeriano, 2008), com resolução de 30 m.

A cimeira de 950m possui uma declividade que oscila entre o plano (0-1) ao suave ondulado (3-8), apresentando topo conservado, isto é, ausente de feições de dissecação, uma vez que este não consegue formar redes de drenagem por ser formado, com uma estrutura de arenito de alta porosidade, que não propicia à formação de uma drenagem superficial existente apropriado para modelar a feição (Silva *et al.*, 2017).

A Encosta da Chapada presente na morfoestrutura antes mencionada apresenta uma altitude entre 651m a 732m e com declividade variando do montanhoso (45-75) ao escarpado de (>75) estando em uma área proveniente da perda de material do solo, retirado do corpo das encostas através de processos erosivos, como também de movimentos gravitacionais de massa (Lima, 2015; Silva *et al.*, 2017).

Com base no mapeamento foi identificada a morfoestrutura Maciço do Quincuncá definida como uma superfície serrana truncada por superfície de erosão, tornando-se parcialmente dissecada pelos processos de erosão diferencial e intemperismo físico em litotipos do embasamento cristalino, exibindo um clima subúmido referente a condição da altitude, o que possibilita o desenvolvimento de Argissolos, Nitossolos e Neossolos Litólicos revestidos por mata seca e caatinga, que anualmente sofrem com a degradação provocada pelas formas de uso e ocupação do solo na área (FUNCEME, 2006).

A condição da morfoescultura Encosta do Quincuncá presente no Maciço do Quincuncá, Figura 3 demonstrou uma altitude que varia entre 651m a 732m e com declividade se enquadrando do suave ondulado (3-8) para o ondulado (8-20) contando com um relevo principalmente embasado em rochas cristalinas.

Baseado na avaliação realizada por AbSaber (1956), sobre as depressões periféricas no Nordeste do Brasil, torna-se pertinente que na morfoestrutura depressão periférica é importante destacar que essas superfícies foram áreas inicialmente esculpidas em um clima mais úmido durante o Paleógeno, percorrendo, posteriormente para um clima com características semiárida no período Quaternário, principalmente no Pleistoceno.

No entorno dos topos encontramos vertentes íngremes, formando glaciais de erosão e acumulação em bordas. Como resultado essa unidade exibiu uma altitude de 519m a 582m seguido da declividade como suave ondulado (3-8) variando para ondulado (8-20) que diferentemente do platô, essa feição apresenta formas discretas de dissecação “em morros e colinas baixas e suaves” (Guerra, 2020, p. 80).

Além disso, Lima (2014), afirma que a unidade Planície aluvial presente nessa morfoestrutura expressa sua morfogênese a partir do acúmulo de sedimentos provenientes das encostas e pedimentos da Chapada do Araripe, apresentando conforme classificação da

Embrapa (1979) declividade plana (0-3) que varia a suave ondulada (3-8), entre as cotas altimétricas variando de 519m no limite com os patamares mais baixos até 448m, no baixo curso da bacia.

3.3. Morfodinâmica atual

A Morfodinâmica atual exposta apresenta um conjunto de processos inter-relacionados encarregados pela origem e evolução do modelado. Diante disso, considera-se a integração de todos os processos que ocorrem na paisagem, responsáveis pela melhoria dessa paisagem, como o clima, topografia e material rochoso, permitindo a inclusão destes parâmetros (Tricart,1977).

A cimeira Figura 4 possui uma instabilidade moderada, ocorrendo assim, um equilíbrio entre pedogênese e morfogênese. Apesar do exposto acima, é crítico a evolução urbana nesta unidade, uma vez que a própria análise dos mapas de uso e ocupação da terra, demonstraram uma atuação do avanço das atividades antrópicas na área (Faustino e Lima, 2022).

A encosta da chapada Figura 4 apresenta contexto de exceção e possui, como um dos principais determinantes, as condições hidrogeológicas, ocasionadas pela morfoestrutural; existindo veredas no sopé e na encosta da Chapada do Araripe que coincidem e coevoluem no clima semiárido (Guerra, 2020).

Essas condições hidrogeológicas favorecem a formação de nascentes e de cursos de água de primeira ordem, em sua grande maioria realizando (de forma direta) os anfiteatros nas vertentes e, em paralelo e indiretamente, os pontais (Pereira; Moura-Fé, 2021). Com isso, neste setor estão as principais cabeceiras de drenagem, providas principalmente pelo enorme número de fontes naturais que surgem no contato da Formação Exu com a Arajara, e desta com o Grupo Santana (Carvalho, 2016).

Dessa forma, a classe de declividade montanhosa demonstra uma superfície de topografia vigorosa, com predomínio de proporções acidentadas, geralmente concebidas por morros, montanhas, maciços montanhosos e alinhamentos montanhosos, exibindo desnivelamentos mais ou menos grandes e declives fortes e muito fortes. O Escarpado, por sua vez é voltado para as áreas com predomínio de formas de feições abruptas, alcançando superfícies bastante íngremes e escarpamentos, tanto como: aparados, itaimbés, frentes de cuestras, falésias, vertentes de declives muito fortes (SBCS, 2006).

Figura 4 - Vista parcial da cimeira e da encosta do Araripe.



Fonte: Autor, Maio (2023).

Além disso, geomorfologicamente, o relevo da área, condiz a um conjunto de terras altas contínuas, ao norte da Chapada do Araripe, desenvolvidos em litotipos diversificados, com ênfase nas superfícies erosivas rebaixadas (depressão sertaneja), todas com padrões de dissecação instruídos segundo as direções das determinantes zonas de cisalhamento transcorrentes Aiuaba, Jordão, Limoeiro, Tatajuba e Farias Brito (Cordeiro *et al.*, 2017).

A encosta do Quincuncá presente em uma pequena parte delimitado na área, contou com os processos morfogenéticos de evolução do Maciço do Quincuncá indicando uma provável retração lateral de suas encostas por *backwearing*, com rebaixamento sucessivo, a partir de um aperfeiçoamento cíclico por *etchplanação* e deposição de material coluvial por meio de movimentos de massa em eventos pretéritos, no sopé do maciço, produzindo rampas de colúvio que apontam possível correlação com os seguintes pulsos climáticos: Último Ciclo Interstadial UCI (46 Ka – 28 Ka) e o Último Máximo Glacial- UMG (24 Ka – 11Ka) (Gurgel, 2012).

A proporção da depressão periférica da Chapada é cercada pelo embasamento cristalino, onde a região expressa um ambiente com particularidades mais homogêneas. Em relação ao substrato, identifica que o mesmo é composto, por arenitos finos, ortoconglomeráticos, arenitos quartzosos, folhelhos sílticos e siltitos vermelhos (Assine, 2007).

Embora demonstre a presença de drenagem superficial, possui também de um elevado potencial hidrogeológico, fato justificado pela alta permeabilidade dos arenitos elementos dessa bacia, em destaque os que constituem o aquífero superior, importante responsável pelo abastecimento dos cursos d'água que drenam para a Depressão periférica do Cariri e que moldam as escarpas da Chapada do Araripe, tornando-se comuns as cicatrizes que produzem os festonamentos em toda a sua extensão, criando também pequenos anfiteatros erosivos (Guerra, 2020).

De acordo com a Figura 5, o processo de retração lateral das vertentes resulta no acúmulo de material detrítico em suas bases, provocando o entalhamento das áreas de depressão, no formato de rampas, intituladas pedimentos (glacis d'érosion), que abrangem em direção aos leitos fluviais. Desse modo, os Glacis d'érosion são uma forma de pedimento, ou seja, uma inclinação suavemente inclinada de transporte ou erosão que trunca a rocha e liga as encostas ou escarpas em erosão. Essas áreas de deposição de sedimentos estão em níveis mais baixos (Goudie, 200; Oberlander, 1989).

Figura 5 - Vista parcial da planície do rio Cariús e do pedimento da MBRC

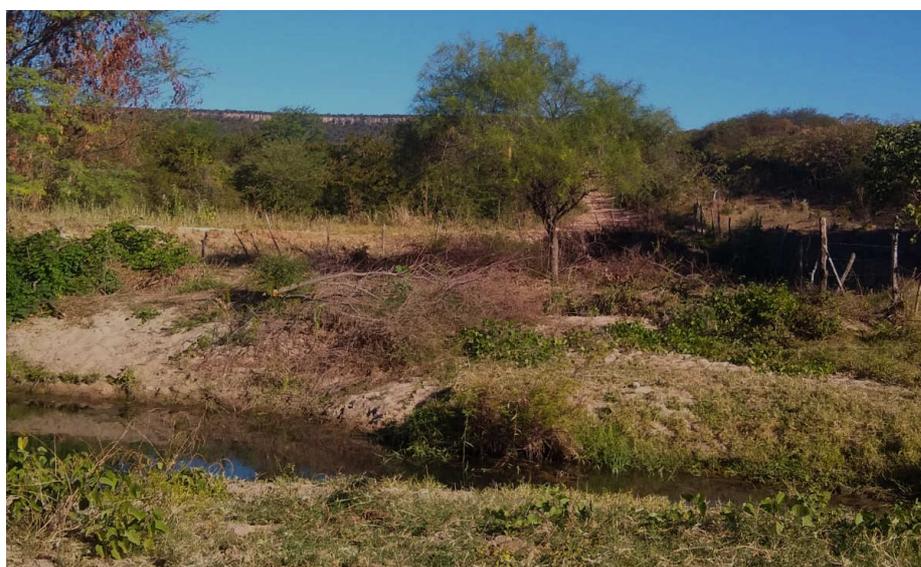


Fonte: Autor (2023).

Com isso, dois tipos fundamentais de frontão são evidenciados por Oberlander (1989), glacis d'érosion, que truncam rochas mais moles adjacentes a um planalto mais firme; e frontões "verdadeiros", onde não há modificação na litologia entre o planalto e o frontão. A presença das condições do clima atuante e da estabilidade tectônica beneficiará a junção desses pedimentos criando extensas superfícies aplainadas, denominadas pediplano (Lima, 2022).

Conforme a depressão periférica apresenta altitudes mais baixas, devido a sua posição e acomodação em áreas mais alteradas, a unidade de planície aluvial Figura 6 é caracterizada por apresentar feições associadas a processos continentais aluviais, como terraços fluviais (Girão; Melo; Fernandes, 2015). Estas enquadram-se em áreas topograficamente baixas e com formas de relevo planas a levemente onduladas, com deposição de sedimentos associada à dinâmica de rios e, às vezes, com a presença de lagoas marginais e meandramentos, formando áreas úmidas (Rodrigues *et al.*, 2023).

Figura 6 - Vista parcial da Planície Aluvial na MBRC



Fonte: Autor, Agosto (2023).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do exposto, o mapeamento geomorfológico da MBRC permitiu a classificação do relevo em diferentes classes. As abordagens metodológicas utilizadas para a produção desses mapas foram eficientes para diferenciar as feições do relevo, em que cada classe pôde ser dividida em subclasses, estabelecendo-se bem ao mapeamento geomorfológico.

Dessa forma, independente do tipo de análise da paisagem geomorfológica é evidente a importância do mapeamento geomorfológico para a compreensão de sua configuração e dos seus processos naturais. Assim, permitindo a observação do relevo a partir dos seus condicionantes estruturais e esculturais, além de que, é exibido como uma forma viável de baixo custo de aquisição e manipulação para estudos executados em áreas distantes pelo pesquisador.

Conclui-se que este mapeamento destacou as principais unidades geomorfológicas da microbacia do rio Cariús, partindo de três unidades morfoestruturais (planalto sedimentar do Araripe, maciço estrutural Serra do Quincuncá e depressão periférica) as quais estão subdivididas em cinco unidades morfoesculturais (Cimeira a 950m e 870m, Encosta, Pedimento e Planície aluvial). Identificando algumas das formas e processos de cada unidade anteriormente apontada.

Por fim, espera-se que o estudo em questão estimule o desenvolvimento de estudos sobre a geomorfologia da Microbacia do Rio Cariús a fim de que esta seja melhor compreendida, acerca de suas especificidades, e, conseqüentemente, possibilidades, como contribuição à reprodução sustentável de atividades humanas.

REFERÊNCIAS

ASSINE, M. L. **Bacia do Araripe**. Boletim de Geociências da Petrobrás, v. 15, n. 2, p. 371-389, 2007.

BASTOS, F. H.; CORDEIRO, A. M. N.; MACEDO, F. E.; AZEVEDO, R. E. S. **A gestão ambiental nas paisagens da bacia do Araripe no Estado do Ceará**. *Confins [online]*, p. 1-7, 2016.

CAMPOS, N.; TANARRO, L.M.; PALACIOS, D. **Geomorphology of glaciated gorges in agranitic massif (Gredos range, Central Spain)**. *J. Maps* 14 (2), 321–329, 2018. <https://doi.org/10.1080/17445647.2018.1468829>.

CARVALHO NETA, M. L.; CORRÊA, A. C. B.; SILVA, D. G. **Esboço geomorfológico do Geopark Araripe/CE como ferramenta para a geoconservação**. *Anais do Simpósio Brasileiro de Geomorfologia. Simpósio Nac. Geomorfol*, v. 11, n. 5, 2016.

CEARÁ, Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. **Ceará em mapas interativos – Distritos**. Fortaleza/CE, 2018. Disponível em: <<https://www.ipece.ce.gov.br/ceara-em-mapas-interativos>> . Acesso em: 20 Março de 2023.

CEARÁ. **Caderno Regional da Sub-Bacia do Alto Jaguaribe**. Conselho de Altos Estudos e Assuntos Estratégicos, Assembleia Legislativa do Estado do Ceará. Fortaleza: INESP, vol. 5, p. 120, 2009.

CEARÁ. **Levantamento de Reconhecimento de Média Intensidade de Solos – Mesorregião do Sul Cearense**. Fundação Cearense de meteorologia e Recursos Hídricos. Fortaleza: FUNCEME, 2012.

CLAUDINO-SALES, V. **Megageomorfologia do Estado do Ceará: história da paisagem geomorfológica**. Novas Edições Geográficas, 2016.

COGERH. **Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos**. Disponível em: <www.cogerh.com.br> Acesso em: 10 de Abril de 2023.

CORDEIRO, A. M. N. **Morfoestrutura e morfopedologia da Serra do Quincuncá e entorno, Ceará, Brasil**; . 2017. Tese (Doutorado em Geografia). Fortaleza:

CORDEIRO, A. M. N.; BASTOS, F. H.; MAIA, R. P. **Caracterização Geoambiental e Compartimentação Geomorfológica da Serra do Quincuncá e Entorno, Nordeste do Brasil**. *Revista do Departamento de Geografia*, [S. l.], v. 34, p. 106-121, 2017. DOI: [10.11606/rdg.v34i0.137653](https://doi.org/10.11606/rdg.v34i0.137653). Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/137653>. Acesso em: 20 Junho de 2023.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ)**. Súmula da 10. Reunião Técnica de Levantamento de Solos. Rio de Janeiro, 1979. 83p.

FARIAS, P. L. C.; CORRÊA, A. C. B.; RIBEIRO, S. C. **Compartimentação das unidades de relevo e formas de uso da terra em um setor da escarpa oriental do Planalto da Borborema**. *Revista de Geociências do Nordeste*, [S. l.], v. 8, n. 2, p. 126–135, 2022. DOI: [10.21680/2447-3359.2022v8n2ID29219](https://doi.org/10.21680/2447-3359.2022v8n2ID29219). Disponível em: <https://periodicos.ufrn.br/revistadoregne/article/view/29219>. Acesso em: 17 Julho de 2023.

FAUSTINO, J. C. S.; LIMA; P.V. P.S. **Evolução da dinâmica do uso da terra entre 1985 a 2019 no estado do Ceará**. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais, Aracaju*, v. 13, n. 1, p. 195-210, 2022.

FUNCEME, **Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. Calendário das Chuvas no Estado do Ceará**. Disponível: <http://funceme.br/app/calendario/produto/ceara/media/anual>. Acesso em: 8 mar.. 2023.

FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS - FUNCEME. **Zoneamento geoambiental do Estado do Ceará**. Parte II – mesorregião do sul cearense. Fortaleza, p. 132, 2006.

GMB DE S.(COORD.). CARVALHO. **Zoneamento geoambiental do Estado do Ceará: Parte II-Mesorregião do Sul cearense**. Funceme, 2006.

GUERRA, M. D. F.; SOUZA, M. J.; SILVA, E.V. **Veredas da Chapada do Araripe: subespaços de exceção no semiárido do estado do Ceará, Brasil**. *Ateliê Geográfico*, v. 14, n. 2, p. 51-66, 2020.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística /Cidades**. Estimativa População. Rio de

Janeiro. IBGE, 2020. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/> Acesso em 12 Abril de 2023.

LIMA, F. G. **Evolução Geomorfológica e Reconstrução Paleoambiental do Setor Subúmido do Planalto Sedimentar do Araripe: um estudo a partir dos depósitos colúviais localizados nos municípios de Crato e Barbalha – Ceará**. p. 192, 2015. Tese (doutorado em Geografia) - Universidade Federal do Pernambuco - UFPE, Recife, 2015.

LIMA, F. J.; CORRÊA, A. C. B. **Correlação cronoestratigráfica dos depósitos quaternários do planalto sedimentar do Araripe: um estudo de caso a partir dos materiais encontrados no município de Crato e Barbalha–sul do Ceará**. *Revista de*

Geografia (Recife), v. 35, n. 4, p. 173-184, 2018.

LIMA, L.P. **Processos e feições geomorfológicas na faixa de dobramentos sergipana do domínio Vaza-Barris**. 2022. 208 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2022.

LUIZ, E. L.; LAMAS, M. M. R. **Aplicação do mapeamento geomorfológico na discussão das potencialidades e limitações de terrenos da zona costeira frente à ocupação humana: estudo de caso no Distrito de Rio Vermelho, Florianópolis/SC**. *Sociedade e Natureza*, v. 29, p. 173-186, 2022.

MAIA, R. P.; NASCIMENTO, M. A. L. **Relevos Graníticos Do Nordeste Brasileiro**. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, [S. l.], v. 19, n. 2, 2018. DOI: [10.20502/rbg.v19i2.1295](https://doi.org/10.20502/rbg.v19i2.1295). Disponível em: <https://rbgeomorfologia.org.br/rbg/article/view/1295>. Acesso em: 10 jul. 2023.

MORO, M.F.; MACEDO, M.B.; MOURA-FÉ, M.M; CASTRO, A.S.F; COSTA, R. **C.Vegetação, unidades fitoecológicas e diversidade paisagística do estado do Ceará. Rodriguésia**, v. v. 66, n. 3, p. 717-743, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/2175-7860201566305>. Disponível em : <https://rodriguesia.jbrj.gov.br/FASCICULOS/rodrig66-3/05%20-%20ID%201014.pdf>. Acesso em: 06 jun. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (Brasil). **Manual Técnico de Geomorfologia**. Segunda edição. Rio de Janeiro: IBGE, 2009. 182p. (Manuais técnicos em geociências, ISSN 0103-9598; n. 5). Disponível em : <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?id=281612&view=detalhes>. Acesso em: 20 jun. 2023.

MARTINS-FERREIRA, M. A. C.; CAMPOS, J. E. G. **Compartimentação Geomorfológica Como Suporte Para Estudos De Evolução Geotectônica: Aplicação Na Região Da Chapada Dos Veadeiros, GO**. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, [S. l.], v. 18, n. 3, 2017. DOI: [10.20502/rbg.v18i3.1119](https://doi.org/10.20502/rbg.v18i3.1119). Disponível em: <https://rbgeomorfologia.org.br/rbg/article/view/1119>. Acesso em: 01 jul. 2023.

MIRANDA, E. E (Coord.). **Brasil em Relevo**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>> Acesso em: 2 Abril de 2023.

NASCIMENTO, M. T. B.; OLIVEIRA, C. W.; MEIRELES, A. C. M.; LIMA, M. T. V. **Aplicação do método do NDVI na análise temporal da degradação da caatinga, município de Porteiras - CE**. In: III Simpósio Brasileiro de Recursos Naturais do Semiárido, 2017.

OBERLANDER, T.M. (1989) **Slope and pediment systems**, in D.S.G. Thomas (ed.) *Arid Zone Geomorphology*, 56–84, London: Belhaven. **paisagem geomorfológica**. Novas Edições Geográficas, 2016.

PEREIRA, R. S.; MOURA-FÉ, M. M. **Geomorfologia do Pontal da Santa Cruz, Santana do Cariri/CE**. In: XXIV Semana de Iniciação Científica da URCA, 2021, Crato/CE. *Anais da XXIV Semana de Iniciação Científica da URCA*, 2021.

RODRIGUES, S. C.; AUGUSTIN.,C. H. R. R, C.; NAZAR,T.I.S.M. **Mapeamento Geomorfológico do Estado de Minas Gerais: uma proposta com base na morfologia.** *Revista Brasileira de Geomorfologia*, [S. l.], v. 24, n. 1, 2023. DOI: [10.20502/rbg.v24i1.2233](https://doi.org/10.20502/rbg.v24i1.2233). Disponível em: <https://rbgeomorfologia.org.br/rbg/article/view/2233>. Acesso em: 10 jul. 2023.

SILVA, A. R. E.; REHBEIN, M. O. **Análise E Mapeamento Geomorfológico Da Área De Influência Da Planície Costeira De Pelotas (RIO GRANDE DO SUL, BRASIL).** *Revista Brasileira de Geomorfologia*, [S. l.], v. 19, n. 3, 2018. DOI: [10.20502/rbg.v19i3.1342](https://doi.org/10.20502/rbg.v19i3.1342). Disponível em: <https://rbgeomorfologia.org.br/rbg/article/view/1342>. Acesso em: 02 jul. 2023.

SILVA, F. M. A.; BRITO, D.S.; RIBEIRO, S.C.; BANDEIRA, A.P.N. **Mapeamento Geomorfológico Da Microbacia do Rio Salamanca Em Barbalha/Ce.** *Revista Geográfica Acadêmica*, v. 11, n. 1, p. 35-46, 2017.

SILVA, M. T. M.; SOBRINHO, J. F.; SOUZA, E. B. **Composição florística em áreas de vertentes com diferentes usos da terra na chapada do Araripe-CE.** *Geosul*, v. 37, n. 83, p. 117-140, 2022.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. ; OLIVEIRA, V. A. ; LUMBREAS, J. F.; COELHO, M. R. ; ALMEIDA, J. A. ; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiros de classificação de solos. – 5. ed., rev. e ampl. – Brasília, DF : Embrapa, 2018.** Disponível em: <https://www.agrolink.com.br/downloads/sistema-brasileiro-de-classificacao-dossolos2006.pdf>. Acesso em: 09 Maio de 2023.

SOUSA, F. G. L. S.; SILVA, M. A. P.; LOIOLA, M. I. B. **Passifloraceae s.s. na Chapada do Araripe, nordeste do Brasil.** *Revista Brasileira de Geografia Física*. v. 14, n. 02, 2021.

SOUZA, M. J. N. **Bases geoambientais e esboço do Zoneamento ecológicoeconômico do Estado do Ceará.** In: LIMA, Luiz. C. (Org.). **Compartimentação territorial e gestão regional do Ceará.** Fortaleza: FUNECE, 2000, p. 6-105, 2000.

SOUZA, M. J. N.; OLIVEIRA, V. P. V. **Os enclaves úmidos e sub-úmidos do territorial e gestão regional do Ceará.** Fortaleza: FUNECE, 2000, p. 6-105. Universidade Estadual do Ceará - UECE, 2017. v.5, n.9, p. 85-102, 2006.

TRICART, J. **Ecodinâmica.** Rio de Janeiro: IBGE, 1977. 91 p.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. **Earth Resources Observation and Science (EROS) Center. USGS EROS Archive - Digital Elevation - Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) Non-Void Filled.** Disponível em: https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-digital-elevation-shuttle-radar-topography-mission-srtm-non-void-filled?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects. Acesso em: 20 Janeiro de 2023.

VALERIANO, M. M. **TOPODATA: guia de utilização de dados geomorfométricos locais. São José dos Campos:INPE, 2008.** Disponível em <http://mtc-m18.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m18@80/2008/07.11.19.24/doc/publicacao.pdf> acesso em: 11 de Março de 2023.

CAPÍTULO 5

5. ANÁLISE TEMPORAL (1985-2020) DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA MICROBACIA DO RIO CARIÚS NO MUNICÍPIO DE SANTANA DO CARIRI - CE

RESUMO

Pesquisas relacionadas à análise espacial e temporal da cobertura do solo são essenciais para o desenvolvimento de políticas públicas de organização territorial, possibilitando compreender a dinâmica de ocupação territorial e seus impactos nos recursos hídricos das bacias hidrográficas. A vista disso, o objetivo deste trabalho foi realizar uma análise espaçotemporal e entender a dinâmica do uso do solo na microbacia do rio Cariús. Foi utilizado o software QGIS 3.22.7 e imagens dos satélites Landsat 5 e Landsat 8 para gerar mapas de uso e ocupação do solo para os anos de 1985 a 2020. Assim, foram identificadas 9 classes de uso e ocupação como a formação florestal, savânica, campestre, pastagem, mosaico de agricultura e pastagem, infraestrutura urbana, outras áreas não vegetadas, rio e lago, e outras lavouras temporárias. Os resultados mostraram um aumento na formação florestal, agricultura e pastagem, formação campestre, infraestrutura urbana e lavouras temporárias as demais classes diminuíram. Por fim, a diminuição e aumento das áreas ocupadas pelas classes revelaram mudanças expressivas no uso do solo da MBRC.

TEMPORAL ANALYSIS (1985-2020) OF LAND USE AND OCCUPATION IN THE MICROBASIN OF THE RIVER CARIÚS IN THE MUNICIPALITY OF SANTANA DO CARIRI (CEARÁ)

ABSTRACT

Research related to the spatial and temporal analysis of land cover is essential for the development of public policies for territorial organization, making it possible to understand the dynamics of territorial occupation and its impacts on water resources in river basins. In view of this, the objective of this work was to carry out a spatiotemporal analysis and understand the dynamics of land use in the Cariús river microbasin. The QGIS 3.22.7 software and images from Landsat 5 and Landsat 8 satellites were used to generate maps of land use and occupation for the years 1985 to 2020. Thus, 9 classes of use and occupation were identified, such as forest formation, savanna, countryside, pasture, mosaic of agriculture and pasture, urban infrastructure, other non-vegetated areas, river and lake, and other

temporary crops. The results showed an increase in forestry formation, agriculture and pasture, rural formation, urban infrastructure and temporary crops, the other classes decreased. Finally, the decrease and increase in areas occupied by classes revealed significant changes in MBRC land use.

Keywords: Geoprocessing. Vegetation indices. Water resources.

1. INTRODUÇÃO

A necessidade de determinar um território físico levou o ser humano a interagir com o ambiente natural, alterando-o e adaptando-o. Nesse sentido, a ocupação de pessoas na cidade avança simultaneamente junto a preocupação com os problemas socioambientais. Além disso, a intensa utilização dos recursos naturais do solo e água para diversos fins necessita de planos para manuseio e uso correto (Alves et al., 2019).

A utilização de técnicas de geoprocessamento possibilita o monitoramento do ambiente estudado por meio do sensoriamento remoto, o que proporciona a análise das alterações da paisagem devido a diferentes proporções de ocupação dessas áreas, a fim de melhorar os efeitos ambientais ocasionados pelas atividades humanas (Silva; Teixeira; Manzione, 2019).

À vista disso, uma das aplicações do Sensoriamento Remoto é o mapeamento dos tipos de uso e ocupação do solo, onde se considera o parecer de índices de vegetação calculados por softwares específicos para a realização do geoprocessamento de imagens de satélites. Para Ribeiro et al (2021), os índices de vegetação são obtidos através do uso de combinações matemáticas de duas ou mais bandas, ou faixas do espectro eletromagnético da Terra, seguindo o objetivo de obter dados espectrais do solo, determinando a área sem a presença da vegetação para a sua identificação.

A área de estudo compreende à microbacia hidrográfica do Rio Cariús (MBRC), que em toda a sua extensão fornece o abastecimento de água para produção agrícola e para os moradores do município de Santana do Cariri-CE, consistindo também por se tratar de uma área que vem sendo ocupada de forma desordenada ao longo de várias décadas e incorporada ao perímetro urbano da cidade, causando o adensamento populacional na região e diante disso, produzindo impactos ambientais.

Assim, objetivou-se com este trabalho, identificar os diferentes usos do solo na MBRC localizada no município de Santana do Cariri- CE, através das técnicas de geoprocessamento. Neste trabalho foram analisados o uso e ocupação do solo ao longo dos anos de 1985 a 2020 na MBRC, que se encontra no vetor da expansão urbana do município de Santana do Cariri

(CE), por meio da delimitação da microbacia e composição de mapas, de forma que os ilustrem e os quantifiquem. para enfim, fornecer subsídios para a apresentação de medidas de planejamento, objetivando a redução dos impactos ambientais e do desenvolvimento da qualidade de vida da população residente.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização da área de estudo

A Microbacia do Rio Cariús (MBRC) está inserida Figura1, predominantemente no município de Santana do Cariri, ao sul do estado do Ceará e faz parte de um dos nove municípios que constitui a Região Metropolitana do Cariri (CEARÁ, 2009). Dispondo de cerca de 855,165 km² de sua extensão territorial, contendo 17.726 habitantes no município, dispondo ainda uma média pluviométrica anual de 898.8 mm (FUNCEME, 2023).

As condições hidrológicas da Chapada alimentam cerca de 33 nascentes presentes na área de estudo, que “nascem” em seu entorno, condicionadas pelos aspectos hidrogeológicos, onde tem a formação de aquíferos. Conforme a suave inclinação da chapada apontado para o norte-nordeste provocada pelos basculamentos estruturais de ordem tectônica, a sua escarpa no estado do Ceará, obtém uma maior contribuição subsuperficial d’água, possibilitando que aflorem como nascentes distribuídos nos municípios da região do Cariri cearense (Sousa et al., 2020; Silva, 2022).

A região do Cariri cearense é privilegiada quanto a essas nascentes dentre os rios que nascem na Chapada, desse modo o rio Cariús cobre uma área de 47.876 km² na área de estudo, é um dos principais afluentes da bacia hidrográfica do Alto Jaguaribe. O rio Cariús nasce no município de Santana do Cariri, segue pelos municípios de Nova Olinda, Farias Brito, Cariús, antes de desaguar no rio Jaguaribe, em Jucás, e é importante por contribuir para a bacia do Alto Jaguaribe e recarrega o Açude Orós, que é o segundo maior reservatório do estado do Ceará (COGERH, 2022).

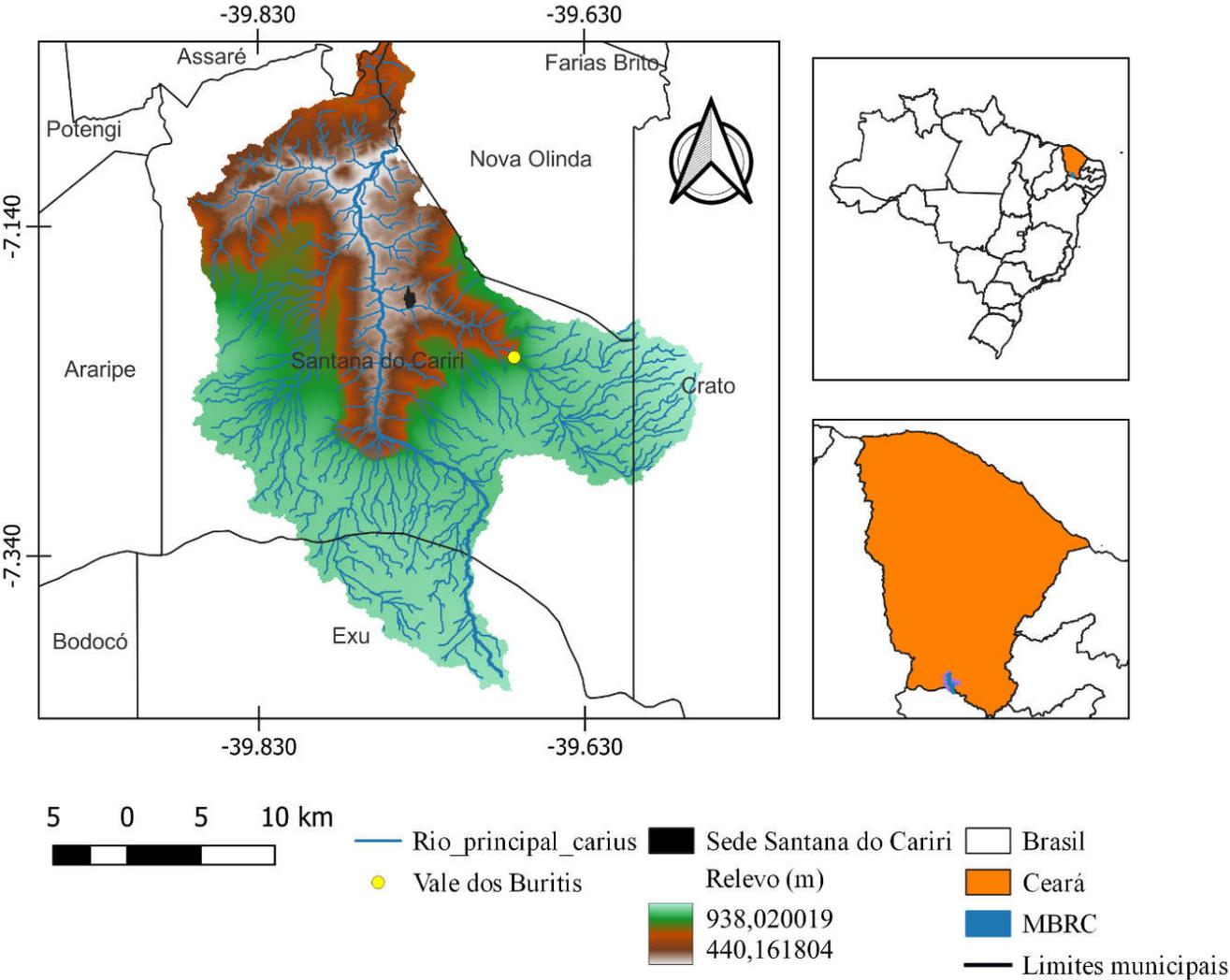
2.2 Metodologia

Para a realização da avaliação do uso e ocupação do solo da MBRC, foram analisados os anos de 1985 a 2020, devido à disponibilidade dos dados, em uma escala temporal comparativa de 5 e 5 anos. Para a geração dos mapas, foram utilizadas as imagens do projeto MapBiomas (<https://mapbiomas.org>), por meio da extração a partir dos satélites Landsat 5 para os anos de 1985 a 2010 e Landsat 8 para os anos de 2015 a 2020, com resolução espacial de 30 metros.

O procedimento de tratamento das imagens foi realizado no software QGIS 3.22.7 inserido no arquivo shapefile da delimitação da microbacia. Com finalidade de delimitar a MBRC, foi utilizado o Modelo Digital de Elevação (MDE), do projeto Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), alcançado no site EarthExplorer (USGS, 2022), referente à imagem landsat caminho 217 linha 65, com resolução espacial de 30m. Foram operadas ferramentas do algoritmo SAGA (System for Automated Geoscientific Analyses), versão 7.8.2, para extrair a área de interesse no MDE em resolução espacial original de 30 m.

Em seguida à estruturação do MDE, foram realizadas projeções migrando do sistema de coordenadas geográficas para o sistema de coordenadas cartesianas, sendo um procedimento indispensável para definir a área e o perímetro da projeção UTM. Na sequência foi realizado o recorte do MDE usando um retângulo que abarcou a bacia para diminuir a dimensão da imagem, agilizando os próximos processamentos.

Figura 1 - Localização da Microbacia do Rio Cariús



Fonte: Autor (2022), adaptado da base de dados USGS (2022)

Das 34 classes de uso e ocupação do solo presentes no MapBiomas em todo Brasil, apenas 9 tipos foram identificados na microbacia do rio Cariús. Nos mapas de uso e ocupação do solo do ano 1985 a 2020. Neste estudo, de acordo com o (quadro 1), separou-se a classe do uso e ocupação dos solos nas seguintes: formação florestal, savânica, campestre, pastagem, mosaico de agricultura e pastagem, infraestrutura urbana, outras áreas não vegetadas, rio, lago e oceano, outras lavouras temporárias.

Quadro 1 - Caracterização das classes de uso e cobertura do solo.

Classe	Características
Formação florestal	Tipos de vegetação com predomínio de dossel contínuo - Savana-Estépica Florestada, Floresta Estacional Semi-Decidual e Decidual.
Formação savânica	Tipos de vegetação com predomínio de espécies de dossel semi-contínuo - Savana-Estépica Arborizada, Savana Arborizada.
Formação campestre	Tipos de vegetação com predomínio de espécies herbáceas (Savana-Estépica Parque, Savana-Estépica Gramíneo-Lenhosa, Savana Parque, Savana Gramíneo-Lenhosa) + (Áreas inundáveis com uma rede de lagoas interligadas, localizadas ao longo dos cursos de água e em áreas de depressões que acumulam água, vegetação predominantemente herbácea e arbustiva).
Pastagem	Área de pastagem, predominantemente plantadas, vinculadas à atividade agropecuária. As áreas de pastagem natural são predominantemente classificadas como formação campestre que podem ou não ser pastejadas.
Mosaico de agricultura e pastagem	Áreas de uso agropecuário onde não foi possível distinguir entre pastagem e agricultura.

Infraestrutura urbana	Áreas urbanizadas com predomínio de superfícies não vegetadas, incluindo estradas, vias e construções.
Outras áreas não vegetadas	Áreas de superfícies não permeáveis (infra-estrutura, expansão urbana ou mineração) não mapeadas em suas classes
Rio, lago	Rios, lagos, represas, reservatórios e outros corpos d'água.
Outras lavouras temporárias	Áreas ocupadas com cultivos agrícolas de curta ou média duração, geralmente com ciclo vegetativo inferior a um ano, que após a colheita necessitam de novo plantio para produzir.

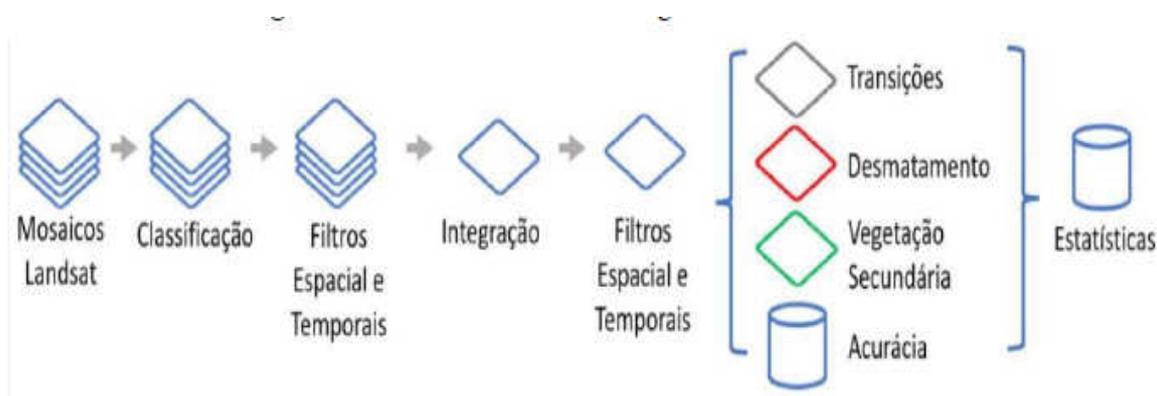
Fonte: Adaptado pelo autor a partir de MapBiomias (2023).

O mapeamento do MAPBIOMAS segue o algoritmo apresentado na Figura 2, com destaque das principais etapas do procedimento para a geração dos mapas anuais de cobertura e uso do solo, analisando as zonas de transição, desmatamento, vegetação secundária e acurácia dos dados. Dessa forma, foi elaborado a identificação de várias classes, proporcionando a manipulação para área de interesse do território brasileiro, assim como o download e a importação para softwares, possibilitando fazer análises e cálculos de áreas (Rademann et al., 2019).

Foram gerados arquivos no formato TXT com áreas em hectares ocupadas por cada código de uso e ocupação do MapBiomias, dentro da MBRC, utilizando a ferramenta r.report para obter este relatório. Para o comparativo entre os recortes do MapBiomias usado no estudo, através do procedimento de rasterização, seguiu para a operação de exportar os arquivos raster (MapBiomias 1985 a 2020), ajustando as suas projeções geográficas de EPSG: 4326 – WGS 84 para EPSG: 31984 – SIRGAS 2000 / UTM zone 24S, no intuito de converter

a unidade de área em graus para metros e utilizar um datum adequado às normas do IBGE, mais ajustado à área de interesse.

Figura 2 - Roteiro metodológico empregado pelo MapBiomias



Fonte: MapBiomias (2023).

Foi utilizado complemento do QGIS Landscape Ecology Statistics – LecoS para a operação de obtenção dos dados estatísticos, os pixels dos arquivos raster processados não construíram um quadro, mas seus valores eram muito próximos entre si em casas decimais. No entanto, para uma boa operação da ferramenta é necessário que além da unidade de área esteja em metros, os pixels sejam quadrados e tenham valores inteiros. Portanto, arredondou-se o valor dos pixels para o número inteiro mais próximo, que é 30 m, conforme foi demonstrado na Figura 2, a opção Cellsize preenchida com este valor.

Ultrapassando essa etapa, foram selecionadas na lista de parâmetros a serem executados pelo complemento com o painel “Joblist” adicionando estes, que a saber são: Land cover (área ocupada por cada classe de UOS, Landscape Proportion (porcentagem da área que cada classe de UOS abrange em relação às demais classes do mapa), Number of Patches (número de fragmentos de uma mesma classe de UOS que não se encontram conectados entre si), Greatest patch area (maior fragmento em área de uma estabelecida classe), Smallest patch area (menor fragmento em área de uma dada classe), Mean patch area (média aritmética da área total de uma classe de UOS pela totalidade de número de fragmentos de classes).

Para a análise da paisagem das áreas de uso e ocupação do solo, foi utilizada a Landscape Ecology Statistics (LecoS), na qual se permitiu calcular a quantidade de fragmentos presentes a cerca de cada classe analisada, expondo a organização espacial e o grau da sua fragmentação na área de estudo. De acordo com as métricas Fragsats McGarigal e Marks (1994), esta extensão integrada no software QGIS e foi desenvolvida por Jung (2015),

e utilizada por muitos autores como (Abalo et al., 2021; Chelaru et al., 2014; Rajendran e Mani, 2015). Para tanto, foram selecionadas quatro métricas de paisagem, sendo elas número de fragmentos, maior número de fragmentos, menor número de fragmentos e a média dos fragmentos, que permitiram apreender a estrutura da paisagem dessas áreas.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

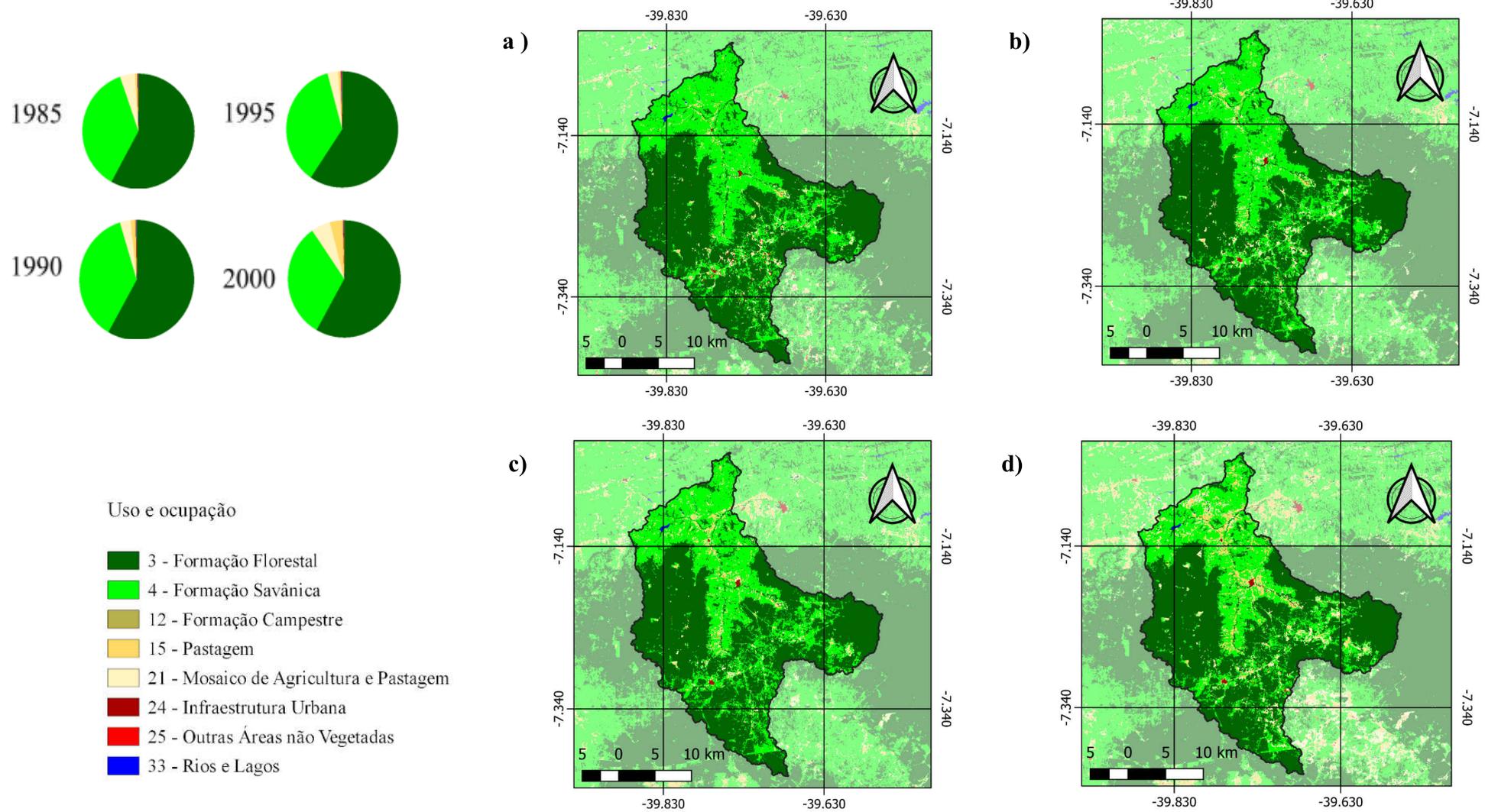
3.1 Uso e Ocupação do solo das paisagens ocupadas pelas classes de 1985 a 2020

Os tipos de uso e ocupação do solo entre seus respectivos anos e os percentuais da área estão detalhados na Figura 3, que correspondem aos anos de 1985 a 2000. De acordo com o que se observa na Figura 3a,b, pode-se dizer que os dados obtidos em 1985 e 1990 apresentam uma redução da formação florestal de 59,48% para 57,97% da área, ocorrendo um aumento na porcentagem mínima na formação savânica de 36,24% para 36,71%, o que representou o aumento na pastagem e agricultura de 3,79% passando para 5,01%. Nas demais classes, estando inclusa a infraestrutura, outras áreas não vegetadas, tais como rios e lagos e outras lavouras temporárias somam, uma porcentagem de 0,30% havendo uma redução de 0,17% em sua soma total.

Após cinco anos, chegando em 1995 Figura 3c, conforme a sequência da análise dos dados, os mesmos apontam que a formação florestal aumentou 0,24% e a formação savânica aumentou 0,33%, o que significa que as vegetações nativas aumentaram sua abrangência em 0,57% no período de 5 anos, reduzindo de 5,01% para 4,45% a área da classe de pastagem e agricultura que eram ocupados nessa época. A soma dos dados das demais classes resultou em 0,28%.

Durante o período do ano 2000 Figura 3d, verifica-se um grau mínimo de diminuição na formação florestal ficando a mesma ocupando 58,17% da área da MBRC, na formação savânica obteve uma redução de 37,04% para 32,19% (diminuiu 4,85%), que pode ser justificado em parte pelo elevado aumento da pastagem e agricultura de 4,45% a 9,22% (5,47% aumento), da área após o período de 5 anos. Nota-se que as demais classes aumentaram de 0,28% para 0,41% em sua soma total.

Figura 3 - Mapas de USO para os anos de a) 1985, b) 1990, c) 1995 e d) 2000.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Com relação ao ano de 2005, a Figura 4 mostra que a formação florestal começou a ter uma elevação quase imperceptível para 58,30% da sua área no período de 5 anos acometidos na ocupação da área, ao passo que a formação savânica continuou regredindo de 32,19% para 30,79%; fato que pode ser justificado pelo aumento das áreas de pastagem e agricultura, que passaram de 9,22% para 10,02%. Além do aumento das demais classes, continuaram subindo de 0,41% a 0,87%, e entre elas destaca-se o aumento das infraestruturas urbanas.

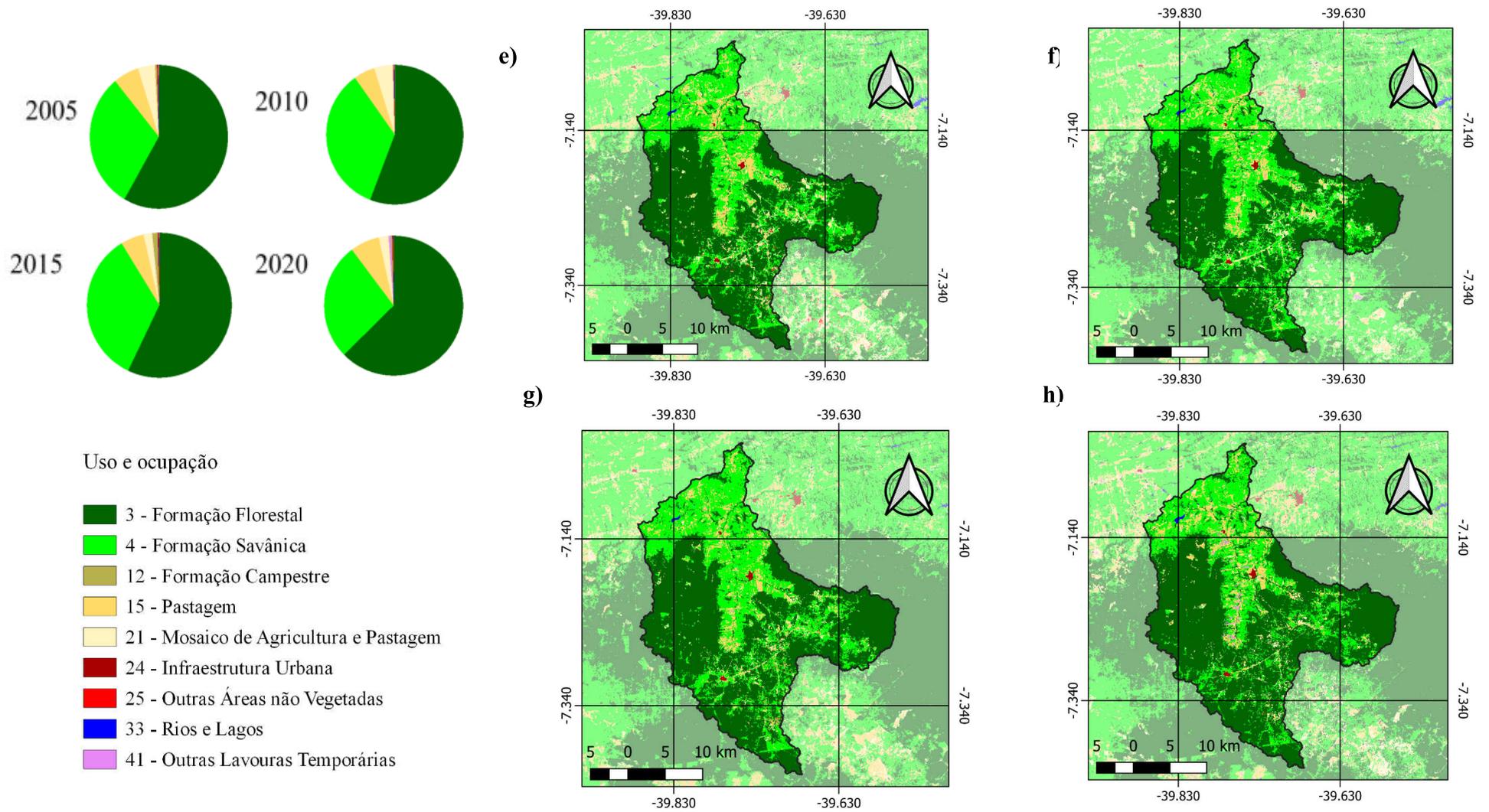
A respeito da formação florestal do ano de 2010, em comparativo ao ano de 2005, notase uma redução para 55,84% da ocupação da sua área em quase 2,5%. Na área atribuída a formação savânica chegou a expandir sua área para 34,27%, resultando em um aumento de 3,5%.

Essa alteração de áreas entre formação florestal e formação savânica pode ter ocorrido a partir da atuação da ação antrópica, voltados principalmente para a extração do calcário laminado aliada à agricultura de subsistência e à mineração da gipsita que são umas das principais atividades econômicas do município que ocasionam a retirada desses dois tipos de vegetação (Oliveira et al., 2019). A pastagem e agricultura passaram a ter 9,48% havendo redução de 0,26%. Destaca-se também que as demais classes passaram a ter juntas um valor de 0,38%, em vista que nesse período as outras áreas não vegetadas tiveram um aumento considerável.

Em 2015, a formação florestal aumentou a sua área para 57,09%. Figura 4g A formação savânica praticamente manteve sua área em torno dos 34%. A pastagem e agricultura segue reduzindo de 9,48% para 7,13%, ocorrendo uma porcentagem de perda maior em comparativo ao ano de 2010. Essa redução da área de pastagem pode ser explicada através da Fuceme (2023), pelos sucessivos índices pluviométricos abaixo da média entre 2010 com cerca de 688.8 mm e 2016 com 395.3 mm.

Nas demais classes chegaram a 1,59% de modo que, a formação campestre nesse período se apresentou com uma porcentagem acima do ano anterior analisado, esse aumento pode ser justificado em virtude da construção de reservatórios que foram artificialmente perenizados, contribuindo para que essa vegetação pudesse se elevar na região (Moro et al., 2015). Seguida das outras lavouras temporárias que abrangeram para 0,06%.

Figura 4 - Mapas de USO para os anos de e) 2005, f) 2010, g) 2015 e) 2020.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

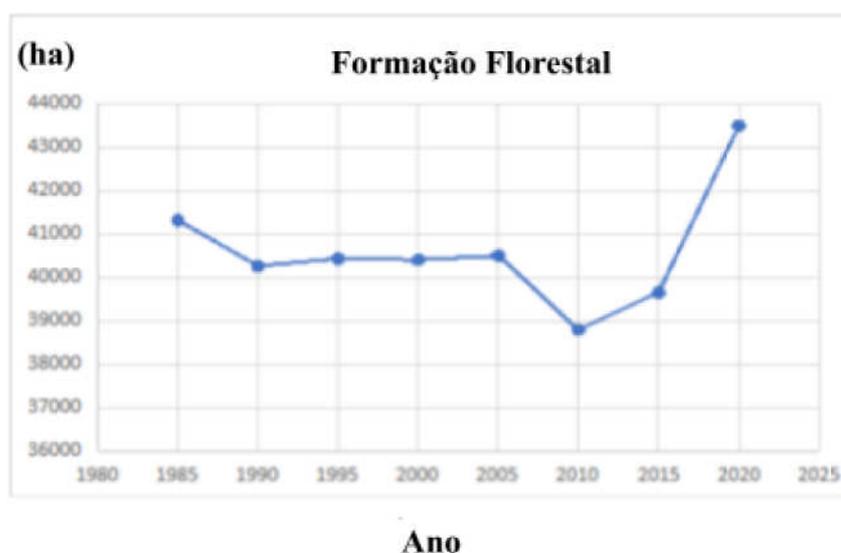
Para o ano de 2020 Figura 4h a formação florestal após 5 anos analisados anteriormente aumentou de 57,09% para 62,62%, esse aumento se deve com a mudança de áreas da formação savânica para a florestal, mostrando uma recuperação da flora em pontos principalmente no topo da chapada do Araripe. A formação savânica teve uma redução para 27,12%. A pastagem e agricultura seguiu reduzindo, ficando em 9,06%. Na infraestrutura urbana, outras áreas não vegetadas tiveram acréscimo de 0,20% em relação aos anos anteriores. Contudo, as outras classes permaneceram em 0,6%.

3.2- Gráficos de uso e ocupação pelas classes de 1985 a 2020

Os gráficos de 1 a 9 de uso e ocupação do solo, produzidos tiveram como propósito mostrar quais classes sofreram perdas, ganhos e mudanças para ser possível apontar a expansão e a redução das classes que tiveram efeitos positivos ou negativos sobre outras, proporcionando assim uma confrontação mais representativa da MBRC.

A partir dos dados da pesquisa, o gráfico 1 Figura 5, aponta a predominância da classe formação florestal no ano de 1985, que corresponde à vegetação com predomínio de dossel contínuo, presente na área da MBRC. Obtendo a presença de uma área com 41 mil ha. É possível observar que nos anos consecutivos de 1990 a 2015 apresentou redução em 1000 ha. Fator esse que pode ser justificado pela retirada da vegetação por meio do exercício do desmatamento para a criação de novas áreas de pastejo como também de plantio.

Gráfico 1 - Paisagem ocupada por Formação Florestal 1985 a 2020



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Essas atividades ganharam destaque a partir da implementação do programa Crédito Fundiário Criada em 2023 para que os agricultores familiares sem terra pudessem obter imóveis rurais, possibilitando estruturar atividades produtivas conforme apresentado na Figura 5.

Um outro fator que também pode nos remeter a uma justificativa, é com base na condição pluviométrica desses anos, onde 1985 aponta que teve como dado de precipitação 1639.9 mm, ou seja, um valor acima da média. Em contrapartida, notamos que nos anos posteriores os valores da precipitação diminuíram e oscilaram consideravelmente. Resultado na queda da classe. Já que o tipo de vegetação presente nessa classe é a presença Savana-Estépica Florestada caracterizada por possuir espécies xerófilas

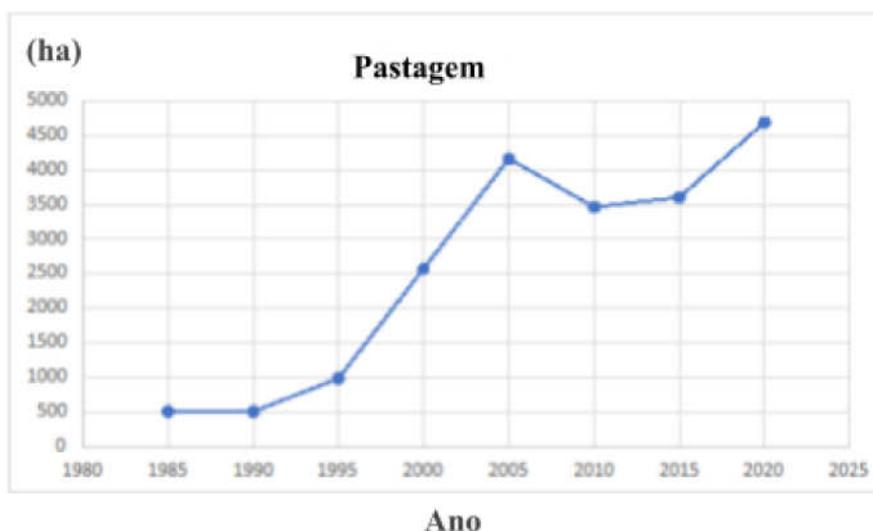
Figura 5 - Área de pastagem



Fonte: Autor, Maio (2023).

No entanto, no ano de 2020 essa realidade é alterada, pois a área em hectares de 2016 passou de 40 mil ha chegando a quase cerca de 44 mil ha. Demonstrando que no intervalo após o de 2015 se obteve as maiores precipitações em comparativo aos anos anteriores, chegando a 1091.6 mm o que contribuiu para o aumento da formação florestal no ano de 2020.

Segundo o gráfico 2, a área de pastagem para os anos iniciais de 1985 a 1990 não apresentou diferença, com apenas 500 ha. A frente tem-se os anos de 1995 a 2005, período no qual a classe se elevou dos 500 ha passando para 1000 ha, chegando a 4000 ha, devido ao desmatamento da vegetação correspondente à classe savânica.

Gráfico 2 - Paisagem ocupada pela Pastagem 1985 a 2020

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Voltado para a classe pastagem onde são realizados plantios e atividades voltadas para a agropecuária como apontado na Figura 6. Em 2010 a sua área teve uma perda de 500 ha nesse período no qual se obteve um dado de precipitação inferior à média anual da região. No ano de 2015, assim como apontado no gráfico anterior, a formação florestal teve uma redução, apontando a evolução das pastagens no estado do Ceará (Faustino; Lima, 2022). No ano de 2020 as precipitações se elevam contribuindo também para o aumento da pastagem

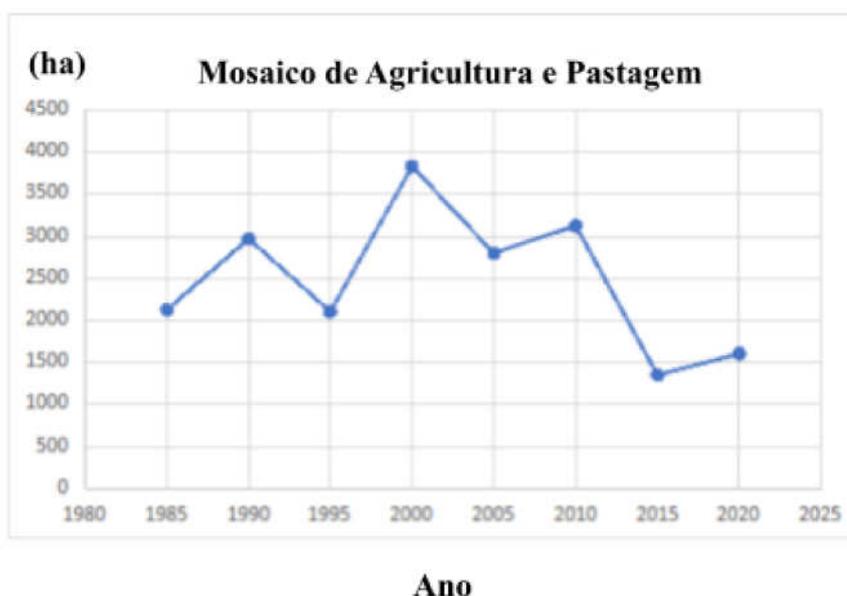
Figura 6 - Área de pastejo para bovinos

Fonte: Autor, Maio (2023).

O mosaico de agricultura e pastagem é representado no gráfico 3, expondo uma variação de altos e baixos ao longo dos anos, mostrando o quanto essa atividade produtiva é impactada por variáveis ambientais e econômicas, demonstrando a fragilidade destes sistemas produtivos no semiárido (MAPBIOMAS, 2023).

Com mesmo padrão de análise dos gráficos anteriores, o gráfico 3 aponta que em 1985 a classe obtinha 2000 ha, ocorrendo uma queda e aumento e entre os anos de 1990 a 2000 a partir da queda e elevação dos dados pluviométrico que passaram de 669 mm para 1020.1 mm, contribuindo para que a classe chegasse se a quase 4000 ha, ou seja quase o dobro após uma escala de tempo de 10 anos. No ano de 2005 ficou registrado uma queda em comparativo com as análises anteriores, ficando em quase 2500 ha, devido à baixa precipitação com 667.8 mm, como também a vegetação que compõe a classe. Não sendo possível distinguir entre pastagem e agricultura.

Gráfico 3 - Paisagem ocupada pelo Mosaico de Agricultura e Pastagem 1985 a 2020



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

No ano de 2010, nota-se uma breve elevação do valor, pois nesse intervalo de tempo se obteve uma melhor resposta da vegetação em relação à quantidade de chuvas precipitadas como mostrado na Figura 7. Nos anos finais do estudo, a classe veio a cair outra vez por conta da quantidade de chuvas serem insuficientes para manter tanto a vegetação quanto os tipos de culturas que ocupam as áreas.

Figura 7 - Área de plantio de milho e feijão



Fonte: Autor, Maio (2023).

Conforme apresentado pela Funceme (2023), a maioria dessas culturas é produzida por pequenos produtores rurais, em regiões de altitude com solo profundo e plano, onde o fluxo para se ter acessibilidade a água é necessária que ocorra através da irrigação. A falta de água tem afetado em especial as culturas de feijão e milho nos últimos vinte anos. Por fim, durante o ano de 2020 a classe apresentou um aumento da sua área de ocupação em 1500 ha, onde as chuvas ultrapassaram a média pluviométrica,

De acordo com o gráfico 4, pode-se observar que houve após a formação florestal uma predominância da classe formação savânica durante o ano de 1985, apresentando uma área de 25 mil ha, esse valor teve algumas leves elevações no período de 1990 a 1995, pois se tratando da precipitação que subiu de 669 mm para 995 mm e com relação ao tipo de vegetação presente, permitiu que a classe não reduzisse a sua extensão.

Gráfico 4 - Paisagem ocupada pela Formação Savânica 1985 a 2020

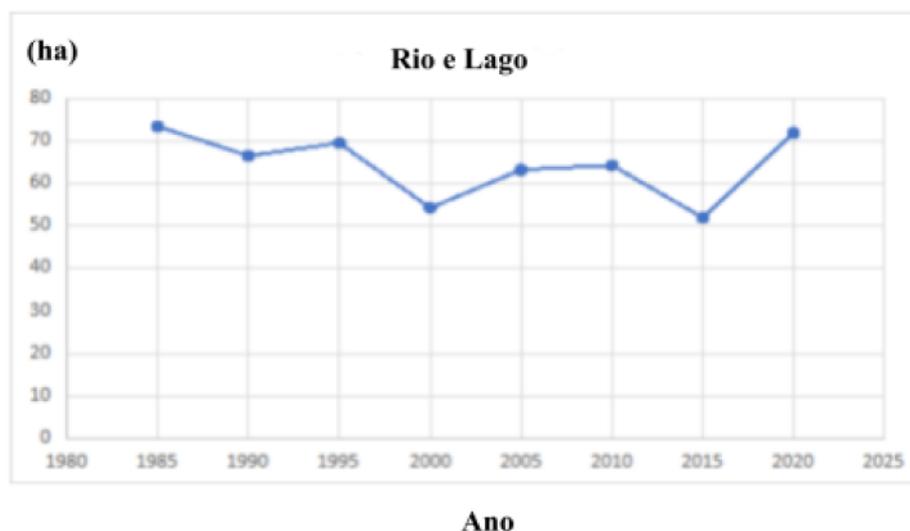
Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

No entanto, no período de 2000 a 2005 os valores diminuíram para quase 20 mil ha, revelando nessa época se teve uma baixa na precipitação com 667.8 mm um valor abaixo da média, como também áreas ocupadas pela formação savânica foram ocupadas por outros usos. Revelando assim, na diminuição da classe percebe-se que essas mudanças apresentam relação com o aumento ocorrido na classe de pastagem, como mencionado no gráfico 2.

A retirada da vegetação para o plantio de culturas temporárias como a mandioca, milho, feijão, fava dentre outros, prática essa muito comum na região. Assim, nos anos em que ocorreu o decréscimo das áreas de florestas e savânicas, houve um aumento na agricultura e na pastagem.

Desse modo, nos anos de 2010 a expansão dessa classe sobe novamente durante uma década, chegando a quase 25 mil ha. Porém, no ano de 2020 a sua área veio a diminuir devido à formação savânica possuir relação direta com a expansão da área Pastagem, sendo a classe, claramente a mais afetada por esta expansão.

As áreas da classe rio e lago, evidenciadas no gráfico 5, revelam a presença de 70 ha no ano de 1985, no qual se obteve uma média de precipitação de 1639.9 mm (FUNCEME, 2023). Em destaque temos a presença de nascentes na área que contribui para o resultado desse dado (Rodrigues; Barbosa, 2020). Conforme avançamos para os demais anos, notamos leves oscilações de perdas e ganhos da presença da classe na área na microbacia

Gráfico 5 - Paisagem ocupada por Rio e Lago 1985 a 2020

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Destacando as maiores quedas nos anos de 2000, onde se inicia com uma boa precipitação pluviométrica, mas nos anos seguintes passa a cair. Assim, como foi evidenciado o aumento também parte desse recurso presente passando a ser utilizado em outras classes como o mosaico de agricultura e pastagem, área urbanizada e de outras lavouras temporárias expõem o seu aumento, justamente nos anos de queda dessa classe.

Nos anos seguintes, de 2005 a 2010 a classe passou a se elevar passando de 50 ha para 65 ha, dado esse que pode ser justificado no gráfico 5 pela queda da classe de agricultura e pastagem, perante esse período que necessitam de uma boa condição pluviométrica para se manterem. Em 2015 a classe passou a ter uma nova queda, fator este que está ligado à baixa condição pluviométrica da região em 606 mm. Em conclusão, no ano de 2020 a classe se eleva, pois a precipitação da área ultrapassou a média pluviométrica da região, ficando em 915.5 mm, fator esse que está diretamente ligado ao aumento e diminuição da ocupação da área da classe.

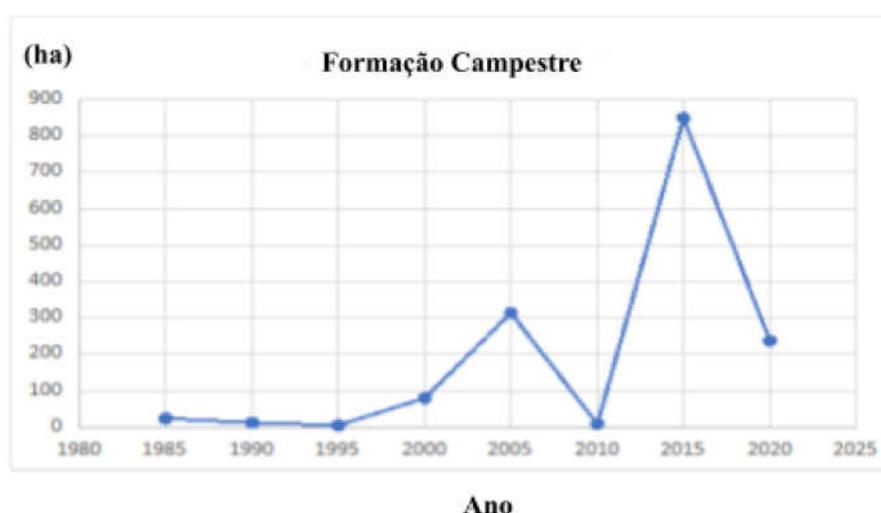
Por outro lado, no gráfico 6 a classe da formação campestre possui paisagens naturais com formação, principalmente, por vegetação herbácea, gramíneas e arbustos de pequeno porte (MAPBIOMAS, 2023). É evidenciado que nos anos de 1985 a 1995 a classe não apresenta dados significativos para a composição da área.

Contudo, ao se chegar nos anos de 2000 a 2005 temos uma breve elevação da classe que passa a ocupar de 100 ha a 300 ha dados, esses dados refletidos devido ao aumento de áreas ocupadas pela classe rio e lago, como já evidenciado no gráfico 5, pois a classe contém

vegetação que tem uma resposta positiva ao aumento dessa classe. Estando concentrada sobretudo nas margens das drenagens e áreas de encostas (Ribeiro; Cristo, 2021).

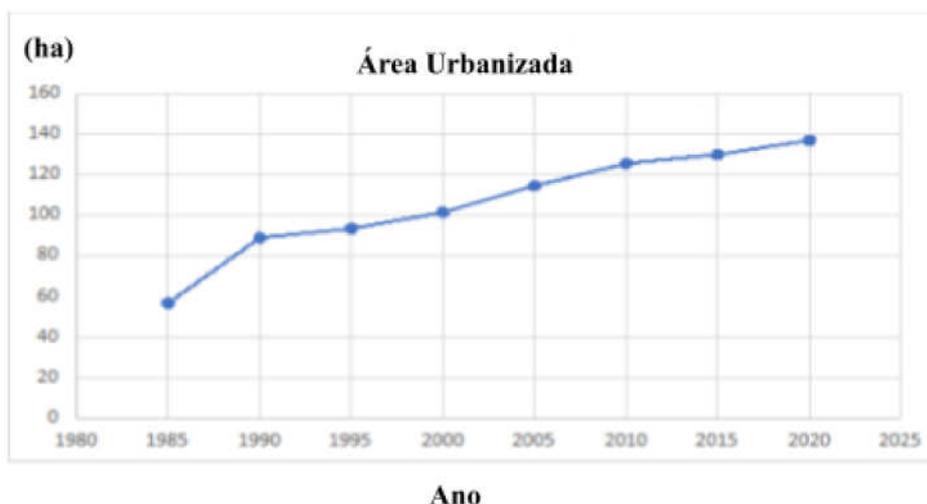
A partir do ano de 2010, notamos uma brusca queda da área. Fazendo referência à precipitação de apenas 688.6 mm (FUNCEME, 2023), justificando essa diminuição. Apesar disso, no ano de 2015 se teve um aumento chegando a quase 900 ha da sua área total, isso está relacionado ao aumento da pastagem na mesma época no gráfico 2. Em 2020 a sua área caiu ficando apenas com 200 ha, fator esse que pode ser justificado pela ação humana em desmatar a área para atividades agropecuárias que estão contribuindo para a perda da cobertura vegetal natural, agindo em direção a formação campestre (Tavares et al., 2019).

Gráfico 6 - Paisagem ocupada pela Formação Campestre 1985 a 2020



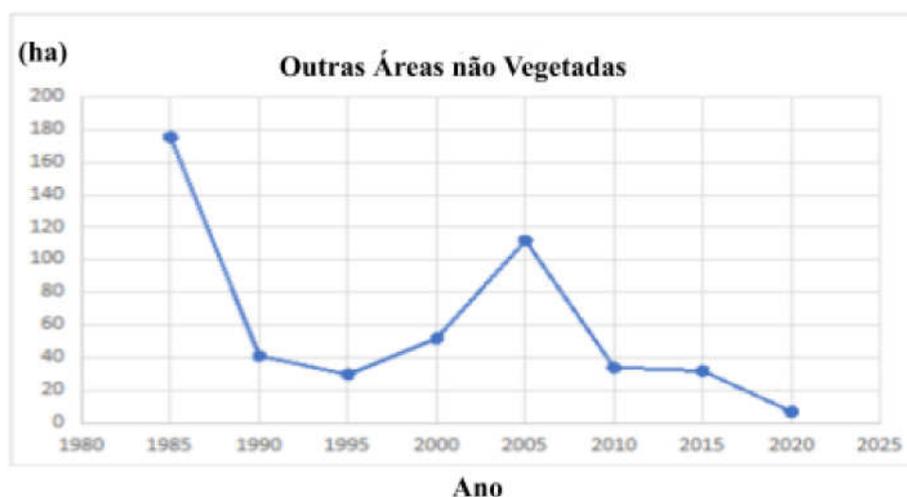
Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

A classe área urbanizada apresentou no gráfico 7, o valor de ocupação com cerca de 60 ha no ano de 1985. Conforme o gráfico, nos próximos anos ficou evidente que os dados da classe passarão a aumentar, chegando a 140 ha no ano de 2020 do estudo, não ocorrendo perdas que vinhesse a reduzir a sua presença na área. Isso ocorreu, por conta que a população passou a ocupar mais as áreas afastadas no centro urbano do município, como ao grande incentivo das construções civis, como a presença de prédio com predomínio de superfícies não vegetadas, incluindo estradas, vias e construções que estão associados ao uso das atividades agropecuárias (Caselli et al, 2015; IBGE, 2022).

Gráfico 7 - Paisagem ocupada pela Área Urbanizada 1985 a 2020

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Em relação aos dados obtidos no gráfico 8, no ano de 1985 apresentou o valor de 180 ha um valor elevado em relação aos anos posteriores, dado que a classe apresenta as áreas de superfícies não permeáveis como também não mapeadas em suas classes (Faustino e Lima, 2022). Nos anos de 1990 a 1995, percebe-se uma queda da classe que variou entre 40 ha a 20 ha.

Gráfico 8 - Paisagem ocupada por Outras Áreas não Vegetadas 1985 a 2020

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

No entanto, no ano de 2020 esse dado passou a subir para 120 ha, devido a uma parcela da área que é utilizada para exploração da matéria-prima da mina de Gipsita e de Calcário extraída do município, ação essa que propiciou o surgimento dessa classe no estudo.

Porém, essa exploração veio a cair durante os anos de 2010 a 2020, permitindo que a vegetação presente nessas áreas surgisse, maquiando a sua identificação a partir da classe (Caselli *et al.*, 2015; Olivera *et al.*, 2018).

No decorrer dos anos de 1985 a 2000, como é apontado no gráfico 9, não se possui nenhum dado que possa ser discutido. As culturas temporárias são cultivadas principalmente nas proximidades das margens de reservatórios, intensificadas especialmente a partir de 2010 (Faustino e Lima, 2021). As culturas mais particulares no estado são: cana de açúcar, melão, mandioca, arroz, feijão, milho, tomate, mamona e algodão (IPECE, 2021).

Contudo, nos anos de 2005 a 2010 percebe-se um pequeno grau de elevação, não atingindo 50 ha de extensão presente da classe na área, sendo justificado pela condição pluviométrica que não atingiu a média de chuvas no município (FUNCEME, 2023), como também os inúmeros números de gerações dos agricultores que fizeram o uso da terra de maneira inadequada, empobrecendo o solo e debilitando as atividades socioeconômicas essenciais para subsistência (Tavares *Et al.*, 2019)

Gráfico 9 - Paisagem ocupada por Outras Lavouras Temporárias de 1985 a 2020



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Posteriormente, nos anos de 2015 a 2020 essa realidade muda, passando de 50 ha para quase 400 ha contidos na área. Pois, foram os anos que obtiveram uma carga maior de chuvas, estando auxiliadas a utilização de tecnologias nas áreas plantadas, a partir do programa de crédito rural do Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (PRONAF), auxiliando na produção agrícola (Lima *et al.*, 2018). Ressaltando que nessa classe há a

presença de cultivos agrícolas de curta ou média duração, normalmente possuem um ciclo vegetativo com duração menor a um ano.

3.3 Análise da fragmentação da paisagem

Para a análise da paisagem destas das áreas de uso e ocupação do solo foi utilizada a Landscape Ecology Statistics (LecoS), na qual se permitiu calcular a quantidade de fragmentos presentes acerca de cada classe analisada, expondo a organização espacial e o grau da sua fragmentação na área de estudo. De acordo com as métricas Fragsats McGarigal e Marks (1994), esta extensão integrada no software QGIS desenvolvida por Jung (2015), e utilizada por muitos autores como (Abalo et al., 2021; Chelaru et al., 2014; Rajendran e Mani, 2015). Para tanto, foram selecionadas 4 métricas de paisagem obtidas através das resolução das imagens Landsat 5 e 8, sendo elas número de fragmentos, maior número de fragmentos, menor número de fragmentos e a média dos fragmentos, que permitiram apreender a estrutura da paisagem dessas áreas.

As quantidades de fragmentos demonstrados na (Tabela 1), em 1985 a classe com a quantidade maior de fragmentos era a formação savânica com 1203 esse valor aumenta para 1705 este valor corrobora, conforme observado no trabalho de Jesus et al. (2019), no qual explica que essa classe tende a aumentar devido à utilização de métricas da paisagem no zoneamento, o que permite identificar o seu padrão estrutural, suas particularidades e tendências as transformações. Que são utilizadas para a recuperação ou restauração explorada pelas ações antrópicas, na cidade a partir das atividades produtivas da agropecuária como de mineração. Em contrapartida, o mosaico de agricultura e paisagem revelou uma quantidade de 1159 e novamente esse valor sofreu algumas baixas e altas durante os anos, principalmente em 2015 a 2020 ficando em 1157.

Tabela 1 - Métricas número de fragmentos de 1985 a 2020

Classe	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Formação Florestal	960	1045	879	1044	961	959	937	1149

Formação Savânica	1203	1100	1062	1475	1547	1234	1375	1705
Formação Campestre	42	19	7	202	407	24	771	247
Pastagem	288	233	409	605	706	713	974	934
Mosaico de Agricultura e Paisagem	1159	1421	1357	1786	1622	1684	1215	1157
Infraestrutura Urbana	4	4	4	4	5	4	4	4
Outras Áreas não Vegetadas	184	86	93	80	140	57	49	11
Rios e Lagos	14	16	24	16	23	17	14	15
Outras Lavouras Temporárias	-	-	-	-	5	15	38	152

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

A formação florestal resultou em 1985 com 960 e chegou a 1149 fragmentos presentes na sua área, obtendo perdas e ganhos, condição essa que pode ser justificada pela aplicação de projetos governamentais como Crédito fundiário e projeto Paulo Freire, que possibilitaram aos agricultores a aquisição de terras, seguida do investimento produtivo, como o incentivo à apicultura que tem como finalidade a melhoria da rede familiar que promoveu a preservação e conservação do porte vegetativo dessa classe, localizadas principalmente no topo da chapada (Caetano, 2022; Galdino et al., 2019).

É importante destacar que, a partir do ano de 2005, a classe outras lavouras temporárias foi inserida nesse estudo, a mesma iniciou com 5 fragmentos e esse valor aumentou bastante durante os anos consecutivos, não ocorrendo quedas da quantidade dos

seus fragmentos. Em sequência a pastagem partiu da quantidade de 288 fragmentos esse valor foi superado principalmente nos anos de 1995 a 2020 resultando em 934 fragmentos. Está relacionado ao aumento constante de áreas para a criação de bovinos, pois a seca é um problema para criadores bovinos do semiárido brasileiro, por isso é necessário buscar soluções para a sua convivência (Rodrigues et al., 2022).

Contudo, a classe “outras áreas não vegetadas” demonstra que no ano inicial foram contabilizados 184 fragmentos, no entanto apresentou uma série de variações no decorrer dos anos relacionados com o desenvolvimento econômico do município que se concentrou em áreas afastadas do centro urbano, ocorrendo a redução nos valores em período de tempo de 15 anos, como também revelou que uma elevação após a queda, seguida de um aumento em 2005, ficando com um valor bem mais da metade no ano de 2020. A classe rios e lagos, com 14 fragmentos apresentando mudanças conforme a escala de tempo, apontando uma quantidade maior de 24 fragmentos no ano de 1995 mas ficando apenas com 15 em 2020. Por fim, a infraestrutura urbana não apresentou mudanças significativas no estudo.

A formação florestal (Tabela 02) apresentou o maior fragmento no ano de 1985 demonstrando ainda uma série de oscilações desse dado chegando a 41,39 no ano final do estudo. Esses fragmentos florestais podem ter um elevado valor de conservação para a biodiversidade e proporcionar uma grande variedade de serviços ecossistêmicos (Fahrig, 2017; Fletcher et al., 2018). Em sequência, a formação savânica mostra um valor de 21,23, uma quantidade que seguiu diminuindo até o ano de 2015, mas acabou se sobressaindo chegando a 71,63 no ano de 2020, dados esses que são justificados. A infraestrutura urbana nessa estatística é o terceiro maior fragmento no ano de 1985 e permaneceu aumentando até chegar em 2020.

A classe rios e lagos se mostrou com o seu fragmento com 5,31 o tamanho do mesmo continuou crescendo chegando a 57,6. As classes pastagem e mosaicos de agricultura e pastagem exibiram que em 1985 possuem quase que o mesmo tamanho dos seus maiores fragmentos, mas a pastagem demonstrou um grande crescimento durante os anos posteriores. Diferentemente da pastagem, os mosaicos de agricultura e pastagem exibiram um outro tipo de comportamento de específicas alterações no tamanho do fragmento, permanecendo com 52,2 há, uma medida bem superior em comparativo ao seu ano inicial.

Tabela 2 - Métricas do maior fragmentos (ha) de 1985 a 2020

Classe	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Formação Florestal	43,65	29,45	30,06	38,25	30,03	28,69	29,64	41,39
Formação Savânica	21,23	17,48	17,31	15,04	14,33	14,96	15,65	71,63
Formação Campestre	0,57	2,61	1,17	3,69	10,08	1,35	76,32	12,6
Pastagem	1,80	40,14	49,95	156,78	593,73	259,2	213,84	273,24
Mosaico de Agricultura e Paisagem	1,85	84,51	58,05	122,31	89,37	1684	32,04	52,2
Infraestrutura Urbana	14,42	45,18	47,16	53,01	60,66	69,84	72,54	76,05
Outras Áreas não Vegetadas	0,96	3,6	1,8	5,4	5,4	2,79	3,6	1,26
Rio e Lagos	5,31	51,66	48,42	39,15	45,99	46,53	40,05	57,6
Outras Lavouras Temporárias	-	-	-	-	2,88	11,7	4,05	23,85

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

A formação campestre possuía um tamanho de fragmento maior com 0,57, mas os seus valores nesse balanço, esse dado demanda de muitas alterações, tendo se elevando quanto diminuindo, conservando - se em 12,06 ha do seu tamanho. Em outras áreas não vegetadas, retratam o segundo maior fragmento do ano de 1985, mudando a cada ano posterior ficando em 1,26 ha no ano de 2020. As outras lavouras temporárias que surgiram em 2005 estava em 2,88, valor esse que teve um crescimento, ficando em 23,85 fragmentos para o ano de 2020. Essas variações de fragmentação, ocorrem principalmente devido ao desmatamento para

agricultura e crescimento urbano (Torres et al., 2023; Taubert et al., 2018), é um dos principais agentes da perda de biodiversidade em todo o mundo (Melo et al., 2019).

Os dados de menor fragmento revelaram uma semelhança de algumas classes, apresentando 0,09ha do tamanho do fragmento, o que representa áreas de apenas um pixel da imagem de 30mx30m. No entanto, notamos que as classes, infraestrutura urbana e outras lavouras temporárias apresentaram dados diferentes das demais. A infraestrutura urbana demonstrou 1,8ha em 1985 esse valor varia nos anos posteriores, nos primeiros 15 anos ele tem aumentando e ao chegar no ano de 2005 diminuiu, mas passou novamente a aumentar nos anos finais do estudo. Por fim, na classe “outras lavouras temporárias”, que surgiu em 2005, apontando 0,63 ha esse valor se manteve durante 5 anos, mas caiu na década seguinte ficando apenas com 0,18 ha.

A formação florestal em sua média para o ano de 1985 apontou um valor de 43,65 ha (Tabela 3), esse valor passou por algumas variações, ficando em 38,39 há um valor um pouco abaixo do que apontado em 1985. A formação savânica demonstrou um dado de 21,23 há no início, que durante uma década teve um aumento, mas esse valor reduziu após os anos seguintes, ficando em 11,21 ha.

A infraestrutura urbana chegou a 14,42 ha em 1985 sendo atribuído um aumento contínuo a esse valor nos demais anos, apresentando 34,71 ha em 2020. No que se refere-se à classe rios e lagos evidenciou 5,31 há em sua média, mas esse valor veio a cair bruscamente em comparativo com os anos posteriores. Se tratando da classe mosaico de agricultura e paisagem apresentou 1,85 ha do valor da sua média para o ano de 1985, com isso notou-se que esse valor oscilou bastante durante a escala de tempo. Ocorrendo redução para 1,40 ha no ano de 2020.

A pastagem exibiu 1,80 ha em 1985 esse dado aumento frequentemente conforme os anos se passaram, resultando em 5,09 ha em 2020. Em outras lavouras temporárias determinaram que em 1985 a sua média ficou em 1,44 ha dado esse que oscilou em uma escala de tempo de duas décadas, ficando em 2,48 ha. Em outras áreas não vegetadas expôs 0,96 há redução em relação ao ano de 2020. Por fim, a formação campestre chegou a média de 0,57 ha em 1985 seguindo com algumas alterações e em 2020 teve um aumento para 0,97 ha.

Tabela 3 - Métricas da média dos fragmentos (ha) de 1985 a 2020

Classe	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Formação Florestal	43,65	39,08	46,65	39,25	42,74	41,02	42,92	38,39
Formação Savânica	21,23	23,52	24,58	15,38	14,02	19,57	17,51	11,21
Formação Campestre	0,57	0,65	0,73	0,40	0,78	0,37	1,11	0,97
Pastagem	1,80	2,22	2,45	4,31	5,98	4,93	3,75	5,09
Mosaico de Agricultura e Paisagem	1,85	2,11	1,57	2,17	1,75	1,88	1,12	1,40
Infraestrutura Urbana	14,42	22,56	23,73	25,76	23,25	31,86	32,87	34,71
Outras Áreas não Vegetadas	0,96	0,48	0,32	0,65	0,81	0,60	0,67	0,67
Rio e Lagos	5,31	4,21	2,93	3,43	2,78	3,83	3,79	4,89
Outras Lavouras Temporárias	-	-	-	-	1,44	2,32	1,16	2,48

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Em muitos estudos em nível de paisagem como (Abalo et al., 2021; Dimobe et al., 2017; Polo-Akpisso et al., 2018), é notado que as métricas de paisagem usadas neste estudo estão distantes de serem cansativas. Porém, várias das métricas de paisagem existentes passam a surgir para a quantificação exata da paisagem em muitos campos, já foram mencionadas pois demonstram o mesmo fenômeno. A quantificação da estrutura da paisagem desse estudo se revelou eficiente.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que a metodologia utilizada no presente trabalho foi satisfatória para a realização da análise temporal da MBRC. No período analisado de 1985 a 2020, foram

apontados os diferentes usos do solo, onde algumas classes apresentaram diferenças ao terem sido comparadas entre os anos, devido à razão do pouco, ou elevado avanço dessas classes presentes na área na microbacia.

Conforme os comparativos entre os mapas e seus respectivos anos, foi constatado algumas classes fornecidas pelo MapBiomas, das 34 classes de uso e ocupação do solo presente no MapBiomas em todo Brasil, apenas 9 tipos foram identificados na MBRC como a formação florestal, savânica, campestre, pastagem, mosaico de agricultura e pastagem, infraestrutura urbana, outras áreas não vegetadas, rio e lago, e outras lavouras temporárias.

Tendo em vista, o período contemplado neste estudo, houve uma considerável expansão da formação florestal de 41 mil ha para 44 mil (ha), representando um acréscimo de 3,13%. A formação savânica partiu de 25 mil (ha), para 18 mil (ha), ocorrendo uma redução de 9,11%. A agricultura e pastagem estavam inicialmente em 26 mil (ha), e se elevaram para 62 mil (ha), passando de 3,79% para uma extensão a mais de 5,26%.

Além disso, a classe a formação campestre apresentava 26 mil (ha), subindo para 900 mil(ha), saindo de 0,25 % para 0,34%. A infraestrutura urbana iniciou com 60 mil (ha), e estabelecendo um aumento significativo para 140 mil (ha), com isso, ela passa de 0,08% a 0,19%. Assim como outras áreas não vegetadas e o rio e lagos, somavam com uma área de 248 (ha), e decresceram para 79 (ha), com o valor caindo de 0,35% restando apenas 0,11%. Por fim, as outras lavouras temporárias ocupavam 7,19 (ha), havendo um grande aumento para 372 (ha). Saindo de 0,01% para 0,53%.

Com relação à análise, ficou evidente a constante alteração do uso e ocupação do solo em períodos inferiores a uma década. Notamos essa mudança a partir do ano de 2005 no qual surge a inclusão de uma classe “outras lavouras temporárias”. Tais modificações demonstraram mudanças significativas no uso do solo da MBRC.

REFERÊNCIAS

ABALO, M.; BADABATE, D.; FOUSSENI, F. **Análise baseada na paisagem de padrões de zonas húmidas na bacia do rio Ogou no Togo (África Ocidental)**. 14^a Conferência Geocientífica Multidisciplinar Internacional sobre Ecologia, Economia, Educação e Legislação SGEM 2014, Atas da Conferência, pp. 557 - 56, 2021.

ALVES, W. S.; MORAIS, W.; A.; MARTINS, A. P.; AQUINO, D. S.; PEREIRA, M. A. B.; SALEH, B. B. **Análise do uso da terra, da cobertura vegetal e da morfometria da bacia do Ribeirão Douradinho, no sudoeste de Goiás, Brasil**. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 12, n. 3, p. 1093-1113, 2019.

CAETANO, J. M. N. **Floriô Semiárido - boletim informativo do projeto Paulo Freire: apicultura: papel das abelhas no meio ambiente e na geração de renda**. Ceará: Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura, Projeto Paulo Freire, 2022.

CEARÁ. **Caderno Regional da Sub-Bacia do Alto Jaguaribe**. Conselho de Altos Estudos e Assuntos Estratégicos, Assembleia Legislativa do Estado do Ceará. Fortaleza: INESP, vol. 5, 2009.

COGERH. **Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos**. Disponível em: www.cogerh.com.br. Acesso em: 8 de Dezembro de 2023.

DIMOBE, K., GOETZE, D., OUÉDRAOGO, A., FORKUOR, G., WALA, K., POREMBSKI, S., THOM- BIANO, A., 2017. **Spatio-temporal dynamics in land use and habitat fragmentation within a protected area dedicated to tourism in a Sudanian savanna of West Africa**. *Landsc. Ecol.* 10, 75–95.

FAHRIG, 2017 L. **Fahrig Respostas Ecológicas à Fragmentação do Habitat Per Se Annu**. *Rev. Ecol. Evolução Sist.* , 48 (2017) , pp. 1 - 23 ,10.1146/annurev-ecolsys-110316-022612.

FAUSTINO, J. C. S.; LIMA; P.V. P.S. **Evolução da dinâmica do uso da terra entre 1985 a 2019 no estado do Ceará**. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, Aracaju, v. 13, n. 1, p. 195-210, 2022.

FUNCEME, **Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. Calendário das Chuvas no Estado do Ceará**. Disponível: <http://funceme.br/app/calendario/produto/ceara/media/anual>. Acesso em: 8 mar.. 2023.

GALDINO, M. S. S.; NORONHA FILHO, J.B.; GOMES, E. I. A.; SOUSA, E. P. **Programa Nacional de Crédito Fundiário no Nordeste Brasileiro**. *REUNIR Revista De Administração Contabilidade E Sustentabilidade*, 9(2), 11-19, 2019.

GUERRA, M.D. F.; SOUZA, M. J. N.; SILVA, E.V. **Veredas da Chapada do Araripe: subespaços de exceção no semiárido do estado do Ceará, Brasil**. *Ateliê Geográfico*, v. 14, n. 2, p. 51-66, 2020. Doi: <https://doi.org/10.5216/ag.v14i2.62824>.

HOLT, R.D.; GONZALEZ, A.; PARDINI, R.; DAMSCHEN, E.I.; MELO, F.P.L.; RIES, L., PREVEDELLO, J.A.; TSCHARNTKE, T.; LAURANCE, W.F.; LOVEJOY, T.; HADDAD, N.M. **Is habitat fragmentation good for biodiversity?** *Biol. Conserv.* 226, 9–15. 2018 <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2018.07.022>.

JUNG, MARTIN. **LecoS—Um plug-in python para análise automatizada de ecologia de paisagem**. *Informática ecológica* , 31: 18-21, 2015.

LIMA, J. R. L.; MAGALHÃES, A.R. **Secas no Nordeste: registros históricos das catástrofes econômicas e humanas do século 16 ao século 21**. *Parc. Estrat.*, Brasília, v.23, n.46, p.191-212, 2018.

MCGARIGAL, K. **FRAGSTATS: Programa de Análise de Padrão Espacial para Quantificar a Estrutura da Paisagem**. Versão 2.0. Departamento de Ciências Florestais Oregon State University , Corvallis (1994) , p. 67.

MELO, D.H.A.;FILGUEIRAS, B.K.C.; ISERHARD, C.A.; IANNUZZI, L.;FREITAS, A.V.L.; LEAL, I.R. **Effect of habitat loss and fragmentation on fruit-feeding butterflies in the Brazilian Atlantic Forest.** *Can. J. Zool.* 97, 588–596. 2019.<https://doi.org/10.1139/cjz-2018-0202>.

MORO, M. F.; MACEDO, M. B.; MOURA-FÉ, M. M.; CASTRO, A. S. F.; COSTA, R., C. **Vegetação, unidades fitoecológicas e diversidade paisagística do estado do Ceará.** *Rodriguésia*, 66(3), 717–743, 2015. <https://doi.org/10.1590/2175-7860201566305>.

Polo-Akpisso et al., 2018 A. Polo-Akpisso , F. Folega , O. Soulemane , W. Atakpama , M. Coulibaly , K. Wala , erkouma , A. Röder , K. Akpagana , T. Yao **Avaliação dos padrões biofísicos e espaciais do habitat na rede de áreas protegidas de Oti-Keran-Mandouri no Togo** *IJBC* , 10 (2018), pp. 214 - 229.

Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil – MAPBIOMAS. (2023). Coleção 6 de Metodologia (1985 – 2020).<https://mapbiomas.org/visao-geral-da-metodologia>

RADEMANN, L., K.;TRENTIN, R.;ROBAINA, L., E., S. **Série histórica do uso e ocupação da terra no município de Cacequi – RS de 1986 a 2016.** *Revista de Geografia*, v. 9, n 1, p.34-49, 2019.

RAJENDRAN, P.; MANI, K.**Quantifying the dynamics of landscape patterns in Thiruvananthapuram corporation using open source gis tools.** *International Journal of Research in Engineering and Applied Sciences*, 5(10), 77-87, 2015.

RIBEIRO, E. S.; FARO, B. L. S. O.; NASCIMENTO, R. S. C.; CARNEIRO, F. S.; AMARAL, A. P. M.; BEZERRA, M. G. S.; AMORIM, M.B. GARCIA, T. S. **Avaliação multitemporal da cobertura vegetal da reserva biológica de Tapirapé, Pará.** *Research, Society And Development*, 10, e50910414345. 2021.

RJ FLETCHER.;RK DIDHAM , C.;BANKS-LEITE , J.; BARLOW, RM EWERS, J.; ROSINDELL, R.D.;HOLT , A.; GONZALEZ, R.; PARDINI, EI .; DAMSCHEN.; F.P.L.; MELO, L.;RIES, J.A.; PREVEDELLO, T. TSCHARNTKE, W.F.; LAURANCE , T. LOVEJOY, N.M].**H.A fragmentação do habitat é boa para a biodiversidade?** *Biol. Conserva* , 226 (2018), pp. 9 - 15 ,10.1016/j.biocon.2018.07.022

RODRIGUES, C.P.; ALENCAR, F., H., H.; ROCHA, C. R. T.; OLIVEIRA, F. N.;CORDEIRO, R.M. **Sistema Agrosilvipastoril Como Alternativa Para Criação De Bovinos De Corte No Cariri Cearense.** *Revista de Agroecologia no Semiárido*, v. 6, n. 3, p. 1-11, 2022.

SILVA, C.O.F.; CASTRO, T. A. H.; MANZIONE, R. L. **Agriwater: An R package for spatial modelling of energy balance and actual evapotranspiration using satellite images and agrometeorological data.** *Environmental Modelling & Software*, v. 120, p. 104497, 2019.

SILVA, J.V. **Análise ambiental das nascentes da cidade de crato - ceará: subsídios para o desenvolvimento regional sustentável.** Marcelo Martins de Moura Fé.2022. 98. –Desenvolvimento regional sustentável, Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Cariri, Mestrado em Desenvolvimento Regional Sustentável (PRODER), Crato, 2022.

TAUBERT, R.; FISCHER, J.; GROENEVELD, S.; LEHMANN, M.; MÜLLER, E.; RÖDIG, T.; WIEGAND, A. **Huth Padrões globais de fragmentação de florestas.**

TAVARES, V. C.; ARRUDA, I. R. P.; SILVA, D. G. **Desertificação, mudanças climáticas e secas no semiárido brasileiro: uma revisão bibliográfica.** Geosul, Florianópolis, v.34, n.70, p.385- 405, 2019. DOI: <https://doi.org/10.5007/2177-5230.2019v34n70p385>.

SILVA, R. C.; SANDRO, S. V. **A Análise Da Cobertura Vegetal Na Bacia Hidrográfica Do Ribeirão Água Suja, Municípios De Chapada Da Natividade E Natividade-Tocantins (BRASIL).** Revista Interface (Porto Nacional), v. 21, n. 21, p. 52-64, 2021.

OLIVEIRA, E. A. F.; FIGUEIRÊDO, S. D. S. M.; GONÇALVES, J. F.; BATISTA, T. A.; HOMEM, I. C. A.; SILVA, J. T. L. **Impactos ambientais oriundos da extração de calcário laminado em Santana do Cariri (CE).** Natural Resources, v. 8, n. 2, p. 21-30, 2018.

RODRIGUES, A.; BARBOSA, H. **Pouco conhecido, Rio Cariús garante recarga hídrica ao Açude Orós.** Diário do nordeste. 2020.

<https://diariodonordeste.verdesmares.com.br/regiao/pouco-conhecido-rio-carius-garante-recarga-hidrica-ao-acude-oros-1.2220329>>. Disponível em: Acesso: 10 de Abril de 2022.

CAPÍTULO 6

6. CONCLUSÕES

A proposta deste trabalho apoiou-se em uma análise dos diversos elementos físicos e naturais, sobretudo dos estudos morfométricos, geomorfológicos e temporal do uso e ocupação do solo da microbacia do rio Cariús, com base nos dados bibliográficos que contribuíram para a produção deste estudo. A partir dos conjuntos de mapeamento realizados, pode-se concluir que objetivo principal deste estudo, além de ter sido alcançado, proporcionou a construção de dados e informações primárias sobre a microbacia do rio Cariús, vista a escassez de estudos sobre a mesma.

A partir da compreensão integrada dos elementos e processos dentro do domínio espacial estudado, a aplicação dessas metodologias empregues no estudo da microbacia do Rio Cariús, possibilitou compreender a morfometria da bacia resultantes dos dados morfométricos analisados, indicando potencialidades do uso do solo entre diversos setores, como a prática da agropecuária e construção civil, observando-se também que o uso indevido desses locais pode acarretar problemas que prejudicam o funcionamento da bacia.

A sua condição geomorfológica indica que os relevos foram divididos em diferentes classes e identificou algumas das formas e processos de cada unidade. No que diz respeito às suas formas estruturais e esculturais, as informações são a base para o planejamento ambiental, identificando a composição da superfície do terreno, o arranjo espacial dos núcleos de assentamento, as relações existentes entre os diferentes tipos de uso do solo e as limitações impostas pelo relevo. Além disso, também foi apontado que são perceptíveis mudanças constantes no uso e ocupação do solo em um período inferior a 10 anos, dado o padrão de uso da terra na região, que ainda não havia sido enfatizado nos artigos científicos.

Por fim, a indisponibilidade de algumas informações sobre a área de estudo, revelou a necessidade de futuras pesquisas sobre a dinâmica ambiental da microbacia hidrográfica do rio Cariús (MBRC), pois esses estudos obtiveram relevância nas últimas décadas, principalmente em ambientes urbanos em que a presença humana é mais atuante.

Viabilizando assim, analisar a morfodinâmica da microbacia hidrográfica do rio Cariús (MBRC) dos anos anteriores, identificando geoindicadores de modificações processuais nos domínios fluviais e interfluviais, que puderam demonstrar o uso e ocupação da área, buscando compreender o impacto das atividades humanas de forma mais evidente, podendo contribuir efetivamente para a melhoria da condição de gestão da microbacia.

REFERÊNCIAS

- KROTH, G. A. B.; VIEIRA, I. C. B.; YKEIZUMI, L. Y. F. **Estudos do Crescimento Urbano no Município De Ihota–Sc no Período De 1999–2019**. Metodologias e Aprendizado, v. 2, p. 10-14, 2020.
- OLIVEIRA, D. H. R.; ACORSI, M. G.; SMANIOTTO, D. A. **Uso e Ocupação Do Solo e Caracterização Morfométrica de Microbacia na Região Centro-Sul Paranaense**. Águas Subterrâneas 32, 2, 1-10. 2018.
- SANTOS, A. G. B.; BEZERRA, A. C.; NASCIMENTO, A. H. C.; SOUZA, L. S. B.; SILVA, J. L. B.; MOURA, G. B. A. **Caracterização Morfométrica e Uso e Ocupação do Solo em Bacia Hidrográfica do Semiárido Pernambucano**. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 14, n. 2, p. 1036-1043, 2021.
- ARAGÃO, K. P.; MORAIS NETO, J. M.; LIMA, S. C.; PEDROZA, J. P. **Estudo da Degradação Ambiental da Bacia Hidrográfica do Açude de Santa Luzia-Pb**. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia - CONTECC, 1- 5. 2019.
- SILVA, D. P.; LIMA, E. C. **Impactos Ambientais no Alto Curso da Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Batateiras na Região Sul do Estado do Ceará**. Revista Casa da Geografia de Sobral, p. 1091-1103, 2019.
- AIRES, A., A.; COSTA, J. D.; BEZERRA, J. M.; RÊGO, A. T. A. **Caracterização Morfométrica da Microbacia Hidrográfica da Barragem de Pau dos Ferros/Rn**. Revista Geama, v. 7, n. 3, p. 67-76, 2021.
- MENDES, C. A. B.; CIRILO, J. A. **Geoprocessamento em Recursos Hídricos: Princípios, Integração e Aplicação**. ABRH, Porto Alegre, p. 536, 2001.
- TUCCI, C. E. M. **Água no Meio Urbano**. In: Rebouças, A., C., Braga, B., Tundisi, J., G. (org.), **Águas Doces no Brasil: Capital Ecológico, Uso e conservação**. Escrituras, São Paulo, p. 473-505, 2002.
- SILVA, G., C., FERREIRA, V., D. **Uso e Ocupação Do Solo e Cenários Tendenciais de Vazões na Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba- Brasil**. Revista Brasileira de Geografia Física, 139-159, 2019.
- OLIVEIRA, J., D.; SOUZA, C.; A., GALBIATI, C.; SOUSA, J., B. **Componentes ambientais e hidrodinâmica na bacia hidrográfica do Rio Branco, contribuinte do Pantanal Mato-Grossense**. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 15, n. 1, p. 465-486, 2022.
- BALDISSERA, A., D.; RIBEIRO, E., GALLI, C., P.; MERLO, T., B., S. **Urbanização Difusa**. Anais de Arquitetura e Urbanismo / ISSN 2527-0893, [S.l.], v. 1, n. 1, p. 159 - 170, june 2017. ISSN 2527-0893. Disponível em: <<https://uceff.edu.br/anais/index.php/cau/article/view/26>>. Acesso em: 28 Mai 2023.