

**USO DA TERRA E ALTERAÇÕES HIDROMORFODINÂMICAS
NO MÉDIO CURSO DO RIO ITAPECURU NO MUNICÍPIO DE
CAXIAS, MARANHÃO**

CRISTIANE DA SILVA LIMA

Tese apresentada à Universidade do Estado de Mato Grosso, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais para obtenção do título de Doutora.

**CÁCERES
MATO GROSSO, BRASIL
2025**

CRISTIANE DA SILVA LIMA

**USO DA TERRA E ALTERAÇÕES HIDROMORFODINÂMICAS
NO MÉDIO CURSO DO RIO ITAPECURU NO MUNICÍPIO DE
CAXIAS, MARANHÃO**

Tese apresentada à Universidade do Estado de Mato Grosso, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais para obtenção do título de Doutora.

Orientadora: Profª Drª Celia Alves de Souza

**CÁCERES
MATO GROSSO, BRASIL
2025**

L732u Lima, Cristiane da Silva.

Uso da terra e alterações hidromorfodinâmicas no médio curso do rio Itapecuru no município de Caxias, Maranhão / Cristiane da Silva Lima. - Cáceres, 2025.

288f.: il.

Universidade do Estado de Mato Grosso "Carlos Alberto Reyes Maldonado", Ciências Ambientais/CAC-PPGCA - Cáceres - Doutorado Acadêmico, Campus Universitário De Cáceres "Jane Vanini".

Orientador: Celia Alves de Souza.

1. Caracterização físico-ambiental. 2. Protocolos de avaliação rápido - PAR. 3. Hidrodinâmica. I. Souza, Celia Alves de. II. Título.

UNEMAT / MTSCB

CDU 502.4



Ata de defesa de Doutorado

Ao vinte e cinco do mês de abril do ano de dois mil e vinte e cinco, às quatorze horas, de forma virtual realizou-se a defesa da doutoranda **CRISTIANE DA SILVA LIMA**, como parte das exigências para obtenção do título de doutor, com a versão preliminar da tese intitulada: **USO DA TERRA E ALTERAÇÕES HIDROMORFODINÂMICAS NO MÉDIO CURSO DO RIO ITAPECURU NO MUNICÍPIO DE CAXIAS, MARANHÃO**, do Curso de Pós-graduação *Stricto Sensu* em Ciências Ambientais, perante a banca examinadora, composta pelos professores abaixo, onde a sessão foi aberta pela presidente Profa. Dra. Célia Alves de Souza e, após apresentação, a discente foi arguida pela Banca Examinadora. Em sessão secreta foi decidido o resultado da defesa, sendo a discente considerada APROVADA. Encerrada a sessão secreta, a Presidente informou o resultado. Nada mais havendo a tratar, eu, Presidente da banca, lavrei a presente ata que assino juntamente com os membros da Banca Examinadora. Para a obtenção do título ainda é necessário o cumprimento das exigências contidas no Regimento do Programa de Pós graduação *Stricto Sensu* em Ciências Ambientais - Resolução n.º 10/2026-CONSUNI.

Documento assinado digitalmente
gov.br CELIA ALVES DE SOUZA
Data: 30/04/2025 16:17:44-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Célia Alves de Souza
UNEMAT

Documento assinado digitalmente
gov.br JOSIEL DORRIGUETTE DE OLIVEIRA
Data: 01/05/2025 10:15:11-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Josiel Dorriguette de Oliveira
Rede Publica Estadual

Documento assinado digitalmente
gov.br AUMERI CARLOS BAMPI
Data: 05/05/2025 11:18:01-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Aumeri Carlos Bampi
UNEMAT

Documento assinado digitalmente
gov.br QUESIA DUARTE DA SILVA
Data: 05/05/2025 17:54:57-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Quésia Duarte da Silva
UEMA

Documento assinado digitalmente
gov.br GUSTAVO ROBERTO DOS SANTOS LEANDRO
Data: 02/05/2025 10:11:36-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Gustavo Roberto dos Santos Leandro
UFGD

DEDICATÓRIA

Dedico esta tese ao meu amado e bondoso Deus, que me protege durante minha jornada na vida e me renova a cada dia. Ele me ensina que "O que sacia e satisfaz a alma não é o muito saber, mas sim o sentir e saborear as coisas internamente..." (Santo Inácio de Loyola).

AGRADECIMENTOS

Prezado Deus,

Quero expressar minha profunda gratidão pelo dom da vida e por todas as bênçãos recebidas ao longo da minha trajetória. Agradeço pela força concedida para buscar uma qualificação profissional e pela imensa alegria trazida pela chegada do meu querido sobrinho Pedro, um presente especial neste último ano de doutorado.

Dirijo um um agradecimento especial à minha orientadora, *Prof^a Dr^a Célia Alves de Souza*, cuja orientação e dedicação foram essenciais em minha caminhada. Pela Sua providência, colocou-a em meu caminho, proporcionando-me uma nova perspectiva de mundo, sendo uma fonte constante de aprendizado. Sua amizade, compreensão e apoio foram fundamentais para meu crescimento acadêmico e pessoal. Sou imensamente grata pela oportunidade de participar de um importante projeto de estudo do curso médio do rio Itapecuru, no estado do Maranhão. Essa experiência ampliou meus horizontes e me desafiou a evoluir como pesquisadora. Rogo a Deus e a São Francisco que a protejam sempre em sua jornada.

Quero expressar minha gratidão ao meu esposo, *Thales Ernildo de Lima*, por seu companheirismo incondicional ao longo desta jornada de qualificação. Seu apoio nos trabalhos de campo e no mapeamento, bem como seu incentivo constante, foram essenciais para que eu pudesse enfrentar esse desafio de aprimoramento profissional com determinação.

Expresso minha profunda gratidão à minha amiga e colega de doutorado, Mara Maria Dutra, pelo companheirismo e apoio ao longo dessa jornada. Agradeço também aos meus amigos de Roraima – Marinete, Josiane, Marli, Sr. Serrador, Rosimar, Aluísio – e a todos que, de alguma forma, me fortaleceram e incentivaram na caminhada até a conclusão deste doutorado.

Sou igualmente grata aos meus familiares (Fátima Cavalieri, Benedito da Silva, Aparecida Cristina da Silva Ribeiro, Cleiton da Silva e Heitor da Silva Ribeiro) pela compreensão e pelo apoio, pois sei que o processo de qualificação profissional exige dedicação exclusiva, o que muitas vezes me afastou de eventos familiares.

Agradeço aos meus colegas Willian e Dinazilda, pelos esforços conjuntos nos trabalhos de campo, enfrentando os diversos desafios na coleta de sedimentos. Ao piloto do barco, Jelson, pelo profissionalismo e pela condução segura das nossas atividades.

À professora Quésia, cuja contribuição foi fundamental nos trabalhos de campo e pela oportunidade de participar de um projeto de tamanha relevância.

Expresso também minha gratidão ao CNPq, pela concessão de bolsa pelo Programa de Desenvolvimento Científico e Tecnológico Regional (PDCTR), à Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão (FAPEMA), pelo financiamento do projeto pesquisa, e à Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), pela parceria e pelo apoio constante na realização dos trabalhos de campo durante o desenvolvimento desta pesquisa.

Por fim, expresso minha gratidão à Universidade do Estado de Mato Grosso, ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e a todos os professores que contribuíram para minha formação acadêmica. Um agradecimento especial à família e aos amigos e colegas do Laboratório de Geomorfologia Fluvial – Sandra Baptista Cunha, que sempre estiveram ao meu lado durante esta jornada de pesquisa.

Com gratidão,



Cristiane da Silva Lima

ÍNDICE

Lista de abreviaturas, siglas e símbolos	14
Lista de tabelas.....	16
Lista de quadros	18
Lista de figuras	19
Resumo geral	26
Overview	29
Introdução Geral	32
Referências.....	35

CAPÍTULO I

CARACTERIZAÇÃO DOS ASPECTOS FÍSICOS-AMBIENTAIS, NO MÉDIO CURSO DA BACIA DO RIO ITAPECURU, MUNICÍPIO DE CAXIAS, MARANHÃO, BRASIL

Resumo	37
Abstract.....	38
1 Introdução.....	39
2 Material e métodos	41
2.1 Procedimentos metodológicos	42
2.2 Pré-processamento de dados	42
2.3 Processamento.....	42
2.3.1 Características climáticas.....	42
2.3.2 Unidades geológicas	43
2.3.3 Unidades geomorfológicas.....	43
2.3.4 Dados de solos (Pedologia)	43
2.3.5 Vegetação.....	44
2.4 Pós-processamento dos dados.....	44
3 Resultados e discussão.....	44
3.1 Caracterização ambiental.....	44
3.1.1 Clima.....	44
3.1.2 Aspectos geológicos.....	48
3.1.2.1 Formação Corda.....	51
3.1.2.2 Formação Motuca – Grupo Balsas.....	52

3.1.2.3 Formação Sardinha	53
3.1.2.4 Grupo Barreiras	54
3.1.2.5 Grupo Itapecuru.....	55
3.1.2.6 Depósitos aluvionares	56
3.1.2.7 Unidade sedimentos Pós-Barreiras.....	57
3.1.3 Ocorrências de aquíferos	58
3.1.4 Declividade	60
3.1.3 Aspectos geomorfológicos	62
3.1.3.1 Patamar de Caxias	64
3.1.3.2 Tabuleiros do médio Itapecuru.....	64
3.1.3.3 Planalto Dissecado do Itapecuru.....	65
3.1.3.4 Planícies e terraços fluviais.....	65
3.1.4 Aspectos pedológicos.....	65
3.1.4.1. Plintossolos Pétricos Concrecionários	66
3.1.4.2 Plintossolos Argilúvicos Distróficos	68
3.1.4.3 Latossolos Amarelos Distróficos	69
3.1.4.4 Argissolo Acinzentado Distrófico.....	70
3.1.4.5 Neossolos Quartzarênicos Órticos.....	71
3.1.5 Vegetação.....	72
3.1.5.1 Floresta Estacional Semidecidual Submontana.....	74
3.1.5.2 Savana Arborizada sem floresta-de-galeria.....	75
3.1.5.3 Savana Parque com floresta de galeria e sem floresta de galeria ...	75
3.1.5.4 Floresta Estacional Decidual Submontana	76
3.1.5.5 Savana Florestada	77
3.1.5.6 Vegetação Secundária com palmeiras	78
3.1.5.7 Ausência de vegetação remanescente	78
3.1.5.8 Síntese das características físico-ambientais	78
4 Conclusão	81
Referências.....	82

CAPÍTULO II

CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS NO MÉDIO CURSO DO RIO ITAPECURU

SOBRE NO MUNICÍPIO DE CAXIAS, MA

Resumo	87
Abstract.....	88
1 Introdução	89
2 Material e métodos	91
2.1 Procedimentos metodológicos	92
2.2 Hierarquia fluvial	96
3 Resultados e discussão.....	96
4 Conclusão	102
Referências.....	102

CAPÍTULO III

MUDANÇAS FEIÇÕES MORFOLÓGICAS NO MÉDIO CURSO DO RIO ITAPECURU NO MUNICÍPIO DE CAXIAS – MA

Resumo	106
Abstract.....	107
1 Introdução	108
2 Material e métodos	110
2.1 Trabalho em gabinete.....	112
2.2 Trabalho de Campo.....	113
3. Resultados e discussão.....	113
3.1. Compartimento I	113
3.2. Compartimento II	118
3.3. Compartimento III.....	121
3.4. Compartimento IV.....	123
4 Conclusão	129
Referências.....	131

CAPÍTULO IV

USO E COBERTURA DA TERRA NO MÉDIO CURSO DO RIO ITAPECURU, NO MUNICÍPIO DE CAXIAS, MA

Resumo	136
Abstract.....	137

1 Introdução	138
2 Material e métodos	141
2.1 Área de Estudo	142
2.2 Construção da base de dados	142
2.2.1 Pré-processamento	142
2.2.2 Metodologia de uso e cobertura da terra	142
2.2.3 Metodologia de supressão da vegetação natural	144
2.2.4 Processamento de dados.....	146
2.2.5 Pós-processamento.....	146
3 Resultados e discussão.....	147
3.1 Uso e cobertura da terra.....	147
3.1.1 Formação Florestal.....	148
3.1.2 Formação Savânica (Cerrado)	148
3.1.3 Silvicultura	149
3.1.4 Formação Campestre.....	150
3.1.5 Pastagem.....	150
3.1.6 Infraestrutura urbana	152
3.1.7 Outras áreas não vegetadas	153
3.1.8 Rio e/ou lago.....	155
3.1.9 Soja.....	156
3.1.10 Outras lavouras temporárias	156
3.2 Questões socioeconômicas	157
3.3 Mudança temporal do uso e cobertura da terra entre 1985 e 2021	162
3.3.1 Formação Florestal.....	162
3.3.2 Formação Savânica (Cerrado)	163
3.3.3 Silvicultura	163
3.3.4 Campo Alagado.....	163
3.3.5 Formação Campestre.....	163
3.3.6 Pastagem.....	164
3.3.7 Mosaico de agricultura e pastagem	164
3.3.8 Infraestrutura urbana	165
3.3.9 Outras áreas não vegetadas	166
3.3.10 Rio e/ou Lago	166

3.3.11 Soja.....	166
3.3.12 Outras lavouras temporárias	166
3.4 Avanço do desmatamento.....	167
4 Conclusão	168
Referências.....	169

CAPÍTULO V

APLICAÇÃO E ANÁLISE DOS PROTOCOLOS AMBIENTAIS EM CANAIS URBANOS NO MÉDIO CURSO DO RIO ITAPECURU, NA CIDADE DE CAXIAS, MARANHÃO, BRASIL

Resumo	173
Abstract.....	174
1 Introdução.....	175
2 Material e métodos	178
2.1 Área de Estudo	178
2.2 Mapeamento temporal.....	178
2.3 Protocolos.....	179
2.4 Avaliação de protocolo utilizando a matriz de tipologias	179
2.5 Protocolo de Avaliação Rápida da Diversidade de Habitais.....	182
3 Resultados e discussão.....	184
3.1 Análise temporal da expansão de área urbana, entre os anos 1985 a 2021 na cidade de Caxias, MA.....	184
3.2 Descrição dos protocolos em canais fluviais urbanos na cidade de Caxias, MA	186
3.2.1 Canal 1	187
3.2.1.1 Ponto 1 – Montante do Córrego São José.....	188
3.2.1.2 Ponto 2 – Avenida Samuel Barbosa	190
3.2.1.3 Ponto 3 – Povoado São José do Mesquita	193
3.2.1.4 Ponto 4 – Bairro São Francisco	194
3.2.1.5 Ponto 5 – Avenida Santos Dummont	196
3.2.1.6 Ponto 6 – Rua Siqueira Campos.....	199
3.2.2 Canal 2	200
3.2.2.1 Ponto 1 – Área de nascente.....	201

3.2.2.2 Ponto 2 – Travessa São José	203
3.2.2.3 Ponto 3 – Avenida Rodrigo Otávio	204
3.2.3 Canal 3	206
3.2.3.1 Ponto 1 – Próximo da Travessa das Lages	207
3.2.3.2 Ponto 2 – Rua Sinésio Santos	210
3.2.3.3. Ponto 3 – Rua Bom Pastor.....	212
3.2.4 Canais 4 e 5.....	213
3.2.4.1 Canal 4	215
3.2.4.2 Canal 5	216
4 Conclusão	218
Referências.....	219

CAPÍTULO VI

HIDRODINÂMICA NO MÉDIO CURSO DO RIO ITAPECURU, NA CIDADE CAXIAS, MARANHÃO

Resumo	224
Abstract.....	225
1 Introdução.....	226
2 Material e métodos	229
2.1 Procedimentos metodológicos	230
2.1.1 Trabalho de gabinete.....	230
2.1.2 Análise estatística exploratória de dados quantitativos multivariados .	231
2.1.2.1 Análise temporal.....	232
2.1.2.2 Análise espacial.....	233
2.1.2.3 Representação gráfica dos dados.....	233
2.1.2 Trabalho de campo.....	234
2.1.2.1 Coleta de dados de vazão.....	235
2.1.2.2 Coleta de sedimentos de fundo.....	237
2.1.2.3 Registros fotográficos.....	237
2.1.3 Trabalho laboratorial.....	238
3 Resultados e discussão.....	240
3.1 Seção 1 – Jusante da Corredeira.....	243
3.2 Seção 2 – Jusante da draga	248

3.3 Seção 3 – Balneário Veneza	250
3.4 Seção 4 – Jusante do balneário Veneza	253
3.5 Seção 5 – Condomínio Village	254
3.6 Seção 6 – ponte na Rodovia 136 (BR-136)	256
3.7 Seção 7 – Meandro antes da ponte	259
3.8 Seção 8 – Ponte Luiz Sales	261
3.9 Seção 9 – Ponte Nereu Bittencurt.....	262
3.10 Seção 10 – Estrada de ferro	264
3.11 Seção 11 – Rua Galeano	267
3.12 Seção 12 – Matadouro	269
3.13. Seção 13 – Piscicultura	271
3.14 Seção 14 – Próxima ao Conjunto Habitacional Sabiá	273
3.15 Seção 15 – Jusante do cotovelo	275
3.16 Análise exploratória de dados	277
3.16.1 Análise temporal e espacial	278
4 Conclusão	280
Referências.....	282
 Conclusão Geral	 287

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

CMOS - Complementary metal-oxide-semiconductor
CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente
CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
DAP - Declaração de Aptidão ao Pronaf
dbG – Data base geográficos
DECEA - Departamento de Controle do Espaço Aéreo
DSG - Diretoria de Serviço Geográfico do Exército
Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FAPEMA - Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão
HDR - High dynamic range
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDM - Índice de desenvolvimento municipal
IDW - Inverse Distance Weighed
IMESC - Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográfico
Inmet - Instituto Nacional de Meteorologia
IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas
LANDSAT - Land Remote Sensing Satellite
MAPBIOMAS - Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil
MP - Megapixel
NDFI - Normalized Fraction Difference Index
NDVI - Normalized Difference Vegetation Index
NPV - Non-Photosynthetic Vegetation
PAR - Protocolos de avaliação rápida
pH - Potencial hidrogeniônico
RADAMBRASIL – Projeto Radar na Amazônia
RPA - Remotely Piloted Aircraft
SAAE - Serviço Autônomo de Água e Esgoto

SEMA - Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura

SiBCS - Sistema Brasileiro de Classificação de Solos

SIG - Sistema de Informações Geográficas

UNT – Unidade Nefelométrica de Turbidez

LISTA DE TABELAS

Capítulo I

Tabela 1: Descrição do clima segundo a classificação de NIMER	45
Tabela 2: Unidades Geológicas do município de Caxias, MA	49
Tabela 3: Classificação dos sistemas de aquíferos	57
Tabela 4: Unidades Geomorfológicas do município de Caxias, MA	62
Tabela 5: Unidades Solo do município de Caxias, MA	64
Tabela 6: Quantificação da vegetação remanescente na área de estudo...	72
Tabela 7: Tabela síntese das características ambientais, potenciais, limitações e contribuição à gestão ambiental	77

Capítulo II

Tabela 1: Padrões metodológicos	91
Tabela 2: Características físicas do médio curso do rio Itapecuru no município de Caxias (MA).	96

Capítulo III

Tabela 1: Feições morfológicas mapeadas em 2010 e 2020, no médio curso do rio Itapecuru compartimento I no município de Caxias – MA.....	114
Tabela 2: Feições morfológicas mapeadas em 2010 e 2020, no médio curso do rio Itapecuru compartimento II no município de Caxias – MA.....	118
Tabela 3: Feições morfológicas mapeadas em 2010 e 2020, no médio curso do rio Itapecuru compartimento III no município de Caxias, MA	121
Tabela 4: Feições morfológicas mapeadas em 2010 e 2020, no médio curso do rio Itapecuru compartimento IV no município de Caxias, MA	123

Capítulo IV

Tabela 1: Eventos de desmatamento e regeneração.....	143
Tabela 2: Classes estabelecidas para o produto	144

Capítulo V

Tabela 1: Resultados da aplicação do protocolo sobre matriz de tipologias	
--	--

no canal fluvial urbano (1) em Caxias - MA, com base em Carvalho, Bitoun e Corrêa (2010)	185
--	-----

Tabela 2: Resultados da aplicação do protocolo sobre matriz de tipologias no canal 2	199
---	-----

Tabela 3: Resultados da aplicação do protocolo sobre matriz de tipologias no canal (3).....	205
--	-----

Tabela 4: Resultados da aplicação do protocolo sobre matriz de tipologias no canal fluvial urbano (4) e (5).....	212
---	-----

Capítulo VI

Tabela 1: Pontuação fatorial (<i>fator score</i>) da análise temporal	230
--	-----

Tabela 2: Pontuação fatorial (<i>fator score</i>) da análise espacial	231
--	-----

Tabela 3: Classificação dos sedimentos de maior granulometria transportados no leito do canal	237
--	-----

Tabela 4: Informações das variáveis hidrodinâmicas no rio Itapecuru	238
--	-----

Tabela 5: Dados granulométricos dos sedimentos de fundo no canal principal	239
---	-----

Tabela 6: Sumário dos fatores carregados, em negrito valores descritos como relevante	276
--	-----

LISTA DE QUADROS

Capítulo I

Quadro 1: Declividade do relevo na área de estudo	59
--	----

Capítulo II

Quadro 1: Características físicas do médio curso do rio Itapecuru no município de Caxias (MA)	96
--	----

Capítulo V

Quadro 1: Nível 1 – Características Morfológicas do Canal e Valores Referência utilizados na Matriz de Tipologias	177
Quadro 2: Nível 2 – Uso do Solo nas Margens e Valores de Referência Utilizados na Matriz de Tipologias	178
Quadro 3: Nível 3 – Uso do Solo nos Interflúvios e Valores Referência utilizados na Matriz de Tipologias	178
Quadro 4: Matriz de Tipologias	179
Quadro 5: Protocolo de Avaliação Rápida da Diversidade de Habitats de Bacias Hidrográficas. Adaptado do Protocolo de Callisto <i>et al.</i> (2002)	180
Quadro 6: Protocolo de Avaliação Rápida das Condições Ambientais	181

Capítulo VI

Quadro 1: Localização das seções monitoradas	228
---	-----

LISTA DE FIGURAS

Capítulo I

Figura 1: Localização geográfica da área de estudo	39
Figura 2: Índice pluviométrico anual e trimestral, estações pluviométricas do Maranhão A203 a A219.....	43
Figura 3: Índice pluviométrico anual e trimestral, estações pluviométricas do Maranhão A220 a A238.....	44
Figura 4: Índice pluviométrico anual e trimestral, estação pluviométrica do Maranhão A255.	45
Figura 5: Distribuição espacial da precipitação no médio curso do rio Itapecuru Caxias (MA), entre 2001 – 2021	46
Figura 6: Coluna litoestratigráfica da Bacia do Parnaíba.....	47
Figura 7: Unidades geológicas da área em estudo.....	48
Figura 8: Arenitos da formação Corda, porção central do estado do Maranhão.....	50
Figura 9: Pelitos da Formação Motuca, porções centro-sul e sudeste-este do estado do Maranhão.....	51
Figura 10: Basaltos da Formação Sardinha, a sudoeste da cidade de Barra do Corda e sudeste de Grajaú – MA.....	51
Figura 11: Evolução tectonossedimentar do grupo Barreiras.....	53
Figura 12: A – Fotografia de arenitos estratificados Itapecuru; B – Ritmitos do grupo Itapecuru.....	54
Figura 13: Depósitos Aluvionares do rio Itapecuru	55
Figura 14: Imagem da Unidade Sedimentos-Pós Barreira, abrange as porções noroeste e centro-leste do estado do Maranhão	56
Figura 15: Aquíferos presentes na área de estudo.....	57
Figura 16: Mapa de declividade da área de estudo	59
Figura 17: Unidades geomorfológicas (Modelo Büdel).....	61
Figura 18: Unidades geomorfológicas (Superfície Sul-Americana).....	61
Figura 19: Mapa de Geomorfologia do município de Caxias – MA	62
Figura 20: Solos do Município de Caxias – MA	64
Figura 21: Plintossolo Pétrico Concrecionário	65

Figura 22: Perfil do solo: Plintossolos Argilúvicos Distróficos.....	66
Figura 23: Perfil de Latossolos Amarelos entre Timom e Caxias – MA	68
Figura 24: Perfil do solo: Argissolo Acinzentado Distrófico	69
Figura 25: Perfil do solo: Neossolos Quartzarênicos Órticos	70
Figura 26: Mapa de vegetação remanescente da área de estudo	71
Figura 27: Perfil esquemático da Floresta Estacional Semidecidual	73
Figura 28: Matas dos cocais e mata ciliar na planície do rio Itapecuru Caxias, Maranhão – Brasil	75

Capítulo II

Figura 1: Localização da área de estudo com análise das nascentes, rede de drenagem e hierarquia de canais.....	90
Figura 2: Porcentagem dos canais de drenagem na área de estudo	95

Capítulo III

Figura 1: Localização dos compartimentos do rio Itapecuru, Caxias – MA, considerando a extensão do corredor fluvial	109
Figura 2: Aeronave remotamente pilotada - <i>Mavic Air (Dji)</i>	111
Figura 3: Feições morfológicas 2010 (compartimento I).....	113
Figura 4: Feições morfológicas 2020 (compartimento I)	113
Figura 5: Tanques de piscicultura na margem direita do corredor fluvial do rio Itapecuru compartimento I.....	115
Figura 6: Feições morfológicas 2010 (compartimento II).....	117
Figura 7: Feições morfológicas 2020 (compartimento II)	117
Figura 8: Transformação da (lagoa 17) em ponto turístico (Balneário Veneza)	118
Figura 9: Feições morfológicas 2010 (compartimento III)	120
Figura 10: Feições morfológicas 2020 (compartimento III)	120
Figura 11: Feições morfológicas 2010 (compartimento IV)	122
Figura 12: Feições morfológicas 2020 (compartimento IV).	122
Figura 13: Barras de sedimentos laterais no compartimento (IV) do rio Itapecuru	123
Figura 14: Erosão na margem esquerda do rio Itapicuru compartimento (IV)	124

Figura 15: Foto de canal artificial no corredor fluvial do rio Itapecuru	126
Figura 16: Interferência antrópica próximo das lagoas na margem direita do rio Itapecuru.....	126

Capítulo IV

Figura 1: Carta imagem - localização da área de estudo sobre a bacia hidrográfica do rio Itapecuru – MA	139
Figura 2: Protocolo metodológico de classificação de uso e cobertura da terra realizado e implementado pelo MapBiomias.....	141
Figura 3: Unidades de Uso e cobertura da terra segundo MapBiomias (2021).....	145
Figura 4: Pastagem na área de estudo, com remanescente de <i>Attalea speciosa</i>	149
Figura 5: Imagem aérea da cidade de Caxias – Maranhão, Brasil.....	151
Figura 6: Atividade de mineração com processamento de basalto	152
Figura 7: Fotos da Indústria Baú Mineração na rodovia MA – 034.....	153
Figura 8: Pequenas lavouras permanentes de banana na margem da rodovia MA – 034.....	157
Figura 9: Composição setorial da agropecuária no estado do Maranhão em 2018.....	158
Figura 10: Gráfico da população residente no município de Caxias – MA..	159
Figura 11: Mosaico de unidade de uso e cobertura da terra entre 1985 e 2021	160
Figura 12: Área destinada à pecuária com remanescentes de <i>Attalea speciosa</i>	162
Figura 13: Área de expansão urbana com remanescentes de cobertura vegetal	163
Figura 14: Imagem de máquina fazendo o desmatamento próximo do rio Itapecuru no município de Caxias	165

Capítulo V

Figura 1: Localização dos canais urbanos em estudo sobre o perímetro urbano de Caxias – MA	176
---	-----

Figura 2: Área de expansão urbana entre os anos 1985, 2003 e 2021	183
Figura 3: Mapa de localização dos pontos de aplicação de protocolos, em Caxias, MA	184
Figura 4: Protocolo de Avaliação das Condições Ecológicas e da Diversidade de Hábitats no Canal 1	186
Figura 5: Presença de animal solto em área de nascente e tanque de peixe desativado	187
Figura 6: Área de nascente impactada e barramento do fluxo no canal	188
Figura 7: Pés de Buritis na planície fluvial do córrego São José.....	189
Figura 8: Tipos de uso e ocupação das margens e entorno.....	190
Figura 9: Linha férrea transnordestina, a jusante do ponto 2	190
Figura 10: Fotografia do canal principal, ponto 3.....	191
Figura 11: Tanque de peixe desativado	192
Figura 12: Descarga de esgoto diretamente no canal principal.....	193
Figura 13: Diferentes tipos de uso do solo na planície e ao entorno do canal principal	194
Figura 14: Pés de banana na margem direita do canal principal.....	194
Figura 15: Retirada da vegetação na margem esquerda e aterro na planície	196
Figura 16: Condições ambientais no canal e entorno	197
Figura 17: Ponto 6, jusantes da ponte	197
Figura 18: Protocolo de Avaliação das Condições Ecológicas e Diversidade de Habitats, Canal 2	199
Figura 19: Área de nascente, ponto 1	200
Figura 20: Compactação do solo em área de nascente	200
Figura 21: Travessa São José.....	201
Figura 22: Diferentes tipos de uso no sentido longitudinal do canal. Aterro para residências no antigo canal, o círculo mostra acúmulo de água	202
Figura 23: Ponto a montante da ponte de concreto.....	203
Figura 24: Ponte de concreto em cima do canal principal e esgoto a céu aberto.....	204
Figura 25: Protocolo de Avaliação das Condições Ecológicas e Diversidade de Hábitats.....	205

Figura 26: Canal com influência antrópica	206
Figura 27: Influência da urbanização na margem direita do canal	206
Figura 28: Aterro e construção de casas na planície do canal	208
Figura 29: Canal com alterações na morfologia (retificado e canalizado)...	209
Figura 30: Vegetação frutífera na margem do canal principal	210
Figura 31: Entulho depositado no leito do canal principal	211
Figura 32: Protocolo de Avaliação das Condições Ecológicas e da Diversidade de Hábitats, Canal (4) e (5)	212
Figura 33: Barramento de rochas e assoreamento no canal (4)	213
Figura 34: Canal 5, Avenida Edson Lobão.....	214
Figura 35: Canal canalizado e retificado, com resíduos sólidos.....	216

Capítulo VI

Figura 1: Localização dos pontos de coleta na área de estudo	227
Figura 2: Coleta em campo	233
Figura 3: A) Ecobatímetro GARMIN echomap 50s; B) molinete fluviométrico, modelo MLN 7 – 200.09.15 e contador de pulsos, modelo CPD – 20	234
Figura 4: Turbidímetro AP 2000	235
Figura 5: Dragagem Van Veen e coleta de sedimentos de fundo	235
Figura 6: Aeronave remotamente pilotada – <i>Mavic Air (Dji)</i>	236
Figura 7: A) Béqueres com sedimentos de fundo; B) Agitador de Wagner; C) Pipetas para extração de silte e argila; D) Estufa modelo TE-394/2 a 105° C; E) Agitador eletromagnético de série 8102.....	237
Figura 8: Afloramento rochoso no centro do canal	241
Figura 9: (A) Blocos de rocha; (B) Margem esquerda do Rio Itapecuru (Seção 01)	242
Figura 10: Croqui da Seção Transversal 1 no período de estiagem (Solo/Sedimento/Rocha)	243
Figura 11: Croqui da Seção Transversal 1 no período de cheia	244
Figura 12: Dragagem de areia para fins comerciais	246
Figura 13: Rio Itapecuru sendo utilizado para atividades domésticas.....	248
Figura 14: Margem direita do rio, instalado o Balneário Veneza	249
Figura 15: Influência antrópica na margem direita do rio Itapecuru.....	250

Figura 16: Imagem de tanques de piscicultura	251
Figura 17: Fotografia do período de cheia	252
Figura 18: Imagem da área do rio Itapecuru e o condomínio Village	253
Figura 19: Expansão da urbanização para a margem direita do rio Itapecuru (2004 e 2021)	254
Figura 20: Coleta de água no rio Itapecuru.....	255
Figura 21: Afloramento rochoso de arenito a montante da seção	256
Figura 22: Efluentes despejados no rio Itapecuru.....	257
Figura 23: Planície de inundação do rio Itapecuru.....	258
Figura 24: Ponte Luiz Sales sobre o rio Itapecuru	259
Figura 25: Foto do período de cheia, Ponte Luiz Sales	260
Figura 26: Ponte Nereu Bittencurt sobre o rio Itapecuru	261
Figura 27: Ponte Nereu Bittencurt no período de cheia.....	262
Figura 28: Fotografia do período de cheia	263
Figura 29: Efluentes despejados na margem esquerda do rio Itapecuru	263
Figura 30: Feição morfológica em formato de barra de sedimentos	264
Figura 31: Afloramento rochoso na margem esquerda do rio Itapecuru	264
Figura 32: Rio Itapecuru sendo utilizado para recreação (banho).....	265
Figura 33: Lajeado de arenito, controle estrutural na margem esquerda do canal	266
Figura 34: Croqui de representação do canal da Seção 11 no período de cheia	266
Figura 35: Seção 11 no período de cheia	267
Figura 36: Seção de coleta de amostras.....	268
Figura 37: Vegetação coberta por lixo	269
Figura 38: Margem esquerda rampeada do rio Itapecuru	269
Figura 39: Piscicultura na margem esquerda do rio Itapecuru	270
Figura 40: Croqui de profundidade no período da cheia, Seção 13	270
Figura 41: Seção 13 no período de cheia	271
Figura 42: Curral para peixe na margem esquerda do rio Itapecuru	271
Figura 43: Seixos coletados junto com sedimentos de fundo.....	272
Figura 44: Planície do rio Itapecuru, vestígios de alteração antrópica em andamento.....	273

Figura 45: Período de cheia	274
Figura 46: Análise de agrupamento de variáveis hidrossedimentológicas..	275
Figura 47: Distribuição temporal dos dados hidrológicos e de sedimentação no rio Itapecuru, referente ao recorte da área de estudo. As esferas azuis correspondem à temporalidade de outubro de 2021 (estiagem), enquanto o símbolo gráfico de quadrado corresponde à sazonalidade de cheia, em março de 2022.....	277
Figura 48: Distribuição espacial dos dados hidrológicos e de sedimentação no rio Itapecuru, sobre o recorte da área de estudo. O "S" na legenda do gráfico corresponde às seções de coleta de dados, e os números indicam sua respectiva localização, de montante a jusante.....	278

RESUMO GERAL

LIMA, Cristiane da Silva. **Uso da terra e alterações hidromorfodinâmicas no médio curso do rio Itapecuru no município de Caxias, Maranhão**. Cáceres: UNEMAT, 2024. 280 p. (Tese – Doutorado em Ciências Ambientais)¹.

O estudo foi realizado no médio curso do rio Itapecuru no município de Caxias, Maranhão, uma região de grande relevância ecológica e econômica. A pesquisa teve como foco principal analisar os usos da terra e alterações hidromorfodinâmicas no médio curso do rio Itapecuru no município de Caxias, Maranhão, considerando as condições ambientais da área e a importância do rio para o Estado. Para alcançar o objetivo da pesquisa foi necessário caracterizar os aspectos físicos-ambientais (clima, aspectos geológicos, unidades de relevo, ocorrência de solos e vegetação) do rio Itapecuru; caracterizar os dados morfométricos aferidos, associando-os aos aspectos geológico-geomorfológicos e topográficos; avaliar a evolução das feições morfológicas no período de 10 anos (2010 a 2020) no médio curso do rio Itapecuru; analisar a evolução espaço-temporal do uso e da ocupação da terra, bem como os impactos associados; identificar a degradação ambiental nos córregos urbanos da cidade de Caxias; e analisar as variáveis hidrodinâmicas no médio curso da bacia hidrográfica do rio Itapecuru, no município de Caxias. Assim, a pesquisa visa apoiar um planejamento territorial mais sustentável, visando preservar os recursos hídricos e reduzir os impactos negativos na bacia do rio Itapecuru. Os procedimentos metodológicos empregados envolveram o trabalho de gabinete, trabalho de campo e análise laboratorial. A caracterização das unidades geoambientais usou dados secundários provenientes de manuais técnicos dos principais centros de pesquisa do Brasil (IBGE, Embrapa, CPRM e Inmet). A base de dados foi processada com ferramentas de geotecnologias, e o pós-processamento envolveu a adequação e padronização dos dados. Os parâmetros morfométricos foram obtidos por meio de fórmulas e padrões de referência. Para sobreposição das informações, utilizou-se o software ArcGis 10.8. A evolução das feições morfológicas ao longo do perfil longitudinal foi analisada por meio de mosaicos de imagens do Google Earth dos anos de 2010 e 2020, aliados a ferramentas da geotecnologia, permitindo a quantificação das feições. A análise do uso e cobertura da terra baseou-se no mosaico de imagens do MapBiomas, Coleção 5, do ano de 2021. De mesmo modo, o mapeamento da supressão da vegetação natural e da regeneração ocorreu por meio da aquisição de dados *raster* do MapBiomas, Coleção 6 do ano de 2022. Para identificação dos impactos ambientais nos canais fluviais urbanos foram utilizados os Protocolos de Avaliação Rápida (PARs) e o Protocolo de Avaliação dos Parâmetros Morfológicos nos canais fluviais. Para obtenção da hidrodinâmica, algumas etapas (atividades de gabinete, campo e laboratório) foram necessárias. No trabalho de gabinete iniciou-se a construção do referencial teórico, elaboração da base cartográfica e tabulação de dados e redação. O trabalho de campo foi essencial à coleta de dados de hidrodinâmica no médio curso do rio Itapecuru, aferida das quinze seções transversais distribuídas ao longo do perfil longitudinal, no período de cheia e vazante. Para aferir a batimetria, utilizou-se o ecobatímetro GARMIN; para medir a velocidade do fluxo, usou-se o molinete fluviométrico e turbidímetro para obter a turbidez. Para as coletas de sedimento, a draga do tipo Van Veen. As vazões foram obtidas com uso de fórmulas. Os registros fotográficos foram realizados com câmera fotográfica e uma aeronave não tripulada,

¹ Orientadora: Profª Drª Célia Alves de Souza, UNEMAT, Cáceres, MT.

remotamente pilotadas (RPA). O trabalho laboratorial consistiu em verificar tipos de sedimentos transportados e depositados no canal fluvial, sendo realizada a análise granulométrica mediante o método de pipetagem – dispersão total para o fracionamento do material de fundo. Os resultados revelaram informações importantes do médio curso da bacia. Em relação aos aspectos ambientais, a área se encontra na zona de transição climática, sobre o clima Tropical Zona Equatorial. As formações geológicas presentes na área de estudo são a Formação Corda, Formação Motuca e Formação Sardinha, os Depósitos Aluvionares e Unidade Sedimentos Pós-Barreira e os Grupo Barreiras e Itapecuru; as unidades geomorfológicas mapeadas são quatro, com destaque o Patamar de Caxias e a ocorrência cinco tipos de solos com destaque dos Plintossolos Pétricos Concrecionários. A vegetação catalogada está dividida em sete classes, três classes de cobertura vegetal com predominância da Floresta Estacional Decidual Submontana. Quanto à morfometria, a bacia possui 183 canais e é classificada como uma bacia de quinta ordem, com 109 canais de primeira ordem, 41 de segunda, 28 de terceira, quatro de quarta e um canal de quinta ordem. O comprimento total dos canais foi de 1.004,77 km. Os índices de fator de forma, coeficiente de compacidade e índice de circularidade indicam que a rede de drenagem possui formato ovalado, com tendência mediana a enchentes. O índice de sinuosidade registrado foi de 1,29 km, indicando tendência a canais retilíneos. O índice de circularidade registrado foi de 116,23. O coeficiente de capacidade foi de 0,56. A densidade de canais registrou 0,03 km², indicando baixa capacidade de geração de novos canais. A densidade de drenagem registrada foi de 0,29 km². Foram observadas mudanças temporais nas feições morfológicas no corredor fluvial, tais como aumento ou redução na dimensão dessas feições, surgimento de novas formas e desaparecimento de outras. Foram identificadas dez unidades de uso e cobertura da terra: Formação Florestal (1.665,44 km²), Formação Savânica (1.254,37 km²), Silvicultura (1,69 km²), Formação campestre (158,89 km²), Pastagem (293,40 km²), Infraestrutura Urbana (22,70 km²), Outras Áreas não Vegetadas (28,60 km²), Rio e/ou Lagoa (2,37 km²), Soja (1,28 km²) e Outras Lavouras Temporárias (0,91 km²). O mapeamento da mudança temporal do uso e cobertura da terra entre 1985 e 2021 permitiu constatar um aumento nas áreas de pastagem, além de processos de desmatamento e regeneração. A análise da degradação nos canais do perímetro urbano da Cidade de Caxias considerou os seguintes parâmetros, de acordo com o protocolo adotado: natural, impactado e alterado. No primeiro canal, constatou-se que os pontos 1, 2, 4 e 5 se encontram impactados e os pontos 3 e 6 alterados. O segundo canal (ponto 1) apresentou natural, enquanto o ponto 2 configurou-se impactado e o ponto 3 alterado. No terceiro canal, todos os pontos analisados apresentaram impacto. No quarto canal, o ponto 1 manteve-se em condições naturais. No quinto canal, a classificação foi de impacto devido à canalização e retificação do leito. Os dados referentes à hidrodinâmica demonstraram variações ao longo do ano. Durante o período de vazante, os dados hidrodinâmicos foram os seguintes: as áreas das seções transversais variaram entre 16,32 m² a 158,00 m²; as profundidades médias variaram de 1.10 m a 3.10 m; as larguras do canal ficaram entre 24 m a 51 m; as velocidades médias dos fluxos oscilaram de 0,24 m/s⁻¹ a 0,82 m/s⁻¹; as vazões nas seções variaram de 13,45 m³/s⁻¹ a 41,75 m³/s⁻¹ e os índices de turbidez registraram entre 14,00 UNT a 21,30 UNT. No período de cheia, as áreas das seções variaram entre 152,81 m² a 310,96 m²; as médias de profundidades variaram entre 4,13 m a 6,76 m; as larguras do canal ficaram entre 27 m a 51 m; as velocidades médias dos fluxos variaram entre 1,12 m/s⁻¹ a 1.223 m/s⁻¹, as vazões oscilaram entre 89,69 m³/s⁻¹ a 287,45 m³/s⁻¹ e os índices de turbidez apresentaram valores entre 30,40 UNT a 39,40 UNT. A análise granulométrica dos sedimentos indicou a predominância de areia fina em ambos os períodos (cheia e vazante). Na vazante, a

variação de areia fina foi de 93,2% a 99,15%, enquanto, na cheia, os valores oscilaram entre 65,95% a 99,7%.

Palavras-chave: Rio Itapecuru; Componentes ambientais; Feições morfológicas; Atividades antrópicas, Hidrodinâmica.

OVERVIEW

LIMA, Cristiane da Silva. **Land use and hydromorphodynamic changes in the middle course of the Itapecuru river in the municipality of Caxias - Maranhão**. Cáceres: UNEMAT, 2024. 280 p. (Thesis – Doctorate in Environmental Sciences)¹.

The study was conducted in the middle course of the Itapecuru River, in the municipality of Caxias, Maranhão, a region of significant ecological and economic importance. The main focus of the research was to analyze land use and hydromorphodynamic changes in the middle course of the Itapecuru River in Caxias, Maranhão, considering the area's environmental conditions and the river's importance to the state. To achieve the research objective, it was necessary to characterize the physical-environmental aspects (climate, geological features, relief units, soil occurrence, and vegetation) of the Itapecuru River; characterize the measured morphometric data, associating them with geological-geomorphological and topographic aspects; assess the evolution of morphological features over a ten-year period (2010 to 2020) in the middle course of the river; analyze the spatiotemporal evolution of land use and occupation, as well as the associated impacts; identify environmental degradation in urban streams in the city of Caxias; and analyze the hydrodynamic variables in the middle course of the Itapecuru River basin, in the municipality of Caxias.

Thus, the research aims to support more sustainable territorial planning, seeking to preserve water resources and reduce negative impacts on the Itapecuru River basin. The methodological procedures involved office work, fieldwork, and laboratory analysis. The characterization of geoenvironmental units used secondary data from technical manuals of Brazil's main research centers (IBGE, Embrapa, CPRM, and Inmet). The database was processed using geotechnology tools, and post-processing involved data adjustment and standardization. Morphometric parameters were obtained using formulas and reference standards. For data overlay, ArcGIS 10.8 software was used. The evolution of morphological features along the longitudinal profile was analyzed using Google Earth image mosaics from 2010 and 2020, combined with geotechnology tools, allowing quantification of the features. Land use and cover analysis was based on the MapBiomas image mosaic, Collection 5, from 2021. Similarly, the mapping of natural vegetation suppression and regeneration was carried out using raster data from MapBiomas, Collection 6, from 2022.

To identify environmental impacts in urban river channels, Rapid Assessment Protocols (RAPs) and the Morphological Parameters Assessment Protocol for river channels were used. To obtain hydrodynamic data, several stages (office, field, and laboratory activities) were necessary. In the office phase, the theoretical framework was developed, cartographic bases were prepared, data were tabulated, and reports were written. Fieldwork was essential for collecting hydrodynamic data in the middle course of the Itapecuru River, measured at fifteen cross-sections distributed along the longitudinal profile, during both flood and dry seasons. To measure bathymetry, a GARMIN echo sounder was used; a flow meter was used to measure flow velocity, and a turbidimeter to determine turbidity. For sediment collection, a Van Veen dredge was used. Flow rates

¹ Major professor: Celia Alves de Souza, UNEMAT - Cáceres

were obtained using formulas. Photographic records were taken with a camera and a remotely piloted unmanned aerial vehicle (RPA). Laboratory work involved identifying the types of sediments transported and deposited in the river channel, with granulometric analysis carried out using the pipetting method—total dispersion for fractionation of bottom material.

The results revealed important information about the middle course of the basin. Regarding environmental aspects, the area lies in a climatic transition zone, under the Equatorial Tropical climate. The geological formations present in the study area include the Corda Formation, Motuca Formation, Sardinha Formation, Alluvial Deposits, Post-Barrier Sediment Unit, and the Barreiras and Itapecuru Groups. Four geomorphological units were mapped, notably the Caxias Plateau. Five soil types were identified, with a predominance of Concretionary Petric Plinthosols. The cataloged vegetation was divided into seven classes, three of which were vegetation cover types, with Submontane Deciduous Seasonal Forest being predominant.

In terms of morphometry, the basin has 183 channels and is classified as a fifth-order basin, with 109 first-order channels, 41 second-order, 28 third-order, four fourth-order, and one fifth-order channel. The total channel length was 1,004.77 km. The shape factor, compactness coefficient, and circularity index indicate an oval-shaped drainage network, with a moderate tendency toward flooding. The sinuosity index was 1.29 km, indicating a trend toward straight channels. The circularity index was 116.23, and the form factor was 0.56. The channel density was 0.03 km², indicating a low capacity for generating new channels. The drainage density was 0.29 km².

Temporal changes in morphological features were observed in the river corridor, such as the increase or decrease in the dimensions of these features, the emergence of new forms, and the disappearance of others. Ten land use and cover units were identified: Forest Formation (1,665.44 km²), Savanna Formation (1,254.37 km²), Forestry (1.69 km²), Grassland Formation (158.89 km²), Pasture (293.40 km²), Urban Infrastructure (22.70 km²), Other Non-Vegetated Areas (28.60 km²), River and/or Lagoon (2.37 km²), Soybean (1.28 km²), and Other Temporary Crops (0.91 km²). Mapping of temporal changes in land use and cover between 1985 and 2021 revealed an increase in pasture areas, along with deforestation and regeneration processes.

The analysis of degradation in the urban perimeter channels of Caxias considered the following parameters, according to the adopted protocol: natural, impacted, and altered. In the first channel, points 1, 2, 4, and 5 were found to be impacted, while points 3 and 6 were altered. In the second channel, point 1 was classified as natural, point 2 as impacted, and point 3 as altered. In the third channel, all analyzed points showed impacts. In the fourth channel, point 1 remained in natural condition. In the fifth channel, the classification was “impacted” due to channelization and bed straightening.

Hydrodynamic data showed variations throughout the year. During the dry season, the cross-sectional areas ranged from 16.32 m² to 158.00 m²; average depths ranged from 1.10 m to 3.10 m; channel widths ranged from 24 m to 51 m; average flow velocities ranged from 0.24 m/s to 0.82 m/s; flow rates varied from 13.45 m³/s to 41.75 m³/s; and turbidity indices ranged from 14.00 NTU to 21.30 NTU. In the flood season, cross-sectional areas ranged from 152.81 m² to 310.96 m²; average depths from 4.13 m to 6.76 m; channel widths from 27 m to 51 m; average flow velocities from 1.12 m/s to 1.223 m/s; flow rates from 89.69 m³/s to 287.45 m³/s; and turbidity indices ranged from 30.40 NTU to 39.40 NTU.

The granulometric analysis of sediments indicated the predominance of fine sand in both seasons (flood and dry). In the dry season, fine sand ranged from 93.2% to 99.15%, while in the flood season, values ranged from 65.95% to 99.7%.

Keywords: Itapecuru River; Environmental components; Morphological features; Anthropogenic activities, Hydrodynamics.

INTRODUÇÃO GERAL

A água é um recurso natural vital para a existência da humanidade e desempenha um papel essencial no desenvolvimento das sociedades. Contudo, a negligência quanto à conservação das áreas de captação e de armazenamento tem contribuído significativamente para a crescente escassez desse recurso. Consequentemente, torna-se imprescindível a implementação de um planejamento adequado nas bacias hidrográficas, visando à preservação e gestão sustentável dos recursos hídricos (Nardini et al., 2013).

Dessa forma, a bacia hidrográfica configura-se uma unidade de suma importância para a geomorfologia fluvial, sendo analisada e definida a partir da hierarquia dos padrões de drenagem. Este estudo é essencial para compreender como o clima, a vegetação e a geologia interagem na dinâmica nos processos fluviais de uma determinada região (Stevaux; Labrubesse, 2017).

Cunha e Guerra (2009) afirmam que as bacias de drenagem sofrem alterações por processos naturais, mas, nos últimos anos, a interferência humana tem acelerado o desequilíbrio e a modificação da paisagem. Conforme os autores, processos de erosão, transporte e deposição de sedimentos no leito fluvial, alteram-se espacialmente no transcorrer do tempo. Tais transformações são definidas pela distribuição da velocidade e turbulência do fluxo dentro do canal, resultando não apenas de mudanças no fluxo, mas também na carga sedimentar transportada.

Uma bacia hidrográfica pode apresentar variações no seu padrão de canal, que pode ser retilíneo, meandrante ou anostomosado. Esses padrões podem estar espacialmente setorizados ou coexistirem em um mesmo setor, dependendo do complexo geológico presente. Ademais, a fisionomia de cada setor do rio, pode variar sazonalmente em função do regime de precipitações nas cabeceiras das bacias (Cunha, 2009). Souza (2004) destaca que os rios são elementos sensíveis da paisagem, respondendo rapidamente às perturbações ocorridas tanto na bacia ou quanto dentro do canal. Essas mudanças podem influenciar o regime do fluxo, a carga de sedimentos transportada e, consequentemente, acentuar o desequilíbrio do canal.

O estudo das características ambientais de uma bacia hidrográfica constitui um instrumento de pesquisa essencial para compreender sua estrutura e seu funcionamento. Essas particularidades estão relacionadas aos aspectos geológicos, às

formas de relevo, aos processos geomorfológicos e às propriedades hidrológicas e climáticas, assim como a biota e o uso da terra (Torres; Marques Neto; Meneses, 2012).

De acordo com Souza e Cunha (2013), a dinâmica fluvial de uma bacia hidrográfica reflete as inter-relações existentes entre diversos elementos ambientais, como clima, geologia, cobertura vegetal, geomorfologia, solos e formas de uso e cobertura da terra. A combinação desses elementos determina o regime hidrológico, influenciando a quantidade de água e os sedimentos transportados pela bacia.

A análise de dados morfométricos fornece um conjunto de informações valiosas para a formulação de estratégias de conservação de corpos hídricos. Possibilita o conhecimento preciso da morfologia fluvial, tornando-se fundamental para a elaboração de planos de mitigação de processos erosivos, assoreamento e recuperação da qualidade da água em ambientes fluviais (Resck; Bezerra Neto; Coelho, 2007).

Silva e Souza (2012) observam que o uso incorreto da terra, como desmatamento, reflorestamento, queimadas, urbanização, culturas agrícolas, pecuária, pode intensificar processos de degradação ambiental. Esse impacto ocorre especialmente quando não são aplicadas técnicas de manejo adequadas, que possam garantir o equilíbrio ambiental, principalmente para a preservação dos recursos hídricos e dos solos.

De acordo com Riccomini *et al.* (2009, p.311), a morfologia dos canais fluviais é influenciada pelos fatores autocíclicos, como volume, velocidade de fluxo da água e carga de sedimentos transportada; largura, profundidade e declividade do canal; rugosidade do leito e cobertura vegetal nas margens e ilhas. Esses fatores, por sua vez, são condicionados pelos fatores alocíclicos, como as variáveis climáticas (pluviosidade, temperatura) e geológicas (tectônica ativa, nível do mar).

Para Rosa e Magalhães Júnior (2019) afirmam que o o Protocolo de Avaliação Rápida dos Rios não é documento rígido ou conclusivo, podendo ser adaptado conforme as especificidades locais, como clima, geologia, geomorfologia, solo, uso e cobertura da terra. Além disso, destaca-se a rapidez e a facilidade de sua aplicação, não sendo necessário treinamento demasiadamente sistemático aos seus aplicadores ou mesmo a presença de especialistas.

Pontini (2020) destaca que os Protocolos de Avaliação Rápida (PARs) representam interessantes iniciativas para suprir algumas das lacunas do monitoramento ambiental de sistemas fluviais. Consistem em instrumentos que permitem caracterizar qualitativamente o estado ambiental de determinado ambiente por meio da observação empírica e visual de parâmetros previamente selecionados pelo pesquisador, os quais

são aferidos quantitativamente, por meio de notas.

A bacia do rio Itapecuru tem uma grande importância para o estado do Maranhão em diferentes escalas. Segundo o relatório CODEVASF (2019), a toponímia da bacia hidrográfica do rio Itapecuru é de origem indígena, significando “caminhos de pedra grande”. Suas principais nascentes estão localizadas no Parque Estadual Mirador. Trata-se da segunda maior bacia hidrográfica do estado do Maranhão, sendo de grande importância econômica e social para o estado.

Nesse contexto, a pesquisa foi desenvolvida⁴ do município de Caxias, no médio curso da bacia hidrográfica do rio Itapecuru, em uma zona de transição entre os climas semiárido do Nordeste para o úmido equatorial da Amazônia. As precipitações anuais variam entre 1.200 a 1.400 mm, com maiores índices de pluviosidade no período de outubro a abril e os menores no período de junho a setembro. O volume de chuva aumenta no sentido de montante para jusante, com maiores índices registrados no noroeste do médio curso da bacia (Souza; Silva, 2022).

A área de estudo localiza-se no médio curso da bacia hidrográfica do rio Itapecuru, abrangendo o perímetro do município de Caxias, MA, entre as coordenadas geográficas 4° 45' 00" a 5° 18' 30" de latitude Sul e 43° 45' 30" a 43° 00' 00" longitude Oeste. Corresponde a uma área de 3.429,65 km².

O município de Caxias localiza-se na Mesorregião Leste maranhense, possui uma área de 5.197,29 km², uma população estimada de 165.525 habitantes (IBGE, 2010a), dos quais 76% residem na área urbana. A densidade demográfica é de 31,84 hab/km² e o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) perfaz 0,624 (IBGE, 2010b).

O presente estudo objetivou Analisar os usos da terra e alterações hidromorfodinâmicas no médio curso do rio Itapecuru no município de Caxias, Maranhão, considerando as condições ambientais da área e a importância do rio para o Estado.

A pesquisa está estruturada em seis capítulos. O primeiro deles apresenta os aspectos físicos-ambientais da área de estudo, contemplando clima, geologia, geomorfologia, pedologia e vegetação, no médio curso do rio Itapecuru, em Caxias, MA.

O segundo capítulo aborda as características morfométricas no médio curso de rio Itapecuru dentro do perímetro do município. O objetivo dessa etapa foi caracterizar os os parâmetros morfométricos aferidos, que possibilitaram a compreensão dos aspectos geológicos-geomorfológicos e topográficos da área de estudo.

⁴ Esta tese está vinculada ao projeto macro de pesquisa “Aporte de sedimentos, mudanças morfológicas e qualidade da água no médio curso, entre as cidades de Colinas e Caxias” – (FAPEMA/CNPq, 2021), coordenado pelas professoras Celia Alves de Souza e Quésia Duarte da Silva.

O terceiro capítulo trata de formação e evolução das feições morfológicas, com o intuito de avaliar as mudanças ocorridas ao longo de 10 anos entre (2010-2020) no médio curso do rio Itapecuru, Caxias, MA.

O quarto capítulo visa analisar a evolução espaço-temporal do uso/ocupação da terra, bem como os impactos associados no município.

No quinto capítulo, a pesquisa concentra-se na aplicação e análise dos protocolos ambientais em canais urbanos no médio curso do rio Itapecuru, na cidade de Caxias, visando identificar a degradação ambiental nos córregos urbanos.

Por fim, o sexto capítulo aborda as variáveis hidrodinâmicas e o transporte de sedimentos no médio curso da bacia, na altura da cidade de Caxias, com o objetivo de compreender as variáveis envolvidas nesses processos.

REFERÊNCIAS

CODEVASF. **Plano Nascente Itapecuru**: plano de preservação e recuperação de nascentes da bacia hidrográfica do rio Itapecuru. Brasília: Codevasf, 2019. Disponível em: <https://www.codevasf.gov.br/aceso-a-informacao/institucional/biblioteca-geral-rocha/publicacoes/planos/plano-nascente-itapecuru.pdf>

Acesso em: 09 abr. 2023.

CUNHA, S. B. Geomorfologia e meio ambiente. 7. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2009.

CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. (Org.). **Geomorfologia do Brasil**. 5. ed. Rio de Janeiro: Editora Bertrand do Brasil, 2009. p.229-265.

IBGE. **Cidades**. Censo Demográfico 2010b. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ma/caxias/panorama>. Acesso em: 09 nov. 2022.

IBGE. **Síntese de indicadores sociais**: uma análise das condições de vida da população brasileira. IBGE. Coordenação de População e Indicadores Sociais. Rio de Janeiro: 2010a. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101629.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2020.

NARDINI, R. C.; POLLO, R. A.; CAMPOS, S.; BARROS, Z. X.; CARDOSO, L. G.; GOMES, L. N. Análise morfométrica e simulação das áreas de preservação permanente de uma microbacia hidrográfica. **Irriga**, [S. l.], v. 18, n. 4, p. 687–699, 2013. DOI: 10.15809/irriga.2013v18n4p687. Disponível em: <https://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/669>. Acesso em: 4 mar. 2025. v. 18, n. 4, p. 687-699, 2013.

PONTINI, V. V. **Degradação de ambientes fluviais por ação antropogênica**: novos cenários na bacia de drenagem do Rio Novo (ES). 2020. 187f. Orientador: Prof. Dr. André Luiz Nascentes Coelho. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia. Centro de Ciências Humanas e Naturais. Universidade Federal do Espírito Santo, UFES, Vitória, ES, 2020. Disponível em: https://sappg.ufes.br/tese_drupal/tese_14854.pdf. Acesso em: 01 mar. 2023.

RESCK, R. P.; BEZERRA NETO, J. F.; COELHO, R. M. P. Nova batimetria e avaliação de parâmetros morfométricos da Lagoa da Pampulha (Belo Horizonte, Brasil). **Revista**

Geografias. Belo Horizonte, 03(2) 17- 23 jul./dez. 2007. Disponível em: <http://www.cantacantos.com.br/revista/index.php/geografias/article/viewFile/49/47>. Acesso em: 01 nov. 2012.

RICCOMINI, C., ALMEIDA, R., GIANNINI, P., & MANCINI, F. Processo Fluviais e Lacustres e seus registros. In: TEIXEIRA, W.; FAIRCHILD, T. R.; TOLEDO, M. C. M.; TAIOLI, F. **Decifrando a terra**. 2 ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2009.

ROSA, N. M. G.; MAGALHÃES Jr, A. P. Aplicabilidade de Protocolos de Avaliação Rápida (PARs) no diagnóstico ambiental de sistemas fluviais: o caso do Parque Nacional da Serra do Gandarela (MG). Belo Horizonte, **Caderno de Geografia**. 29, 441-464. 2019. Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, PUC Minas. ISSN: 0103-8427 ISSN electrónico: 2318-2962. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/3332/333247800015.pdf>. Acesso em: 30 jun. 2022.

SILVA, R. V.; SOUZA, C. A. Rio Paraguai: ocupação e degradação no perímetro urbano de Cáceres, MT. In: SOUZA, Célia Alves (Org.) **Bacia hidrográfica do rio Paraguai, MT: dinâmica das águas, uso e ocupação e degradação ambiental**. São Carlos: Editora Cubo, 2012.

SOUZA, C. **Dinâmica do corredor fluvial do rio Paraguai entre a cidade de Cáceres e a Estação Ecológica da ilha de Taiamã, MT**. 2004, 173 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia. Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza, Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, Rio de Janeiro, RJ. 173 f. 2004.

SOUZA, C. A.; CUNHA, S. B. . Mudanças na calha fluvial do rio Paraguai entre a cidade de Cáceres e a estação ecológica da ilha de Taiamã - Mato Grosso. **Revista GeoPantanal**, v. 8, p. 9-26, 2013.

SOUZA, C. A; SILVA, Q. D.; Médio curso da bacia hidrográfica do rio Itapecuru, Maranhão: características geológicas, geomorfológicas, pedológicas e densidade de drenagem. **Ciência Geográfica**. Bauru. v. XXVI (1). p. 51-71, 2022.

https://www.agbbauru.org.br/revista_agb.html. Acesso em: 23 abr. 2023.

STEVAUX, J. C.; LATRUBESSE, E. M. **Geomorfologia fluvial**. São Paulo: Oficina de Textos, 2017.

TORRES, F. T. P.; MARQUES NETO, R.; MENEZES, S. O. **Introdução à geomorfologia**. São Paulo: Cengage Learning, 2012.

CAPÍTULO I – CARACTERIZAÇÃO DOS ASPECTOS FÍSICO-AMBIENTAIS, NO MÉDIO CURSO DA BACIA DO RIO ITAPECURU, MUNICÍPIO DE CAXIAS, MARANHÃO, BRASIL

RESUMO

O médio curso do rio Itapecuru localizado no município de Caxias, no estado do Maranhão, Brasil, situa-se na região Nordeste do país, na porção leste maranhense. O objetivo deste estudo foi caracterizar os aspectos físico-naturais da área, abrangendo o clima, os aspectos geológicos, as unidades de relevo, a ocorrência de solos e a vegetação no rio Itapecuru. A realização da pesquisa ocorreu em três etapas: pré-processamento, processamento e pós-processamento de dados secundários e vetoriais. A primeira consistiu na obtenção de dados secundários mediante manuais técnicos elaborados por instituições de referência no Brasil, como o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), o Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e o Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet). Posteriormente, foi realizado o processamento dos dados por meio de ferramentas das geotecnologias. Por fim, a etapa de pós-processamento abrangeu a adequação e padronização das informações obtidas. O estudo possibilitou um levantamento detalhado dos aspectos físicos-ambientais da área, contribuindo para uma melhor compreensão das características naturais da região, inserida no médio curso da bacia hidrográfica rio Itapecuru. Os resultados e os dados obtidos por meio da pesquisa podem servir como subsídio a diferentes planejamentos, tanto em escala local quanto regional, no estado do Maranhão. Em relação aos aspectos climáticos, a área estudada encontra-se na zona de transição climática, caracterizada pelo clima Tropical Zona Equatorial, com temperaturas que se mantêm elevadas, com médias superiores a 18°C em todos os meses do ano. As formações geológicas identificadas na área de estudo incluem as Formações Corda, Motuca e Sardinha. Além disso, há dois grupos geológicos, quais sejam: Grupo Barreiras e Grupo Itapecuru. Depósitos outros são encontrados na região como os Aluvionares e Unidade Sedimentos Pós-Barreira. No que se refere às unidades geomorfológicas, foram mapeadas quatro, sendo a de maior extensão o Patamar de Caxias, enquanto a unidade com menor abrangência foi o Planalto Dissecado do Itapecuru. A classificação de solos, conforme a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), registrou cinco unidades, destacando-se os Plintossolos Pétricos Concrecionários como predominantes na área. A vegetação registrada divide-se em sete unidades, sendo a Floresta Estacional Decidual Submontana a de maior predominância. Esse levantamento permitiu realizar uma análise integrada do ambiente pesquisado, contribuindo para uma compreensão mais abrangente das características naturais da área em estudo.

Palavras-chave: Componentes ambientais; Rio Itapecuru; Cerrado maranhense; área de transição.

ABSTRACT

The middle course of the Itapecuru River, located in the municipality of Caxias, in the state of Maranhão, Brazil, is located in the northeast region of the country, in the eastern portion of Maranhão. The objective of this study was to characterize the physical-natural aspects of the area, including the climate, geological aspects, relief units, soil occurrence and vegetation in the Itapecuru River. The research was carried out in three stages: pre-processing, processing and post-processing of secondary and vector data. The first stage consisted of obtaining secondary data through technical manuals prepared by reference institutions in Brazil, such as the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE), the Brazilian Agricultural Research Corporation (Embrapa), the Geological Survey of Brazil (CPRM) and the National Institute of Meteorology (INMET). Subsequently, the data were processed using geotechnology tools. Finally, the post-processing stage included the adaptation and standardization of the information obtained. The study enabled a detailed survey of the physical and environmental aspects of the area, contributing to a better understanding of the natural characteristics of the region, located in the middle course of the Itapecuru River basin. The results and data obtained through the research can serve as a subsidy for different planning, both on a local and regional scale, in the state of Maranhão. Regarding the climatic aspects, the studied area is located in the climatic transition zone, characterized by the Tropical Equatorial Zone climate, with temperatures that remain high, with averages above 18°C in all months of the year. The geological formations identified in the study area include the Corda, Motuca and Sardinha Formations. In addition, there are two geological groups, namely: Barreiras Group and Itapecuru Group. Other deposits are found in the region, such as Alluvial Deposits and Post-Barreira Sediment Unit. Regarding the geomorphological units, four were mapped, the largest being the Caxias Plateau, while the unit with the smallest coverage was the Itapecuru Dissected Plateau. The soil classification, according to the Brazilian Agricultural Research Corporation (Embrapa), recorded five units, with the Concretionary Plinthosols standing out as predominant in the area. The vegetation recorded is divided into seven units, with the Submontane Deciduous Seasonal Forest being the most predominant. This survey allowed for an integrated analysis of the researched environment, contributing to a more comprehensive understanding of the natural characteristics of the area under study.

Keywords: Environmental components; Itapecuru River; Maranhão Cerrado; transition area.

1 INTRODUÇÃO

O médio curso do rio Itapecuru, situado no município de Caxias, no estado do Maranhão, localiza-se na região Nordeste do Brasil, a leste do território maranhense. Inserido na mesorregião leste maranhense e na microrregião do Itapecuru, o município abrange uma área de 5.313,10 km². A cidade está distante 365 quilômetros da capital do estado, São Luiz. Segundo dados do IBGE de 2010, Caxias possui uma população total de 155.129 mil habitantes residentes no município.

Christofoletti (1980) ressalta que qualquer interferência ocorrida em uma bacia de drenagem reflete, direta ou indiretamente, nos rios. As condições climáticas, a cobertura vegetal e a litologia são fatores que controlam a morfogênese das vertentes, além de influenciarem o tipo de carga detrítica transportada para os rios. Pereira e Ventura (2004, p.14) afirmam que, “os instrumentos de gestão territorial devem equacionar, às diferentes escalas, tendo as condicionantes ambientais como componentes essenciais da política de ordenamento do território”.

Para Magalhães Júnior, Barros e Lavarini (2020, p. 54), as bacias hidrográficas são “recortes espaciais que permitem o estudo das conexões hidrossedimentológicas.” Embora sejam delimitadas espacialmente por divisores superficiais, de origem topográfica (relevo), as bacias hidrográficas também apresentam divisores dos fluxos subterrâneos subsuperficiais, que são condicionados pela estrutura geológica. Assim, os autores destacam que a direções dos fluxos superficiais não coincide, necessariamente, com a dos fluxos subterrâneos.

Conforme Costa (2011, p. 18), o ser humano tem interferido no ciclo da água ao longo dos séculos, influenciando, conseqüentemente, o processo de sua renovação. O autor ressalta que “o desmatamento visando o uso para fins agropecuários, a construção de estradas e cidades reduz a infiltração, comprometendo o abastecimento dos aquíferos subterrâneos”.

Ao estudarem as condicionantes ambientais no ordenamento do território, Pereira e Ventura (2004, p. 4) relataram que essas condicionantes estão associadas às características físicas do território, como declives, erosão, deslizamentos e áreas inundáveis, “conferindo maior vulnerabilidade à sua ocupação pelo potencial de risco que têm implícito, e à preservação de recursos naturais (água, solo, floresta, biodiversidade, paisagem)”. Os autores ressaltam que a inclusão das questões ambientais como

instrumentos de planejamento territorial permite estabelecer estratégias racionais para a proteção e gestão dos recursos naturais, com a finalidade de promover o uso sustentável do território.

A caracterização físico-ambiental, segundo Pereira et al. (2017, p. 12), é “o conhecimento dos diferentes compartimentos geoambientais (solo, geologia, geomorfologia), tem grande relevância, não apenas por permitir a análise geral da área, mas sobretudo pela identificação das potencialidades e/ou limitações de uso das terras”.

Cunha (2008) define a bacia de drenagem como uma unidade geomorfológica de grande relevância, pois nela interagem fatores físicos, biológicos, econômicos e sociais. Sob a perspectiva do autoajuste, pode-se deduzir que as bacias hidrográficas representam uma visão integrada do comportamento das condições naturais e das atividades humanas nelas desenvolvidas. Mudanças significativas em qualquer dessas unidades podem gerar alterações, como impactos a jusante e modificações nos fluxos energéticos.

Nessa perspectiva, o estudo dos elementos ambientais das bacias hidrográficas deve considerar as unidades geológicas, geomorfológicas, pedológicas e vegetais. Tal abordagem é essencial para compreender a complexa interação entre as condições naturais e as atividades humanas. De acordo com Marques (2013, p. 45), “o meio ambiente tem sido uma das grandes preocupações da humanidade”. Assim, é fundamental fortalecer as relações entre o homem e a natureza para melhorar a qualidade de vida. Novos métodos de planejamento que reconhecem a dependência da sociedade em relação ao meio natural emergem como resultado dessa integração.

Sob essa perspectiva, autores como Gonçalves et al., (2019) destacam as preocupações com a segurança hídrica, considerando as pressões exercidas pelas ações antrópicas sobre o meio natural. Silva e Farias (2007) descreveram os processos naturais em diferentes escalas, discutindo as condicionantes geoambientais. Christofolletti (1999) socializou seu conhecimento sobre o sistema físico-ambiental e Souza (2004; 2012) reforça a necessidade do conhecimento das unidades geoambientais como subsídio para a compreensão dos processos erosivos que afetam os cursos hídricos, entre outros estudos relevantes.

Diante do exposto, o objetivo deste estudo foi caracterizar os aspectos físicos-ambientais (clima, aspectos geológicos, unidades de relevo, ocorrência de solos e vegetação) da bacia do rio Itapecuru no município de Caxias, no estado do Maranhão.

2.1 Procedimentos metodológicos

Realizou-se o pré-processamento, processamento e pós-processamento de dados, com o objetivo de sustentar teoricamente as informações mapeadas e tabuladas, mediante ferramentas de geotecnologia. O software utilizado foi o ArcGis 10.8, versão licenciada.

2.2 Pré-processamento de dados

O procedimento adotado para este estudo foi fundamentado em levantamento de dados secundários, os quais consistem em arquivos vetoriais e relatórios/manuais técnicos. Assim, foram utilizados os dados do CPRM, IBGE e SiBCS.

2.3 Processamento

2.3.1 Características climáticas

Os dados climáticos foram obtidos na plataforma Geociências do IBGE, datados em 2021 e com escala de 1:250.000. A variação pluviométrica foi obtida por meio das médias anuais de todas as estações pluviométricas do estado do Maranhão (17 estações), abrangendo um período de 20 anos (2001-2021) (Quadro 1).

Segundo Salvador (2017, p. 350), a aplicação metodológica com o *software* Cllmap tem como “objetivo contribuir com os estudiosos do clima que têm como elemento de análise conjuntos dados diários de chuva, temperatura do ar (máxima e mínima) e mais uma variável de sua escolha”.

De posse desses dados, utilizou-se o *software* mencionado, por meio do qual foram processados os índices pluviométricos com as médias anuais e trimestrais. Os gráficos gerados, com os índices pluviométricos, correspondem aos processos metodológicos estatísticos, utilizando-se de regressão linear simples, teste de sequencial de Mann-Kendall, regressão polinomial, coeficientes de correlação, coeficiente de Tau de Kendall (Kendall-t), coeficiente de correlação de Pearson e coeficiente de correlação Spearman (Salvador, 2017). É importante destacar que o *software* não permite configuração de representações, o que impossibilitou alterar a representação automática de linha para barras verticais.

A espacialização pluviométrica foi obtida pela obtenção da localização das estações pluviométricas, inseridas por coordenadas geográficas. Posteriormente, os dados extraídos da base de dados do INMET foram dispostos na tabela de atributos de cada estação. Com os dados especializados, foi possível a realização de Interpolação

pela Ponderação do Inverso da Distância (IDW). Segundo Gomes *et al.* (2018), o sistema IDW é um interpolador global com rápida velocidade de processamento, sendo tanto suavizante quanto preciso em relação aos dados amostrados.

2.3.2 Unidades geológicas

Os dados das unidades geológicas foram coletados na base de dados Geodiversidade do CPRM, datada de 2013, e estão disponíveis no sítio eletrônico <https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/14689>. Os dados vetoriais correspondem a todo o estado do Maranhão, com escala de 1:250.000. O relatório técnico apresenta a descrição de todas as unidades geológicas presentes no estudo, além da metodologia utilizada para a confecção dos produtos cartográficos.

2.3.3 Unidades geomorfológicas

O produto cartográfico gerado para a caracterização geomorfológica foi extraído da plataforma Geociências do IBGE, disponível no sítio eletrônico <https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>, datado de 2021 com escala 1:250.000. Os dados secundários documentais das unidades geomorfológicas foram elaborados nos dados tabulados do Manual Técnico de Geomorfologia do IBGE, publicado em 2009.

2.3.4 Dados de solos (Pedologia)

Os dados de solos também foram extraídos da plataforma Geociências do IBGE, datados em 2021, com escala 1:250.000. Estão disponíveis no endereço eletrônico: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>, acessados por meio das abas de navegação: Informações Ambientais > Pedologia > Vetores > Escala 250 Mil > Versão 2021.

A publicação do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) foi utilizada com o objetivo de coletar os dados documentais empregados metodologicamente para a confecção e descrição dos solos. Essa publicação foi lançada em 2018 pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa).

2.3.5 Vegetação

A ocorrência de vegetação na área de estudo foi extraída e mapeada, adaptando-se aos limites do médio curso da bacia em questão, utilizando a base de dados Geociências do IBGE, atualizada em 2021, com escala de 1:250.000. A disponibilidade dos dados vetoriais também está no sítio eletrônico: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>, acessados por meio das abas de navegação: Informações Ambientais > Vegetação > Vetores > Escala 250 Mil > Versão 2021.

Essa camada vetorial foi sobreposta à de uso e cobertura, e todas as áreas que conflitaram em uso antrópico foram excluídas utilizando a função *erase* do *software* de geotecnologias ArcGis 10.8 Dessa forma, foram considerados como dados de vegetação todas as classes em áreas naturais que estavam em sobreposição.

2.4 Pós-processamento dos dados

O pós-processamento dos dados básicos e a confecção de *layout* foram realizados por meio do *software* mencionado, ArcGis 10.8 versão licenciada. O *layout* final foi constituído pelos elementos cartográficos orientados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (Silva; Freitas, 1998), elaborados para a área de estudo na escala de 1:280.000.

O *layout* foi padronizado para a representação das unidades ambientais conforme os manuais técnicos do IBGE e do SiBCS (Embrapa), garantindo que a leitura e interpretação dos mapas estejam alinhadas com as publicações oficiais dos institutos de pesquisa do Brasil. Desse modo, esses dados somados ao recorte espacial do médio curso da bacia hidrográfica do rio Itapecuru (MA), ampliam o desenvolvimento regional e o planejamento, ao fornecer descrições técnicas e produtos cartográficos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização físico-ambiental

3.1.1 Clima

O estado do Maranhão está localizado em uma área de transição climática entre o Nordeste semiárido e a Amazônia quente e úmida. Dessa forma, sua posição geográfica e extensão territorial contribuem para a presença de sistemas meteorológicos

variados, os quais influenciam períodos específicos do ano em determinadas regiões do estado. Aferiu-se que, majoritariamente, entre fevereiro a junho, ocorre o período de cheia, e os meses posteriores correspondem à vazante (Figuras 2, 3 e 4). Esses aspectos influenciam na variabilidade espacial e temporal da precipitação pluvial em todo o estado (Silva, 2020).

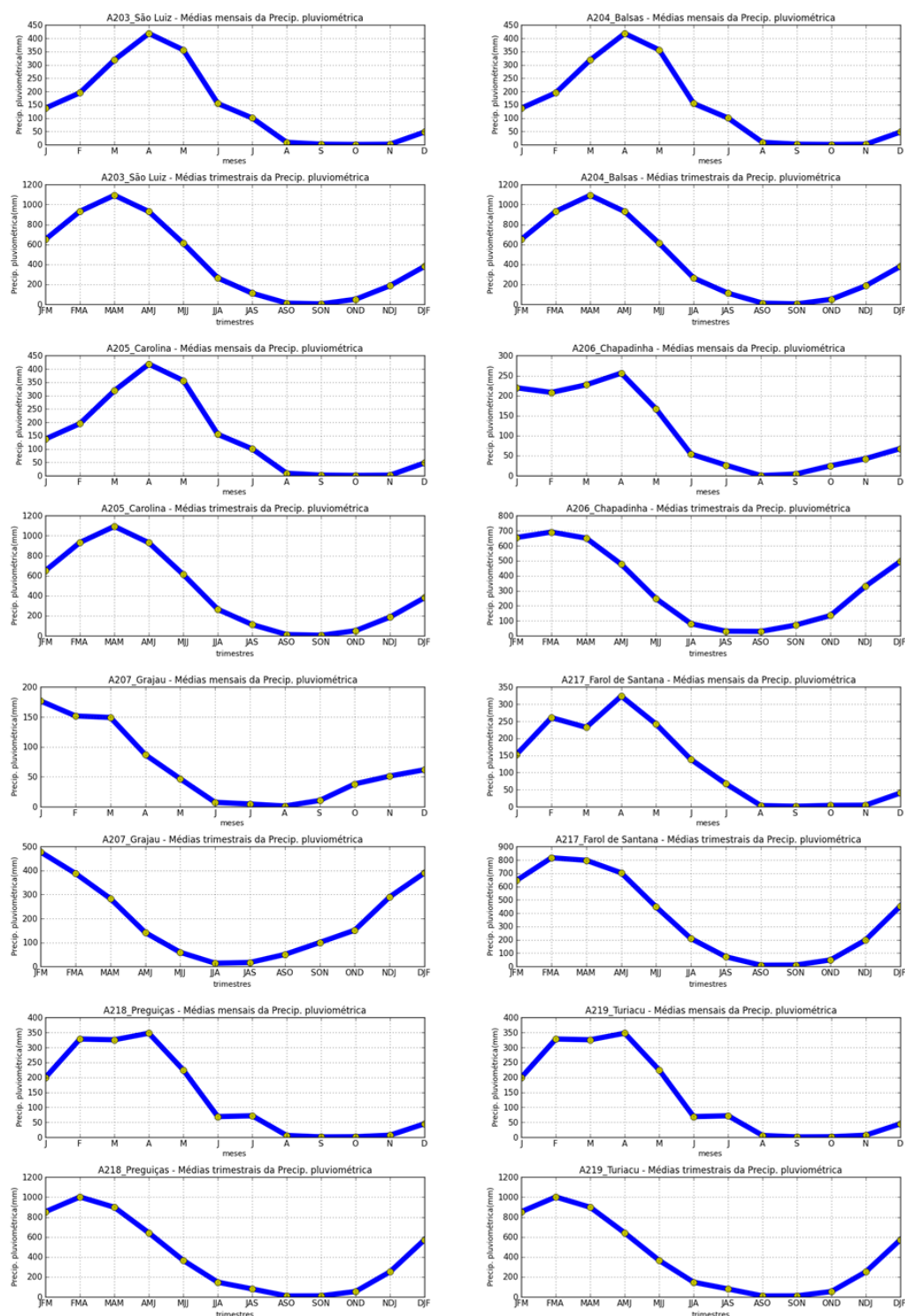


Figura 2: Índice pluviométrico anual e trimestral, estações pluviométricas do Maranhão A203 a A219.

Fonte: Elaborado pela autora.

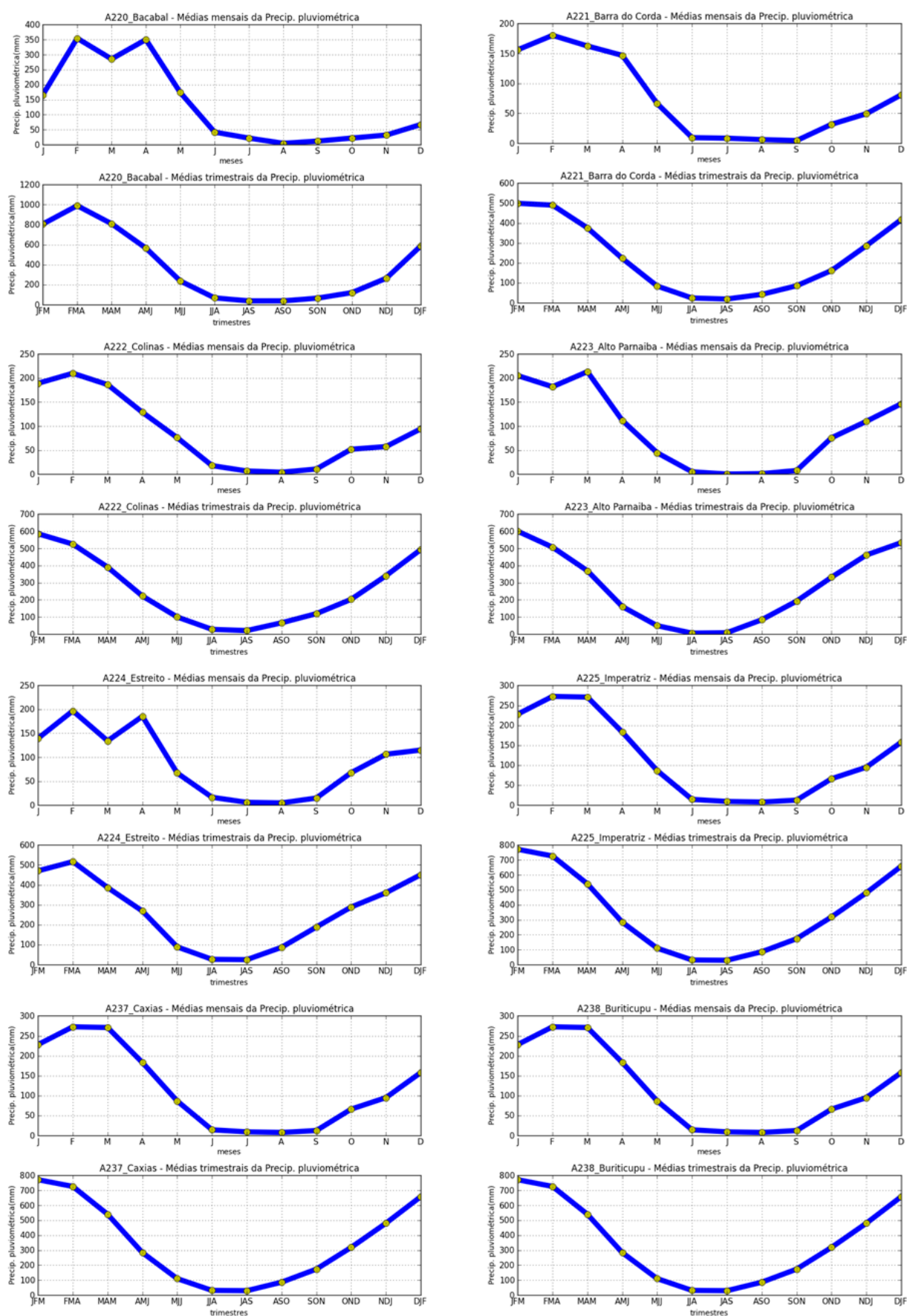


Figura 3: Índice pluviométrico anual e trimestral, estações pluviométricas do Maranhão A220 a A238.

Fonte: Elaborado pela autora.

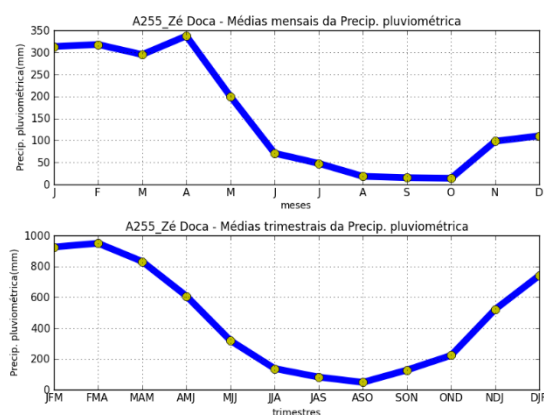


Figura 4: Índice pluviométrico anual e trimestral, estação pluviométrica do Maranhão A255.

Fonte: Elaborado pela autora.

Souza e Silva (2022), ao estudarem o médio curso da bacia hidrográfica do rio Itapecuru, entre as cidades Colinas e Caxias, relataram que a área se encontra na zona de transição climática, (dos semiáridos do Nordeste para os úmidos equatoriais da Amazônia). Os maiores índices pluviométricos ocorrem entre os meses de outubro a abril, enquanto as menores ocorrências acontecem de julho a setembro, com precipitação anuais que variam entre 1.200 a 1.400mm.

A área de estudo, conforme a classificação climática de Nimer (IBGE, 2021), corresponde à Zona Tropical Equatorial. A umidade caracteriza-se como semiárida, com a distribuição da umidade abrangendo seis meses secos, sendo os demais meses úmidos. A temperatura mantém-se em quente-médio, com valores superiores a 18°C em todos os meses (Tabela 1).

Tabela 1: Descrição do clima segundo a classificação de NIMER.

Descrição climática segundo Nimer (IBGEb, 2021)	
Zona	Zona Tropical Equatorial
Umidade	Semiárido
Distribuição da umidade	Seis meses secos
Temperatura	Quente – média > 18°C em todos os meses
Descrição completa	Zona Tropical Equatorial, quente – média > 18°C em todos os meses, semiárido seis meses secos

Fonte: IBGEb (2021).

Terassi e Tommaselli (2016, p.884) ressaltam que o método de Nimer “classifica o clima de forma quantitativa, utilizando-se da temperatura e precipitação, e qualitativamente, por considerar a quantidade de meses secos (distribuição da pluviosidade) e a circulação atmosférica”.

Os dados obtidos no mapeamento demonstram que a área de estudo comporta-se

abrange duas zonas pluviais; ao sul, o índice pluviométrico variou de 870 a 940 mm, enquanto, majoritariamente, no restante da área de estudo, os valores apresentaram variação de 950 a 1.100 mm, com um acréscimo gradativo de 150 mm da porção central a norte (Figura 5).

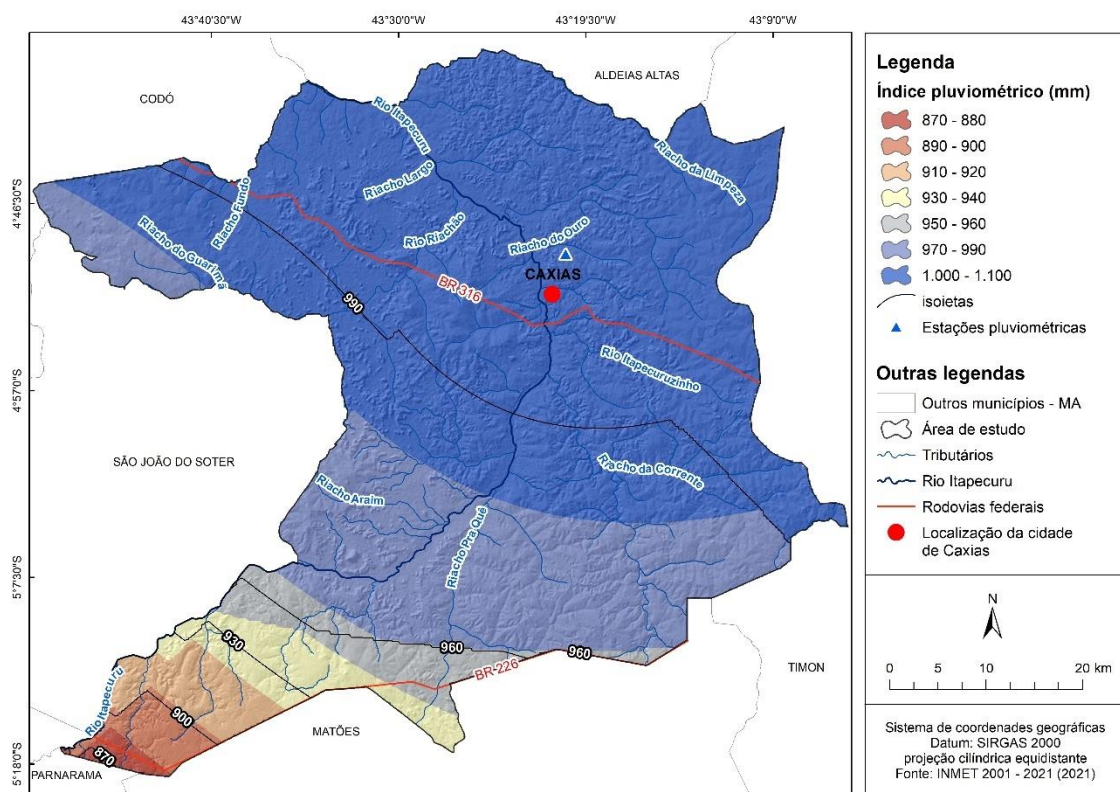


Figura 5: Distribuição espacial da precipitação no médio curso do rio Itapecuru Caxias (MA), entre 2001 - 2021.

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

O clima é um dos mais importantes fatores que influenciam na formação dos solos. Estudar as variabilidades climáticas é essencial para a avaliação ecológica, ambiental e das potencialidades agrícolas para uma determinada região (Silva, 2020). Portanto, é de suma importância compreender essas variabilidades climáticas para uma avaliação abrangente das características e potenciais ambientais, ecológicos e agrícolas da região. O clima desempenha um papel crucial na formação dos solos e na determinação das condições de vida das comunidades locais, ressaltando a necessidade de pesquisas contínuas sobre sua dinâmica e influência.

3.1.2 Aspectos geológicos

O estado do Maranhão se caracteriza por apresentar distintas formações geológicas, sustentadas por rochas ígneas e metamórficas pré-cambrianas, com relevos

compostos por baixas superfícies de aplainamento, intercaladas com extensas planícies fluviomarinhas, baixos platôs e chapadas.

O município de Caxias está localizado no domínio da bacia sedimentar fanerozoica (Bacia Sedimentar do Parnaíba). As unidades mapeadas, segundo o CPRM (2013), incluem sete unidades presentes na área de estudo, sendo elas: Formação Corda, Formação Motuca, Formação Sardinha, Grupo Balsas, Grupo Barreiras e Grupo Itapecuru, Depósitos Aluvionares e Unidade Sedimentos Pós-Barreira (Figura 6).

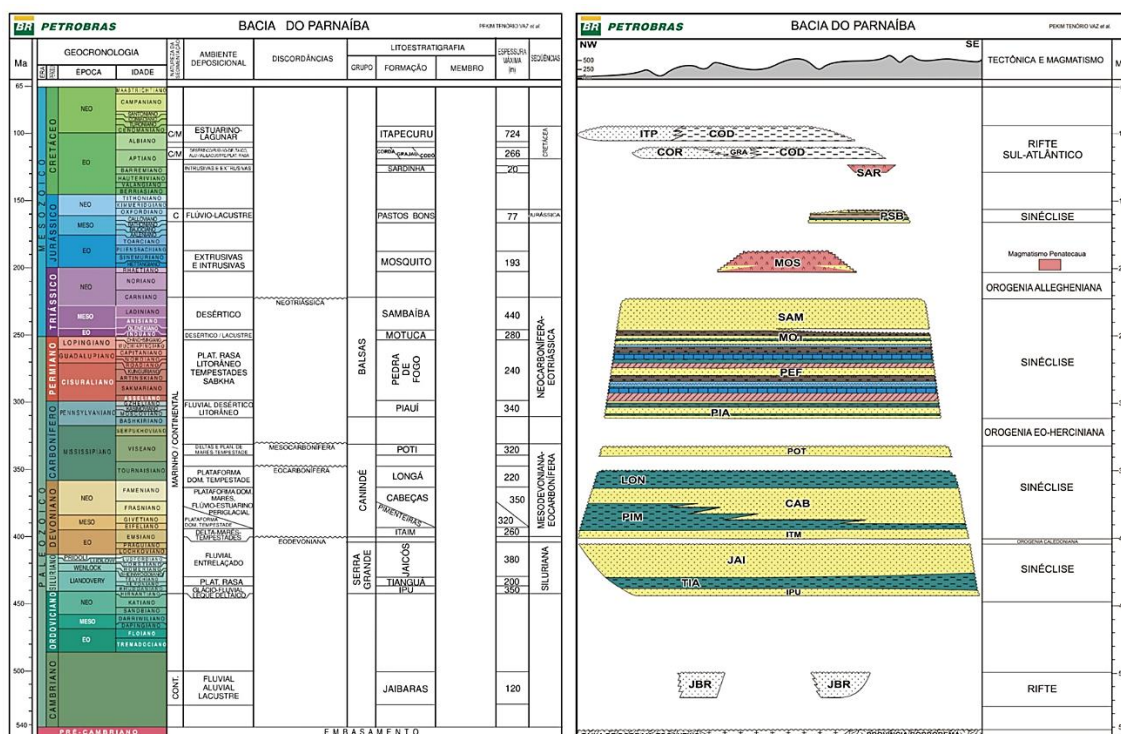


Figura 6: Coluna litoestratigráfica da Bacia do Parnaíba.

Fonte: Vaz et al. (2007), Silva et al. (2020).

Segundo Silva (2020), a Bacia Sedimentar do Parnaíba é constituída por cinco grandes sequências sedimentares, sendo elas: Siluriana (Grupo Serra Grande); Mesodevoniana-Eocarbonífera, corresponde ao (Grupo Canindé); Neocarbonífera-Eotriássica (Grupo Balsas); Jurássica-Eocretácea, referentes às formações Pastos Bons e Corda e cretácea, equivalente às formações Grajaú, Codó, Ipixuna e Grupo Itapecuru. Essas sequências sedimentares são compostas por formações alternadas ou separadas. Estão presentes, também, rochas básicas toleíticas triássico-jurássicas da Formação Mosquito e cretáceas da Formação Sardinha (Figura 7).

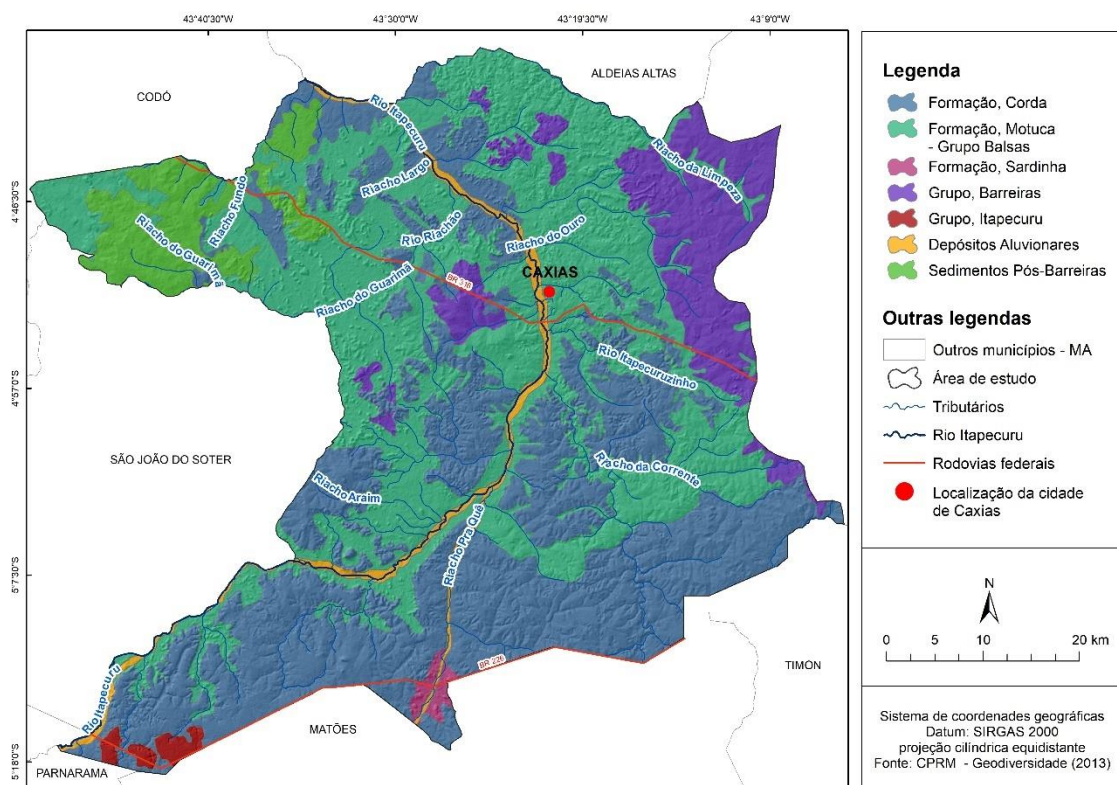


Figura 7: Unidades geológicas da área em estudo.

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Estudos realizados por Paraense (2017) sobre a bacia do Parnaíba e sua evolução Paleozoica revelaram que a bacia sedimentar abrange uma área de 665.888 km² e possui 3.500 m de espessura, sendo distribuída entre os estados do Piauí, Maranhão, Pará, Tocantins, Bahia e Ceará. Segundo Vaz *et al.*, (2007), ela se desenvolveu sobre um embasamento continental “durante o Estádio de estabilização da Plataforma Sul-Americana”. Conforme o autor, a bacia mencionada foi e “continua sendo objeto de estudos sedimentológicos, estratigráficos, geofísicos e de recursos minerais e energéticos”.

Portanto, a rede de drenagem do rio Itapecuru, que corta o município de Caxias, é totalmente influenciada pela geologia presente na área de estudo, impactando a morfologia dos canais fluviais. Apresenta uma morfologia mista, com leito-misto rochoso aluvial.

A área de estudo compreende três formações: Corda, Motuca (pertencente ao grupo Balsas) e Sardinha. E dois grupos, quais sejam: Barreiras e Itapecuru. Os demais componentes são os Depósitos Aluvionares e Unidade Sedimentos Pós-Barreira (Tabela 2).

Tabela 2: Unidades Geológicas do município de Caxias, MA.

Unidades Geológicas	Área (km²)	Porcentagem (%)
Formação Motuca – Grupo Balsas	1.430,31	41,70
Formação Corda	1.352,59	39,44
Grupo Barreiras	326,41	9,52
Unidade Sedimentos Pós-Barreiras	193,05	5,63
Depósitos Aluvionares	85,34	2,49
Grupo Itapecuru	24,06	0,70
Formação Sardinha	17,89	0,52
Total	3.429,65	100,00

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Conforme o Dicionário Geológico-Geomorfológico, os grupos constituem uma divisão estratigráfica da coluna geológica. O que denominamos de formação corresponde a um conjunto de rochas ou de minerais que possuem características semelhantes, seja por composição, origem seja por idade. Por fim, os depósitos aluvionares são constituídos por acúmulo de sedimentos ou detritos clásticos de qualquer natureza transportados pelos rios (Guerra, 1993).

3.1.2.1 Formação Corda

A Formação Corda ocupa 39,44% da área e é composta por arenito, argilito, folhelho e siltito argiloso. Corresponde aos sedimentos do domínio das coberturas sedimentares e vulcanos sedimentares mesozoicas e paleozoicas, pouco a moderadamente consolidadas, associadas a grandes e profundas bacias sedimentares do tipo sinéclise, em ambientes deposicionais: continental, marinho e desértico. Não apresenta deformações tectônicas e sua textura é predominantemente arenosa.

Esa unidade corresponde às rochas da era mesozoica, que surgiram com a fragmentação do supercontinente Pangeia, quando ocorreu um grande evento tectonomagmático, responsável pela separação atual dos continentes e pela fragmentação da África e América do Sul. Esse episódio ocasionou magmatismo e deposição de outra sequência de rochas na Bacia Sedimentar do Parnaíba. Portanto, a Formação Corda é composta por arenitos depositados em sistema desértico, com colaboração lacustre interdunas e fluvial. Esses arenitos apresentam idades que variam entre de 161 a 125 Ma (CPRM, 2013) (Figura 8).



Figura 8: Arenitos da formação Corda, porção central do estado do Maranhão.

Fonte: Silva (2020); Fotografia: Elem Cristina dos Santos Lopes.

3.1.2.2 Formação Motuca – Grupo Balsas

Essa formação ocupa 41,70% da área e é composta por rochas como arenito, argilito, siltito, calcário e evaporito, classificadas como rochas sedimentares, também pertencentes ao domínio das coberturas sedimentares e vulcanos sedimentares mesozoicas e paleozoicas. São pouco a moderadamente consolidadas, associadas a grandes e profundas bacias sedimentares do tipo sinéclise (ambientes deposicionais: continental, marinho e desértico). Não apresenta deformações tectônicas e possui textura variável de arenoso a argilo-siltosa.

Estudos realizados por Ribeiro, Melo e Verissimo (1998, p. 42) ressaltam que a formação Motuca “inicialmente foi determinada por Plummer (1946), e que ela contém pelitos de cor vermelho-tijolo, apresenta estratificação plano-paralela, apresentando bancos tabulares de arenitos cinza-esbranquiçados e calcários com nódulos de gipsita fibrosa, de aspecto mosqueado”.

Os Integrantes litológicos dessa formação, devido à falta de estruturas indicativas de águas rasas e agitadas, podem ser explicados como depósitos de tração e suspensão, denominados lacustrinos, relacionados a poucos pulsos litorâneos em um sistema desértico. “A fase evaporítica continental condicionou a geração dos calcários Motuca [...]. O clima na época da deposição deve ter sido fortemente oxidante, tendo em

vista a predominância de sedimentos vermelhos ferruginosos” (Ribeiro; Melo; Verissimo, 1998, p. 42) (Figura 9).



Figura 9: Pelitos da Formação Motuca, porções centro-sul e sudeste-este do estado do Maranhão.

Fonte: Silva *et al.* (2020); Fotografia: Elem Cristina dos Santos Lopes

3.1.2.3 Formação Sardinha

A Formação Sardinha configura-se em 0,52% da área de estudo, sendo composta por basalto e gabro, rochas de origem ígnea fissural do tipo platô. Não apresenta deformações tectônicas e possui textura predominantemente argilosa (Figura 10).



Figura 10: Basaltos da Formação Sardinha, a sudoeste da cidade de Barra do Corda e sudeste de Grajaú – MA.

Fonte: Silva *et al.* (2020). Fotografia: Elem Cristina dos Santos Lopes.

Segundo Ribeiro, Melo e Verissimo (1998), essa formação foi designada por Aguiar (*op. cit.*) para determinar os basaltos. O autor posicionou estratigraficamente essa

unidade acima da formação Corda e abaixo da formação Itapecuru. Góes, Travassos e Nunes (1993) destacam que a Formação Sardinha corresponde às rochas da era mesozoica. Portanto, segundo o CPRM (2013), a Formação Sardinha é composta por corpos de diabásio (rocha vulcânica), originados entre 150 a 110 Ma (Cretáceo Superior).

3.1.2.4 Grupo Barreiras

O grupo Barreiras ocupa 9,52% da área e apresenta, em sua litologia, rochas como biocalcirrudito, margas, calcilutitos e biohermitos, arenitos, arenitos friáveis e, localmente, conglomerados. Essas rochas são classificadas dentro da classe sedimentar, pertencentes ao domínio dos sedimentos cenozoicos, pouco a moderadamente consolidados, associados a tabuleiros. Não apresenta deformações tectônicas e sua textura caracteriza-se por ser variável de arenoso a argilo-siltoso.

Segundo o RADAMBRASIL (1973), a datação do grupo Barreiras corresponde aos períodos Paleógeno e Neógeno. São constituídos por sedimentos elásticos mal selecionados, variando entre siltitos a conglomerados. Suas cores predominantes são o amarelo e o vermelho, embora possam variar de um local para outro. Os arenitos, na sua grande maioria, são caulínicos com lentes de folhelho.

Estudos realizados por Arai (2006) destacam que, entre 23 e 11 Ma (Mioceno Inferior), ocorreu grande elevação do nível do mar, fenômeno que favoreceu a deposição de sedimentos responsáveis pela formação das rochas do grupo Barreiras, compostas por arenitos com grandes intercalações de folhelhos de origem fluvial, estuarina e marinha (Geodiversidade). A Figura 6 representa o processo de evolução tectonossedimentar, que corresponde às rochas encontradas no grupo Barreiras (Figura 11).

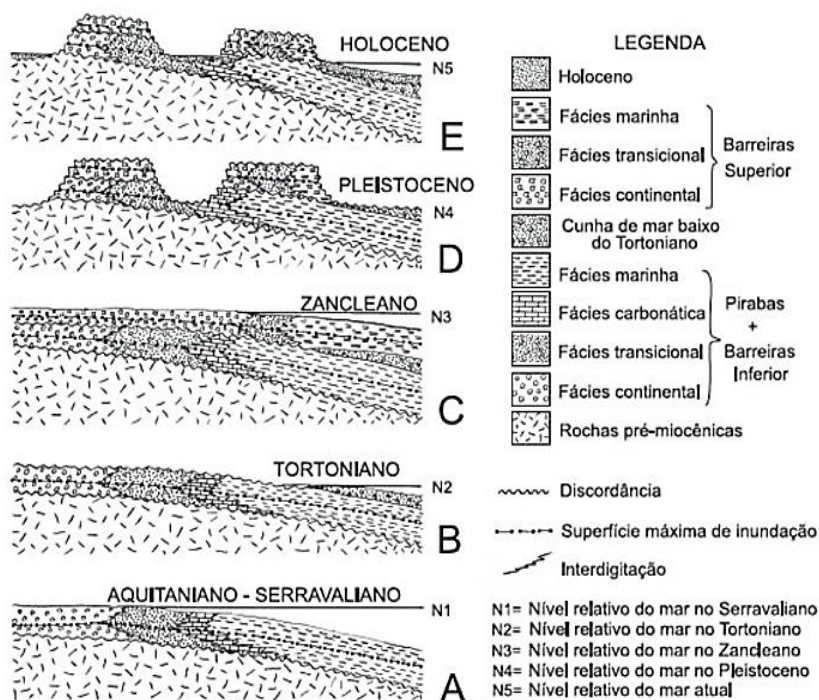


Figura 11: Evolução tectonossedimentar do grupo Barreiras.

Fonte: Arai (2006); CPRM (2013).

3.1.2.5 Grupo Itapecuru

O grupo Itapecuru ocupa 0,70% da área de estudo. As rochas que correspondem a esse grupo são compostas por conglomerado, arenito, arenito arcoseano, argilito, folhelho, e siltito, de origem sedimentar pertencentes ao domínio das coberturas sedimentares e vulcanossedimentares mesozoicas e paleozoicas. Essas rochas são pouco a moderadamente consolidadas, associadas a grandes e profundas bacias sedimentares do tipo sinéclise, com ambientes deposicionais: continental, marinho e desértico. Não apresentam deformações tectônicas e possuem textura variável, que vai de arenosa a argilo-siltosa (CPRM, 2013).

Ribeiro, Melo e Verissimo (1998, p.46) afirmam que a formação Itapecuru apresenta “pequenas exposições aflorantes, geralmente associadas a baixadas fluviais com relevo plano-ondulado, em faixas de domínio da unidade morfoestrutural Pediplano Central do Maranhão”.

Segundo RADAMBRASIL (1973), tais formações são compostas por arenitos de diversas cores, com predominância do cinza, róseo e vermelho, de granulação fina e composição argilosa. Apresentam estratificações cruzadas e silicificações, principalmente no topo. Alternam-se com leitos de siltitos e folhelhos de tonalidades cinza esverdeadas e avermelhadas. Em algumas áreas, observam-se conglomerados basais,

contendo seixos de basalto alterado.

O grupo Itapecuru possui idade que varia entre 90 e 93 Ma (Cretáceo Superior). Corresponde às rochas da era Mesozoica e pertence a um conjunto de formações constituídas por diferentes tipos de rochas, como arenitos, argilitos, siltitos, folhelhos alternados com arenitos, que foram depositados em diferentes ambientes, como fluvial, deltaico e lagunar, conforme (CPRM, 2013) (Figura 9).

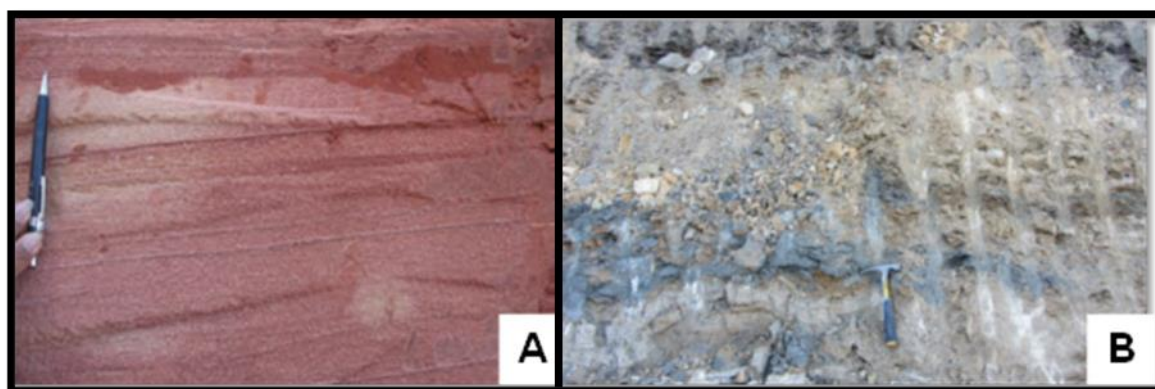


Figura 12: A – Fotografia de arenitos estratificados Itapecuru; B – Ritmitos do grupo Itapecuru.

Fonte: CPRM (2013); Silva *et al.* (2020).

3.1.2.6 Depósitos aluvionares

Os depósitos aluvionares correspondem a 2,49% da área. São formados pelos sedimentos como areia, cascalho, argila e silte, com origens relacionadas às rochas sedimentares, pertencentes ao domínio dos sedimentos cenozoicos inconsolidados ou pouco consolidados, depositados em meio aquoso, não apresentando deformações tectônicas (CPRM, 2013).

Em campo foi observada a ocorrência de afloramentos rochosos nas margens do canal fluvial, predominantemente compostos por arenitos em formatos de blocos ou lajeados (termo regional), com grandes blocos de superfícies planas.

Segundo dados do CPRM (2013), os depósitos aluvionares são compostos por areias e argilas que são transportadas e depositadas por rios e igarapés ao longo do canal e da planície, desde os últimos 10 mil anos.

Para estudos realizados no Maranhão, Silva (2020) destaca que os depósitos aluvionares são formados por sedimentos clásticos inconsolidados atuais (holocênicos), correlacionados às planícies aluvionares atuais dos rios maiores, como o rio Itapecuru, presente na área de estudo, e dos pequenos igarapés. Sua origem é estritamente fluvial, sendo compostos por sedimentos clásticos arenosos e argilosos inconsolidados, com poucos níveis de cascalho e matéria orgânica (Figura 13).



Figura 13: Depósitos Aluvionares do rio Itapecuru.

Fonte: Fotografado pela autora (2021).

3.1.2.7 Unidade sedimentos Pós-Barreiras

A unidade Sedimentos Pós-Barreiras corresponde a 5,63% da área. É composta exclusivamente por sedimentos do tipo areia e argila. Suas rochas são de origem sedimentar e pertencem ao domínio dos sedimentos cenozoicos inconsolidados ou pouco consolidados, depositados em meio aquoso. Apresenta, também, ausência de deformações tectônicas.

Estudos realizados por Klein e Sousa (2012) registraram como Sedimentos Pós-Barreiras os depósitos que cobrem de forma desigual o Grupo Barreiras e apresentam horizontes de perfis das Coberturas Lateríticas Imaturas. São compostos por areias de coloração amarelada e marrom, com dimensão média em torno de 2 a 5 m, bem selecionadas, com granulometria fina a média, principalmente maciças.

Os autores relatam que, até o momento, não há datação para essa unidade no estado do Maranhão. No entanto, indicam que a deposição dos sedimentos Pós-Barreiras ocorreu no final do Pleistoceno até o Holoceno Médio a Tardio (Silva, 2020) (Figura 14).



Figura 14: Imagem da Unidade Sedimentos-Pós Barreira, abrange as porções noroeste e centro-leste do estado do Maranhão.

Fonte: Silva *et al.* (2020).

Sousa e Silva (2022, p.67), ao estudarem as características geológicas, geomorfológicas, pedológicas e a densidade de drenagem no médio curso do rio Itapecuru, relataram que a região “possui expressiva disponibilidade hídrica superficial na bacia. As densidades de drenagem muito alta e alta concentram-se no sul e oeste do médio curso, sendo influenciadas pelas formações geológicas, destacando-se as seguintes rochas: diabásio, siltitos, folhelhos, calcários, silexitos, basaltos e argilitos, siltitos”.

3.1.3 Ocorrências de aquíferos

Segundo CPRM (2013), é considerada aquífera a formação geológica que tem capacidade de armazenar e transmitir água. Na área de estudo, foram mapeados três aquíferos: o Corda, com uma área de 1.893 km², o Motuca, com 1.515,59 km² e o Fraturado Centro-Sul, com uma menor abrangência, 20,65 km² (Figura 15).

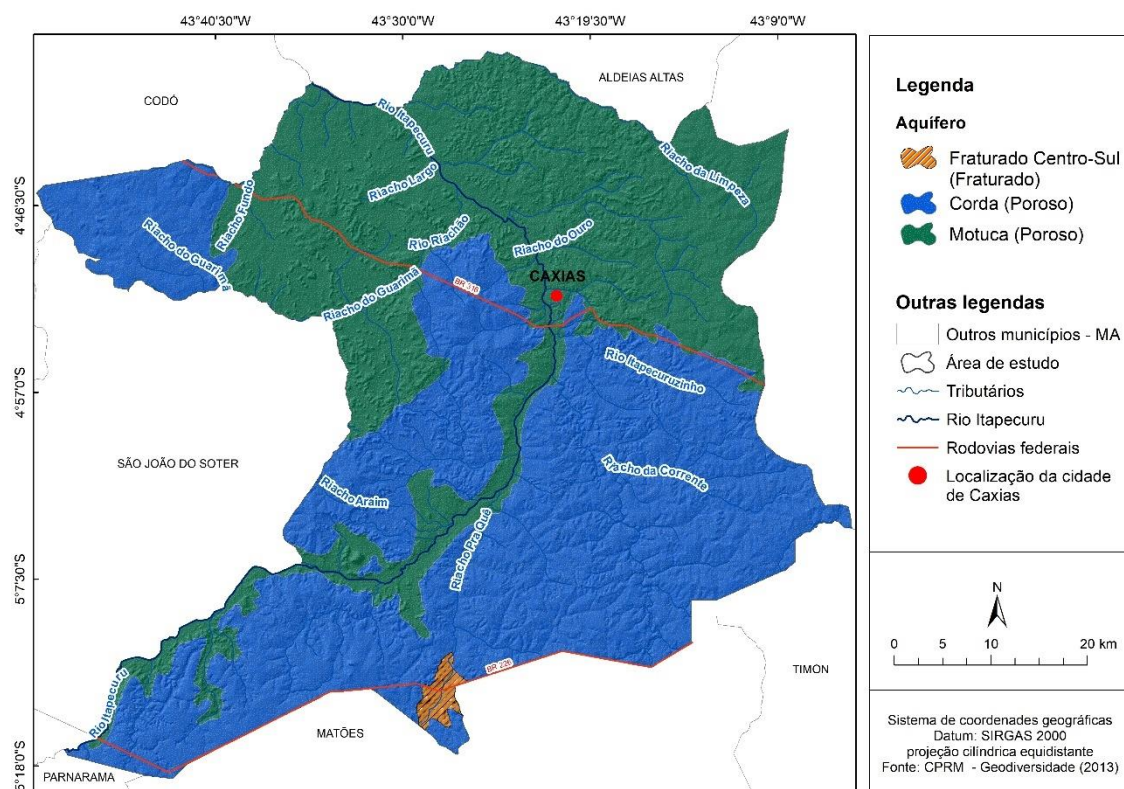


Figura 15: Aquíferos presentes na área de estudo.

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Tabela 3: Classificação dos sistemas de aquíferos.

Aquíferos presentes na área de estudo				
Aquíferos	Sistema	Área (km ²)	Perímetro (km)	Porcentagem (%)
Corda	Poroso	1.893,41	521,61	55,21
Motuca	Poroso	1.515,59	486,94	44,19
Fraturado Centro-Sul	Fraturado	20,65	27,04	0,60
Total		3.429,65	1.035,59	100,00

Fonte: Elaboração pela autora (2023).

O aquífero Corda corresponde a 55,21% da área de pesquisa. É considerado um aquífero poroso, podendo ser livre ou confinado, e constitui-se, litologicamente por arenitos finos a médios, quartzosos, com níveis argilosos e com eventuais leitos de siltitos e folhelhos. É classificado como tendo um potencial hidrogeológico de fraco a médio, devido à sua litologia, que apresenta uma permeabilidade regular (CPRM, 2013).

O segundo aquífero de maior abrangência na área de estudo é o Motuca, presente em 44,19% da área. “Apresenta um potencial hidrogeológico de muito fraco a fraco, em

função de sua constituição litológica com predominância de arenitos argilosos, argilitos e siltitos” (CPRM, 2013, p. 36).

A formação Motuca apresenta textura variável, que vai de arenosa a argilo-siltosa. O pacote geológico presente pode influenciar na quantidade de água no lençol freático. A oscilação do lençol freático pode depender da variabilidade da precipitação entre outros fatores.

O aquífero fraturado Centro-Sul corresponde a 0,60% da área. Acerca desse ambiente, Silva (2015, p. 37) afirma que “a presença de fluxo das águas subterrâneas ocorre através das descontinuidades. Essas estruturas conferem porosidade secundária ao maciço rochoso, e graças à intersecção entre elas existe a comunicabilidade do aquífero”.

A compreensão sobre a participação dos aquíferos na área de estudo está relacionada à capacidade de captação das águas pluviais para o sistema. Portanto, observa-se que, em toda a área de estudo, há contribuição para a recarga dos aquíferos, embora a captação seja média a fraca, devido principalmente ao sistema poroso das rochas. Essas águas subterrâneas contribuirão, ao longo do ano, para o abastecimento de diversos canais na bacia hidrográfica.

3.1.4 Declividade

O mapa de declividade revela que a área de estudo apresenta as seguintes classes de relevo: Plano, Suave Ondulado, Ondulado, Forte Ondulado, Montanhoso e Escarpado. A classe de maior abrangência corresponde ao relevo Suave Ondulado (declividade de 3-8%), com 41,88% da área, seguido pelo relevo Ondulado (8-20) com 33,95%, Plano (0-3) corresponde a 14,80%, Forte Ondulado (declividade de 8-20%), que ocupa 8,70%. O relevo Escarpado (declividade superior a 75%) representa apenas 0,03% da área de estudo (Figura 16 e Quadro 2).

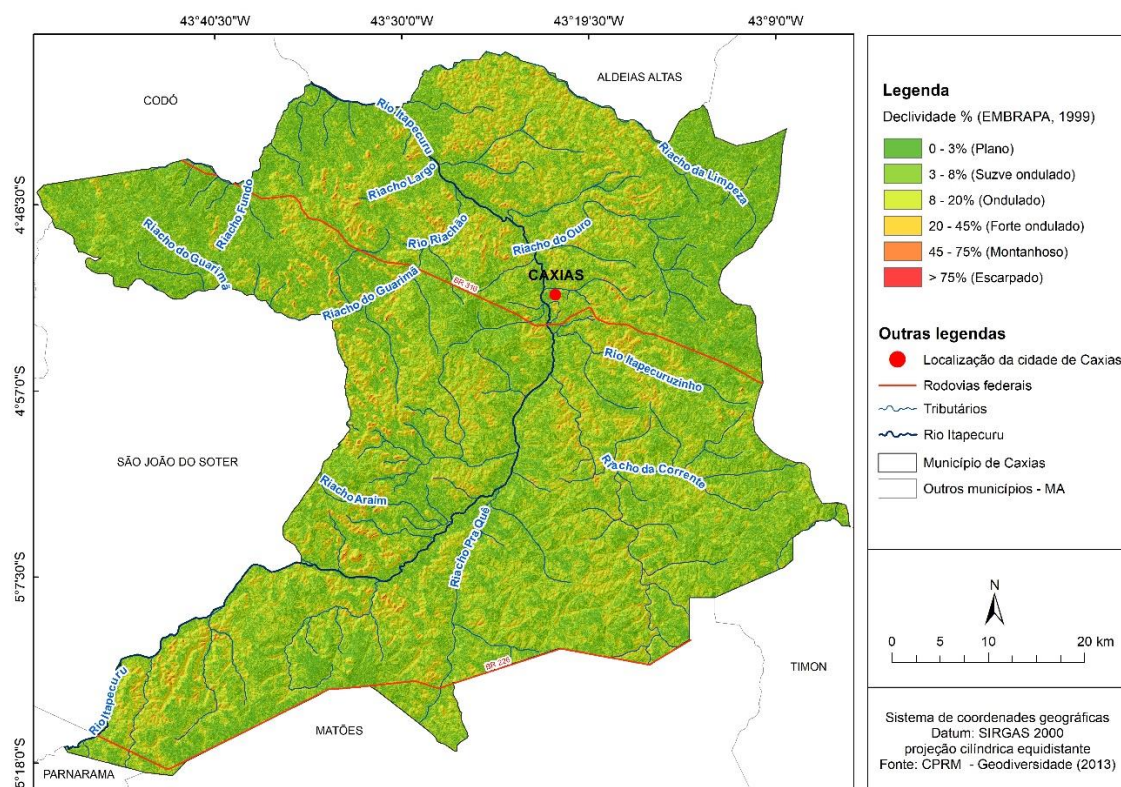


Figura 16: Mapa de declividade da área de estudo.

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Quadro 1: Declividade do relevo na área de estudo.

Declividade		
Declividade	Área (km ²)	Porcentagem (%)
0 – 3% Plano	507,75	14,80
3 – 8% Suave Ondulado	1.436,44	41,88
8 – 20% Ondulado	1.164,30	33,95
20 – 45% Forte Ondulado	298,39	8,70
45 – 75% Montanhoso	21,87	0,64
> 75% Escarpado	0,90	0,03
Total	3.429,65	100,00

Fonte: Elaboração pela autora (2023).

Souza *et al.* (2018, p. 102), ao estudarem a caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Ivaí, PR, destacaram que a declividade é um parâmetro fundamental para a análise das bacias hidrográficas. Segundo os autores, “áreas que apresentam declividade acentuada, apresentam acelerada concentração da água da chuva, o que influencia significativamente na ocorrência de picos de enchentes”.

Hadlich (2006, p. 5), ao realizar um estudo sobre as relações entre declividade e uso do solo, no município de Sombrio, concluiu há uma conexão significativa entre esses

dois fatores, evidenciando como as ações do homem influenciam e dependem do meio físico ocupado. O autor “constatou que “a maior parte da bacia hidrográfica estudada, 77% da área, encontra-se sem conflito de uso do solo quanto à declividade, sendo necessárias, práticas adequadas de conservação e manejo do solo”.

Silva Jr. e Fuckner (2010) destacaram, em seus estudos de modelo digital de elevação, que a topografia é um componente físico de grande relevância para os estudos ambientais e urbanos. Nos estudos urbanos, ela pode ser utilizada para identificar áreas propícias para a ocupação humana, bem como aquelas que apresentam risco de movimentos de massa.

3.1.3 Aspectos geomorfológicos

As unidades geomorfológicas Patamar de Caxias, Planalto Dissecado do Itapecuru e Tabuleiros do Médio Itapecuru correspondem ao domínio das Bacias e Coberturas Sedimentares, localizadas na região de Baixo Planalto e Tabuleiros do Médio Rio Itapecuru. As unidades Planícies e Terraços Fluviais pertencem ao domínio dos Depósitos Sedimentares do Quaternário, presentes regionalmente em Formas Agradacionais Atuais e Subatuais Interioranas.

Segundo o CPRM (2013), as superfícies tabulares das bacias dos rios Itapecuru e Munim têm por base arenitos cretáceos das formações Corda e Itapecuru, cobertas por coberturas detrítico-lateríticas. “Esse domínio está representado por extenso planalto alçado em altitudes modestas e submetido a processo diferencial de entalhamento e denudação, promovendo progressiva destruição da superfície tabular original” (CPRM, 2013 p. 46).

Büdel (1982) registra que a evolução do relevo para esse domínio é baseada em gradual desmantelamento de um baixo planalto, sendo sustentada por crostas detrítico-lateríticas sobrepostas a arenitos friáveis fortemente intemperizados e “pode ser perfeitamente explicado por processos de etchplanação em regiões tropicais úmidas e semiúmidas, conforme preconizado” (CPRM, 2013).

As figuras abaixo demonstram o modelo evolutivo do relevo do centro-leste do estado do Maranhão, entre as cidades de Caxias e Bacabal, apresentando evolução geomorfológica similar ao modelo geral formulado por Büdel (1982) (Figuras 17 e 18):

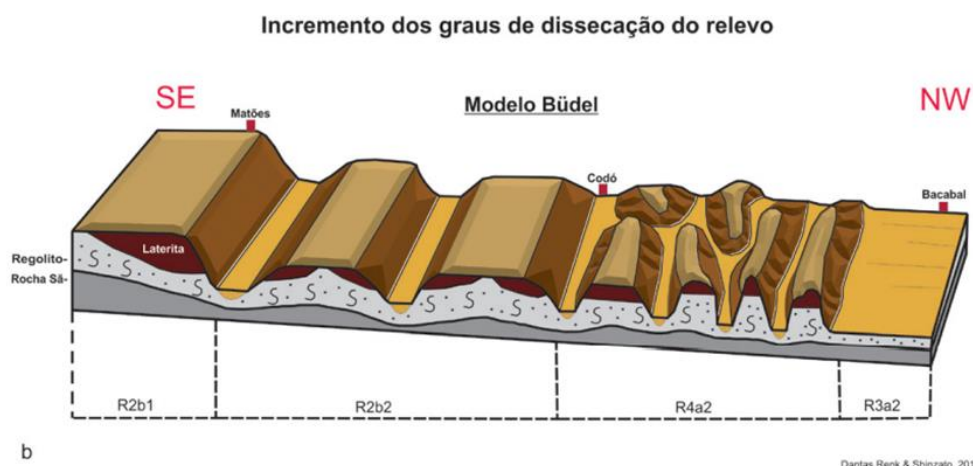


Figura 17: Unidades geomorfológicas (Modelo Büdel).

Fonte: CPRM (2013).

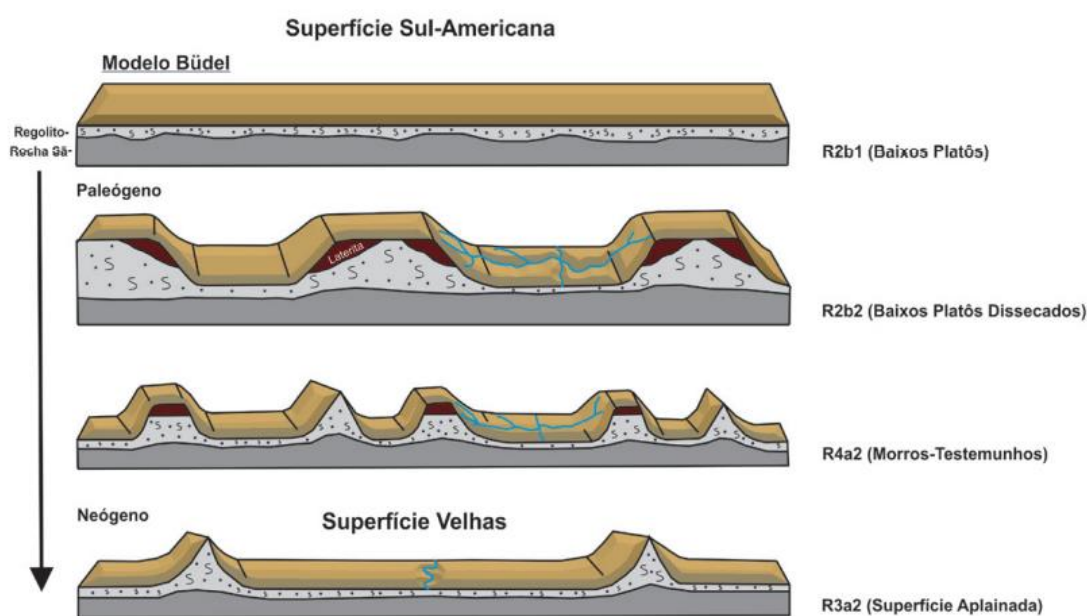


Figura 18: Unidades geomorfológicas (Superfície Sul-Americana).

Fonte: CPRM (2013).

Os dados referentes à geomorfologia apresentados na Folha de Caxias (SB.23-X-B) indicam que as feições morfológicas da região estão diretamente relacionadas aos fatores paleoclimáticos e litológicos regionais. Na área de pesquisa, foram identificadas quatro unidades geomorfológicas, a saber: o Patamar de Caxias, com maior abrangência, ocupando 62,06% da área; Tabuleiros do Médio Itapecuru, que compreende 36%; o Planalto Dissecado do Itapecuru, com 0,50%; e as Planícies e Terraços Fluviais, que correspondem a 1,13% da área, conforme demonstrado na Figura 19 e na Tabela 4.

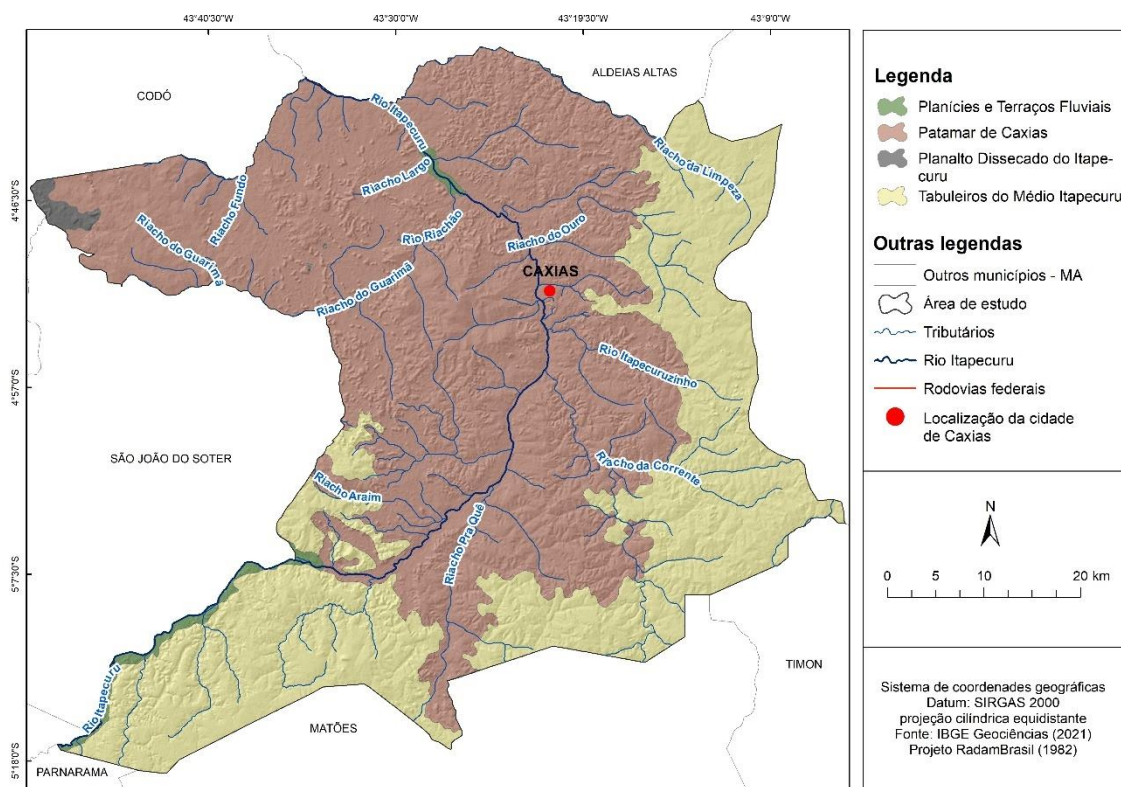


Figura 19: Mapa de Geomorfologia do município de Caxias – MA.

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Tabela 4: Unidades Geomorfológicas do município de Caxias, MA.

Unidades Geomorfológicas	Área (km ²)	Porcentagem (%)
Patamar de Caxias	2.128,36	62,06
Tabuleiros do Médio Itapecuru	1.244,98	36,30
Planícies e Terraços Fluviais.	38,67	1,13
Planalto Dissecado do Itapecuru	17,14	0,50
Total	3.429,65	100,00

Fonte: Elaboração pela autora (2023).

3.1.3.1 Patamar de Caxias

A unidade Patamar de Caxias é a maior, ocupando 62,06% da área. Corresponde aos domínios das Bacias e Coberturas Sedimentares Fanerozoicas, situadas na região do Baixo Planalto e Tabuleiros do Médio Rio Itapecuru. Apresenta categoria homogênea e tabular, de natureza dissecada, com características tanto homogêneas quanto diferenciais; sua forma corresponde a topos tabulares (IBGEc, 2009).

3.1.3.2 Tabuleiros do médio Itapecuru

A unidade Tabuleiro do Médio Itapecuru ocupa 36,30% da área. Corresponde ao

Domínio das Bacias e Coberturas Sedimentares Fanerozoicas, região do Baixo Planalto e Tabulares do Médio Rio Itapecuru. Corresponde às categorias homogêneas convexas de natureza dissecada, com características homogêneas ou diferenciais; sua forma corresponde a topos convexos (IBGEc, 2009).

3.1.3.3 Planalto Dissecado do Itapecuru

A unidade Planalto Dissecado do Itapecuru ocupa apenas 0,50% da área. Corresponde ao domínio das Bacias e Coberturas Sedimentares Fanerozoicas, localizada na região de Baixo Planalto e Tabuleiros do Médio Rio Itapecuru. Equivale à categoria dos Pediplano retocado desnudado, de natureza aplanamento e característica retocados desnudado com forma de pediplano (IBGEc, 2009).

3.1.3.4 Planícies e terraços fluviais

A unidade Planícies e Terraços Fluviais ocupa 1,13% da área de estudo. Corresponde ao domínio dos Depósitos Sedimentares do Quaternário, pertence a regiões de formas agradacionais atuais e subatuais interioranas. Sua categoria representa uma planície fluvial, com natureza de acumulação e característica fluvial cuja principal forma é a planície (IBGEc, 2009).

Autores como Barbosa e Novaes Pinto (1973) e Ross (1985) relataram, em seus estudos, que:

O relevo do estado do Maranhão é caracterizado por um conjunto de superfícies tabulares desdobradas, de forma complexa, em diferentes cotas altimétricas, alçadas por processo diferencial de soerguimento tectônico pós-cretácico da Bacia Sedimentar do Parnaíba e delineadas por ação de diferentes eventos de aplainamento regional (CPRM, 2013, p. 33).

Para Guerra e Guerra (2011 p.51), as forças geodinâmicas que atuam interna e externamente no planeta Terra interagem para formar diferentes topografias. “A integração da litosfera da atmosfera e hidrosfera formam uma variada paisagem única no sistema solar”. Portanto, há mais de quatro bilhões de anos, as forças endógenas e exógenas modelam a superfície do planeta em busca de equilíbrio.

3.1.4 Aspectos pedológicos

Na área de estudo, foram registradas cinco classes de solos, sendo elas: Plintossolo Pétrico Concrecionário (35,96%), com maior abrangência; Plintossolo

Argilúvico Distrófico (17,20%); Latossolo Amarelo Distrófico (31,03%); Argissolo Acinzentado Distrófico (9,07%) e Neossolo Quartzarônico Órtico, abrangendo 6,73% da área (Figura 20 e Tabela 5).

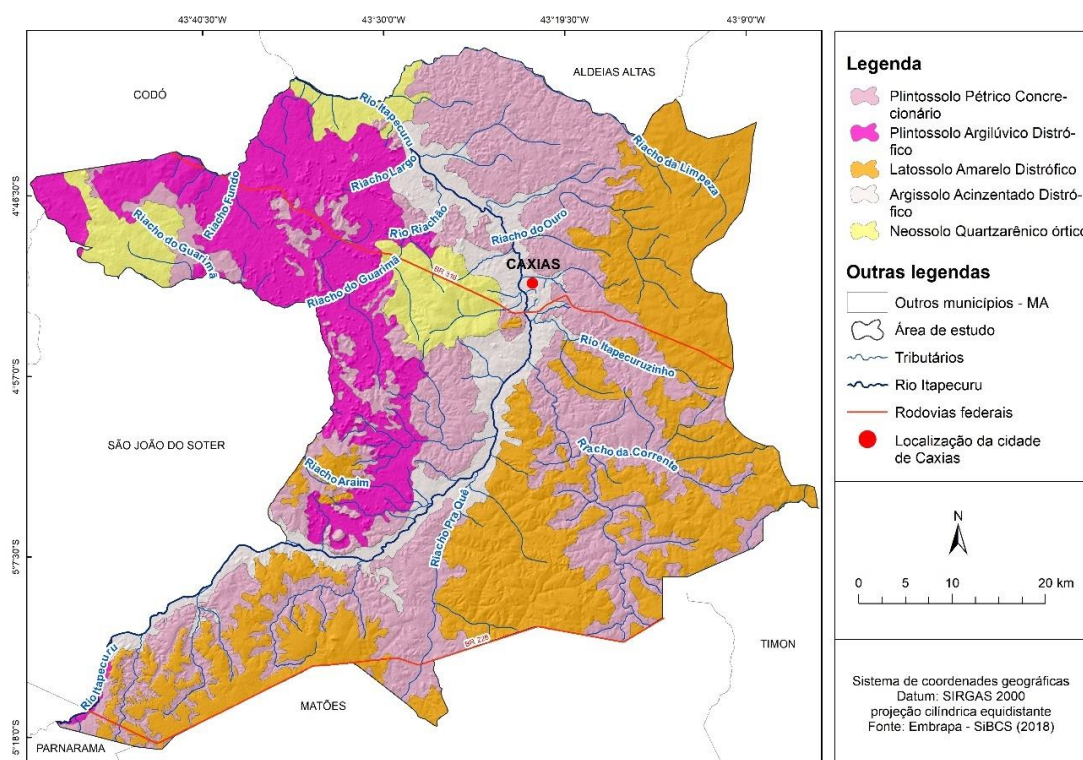


Figura 20: Solos do Município de Caxias – MA.

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Tabela 5: Unidades Solo do município de Caxias, MA.

Unidades Solo	Área (km ²)	Porcentagem (%)
Plintossolo Pétrico Concrecionário	1.233,42	35,96
Latossolo Amarelo Distrófico	1.064,11	31,03
Plintossolo Argilúvico Distrófico	589,95	17,20
Argissolo Acinzentado Distrófico	311,24	9,07
Neossolo Quartzarônico Órtico	230,93	6,73
Total	3.429,65	100,00

Fonte: Elaboração pela autora (2023).

3.1.4.1 Plintossolos Pétricos Concrecionários

O Plintossolo Pétrico Concrecionário, conforme o mapeamento, corresponde a 35,96% da área de pesquisa, ocorrendo com maior abrangência no município de Caxias, formado por material mineral, possuindo horizonte plíntico, litoplíntico ou concrecionário.

Moreira e Oliveira (2008) relatam em seus estudos que a origem desses solos está relacionada à desintegração e arraste de materiais pertencentes à Superfície de

Aplanamento Sul-Americana. Considerado muito comuns, são encontrados nas Regiões Central e Norte do Brasil, ocorrendo em áreas baixas e nas bordas das chapadas, formando solos distróficos e pobres em nutrientes.

Silva (2020), ao analisar um perfil do Plintossolos Pétrico no Maranhão, relata que a unidade litoestratigráfica à qual corresponde apresenta aspectos detrito-lateríticos da época pleistocênica, sobre material pelítico da Formação Itapecuru do período Cretáceo (Figura 21).



Figura 21: Plintossolo Pétrico Concrecionário.

Fonte: Silva *et al.* (2020).

A pedregosidade foi registrada como muito pedregosa, com cerca de 40% de calhaus. O relevo regional é classificado como suave ondulado, destacando que os Plintossolos Pétricos Concrecionários apresentam uma drenagem imperfeita e não são considerados rochosos. Nas observações de campo, os pesquisadores registraram presença de seixos rolados no perfil até cerca de 60 cm da superfície, indicando sua natureza coluvionar (Silva, 2020).

Segundo o SiBCS (2018), o Plintossolo Pétrico Concrecionário argissólico se inicia dentro de 40 cm da superfície ou, dentro de 200 cm da superfície, quando precedidos de horizonte glei ou logo abaixo do horizonte A, E; ainda, de outro horizonte que demonstre cores pálidas, variadas ou com abundante porção de mosqueado. Retratam horizonte B textural ou com caráter argilúvico dentro de 150 cm a partir da superfície, podendo coincidir ou não com o horizonte concrecionário.

3.1.4.2 Plintossolos Argilúvicos Distróficos

A classe Plintossolo Argilúvico Distrófico, conforme mapeamento, corresponde a 17,20% da área. O SiBCS (2018) conceitua essa classe como solos minerais, formados sob condições de limitação à percolação da água, suscetíveis ao excesso de umidade, com efeito temporário e excedente de umidade. De maneira geral, são solos imperfeitos ou mal drenados, caracterizando-se basicamente por apresentar intensa plintitização com ou sem petroplintita.

Anjos *et al.* (2007), ao estudarem as classes, caracterização e classificação de plintossolos no município de Pinheiro (MA), destacam que o arenito ferruginoso da Formação Itapecuru corresponde o material de origem, pertencente ao Cretáceo inferior ou a sedimentos do Quaternário coluviais e aluviais, depositados em áreas mais baixas da paisagem.

Segundo o SiBCS (2018), são solos com saturação por bases $< 50\%$ na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B e/ou C, (inclusive BA ou CA). Para Anjos *et al.* (2007), os Plintossolos predominam em praticamente todos os domínios com formas de relevo plano e suave ondulado. São solos considerados de moderadamente a bem drenados e que apresentam fertilidade natural, a qual pode variar conforme a acidez deposicional da Formação Itapecuru, conforme demonstrado na figura 22.



Figura 22: Perfil do solo: Plintossolos Argilúvicos Distróficos.

Fonte: Silva *et al.* (2020).

Conforme o relatório de Silva (2020), realizado no estado do Maranhão, ao descrever o perfil de solo MA-03, fez algumas observações relacionadas a esse solo: foi constatada a presença de poucos nódulos subarredondados de manganês no horizonte E.

Silva (2020, p. 239) questiona a identificação do material vermelho, com padrão reticulado, no horizonte Crf, se é verdadeiramente “plintita ou apenas um mosqueado resultante da segregação do ferro na própria rocha em decomposição”. Além disso, “o teste de dissolução dos nódulos em recipiente com água se desfez rapidamente”, indicando que possivelmente se trata de um mosqueado e não de plintita, como especificado pelo SiBCS.

3.1.4.3 Latossolos Amarelos Distróficos

Os Latossolos representam a classe com maior área de ocorrência em todo o estado do Maranhão, que corresponde a 35% do território. No município de Caxias, predomina a classe dos Latossolos Amarelos Distróficos, que corresponde a 31,03% da área de estudo, sendo a segunda mais prevalente. Segundo Silva (2020), esses solos são bem drenados e profundos, formados em relevo de baixos platôs e apoiados por coberturas detríticas de idade neógena.

Os Latossolos são aqueles formados por material mineral, com o horizonte B Latossólico, predominante, que se estende por toda a espessura do horizonte A, geralmente a partir de 200 cm de profundidade, ou até 300 cm quando o horizonte A ultrapassa 150 cm de espessura, conforme (SIBCS, 2018) (Figura 23).



Figura 23: Perfil de Latossolos Amarelos entre Timom e Caxias – MA.

Fonte: Silva *et al.* (2020).

Os Latossolos Amarelos Distróficos correspondem a 31,03% da área e são solos com saturação por bases inferior a 50% na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B, (inclusive BA). Sua característica é a de um solo bem drenado, com baixa fertilidade natural, argiloso, espesso e lixiviado, originado em clima equatorial úmido a subúmido. Segundo Silva (2020), esses solos são bem drenados e profundos, e foram produzidos em relevo de baixos platôs, sendo apoiados por coberturas detríticas de idade neógena.

Segundo Fontana *et al.* (2016), ao estudarem as características e atributos de Latossolos sob diferentes usos na região oeste do estado da Bahia, relataram que os Latossolos sob vegetação de cerrado apresentam horizonte subsuperficial adensado. Com o uso agrícola, esses solos podem se tornar ainda mais compactados, densos e superficiais.

3.1.4.4 Argissolo Acinzentado Distrófico

Segundo Silva (2020), a classe dos Argissolos é a segunda com maior ocorrência em todo o estado do Maranhão, equivalendo a 18% do território. Em Caxias, predomina

a classe de Argissolo Acinzentado Distrófico, que abrange 9,09% da área de estudo. Conforme o mapeamento, essa ocorrência está presente em todo o curso longitudinal do rio Itapecuru (Figura 24).



Figura 24: Perfil do solo: Argissolo Acinzentado Distrófico.

Fonte: SiBCS (2018).

Os Argissolos correspondem a solos com horizonte B, apresentando argila de baixa ou alta atividade, desde que associados ao baixo teor de alumínio, conforme figura acima (SiBCS, 2018).

A base desse solo apresenta evolução bastante desenvolvida, com atuação incompleta dos processos de fertilização, ou presença de vermiculita com hidróxi-Al nas camadas intermediárias, devido à agitação de argila na parte superior do solo, com concentração ou acúmulo em horizonte subsuperficial (SiBCS, 2018).

Conforme os critérios do SiBCS (2018) esse solo apresenta o desenvolvimento de horizonte diagnóstico B textural, em conjunto com atributos que indicam a baixa ou alta da atividade da fração argila, desde que associada a uma baixa saturação por bases ou à presença de caráter alumínico.

3.1.4.5 Neossolos Quartzarênicos Órticos

Os Neossolos Quartzarênicos Órticos correspondem a 6,73% da área de estudo. São solos com espessura inferior a 200 cm e não apresentam nenhum tipo de horizonte

B. São formados por material mineral ou material orgânico de baixa densidade, sem grandes variações em relação ao material de origem, devido à baixa ação dos processos pedogenéticos (SiBCS, 2018) (Figura 25).



Figura 25: Perfil do solo: Neossolos Quartzarênicos Órticos.

Fonte: SiBCS (2018).

No relatório CPRM (2013), denominado Geodiversidade do Maranhão, é destacado que os Neossolos Quartzarênicos Órticos predominam em superfícies aplainadas, formadas a partir dos atuais fundos de vales. São solos basicamente quartzosos, bastante profundos, com baixa adesão e coesão entre suas partículas, e apresentam baixo potencial de retenção de umidade e de nutrientes. Nessa área, ocorre vegetação caracterizada por florestas estacionais decíduas e cerrados, conforme demonstrado acima.

3.1.5 Vegetação

O estado do Maranhão possui três dos diferentes biomas brasileiros, sendo que 64,1% do seu território concentra o bioma Cerrado; 34,8% no bioma Amazônia e apenas 1,1% na Caatinga (Araújo, 2016), variedades que contribuem para uma diversidade paisagística:

Cerrado e suas diferentes fitofisionomias desde as mais abertas (campos) até matas fechadas; a Amazônia com vegetação característica de árvores altas, matas de várzeas nas planícies periodicamente inundadas e matas de igapó permanentemente inundadas; e uma pequena porção do bioma Caatinga, caracterizado pela presença de uma vegetação arbustiva com galhos retorcidos e com raízes profundas, e de cactos e bromélias (Araújo, 2016, p.11).

Conforme dados do IBGE (2021a), as formações de vegetação remanescente presentes na área de estudo são as seguintes: Floresta Estacional Semidecidual Submontana, que corresponde a 0,26% da área; Savana Arborizada sem floresta-de-galeria (1,68%); Savana Parque com floresta-de-galeria (24,69%); Savana Parque sem floresta-de-galeria (1,27%); Floresta Estacional Decidual Submontana (38,96%); Savana Florestada (4,96%); Vegetação Secundária com palmeiras (5,51%); e Ausência de vegetação remanescente, (22,69% da área) conforme apresentado na Figura 26 e Tabela 6.

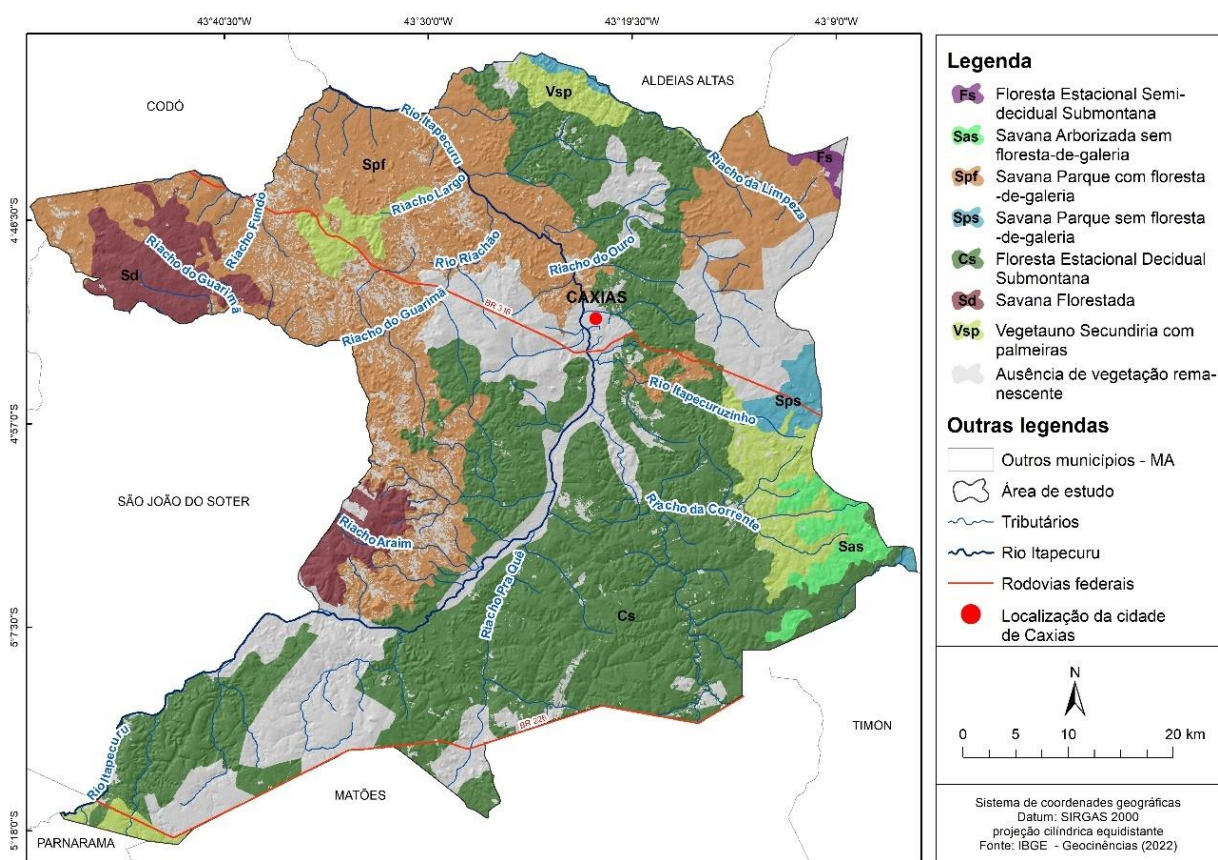


Figura 26: Mapa de vegetação remanescente da área de estudo.
Fonte: IBGEa (2021). Elaborado pela autora (2023).

Tabela 6: Quantificação da vegetação remanescente na área de estudo.

Vegetação remanescente	Área (km²)	Porcentagem (%)
Cs – Floresta Estacional Decidual Submontana	1.336,17	38,96
Spf – Savana Parque com floresta-de-galeria	846,68	24,69
Ausência de vegetação remanescente	778,03	22,69
Vsp – Vegetação Secundária com palmeiras	188,94	5,51
Sd – Savana Florestada	169,99	4,96
Sas – Savana Arborizada sem floresta-de-galeria	57,50	1,68
Sps – Savana Parque sem floresta-de-galeria	43,51	1,27
Fs – Floresta Estacional Semidecidual Submontana	8,83	0,26
Total	3.429,65	100,00

Fonte: Elaboração pela autora (2023).

3.1.5.1 Floresta Estacional Semidecidual Submontana

A Floresta Estacional Semidecidual Submontana corresponde a 0,26% da área de estudo. Trata-se de uma formação encontrada nas encostas e em planaltos centrais, associada a arenitos. Sua ocorrência também é observada no contato entre a Floresta Ombrófila e a Savana (Cerrado), em terrenos terciários, além de poder ocorrer intercalada com formações savânicas de uma forma isolada. Na área de estudo, essa formação está localizada na borda nordeste do município de Caxias.

Os dados apresentados por Araújo (2016), encontrados no relatório de Conservação da Biodiversidade do Estado do Maranhão, indicam que a Floresta Estacional Semidecidual, que inclui suas fisionomias aluviais de Terras Baixas e Submontana, ocupa 13% das regiões fitoecológicas do Estado do Maranhão.

Segundo dados do Manual Técnico de Vegetação Brasileira, elaborados pelo IBGE (2012), o gênero da Floresta Estacional Semidecidual Submontana é constituído por (Figura 27):

Os gêneros dominantes, com indivíduos deciduais, são os mesmos que ocorrem na Floresta Ombrófila Densa (Mata Atlântica), como: Cedrela, Parapiptadenia e Cariniana, sendo que, nos planaltos areníticos, as espécies deciduais que caracterizam esta formação pertencem aos gêneros amazônicos Hymenaea (jatobá), Copaifera (óleo-vermelho),

Peltophorum (canafístula), *Astronium*, *Handroanthus*, *Balfourodendron* e muitos outros [...] (IBGE, 2012, p. 95).

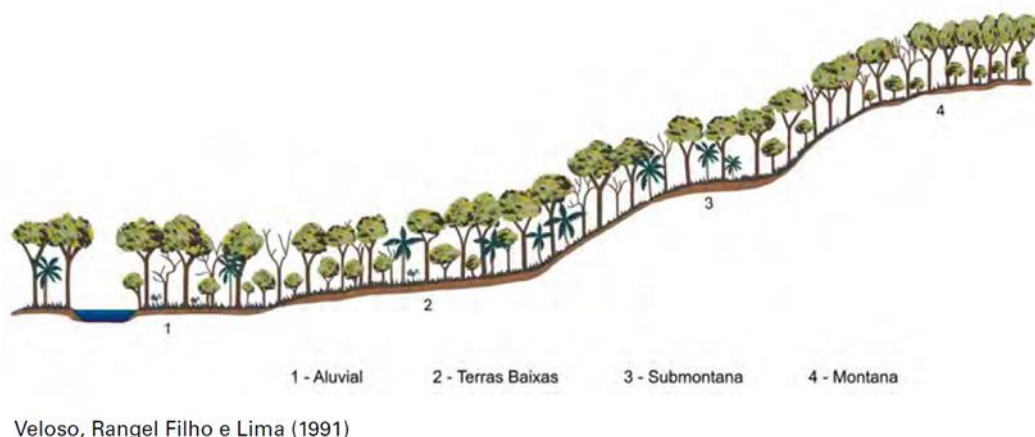


Figura 27: Perfil esquemático da Floresta Estacional Semidecidual.
Fonte: (IBGE, 2012)

3.1.5.2 Savana Arborizada sem floresta-de-galeria

A Savana Arborizada sem floresta-de-galeria compreende 1,68% da área de estudo e está localizada na região sudeste da área. Esta formação corresponde ao subgrupo natural ou antropizado. Suas características apresentam fisionomia nanofanerofítica rala e outra hemicriptofítica graminoide contínua, sendo suscetível ao fogo anual. As sinúsias principais apresentam fisionomias distintas, ora mais abertas como no Campo Cerrado, ora mais aglomeradas, com a presença de Cerrado mais fechado (IBGE, 2012).

A composição florística dessa formação apresenta semelhança com a da Savana Florestada, contendo espécies predominantes que representam os ambientes de acordo com a ocupação no espaço geográfico. No estado do Maranhão, é possível encontrar a espécie *Parkia platycephala* Benth, (Fabaceae Mimosoideae – faveira). São árvores que possuem troncos curtos e tortuosos, com até 15m de altura com 40 cm de DAP. Sua madeira é amplamente utilizada para a confecção de móveis, entre outros produtos (IBGE, 2012).

3.1.5.3 Savana Parque com floresta de galeria e sem floresta de galeria

A Formação Savana Parque com floresta de galeria está presente em 24,69% da área, enquanto a formação Savana Parque sem floresta de galeria está presente em apenas 1,27%. Autores como Girolamo Neto *et al.* (2017, p. 6.648) relatam que as Savanas Parque são: “constituídas por um estrato graminóide junto a arbustos e

arvoretas isoladas, sendo relatada como estrutura típica de um parque inglês (parkland). Constitui basicamente as regiões de campo sujo e campo rupestre (quando houver rochas aparentes).” Correspondem ao subgrupo de formação composto por estrato graminóide e é constituído por hemicriptófitos e geófitos com florística natural ou antropizada, intercalando por nanofanerófitos separados, conforme destacado pelo IBGE (2012).

Segundo Farias Neto e Faleiro (2008, p. 39), as formações de savanas são “ecossistemas com existência de camada seguida de vegetação herbácea e um dossel irregular de arbustos”.

[...] E um fator determinante desse ecossistema é o padrão de precipitação das chuvas anual com período chuvoso e seco. Portanto, destacaram que a integração das áreas de savanas no Brasil, para o processo produtivo agrícola, acarretou alterações drásticas na fisionomia desse ecossistema, com resultados ainda pouco pesquisados (Farias Neto; Faleiro, 2008).

3.1.5.4 Floresta Estacional Decidual Submontana

A Floresta Estacional Decidual Submontana é a formação com maior predominância, abrangendo 38,96% da área. Nessa formação, encontram-se dispersas as maiores separações de floresta decidual.

O estado do Maranhão ocupa uma faixa territorial situada entre as formações Savana (Cerrado) e a Floresta Ombrófila Aberta, com a presença de babaçus (*Attalea speciosa*). Nessa área, encontra-se uma floresta de porte médio, com diversas espécies nanofoliadas deciduais e troncos finos. Entre os gêneros mais comuns dessa formação, destacam-se: Cedrela, Ceiba, Handroanthus, Jacarandá, Piptadenia, Parapiptadenia, Anadenanthera, Apuleia e dentre outros, com menor expressão fisionômica (IBGE, 2012).

Segundo dados do Manual Técnico da Vegetação Brasileira, registra-se que nessa formação:

Encontra-se a única espécie foliada no período desfavorável, a bacuri (*Platonia insignis Mart*), que imprime à paisagem aspecto de grandes tabuleiros revestidos por microfanerófitos completamente desfolhados, interrompidos, vez por outra, por indivíduos foliados de coloração verde pardacenta (IBGE, 2012, p,98).

Rios (2001) considera as Matas dos Cocais como uma paisagem característica do Maranhão, sendo uma transição entre diferentes domínios fitogeográficos: “apresentando-se associada com os campos, cerrado e com a floresta, com o domínio do babaçu e da carnaúba” (Figura 28). Segundo a Embrapa (2016), zona de cocais caracteriza-se por:

Um reflexo de um intensivo processo de degradação das florestas originais com diferentes finalidades, desde a exploração de territórios para pasto e agricultura, quanto ao extrativismo de plantas típicas das florestas presentes na região (Embrapa, 2016, p. 21).



Figura 28: Matas dos cocais e mata ciliar na planície do rio Itapecuru Caxias, Maranhão – Brasil.

Fonte: Fotografia da autora (2023).

3.1.5.5 Savana Florestada

A Savana Florestada corresponde a 4,96% da área. Pertence ao subgrupo das formações com fisionomia distinta e apresenta características exclusivas de áreas areníticas lixiviadas e solos profundos, com ocorrência em clima tropical eminentemente estacional.

Apresenta sinúscias lenhosas de micro e nanofanerófitos, tortuosos com ramificação irregular, providos de macrófitos esclerófitos perenes ou semidecíduos, ritidoma esfoliado corticoso rígido ou córtex maciamente suberoso, com órgãos de reserva subterrâneos ou xilopódios, cujas alturas variam de 6 a 8 m (IBGE, 2012, p.109).

3.1.5.6 Vegetação Secundária com palmeiras

A Vegetação Secundária com palmeiras compreende 5,51% da área de estudo. Segundo o IBGE (2012, p.149), a vegetação secundária ocorre em ambientes que sofreram interferência humana para o uso da terra, seja para atividades com finalidade “mineradora, agrícola, pecuária ou outros, descaracterizando a vegetação primária. Essas áreas, quando são abandonadas, reagem de acordo com a forma de uso da terra e também de acordo com o tempo”.

Porém, a Vegetação Secundária que surge reflete sempre, e de maneira bastante uniforme, os parâmetros ecológicos do ambiente. A sucessão vegetal obedece ao ritmo de recuperação do solo degradado pela ação predatória do homem. A perda da matéria orgânica pelas queimadas e da parte química pelas culturas ou lixiviada pelas águas da chuva empobrece rapidamente os solos tropicais álicos ou distróficos e excepcionalmente eutróficos, que levam anos para se recuperarem naturalmente (IBGE, 2012, p. 149).

3.1.5.7 Ausência de vegetação remanescente

Conforme o mapeamento, foi possível constatar que 22,69% da área registrou ausência de vegetação remanescente, que pode estar relacionada à pastagem e a lavouras temporárias, área urbana, área desmatada e solo exposto.

3.1.5.8 Síntese das características físico-ambientais

Quando falamos sobre gestão, administração e ambiente, estamos nos referindo à ação da legislação ambiental, que se apresenta em blocos destinados a todos os interessados nas adequações para o seu uso e ocupação do território, ou seja, na gestão ambiental e nos sistemas correlatos. Nesse sentido, há a intenção de contribuir para melhorias com enfoque na minimização de impactos, conforme apresentado na Tabela 7, considerando os processos de ocupação e seus resíduos (Dal Forno, 2017).

Tabela 7: Tabela síntese das características ambientais, potenciais, limitações e contribuição à gestão ambiental.

Índice Pluviométrico (mm)	Pedologia (Taxonomia do Solo)	Geologia (Material de origem)	Geomorfologia (Relevo)	Vegetação	Uso e cobertura	Limitação de Uso
970 – 1.100	Neossolo Quartzarênico órtico	Formação Corda (Arenito, Argilito, Folhelho, Siltito Argiloso)	Tabuleiros do Médio Itapecuru	Savana Parque com floresta-de-galeria	Formação Florestal	Solos com baixa fertilidade e retenção de água.
				Savana Arborizada sem floresta-de-galeria	Silvicultura	
				Floresta Estacional Decidual Submontana	Formação Campestre	
				Savana Parque sem floresta-de-galeria	Pastagem	
	Plintossolo Pétrico Concrecionário	Formação Motuca (Grupo Balsas) (Arenito, Argilito, Siltito)	Patamar de Caxias	Vegetauno Secundiria com palmeiras	Formação Savânica	Solos que possuem má drenagem, baixa fertilidade e restrição de profundidade.
					Formação Campestre	
Latossolo Amarelo Distrófico	Formação Sardinha (Basalto)	Tabuleiros do Médio Itapecuru	-----	Formação Savânica	Solos profundos e bem drenados, mas com baixa fertilidade natural e alta acidez	
	Grupo Barreiras (Biocalcirrudito, Margas, Calcilutitos e Biohermitos)			-----		Soja
	Grupo Itapecuru (Conglomerado, Arenito, Arenito Arcoseano, Argilito, Folhelho, Siltito)				Outras Lavouras Temporárias	
				Pastagem		

1.000 – 1.100	Argissolo Acinzentado Distrófico	Depósitos Aluvionares (Areia, Cascalho)	Planícies e Terraços Fluviais	-----	Infraestrutura Urbana Rio e/ou Lago	Solos com baixa fertilidade natural, alta acidez e camada superficial arenosa.
970 – 1.100	Plintossolo Argilúvico Distrófico	Sedimentos Pós- Barreiras (Areia, Argila)	Patamar de Caxias	Savana Florestada Savana Florestada	Formação Campestre	Solos hidromórficos com baixa infiltração e drenagem.

Fonte: Elaboração da autora (2024).

4 CONCLUSÃO

O estudo permitiu realizar um levantamento dos aspectos físicos e ambientais (clima, aspectos geológicos, unidades de relevo, ocorrência de solo e vegetação) na área do médio curso da bacia hidrográfica rio Itapecuru, no município de Caxias. Através da pesquisa, os resultados e os dados expostos podem fornecer subsídios a diferentes planejamentos, tanto locais quanto regionais, para o estado do Maranhão.

Em relação aos aspectos climáticos, a área de estudo situa-se em uma zona de transição climática, sobre o clima Tropical Zona Equatorial. As temperaturas permanecem em uma faixa quente-média, com valores superiores a 18°C em todos os meses. O índice pluviométrico ao sul varia entre 870 a 940 mm, enquanto, na maior parte da área de estudo, os valores ficam entre 950 a 1.100 mm.

As formações geológicas presentes na área de estudo incluem a Formação Corda, Formação Motuca e Formação Sardinha. Além dessas, há dois grupos principais: Grupo Barreiras e Grupo Itapecuru, além de Depósitos Aluvionares e Unidade Sedimentos Pós-Barreira. A formação com maior abrangência registrada na área é a Formação Motuca, que ocupa 41,70% da área, enquanto a Formação Sardinha é a menos representada, ocorrendo em apenas 0,52% da área. A geologia influencia diretamente as características e composição dos solos, além de afetar a disponibilidade hídrica da bacia.

Mapearam-se quatro unidades geomorfológicas na área de estudo, sendo que a de maior abrangência, com 62,06%, corresponde a unidade Patamar de Caxias; a unidade que registrou a menor área foi o Planalto Dissecado do Itapecuru.

De acordo com o mapeamento do solo realizado pela Embrapa, foram identificadas cinco unidades distintas, com o Plintossolo Pétrico Concrecionário predominando em grande parte da região, ocupando 35% da área total. Em contrapartida, o Neossolo Quartzarênico Órtico foi a unidade com menor abrangência, correspondendo a apenas 6,73% da área.

Em relação à vegetação remanescente, ocorrem sete unidades, sendo a de maior predominância a Floresta Estacional Decidual Submontana equivalente a 38,96%, e a unidade com menor influência é a Floresta Estacional Semidecidual Submontana, ocupando apenas 0,26% da área de pesquisa.

O estudo das características ambientais do médio curso do rio Itapecuru, no município de Caxias (MA), contribuiu para a análise dos componentes ambientais presentes na área de pesquisa, como geologia, geomorfologia, solo e vegetação. O

levantamento permitiu realizar uma análise integrada do ambiente de pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ANJOS, L. H. C. D.; PEREIRA, M. G.; PÉREZ, D. V.; RAMOS, D. P. Caracterização e classificação de Plintossolos no município de Pinheiro, MA. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 5, p. 1035-1044, 2007. Disponível em: <https://www.redalyc.org/comocitar.oa?id=180214062020>. Acesso em: 10 nov. 2024.
- ARAI, M. A. Grande elevação eustática do mioceno e sua influência na origem do grupo Barreiras. **Geologia USP, Série Científica**, São Paulo, v. 6, n. 2, p. 1-6, out. 2006. Disponível em: <https://revistas.usp.br/guspsc/article/view/27419>. DOI: <https://doi.org/10.5327/S1519-874X2006000300002>
- ARAUJO, L. S.; SILVA, G. B. S.; TORRESAN, F. E.; VICTORIA, D. D. C.; VICENTE, L. E.; BOLFE, E. L.; MANZATTO, C. V. **Conservação da biodiversidade do Estado do Maranhão: cenário atual em dados geoespaciais**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente. ISSN 1516-4691. Dez., 2016. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1069715/1/SerieDocumentos108.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2024.
- BARBOSA, G. V.; PINTO, M. N. Geomorfologia. In: BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Projeto RADAMBRASIL**. Folha SB.23 Teresina e parte da folha SB.24 Jaguaribe; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro: DNPM, 1973. p. 1-26. (Levantamento de Recursos Naturais, 3). Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=2100366>. Acesso em: 18 mar. 2024.
- BÜDEL, J. **Climatic geomorphology**. Princeton: Princeton University Press, 1982.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Blucher, 1980.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. Ed. Edgard Blücher, 1999.
- COSTA, A. S. V. **Introdução à gestão ambiental**: Ed. Univale, 2011. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/342154750_Livro_Didatico_-_Introducao_a_Gestao_Ambiental/citation/download. Acesso em: 10 nov. 2024.
- CPRM. **Geodiversidade do estado do Maranhão**. NASCIMENTO, I. C. (Org). Teresina: CPRM, 2013. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/14761>. Acesso em: 25 nov. 2021.
- CUNHA, S. B. Geomorfologia fluvial. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Org.) **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 8 ed. Rio de Janeiro: ed. Bertrand Brasil, 2008. p. 211-234.
- DAL FORNO, M. A. R. **Fundamentos em gestão ambiental**. SEAD/UFRGS. – Dados eletrônicos. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2017.
- EMBRAPA FLORESTAS. **Relatório de gestão 2016**. Colombo: Embrapa Florestas, 2016. p. 21. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1118126/1/LivroRelatoriogestao20161678final.pdf>>. Acesso em: 25 no. 2021.
- FARIAS NETO, A. L.; FALEIRO, F. **Savanas**: desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados,

2008. 1.

FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G.; BALIEIRO, F. D. C.; MOURA, T. P. A. D.; MENEZES, A. R. D.; SANTANA, C. I. Características e atributos de Latossolos sob diferentes usos na região Oeste do Estado da Bahia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, p. 1457-1465, 2016. Disponível em: <https://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/view/22485/13510>. Acesso em: 12 mar. 2021.

GIROLAMO NETO, C. D.; FONSSECA, L. M. G.; VALERIANO, D. M.; NEVES, A. K.; KORTING, T. S. Desafios na classificação automática de fitofisionomias do Cerrado brasileiro com base em mapas de referência na escala 1: 250.000. **Anais... Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, v. 18, p. 6647-6654, 2017. Disponível em: https://www.esensing.org/papers/paper_80.pdf. Acesso em: 10 jul. 2021.

GÓES, A.M.O.; TRAVASSOS, W.A.; NUNES, K.C. Projeto Parnaíba: reavaliação da bacia e perspectivas exploratórias. Belém: PETROBRAS, 1993. v. 1.

GOMES, D. C., FERREIRA, N. S., LIMA, A. M. M., SERRÃO, E. A. O. Variabilidade espaço-temporal da precipitação: Bacia Hidrográfica do rio Madeira. **Revista Geográfica Acadêmica. [S. l.]**, v. 13, n. 1, p. 90–104, 2019. Disponível em: <https://revista.ufrb.br/rga/article/view/5514>. Acesso em: 7 mar. 2025.

GONÇALVES L. R.; LIMA, A. G. M.; ADAMS, C.; OVERBECK, G. E.; SANDRA, M. F. O.; AZEVEDO, M. C. C.; ULISSES E. C.; CONFALONIERI, L. E.; LAURE, E.; VERA, L.; FONSECA, I.; QUEIROZ, H. L.; KERR, R.; LONDE, L. R.; Menezes, J. A.; CERVONE, C. O. F. O. PRADO, R. B.; VIEIRA S. A.; SARAIVA, A. Contribuições da natureza para a qualidade de vida. In: JOLY, C. A.; SCARANO, F. R.; SEIXAS, C. S.; METZGER, J. P.; OMETTO, J. P.; BUSTAMANTE, M. M. C.; PADGURSCHI, M. C. G.; PIRES, A. P. F.; CASTRO, P. F. D.; GADDA, T.; TOLEDO, P. **Diagnóstico brasileiro de biodiversidade e serviços ecossistêmicos**. São Carlos, SP: Editora Cubo, 2019. cap. 2, p. 35-91.

GUERRA, A. T. **Dicionário Geológico-Geomorfológico**. 8. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1993. 446 p. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/metodos-e-outros-documentos-de-referencia/vocabulario-e-glossarios/16498-dicionario-geologico-geomorfológico.html>. Acesso em: 23 abr. 2024.

GUERRA, A. T.; GUERRA, J. T. **Novo dicionário geológico-geomorfológico**. 9. ed. Bertrand Brasil: Rio de Janeiro, 2011.

HADLICH, G. M. Análise de relações entre declividade e uso do solo com auxílio do geoprocessamento, município de Sombrio, SC. **Anais... VI Simpósio nacional de Geomorfologia**, p. 1 - 6. 2006. Disponível em: <https://www.conbea.org.br/anais/publicacoes/conbea-2020/anais-2020/geomatica-instrumentacao-e-agricultura-de-precisao-giap/3021-analise-da-relacao-entre-declividade-e-uso-do-solo-da-bacia-do-rio-uberabinha-mg-por-meio-do-geoprocessamento/file>. Acesso em: 04 dez. 2023.

IBGE CIDADES. Caxias, MA. 2010. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: 02 fev. 2021.

IBGEa. Instituto brasileiro de Geografia e estatística. Geociências: Vegetação. Base de dados. 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/vegetacao.html>. Acesso em: 30 jun. 2022.

IBGEb. Instituto brasileiro de Geografia e estatística. Geociências: Clima. Base de dados. 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/clima.html>. Acesso em: 30 jun. 2022.

IBGEc. Instituto brasileiro de Geografia e estatística. Geociências: Geomorfologia. Base

de dados. 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/geomorfologia.html>. Acesso em: 30 jun. 2022.

IBGE. Instituto brasileiro de Geografia e estatística. Manual técnico de geomorfologia / IBGE. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2009.

IBGE. Instituto brasileiro de Geografia e estatística. Manual técnico da vegetação brasileira, 2012. Disponível em: <https://loja.ibge.gov.br/manual-tecnico-da-vegetacao-brasileira.html>. Acesso em: 30 jun. 2022.

KLEIN, E. L.; SOUSA, C. S. (orgs.). **Geologia e recursos minerais do estado do Maranhão**: texto explicativo. Belém, PA: CPRM, 2012. 150 p. Escala 1:750.000.

MAGALHÃES JUNIOR, A. P. J; BARROS, L. F. P; LAVARINI, C. **Unidade espacial de estudos e elementos do sistema fluvial: bases e conceitos**. Hidrogeomorfologia. Rio de Janeiro: Bertrand do Brasil, 2020.

MARQUES, J. S. Ciência geomorfológica In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia**: uma atualização de bases e conceitos. 12. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2013.

MOREIRA, H. L.; OLIVEIRA, V. A. Evolução e gênese de um Plintossolo Pétrico concrecionário éutrico argissólico no município de Ouro Verde de Goiás. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 32, p. 1683-1690, 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/i/2008.v32n4/>. Versão on-line ISSN: 1806-9657. Acesso em: 30 jun. 2022.

PARAENSE, R. M. A. Bacia do Parnaíba: evolução Paleozóica, 2017.

PEREIRA, L. C.; GOMES, M. A. F.; SOUZA, M. D.; TÔSTO, S. G. Caracterização físico-ambiental de uma área experimental no município de Planalto, SP. 2017.

PEREIRA, M; VENTURA, J. E; Condicionantes ambientais no ordenamento do território. **GeolNova-Revista do Departamento de Geografia e Planejamento Regional**, p. 245-260, 2004. Disponível em: <https://geoinova.fcsh.unl.pt/revistas/> Acesso em: 23 abr. 2022.

RADAMBRASIL, Projeto. Folha SB. 23 Teresina e parte da folha SB. 24 Jaguaribe: geologia, geomorfologia, solos, vegetação, uso potencial da terra. Departamento Nacional da Produção Mineral, 1973. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=2100366>. Acesso em: 04 dez. 2022.

RIBEIRO, J.A.P.; MELO, F.; VERISSIMO, L.S. (Org.). Caxias, folha SB.23-X-B: estados do Piauí e Maranhão. Brasília, DF: CPRM, 1998. 130 p. il. + 2 mapas. Escala 1:250.000. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Projeto Especial Mapas de Recursos Minerais, de Solos e de Vegetação para a Área do Programa Grande Carajás. Subprojeto Recursos Minerais. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/8591?mode=full>. Acesso em: 02 dez. 2022.

RIOS, L. **Estudos de geografia do Maranhão**. São Luís: Gráphis Editora, 2001.

ROSS, J.L.S. Relevo brasileiro: uma nova proposta de classificação. **Revista do Departamento de Geografia**, Portal de Revistas da USP, São Paulo, v. 4, p. 25-39, 1985. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rdg>. Acesso em: 04 maio 2022.

SALVADOR, M. A. CLIMAP. Aplicativo para análise de dados climáticos-Versão 3.0. **Revista Brasileira de Climatologia**. ano 13, v. 20, jan./jul., 2017. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/rbclima/issue/archive>. Acesso em: 10 mar.2023.

SiBCS. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5. ed., rev. e ampl. Brasília, DF:

Embrapa, 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/solos/sibcs>. Acesso em: 15 out.2023.

SILVA Jr, O. M.; FUCKNER, M. A. Avaliação da correlação entre modelo digital de elevação ASTER e carta topográfica para a região de Marabá – Estado do Pará. Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação (SIMGEO), 3., Recife. **Anais...** Recife, 2010. Artigos, p. 27-30. Disponível em: <https://agencia.fapesp.br/5o-simposio-brasileiro-de-ciencias-geodesicas-e-tecnologias-de-geoinformacao-simgio/20143>. Acesso em: 15 out.2023.

SILVA, I. F. T.; FREITAS, A. L. B. **Noções básicas de cartografia**. Rio de Janeiro: IBGE, 1998.

SILVA, L. F. Modelo conceitual do aquífero fraturado da área da jazida de urânio de Caetité, Bahia: implicações para o fluxo subterrâneo. 2015. 147f. Orientador: Prof. Dr. José Eloi Guimarães Campos. Dissertação (Mestrado em Geociências Aplicadas) – Programa de Pós-Graduação em Geociências Aplicadas. Instituto de Geociências. Universidade de Brasília, UnB, DF, 2015. Disponível em: <http://repositorio.unb.br/handle/10482/31090>. DOI: <http://dx.doi.org/10.26512/2015.D.31090>. Acesso em: 14 jan. 2024.

SILVA, M. B. et al. Guia de campo da XIII Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos: RCC do Maranhão. Embrapa Solos-Livro técnico (INFOTECA-E), 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1127220/guia-de-campo-da-xiii-reuniao-brasileira-de-classificacao-e-correlacao-de-solos-rcc-do-maranhao>. Acesso em: 01 set. 2024.

SILVA, M. D.; FARIAS, E. S. O. Relevô como fator controlador da paisagem aplicado ao estudo de unidades ambientais homogêneas em sistemas naturais ocupados por empreendimento florestais de grande porte no Sul do Rio Grande do Sul, Brasil. **Anais...** VIII Congresso de Ecologia do Brasil, Caxambu, MG, 23 a 28 set. 2007. Disponível em: <http://www.seb-ecologia.org.br/revistas/indexar/anais/viiiiceb/terrestre.html>. Acesso em: 11 mar. 2024.

SOUZA C. F., PERTILLE, C. T., CORRÊA, B. J. S., VIEIRA, F. S. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Ivaí, Paraná. **Geoambiente On-Line**, (29). 2018. Disponível em: <https://revistas.ufj.edu.br/geoambiente/issue/view/1943>. Acesso em: 15 out.2023.

SOUZA, C. A. (Org.). **Bacia hidrográfica do rio Paraguai, MT: dinâmica das águas, uso e ocupação e degradação ambiental**. São Carlos: Editora Cubo, 2012.

SOUZA, C. A.; SILVA, Q. D. Médio curso da bacia hidrográfica do rio Itapecuru, Maranhão: características geológicas, geomorfológicas, pedológicas e densidade de drenagem. **Revista Ciência Geográfica**, v. 26, n. 01, p. 51-71, 2022. Disponível em: <https://ppg.revistas.uema.br/index.php/cienciageografica/issue/archive>. Acesso em: 02 dez. 2022.

SOUZA, C. **Dinâmica do corredor fluvial do rio Paraguai entre a cidade de Cáceres e a Estação Ecológica da ilha de Taiaã, MT**. 2004, 173 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza, Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 173 f. 2004. Disponível em: <https://objdig.ufrj.br/16/teses/646547.pdf>. Acesso em: 30 jun. 2022.

TERASSI, P. M. B.; TOMMASELLI, J. T. G. Avaliação de sistemas de classificação climática para a vertente paranaense da bacia hidrográfica do rio Itararé. **Caderno de Geografia**, v. 26, n. 47, p. 877-896, 2016. Pontifícia Universidade Católica de Minas

Gerais, PUC Minas. ISSN: 0103-8427 ISSN electrónico: 2318-2962. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/3332/333247800015.pdf>. Acesso em: 30 jun. 2022.

VAZ, P. T.; REZENDE, N. G. A. M.; WANDERLEY FILHO, J. R.; TRAVASSOS, W. A. S. Bacia do Parnaíba. **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, v.15, n.2, p.253-263, 2007. Disponível em: <https://bgp.petrobras.com.br/bgp>. Acesso em: 05 jul. 2022.

CAPÍTULO II – CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS NO MÉDIO CURSO DO RIO ITAPECURU SOBRE O MUNICÍPIO DE CAXIAS, MA

RESUMO

Os parâmetros morfométricos de uma bacia hidrográfica refletem o regime hidrológico e expressam as condições geológicas e geomorfológicas das bacias. O objetivo deste estudo é caracterizar os dados morfométricos da área analisada. Para a realização dos procedimentos, foram utilizados os parâmetros morfométricos, fórmulas específicas e padrões de referência. A área da bacia corresponde a 3.429,65 km² e possui 183 canais, sendo classificada como uma bacia de quinta ordem. Foram registrados 109 canais de primeira ordem, 41 de segunda ordem, 28 de terceira ordem, 4 de quarta ordem e 1 canal de quinta ordem. O comprimento total dos canais é de 1.004,74 km. Os valores observados para o fator de forma, o coeficiente de compactidade e o índice de circularidade, permitiram concluir que a rede de drenagem possui forma alongada, com baixa tendência a enchentes. O índice de sinuosidade registrado indicou uma tendência a canais retilíneos. O índice de circularidade foi de 0,31, enquanto o coeficiente de capacidade foi de 1,79. A densidade de canais encontrada foi de 0,03 km². Já a densidade de drenagem foi de 0,29 km/km², o que demonstra que a área é pouco drenada. Além disso, constatou-se que o solo da região é permeável, favorecendo maior eficiência na infiltração da água. A densidade de drenagem sugere que o local não possui uma drenagem excessivamente densa. A coleta desses dados é valiosa para diversas tarefas, como construção e gestão. Embora os dados morfométricos indiquem uma baixa tendência a enchentes, inundações significativas ocorrem em alguns anos, como as inundações registradas em 2022.

Palavras-chave: morfometria; rede de drenagem; rio Itapecuru; densidade de drenagem; relação de relevo.

ABSTRACT

The morphometric parameters of a river basin reflect the hydrological regime and express the geological and geomorphological conditions of the basins. The objective of this study is to characterize the morphometric data of the analyzed area. To carry out the procedures, morphometric parameters, specific formulas and reference standards were used. The basin area corresponds to 3,429.65 km² and has 183 channels, being classified as a fifth-order basin. 109 first-order channels, 41 second-order channels, 28 third-order channels, 4 fourth-order channels and 1 fifth-order channel were recorded. The total length of the channels is 1,004.74 km. The values observed for the shape factor, the compactness coefficient and the circularity index allowed us to conclude that the drainage network has an elongated shape, with a low tendency to flood. The sinuosity index recorded indicated a tendency to rectilinear channels. The circularity index was 0.31, while the capacity coefficient was 1.79. The channel density found was 0.03 km². The drainage density was 0.29 km/km², which shows that the area is poorly drained. In addition, it was found that the soil in the region is permeable, favoring greater efficiency in water infiltration. The drainage density suggests that the site does not have excessively dense drainage. Collecting this data is valuable for various tasks, such as construction and management. Although the morphometric data indicate a low tendency for flooding, significant flooding does occur in some years, such as the floods recorded in 2022.

Keywords: morphometry; drainage network; Itapecuru river; drainage density; relief ratio.

1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural indispensável para a sobrevivência humana e fundamental para o desenvolvimento de uma sociedade. A ausência de preservação das áreas de produção e armazenamento de água contribui, cada vez mais, para a escassez desse recurso. Nesse sentido, o planejamento em áreas de bacias hidrográficas é essencial para a conservação e a manutenção dos recursos hídricos (Nardini *et al.*, 2013).

O médio curso da bacia do rio Itapecuru encontra-se na zona de transição dos climas semiáridos do Nordeste para os úmidos equatoriais da Amazônia. As precipitações anuais variam de 1.200 a 1.400mm, com maiores índices de pluviosidade no período de outubro a abril e menores no período de junho a setembro. O volume de chuva aumenta de montante para jusante, com maiores índices no noroeste do médio curso da bacia (Souza; Silva, 2022).

Estudos realizados por Shen *et al.* (2017) sobre um conjunto de dados morfométricos de bacias distribuídas globalmente demonstraram que a morfometria das bacias constitui uma informação crucial para correlacionar tempestades com deslizamento de terras e inundações. O conjunto de dados obtido pode ser aplicado em diversas áreas, oferecendo suporte tanto para a construção quanto para a gestão sustentável em diferentes escalas de maneira similar entre os diversos continentes.

Christofoletti (1989, p. 102), ao estudar a análise de bacias hidrográficas e os padrões de drenagem, registrou que:

A drenagem fluvial é composta por um conjunto de canais de escoamento inter-relacionados que formam a bacia de drenagem, definida como área drenada por um determinado rio ou por um sistema fluvial. A quantidade de água que atinge os cursos fluviais está na dependência do tamanho da área ocupada pela bacia, da precipitação total e de seu regime, e das perdas devidas à evapotranspiração e a infiltração (Christofoletti, 1989, p. 102).

Franco e Santos (2015), ao analisarem a contribuição da morfometria para os estudos sobre inundações, relataram que, em bacias hidrográficas, podem ser influenciadas tanto por fatores naturais quanto por ações antrópicas. Os parâmetros morfométricos de uma bacia refletem o regime hidrológico e “expressam condições geológico-geomorfológicas das bacias, apresentando-se como uma metodologia útil

para a investigação da suscetibilidade ao desenvolvimento de inundações”. Tonello (2005) ressalta que as características morfométricas de uma bacia hidrográfica podem ser segmentadas em três categorias principais: geométricas, de relevo e da rede de drenagem.

Tonello *et al.* (2006) destacam, em seus estudos, a relevância da análise da morfometria tanto na bacia principal quanto nas sub-bacias. Os resultados indicaram que as diferenças morfométricas entre as sub-bacias evidenciam a necessidade de um manejo específico para cada uma delas.

Teodoro *et al.* (2007, p. 139), ao analisarem a importância da caracterização morfométrica para compreender a dinâmica ambiental local, destacam que, na hidrologia, a classificação das bacias hidrográficas não se limita à área superficial total, mas considera os efeitos de fatores determinantes na formação dos deflúvios. Segundo os autores, “as microbacias possuem como características distintas uma grande sensibilidade tanto às chuvas de alta intensidade e curta duração, como também ao fator uso do solo (cobertura vegetal)”.

Silva, Costa e Zaidan (2021, p. 201) afirmam que a aplicação da análise morfométrica de bacias hidrográficas é fundamental como subsídio para o “entendimento dos processos crescentes de inundações na malha urbana ganhou grande importância a partir do momento em que os fenômenos de inundações compreendem um dos principais problemas ambientais na América Latina e Brasil”.

De acordo com o IPT (2007), o processo de urbanização no Brasil caracteriza-se pela apropriação, pelo mercado imobiliário, das áreas mais favoráveis para a construção nas cidades. A ausência de espaços urbanos adequados para habitação popular, contudo, forçou a população de menor renda a ocupar terrenos inadequados e negligenciados pelo mercado imobiliário. Para atender às suas necessidades de moradia, essas pessoas passaram a habitar regiões ambientalmente frágeis, como margem de rios, várzeas, manguezais e encostas íngremes, frequentemente de maneira precária.

O estudo da morfometria visa fornecer subsídios para o planejamento em diferentes escalas. No Brasil, diversos autores têm se dedicado a pesquisas sobre a morfometria de bacias hidrográficas. Nardini *et al.* (2013) investigaram a morfometria da microbacia do Ribeirão Água localizada no município de Bofete-SP. Vitte (2005) analisou a aplicação da morfometria de bacias de drenagem como suporte ao mapeamento da fragilidade ambiental nos municípios de Sumaré e Valinhos, na região metropolitana de Campinas,

SP. Tonello *et al.* (2006) realizaram um estudo sobre a morfometria da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, em Guanhães, MG. França *et al.* (2013) examinaram a morfometria, o uso e ocupação da bacia do Carão, no Estado do Ceará. Félix (2018) investigou a morfologia, morfometria e dinâmica fluvial como subsídios para o planejamento dos recursos hídricos na bacia hidrográfica do rio Cabaçal, em MT.

Diversas pesquisas sobre avaliação morfométrica já foram concluídas e publicadas. Santos *et al.* (2019) estudaram a morfometria da bacia hidrográfica do rio Itapecuru, dividindo os dados em categorias de alto, médio e baixo curso, e apresentaram as características de cada sub-bacia dentro de um contexto geral. Barreto (2016) abordou, em sua pesquisa, a caracterização do compartimento de chapadas no quádruplo divisor hidrográfico do sudoeste do Maranhão, com ênfase na cabeceira do rio Itapecuru, sem abranger a bacia como um todo. Soares *et al.* (2016), realizam uma análise morfométrica e a priorização de bacias hidrográficas para planejamento ambiental integrado, destacando a morfometria de dez sub-bacias no baixo curso do rio Itapecuru.

O presente trabalho aborda alguns dos parâmetros da análise morfométrica de bacias hidrográficas. Contudo, este estudo não se concentra na análise da escala de uma bacia ou sub-bacia. Em vez disso, examina um segmento específico da bacia e sua drenagem, que abrange o médio curso do rio Itapecuru, inserido no município de Caxias - Maranhão, fornecendo dados parciais, mas significativos para a compreensão da drenagem e do escoamento na área de estudo.

O objetivo desta pesquisa foi caracterizar os dados morfométricos aferidos, associando-os aos aspectos geológico-geomorfológicos e topográficos da área de estudo.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo abrange o médio curso do rio Itapecuru, dentro do perímetro do município de Caxias, Maranhão. Está situada entre as coordenadas geográficas 4° 45' 00" e 5° 18' 30" de latitude Sul, e 43° 45' 30" e 43° 00' 00" de longitude Oeste. O mapa de localização foi elaborado utilizando a projeção cilíndrica equidistante, com base no datum SIRGAS 2000 (Figura 1).

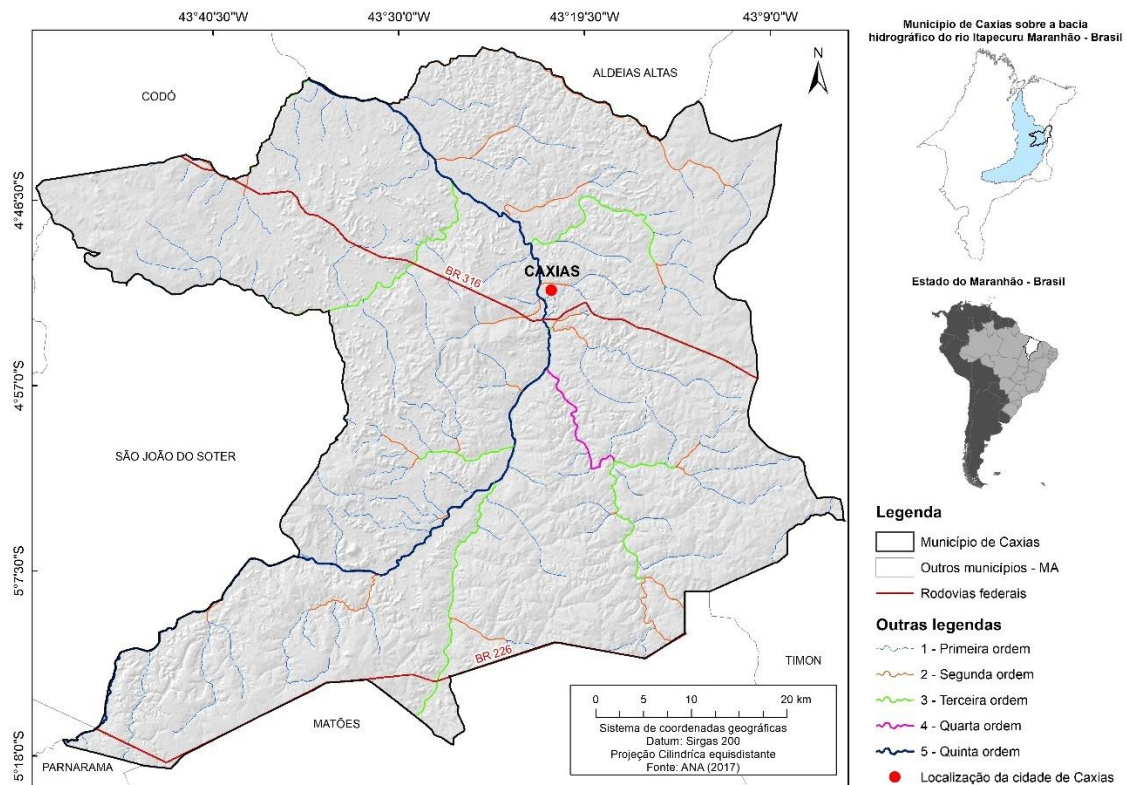


Figura 1: Localização da área de estudo com análise das nascentes, rede de drenagem e hierarquia de canais.

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

2.1 Procedimentos metodológicos

Para a análise morfométrica na área de estudo, foram considerados diversos parâmetros, dentre os quais: área da bacia, perímetro, comprimento do canal principal, comprimento total dos canais, comprimento do eixo da bacia, altitude média, ordem, extensão do percurso superficial, gradiente de canais, índice de sinuosidade, fator forma da bacia, índice de circularidade, coeficiente de capacidade, densidade de rios, densidade de drenagem, amplitude altimétrica máxima da bacia, relação de relevo e declividade média.

A realização dos procedimentos metodológicos ocorreu por meio da utilização dos parâmetros morfométricos e suas fórmulas e padrões de referência, conforme Tabela 1:

Tabela 1: Padrões metodológicos.

PARÂMETROS	FÓRMULA	PADRÃO DE REFERÊNCIA
LINEARES		
Extensão do percurso superficial (km) - (Eps)	$Eps = \frac{1}{2.Dd}$ Onde: Dd: Densidade de drenagem (km²)	Identificar a distância média que as enxurradas percorrem entre o interflúvio e canal permanente (Christofolletti, 1980).
Gradiente de canais (%) - (G)	$G = \left(\frac{H}{L}\right) \cdot 100$ Onde: H – Altitude máxima (m); h – Altitude da foz (m); L – Comprimento do canal principal (m).	Relação entre a diferença máxima de altitude entre o ponto de origem e o término, compreendendo também o comprimento dos canais. (Christofolletti, 1980).
Índice de sinuosidade - (I_{sin})	$I_{sin} = \frac{L}{L_t}$ Onde: L – Comprimento do rio principal (km); L_t – Comprimento do eixo da bacia (km).	Os valores próximos a 1 indicam elevado controle estrutural ou alta energia; Os valores acima de 2 indicam baixa energia, sendo os valores intermediários relativos a formas transicionais entre canais retilíneos e meandantes (Veiga <i>et al.</i> 2013).
AREAL		
Fator de forma da bacia – (Ff)	$k_f = \frac{A}{L^2}$ Onde: A é áreas da bacia em km² e L é a largura máxima da bacia ao ².	1,00 - 0,75: Circular, alta tendência 0,75 - 0,50: Ovalada. tendência mediana 0,50 - 0,30: Alongada. baixa tendência < 0,30: Comprida com tendência a conservação

		(nada propensa a enchente) (Nardini <i>et al.</i> 2013).
Índice de circularidade – (Ic)	$Ic = \frac{12,57 \cdot A}{P^2}$ Onde: A - Área da bacia (km²) P= Perímetro (km)	1,00 - 0,8: Circular, alta tendência 0,8 - 0,6: Ovalada, tendência mediana 0,6 - 0,40: Alongada, baixa tendência < 0,40: Comprida com tendência a conservação (nada propensa a enchente). (Nardini <i>et al.</i> 2013).
Coeficiente de compacidade – (Kc)	$Kc = \frac{P}{2\sqrt{\pi \cdot A}}$ Onde: P – Perímetro da bacia (km); A – Área da bacia (km²).	Valores entre 1,00 e 1,25: alta propensão; de 1,25 a 1,50: média; e valores superiores a 1,50 representam bacias não propensas a enchentes (Costa; Lança, 2011, p. 9).
Densidade de rios - (Dr)	$Dr = \frac{N}{A}$ Onde: N = Número total de nascentes; A = Área da bacia (km²).	Estabelece a relação entre o número de cursos d'água e a área, pode inferir maior capacidade de gerar canais, independentemente de suas extensões (Veiga <i>et al.</i> 2013).
Densidade de drenagem (Dd) (km/km²)	$Dd = \frac{Lt}{A}$ Onde: Lt = Comprimento total dos canais (km); A = Área da bacia (km²).	O resultado pode variar de 0,5 km/km² em bacias pobremente drenadas a 3,5 km/km² em bacias bem drenadas. (Villela; Mattos, 1975).
HIPSOMÉTRICO		
Amplitude	$Hm = AN - AF$	É a diferença altimétrica

altimétrica máxima da bacia (m) – (Hm)	Onde: AF – Altitude da foz (m); AN – Altitude do ponto mais alto do divisor topográfico.	entre a bacia, as altitudes das barras e o ponto mais alto da rede hidrográfica (Christofolletti, 1980).	Fonte:
Relação de relevo (Rr)	$R_r = \frac{Hm}{Lb}$ Onde: Hm – Amplitude topográfica máxima (m); Lb – Comprimento da bacia (m).	Quanto maior o valor de Rr, maior será o desnível entre a cabeceira e a foz, consequentemente maior será a declividade média da bacia, e maior o escoamento superficial (Schumm, 1956).	
Índice de rugosidade – (Ir)	$Ir = H.Dd$ Onde: H – Amplitude altimétrica (km); Dd – Densidade de drenagem (km/km ²).	Quanto maior for o índice de rugosidade, mais colinoso e dissecado o relevo (maiores declividades), e canais mais entalhados (Castro; Carvalho, 2009).	

Adaptado: Nardini *et al.* (2013).

Os dados referentes à área de estudo, como perímetro, comprimento do tronco de drenagem, comprimento do eixo da área de estudo, altitude, divisor topográfico, confluência e número total de nascentes, foram coletados por meio de um sistema de informações geográficas, utilizando o software ArcGis 10.8, com base em dados oficiais extraídos do IBGE, na escala 1:250.000.

Após a obtenção dos dados mencionados, foram aplicadas as fórmulas para as variáveis lineares, que correspondem à extensão do percurso superficial, gradiente de canais e índice de sinuosidade. Em seguida, calcularam-se as variáveis areais, como o fator de forma da bacia, índice de circularidade, coeficiente de compacidade, densidade de rios e densidade de drenagem. Por fim, também foram calculadas a variável hipsométrica, a partir da amplitude altimétrica máxima da bacia, a relação de relevo e o índice de rugosidade. As equações algébricas foram inseridas e calculadas no software *Microsoft Office 365*, utilizando a extensão Excel®.

2.2 Hierarquia fluvial

A constituição da hierarquia fluvial foi realizada pela metodologia proposta por Strahler (1957), em que a ordenação dos canais fica disposta da seguinte maneira:

- Canais de primeira ordem são constituídos por canais criados a partir de nascentes;
- Canais de segunda ordem foram constituídos quando dois canais de primeira ordem se encontram;
- Terceira ordem, constituídos quando dois canais de segunda ordem se convergem;
- Quarta ordem, constituídos quando dois canais de terceira ordem se convergem;
- e
- Quinta ordem, constituídos quando dois canais de quarta ordem se convergem.

O segmento de maior fluxo, denominado *tronco de drenagem*, corresponde à recepção de todas as ordens fluviais previamente mencionadas, recebendo descarga hidráulica e sedimentar. Assim, estabelece-se a hierarquia fluvial de uma bacia hidrográfica (Strahler, 1957).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com Christofolletti (1980), as bacias de drenagem podem ser classificadas conforme seu escoamento em escala global. A bacia hidrográfica do rio Itapecuru é classificada como exorreica, pois o escoamento das águas é contínuo até o Oceano Atlântico, desaguando na Baía de São Marcos, a sudeste da Ilha do Maranhão.

A área de estudo apresenta 183 canais que compõem a rede de drenagem, o comprimento total de 1.004,74 km. Desses, 109 canais correspondem à primeira ordem, 41 à segunda ordem, 28 à terceira ordem, 4 à quarta ordem e 1 à quinta ordem. O comprimento do eixo da bacia foi de 98,85 km, e a altitude média registrada foi de 162m.

Ao compararmos com os resultados de Soares et al. (2019), observa-se uma proximidade nos dados relativos ao número de canais entre a área de estudo e as subbacias hidrográficas Limpeza e Douradinho, localizadas na grande bacia do rio Itapecuru. Estudos realizados por Vilela Filho e Vitte (2005, p. 16.278) destacaram que “quanto maior a quantidade de canais de 1ª ordem, maior é a fragilidade da paisagem, pois indicam maior dissecação do relevo, que pode ser provocada por controle estrutural, como falhas, fraturas ou dobramentos”.

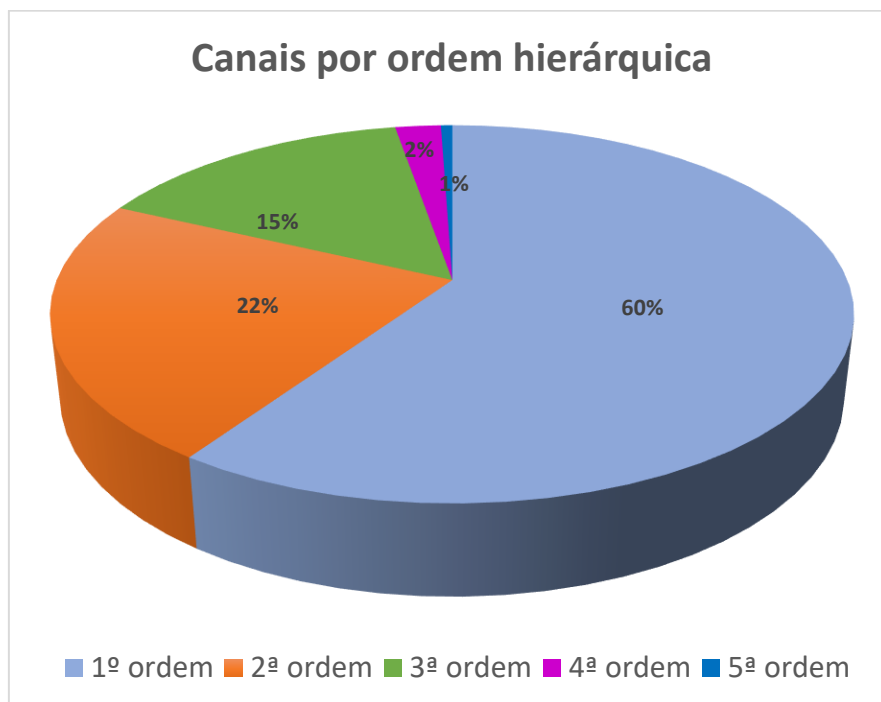


Figura 2: Porcentagem dos canais de drenagem na área de estudo.

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Segundo Chistofolletti (1980, p. 103), ao descrever sobre a análise de bacias hidrográficas:

Os padrões de drenagem referem-se ao arranjo espacial dos cursos fluviais que podem ser influenciados em sua atividade morfogenética pela natureza e disposição das camadas rochosas, pela resistência litológica variável, pelas diferenças de declividade e pela evolução geomorfológica da região Chistofolletti, 1980, p. 103).

Ao se observar a morfometria em diferentes escalas, é possível realizar uma análise integrada do ambiente, considerando diversos parâmetros, com o objetivo de obter melhores resultados e, assim, elaborar um plano de manejo adequado para a área. Em outras palavras, busca-se contribuir para a mitigação e prevenção de alagamentos, especialmente em áreas urbanizadas (Quadro 1).

Moreira *et al.* (2011, p.13), ao analisarem a caracterização morfométrica e hidrológica da bacia hidrográfica do rio Salamanca, Barbalha, CE, ressaltaram que:

Os parâmetros de caracterização do relevo e da rede de drenagem têm grande influência sobre o escoamento superficial e, consequentemente, sobre o processo de erosão, que resulta em perdas de solo, água, matéria orgânica, nutrientes e microfauna, provocando, assim, assoreamento e eutrofização dos corpos d'água (Moreira *et al.* 2011, p.13).

Tabela 2: Características físicas do médio curso do rio Itapecuru no município de Caxias (MA).

Parâmetro	Total/valor
Área da bacia (km ²)	3.429,65
Perímetro (km)	370,90
Comprimento do canal principal (km)	127,96
Comprimento total dos canais (km)	1.004,74
Comprimento do eixo da bacia (km)	98,85
Altitude média (%)	19,26
Ordem	5°
LINEAR	
Extensão do percurso superficial (km ²)	1.714,83
Gradiente de canais (%)	0,20
Índice de sinuosidade	1,29
AREAL	
Fator forma da bacia	0,35
Índice de circularidade	0,31
Coeficiente de capacidade	1,79
Densidade de Rios (canais /km ²)	0,03
Densidade de drenagem (km/km ²)	0,29
HIPSOMÉTRICO	
Amplitude altimétrica máxima da bacia (m)	81
Relação de relevo (m/km)	2,34
Índice de rugosidade	23,73
Declividade média (%)	19,26

Fonte: adaptado de Nardini *et al.* (2013).

O padrão de drenagem da área de estudo corresponde à drenagem dendrítica, em que os canais possuem configuração semelhante à de uma árvore. Esse padrão desenvolve-se sobre rochas com resistência uniforme ou em estruturas sedimentares (Christofolletti, 1980). O rio Itapecuru pode ser classificado como um rio subsequente, cuja direção do fluxo é influenciada pela estrutura rochosa, seguindo sempre uma zona de fraqueza, falha, junta, camada delgada ou de fácil erosão. Nas áreas sedimentares, os fluxos correm perpendiculares à inclinação principal das camadas (Christofolletti,

1980).

Na análise linear da rede hidrográfica, constatou-se que a extensão do percurso superficial foi de 1.714,83 km², valor que representa a distância média percorrida pelas enxurradas entre os interflúvios e o canal principal. Esta é considerada uma das variáveis mais importantes, pois afeta tanto o desenvolvimento hidrológico quanto o fisiógrafo da bacia de drenagem (Christofolletti, 1980).

Os dados referentes à extensão do percurso superficial demonstram que, na área de estudo, a água das chuvas percorre um longo trajeto até encontrar um canal ou lago, o que influencia o tempo de concentração da água e reduz a propensão à erosão na bacia. Diversos agentes controladores afetam esse percurso, sendo a geologia um dos principais fatores. A área de estudo apresenta diferentes formações geológicas, como a Formação Corda, a Formação Motuca e a Formação Sardinha.

Além disso, há dois grupos geológicos predominantes: Barreiras e Itapecuru. A geomorfologia também exerce influência significativa, com o Patamar de Caxias representando 62,06% da área, seguido pelos Tabuleiros do Médio Itapecuru que abrangem 36,30% da área. Os solos também desempenham um papel crucial como agentes influenciadores no processo de infiltração e escoamento superficial. Nardini *et al.* (2013) destacam a importância da morfometria no planejamento de áreas destinadas à preservação ambiental, bem como na manutenção da produção de água, tanto em quantidade quanto em qualidade.

O gradiente dos canais registrou 0,20%, indicando um fluxo lento, o que favorece a deposição de sedimentos finos. O índice de sinuosidade registrado foi de 1,29, o que sugere uma tendência para canais retilíneos. Christofolletti (1980, p. 109) ressalta que, na “análise linear, são englobados os índices e relações relativos à rede hidrográfica, cujas medições necessárias são efetuadas ao longo das linhas de escoamento”.

Nardini *et al.* (2013) analisaram a microbacia hidrográfica do Ribeirão Água-Fria, localizada no município de Bofete-SP. Os resultados indicaram que a microbacia é de 5º ordem, e o índice de sinuosidade registrado foi de 1,29, sugerindo uma tendência para canais retilíneos. Ou seja, ao compararmos os resultados, observa-se que redes de drenagem de 5º ordem podem apresentar essa inclinação para canais retilíneos.

A análise areal do médio curso do rio Itapecuru registrou que o fator forma da área de estudo é 0,35, indicando que se trata de uma rede de drenagem alongada, com baixa tendência a enchentes, conforme os parâmetros de análise de Nardini *et al.* (2013).

O estudo de Soares *et al.* (2016) examinou dez subbacias no curso inferior do rio

Itapecuru. Os resultados mostraram que as bacias possuem ordens de drenagem variando da segunda à quarta e ocupam áreas entre 5,49 e 110,80 km². O índice de circularidade foi de 0,46 km/ km² em média, e a densidade de drenagem foi de 0,79 km/ km². As sub-bacias no baixo curso são pequenas em relação à área total do estudo; no entanto, apresentam um índice de circularidade elevado, o que também indica uma baixa tendência a inundações.

O índice de circularidade registrado foi de 0,31. O coeficiente de capacidade foi de 1,79. A densidade de canais observada foi de 0,03 km², o que indica baixa capacidade para a formação de novos canais. A densidade de drenagem foi de 0,29 km/km². Villela e Mattos (1975) afirmam que um índice que varia de 0 a 0,5 km/km² indica drenagem pobre, enquanto valores superiores a 3,5 km/km² caracterizam uma bacia bem drenada.

Os dados de densidade de drenagem na área de pesquisa indicam que a área é bem drenada, com baixa propensão a enchentes. Pode-se concluir que o solo é permeável, permitindo uma infiltração de água mais eficiente. Souza e Silva (2022), ao estudarem a densidade de drenagem no médio Itapecuru, entre as cidades de Colinas e Caxias (MA) observaram que as densidades de drenagem baixa (0 a 0,5 km/km²) e média (0,51 a 2,5 km/km²) foram registradas em áreas com predominância de rochas areníticas nas Formações Corda, Grajau e no Grupo Itapecuru.

Segundo Tonello *et al.* (2006), baixos valores de densidade de drenagem “estão geralmente associados a regiões de rochas permeáveis e de regime pluviométrico caracterizado por chuvas de baixa intensidade ou pouca concentração da precipitação”. Cardoso *et al.* (2006) afirmam que o sistema de drenagem é composto pelo rio principal e seus tributários. O estudo da densidade de drenagem demonstra a variação na velocidade com que a água deixa a bacia hidrográfica. A análise desse índice fornece informações sobre o grau de desenvolvimento do sistema de drenagem, ou seja, revela a eficiência da drenagem da bacia.

Segundo Vilela Filho e Vitte (2005, p.16.820), a densidade de drenagem e o escoamento superficial estão interrelacionados, fornecendo informações que refletem a relação entre a intensidade do fluxo superficial e subsuperficial com a infiltração. Os mesmos autores ressaltam que “outro fator relevante é que em um mesmo ambiente climático, o comportamento das rochas repercute na densidade de drenagem”.

O comportamento hidrológico das rochas e solos influencia a capacidade de infiltração e resulta em um maior escoamento superficial. O solo mais predominante na área de estudo é o Plintossolos Pétricos Concrecionários argissólicos, que corresponde

a 35,96% da área pesquisada. Esses solos são formados por material mineral e apresentam horizonte plíntico, litoplíntico ou concrecionário. Silva (2020), ao estudar a classe dos Plintossolos Pétricos Concrecionários, constatou que estes apresentam uma drenagem imperfeita.

Cardoso, Marcuzzo e Pinto Filho (2011) realizaram estudos na bacia do rio Araguaia e relataram que é o décimo terceiro maior rio em extensão do Brasil, totalizando 2.114 km de talvegue. Trata-se de um canal de ordem 6º. O índice de fator forma determinado para a bacia foi de 0,18, o que contribui para o entendimento da baixa suscetibilidade a enchentes na região. A densidade de drenagem registrada foi de 0,18 km/km², indicando baixa densidade de drenagem, o que também se observa na rede de drenagem no médio curso do rio Itapecuru, que apresentou valores semelhantes de baixa densidade de drenagem.

Na análise hipsométrica, a amplitude altimétrica máxima da bacia registrada na área de estudo foi de 81 m. A relação de relevo foi de 2,34, o que determina a inclinação da bacia e influencia velocidade de escoamento. O índice de rugosidade foi de 23,73, o qual está relacionado à predominância de relevo suave ondulado, que corresponde a 41,88% da área. A declividade média do recorte da bacia em estudo foi de 19,26%, caracterizando, segundo Embrapa (1997), como um relevo ondulado.

Observa-se uma diferença ao compararmos com os dados das cabeceiras, conforme apresentado por Barreto (2016). Ele identificou que, na área de 158,90 km² estudada, a densidade de drenagem é de 0,52 km/km², o índice de rugosidade apresenta um valor de 0,11 e a relação de relevo é de 13,2 m/km. Dessa forma, os dados indicam que a área das cabeceiras possui uma drenagem ligeiramente superior à da área em estudo, o que sugere uma maior capacidade de escoamento superficial.

O índice de rugosidade médio do rio Itapecuru em suas sub-bacias é de 145,39, inferior ao alto curso (307,50) e superior ao do baixo curso (81,23), indicando declividades médias com canais mais entalhados (Soares *et al.* 2019). Dessa forma, a declividade média de uma bacia hidrográfica é crucial para o planejamento, pois garante que as intervenções humanas no meio ambiente sejam efetivas. Além disso, desempenha um papel importante na distribuição da água entre o escoamento superficial e subterrâneo, entre outros processos (Tonello *et al.* 2006).

Segundo Nardini *et al.* (2013), o planejamento em áreas de bacias hidrográficas é de grande importância para a preservação dos recursos hídricos. A água é um recurso natural essencial para a vida, e para o processo de desenvolvimento da sociedade.

Assim, a falta de preservação de áreas de nascentes e de armazenamento de água torna esse recurso cada vez mais escasso.

4 CONCLUSÃO

A análise da morfométrica possibilitou o exame de diversos parâmetros, como a área da bacia, perímetro, comprimento do canal principal, o comprimento total dos canais, o comprimento do eixo da bacia, a altitude média, a ordem, a extensão do percurso superficial, o gradiente de canais, o índice de sinuosidade, o fator de forma da bacia, o índice de circularidade, o coeficiente de capacidade, a densidade de rios, a densidade de drenagem, a amplitude altimétrica máxima da bacia, a relação de relevo e a declividade média. Dessa forma, os aspectos morfométricos contribuíram para a definição dos aspectos físicos da área de estudo .

Os dados revelam que a rede de drenagem é alongada, apresentando baixa tendência a enchentes. No entanto, o gradiente de canais, bastante suave (0,20%), indica que o fluxo é lento, o que pode favorecer inundações em eventos extremos. A predominância de 109 canais de primeira ordem pode ser atribuída à topografia e geologia da área. Observa-se também uma tendência a canais retilíneos, conforme indicado pelo índice de sinuosidade. A densidade de drenagem sugere que o local não possui uma drenagem excessivamente densa. A coleta desses dados é valiosa para diversas tarefas, como construção e gestão, em diferentes escalas.

Embora os dados morfométricos indiquem uma baixa tendência a enchentes, inundações significativas ocorrem em alguns anos, como as inundações registradas em 2022. As fórmulas usadas na análise nem sempre são adequadas para ambientes de clima tropical úmido. Da mesma forma, os índices utilizados são frequentemente considerados para bacias inteiras, em vez de segmentos ou áreas específicas. No entanto, sua utilização continua sendo essencial para a realização de uma análise morfométrica.

REFERÊNCIAS

- BARRETO, H. N. Morfometria e dinâmica das cabeceiras do divisor hidrográfico dos rios Mearim, Tocantins, Itapecuru e Parnaíba, sudoeste do Maranhão – Brasil. **Anais... XI SINAGEO**, Maringá – PR, 2016. Disponível em: <https://www.sinageo.org.br/2016/trabalhos/6/6-51-1455.html/>. Acesso em: 23 abr. 2024.
- 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. *Rev. Árvore*, Viçosa, v. 30, n. 2, mar./abr. 2006. Disponível em:

http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-67622006000200011. Acesso em: 25 maio. 2023.

CARDOSO, M. R. D.; MARCUZZO, F. F. N.; PINTO FILHO, R. F. **Caracterização física básica da bacia hidrográfica Araguaia visando determinar susceptibilidade a enchentes**. CPRM, 2011. 10 p.

CASTRO, S. B.; CARVALHO, T. M. Análise morfométrica e geomorfologia da bacia hidrográfica do rio Turvo - GO, através de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento. **Scientia Plena**, v. 5, n. 2, 2009. p. 3-7. Disponível em: <https://www.scienciaplenu.org.br/sp/article/view/623/>. Acesso em: 04 dez. 2023.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2. ed., São Paulo, SP: Edgar Blücher, 1980.

CHRISTOFOLETTI, A. O desenvolvimento teórico-analítico em geomorfologia: do ciclo de erosão aos sistemas dissipativos. **Geografia**: v. 14, n. 28, p. 15-30, 1989. Disponível em:

<https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/ageteo/article/view/15243/11701>. Acesso em: 23 abr. 2024.

COSTA, T. D.; LANÇA, R. **Hidrologia de Superfície**. Faro: Universidade do Algarve, v. 1, 2011. 303 p.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análises de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997. 212 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/330804/1/Manualdemetodosdeanalisadesolo2ed1997.pdf/>. Acesso em: 23 abr. 2024.

FÉLIX, E. **Morfologia, morfometria e dinâmica fluvial como subsídio para o planejamento dos recursos hídricos na bacia hidrográfica do rio Cabaçal - MT**. 2018. Dissertação (Mestrado em Geografia) Universidade do Estado de Mato Grosso. Cáceres. 173 f. Orientadora: Prof^a. Dra. Celia Alves de Souza. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia. Faculdade de Ciências Humanas, Campus de Cáceres,

Universidade do Estado de Mato Grosso, 2018. Disponível em:

<https://portal.unemat.br/media/files/PPGGEO/evandro-andre-felix.pdf/>. Acesso em: 23 abr. 2024.

FRANÇA, J. M. B.; OLIVEIRA, R. R. A.; PAULINO, W. D.; CARNEIRO NETO, J. A. Morfometria e uso e ocupação da bacia hidrográfica do Carão, Estado do Ceará, Brasil. **Anais ...** Foz do Iguaçu, p. 8.138 – 8.145. 2013. Disponível em:

<http://marte2.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte2/2013/05.28.23.25/doc/p0408.pdf/>.

Acesso em: 04 dez. 2023.

FRANCO, A. V.; SANTO, M. A. Contribuição da morfometria para o estudo das inundações na sub-bacia do rio Luís Alves/SC. **Mercator (Fortaleza)**, v. 14, p. 151-167, 2015. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/mercator/a/LrLnmX9GcQTHmbwM7ZZ6cwq/>. Acesso em: 07 mar. 2023.

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Mapeamento de riscos em encostas e margens de rios**. Brasília: Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 2007. 176 p. Disponível em:

<http://planodiretor.mprs.mp.br/arquivos/mapeamento.pdf/>. Acesso em: 04 dez. 2023.

MOREIRA, A. A. C.; COSTA, C. T. F.; TAVARES, P. R. L.; MENDONÇA, L. A. R. Caracterização morfométrica e hidrologia da bacia hidrográfica do rio Salamanca, Barbalha, CE. **Anais...** Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, v. 19, 2011.

Disponível em: <https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=11178/>. Acesso em: 25 maio. 2023.

NARDINI, R. C.; POLLO, R. A.; CAMPOS, S.; BARROS, Z. X.; CARDOSO, L. G.; GOMES, L. N. Análise morfométrica e simulação das áreas de preservação permanente de uma microbacia hidrográfica. **Irriga**, v. 18, n. 4, p. 687-699, 2013. Disponível em: <https://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/669/>. Acesso em: 30 jun. 2022.

SANTOS, M. M. M.; MENDONÇA, G. C.; OLIVEIRA, L. C. M.; PISSARRA, T. C. T. Uso e ocupação do solo no estado do Maranhão nos anos 2000 e 2016. **Anais... IV Congresso Internacional das Ciências Agrárias. COINTER – PDVAgro**. 2019. 15 p. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/343684315_USO_E_OCUPACAO_DO_SOLO_NO_ESTADO_DO_MARANHAO_NOS_ANOS_2000_E_2016/. Acesso em: 04 dez. 2023.

SCHUMM, S. A. Evolution of drainage systems and slopes in badlands at perth amboy, New Jersey. **Bulletin Of The Geological Society Of America**, v. 67, may., 1956. p. 697-646. Disponível em: <https://pubs.geoscienceworld.org/gsa/gsabulletin/article-abstract/67/5/597/4811/EVOLUTION-OF-DRAINAGE-SYSTEMS-AND-SLOPES-IN?redirectedFrom=fulltext/>. Acesso em: 04 dez. 2023.

SHEN, X.; ANAGNOSTOU, E. N.; MEI, Y.; HONG, Y. A global distributed basin morphometric dataset. **Scientific Data/Nature**, 2017. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/sdata2016124/>. Acesso em: 04 dez. 2023.

SILVA, J. L. S.; COSTA, RM; E ZAIDAN, R.T. Aplicação da análise morfométrica de bacias hidrográficas como subsídio ao entendimento dos processos crescentes de inundações na malha urbana da cidade de Ubá-MG. **Caminhos de Geografia Uberlândia-MG**. v. 22, n. 82ago./2021, p. 201–214. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/55911/>. Acesso em: 04 dez. 2023.

SILVA, M. B.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; OLIVEIRA, V. A. **Guia de campo da XIII Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos: RCC do Maranhão**. Embrapa Solos-Livro técnico (INFOTECA-E), 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1127220/guia-de-campo-da-xiii-reuniao-brasileira-de-classificacao-e-correlacao-de-solos-rcc-do-maranhao/>. Acesso em: 04 dez. 2023.

SOARES, L. S.; LOPES, W. G. R.; CASTRO, A. C. L.; ARAUJO, G. M. C. Análise morfométrica e priorização de bacias hidrográficas como instrumento de planejamento ambiental integrado. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 31, p. 82-100, 2016. Disponível em: <https://revistas.usp.br/rdg/article/view/107715/>. Acesso em: 25 mai. 2023.

SOARES, L. S.; MARTINS, B. N.; MASULLO, Y. A. G. BANDEIRA, A. M.; CASTRO, A. C. L.; SILVA, E. V. Avaliação Morfométrica da Bacia Hidrográfica do Itapecuru, MA. In: **Mais Itapecuru: subsídios ao planejamento e a gestão de recursos hídricos**. Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos. – São Luís: IMESC, 2019. 264 p.

SOUZA, C. A.; SILVA, Q. D. Médio Curso da Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru, Maranhão: características geológicas, geomorfológicas, pedológicas e densidade de drenagem. **Revista Ciência Geográfica**, v. 26, n. 01, p. 51-71, 2022. Disponível em: <https://ppg.revistas.uema.br/index.php/cienciageografica/article/view/2873/>. Acesso em:

06 fev. 2023.

STRAHLER, A. N. Quantative Analysis of Watershed Geomorphology. **Transactions, American Geophysical Union**, v. 38, n. 6, 1957. p. 913-920. Disponível em: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/TR038i006p00913/>. Acesso em: 10 mar. 2023.

TEODORO, V. L. I.; TEIXEIRA, D.; COSTA, D. J. L.; FULLER, B. B. O conceito de Bacia Hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. Araraquara, SP: **Revista Uniara**, n. 20, 2007. Disponível em: https://www.uniara.com.br/legado/revistauniara/pdf/20/RevUniara20_11.pdf/. Acesso em: 06 fev. 2023.

TONELLO, K. C. **Análise hidroambiental da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhões, MG**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa/MG, 2005. 69 f. Orientador Prof. Dr. Herly Carlos Teixeira Dias. – Viçosa: UFV, 2005. Disponível em: <https://locus.ufv.br/server/api/core/bitstreams/333a24c6-858c-4fa2-ba25-7a8c4e9a3576/content/>. Acesso em 06 fev. 2023.

TONELLO, K. C.; DIAS, H. C. T.; SOUZA, A. L. D.; RIBEIRO, C. A. A. S.; LEITE, F. P. Morfometria da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhões-MG. **Revista Árvore**, v. 30, p. 849-857, 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rarv/a/Lst9NTwcxpCs8dGtd638x4f/?lang=pt/>. Acesso em: 10 mar. 2023.

VEIGA, A. M.; SANTOS, C. C. P.; CARDOSO, M. R. D.; LINO, N. C. Caracterização Hidromorfológica da bacia do rio Meia Ponte. Uberlândia, MG: **Caminhos de Geografia**, v. 14, n. 46, jun., 2013. p. 126-138. Disponível em: https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/153/6276a0b82f4e92cb57fb1b0ae2558e46_a46e58851320dbbd9d8659bf91552d0b.pdf/. Acesso em: 10 mar. 2023.

VILELA FILHO, L. R.; VITTE, A. C. A utilização de técnicas morfométricas do relevo aplicadas na determinação da fragilidade ambiental: o caso da bacia do Córrego Proença, município de Campinas (SP). In: Encontro de geógrafos da América Latina. V. 10. p. 16272-16284, 2005, São Paulo, SP. **Anais [...]**. São Paulo, SP: Universidade de São Paulo (USP), 2005. Disponível em: <http://observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal10/Procesosambientales/Geomorfologia/15.pdf/>. Acesso em: 06 fev. 2023.

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

VITTE, A. C. O uso da morfometria de bacias de drenagem como suporte ao mapeamento da fragilidade ambiental nos municípios de Sumaré e Valinhos, região metropolitana de Campinas (SP) – Brasil. In: Encontro de geógrafos da América Latina. V. 10. p. 16336 – 16355, 2005, São Paulo, SP. **Anais [...]**. São Paulo, SP: Universidade de São Paulo, 2005. Disponível em: <http://www.observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal10/Procesosambientales/Hidrologia/25.pdf/>. Acesso em: 06 fev. 2023.

CAPÍTULO III – MUDANÇAS DAS FEIÇÕES MORFOLÓGICAS NO MÉDIO CURSO DO RIO ITAPECURU NO MUNICÍPIO DE CAXIAS – MA

RESUMO

Os rios são sistemas dinâmicos, responsáveis por alterações nas feições morfológicas ao longo de seus perfis longitudinais. Nesse contexto, este estudo teve como objetivo avaliar a evolução das feições morfológicas no período de 10 anos, compreendido entre os anos de 2010 e 2020, no médio curso do rio Itapecuru, localizado no município de Caxias, Maranhão. A pesquisa foi conduzida em duas etapas: gabinete e campo. Na fase de gabinete, adotou-se uma metodologia baseada em geotecnologia, possibilitando a quantificação das feições morfológicas por meio do uso ferramentas e técnicas de análise específicas. Imagens de alta resolução foram coletadas para a identificação detalhada dessas feições. Utilizaram-se mosaicos de imagens do *Google Earth* dos anos de 2010 e 2020 para mapear e quantificar canais artificiais, barras de sedimentos, lagoas e o limite do corredor fluvial. Na etapa de campo, empregou-se uma aeronave remotamente pilotada (RPA), sendo as fotografias aéreas capturadas por meio de um drone modelo *Mavic Air*. Os resultados evidenciaram mudanças temporais significativas nas feições morfológicas no médio curso do rio Itapecuru no período analisado. As alterações incluíram tanto aumento quanto redução nas dimensões das feições, surgimento de novas estruturas e desaparecimento de outras. Ao longo dos dez anos, registrou-se o surgimento de 18 novas barras de sedimentos, 42 tanques e 14 lagoas. Em contrapartida, houve o desaparecimento de seis barras de sedimentos, 14 tanques e 11 lagoas. Tais modificações estão associadas aos condicionantes físico-ambientais como clima, geologia, geomorfologia, características do solo e declividade, além da intensa interferência antrópica, tanto direta quanto indireta.

Palavras-chave: Feições morfológicas; Rio Itapecuru, Aspectos temporais; Depósitos sedimentares; Geotecnologia.

ABSTRACT

Rivers are dynamic systems, responsible for changes in morphological features along their longitudinal profiles. In this context, this study aimed to evaluate the evolution of morphological features over a 10-year period, between 2010 and 2020, in the middle course of the Itapecuru River, located in the municipality of Caxias, Maranhão. The research was conducted in two stages: office and field. In the office phase, a methodology based on geotechnology was adopted, enabling the quantification of morphological features through the use of specific analysis tools and techniques. High-resolution images were collected for the detailed identification of these features. Google Earth image mosaics from 2010 and 2020 were used to map and quantify artificial channels, sediment bars, lagoons, and the limit of the river corridor. In the field stage, a remotely piloted aircraft (RPA) was used, and aerial photographs were captured using a Mavic Air drone. The results showed significant temporal changes in the morphological features in the middle course of the Itapecuru River during the analyzed period. The changes included both increases and decreases in the dimensions of the features, the emergence of new structures and the disappearance of others. Over the ten years, the emergence of 18 new sediment bars, 42 tanks and 14 lagoons was recorded. On the other hand, six sediment bars, 14 tanks and 11 lagoons disappeared. These changes are associated with socio-environmental conditions such as climate, geology, geomorphology, soil characteristics and slope, in addition to intense direct and indirect anthropic interference.

Keywords: Morphological features; Itapecuru River, Temporal aspects; Sedimentary deposits; Geotechnology.

1 INTRODUÇÃO

Compreender os arranjos morfológicos, os processos e a dinâmica espaço-temporal dos sistemas fluviais exigem a consideração integrada de uma ampla gama de fatores internos e externos que influenciam a bacia hidrográfica (Magalhães Junior e Barros, 2020).

Ao analisar as alterações morfológicas, torna-se essencial considerar as distintas escalas de análise na bacia hidrográfica. É necessário investigar tanto as interferências antrópicas diretas quanto as indiretas, além de realizar um diagnóstico compartimentado das feições presentes na bacia do rio Itapecuru. Souza (2004, p. 72) afirma em seus estudos:

As características e o comportamento dos sistemas fluviais refletem-se na integração dos efeitos conjuntos de controle da nascente e jusante e de fatores, como o clima, geologia, vegetação, uso do solo e aspecto da bacia que, juntos, determinam o regime hidrológico, a quantidade e tipo de sedimentos fornecidos (Souza, 2004, p. 72).

A dinâmica fluvial refere-se aos processos de remoção, transporte e deposição de partículas em toda a rede de drenagem, influenciando diretamente o equilíbrio do sistema fluvial. Quando ocorrem distúrbios no sistema, o canal ajusta-se continuamente até alcançar um novo estado de equilíbrio (Christofolletti, 1977).

Magalhães Júnior, Barros e Cota (2020, p. 25) destacam que “não há, portanto, variáveis fixas e imutáveis que determinem as condições de equilíbrio de um canal fluvial, pois ele próprio ajusta e modifica suas condições ao longo do tempo”. Coelho et al. (2018, sem paginação) afirmam em seus estudos:

A morfologia e as feições geomorfológicas fluviais estão condicionadas a ação do escoamento d'água sobre os sedimentos do leito do rio, propiciando os processos de intemperismo, denudacional, de transporte acumulativo. A fonte deste processo é a erosão e a carga detrítica das margens, do fundo do leito e da remoção das vertentes, controlado pelos fatores hidrológicos, dentre os quais se destacam a distribuição e a quantidade da precipitação, a estrutura geológica, as condições topográficas, a cobertura vegetal e as derivações antrópicas que direcionam as formas de uso e ocupação das terras e engendram profundas alterações na paisagem (Coelho *et al.*, 2018, sem paginação).

Morais *et al.* (2010 p. 127) afirmam que “os ajustes dos rios a alterações climáticas, hidrológicas, tectônicas e até mesmo antrópicas colaboram no entendimento dos processos de evolução da paisagem fluvial”. Magalhães Júnior e Barros (2020, p. 264) destacam que, “nem todos os cursos de água apresentam planície de inundação, em sua totalidade ou segmentos, tem canais ou segmento de canais com elevada sinuosidade que são muito encaixados e não apresentam planícies”, característica observada no recorte da área de estudo das feições morfológicas na cidade de Caxias, Maranhão.

De acordo com Magalhães Júnior e Barros (2020), níveis fluviais encaixados e escalonados são considerados indicadores de queda do nível de base, seja em escala local seja global. Essas alterações podem estar associadas a movimentações tectônicas locais ou regionais, deslocamentos de soleira ou por mudanças climáticas.

Os depósitos fluviais e as feições deposicionais são descritos como “depósitos fluviais são formados por sedimentos transportados e depositados por cursos de água, por fluxos concentrados em canais de escoamento”. As barras de canal, por sua vez, são feições deposicionais aluviais de leito ativo, podendo ser emersas ou submersas no canal (Magalhães Júnior e Barros, 2020 p. 260).

Kellerhaldet *et al.* (1976) e Dietrich (1985) classificam os depósitos de sedimentos em diferentes categorias, incluindo aqueles que se formam no eixo central, como bancos ou barras centrais (*midchannel bar*), barras laterais (*channel side bar* e *point bars*), barras submersas e ilhas fluviais.

Segundo Riconimi *et al.* (2009), a ampla diversidade de processos fluviais é responsável pela formação de lagos, que influenciam diferentes morfologias, desde lagos com centenas de metros quadrados em planícies de inundação de rios. O autor destaca que o balanço hídrico, a precipitação e a evaporação afetam a flutuação da lâmina d'água dentro do lago.

Pedrosa e Resende (1999, p. 40), ao estudarem as muitas faces de uma lagoa, relataram que:

Os lagos e lagoas de água doce do mundo contêm cerca de 100 vezes mais água que os rios. Conhecer melhor tais ambientes é condição básica para o uso racional da água e a manutenção da qualidade desse recurso essencial. Os estudos, porém, devem levar conta as variações que os sistemas aquáticos apresentam, nos aspectos espacial e temporal, para que o conhecimento gerado possa realmente ser aplicado

na recuperação de ambientes degradados e na preservação de mananciais ainda intactos (Pedrosa; Resende, (1999, p. 40).

Vários pesquisadores têm desenvolvido estudos sobre a evolução das feições morfológicas, destacando-se, em nível internacional, os autores Goswami, Sarma e Patgiri (1999), em Assan (Índia), que monitoraram as feições morfológicas no rio Subanssiri; Greco e Plant (2003), no rio Sacramento, o mais extenso da Califórnia (EUA), onde foi realizado um mapeamento temporal das mudanças na paisagem fluvial; e Wheaton *et al.* (2015), que contribui com uma nova taxonomia para auxiliar na identificação das formas fluviais, baseada na observação de campo.

No contexto nacional, Fernandez (1990) estudou as mudanças no canal fluvial do rio Paraná; Stevaux (2015) discute geomorfogênese do rio Paraná; Assine (2003) apresenta feições deposicionais no corredor fluvial na bacia do Pantanal, no estado de Mato Grosso; Souza e Cunha (2007) analisam a evolução das margens do rio Paraguai, entre a cidade de Cáceres e a Estação Ecológica da Taimã; Coelho *et al.* (2018) realizaram o mapeamento e estudaram a evolução das barras fluviais na margem esquerda da ilha do Maroto, no alto submédio do rio São Francisco; e Bayer e Carvalho (2008) investigaram os processos morfológicos e sedimentares no canal fluvial do rio Araguaia.

Por fim, no contexto regional, Silva (2023) analisou a hidrodinâmica do rio Itapecuru na área periurbana da cidade de Colinas, onde mapeou as feições morfológicas; Souza *et al.* (2023) realizaram um levantamento de características morfológicas do corredor fluvial do rio Itapecuru; Dantas *et al.* (2023) que descrevem as compartimentações geomorfológicas do estado, apresentando um conjunto de feições deposicionais de origem fluvial e marinha.

O estudo teve como objetivo avaliar a evolução das feições morfológicas no período de 10 anos (2010 a 2020) no médio curso do rio Itapecuru, no município de Caxias, Maranhão.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo abrange o médio curso do rio Itapecuru dentro do perímetro do município de Caxias, Maranhão. As coordenadas geográficas correspondem ao quadrante entre 4° 48' 00" e 4° 57' 00" de latitude Sul, e 43° 20' 00" e 43° 24' 00" longitude Oeste (Figura 1).

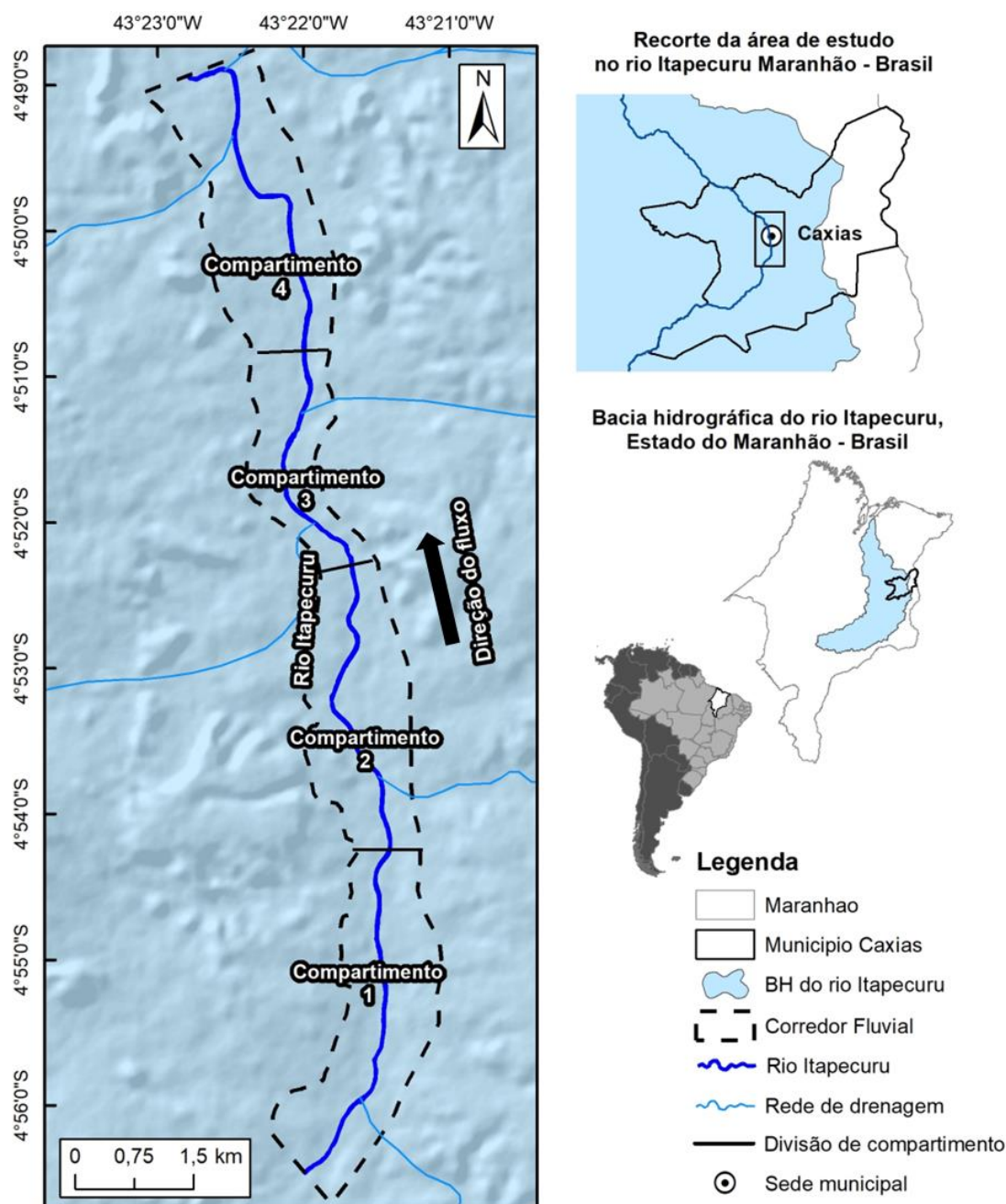


Figura 1: Localização dos compartimentos do rio Itapecuru, Caxias – MA, considerando a extensão do corredor fluvial.

Fonte: Elaborado pela autora.

O estudo foi desenvolvido no corredor fluvial do médio curso do rio Itapecuru, no município de Caxias, com ênfase nas mudanças (surgimento ou desaparecimento, aumento ou diminuição das dimensões das feições morfológicas (barras, lagoas e canais fluviais). O conceito de corredor fluvial é descrito por Souza (2004), como uma estrutura geomorfológica formada pelo canal de drenagem principal e pela planície de inundação ao seu entorno, não possuindo um padrão de largura específico.

A pesquisa foi conduzida com base na construção metodológica geral, proposta

por Ross e Fierz (2009), que inclui trabalho de gabinete, trabalho de campo e trabalho em laboratório.

2.1 Trabalho em gabinete

A geotecnologia permitiu a quantificação das feições morfológicas por meio do manuseio de ferramentas e aplicação de técnicas de análise para diferenciar os alvos. Segundo Rosa (2013), a geotecnologia é uma ferramenta que contribui para quantificar com precisão os dados, a partir da astronomia, geodésia e matemática, convertendo-os em análises e informações claras e harmônicas para o leitor. A substituição de ferramentas analógicas por digitais, como computadores, otimiza a aquisição e a análises de dados espaciais, com a interação do sistema de informações geográficos (SIG) e da base de dados geográficos (dbG) (Rosa, 2013).

Com base nesse pressuposto metodológico, foi realizada uma análise temporal em diferentes anos (2010 e 2020). O mapeamento possibilitou a obtenção da quantidade de feições e das mudanças morfológicas em quatros segmentos ao longo do perfil longitudinal do rio Itapecuru. Nessa etapa foram selecionadas imagens de alta qualidade para a identificação das feições. O mosaico de imagens do *Google Earth*, dos anos de 2010 e 2020, sob a propriedade da empresa *DigitalGlobe®*, foi escolhido devido à sua resolução espacial. Segundo Silva (2016) os parâmetros das imagens multiespectrais dos satélites listados pela *DigitalGlobe®* variam entre 0,5 e 1,24 metros de resolução espacial, com acurácia posicional entre 3,5 e 23 metros. De acordo com Bosquilia et al. (2015), as imagens disponibilizadas no *Google Earth*, em comparação com outros repositórios de imagens de satélites, como o *Spot 5* e o *Landsat 8* apresentaram melhores resultados em amostras circulares e valores semelhantes em outros tipos de amostragem, quando analisadas em uma escala de 1:10.000. No entanto, é necessário controlar os dados amostrais de satélite para reduzir erros cronológicos. Portanto, foi realizado o controle com a aquisição de imagens do Landsat 8, por meio do sítio eletrônico <https://earthexplorer.usgs.gov/>, disponibilizado pelo programa *Science for a Changing World*, sob a administração do Serviço Geológico dos Estados Unidos. Para isto, foi necessária a composição de bandas para gerar o produto R(B4), G(B3), e B(B2), somado a à banda pancromática B8, permitindo a melhoria da resolução espacial de 30 metros para 15 metros.

Em sequência, todas as feições observadas nas imagens foram vetorizadas, utilizando como parâmetro as definições de Christofletti (1980), em sua obra

Geomorfologia. Desse modo, foram mapeados e quantificados os canais artificiais, as barras de sedimentos, as lagoas e os limites do corredor fluvial.

Por fim, os vetores foram exportados para o *ArcGis* 10.8, o SIG escolhido para executar os cálculos da área de cada feição e o pós-processamento dos dados voltados à organização do *layout* dos produtos cartográficos, conforme estabelecido por Silva e Freitas (1998).

2.2 Trabalho de campo

Para validar os mapeamentos, algumas das feições foram verificadas utilizando uma aeronave remotamente pilotada (RPA), registrada sob o número PR 270819870 junto ao Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA).

As fotografias aéreas foram obtidas utilizando o drone de modelo *Mavic Air* (Figura 2), produto licenciado pela fabricante *DJI*, com o número de série OK1UF3400D0054. O drone é equipado com uma câmera acoplada de sensor CMOS de 1/2,3 polegadas, com tecnologia HDR, e uma lente de abertura F/2.8, com distância focal de 24 mm (equivalente a 35 mm). Esse sensor possibilita a captura de fotos com resolução de 12 milhões de pixels (MP) e vídeos em resolução 4K (3.840 a 2.160 pixels), realizados em 360°. Foram feitas capturas de imagens por meio de fotos panorâmicas e vídeos em 360°, para posterior análise dos detalhes ao redor.



Figura 2: Aeronave remotamente pilotada - *Mavic Air* (Dji)

Fonte: Oliveira (2021).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Compartimento I

No compartimento I, foram encontrados trechos retilíneos com baixa sinuosidade

ao longo do canal. A análise temporal evidenciou variações no surgimento e desaparecimento de feições no corredor fluvial ao longo de dez anos.

No compartimento I, em 2010, constatou-se a existência de quatro barras de sedimentos, oito canais artificiais e 15 lagoas. Em 2020, foram observadas feições remanescentes, sendo duas barras de sedimentos, dois tanques de piscicultura e 2 duas lagoas. Verificou-se também o surgimento de novas feições, incluindo sete barras de sedimentos, 26 tanques de piscicultura e 10 lagoas. Observou-se uma maior ocorrência de feições morfológicas na margem direita (Figura 3 e 4).

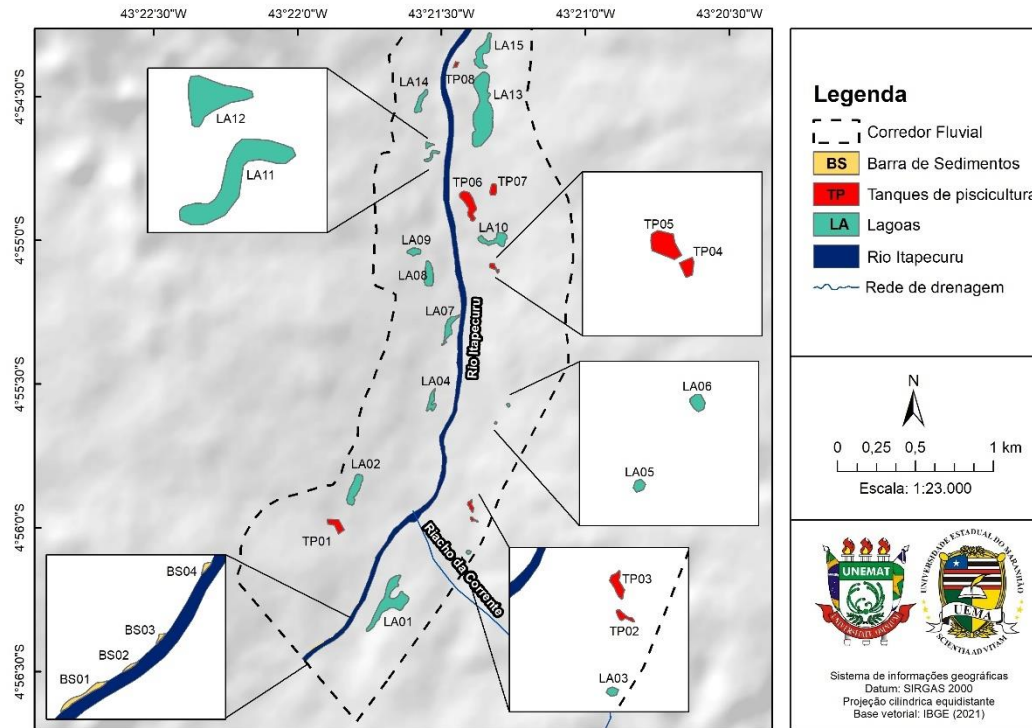


Figura 3: Feições morfológicas 2010 (compartimento I)
Fonte: Elaborado pela autora.

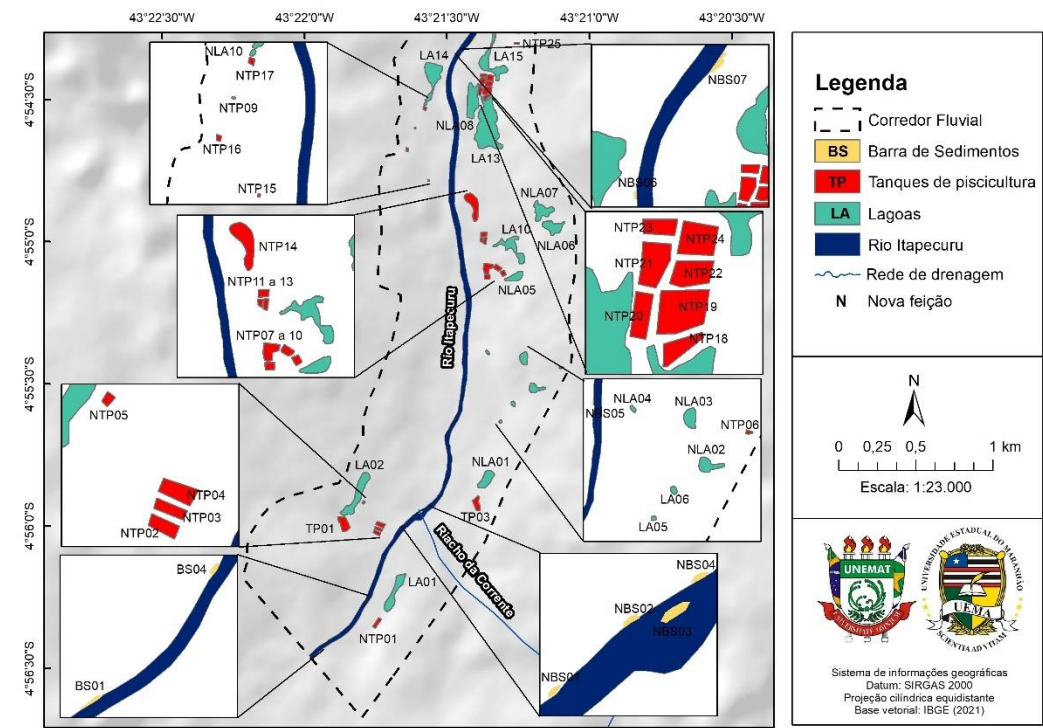


Figura 4: Feições morfológicas 2020 (compartimento I)
Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 1: Feições morfológicas mapeadas em 2010 e 2020, no médio curso do rio Itapecuru compartimento I no município de Caxias - MA

Compartimento I	Feições morfológicas	2010	2020	
			Remanescente	novas
	Feições naturais			
	Barra de sedimentos	4	2	7
	Lagoas	15	8	10
	Feições artificiais			
	Tanques de piscicultura	8	2	26
	Feições totais	27	12	43

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

As feições morfológicas presentes na área de estudo demonstram uma dinâmica diferenciada dos rios de planície. Para Christofolletti (1980, p. 83) o “leito menor é encaixado entre as margens bem definido, ao longo do leito verifica-se a existência de irregularidades com trechos mais profundos, as depressões (*mouille* ou *pools*) seguida de menor profundidade”.

A dinâmica das feições morfológicas pode estar relacionada aos diferentes tipos de uso direto e indireto na bacia hidrográfica e no corredor fluvial, assim como aos condicionantes ambientais analisados. Entre esses fatores, destacam-se o clima classificado como Tropical Zona Equatorial; a geologia, com a predominância da Formação Motuca; a geomorfologia, representada pelo Patamar de Caxias; e o tipo de solo predominante, que são os Argissolos Acinzentados. A declividade do terreno é suave e ondulada no recorte das feições. Além disso, a litologia, composta predominantemente por rochas areníticas, influencia o tipo de canal, o que contribui para que a morfologia seja mista, rochosa-aluvial.

A classe de solo que compreende o corredor fluvial, o Argissolo Acinzentado Distrófico, pode influenciar a dinâmica das lagoas mapeadas nos quatro compartimentos de estudo. O surgimento dessas lagoas está relacionado ao escoamento superficial e ao nível do lençol freático.

Souza (2021, p. 10), ao estudar a evolução geomorfológica da paisagem, ressalta que a “relação entre solo e paisagem pode indicar a forma como ocorre o padrão de distribuição espacial dos atributos do solo e suas relações diretamente dependentes do material de origem e da disposição do relevo”.

Fica evidente no compartimento I a intensa interferência antrópica no corredor

fluvial, com uma expressiva construção de canais artificiais na planície, destacando-se 26 tanques de piscicultura, com área variando de 98,26 m² a 8.067 m². A maioria desses tanques é destinada à criação de peixes (aquicultura). Durante a atividade de campo, foi constatado que alguns tanques estão desativados, o corresponde a 75% do total (Figura 5 a 7, Tabela 1).



Figura 5: Tanques de piscicultura na margem direita do corredor fluvial do rio Itapecuru compartimento I

Fonte: Fotografada pela autora (2021)

Riccomini *et al.* (2009) propõem diferentes classificações para os tipos de lagoas e suas origens, destacando que as lagoas antropogênicas são formadas pela interferência humana, por meio da escavação e construção de represas.

Barroso e Sousa (2007) registraram problemas na criação de peixe na bacia do rio Itapecuru, como a oferta escassa e irregular de alevinos. A maioria dos alevinos cultivados é importada de grandes distâncias de outros estados, o que ocasiona grande estresse e alta taxa de mortalidade, resultando em baixo índice de rendimento final, fatores que desestimulam o produtor. Esses e outros problemas podem ter contribuído para o abandono de alguns canais artificiais no corredor fluvial.

Os mesmos autores relataram que, além da oferta de alevinos ser precária e de alto custo, “não atende a nenhum preceito de qualidade, controle sanitário e profilático, deixando toda a bacia susceptível a contaminação por parasitos e bactérias exóticas que podem causar grandes danos ao meio ambiente na bacia do rio Itapecuru” (Barroso; Souza, 2007, p. 91).

A falta de investimento, planejamento e profissionais capacitados em escala

estadual dificulta a implantação de aquicultura sustentável. Os pesquisadores, ao analisarem toda a bacia para identificar as áreas com maior potencial para o desenvolvimento de aquicultura sustentável na bacia do rio Itapecuru, registraram que o baixo curso é a área mais propícia para o a implementação desses projetos (Barroso; Souza, 2007).

3.2 Compartimento II

No decorrer do canal neste compartimento, com aproximadamente 4,06 km de extensão observa-se uma sinuosidade 1,20, o que corresponde a um canal com padrão retilíneo, conforme Christofletti (1981).

No compartimento II, em 2010, registrou-se a presença seis barras de sedimentos, 14 tanques de piscicultura e quatro lagoas. Em 2020, constatou-se a presença de três barras de sedimentos, sete tanques e três lagoas remanescentes. Portanto, observou-se o surgimento de duas barras de sedimentos e a construção de três tanques de piscicultura. Nesse compartimento, as feições morfológicas ao longo do corredor fluvial se desenvolveram, em sua maioria, na planície da margem esquerda do rio Itapecuru (Figura 6 e 7).

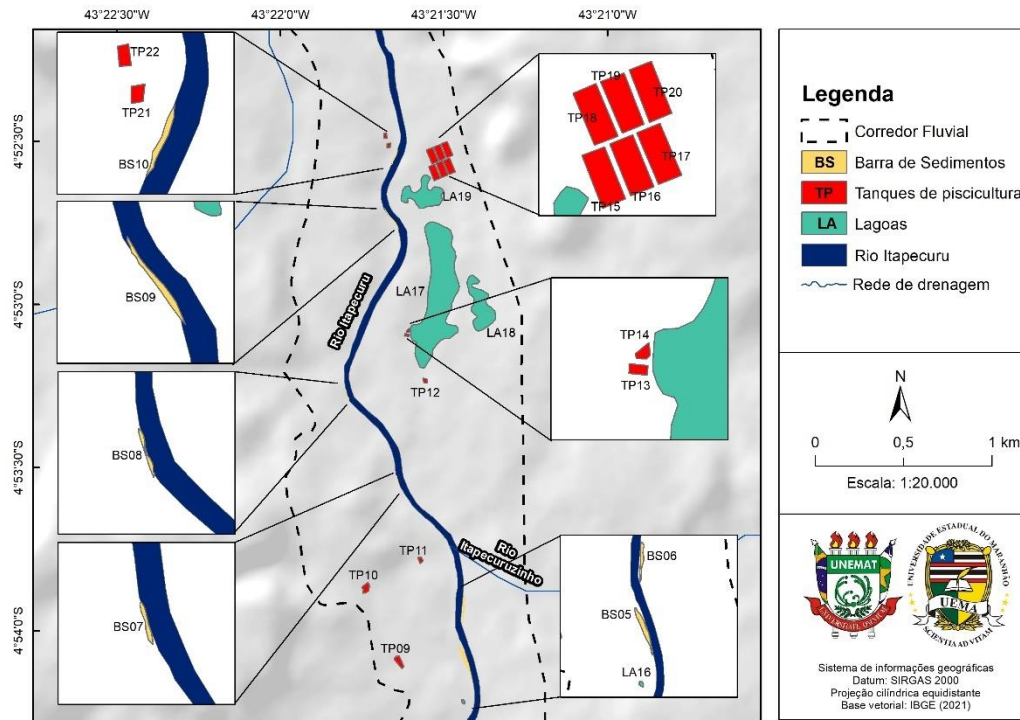


Figura 6: Feições morfológicas 2010 (compartimento II)
Fonte: Elaborado pela autora.

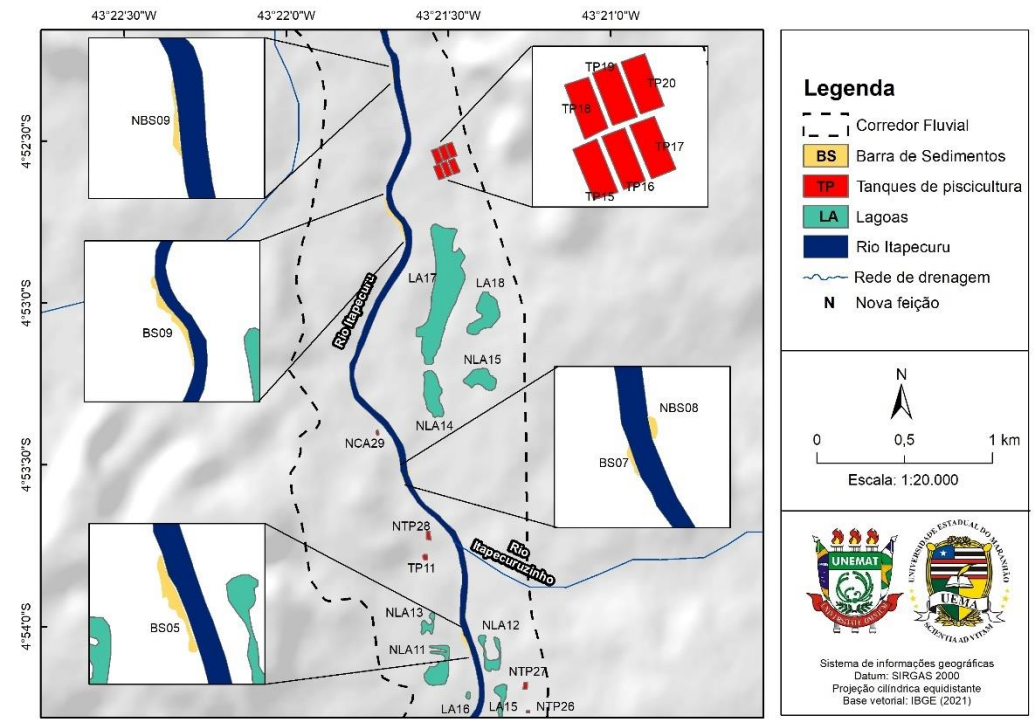


Figura 7: Feições morfológicas 2020 (compartimento II)
Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 2: Feições morfológicas mapeadas em 2010 e 2020, no médio curso do rio Itapecuru compartimento II no município de Caxias - MA

Compartimento II	Feições morfológicas	2010	2020	
			Remanescente	Novas
	Feições naturais			
	Barra de Sedimentos	6	3	2
	Lagoas	4	3	----
	Feições artificiais			
	Tanques de piscicultura	14	7	3
	Feições totais	28	13	5

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Portanto, pode-se constatar que houve uma diminuição no número de tanques entre os anos analisados. O que chama a atenção é uma grande lagoa (LA17), com área de 101.685 m², que se manteve como a maior feição morfológica em 2020. Atualmente, a lagoa é um ponto turístico (Balneário Veneza) (Figura 8). No sentido longitudinal do corredor fluvial, o compartimento II apresenta um trecho do canal fluvial com leve sinuosidade.

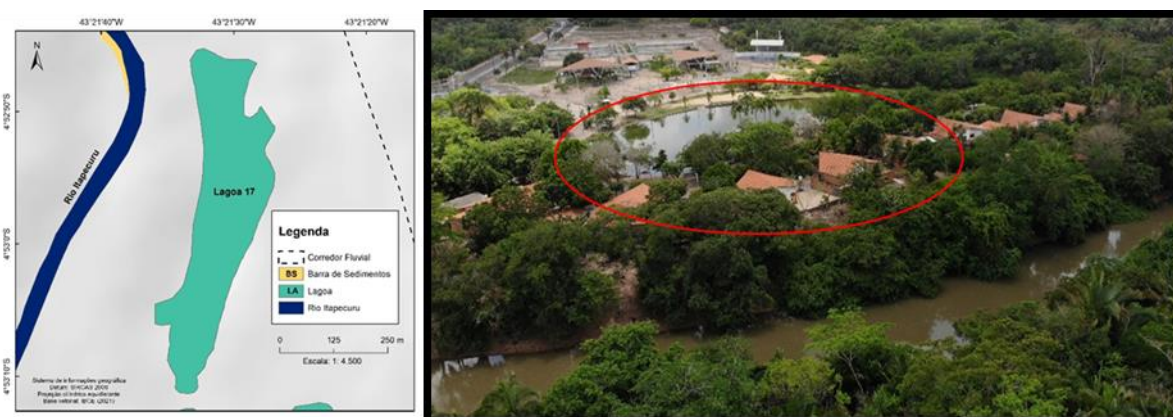


Figura 8: Transformação da (lagoa 17) em ponto turístico (Balneário Veneza)

Fonte: Elaboração da autora.

Christofolletti (1982) registra em seus estudos que o desenvolvimento e a modernização nos ambientes urbanos e industriais intensificaram as transformações nos meios naturais, e a relação entre o homem e o meio-ambiente passou a refletir marcas de transformação e modificações na paisagem.

Barroso e Souza (2007, p. 80), ao estudarem áreas potenciais para a aquicultura sustentável na bacia do rio Itapecuru, relatam que “a bacia é composta por uma

contingência de problemas que tiveram início em sua colonização, marcada pelo latifúndio e exploração inadequada de seus recursos naturais”.

Quando cotejaram lazer e recreação associados aos ambientes aquáticos, Dias e Granado (2014, p. 687) relataram que “a carência por espaços públicos destinados ao lazer para usufruto da população, na maioria dos municípios brasileiros, é em partes suprida pela presença de ecossistemas aquáticos, em cidades onde tais ambientes estejam em condições adequadas”.

O balneário Veneza enquadra-se na Resolução CONAMA nº 274, de 29 de novembro de 2000, como uma atividade recreativa primária (banho, natação e mergulho). No artigo 2º:

As águas doces, salobras e salinas destinadas à balneabilidade (recreação de contato primário) terão sua condição avaliada nas categorias própria e imprópria”. Nesse caso o padrão de qualidade da água passa a ser mais rígido, devido ao contato direto do usuário com os corpos de água (CONAMA, 2000, s.d.).

A Resolução n.º 357, de 17 de março de 2005, em seu art. 8º, estabelece que “O conjunto de parâmetros de qualidade de água selecionado para subsidiar a proposta de enquadramento deverá ser monitorado periodicamente pelo Poder Público” (CONAMA, 2005, s.d.).

3.3 Compartimento III

O canal apresenta sinuosidade com padrão retilíneo ao longo de sua direção longitudinal. A extensão do rio Itapecuru neste segmento é de aproximadamente 3,20 km. Estudos realizados por Flores, Lima e Oliveira (2018, p. 115) na Bacia Sedimentar do Paraná registraram que os “trechos de baixa declividade relativa formam meandros, permitindo a presença das morfologias depressão-soleira (*pool-riffle*), que evoluem conforme a capacidade de transporte dos rios e do material carregado”. Em campo, foi constatado um trecho com corredeira no leito.

Em relação as feições morfológicas no compartimento III, em 2010, foi constatada a presença de cinco barras de sedimentos, dois canais artificiais e quatro lagoas. Em 2020, foram observadas feições remanescentes, sendo quatro barras de sedimentos, dois canais artificiais e três lagoas. Além disso, novas feições surgiram na área, incluindo duas barras de sedimentos e uma lagoa, bem como a construção de dois tanques (Figuras 9 e 10).

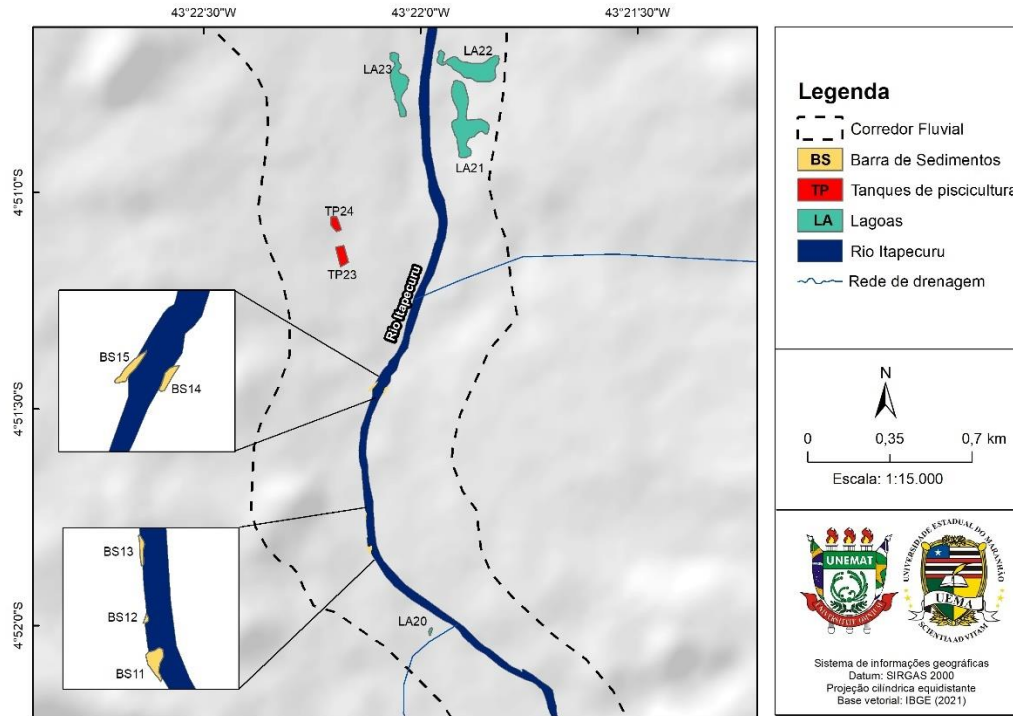


Figura 9: Feições morfológicas 2010 (compartimento III)

Fonte: Elaborado pela autora.

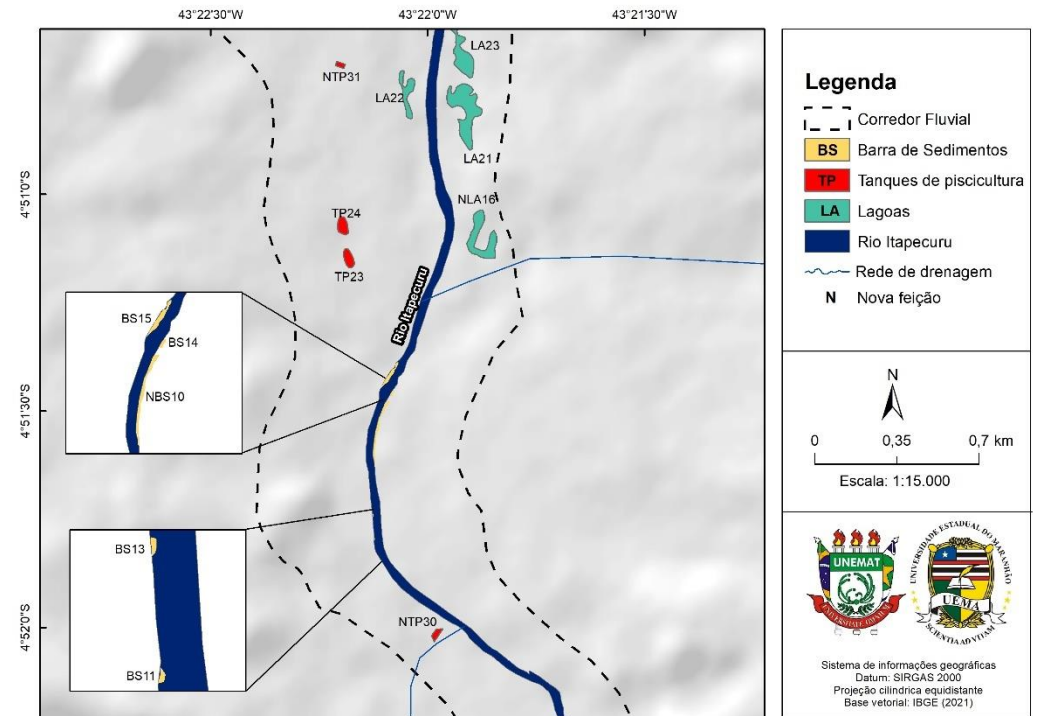


Figura 10: Feições morfológicas 2020 (compartimento III)

Fonte: Elaborado pela autora.

Nesse compartimento, observou-se um número reduzido de feições morfológicas no corredor fluvial, sendo um dos fatores a intensa urbanização, com a presença de ruas asfaltadas, pontes, lojas e estabelecimentos comerciais em ambas as margens do corredor fluvial (Tabela 3). A vegetação ciliar das margens e da planície (leito maior) foi removida para a construção de bairros e condomínios próximos ao canal fluvial. O aterramento realizado para a construção de ruas e residências pode ter contribuído para o preenchimento de algumas feições na planície fluvial. De acordo com Souza (2004, p. 77) “O corredor fluvial é uma unidade geomorfológica importante, pois, nela interagem os fatores físicos, biológicos, econômicos e sociais”.

Tabela 3: Feições morfológicas mapeadas em 2010 e 2020, no médio curso do rio Itapecuru compartimento III no município de Caxias, MA

Compartimento III	Feições morfológicas	2010	2020	
			Remanescente	novas
	Feições naturais			
	Barra de Sedimentos	5	4	2
	Lagoa	4	3	1
	Feições artificiais			
	Tanques de piscicultura	2	2	2
	Feições totais	11	9	5

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

No que tange às mudanças morfológicas em redes de drenagem urbana em áreas tropicais, Lucas e Cunha (2007, p. 40) constataram que 80% da população brasileira residem nos grandes centros urbanos “acarretando a ocupação do espaço que, associado à falta de conscientização quanto à importância dos ambientes fluviais na vida do homem, gera a deterioração desses ambientes”.

3.4 Compartimento IV

No sentido longitudinal, o canal apresenta sinuosidade com padrão retilíneo, trecho em que o rio Itapecuru tem uma extensão de aproximadamente 4,66 km. No compartimento IV, em 2010, constatou-se a presença de cinco barras de sedimentos, quatro tanques e quatro lagoas. Em 2020, foram observados como remanescentes cinco barras de sedimentos, duas lagoas e três tanques. Novas feições surgiram na área, sendo sete barras de sedimentos e três lagoas. Também foram construídos três tanques (Figuras 11 e 12).

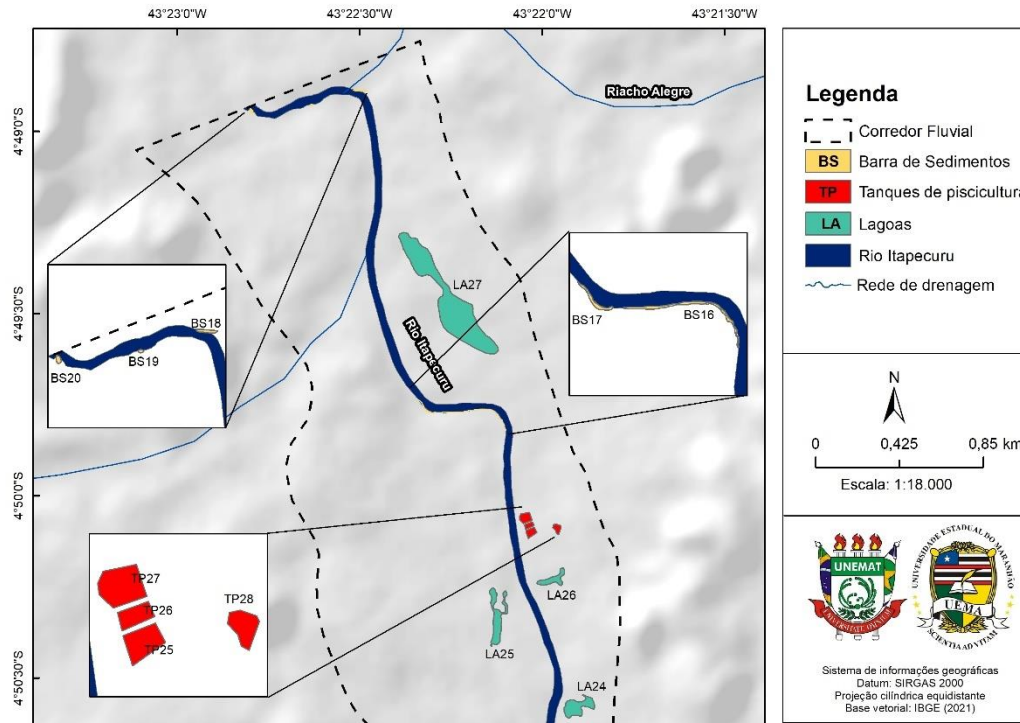


Figura 11: Feições morfológicas 2010 (compartimento IV)
Fonte: Elaborado pela autora.

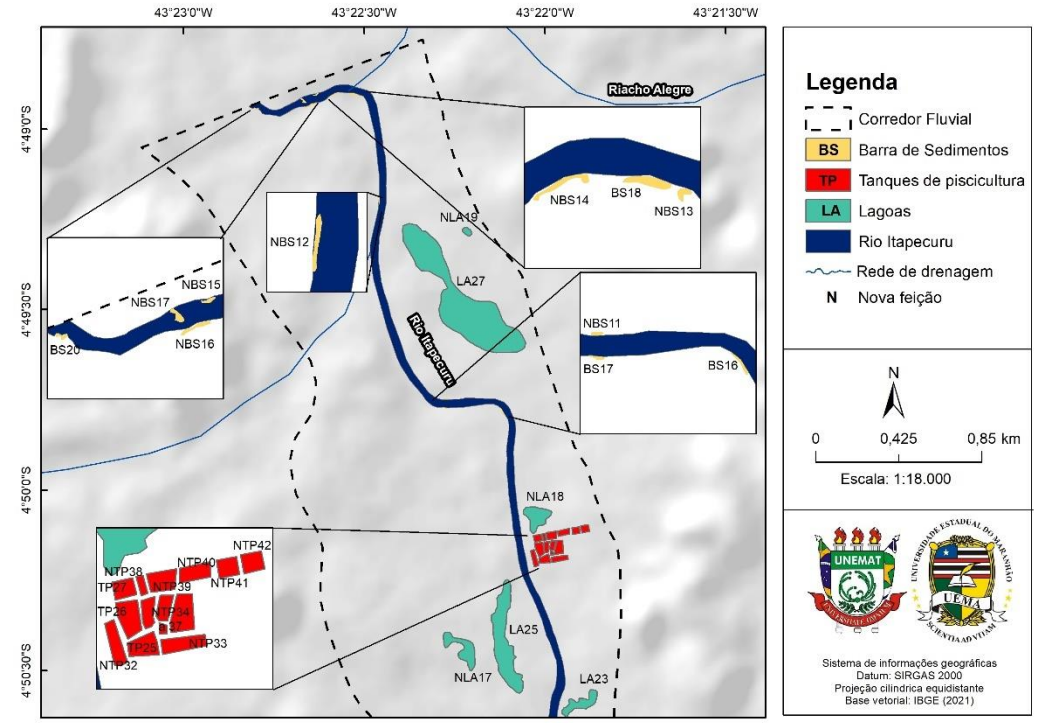


Figura 12: Feições morfológicas 2020 (compartimento IV).
Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 4: Feições morfológicas mapeadas em 2010 e 2020, no médio curso do rio Itapecuru compartimento IV no município de Caxias, MA

Compartimento IV	Feições morfológicas	2010	2020	
			Remanescentes	Novas
	Feições naturais			
	Barra de Sedimentos	5	5	7
	Lagoa	4	2	3
	Feições artificiais			
	Tanques de piscicultura	4	3	11
	Feições totais	13	10	21

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

No compartimento IV, observou-se que foi o com maior destaque para as barras de sedimentos, com uma concentração significativa de sedimentos nas margens convexas do canal. Em campo, também foram registradas barras submersas (Figura 13).

Segundo Guerra e Cunha (2013), os processos fluviais de erosão, transporte e deposição de sedimentos se alteram ao longo do tempo no leito fluvial. O que os define é a distribuição da velocidade e a turbulência do fluxo, juntamente com a carga transportada.



Figura 13: Barras de sedimentos laterais no compartimento (IV) do rio Itapecuru

Fonte: Fotografado pela autora (2021).

Em relação à formação e à evolução morfológica de barras e ilhas em rios semiáridos no baixo curso do Rio Jaguaribe, no Ceará, Queiroz *et al.* (2018) observaram que a dinâmica quantitativa das barras fluviais segue a variação da vazão. Durante anos secos, houve uma redução das feições devido à ausência de fluxos capazes de transportar os sedimentos. Os autores verificaram que, em anos chuvosos, aumenta a quantidade de barras fluviais (laterais e centrais) pelos novos ciclos de agregação no canal fluvial.

No compartimento (IV), no sentido longitudinal do corredor fluvial, a morfologia do canal se destaca por apresentar duas curvas em formato de cotovelo (mudança do fluxo em 90°). Nesse compartimento, portanto, a margem esquerda é mais propensa à erosão, sendo constatados em campo vários pontos de erosão nessa margem, contribuindo para o aumento das novas barras de sedimentos no rio Itapecuru (Figura 14).



Figura 14: Erosão na margem esquerda do rio Itapicuru compartimento (IV)

Fonte: Fotografado pela autora (2021).

Quando Souza (2004) estudou a dinâmica das feições morfológicas e a migração lateral do canal do rio Paraguai entre a cidade de Cáceres e a estação ecológica da ilha de Taiamã, MT, destacou que o processo evolutivo do corredor fluvial (calha e planície) reflete mudanças em diferentes escalas temporais, associadas à evolução geológica e climática da região, bem como aos efeitos da ação humana tanto direta quanto indireta, no canal. A autora também enfatizou a importância de estudar e monitorar a erosão das margens. Segundo a autora, as “margens tem sua importância social como prevenção de desmoronamentos de barracos em áreas urbanizadas, bem como importância

econômica, evitando a perda de terrenos em áreas rurais e urbanas, além de mostrar a dinâmica do canal em termos de erosão” (Souza, 2004, p. 101).

Guerra e Cunha (2013, p. 228), ao estudarem a dinâmica das águas correntes, hidrologia e geometria hidráulica, destacaram que “a capacidade de erosão das margens e do leito fluvial bem como o transporte e deposição da carga dependem, entre outros fatores da velocidade, e suas alterações modifica de imediato essas condições”.

Para Magalhães Junior e Barros (2020, p. 261), “as barras de canal são feições deposicionais aluviais de leito ativo, podem ser emersas ou submersas, são constituídas por carga detrítica (areais, cascalho) que seguem o regime fluvial ao longo do tempo”.

Santos e Leal (2013, p. 46), ao abordarem o gerenciamento de recursos hídricos no estado do Maranhão, registraram que, na bacia hidrográfica do rio Itapecuru, a “navegação está sendo prejudicada em função do processo do assoreamento que os corpos d’água vêm passando nos últimos anos”.

A transição climática na área de estudo também pode influenciar a configuração das feições morfológica do corredor fluvial, uma vez que o clima é um dos fatores determinantes na formação dos solos. A variabilidade na precipitação, juntamente com outros fatores, pode influenciar o surgimento e desaparecimento de lagoas, barra de sedimentos e contribuir para a construção de canais artificiais em áreas de planície. Segundo Valley *et al.* (2006, p. 210), “A evolução dos sistemas de drenagem está diretamente vinculada a influências lito-estruturais e variações no regime climático que imprimem na paisagem feições morfológicas específicas”.



Figura 15: Foto de canal artificial no corredor fluvial do rio Itapecuru
Fonte: Fotografado pela autora (2021).

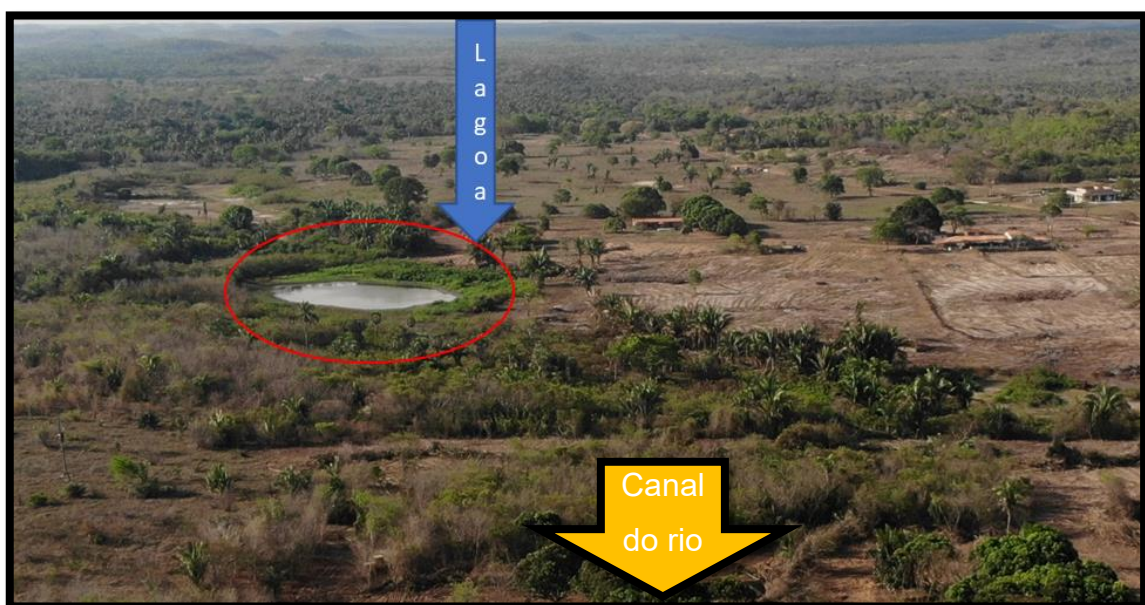


Figura 16: Interferência antrópica próximo das lagoas na margem direita do rio Itapecuru
Fonte: Fotografado pela autora (2021).

Os registros aéreos revelaram a expansão do desmatamento na planície. A

retirada da vegetação nas bordas das lagoas expôs o solo ao redor, o que, no período das chuvas, favorece o escoamento superficial e o transporte de sedimentos para dentro das lagoas, acarretando seu assoreamento e alterando esses ambientes. Segundo Guerra (2003, p. 373), as lagoas são descritas como “depressões de formas variadas, tendendo a formas circulares, de profundidades pequenas e cheia de água doce ou salgada.”

Estudos realizados por Sakamoto et al. (2012), com análise de topossequências em áreas preservadas e desmatadas, identificaram alterações pedomorfológicas em cada ambiente. Em áreas preservadas, o perfil estava em equilíbrio, enquanto, nas áreas desmatadas, observou-se uma desorganização pedomorfológica, com o nível freático mais próximo à superfície. Os autores também destacaram que a análise integrada da paisagem contribuiu para a interpretação das alterações, que foram influenciadas pela ação antrópica decorrente do desmatamento.

Silva e Santos (2010, p. 5), ao estudarem os Sistemas de drenagem e evolução da paisagem, ressaltam que:

Os mecanismos que envolvem a evolução dos sistemas de drenagem ao longo do tempo estão diretamente relacionados à própria compreensão da história evolutiva da paisagem, por estes ambientes trazerem consigo uma série de características em sua conformação, arranjo e distribuição dos canais fluviais (Silva; Santos, 2010, p. 5).

Magalhães Júnior, Barros e Cota (2020), ao estudarem a morfodinâmica fluvial, destacam que compreender os processos de produção de sedimentos e escoamento em uma bacia hidrográfica não se limita à análise geomorfológica, mas também é essencial para o planejamento do uso do solo, gestão territorial, proteção dos sistemas hídricos e gestão dos recursos hídricos, considerando tanto a quantidade quanto a qualidade. Esse processo envolve fatores de natureza física e humana (Magalhães Júnior; Barros; Cota, 2020).

4 CONCLUSÃO

As mudanças morfológicas analisadas no período de 2010 a 2020 permitiram uma análise quantitativa do aparecimento, desaparecimento e surgimento de novas feições, no canal e na planície. As feições morfológicas observadas estão diretamente relacionadas aos condicionantes ambientais, como clima, geologia, geomorfologia, solo, declividade,

além da intensa interferência humana direta e indireta no rio e na planície).

No compartimento I, em 2010, constatou-se a existência de quatro barras de sedimentos, oito canais artificiais e 15 lagoas. Em 2020 foram observadas feições remanescentes, sendo duas barras de sedimentos, dois tanques e duas lagoas. Verificou-se também o surgimento de novas feições, sendo sete barras de sedimentos e 10 lagoas, além da construção de 26 tanques.

No compartimento II, em 2010, registrou-se a presença de seis barras de sedimentos, 14 tanques e quatro lagoas. Em 2020 foram identificadas como feições remanescentes três barras de sedimentos, três lagoas e sete tanques. Portanto, houve o surgimento de duas barras de sedimentos e a construção de três tanques.

No compartimento III, em 2010, constatou-se a presença de cinco barras de sedimentos, dois tanques e quatro lagoas. Em 2020, foram observadas como feições remanescentes quatro barras de sedimentos, dois tanques e três lagoas. Novas feições surgiram na área, incluindo duas barras de sedimentos e uma lagoa. Além disso, foram construídos dois tanques.

No compartimento IV, em 2010, constatou-se a presença de cinco barras de sedimentos, quatro tanques e quatro lagoas. Em 2020, foram observados como feições remanescentes cinco barras de sedimentos, três tanques e duas lagoas. Novas feições surgiram, incluindo sete barras de sedimentos e três lagoas. Além disso, foram construídos 11 tanques.

A análise temporal possibilitou o conhecimento das ocorrências de feições: como barras de sedimentos, tanques de piscicultura e lagoas; no médio curso do rio Itapecuru, no município de Caxias, MA. A pesquisa também permitiu analisar o aumento de tanques de piscicultura na planície, além do aparecimento e desaparecimento de lagoas, que foram transformadas em tanques.

No que diz respeito ao impacto ambiental, pode-se constatar que os canais de piscicultura e a formação de barras de sedimentos representam impactos negativos para o rio Itapecuru. As barras de sedimentos indicam um processo de assoreamento do rio, enquanto a retirada da vegetação das margens acelera a erosão. Através do mapeamento das feições morfológicas, registrou-se, para o ano de 2020, o aumento das barras de sedimentos, totalizando 12 barras de sedimentos no recorte de estudo.

Diante do exposto, os canais construídos na planície também geram impactos no rio. Parte da água do rio pode ser desviada para a manutenção dos tanques de piscicultura, resultando na transferência de água do próprio canal para os tanques, que

é proveniente do lençol freático. Essa transferência hidráulica pode agravar a disponibilidade de água. O aumento do número de canais gera interferências adicionais no sistema hídrico.

Por meio da análise realizada, constatou-se que as feições morfológicas de rios encaixados diferem das observadas em rios de planície, sendo influenciadas pela estrutura geológica e pelos condicionantes do corredor fluvial. Os estudos ambientais, quando realizados em uma análise temporal, são de suma importância, pois contribuem para o conhecimento aprofundado do ambiente em questão e, dessa forma, possibilitam uma gestão mais eficaz no planejamento em diferentes escalas.

REFERÊNCIAS

- ASSINE, M. L. **Sedimentação na bacia do Pantanal Mato-Grossense, Centro-Oeste do Brasil**. 2003. 106f. Tese (livre-docência), Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro, SP, 2003. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/entities/publication/fe8158fc-656d-421c-bd5d-3f71abf7ae72>. Acesso em: 18 mar. 2024.
- BARROSO, H. G.; SOUSA, A. P. Áreas potenciais para a aquicultura sustentável na bacia do rio Itapecuru: bases para o planejamento com uso do Sistema de Informação Geográfica. **Revista Brasileira de Engenharia de Pesca**, v. 2, n. 1, p. 80-102, 2007. Disponível em: <https://ppg.revistas.uema.br/index.php/REPESCA/issue/view/4>. Acesso em: 04 dez. 2023.
- BAYER, M.; CARVALHO, T. M. Processos morfológicos e sedimentos no canal do rio Araguaia. **Revista de Estudos Ambientais**, v.10. n. 2, p. 24-31. 2008. Disponível em: http://ufrr.br/mepa/phocadownload/bayer_carvalho_2008.pdf. Acesso em: 13 fev. 2015.
- BOSQUILIA, R. W. D.; FIORIO, P. R.; DUARTE, S. N.; FARIA, G. V.; BARROS, S. P. P. Comparação entre diferentes imagens de satélite no mapeamento visual de drenagens e nascentes em amostras circulares. **Anais... XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, SBSR, João Pessoa-PB, Brasil, 25 a 29 abr.2015, INPE**. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2015/>. Acesso em: 23 abr. 2024.
- CHRISTOFOLETTI, A. **As perspectivas dos estudos geográficos: perspectivas da Geografia**. São Paulo: Difel, p. 11-36, 1982.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia fluvial**. São Paulo: Edgard Blucher, 1981.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Blucher, 1980.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Hucitec, 1977. p. 1- 41.
- COELHO, J. M.; LYRA, L. H. B.; PEREIRA, L. A.; FRANÇA, L. F. O.; CALADO, D. V. Mapeamento e evolução das barras fluviais na margem esquerda da ilha do Maroto, alto submédio São Francisco. **Anais... XII SINAGEO. Paisagem e geodiversidade: a valorização do patrimônio brasileiro**. 2018. 8 p. Disponível em: <https://www.sinageo.org.br/2018/trabalhos/5/index.html>. Acesso em: 04 dez. 2023.
- CONAMA. **RESOLUÇÃO nº 274**, de 29 de novembro de 2000. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2018/01/RESOLU%C3%87%C3%83O-CONAMA-n%C2%BA->

[274-de-29-de-novembro-de-2000.pdf/](#). Acesso em: 18 mar. 2024.

CONAMA. **RESOLUÇÃO nº 357**, de 17 de março de 2005. Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res_conama_357_2005_classificacao_corpos_agua_rtfcdaltrd_res_393_2007_397_2008_410_2009_430_2011.pdf. Acesso em: 18 mar. 2024.

DANTAS, M. E.; SHINZATO, E.; BANDEIRA, Í. C. N.; SOUZA, L. V.; RENK, J. F. C. **Compartimentação geomorfológica do Estado do Maranhão**. CPRM, 2023, 32 p. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/303376012_Compartimentacao_geomorfolgica_do_Estado_do_Maranhao. Acesso em: 14 jan. 2024.

DIAS, G. M.; GRANADO, D. C. Lazer e recreação associados aos ambientes aquáticos numa pequena cidade do interior paulista. **Anais... Colloquium Humanarum**. 2014. p. 678-686. Disponível em: <https://journal.unoeste.br/index.php/ch/issue/view/94>. ISSN: 1809-8207. DOI: 10.5747/ch.2014.v11.n3.

Acesso em: 04 dez. 2023.

DIETRICH, W. E. Mechanics of flow and sediment transport in river bends. In: PETTS, G. (Ed.). **Rivers a landscape**. Edward Arnold, 1985. p. 158-174. Disponível em: <https://www.wiley.com/en-us/Rivers+in+the+Landscape%2C+2nd+Edition-p-9781119535430>. Acesso em: 23 abr. 2024.

FERNANDEZ, O. V. Q. **Mudanças no canal fluvial do rio Paraná e processos de erosão nas margens**: região de Porto Rico, PR. 1990, 85f. Orientador: Prof. Dr. José Vicente Fúlfaro. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia. Instituto de Geociências e Ciências Naturais, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, UNESP, Rio Claro, SP, 1990. Disponível em: <https://www.oasisbr.ibict.br/vufind/Author/Home?author=OSCAR+VICENTE+QUINONEZ+FERNANDEZ>. Acesso em: 13 fev. 2021.

FLORES, D. M.; LIMA, A. G.; OLIVEIRA, D. Morfologias de leito fluvial em Riodacitos Pórfiros do Grupo Serra Geral. **Revista do Departamento de Geografia**, p. 107-117, 2018. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rdg>. Acesso em: 10 mar. 2021.

GOSWAMI, U.; SARMA, J. N.; PATGIRI, A. D. River channel changes of the subansiri in Assam, India. **Geomorphology**, 30, 227-244. 1999. 17 p. Disponível em: <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=396832>. Acesso em: 04 dez. 2023.

GRECO, S.; PLANT, R. Temporal Mapping of Riparian Landscape Change on the Sacramento River, **Landscape Research**, California, v. 28, n.4, 405–426, October 2003. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/toc/clar20/28/4?nav=tocList>.

Acesso em: 23 abr. 2024.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia**: uma atualização de bases e conceitos. 12. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2013.

GUERRA, A. T. **Novo dicionário geológico-geomorfológico**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003.

KELLERHALS, R.; CHURCH, M.; BRAY, D. Classification and analysis of river processes. American Society of Civil Engineers Proceeding. **Journal of the Hydraulics Division**, p. 813-829, 1976. Disponível em: <https://ascelibrary.org/toc/jycej/92/2>. Acesso em: 04 dez. 2023.

LUCAS, L. M.; CUNHA, S. B. Rede de drenagem urbana em área tropical: mudanças

na morfologia do canal e níveis de poluição das águas Rio dos Macacos Rio de Janeiro, RJ. **GEOSP Espaço e Tempo (Online)**, v. 11, n. 2, p. 39-64, 2007. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/geosp/issue/view/5726>. Acesso em: 18 mar. 2024.

MAGALHÃES JÚNIOR, A. P. M.; BARROS, L. F. P. **Hidrogeomorfologia**: Formas, processos e registros sedimentares fluviais. Editora Bertrand Brasil, 2020. 417 p.

MAGALHÃES JÚNIOR, A. P.; BARROS, L. F. P.; COTA, G. E. M. Morfodinâmica fluvial. **Hidrogeomorfologia**: formas, processos e registros sedimentares fluviais. Bertrand Brasil, p. 121-162, 2020. Disponível em: <https://www.ifmg.edu.br/sic/edicoes-antiores/2022/ciencias-exatas-e-da-terra/condicionantes-da-configuracao-de-bacias-hidrograficas-assimetricas-na-bacia-do-alto-rio-jequitinhonha-serra-do-espinhaco-meridional.pdf>. Acesso em: 14 jan. 2024.

MORAIS, E. S.; CREMON, É. H.; SANTOS, M. L.; SOUZA FILHO, E. E.; STEVAUX, J. C. Orientação da drenagem como resposta a controles geomorfológicos: análise do Córrego Dourado, Paraná-Brasil. **Boletim de Geografia**, v. 28, n. 2, p. 127-135, 2010. Disponível em: <https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/BolGeogr/issue/view/387>. Acesso em: 04 dez. 2023.

PEDROSA, P.; REZENDE, C. E. As muitas faces' de uma lagoa. **Ciência Hoje**, p. 40-47, 1999. Disponível em: <https://cienciahoje.org.br/>. Acesso em: 13 fev. 2015.

QUEIROZ, P. H.; PINHEIRO, L. D. S.; CAVALCANTE, A. A.; TRINDADE, J. Formação e evolução morfológica de barras e ilhas em rios semiáridos: o contexto do baixo curso do Rio Jaguaribe, Ceará, Brasil. **Revista de Geografia e Ordenamento do Território**, v. 13, p. 363-388, 2018. Disponível em: <http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/58139>. Acesso em: 23 abr. 2024.

RICCOMINI, C.; ALMEIDA, R. P. D.; GIANNINI, P. C. F.; MANCINI, F. Processos fluviais e lacustres e seus registros. In: TEIXEIRA, W et al. Decifrando a Terra. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2009.

ROSA, R. Introdução ao Geoprocessamento. Universidade Federal de Uberlândia. Instituto de Geografia. **Laboratório de Geoprocessamento**. 2013. 142 p. Disponível em: http://professor.ufabc.edu.br/~flavia.feitosa/cursos/geo2016/AULA5-ELEMENTOSMAPA/Apostila_Geop_rrosa.pdf. Acesso em: 07 mar. 2023.

ROSS, J. L. S.; FIERZ, M. S. M. Algumas técnicas de pesquisa em geomorfologia. In: VENTURI, L. A. (Org.). **Praticando a geografia**: técnicas de campo e laboratório em geografia e análise ambiental. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p.69-84.

SAKAMOTO, A. Y.; BACANI, V. M.; GRADELLA, F. S.; FERREIRA, C. C.; DECCO, H. F. Desmatamento e alterações ambientais no Pantanal da Nhecolândia, MS, Brasil. **Revista Geonorte**, Edição Especial 2, v. 3, n. 4, p. 827-839, 2012. Disponível em: <https://www.periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/issue/view/135>. Acesso em: 23 abr. 2024.

SANTOS, L. C. A.; LEAL, A. C. Gerenciamento de recursos hídricos no estado do Maranhão-Brasil. Observatorium: **Revista Eletrônica de Geografia**, v. 5, n. 13, p. 39-65, 2013. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/Observatorium/article/view/45684>. Acesso em: 10 mar. 2021.

SILVA, D. M. **Análise da hidrodinâmica do rio itapecuru na área periurbana de Colinas, Maranhão**. Orientadora: Drª Quésia Duarte da Silva. 2023. 120 f.

Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Natureza e Dinâmica do Espaço (PPGEO) Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, MA. 2023. Disponível em: https://sis.sig.uema.br/sigaa/public/programa/noticias_desc.jsf?lc=pt_BR&id=940¬icia=17036033. Acesso em: 05 fev. 2024.

SILVA, I. F. T.; FREITAS, A. L. B. **Noções básicas de cartografia**. Rio de Janeiro: IBGE, 1998. 127 p.

SILVA, R. K. I. L. **Avaliação das imagens do Google Earth® de alta resolução espacial em relação às ortofotos para o mapeamento de áreas de preservação permanente (APP)**. 2016. 44f. Supervisora: Prof. Dr. Christel Lingnau (Trabalho de Conclusão de Curso) – Graduação em Engenharia Florestal – Ênfase em Ciências Agrárias. Universidade Federal do Paraná. UFPr, Curitiba, Paraná. 2016. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/xmlui/handle/1884/44899>. Acesso em: 04 dez. 2023.

SILVA, T. M.; SANTOS, B. P. Sistemas de drenagem e evolução da paisagem. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 4, n. 1, p. 5-19, 2010. Disponível em: <https://revista.ufrn.br/rga/issue/view/180>. Acesso em: 10 mar. 2021.

SOUZA, A. **A evolução geomorfológica da paisagem na bacia do Rio dos Bagres, MG**. 2021. 97 f. Orientador: Prof. Dr. André Luiz Lopes de Faria Coorientador: Prof. Dr. Liovando Marciano da Costa. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade Federal de Viçosa, UFV, 2021. Disponível em: <https://locus.ufv.br/server/api/core/bitstreams/287c889a-4313-4789-a54c-2b808fc15a11/content>. Acesso em: 13 fev. 2015.

SOUZA, C. A. **Dinâmica do corredor fluvial do rio Paraguai entre a cidade de Cáceres e a Estação Ecológica da ilha de Taianã, MT**. 2004, 173 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza, Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 173 f. 2004. Disponível em: <https://objdig.ufrj.br/16/teses/646547.pdf>. Acesso em: 30 jun. 2022.

SOUZA, C. A.; CUNHA, S. B. Pantanal de Cáceres, MT: dinâmica das margens do Rio Paraguai entre a cidade de Cáceres e a Estação Ecológica da Ilha de Taianã, MT. **Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros, Seção Três Lagoas**, 1(5), 18-43. 2007. 25 p. Disponível em: <https://periodicos.ufms.br/index.php/RevAGB>. DOI: <https://doi.org/10.55028/agb-tl.v1i40>. Acesso em: 23 abr. 2024.

SOUZA, C. A.; SILVA, Q. D.; LIMA, T. E.; LIMA, C. S. Características morfológicas do corredor fluvial do rio Itapecuru-Maranhão. **Revista Geoaraguaia**, v. 13, n. Especial, p. 312-325, 2023. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/geo/issue/view/783>. Acesso em: 04 dez. 2023.

STEVANUX, J. C. **O Rio Paraná: geomorfogênese, sedimentação e evolução quaternária do seu curso superior (região de Porto Rico, PR)**. 2015. 261 f. Orientador: Paulo Milton Barbosa Landim. Tese (Doutorado em Geologia) – Programa de Pós-Graduação em Geologia. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, USP, São Paulo, 2015. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44136/tde-30062015-145032/pt-br.php>. Acesso em: 18 mar. 2024.

VALLEY, S. M.; SILVA, T. M.; SILVA MONTEIRO, H.; CRUZ, M. A.; MOURA, J. R. D. S. Anomalias de drenagem e evolução da paisagem no médio vale do rio Paraíba do Sul (RJ/SP). **Anuário do Instituto de Geociências (Rio de Janeiro)**, v. 29, p. 210-224, 2006. Disponível em: <https://revistas.ufrj.br/index.php/aigeo>. Acesso em: 04 dez. 2023.

WHEATON, J. M.; FRYIRS, K. A.; BRIERLEY, G.; BANGEN, S. G.; BOUWES, N.;

O'BRIEN, G. Geomorphic mapping and taxonomy of fluvial landforms.

Geomorphology, Amsterda, 248, 273-295, 2015. Disponível em:

<https://research.vu.nl/en/activities/geomorphology-journal-4>. Acesso em: 23 abr. 2024.

CAPÍTULO IV – USO E COBERTURA DA TERRA NO MÉDIO CURSO DO RIO ITAPECURU, NO MUNICÍPIO DE CAXIAS, MA

RESUMO

O município de Caxias, no Maranhão, consolidou-se a partir de frentes migracionais litorâneas, inicialmente com a conquista francesa e, posteriormente, com a de portugueses. Esses limites, atualmente, apresentam variada ocupação e formas de uso da terra. Por esse motivo, o objetivo deste trabalho foi analisar a evolução espaço-temporal do uso e cobertura da terra, bem como os impactos decorrentes dessas transformações. Para a realização desta análise, foi necessária a construção de uma base de dados sobre o uso e cobertura da terra na área de estudo, por meio da aquisição do mosaico de imagens do MapBiomas, coleção 5. De mesmo modo, a elaboração do mapa de supressão da vegetação natural e regeneração ocorreu a partir da aquisição de dados *raster* do MapBiomas, coleção 6. O mapeamento do uso e cobertura da terra na região investigada, com base no MapBiomas, permitiu identificar e analisar dez unidades distintas: Formação Florestal (1.665,44 km²), Formação Savânica (1.254,37 km²), Silvicultura (1,69 km²), Formação Campestre (158,89 km²), Pastagem (293,40 km²), Infraestrutura Urbana (22,70 km²), Outras Áreas não Vegetadas (28,60 km²), Rio e/ou Lagoa (2,37 km²), Soja (1,28 km²) e Outras Lavouras Temporárias (0,91 km²). O cotejamento das mudanças temporais no uso e cobertura da terra entre 1985 e 2021 revelou uma expressiva ampliação das áreas de pastagem. No primeiro ano analisado, essa categoria ocupava apenas 0,44 km², enquanto em 2021 atingiu 293,40 km², registrando uma expansão de 99,85% da unidade. Adicionalmente, a investigação sobre desmatamento e regeneração entre 1988 e 2019 permitiu avaliar tanto as áreas suprimidas quanto as regeneradas ao longo do período. A classe *pastagem*, identificada como de origem antrópica, apresentava uma extensão de 10,13 km² no primeiro ano analisado, aumentando para 121,32 km² em 2019, o que equivale a uma expansão de 92% na área de pesquisa. O estudo do uso e ocupação de um determinado área território é de suma importância para a obtenção de dados que possibilitem compreender a dinâmica produtiva e os diferentes tipos de uso do espaço geográfico. Além disso, a análise dessas transformações em diferentes escalas contribui para o planejamento territorial, especialmente no contexto de bacias ou sub-bacias hidrográficas.

Palavras-chave: Cobertura e uso da terra; atividades antrópicas, ocupação; supressão da vegetação; regeneração.

ABSTRACT

The city of Caxias, in Maranhão, was consolidated from coastal migration fronts, initially with the French conquest and, later, with that of the Portuguese. These boundaries currently present varied occupation and forms of land use. For this reason, the objective of this study was to analyze the spatiotemporal evolution of land use and coverage, as well as the impacts resulting from these transformations. To carry out this analysis, it was necessary to build a database on land use and land cover in the study area, through the acquisition of the image mosaic from MapBiomias, collection 5. Likewise, the preparation of the map of natural vegetation suppression and regeneration occurred from the acquisition of raster data from MapBiomias, collection 6. The mapping of land use and land cover in the investigated region, based on MapBiomias, allowed the identification and analysis of ten distinct units: Forest Formation (1,665.44 km²), Savannah Formation (1,254.37 km²), Silviculture (1.69 km²), Grassland Formation (158.89 km²), Pasture (293.40 km²), Urban Infrastructure (22.70 km²), Other Non-Vegeted Areas (28.60 km²), River and/or Lagoon (2.37 km²), Soybean (1.28 km²) and Other Crops. Temporary (0.91 km²). The comparison of temporal changes in land use and cover between 1985 and 2021 revealed a significant expansion of pasture areas. In the first year analyzed, this category occupied only 0.44 km², while in 2021 it reached 293.40 km², registering an expansion of 99.85% of the unit. Additionally, the investigation into deforestation and regeneration between 1988 and 2019 allowed us to evaluate both the suppressed and regenerated areas over the period. The pasture class, identified as being of anthropic origin, had an extension of 10.13 km² in the first year analyzed, increasing to 121.32 km² in 2019, which is equivalent to a 92% expansion in the research area. The study of the use and occupation of a given territorial area is of utmost importance for obtaining data that makes it possible to understand the productive dynamics and the different types of use of geographic space. Furthermore, the analysis of these transformations at different scales contributes to territorial planning, especially in the context of river basins or sub-basins.

Keywords: Land use and cover; anthropogenic activities, occupation; suppression of vegetation; regeneration.

1 INTRODUÇÃO

No mundo contemporâneo, a problemática ambiental tem sido amplamente discutida em razão da questionável relação homem versus natureza. A exploração dos recursos naturais pelo ser humano, motivada pela necessidade de suprir suas necessidades, gera diversos impactos ambientais, como o uso desordenado do solo, a remoção da vegetação nativa, o desequilíbrio do ciclo hidrológico e a alteração no microclima entre outros (Florencio; Assunção, 2010).

A análise do processo histórico e do uso e cobertura da terra no médio curso da bacia hidrográfica do rio Itapecuru, no município de Caxias, no estado do Maranhão, propiciou a compreensão aprofundada dos diferentes tipos de apropriação desse território. Para Florêncio e Assunção (2010, p.1), “a classificação do uso da terra numa dada região tornou-se um aspecto fundamental para compreender os padrões de organização do espaço”.

O município de Caxias limita-se ao norte com os municípios de Aldeias Altas, Codó e Coelho Neto; a leste com São José do Soter; a oeste com União e Teresina, estado do Piauí, e ao sul com Parnarama, Matões e Timon. Sua constituição ocorreu a partir de núcleos de ocupação vinculados às rotas comerciais do oceano Atlântico e ao declínio das capitanias hereditárias, administradas por João de Barros e Aires da Cunha e Fernando Álvares de Andrade. A ausência de investimentos e a baixa densidade demográfica direcionaram a economia à agricultura de subsistência (Araújo, 2012).

A demarcação do perímetro municipal no médio vale do Itapecuru decorreu da ocupação progressiva por três frentes de povoamento, em épocas diferentes: a Frente Litorânea (século XVII), a Frente da Pecuária (século XVIII) e a Frente dos Migrantes da Seca (século XX) (Trovão, 2008).

Segundo Trovão (2008, p. 13), a *Frente Litorânea* ocorreu porque “Tanto o processo de conquista francesa, como a posse definitiva portuguesa, se desenvolveu inicialmente pelo litoral espalhando-se timidamente no sentido oeste e leste [...]”. Posteriormente, essa ocupação avançou sobre os vales inferiores e sobre o médio curso dos rios. A ausência de vias urbanas levou à construção de estradas ao longo das margens fluviais, resultando na ocupação linear do território. O principal objetivo desse movimento foi consolidar o domínio português, pressionando as populações indígenas que resistiam à invasão (Trovão, 2008).

A *Frente da Pecuária* desenvolveu-se com a expansão da criação de gado ao sertão nordestino, já que, na faixa litorânea, tanto as terras quanto a mão de obra

convergiavam para a cultura da cana-de-açúcar. Os pecuaristas, a fim de evitar conflitos, deslocaram-se para o semiárido, onde encontraram pastagens naturais propícias à instalação de currais (Trovão, 2008). A colonização do sertão foi impulsionada pela iniciativa privada, a partir de fluxos migratórios provenientes do Ceará e do Piauí. No Maranhão, essa ocupação avançou pelo Planalto Maranhense, vindo do Sul. A atividade pecuária alavancou economicamente a região, mas também fomentou conflitos entre os vaqueiros vindos do Vale do São Francisco e os nativos da região. Por essa razão, o alto sertão maranhense desenvolveu-se tardiamente, aproximando-se gradualmente do litoral (Cabral, 1992; Trovão, 2008).

A terceira e a última frente de ocupação, a *Frente dos Migrantes da Seca* (século XX), resultou da migração populações provenientes de áreas atingidas pela seca. Até o início do século XX, os fluxos migratórios originados no litoral não foram suficientes para ocupar os vales inferiores e médios do Itapecuru, bem como dos vales do Pindaré e Turiaçu, resultando em um território esparsamente povoado e caracterizado por vazios demográficos (Trovão, 2008).

Enquanto a Frente Litorânea ocupou de forma linear a margem dos rios e a Frente da Pecuária se estabeleceu em áreas fluviais e nos campos cerrados, a Frente dos Migrantes da Seca expandiu-se sobre a floresta equatorial e mata tropical, localizadas nos planaltos e nas áreas onduladas do conjunto serrano central. Além disso, ocupou porções meridionais da planície costeira e da planície fluvial (Trovão, 2008).

Desse modo, delinearam-se os limites municipais do Maranhão, incluindo o município de Caxias, cuja formação remonta ao século XVII, no contexto da Frente Litorânea. De acordo com o Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos (IMESC), o:

Movimento de Entradas e Bandeiras no interior maranhense para o reconhecimento e ocupação das terras às margens do rio Itapecuru, durante a invasão francesa no Maranhão. O local onde se acha situada a cidade de Caxias foi, primitivamente, um agregado de grandes aldeias indígenas, que conviviam pacificamente com os franceses. Porém, com a expulsão dos franceses do Maranhão, em 1615, os portugueses subjugaram tais aldeias e venderam os índios como escravos (IMESC, 2021, p. 37).

O território que atualmente corresponde ao município de Caxias recebeu diversas denominações ao longo do tempo. Inicialmente chamado de “Guanaré (denominação

indígena), posteriormente São José das Aldeias Altas, Freguesia das Aldeias Altas, Arraial das Aldeias Altas, Caxias das Aldeias Altas, quando foi elevada à categoria de Vila em 1811”. Finalmente, em 1836, obteve o status de cidade (IMESC, 2021, p. 38).

Pereira, Nunes e Araújo (2021), quando realizaram uma análise multi-temporal de uso, ocupação e cobertura da terra na zona Leste da cidade de Caxias, identificaram que o crescimento populacional no espaço urbano intensificou os processos de antropização, como a retirada da cobertura vegetal, consequentemente reverberando na descaracterização do relevo e danificando os cursos d’água. Ratificando os achados dos autores, Fiorese (2021, p.1) destaca que “estudos de uso e ocupação de terras são de extrema importância na mitigação e atenuação dos impactos ambientais negativos à superfície do solo”.

Leite e Rosa (2012) ressaltam que a determinação do uso e cobertura da terra constitui uma importante ferramenta para subsidiar o planejamento e a tomada de decisão. Para compreender as diferentes formas de uso da terra, é essencial avaliar sua fragilidade frente aos distintos tipos de ocupação. Para Oliveira *et al.* (2016, p.1), “a contínua incorporação de áreas florestais ao processo produtivo tem acarretado mudanças significativas na paisagem”.

Os trabalhos sobre uso e cobertura da terra em bacias hidrográficas desempenham um papel relevante à gestão ambiental. Diversos autores têm abordado a mesma temática. Silva, Neves e Basotti (2017) realizaram um levantamento da cobertura vegetal e do uso da terra na bacia hidrográfica do rio Paraná, no Mato Grosso do Sul. No mesmo estado, Brexó, Mattos e Suszek (2023) os autores caracterizaram o uso e a cobertura da terra na região do vale do rio Ivinhema.

Em Tocantins, Oliveira *et al.* (2016) publicaram *Análise do uso, ocupação e cobertura da terra na bacia hidrográfica do rio Formiga, Tocantins*. No estado de Goiás, Souza e Ferreira Junior (2014) mapearam a cobertura e o uso da terra, utilizando dados de sensoriamento remoto de múltiplas plataformas. Ainda em Goiás, Bayer *et al.* (2020) investigaram as mudanças no uso e cobertura da terra na bacia do rio Araguaia, destacando seus reflexos sobre os recursos hídricos da bacia e, no Espírito Santo, Fiorese (2021) estudou a dinâmica do uso e a ocupação da terra na bacia hidrográfica do Rio Fruteiras.

No Maranhão, Santos *et al.* (2019) analisaram o uso e a cobertura da terra no estado, considerando as transformações nos anos de 2000 e 2016. Além disso, Silva *et al.* (2022) investigaram o uso e a cobertura da terra no médio curso do rio Itapecuru.

2.2 Construção da base de dados

2.2.1 Pré-processamento

A construção da base de dados sobre o uso e a cobertura da terra na área de estudo foi realizada mediante aquisição do mosaico de imagens do MapBiomass coleção 5. De mesmo modo, a elaboração do mapa de supressão da floresta, da vegetação natural não florestal e da vegetação secundária permitiu analisar as transições no uso e cobertura da terra, quantificando a perda de áreas naturais em hectares.

2.2.2 Metodologia de uso e cobertura da terra

Os dados *raster* obtidos na plataforma do MapBiomass foram gerados a partir de imagens de satélite da coleção *Landsat*, com resolução espacial de 30 metros. Essas imagens, disponibilizadas gratuitamente pelo *Google Earth Engine*®, abrangem um período de 36 anos (1985 e 2021). Posteriormente, os dados foram processados por meio de cálculos envolvendo índices e frações espectrais. As etapas do pré-processamento de dados estão detalhadas no protocolo metodológico (Figura 2).

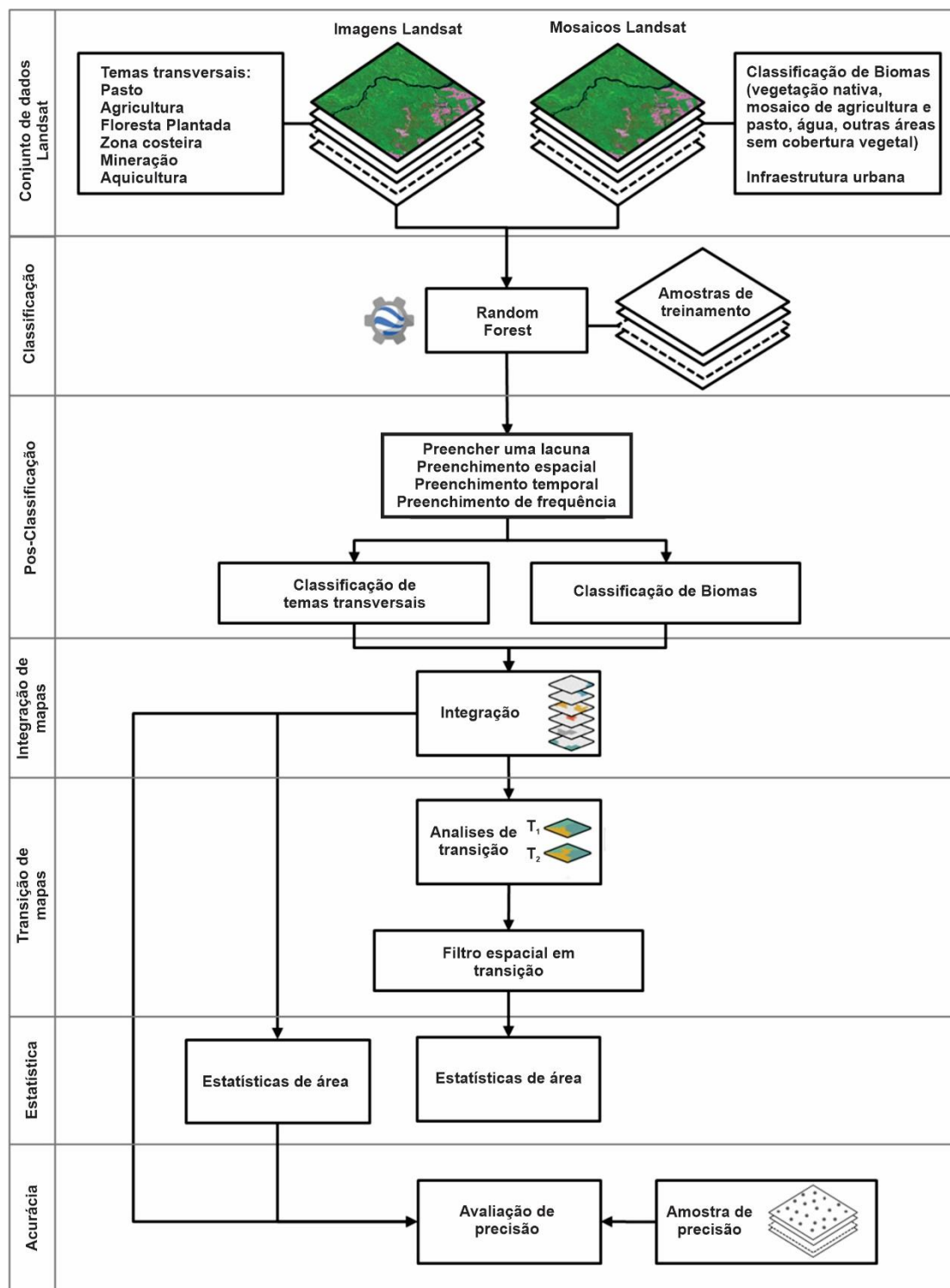


Figura 2: Protocolo metodológico de classificação de uso e cobertura da terra realizado e implementado pelo MapBiomas
Fonte: Souza Jr. et al., (2020).

Os índices foram gerados pelo MapBiomas, utilizando as metodologias consolidadas, como NDFI, NDVI, NPV, todas processadas seguindo o parâmetro das imagens de satélite com resolução espacial de 30x30 metros (MapBiomas, 2021).

Segundo Souza Jr. *et al.* (2020), esses mosaicos utilizam qualquer imagem disponível, incluindo aquelas com cobertura de nuvens ou fumaça. O produto final resulta da seleção de *pixels* sem nuvens nas imagens e nos períodos coletados. Para cada *pixel*, são extraídas métricas que descrevem seu comportamento ao longo do ano correspondente. Esse procedimento é realizado para todas as sete bandas espectrais do ano coletado, e, por meio dos índices, extraem-se a mediana e a amplitude de valores de cada pixel, gerando, ao final, um conjunto de 105 camadas métricas para cada ano.

A coleção de dados foi armazenada na plataforma do *Google Earth Engine*® como *Asset*, que disponibiliza dois parâmetros de classificação das imagens, sendo utilizada para coleta amostras, para treinamento das classes e a avaliação da acurácia. A coleção gerou, também, a composição RGB para o usuário (MapBiomas, 2021).

Por meio do classificador automático *Random forest*, disponível em nuvem nos servidores da Google, foram classificadas as características de uso e cobertura da terra para cada bioma do território brasileiro. Esse processo ocorre com a utilização de inteligência artificial (IA), permitindo a obtenção de classes estáveis por meio de comparação da amostragem de anos anteriores (MapBiomas, 2021).

Os resultados foram avaliados com a aplicação de regras customizadas a cada pixel. Essas regras envolvem a comparação com pixels vizinhos: se N for inferior a 2, o valor do pixel é substituído pela classe predominante ao entorno. Além disso, foram aplicados filtros temporais para evitar inconsistências, ou seja, comparando-se todos os pixels com todas as imagens da série temporal e verificando as alterações em cada classe mapeada (MapBiomas, 2021).

Após a classificação das coleções de uso e cobertura da terra ao longo das séries temporais, foram sobrepostas, resultando em um mapa consolidado com todas as classes. Posteriormente, foi aplicado filtro espacial para a exclusão de bordas e pixels soltos. A validação das classes foi realizada pelo mapa de transição e da matriz de transição que compara a diferença entre os períodos $T_1 - T_2$.

2.2.3 Metodologia de supressão da vegetação natural

Foram realizadas três etapas para a construção metodológica (MapBiomas, 2022). Utilizou-se como base principal a estrutura dos mapas de uso e cobertura da terra mencionada anteriormente para comparar a supressão de vegetação primária e secundária e seus níveis de regeneração.

Primeira etapa: após a coleta das amostras de uso e cobertura da terra, aplicou-

se um filtro de transição para áreas menores que um hectare, quando foram ajustados os erros residuais nas imagens. Esse procedimento considerou as transições em anos consecutivos, dividindo-as em três períodos: antes do ano 2000 (1985 – 1999), posterior a 2000 (2001 – 2018) e, por fim, o ajuste do mapa de 2000, tomando como referência os resultados ajustados de 1999 e 2001 (MapBiomias, 2022).

Segunda etapa: considerando o mapa de 1988, iniciou-se a execução do algoritmo para a identificação de eventos de supressão da vegetação secundária. Esse processo foi conduzido por meio da análise da trajetória de cada pixel conforme os critérios estabelecidos pelo MapBiomias (2022) (Tabela 1).

Tabela 1: Eventos de desmatamento e regeneração

Supressão $t =$	VN $t-2$
	VN $t-1$
	A t
	A $t+1$
Regeneração $t =$	A $t-2$
	A $t-1$
	VN t
	VN $t+1$
	VN $t+2$
	VN $t+3$

Fonte: MapBiomias (2022).

Onde,

VN – Corresponde a qualquer classe de vegetação (Formação Campestre, Campo Alagado e Área Pantanosa, Outra Formação não Florestal, Formação Florestal, Formação Savânica, Mangue);

A – Corresponde a qualquer classe de Uso Antrópico (Agricultura, Floresta Plantada, Pastagem, Mineração, Aquicultura, Infraestrutura Urbana, Outras Áreas não Vegetadas);

t = 1988,..., 2018.

Terceira etapa: realizou-se sobre a série temporal a análise da trajetória, ordenando adequadamente os *pixels* em cada classe supracitada (Tabela 2) (MapBiomias, 2021).

Tabela 2: Classes estabelecidas para o produto

Classe	Descrição	Valor
<i>Vegetação Primária</i>	Indica ausência de evento de <i>desmatamento</i> . Permanência desde o ano-base de uma ou mais classes de <i>vegetação nativa</i> ou transição para classe de <i>uso antrópico</i> com permanência nesta classe por período inferior ao estabelecido (item 2.)	2
<i>Supressão de Vegetação Primária</i>	Indica evento de <i>desmatamento</i> , em um dado ano t , em pixel alocado anteriormente na classe <i>vegetação primária</i> , após o qual o pixel é alocado na classe <i>antrópico</i> (em $t+1$).	4
<i>Recuperação para Vegetação Secundária</i>	Indica evento de <i>regeneração</i> em um dado ano t , após o qual o pixel é alocado na classe <i>vegetação secundária</i> (em $t+1$).	5
<i>Vegetação Secundária</i>	Indica trajetória com presença de evento de <i>recuperação</i> para <i>vegetação secundária</i> em anos anteriores.	3
<i>Supressão de Vegetação Secundária</i>	Indica evento de <i>desmatamento</i> , em um dado ano t , em pixel alocado anteriormente na classe <i>vegetação secundária</i> , após o qual o pixel é alocado na classe <i>antrópico</i> (em $t+1$).	6
<i>Antrópico</i>	Indica permanência em alguma classe de <i>uso antrópico</i> desde o ano-base ou trajetórias com evento de <i>supressão de vegetação primária</i> ou evento de <i>vegetação secundária</i> em anos anteriores.	1

Fonte: MapBiomias (2022)

2.2.4 Processamento de dados

O processamento dos dados ocorreu a partir de coleta de informações na etapa de pré-processamento, adaptando-as para o recorte da área de estudo, para análise e checagem das informações obtidas.

A base de dados foi desenvolvida por meio de geotecnologias, utilizando o Sistema de Informações Geográficas (SIG) ArcGIS 10.8, devidamente licenciado. contexto, todos os produtos *raster* foram organizados em camadas e processados para a geração de produtos cartográficos, incluindo mapas de uso e cobertura da terra, bem como a delimitação de áreas de desmatamento e regeneração.

2.2.5 Pós-processamento

Todos os mapas foram tratados de modo a garantir uma representação de fácil

leitura e interpretação. Esse procedimento envolveu a organização das informações em um *layout* sistematizado, em conformidade com as diretrizes do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em consonância com a pesquisa realizada por Silva e Freitas (1998).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Uso e cobertura da terra

Na área de estudo, foram identificadas dez unidades de uso e cobertura, quais sejam: Formação Florestal (1.665,44 km²), Formação Savânica (1.254,37 km²), Silvicultura (169 km²), Formação Campestre (158,89 km²), Pastagem (293,40 km²), Infraestrutura Urbana (22,70 km²), Outras Áreas não Vegetadas (28,60 km²), Rio e/ou Lagoa (2,37 km²), Soja e Outras Lavouras Temporárias (0,91 km²) (Figura 3).

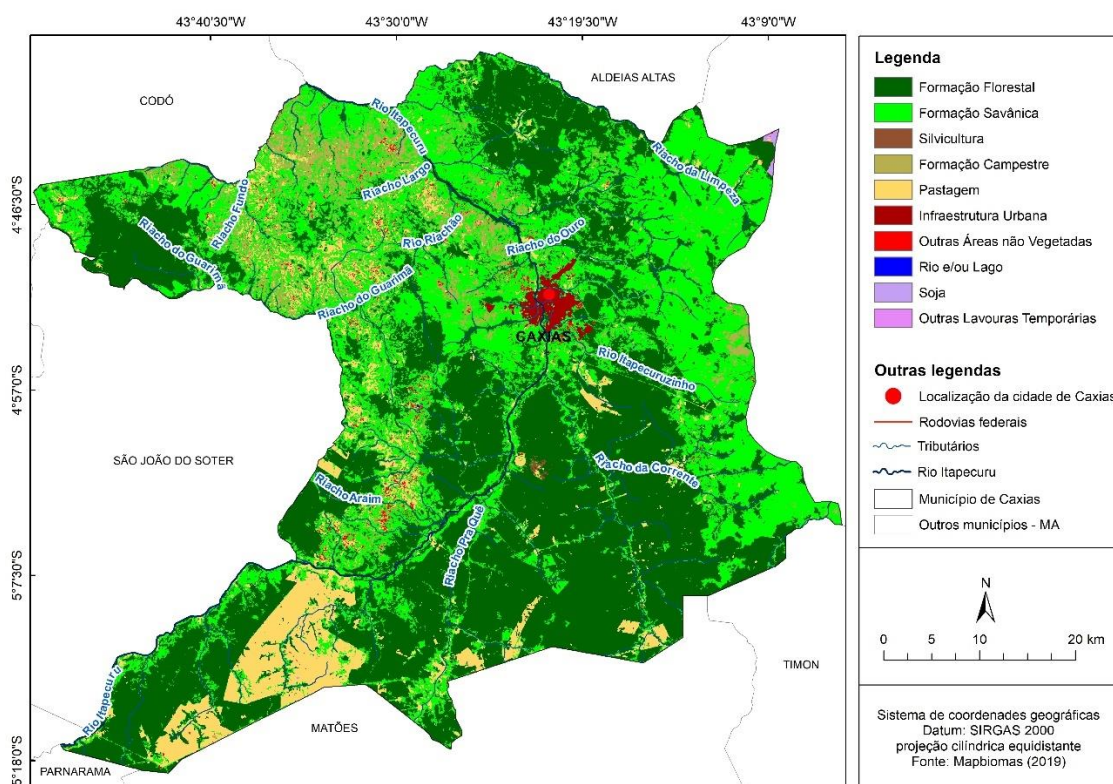


Figura 3: Unidades de Uso e cobertura da terra segundo MapBiomas (2021)
Fonte: Elaboração da autora.

Viana e Zanirato (2019) destacam que o avanço da agropecuária moderna no estado do Maranhão, ligada a grandes projetos de infraestrutura juntamente com as transformações agrárias:

É o fator causador da conversão das áreas de ocorrência de babaçu para pastagens e monocultivos mecanizados de soja e eucalipto. Dessa forma, a prática contínua dos desmatamentos, as queimadas e o revolvimento do solo têm atingido níveis que podem inviabilizar a regeneração natural e as formações secundárias das palmeiras de babaçu. Implicando diretamente na atividade das quebradeiras, pois elas dependem do coco para existirem enquanto população tradicional bem como para reprodução do grupo (Viana; Zanirato, 2019, p. 2).

3.1.1 Formação Florestal

A unidade de Formação Florestal corresponde à maior categoria de uso e cobertura mapeada na área de estudo, abrangendo 48,56% do território. Essa formação caracteriza-se como uma área de vegetação natural, classificada como arbórea, composta por espécies cuja altura supera 5 metros.

No contexto da bacia hidrográfica do rio Itapecuru, dentro dos limites do município de Caxias, MA, essa formação apresenta características típicas da Floresta Estacional, definida pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2013, p. 90) como uma “estrutura florestal com perda das folhas dos estratos superiores durante a estação desfavorável (seca e frio)”.

Os dados mencionados foram mapeados por Pereira, Nunes e Sousa (2022), que destacam a transição vegetacional na região, composta por elementos do Cerrado, da zona dos cocais e da vegetação pré-amazônica, incluindo formações florestais estacional decidual e ombrófila densa. Leite e Rosa (2012, p. 91) enfatizam que o “uso e cobertura da terra é a informação mais acessível numa imagem de satélite, pois a mesma permite a visualização e identificação direta dos elementos ali geometricamente apresentados”.

3.1.2 Formação Savânica (Cerrado)

A Formação Savânica corresponde a 36,57% da área de estudo, abrangendo a Savana Estacional, a Savana Parque e a Savana Florestada. Essa formação distingue-se pelo predomínio de sinúsias arbóreas e herbáceas. As sinúsias arbóreas são compostas por árvores de pequeno a médio porte, com alturas variando entre três a dez metros, espaçadas entre si e com copas amplas. As características herbáceas, por sua vez, apresentam continuidade entre arbustos e árvores, formando uma cobertura densa. Entre as espécies predominantes, destacam-se caméfitos, hemicriptófitos, geófitos e terófitos, conforme a classificação do IBGE (2013).

Segundo o IBGE (2013), a Formação Savânica na área de estudo corresponde:

A Savana (Cerrado) apresenta então uma florística predominantemente amazônica, adaptada através do tempo aos Latossolos aluminicos e mesmo aos Neossolos Quartzarênicos, pela migração de espécies xeromórficas florestais que iam se modificando fenotipicamente de acordo com os novos ambientes lixiviados, os quais condicionaram plantas oligotróficas, ora raquíticas, ora de baixa altura, entre 2 e 10 m. Conclui-se que a fisionomia savânica resulta da intensa lixiviação dos solos areníticos, o que não exclui a possibilidade da existência de áreas savânicas litólicas preexistentes na Amazônia (IBGE, 2013, p. 57).

A Formação Savânica está presente em áreas de transição com a Floresta, embora prevaleça o Cerrado, classificado como Savana Arbórea Aberta. Em determinadas localidades do município, situadas no médio curso da bacia hidrográfica do rio Itapecuru, observa-se o “contato com Savana/Floresta com a agropecuária e a agricultura de subsistência” (CPRM, 2011, p. 18).

3.1.3 Silvicultura

Segundo o IBGE (2013), essa unidade integra a classe Áreas Antrópicas Agrícolas, caracterizando-se por abrigar espaços destinados ao reflorestamento e/ou cultivo agroflorestal. Na área de estudo, essa unidade corresponde a apenas 0,05% do território.

A silvicultura é definida como ação alternativa ao “trato e cultivo de povoamentos florestais, assegurando proteção, estruturando e conservando a floresta como fornecedora de matéria-prima para a indústria madeireira, de papel e celulose ou para o consumo familiar” (IBGE, 2013, p. 84).

Em termos de reflorestamento, essa prática envolve o plantio de espécies florestais nativas ou exóticas em diferentes modalidades: heterogênea (enriquecimento florestal – para recuperação ambiental), homogênea (cultivo de espécies exóticas, como pinus, eucalipto e acácia-negra) e consorciada (integração com espécies agrícolas de ciclo curto) (IBGE, 2013).

A silvicultura também pode estar associada ao cultivo agroflorestal, caracterizado pela combinação de “espécies arbóreas lenhosas (frutíferas e/ou madeiras) com cultivos agrícolas e/ou animais, de forma simultânea ou em sequência temporal e que interagem econômica e ecologicamente em uma mesma unidade de terra” (IBGE, 2013, p. 88).

Embora o manejo silvicultural possa contribuir para a mitigação de impactos em áreas anteriormente degradadas, também pode atuar como fator antrópico de

interferência no processo de fragmentação ambiental (Fiszon *et al.*, 2003). Muitas ações associadas ao reflorestamento, adensamento urbano e atividades agrícolas tendem a segmentar as áreas de vegetação natural, reduzindo a extensão de espaços com menor influência antrópica.

3.1.4 Formação Campestre

A Formação Campestre é definida pelo IBGE (2013, p. 98) como uma vegetação caracterizada pelo “estrato predominante arbustivo, esparsamente distribuído sobre um tapete gramíneo-lenhoso”. Essa formação pode ser utilizada para o pastoreio de gado e, embora tenha passado por algum nível de manejo, ainda é considerada uma área natural, pois não foi substituída ou suprimida para dar lugar a outras espécies. Além disso, pode estar associada a áreas de conservação, terras indígenas ou ao extrativismo vegetal (IBGE, 2013).

Sua ocorrência se concentra no noroeste e leste da bacia hidrográfica do rio Itapecuru, especificamente nos limites do município de Caxias, correspondendo a 4,63% da área total. No trecho de médio curso da bacia onde se insere a área de estudo, registram-se três tipos principais de fitofisionomias, conforme apontado por Silva *et al.* (2022): campo sujo, campo rupestre e campo limpo. Segundo esses autores:

O campo sujo caracteriza-se pela presença marcante de arbustos e subarbustos por entre o estrato herbáceo. O campo rupestre possui estrutura similar ao campo sujo, diferenciando-se tanto pelo substrato, composto por afloramentos de rocha, quanto pela composição florística, que inclui muitos endemismos. No campo limpo, a presença de arbustos e subarbustos é insignificante (Silva et al., 2022, p. 10).

3.1.5 Pastagem

Conforme o relatório de uso e cobertura da terra do IBGE (2013, p. 79), a unidade mapeada como Pastagem corresponde à “área destinada ao pastoreio do gado, formada mediante plantio de forragens perenes ou aproveitamento e melhoria de pastagens naturais.” Essa classe se caracteriza pela presença de solo coberto por tipologias gramíneas e/ou leguminosas, representando, na área de estudo, 8,55% do território analisado (Figura 4).

A unidade mapeada da pastagem integra ciência e a tecnologia, uma vez que seu foco econômico se concentra no manejo e tratamento de animais de diferentes portes.

Segundo o IBGE (2013, p. 79), os animais de pequeno porte incluem “produção de aves, coelhos e abelhas”; os de médio porte englobam “criação de suínos, ovinos e caprinos”; enquanto os de grande porte abrangem “gado bovino, bubalinos, equinos, asininos, muares etc.”, todos com finalidade produtiva e ganhos econômicos

Masullo *et al.* (2019, p.1071), ao analisarem toda a bacia hidrográfica do rio Itapecuru, identificaram dinâmicas territoriais distintas ao longo da bacia, promovendo alterações na paisagem. “O setor do médio curso, apresentou um crescente índice de ação antrópica na área com o uso intensivo do solo, seguida pela ocupação urbana as margens dos afluentes”.



Figura 4: Pastagem na área de estudo, com remanescente de *Attalea speciosa*
Fonte: Fotografada pela autora (2021).

Segundo Conceição (2012), no estado do Maranhão, predomina a pastagem plantada com espécies do gênero *Brachiaria*. Esse fator, aliado às pastagens naturais da Formação Campestre, viabiliza a atividade pecuária em 92.691 estabelecimentos. No entanto, o autor enfatiza a necessidade da adoção do sistema de lavoura-pastagem como alternativa para um desenvolvimento sustentável, promovendo a reciclagem de nutrientes e evitando alterações na acidez do solo (*pH*), bem como impactos na infiltração e armazenamento de água.

Essa preocupação decorre das consequências do pastejo contínuo, que pode resultar na “eliminação das espécies vegetais mais palatáveis, devido ao superpastejo, e ao concomitante aumento das espécies não palatáveis pela diminuição ou ausência da competição interespecífica” (Conceição, 2012, p. 44).

Viana e Zanirato (2019), ao investigarem as dimensões políticas e sociais das

quebradeiras de coco de babaçu e o avanço da fronteira agrícola no oeste do Maranhão, registraram que:

O avanço da fronteira agrícola, nas últimas décadas, vem impactando a atividade das quebradeiras de coco babaçu em função de mudanças na estrutura fundiária e no direito de acesso e extração dos recursos dos cocais pelas quebradeiras de coco babaçu e contribuído para o aumento de conflitos socioambientais em torno da terra e dos recursos naturais (Viana e Zanirato, 2019 p.9).

3.1.6 Infraestrutura urbana

A Infraestrutura urbana corresponde às sedes municipais (cidades), vilas (distritos) e/ou áreas urbanas isoladas. Esta unidade mapeada representa 0,66% da área objeto desta pesquisa. Segundo o IBGE (2013), em seu relatório, as áreas destinadas à infraestrutura urbana são:

Compreendem áreas de uso intensivo, estruturadas por edificações e sistema viário, onde predominam as superfícies artificiais não agrícolas. Estão incluídas nesta categoria as metrópoles, cidades, vilas, áreas de rodovias, serviços e transporte, energia, comunicações e terrenos associados, áreas ocupadas por indústrias, complexos industriais e comerciais e instituições que podem em alguns casos encontrar-se isolados das áreas urbanas (IBGE, 2013, p. 49).

As áreas urbanas podem ser lineares, ou seja, contínuas, com exceção das áreas com crescimento significativo. Em contrapartida, as áreas descontínuas apresentam superfícies com vegetação específica (IBGE, 2013). Assim, as cidades são definidas como áreas urbanas contínuas, enquanto vilas e distritos são consideradas áreas urbanas descontínuas (Figura 5).

Segundo o IBGE Cidades (2010), a cidade de Caxias possui apenas 26,5% de domicílios com acesso a esgotamento sanitário. Além disso, 87,7% dos domicílios urbanos estão localizados em vias públicas com arborização. No entanto, apenas 2,8% dos domicílios urbanos em vias públicas possuem urbanização adequada, caracterizada pela presença de infraestrutura básica, como bueiros, calçadas, pavimentação e meio-fio.



Figura 5: Imagem aérea da cidade de Caxias – Maranhão, Brasil

Fonte: Fotografada pela autora (2021).

3.1.7 Outras áreas não vegetadas

A área classificada como "outras áreas não vegetadas" corresponde a 0,83% da área objeto desta pesquisa. De acordo com o IBGE (2013, p. 49), a "nomenclatura está associada a todos os tipos de uso da terra de natureza não agrícola, florestal ou água, tais como áreas urbanizadas, industriais, comerciais, redes de comunicação e áreas de extração mineral", exceto a classe de infraestrutura urbana, que está descrita separadamente.

Contudo, é importante observar que o IBGE (2013) também classifica a unidade denominada "áreas descobertas", que corresponde aos resultados obtidos pelo MapBiomas (2021). Essas áreas são definidas como desenvolvidas no interior do continente ou em zonas de praias, como dunas, extensões de areias ou seixos no litoral ou continente, leito de canais fluviais com regime torrencial, dunas sem vegetação ou com vegetação esparsa. Também podem incluir áreas de extração abandonadas e sem cobertura vegetal ou áreas com rochas expostas (IBGE, 2013).

Quanto às atividades de mineração, que estão incluídas na classe "outras áreas

não vegetadas”, são regulamentadas pela Lei nº 1.623/2006¹. Essa legislação estabelece as diretrizes para o licenciamento ambiental e o controle dos impactos ambientais na cidade de Caxias. As atividades mineradoras na área de estudo envolvem a extração de minérios de metais preciosos, metais, minerais não metálicos, pedras preciosas e semipreciosas, pedras e outros materiais de construção, além da extração de sal, combustíveis minerais e minerais fósseis. Na área de estudo, foram registradas indústrias de mineração com foco na construção civil, conforme a ilustrado na Figura 6 abaixo.



Figura 6: Atividade de mineração com processamento de basalto

Fonte: Fotografado pela autora (2021).

A indústria extrativista Baú Mineração, localizada na Rodovia MA-034, iniciou suas atividades de extração e beneficiamento de basalto em 2016, no município de Caxias, MA. A empresa comercializa produtos a granel, como brita 0, 1, 2 e 3, além de produtos ensacados, como brita 0 e pó de brita, vendidos em sacos de 20 quilos (Figura 7).

¹ CAXIAS. Lei 1.623 de 2006. Licenciamento Ambiental, inclusive análise de Planos de Controle Ambiental e Estudo de Impacto Ambiental..., 2006. 26 p.



Figura 7: Fotos da Indústria Baú Mineração na rodovia MA – 034

Fonte: Fotografado pela autora (2021).

Em estudos realizados por Silva *et al.* (2007, p. 6) sobre a caracterização dos impactos ambientais no rio Itapecuru, no trecho entre os bairros Veneza e Raízes, na cidade de Caxias, MA, concluiu-se que a “extração de arenito, para construção civil, argila para cerâmicas e calcário para fabricação de cimento, promovem a alteração na configuração do relevo da bacia constituindo sérios danos, comprometimento do deslocamento, e a velocidade de suas águas”.

3.1.8 Rio e/ou lago

O rio e/ou lago corresponde a 0,07% da área objeto deste estudo. Essa unidade é classificada como rede de drenagem e massa d’água, abrangendo toda a água superficial, isto é, desde o rio Itapecuru e seus afluentes, até as lagoas e tanques de peixe destinados à piscicultura.

O município de Caxias está inserido em duas bacias hidrográficas: a do Parnaíba e a do Itapecuru. Majoritariamente, o município pertence à bacia do Itapecuru, sendo sua sede municipal localizada no médio curso do referido rio (CPRM, 2011).

Segundo o relatório diagnóstico do município de Caxias, elaborado pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM), no âmbito do projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea, a bacia do rio Itapecuru apresenta uma conformação irregular ao longo de toda a sua extensão longitudinal. Na área de nascente, a bacia é estreita, expandindo-se após 120 km ao longo do canal. De acordo com o relatório, o rio Itapecuru “muda de direção para nordeste até receber o rio Corrente, tracejando um longo contorno

no município de Caxias”².

A drenagem das águas superficiais presentes na área de estudo destaca-se por seu comportamento condicionado geologicamente, como afirmado pelo CPRM:

Os rios da bacia do Itapecuru drenam os terrenos sedimentares da Bacia Sedimentar do Parnaíba. Eles são compostos, principalmente, pelas sequências de arenitos, de siltitos, de folhelhos e de argilitos, nos quais a ocorrência de falhas e fraturas condicionam seus cursos (CPRM, 2011, p. 26/27).

3.1.9 Soja

A unidade mapeada como soja representa 0,04% da área de estudo, correspondendo ao grupo de culturas temporárias dentro da classificação nacional de atividades econômicas, englobando graníferas e cerelíferas.

Segundo o IBGE (2013), a cultura da soja tem se intensificado como atividade agrícola no Brasil, configurando-se como uma das principais pressões antrópicas sobre as formações estépicas. Um exemplo notável desse impacto é a supressão das formações florestais no sul do país, substituídas pela expansão da produção de soja.

De acordo com levantamento realizado por Silva *et al.* (2022), as áreas destinadas ao cultivo de soja no Maranhão começaram a se expandir a partir do ano 2000. Atualmente, a soja ocupa 51,8 km² no médio curso da bacia, com a expansão da monocultura principalmente para os municípios de Colinas, Mirador e Sucupira do Norte.

3.1.10 Outras lavouras temporárias

A unidade mapeada de outras lavouras temporárias refere-se ao cultivo de plantas de ciclo vegetativo curto e médio, com duração inferior a um ano, ocupando 0,03% da área de estudo. Segundo o IBGE (2013), destacam-se entre essas culturas as seguintes:

[...] é o cultivo de plantas de curta ou média duração, geralmente com ciclo vegetativo inferior a um ano, que após a produção deixam o terreno disponível para novo plantio. Dentre as culturas destacam-se as de grãos e cereais, as de bulbos, raízes, tubérculos e hortaliças. Incluem ainda as plantas hortícolas, floríferas, medicinais, aromáticas e condimentares de pequeno porte, que muitas vezes são cultivadas em estruturas como

² CPRM. Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea, estado do Maranhão: relatório diagnóstico do município de Caxias. - Teresina: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2011. 31 p.

estufas, ripados e telados. As lavouras semipermanentes como cana-de-açúcar e mandioca, bem como as culturas de algumas forrageiras destinadas ao corte também estão incluídas nessa categoria (IBGE, 2013, p. 58).

O censo Agropecuário de 2017³ aponta, conforme Silva *et al.* (2022), o cultivo de abóboras, arroz, favas, feijão, mandioca, melancias, melões, milho, milho forrageiro e soja. Os autores observaram que todos os municípios localizados no médio curso do rio Itapecuru fazem uso da terra para o cultivo de milho.

Brito, Beraldo e Souza (2020, p. 16), ao analisarem a estrutura produtiva da agricultura familiar no Maranhão, destacaram duas situações distintas em relação às lavouras temporárias entre os anos de 2006 e 2017. Em 2006, as principais culturas temporárias eram cana de açúcar, feijão, mandioca, milho e soja. Em 2017, notou-se a inclusão de novas culturas temporárias, como abóbora, algodão, arroz, melancia e sorgo. Os autores observaram que “ocorreu ampliação dos plantios dos itens temporários, seja por criação de vias de escoamento de excedentes alimentares ou políticas públicas para este fim”.

3.2 Questões socioeconômicas

As atividades socioeconômicas no Maranhão abrangem os três setores da economia (primário, secundário e terciário). No primeiro setor, destaca-se a pecuária, que representa 28,3% da economia estadual, enquanto os produtos originários de animais correspondem a 9,2%. O rebanho maranhense alcançou em 2019 a marca de 8.008.643 milhões de cabeças de gado, posicionando o estado como o 12º maior rebanho brasileiro. Deste total, 687.455 mil animais foram abatidos para abastecer a cadeia produtiva de carne e couro.

A produção florestal no Maranhão envolve a extração vegetal e a silvicultura. No município de Caxias, a área destinada à silvicultura por espécie florestal em 2020 variava de 1 a 3 mil hectares. Contudo, a partir de 2020, o município deixou de produzir madeira (eucalipto) em tora para a indústria de papel e celulose (IMESC, 2022), atividade que, em 2008, gerou um faturamento de R\$ 328 mil (IMESC, 2020).

Quanto aos produtos de origem animal, 217 municípios do Maranhão produzem leite e ovos de galinha, 59 municípios produzem mel de abelha, e apenas quatro

3 Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. **Censo agropecuário**: resultados definitivos / IBGE – 1970. - Rio de Janeiro: 2019. 109 p.

municípios produzem ovos de codorna. Caxias se destaca no desempenho e evolução de seus rebanhos. O município ocupa a 10ª posição no *ranking* de produção caprina, com 7.800 cabeças em 2020, o que representou uma redução de 5,3% em relação ao ano anterior. Caxias também figura no *ranking* de criação de galinhas, ocupando a 6ª posição, com 31.570 cabeças, uma redução de 5% em comparação ao ano anterior (IMESC, 2022).

O segundo setor da economia, que se refere à transformação dos materiais extraídos pelo setor primário, apresenta uma dinâmica significativa no estado do Maranhão. O relatório da dinâmica do setor industrial do Maranhão – IMESC (2021, p. 6) destaca que “no âmbito do segmento formal, as atividades Construção e Transformação concentram o maior número de estabelecimentos e vínculos formais”, com uma remuneração média de R\$ 2.202,82 na indústria maranhense.

Analisando o porte das empresas industriais no Maranhão, observa-se que 86,1% das empresas industriais são micro e pequenas, com até 99 colaboradores. Por outro lado, as médias e grandes empresas, com mais de 100 colaboradores, representam apenas 2,5% do total de empresas industriais no estado (IMESC, 2021).

Em relação aos vínculos formais nas principais atividades de serviços industriais de utilidade pública, o relatório aponta 216 vínculos formais registrados em 2019, dos quais 19 estavam relacionados à eletricidade, gás e outras utilidades, e 197 à captação, tratamento e distribuição de água (IMESC, 2021).

Em relação ao terceiro setor da economia, que corresponde aos serviços, ele representa 70% das atividades econômicas do estado do Maranhão. Dentro desse percentual, 23% estão voltados ao comércio e 47% à prestação de serviços, os quais se dividem em diversas categorias, como comércio, reparação de veículos automotores/motocicletas, transporte e armazenagem, correios, alojamento e alimentação, informação e comunicação, e atividades financeiras, imobiliárias, profissionais e administrativos, entre outras (IMESC, 2021).

No que tange aos três setores da economia em escala municipal, o primeiro setor abrange lavouras temporárias e permanentes, produtos de origem animal, rebanhos, cadeia produtiva de carne e couro, além da extração vegetal e da silvicultura. O segundo setor está vinculado à atividade industrial, enquanto o terceiro setor corresponde os serviços, incluindo comércio, transportes, alojamento, informações, serviços sociais, entre outros.

O Índice de Desenvolvimento Municipal – (IDM) –, conforme dados do IMESC

(2014), mostra que o município de Caxias obteve uma pontuação de 0,960 em relação a indicadores de infraestrutura que possibilitam a realização das atividades econômicas e o atendimento à sociedade civil. Esses indicadores incluem iluminação pública, emissoras de radiofusão, bancos, telefonia fixa, estabelecimento comerciais, conexões banda larga, óbitos por violência, abastecimento hidráulico, e consumo de energia elétrica.

Quanto à qualificação da mão de obra, o desempenho é representado pelo valor de 0,516, o qual é considerado mediano. Este índice corresponde a 81% dos trabalhadores que concluíram o ensino médio. O relatório, no entanto, não apresenta dados sobre os profissionais com formação técnica ou superior, o que impede uma compreensão mais completa deste indicador (IMESC, 2014).

A produção municipal de Caxias apresenta um indicador de 0,686, referente à arrecadação do ICMS, com valores de R\$ 246.681,00 provenientes do setor agropecuário, R\$ 33.885.859,00 do setor industrial e R\$ 13.833.940,00 do setor de serviços. Com base nesses dados, é possível concluir que o setor industrial é o principal responsável pela maior contribuição à arrecadação (IMESC, 2014).

Ao analisar mais detalhadamente os setores da economia, observa-se que o primeiro setor corresponde a 58,4% das atividades agrícolas voltadas para lavouras temporárias do estado, enquanto 1,6% são destinadas a lavouras permanentes. As maiores contribuições vêm do cultivo de soja e milho, cujas produções combinadas totalizam R\$ 6.771.224,00 em todo o estado. No entanto, no que se refere às lavouras permanentes, destaca-se a produção de banana (cachos), que possui a maior arrecadação, alcançando R\$ 60.301,00 em 2020 (IMESC, 2022) (Figura 8 e 9).



Figura 8: Pequenas lavouras permanentes de banana na margem da rodovia MA – 034
Fonte: Fotografada pela autora (2021).

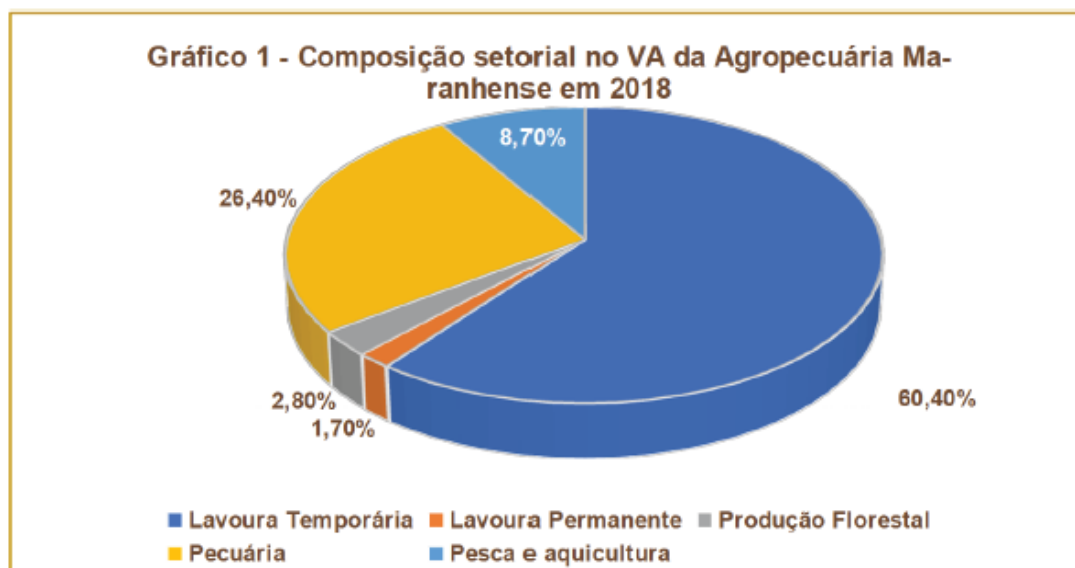


Figura 9: Composição setorial da agropecuária no estado do Maranhão em 2018
Fonte: IMESC (2021).

O município de Caxias não apresenta atividades de destaque na produção de soja, milho e/ou banana, típicas de práticas agrícolas temporárias e permanentes. Contudo, destaca-se na produção temporária de cana-de-açúcar, alcançando em 2020 o valor de R\$ 17.732,00, o que lhe garantiu a quinta posição no *ranking* estadual (IMESC, 2022).

Em relação à pecuária, a área destinada a essa atividade no município varia de 53.399 a 106.423 hectares, conforme estimativas de 2017. No entanto, Caxias não concentra esforços significativos nesse setor, possuindo apenas uma fábrica de ração, que se caracteriza como um estabelecimento voltado para a produção pecuária (IMESC, 2021). Esse fato decorre do município não possuir rebanhos bovinos ou bufalinos em grandes proporções, já que suas atividades estão mais voltadas a produtos de origem animal de médio e pequeno porte.

No que diz respeito à dinâmica da produção industrial, Caxias abriga o Parque Empresarial de Caxias, um parque multisetorial, implantado em 2013. Em 2019, os valores registrados no rendimento mensal da indústria de transformação variaram entre R\$ 2.000,01 a 3.000,00. Em comparação aos melhores municípios no *ranking* de salários, Caxias ocupava uma posição inferior, especialmente quando se observa que, em 2002, figurava na quarta posição, com um pagamento de R\$ 1.727,68 (IMESC, 2021).

Sobre as atividades do terceiro setor, que envolvem bens e serviços, o município de Caxias conta com uma quantidade de empresas de prestação de serviços variando

entre 2.201 e 7.200, posicionando-se em sexto lugar do *ranking* da distribuição de empresas desse setor. No ano de 2019, o município ofertou entre 1.001 e 3.000 empregos formais no comércio, além de reparação de veículos automotores e motocicletas. A oferta de serviços no setor de transporte, armazenagem e correio foi mais restrita, variando 1 a 200 postos de trabalho. Em contrapartida, a oferta de empregos no setor de alojamento e alimentação, variou entre 1.001 a 2.500 postos. No campo da informação, comunicação e atividades financeiras, imobiliárias e administrativas, a oferta de emprego formal alcançou um total entre 351 a 1.500 (IMESC, 2021).

Ademais, Caxias apresenta um Índice de Desenvolvimento Municipal (IDM) de 0,547, o que corresponde à posição 11º no *ranking* do estado. Enquanto seu Índice de Desenvolvimento Econômico (IDE) equivale a 0,558, o Índice de Desenvolvimento Social (IDS), considerando a população residente é de 0,535. A população residente do município é de 158.059 habitantes, dos quais 99.703,62 (63,08%) estão localizados na área urbana, e 58.355,38 (36,92%) na zona rural (Figura 10) (IMESC, 2014).

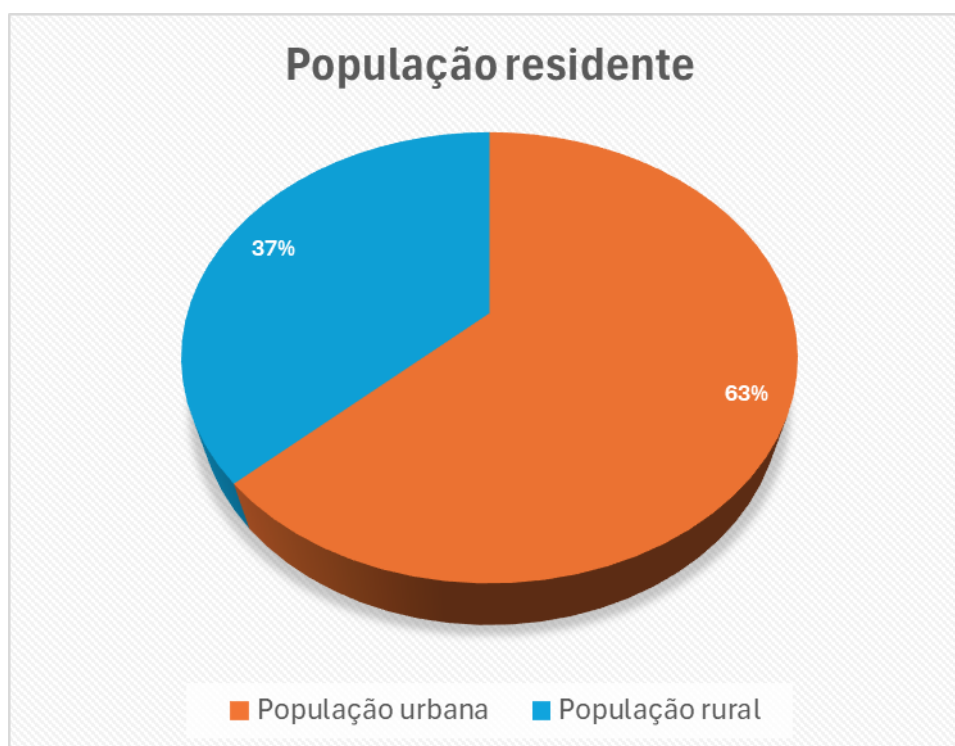


Figura 10: Gráfico da população residente no município de Caxias – MA
Fonte: Elaborado pela autora.

Esses indicadores variam de zero (0), indicando uma condição deficiente, a um (1), que representa uma situação satisfatória ao índice analisado. Assim, os indicadores de infraestrutura (INF) de Caxias apresentam o valor de 0,960, abrangendo diversas

variáveis. O Indicador de Saúde, segundo as Regiões de Planejamento e Municípios (IMS), é de 0,475. Os indicadores de educação alcançam um valor de 0,626. Por fim, os indicadores de serviços básicos e meio ambiente demonstram valor equivalente a 0,516 (IMESC, 2014).

3.3 Mudança temporal do uso e cobertura da terra entre 1985 e 2021

As transformações espaciais resultantes da ocupação e uso da terra, bem como de suas interações socioeconômicas evidenciam uma significativa substituição da classe de Formação Florestal e Savânica por Pastagem plantada (não natural).

Os dados demonstram mudanças ao longo de 36 anos (1985 a 2021) nas classes que correspondem à Formação Florestal, Formação Savânica, Campo Alagado, Formação Campestre, Pastagem, mosaico de Agricultura e Pastagem, Infraestrutura Urbana, outras Áreas não Vegetadas e Rio e/ou Lago (Figura 11).

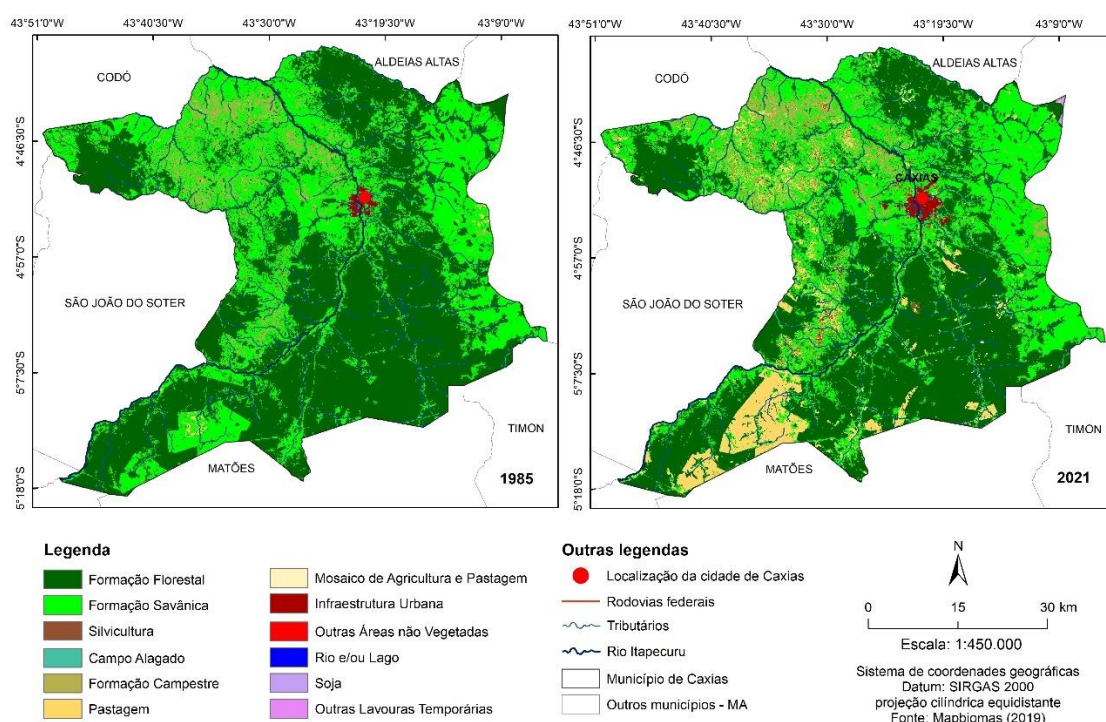


Figura 11: Mosaico de unidade de uso e cobertura da terra entre 1985 e 2021

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

3.3.1 Formação Florestal

No ano de 1985, a Formação Florestal correspondia a 57,46% da área de estudo, o equivalente a 1.970,82 km². Em 2021, houve redução para uma área de 1.665,44 km², representando 48,56% da área total. Apesar da diminuição de 15% nos últimos 36 anos,

essa unidade mapeada continua sendo a mais predominante (MapBiomias, 2021).

3.3.2 Formação Savânica (Cerrado)

A segunda maior unidade de uso mapeada foi a Formação Savânica, que abrangeu uma área de 1.271,07 km² (37,06%) em 1985. Em 2021, essa mesma unidade manteve sua posição como a segunda maior, ocupando uma área de 1.254,37 (36,57%), uma redução de apenas 1%. Observou-se, por meio do mapeamento e das visitas *in loco*, que as áreas são predominantemente utilizadas para pastoreio de gado e cavalos pelos sitiantes (MapBiomias, 2021).

3.3.3 Silvicultura

A unidade de Floresta Plantada, também conhecida como Silvicultura, não foi registrada no ano de 1985, pois, na ocasião, a área era majoritariamente composta pelas Formações Florestal, Savânica e Campestre. No ano de 2021, foi registrada uma área de 1,69 km², o que corresponde a 0,05% da área de estudo, situada no médio curso da bacia hidrográfica do rio Itapecuru, no município de Caxias (MapBiomias, 2021).

3.3.4 Campo Alagado

O Campo Alagado, também classificado como área pantanosa, no contexto da área de estudo, corresponde às lagoas, localizadas nas proximidades do canal de escoamento do rio Itapecuru. Em 1985, essa unidade ocupava uma área de 3,38 km² (0,10%) (MapBiomias, 2021).

No entanto, em 2021 não houve registro de campos alagados, possivelmente devido à redução das lagoas, que não foram captadas pela escala de mapeamento do MapBiomias (coleção 7). Porém, no levantamento de feições morfológicas realizado, foram identificadas as lagoas nos anos de 2010 e 2020, a partir de imagens do *Google Earth®*, com escala de maior resolução, conforme descrito na metodologia (MapBiomias, 2021).

3.3.5 Formação Campestre

A Formação Campestre ocupava uma área de 144,62 km² (4,22%) no ano de 1985. Em 2021, essa área de 158,89 km² (4,63%) da área de estudo, registrou um pequeno crescimento em 9% ao longo de 36 anos. Esse aumento pode estar relacionado ao avanço de espécies arbustivas sobre clareiras e áreas desmatadas, localizadas nas próximas proximidades dos cursos d'água, onde, durante a visita *in loco* foram avistados animais

de grande porte pastando (MapBiomas, 2021).

3.3.6 Pastagem

Em 1985, a classe de Pastagem (plantada) correspondia a apenas 0,01% da área de estudo, o que equivale a 0,44 km², ocupando a 5^o posição do *ranking* de classes mapeadas. No entanto, em 2021, passou a ocupar o *ranking* de terceira posição, apresentando 8,55%, o o que corresponde a 293,40 km² da área total. Esse crescimento representa uma expansão de 99,85% da unidade na área em questão. A Pastagem é encontrada por toda extensão da área, predominando na porção sul (MapBiomas, 2021) (Figura 12).



Figura 12: Área destinada à pecuária com remanescentes de *Attalea speciosa*
Fonte: Fotografada pela autora (2021).

Segundo Araújo (2012, p. 146), a intensa intervenção humana e predatória no município de Caxias, “comprometeu parte da flora do cerrado, que era frequentemente utilizado como fonte de energia de uso doméstico e comercial, além de ocupado pela agropecuária”. As fazendas modernas na região são caracterizadas pelo cultivo de gado de boa genética, com uma alimentação balanceada.

Em estudo realizado por Masullo *et al.* (2019, p. 1.058) sobre a dinâmica da paisagem da bacia hidrográfica do rio Itapecuru entre os anos de 1990 e 2016, “foi possível identificar que por ano cerca de 53,5 mil hectares em média, são convertidas em pastagem ou áreas destinadas a agricultura na bacia do rio Itapecuru.”

3.3.7 Mosaico de agricultura e pastagem

O mosaico de Agricultura e Pastagem refere-se a uma área de transição entre

atividades agrícolas e zonas de manejo integradas, envolvendo tanto lavoura quanto pecuária. Essa classe foi registrada na análise temporal apenas no ano de 1985, correspondendo a 0,01% da área de estudo, o que equivale a 0,44 km² (MapBiomias, 2021).

Santos *et al.* (2019), ao estudarem o uso e ocupação do solo no estado do Maranhão entre os anos de 2000 a 2016, observaram uma intensa expansão das atividades antrópicas no estado, resultando em uma grande transformação das áreas de vegetação nativa em espaços destinados à agropecuária.

3.3.8 Infraestrutura urbana

Em 1985, as áreas de infraestrutura urbana correspondiam a 0,40% (13,62 km²) da área de estudo. Porém, devido ao crescimento vegetativo da cidade e aos investimentos em infraestrutura urbana, houve a expansão da cidade de Caxias. Em 2021, essa unidade passou a ocupar 0,66 (22,70 km²) da área de estudo, um acréscimo de 33% em 36 anos (MapBiomias, 2021) (Figura 13).



Figura 13: Área de expansão urbana com remanescentes de cobertura vegetal
Fonte: Fotografada pela autora (2021).

Durante o trabalho de campo, foi registrada a presença de áreas de vegetação afetadas por queimadas, bem como a expansão urbana, especialmente em áreas inapropriadas para a construção civil. Silva e Souza (2022), ao estudarem o médio curso da bacia entre as cidades de Colinas e Caxias, relataram que o adensamento populacional nas cidades contribui significativamente para a degradação, o assoreamento dos córregos urbanos e o soterramento das nascentes.

Correia (2004, p. 11) destaca os agentes responsáveis pela produção do espaço urbano: os proprietários dos meios de produção, os proprietários fundiários, os proprietários imobiliários, o Estado e os grupos sociais excluídos. Destaca que “o espaço urbano capitalista é fragmentado, articulado, reflexo, condicionante social, resultado de ações acumuladas através do tempo e engendradas por agentes que produzem e consomem o espaço”.

3.3.9 Outras áreas não vegetadas

A classe correspondente ao solo exposto, caracterizada por áreas com infraestrutura urbana (industriais, comerciais etc.), redes de comunicação e áreas de extração mineral, representava apenas 0,18% da área de estudo, o que se traduz em 6,18 km² em 1985. Em 2021, a porcentagem de ocupação dessa unidade foi de 0,83% (28,60), determinando que, em 36 anos, ocorreu expansão dessa classe em 78% (MapBiomias, 2021).

3.3.10 Rio e/ou Lago

Os corpos hídricos na área de estudo ocupavam, em 1985, uma área de 0,18% (6,18 km²). Em 2021, essa área foi reduzida para 0,07% (2,37 km²), o que representa uma diminuição de 62% das massas de água (MapBiomias, 2021). Tal redução pode estar relacionada às mudanças na cobertura do solo e nas formas de manejo das áreas agrícolas ao longo dos últimos 36 anos. Cabe destacar mais uma vez a importância do rio Itapecuru para o abastecimento hídrico do centro urbano de Caxias, além de seu uso essencial para o sustento de sitiantes e pescadores.

3.3.11 Soja

A unidade que corresponde à soja não foi registrada em 1985, porque, a implementação do cultivo da soja no Maranhão ocorreu apenas a partir do ano 2000. Desse modo, no ano de 2021, na área de estudo, a soja representava 0,04%, o que equivale a 1,28 km². Silva e Souza (2022), ao estudarem o médio curso da bacia hidrográfica do rio Itapecuru, observaram um aumento expressivo na área plantada e na produção de grãos em alguns municípios do médio curso.

3.3.12 Outras lavouras temporárias

Em 1985, não foi identificada a unidade de uso e cobertura da terra por outras lavouras temporárias. Contudo, em 2021, essa classe, anteriormente ausente, passou a

ocupar 0,03% da área de estudo, o que corresponde a 0,91%. Essa classe representa a menor unidade mapeada, pois a maior parte das atividades agrícolas na área está voltada à monocultura e pastagem.

Souza e Silva (2022, p. 1) sobre o uso e cobertura da terra no médio curso da bacia do rio Itapecuru relataram que o médio curso abrange 30 municípios. Desses, apenas 20 apresentam a sede administrativa na bacia, nos demais, somente uma parte de seu território está inserida na bacia. Relataram, ainda, que “o estudo sobre uso e cobertura da terra permitiu verificar as condições da bacia, além da geração de informações para subsidiar políticas públicas”.

3.4 Avanço do desmatamento

As unidades descritas acima refletem as transformações da paisagem, impulsionadas por atividades diversas. Desse modo, vê-se claramente áreas antrópicas na classe de pastagem, vegetação primária nas classes de floresta e formação campestre, vegetação secundária nas classes de floresta e savana, além da supressão de vegetação primária e secundária nas classes de floresta e savana. Na Figura 14, é possível visualizar uma máquina esteira fazendo a derrubada na vegetação próximo do rio Itapecuru.



Figura 14: Imagem de máquina fazendo o desmatamento próximo do rio Itapecuru no município de Caxias

Fonte: Fotografada pela autora (2021).

Estudos realizados por Azevedo e Matias (2022, p. 101) sobre a dinâmica da alteração do uso e ocupação agrícola no Maranhão, especificamente na região da Amazônia Maranhense, relataram que entre 2012 e 2020 foi marcado “pelo

desenvolvimento do ideário economicista, que rompeu com os acordos ambientais estabelecidos e começou a flexibilizar as leis de preservação do bioma amazônico, atingindo diretamente a Amazônia Maranhense, que foi alvo do devastamento florestal”.

A primeira classe mapeada como antrópica, correspondente às áreas de pastagem não naturais, apresentava uma área de 0,30% (10,13 km²) em 1988. Em 2019, registrou um aumento para 3,54% (121,32 km²) da área de estudo, correspondendo à expansão de 92%. Essa classe ocupa a terceira posição no *ranking* das unidades mapeadas para a área de estudo (Figura 14 e Tabela 3).

4 CONCLUSÃO

O estudo permitiu analisar o processo histórico e a formação da cidade de Caxias, MA. O mapeamento do uso e da cobertura da terra na área de estudo, realizado pelo MapBiomias, permitiu identificar e analisar as unidades, resultando na constatação de dez unidades mapeadas: Formação Florestal (1.665,44 km²), Formação Savânica (1.254,37 km²), Silvicultura (1,69 km²), Formação campestre (158,89 km²), Pastagem (293,40 km²), Infraestrutura Urbana (22,70 km²), Outras Áreas não Vegetadas (28,60 km²), Rio e/ou Lagoa (2,37 km²), Soja (1,28 km²) e Outras Lavouras Temporárias (0,91 km²) (Figura 01).

O mapeamento das mudanças temporais no uso e cobertura da terra entre 1985 e 2021 revelou um aumento significativo nas áreas de pastagem. Em 1984, correspondia a apenas 0,44 km², enquanto em 2021 alcançou 293,40 km², o que representa uma expansão de 99,85% dessa unidade de uso.

A área urbana também registrou acréscimo: em 1985, a infraestrutura urbana correspondia a 0,40% (13,62 km²) da área de estudo. Porém, com os índices de crescimento vegetativo da cidade e os investimentos em infraestrutura urbana, houve uma expansão da cidade de Caxias. Em 2021, essa unidade ocupava 0,66% (22,70 km²) da área de estudo, refletindo um acréscimo de 33% em 36 anos.

A análise de áreas de desmatamento e regeneração em 1988 e 2019 permitiu avaliar as mudanças nas áreas desmatadas e regeneradas ao longo do tempo. A primeira classe mapeada como antrópica, correspondente às áreas de pastagem não naturais, apresentava 10,13 km² em 1988 e, em 2019 essa área aumentou para 121,32 km², correspondendo a uma expansão de 92% na área de pesquisa.

Todos os dados analisados corroboram a alteração da paisagem ao longo do tempo. O estudo do uso e da ocupação do solo em uma determinada área é de suma

importância para levantamento de dados e para a compreensão dos diferentes tipos de uso do espaço geográfico. Analisar os diferentes tipos de uso, em diferentes escalas, contribui para nortear o planejamento territorial, em especial nas diferentes escalas de bacias ou sub-bacias hidrográficas.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, F. A. S. **Geomorfologia aplicada à fragilidade e ao zoneamento ambiental de Caxias, MA**. 2012, 185 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia. Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade Estadual Paulista, Unesp, Presidente Prudente, SP. 2012. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/entities/publication/97d79d44-b631-4f52-814b-ffba8b389bb1>. Acesso em: 28 dez. 2022.
- AZEVEDO, T.; MATIAS, L. F. Dinâmica da alteração do uso e ocupação agrícola na Amazônia maranhense: uma análise a partir de dados do MAPBIOMAS. **Anais... Evento em comemoração aos 20 anos do Programa de Pós-Graduação em Geografia (IG-UNICAMP)**, v. 1, n. 1, p. 89-103, 2022. Disponível em: <https://ocs.ige.unicamp.br/ojs/20anosppgg>. Acesso em: 20 nov. 2023.
- BAYER, M.; ASSIS, P. C.; SUIZU, T. M.; GOMES, M. C. Mudança no uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do rio Araguaia e seus reflexos nos recursos hídricos, o trecho médio do rio Araguaia em Goiás. **Confins. Revue franco-brésilienne de géographie/Revista franco-brasileira de geografia**, n. 48, 2020. Disponível em: <https://journals.openedition.org/confins/10753?lang=pt>. Acesso em: 12 abr. 2024.
- BREXÓ, E. A.; MATTOS, L. M.; SUSZEK, G. Caracterização de uso e ocupação do solo na região do vale do Ivinhema-MS utilizando a plataforma Google Earth Engine: Characterization of land use and occupation in the vale do Ivinhema-MS region using the Google Earth Engine platform. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 6, n. 1, p. 251-263, 2023. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BJAER/issue/view/221>. Acesso em: 09 nov. 2022.
- BRITO, M.; BERALDO, K. A.; SOUSA, D. N. Estrutura produtiva da agricultura familiar no Maranhão: comparação entre os censos agropecuários de 2006 e 2017. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 9, e894998193, 2020. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd>. Acesso em: 12 abr. 2024.
- CABRAL, M. S. C. **Caminhos do gado**. São Luís: Sioge, 1992.
- CAXIAS. Lei 1.623 de 2006. **Licenciamento Ambiental, inclusive análise de Planos de Controle Ambiental e Estudo de Impacto Ambiental**, 2006. Disponível em: <https://caxias.ma.gov.br/wp-content/uploads/2017/08/docs/Lei-1623-aprova-criterios-e-tabelas-de-valores-apuracao-dos-custos-de-licenciamento-ambiental.pdf>. Acesso em: 09 nov. 2022.
- CONCEIÇÃO, G. M. **Caracterização botânica e fitossociologia de uma área de cerrado, no Maranhão, sob pastejo por Bovinos**. 2012, 113 f. Orientadora: Prof^a Dra. Ana Cláudia Ruggieri. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias e Veterinárias. Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Campus de Jaboticabal, SP, 2012. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/ec54549d-b68c-4c94-87ba-96e44c9fa88c/content>. Acesso em: 28 dez. 2022.

CORREIA, L. R; **O espaço urbano**. 4. ed. 5. imp. Editora Ática. 2004.

CPRM. **Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea, estado do Maranhão**: relatório diagnóstico do município de Caxias. Teresina: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2011. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/15662>. Acesso em: 04 dez. 2023.

FIORESE, C. H. U. Dinâmica do uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica do Rio Fruteiras, Estado do Espírito Santo, Brasil. **Labor e Engenho**, Campinas, SP, v.15,1-12,e021002,2021– ISSN2176-8846. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/labore/article/view/8659875>. DOI: <https://doi.org/10.20396/labore.v15i00.8659875>. Acesso em: 4 jan. 2025.

FISZON, J. T.; MARCHIORO, N. P. X; BRITEZ, R. M.; CABRAL, D. C.; CAMELY, N. C.; CANAVESI, V.; CASTELLA, P. R.; CASTRO, E. B. V.; CULLEN JUNIOR, L.; CUNHA, M. B. S.; FIGUEIREDO, E. O.; FRANKE, I. L.; GOMES, H.; GOMES, L. J.; HREISEMNOU, V. H. V.; LANDAU, E. C.; LIMA, S. M. F.; LOPES, A. T. L.; MARIANO NETO, E.; MELLO, A. L.; OLIVEIRA, L. C.; ONO, K. Y.; PEREIRA, N. W. V.; RODRIGUES, A. S.; RODRIGUES, A. A. F.; RUIZ, C. R.; SANTOS, L. F. G. L.; SMITH, W. S.; SOUZA, C. R. Causas Antrópicas In: RAMBALDI, D. M.; OLIVEIRA, D. A. S. (Org.). **Fragmentação de ecossistemas**: causas efeitos sobre a biodiversidade e recomendações de políticas públicas. Brasília: MMA, 2003. Disponível em: <https://livroaberto.ibict.br/handle/1/979>. Acesso em: 12 abr. 2024.

FLORÊNCIO, B. A. B.; ASSUNÇÃO, W. L. Análise do uso e ocupação das terras da bacia hidrográfica do Ribeirão Borá-MG. **Caminhos de Geografia**, v. 11, n. 36, p. 81-99, 2010. ISSN: 1678-6343. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/index>. DOI: <https://doi.org/10.14393/RCG>. Acesso em: 09 nov. 2022.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico de uso da terra**. IBGE, 3. ed. 2013.

IBGE CIDADES. **Urbanização de vias públicas**: IBGE, Censo Demográfico 2010. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ma/caxias/panorama>. Acesso em: 09 nov. 2022.

INSTITUTO Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos. IMESC. **Evolução Político-Administrativa do Estado do Maranhão**. 2. ed. São Luís: IMESC, 2021. Disponível em: <https://imesc.ma.gov.br/portal/Home>. Acesso em: 23 abr. 2022.

INSTITUTO Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos. IMESC. **Índice de Desenvolvimento Municipal**: Ano 2012. V.4 (2014). São Luís: IMESC, 2014. Disponível em: <https://imesc.ma.gov.br/portal/Home>. Acesso em: 23 abr. 2022.

INSTITUTO Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos. IMESC. **Desempenho da Agricultura Maranhense 2020**. São Luís: IMESC, 2022.

Disponível em: <https://imesc.ma.gov.br/portal/Home>. Acesso em: 23 abr. 2022.

INSTITUTO Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos. IMESC. **Desempenho da Pecuária maranhense 2020**. São Luís: IMESC, 2022.

Disponível em: <https://imesc.ma.gov.br/portal/Home>. Acesso em: 23 abr. 2022.

INSTITUTO Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos. IMESC. **Diagnostico da cadeia produtiva da carne e do couro no Maranhão**. São Luís: IMESC, 2021. Disponível em: <https://imesc.ma.gov.br/portal/Home>. Acesso em: 23 abr. 2022.

INSTITUTO Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos. IMESC.

Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura: O que mudou no Maranhão nos últimos 20 anos? São Luís: IMESC, 2020. Disponível em: <https://imesc.ma.gov.br/portal/Home>. Acesso em: 23 abr. 2022.

INSTITUTO Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos. IMESC. **Dinâmica do setor industrial maranhense.** São Luís: IMESC, 2021. Disponível em: <https://imesc.ma.gov.br/portal/Home>. Acesso em: 23 abr. 2022.

INSTITUTO Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos. IMESC. **O setor de serviços no maranhão.** São Luís: IMESC, 2021. Disponível em: <https://imesc.ma.gov.br/portal/Home>. Acesso em: 23 abr. 2022.

LEITE, E. F.; ROSA, R. Análise do uso, ocupação e cobertura da terra na bacia hidrográfica do Rio Formiga, Tocantins. **Observatorium: Revista Eletrônica de Geografia**, v. 4, n. 12, p. 90-106, 2012. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/Observatorium>. Acesso em: 28 dez. 2022.

MASULLO, Y. A. G.; SOARES, L. S.; CASTRO, C. E.; PINHEIRO, E. A. L. L. Dinâmica da paisagem da bacia hidrográfica do rio Itapecuru, MA. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 3, p. 1054-1073, 2019. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/issue/archive>. Acesso em: 09 nov. 2022.

OLIVEIRA, R. R. S.; VENTURIERI, A.; SAMPAIO, S. M. N.; LIMA, A. M. M.; ROCHA, E. J. P. Dinâmica de uso e cobertura da terra das regiões de integração do Araguaia e Tapajós/PA, para os anos de 2008 e 2010. 2016. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 68, n. 7, p. 1411-1424, jul./ago. 2016. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/issue/view/1676>. Acesso em: 4 jan. 2025.

PEREIRA, P. B.; NUNES H. K. B.; ARAÚJO, F. A. S. Análise multitemporal de uso, ocupação e cobertura da terra na zona Leste da cidade de Caxias/Maranhão/Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 3, p. 1415-1428, 2021. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/issue/archive>. Acesso em: 15 nov. 2021.

PEREIRA, P.B.; NUNES, H.K. de B.; SOUSA, A. S. Caracterização geoambiental do município de Caxias, Maranhão, Brasil. **Revista Geografia em Atos (Online)**, v.6, ano 2022. p. 1-19. DOI: <https://doi.org/10.35416/geoatos.2022.8897>. Disponível em: <https://revista.fct.unesp.br/index.php/geografiaematos/index>. Acesso em: 12 abr. 2024.

PROJETO MapBiomias. **Coleção 5 da Série Anual de Mapas de Uso e Cobertura da Terra do Brasil.** Disponível em: https://code.earthengine.google.com/accept_repo=users2Fmapbiomas2Fuser-toolkitscriptPath=users2Fmapbiomas2Fuser-toolkit3Amapbiomas-user-toolkit-lulc.js. Acesso em: 11 set. 2021.

PROJETO MapBiomias – **Coleção 6 da Série Anual de Mapas de Desmatamento e regeneração.** Disponível em: https://code.earthengine.google.com/accept_repo=users2Fmapbiomas2Fuser-toolkit&scriptPath=users2Fmapbiomas2Fuser-toolkit3Amapbiomas-user-toolkit-deforestation-regeneration.js. Acesso em: 30 set. 2022.

SANTOS, M. M. M.; MENDONÇA, G. C.; OLIVEIRA, L. C. M.; PISSARRA, T. C. T. Uso e ocupação do solo no estado do Maranhão nos anos 2000 e 2016. **Anais... IV Congresso Internacional das Ciências Agrárias. COINTER – PDVAgro.** 2019. Disponível em: <https://cointer.institutoidv.org/pdvagro/>. Acesso em: 28 dez. 2022.

SILVA, I. F. T.; FREITAS, A. L. B. **Noções básicas de cartografia.** Rio de Janeiro: IBGE, 1998. 127 p.

SILVA, Q. D.; SOUZA, C. A.; LIMA, C. S.; LIMA, T. E. Uso e cobertura da terra médio curso da bacia do rio Itapecuru. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 8, p. e23611829610-e23611829610, 2022. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd>. Acesso em: 09 nov. 2022.

SILVA, Q. D.; SOUZA, C. A. Médio Curso da Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru, Maranhão: características geológicas, geomorfológicas, pedológicas e densidade de drenagem. **Revista Ciência Geográfica**, v. 26, n. 01, p. 51-71, 2022. Disponível em: <https://www.agbbauru.org.br/publicacoes/revista/revista20inicial.htm>. Acesso em: 09 nov. 2022.

SILVA, R. N. M.; SILVA, M. N. S.; GOMES, SENA. A. M. S: Caracterização dos impactos ambientais no rio Itapecuru no trecho entre Veneza e raízes na cidade de Caxias, MA. **Anais... XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, São Paulo, 2007. Disponível em: https://www.abrhidro.org.br/SGCv3/publicacao.phpPUB=3ID=19PUBLICACAO=ANAIS_SIMPOSIOS. Acesso em: 4 jan. 2025.

SILVA, J.; NEVES, S. M. A. S.; BASOTTI, I. S. Cobertura vegetal e uso da terra na bacia hidrográfica do rio Paraná no Estado de Mato Grosso do Sul, Brasil. **Anais... EGAL**, 2017. Disponível em: <https://www.ovtt.org/pt/agenda/egal-2017-xvi-encontro-de-geografos-da-america-latina/>. Acesso em: 04 jan. 2025.

SOUZA JR, C. M. Z.; SHIMBO, J.; ROSA, M. R.; PARENTE, L. L.; ALENCAR, A. A.; RUDORFF, B. F.; AZEVEDO, T. Reconstructing three decades of land use and land cover changes in brazilian biomes with landsat archive and earth engine. **Remote Sensing**, v. 12, n. 17, p. 2735, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/12>. Acesso em: 04 dez. 2023.

TROVÃO, J. R. **O processo de ocupação do território maranhense**. São Luís: IMESC, 2008. (Cadernos IMESC, 5). Disponível em: <https://imesc.ma.gov.br/portal/Post/view/2/109>. Acesso em: 28 dez. 2022.

VIANA, F. S.; ZANIRATO, S. H. As quebradeiras de coco babaçu e o avanço da fronteira agrícola no oeste do Maranhão: dimensões políticas e socioambientais. **Anais... IX Jornada de Políticas Públicas**. 2019. Disponível em: <http://www.cress-es.org.br/ix-jornada-internacional-de-politicas-publicas/>. Acesso em: 23 abr. 2022.

CAPÍTULO V – APLICAÇÃO E ANÁLISE DOS PROTOCOLOS AMBIENTAIS EM CANAIS URBANOS NO MÉDIO CURSO DO RIO ITAPECURU, NA CIDADE DE CAXIAS, MARANHÃO, BRASIL

RESUMO

A aplicação de protocolos de avaliação rápida constitui uma técnica para a compreensão dos habitats em bacias hidrográficas, permitindo, também, a avaliação do nível de degradação ambiental decorrente da ocupação próxima às margens dos canais fluviais. Nesse sentido, o presente estudo teve como objetivo identificar a degradação ambiental dos córregos urbanos na cidade de Caxias, MA. Para a realização da pesquisa, foram empregadas metodologias voltadas à aferição dos impactos associados aos diferentes tipos de uso e ocupação do solo, utilizando-se os protocolos de avaliação rápida propostos por Callisto *et al.*, (2002) e Carvalho *et al.*, (2011). Os procedimentos metodológicos incluíram a aplicação desses protocolos em cinco canais urbanos, a fim de avaliar variáveis e parâmetros ambientais referentes ao habitat desses cursos d'água. Paralelamente, o protocolo de Carvalho *et al.*, (2010) foi utilizado para análise das características morfológicas, do solo e do uso das margens dos córregos urbanos. Os resultados indicaram que, no canal 1, os pontos 1, 2, 4 e 5 apresentaram impactos ambientais significativos, enquanto os pontos 3 e 6 foram classificados como alterados. No canal 2, o ponto 1 foi considerado natural, pois está localizado em uma propriedade privada afastada da área central; já o ponto 2 foi classificado como impactado, e o ponto 3, como alterado. No canal 3, todos os pontos analisados (1, 2 e 3) foram considerados impactados. No canal 4, o ponto 1 foi classificado como natural por estar distante da área central. Por fim, no canal 5, o ponto 1 foi identificado como impactado em razão de sua canalização e retificação. A pesquisa de campo nos cinco canais urbanos analisados evidenciou a predominância de impactos ambientais, resultantes da intensa pressão urbana sobre os cursos d'água. Entre os principais fatores de degradação observados, destacam-se a canalização, o desmatamento, o acúmulo de resíduos urbanos e domésticos, além do lançamento de efluentes. Desse modo, tornaram-se evidentes os diferentes impactos direto e indireto nos canais. Além disso, constatou-se a existência de canais “invisíveis”, que atravessam áreas urbanizadas, passando sob residências, estabelecimentos comerciais e outras edificações. Dessa forma, ficou evidente que o crescimento da cidade de Caxias, MA, tem ocorrido sem a devida preocupação com os impactos sobre os ambientes fluviais. Essa dinâmica tem modificado e degradado os canais urbanos, tornando-se essencial a implementação de medidas de mitigação para a preservação desses ambientes.

Palavras-chave: Canais urbanos; perímetro urbano; impactos por efluentes; canal fluvial; Aplicação de protocolos.

ABSTRACT

The application of rapid assessment protocols is a technique for understanding habitats in watersheds, also allowing the assessment of the level of environmental degradation resulting from occupation near the banks of river channels. In this sense, the present study aimed to identify the environmental degradation of urban streams in the city of Caxias, MA. To carry out the research, methodologies aimed at measuring the impacts associated with the different types of land use and occupation were employed, using the rapid assessment protocols proposed by Callisto et al., (2002) and Carvalho et al., (2010). The methodological procedures included the application of these protocols in five urban channels, in order to assess environmental variables and parameters related to the habitat of these watercourses. In parallel, the protocol of Carvalho et al. (2011) was used to analyze the morphological characteristics, soil and use of the banks of urban streams. The results indicated that, in channel 1, points 1, 2, 4 and 5 presented significant environmental impacts, while points 3 and 6 were classified as altered. In channel 2, point 1 was considered natural, since it is located on private property far from the central area; point 2 was classified as impacted, and point 3, as altered. In channel 3, all points analyzed (1, 2 and 3) were considered impacted. In channel 4, point 1 was classified as natural because it is far from the central area. Finally, in channel 5, point 1 was identified as impacted due to its channeling and rectification. Field research in the five urban channels analyzed evidenced the predominance of environmental impacts, resulting from the intense urban pressure on the watercourses. The main factors of degradation observed include channeling, deforestation, accumulation of urban and domestic waste, and the discharge of effluents. The different direct and indirect impacts on the channels became evident. In addition, the existence of "invisible" channels was found, which cross urbanized areas, passing under residences, commercial establishments, and other buildings. It became clear that the growth of the city of Caxias, MA, has occurred without due concern for the impacts on river environments. This dynamic has modified and degraded urban channels, making it essential to implement mitigation measures to preserve these environments.

Keywords: Urban channels; urban perimeter; impacts by effluents; river channel; Application of protocols.

1 INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica constitui uma unidade fundamental de análise espacial, “sendo objeto de pesquisa de diferentes estudos (hidrológicos ou geomorfológicos, como também para estudos relacionados a aspectos bióticos, socioeconômicos e socioculturais” (Leite, 2011 p.60). Segundo Mendonça e Leitão, (2009 p.146) “a gestão de recursos hídricos ultrapassou, na atualidade, as fronteiras político-administrativas das nações e ganhou dimensões continentais e globais”.

Os canais de drenagem, em contraste com a paisagem urbana, desempenham um papel essencial tanto no gerenciamento de águas pluviais quanto na prevenção de alagamentos, influenciando diretamente o funcionamento das cidades. Segundo Souza (2013), essa dinâmica reflete uma relação utilitarista dos cursos fluviais nos espaços urbanos, nos quais sua função se restringe à drenagem.

Sistemas urbanos refletem condições ambientais variadas, complexas e específicas, que têm provocado mudanças drásticas nas dinâmicas naturais da vida. Assim, torna-se fundamental analisar os elementos essenciais, as transformações decorrentes e seus impactos sobre o meio ambiente (Costa; Falcão, 2011).

O crescimento desordenado da população e a ocupação irregular, aliados à falta de investimentos na infraestrutura, representam um grande desafio para o manejo dos canais urbanos, mas também uma oportunidade para aprimorar sua gestão (Oliveira Júnior *et al.*, 2021). A cidade de Caxias, localizada no estado do Maranhão, possui um sistema de drenagem que tributa suas águas ao rio Itapecuru dentro de sua área urbana.

Segundo Silva *et al.* (2022), todos os afluentes do rio Itapecuru encontram-se degradados, com a completa supressão da camada vegetal. Além disso, alguns canais sofrem parcial aterramento, enquanto diversas nascentes foram represadas para atividades econômicas voltadas à piscicultura. Outro aspecto destacado pelos pesquisadores é o descarte de resíduos e detritos nos cursos fluviais, além da recorrência de pontos de estrangulamento causados por canalizações, manilhamentos e pontes.

A degradação dos canais fluviais urbanos reflete não apenas impactos ambientais, mas também traços culturais distintos, associados à formação do ambiente urbano (Santana, 2017). Os critérios sociais que influenciam a ocupação do solo e seu uso nas áreas adjacentes aos canais revelam intervenções que desencadeiam processos físicos, evidenciando o potencial para diferentes tipos de utilização (Guerra; Cunha, 1966).

O crescimento desordenado da cidade gera diversos impactos, tanto diretos quanto indiretos, nos canais urbanos. A relação entre sociedade e natureza, quando não acompanhada de um planejamento adequado de ocupação, compromete a integridade dos ecossistemas. Conforme Cunha (2010, p. 1): “Em regiões tropicais, onde o crescimento das áreas urbanas ocorre muitas vezes de forma desordenada, a manutenção dos ambientes naturais torna-se complexa”.

A autora citada afirma que “os rios refletem a interação entre os geossistemas da bacia hidrográfica e, nas áreas urbanas relacionam-se também com as transformações no uso e ocupação do solo nas cidades”. Atualmente, torna-se fundamental um planejamento integrado da paisagem em diferentes escalas dentro de uma bacia hidrográfica (Cunha, 2010 p.1).

Em países como o Brasil, um dos problemas mais críticos da sociedade contemporânea é a qualidade da água. A gestão dos recursos hídricos-configura-se como um dos desafios mais graves, uma vez que “os rios urbanos encontram-se altamente degradados em sua grande maioria”, o que impõe diferentes desafios de gerenciamento à gestão socioambiental das áreas urbanas”, (Mendonça; Leitão, 2008 p.145). O desmatamento reduz os recursos hídricos disponíveis para o abastecimento humano e tem forte impacto sobre a qualidade da água, encarecendo o tratamento necessário para torná-la potável” (SEMA, 2020, p.52).

A avaliação da qualidade ambiental de córregos urbanos pode ser realizada por meio de ferramentas simples de caracterização ambiental, como os protocolos de avaliação rápida (PARs), que fornecem resultados consistentes. Essa perspectiva é corroborada por Oliveira Júnior *et al.* (2020), ao afirmarem que os PARs são instrumentos simples e eficazes para a análise da qualidade ambiental desses cursos d'água. Desenvolvidos e adaptados para esse fim, os PARs são amplamente utilizados, sendo sua eficácia ainda mais evidente quando associados a indicadores bióticos, como a diversidade de comunidades vegetais e animais.

De acordo com Callisto *et al.* (2002), a aplicação do Protocolo de Avaliação Rápida da Diversidade de Habitats em bacias hidrográficas representa um avanço significativo na preservação das condições naturais em Unidades de Conservação, além de ser uma ferramenta essencial para a avaliação dos impactos ambientais em áreas degradadas.

Desse modo, Pontini e Coelho (2019, p. 175) ressaltam a importância do desenvolvimento de ferramentas ágeis e simples, como os Planos de Ação Rápida (PARs), para a realização de diagnósticos ambientais preliminares desses sistemas.

Essas ferramentas têm se destacado em relação às estações de monitoramento. Os autores enfatizam que “bacias hidrográficas são exemplos de recortes espaciais que integram uma visão conjunta do comportamento das condições naturais e das atividades humanas nelas compreendida”.

Do mesmo modo, Bersot, Menezes e Andrade (2015, p. 291) mencionam que a aplicação de Protocolo de Avaliação Rápida (PAR) em rios é fundamental “para a compreensão da área de estudo, possibilitando a interação da análise da qualidade da água e do ecossistema que a envolve”. Pedroso e Colesanti (2018, p. 266) destacam que a “aplicação de métodos que visam a avaliação qualitativa dos corpos hídricos é de grande importância para a gestão de bacias hidrográficas, uma vez que possibilita o diagnóstico ambiental sobre as águas e seus respectivos entornos”.

O uso dos PARs teve início com a publicação do *Rapid Bioassessment Protocols*, por Plafkin *et al.* (1989), que estabeleceu os primeiros dados básicos para a gestão da vida aquática em diversos quilômetros de drenagem nos Estados Unidos da América. No Brasil, a aplicação dessa técnica é relativamente recente, destacando-se o trabalho de Callisto *et al.* (2002), que adaptaram os protocolos propostos pela USEPA (1987) à realidade de seu estudo. Minatti-Ferreira e Beaumord (2008) também realizaram um diagnóstico em cinco microbacias do rio Itajaí-Mirim, em Santa Catarina, utilizando os PARs.

Além disso, diversos estudos empregam os Protocolos de Avaliação Rápida de Rios (PARs) como ferramenta de análise das características do leito, das condições ecológicas e da diversidade de habitats, entre os quais se destacam os trabalhos de Silva e Botelho (2021); Campos e Nucci (2019); Felix, Alves e Lima (2019); Pontini e Coelho (2019); Rosa e Magalhães Júnior (2019); Machado (2019); Zamboni (2019); Pontini (2020); Branco Jr. *et al.* (2020); Oliveira Júnior *et al.* (2021); Silva *et al.* (2021); Almeida *et al.* (2022) e Funaro, Souza e Leandro (2022).

O estudo foi realizado na cidade de Caxias, MA, com aplicação do Protocolo de Avaliação Rápida (PAR) em cinco canais urbanos. A pesquisa utilizou a técnica de observação para analisar as diferentes tipologias dos canais fluviais urbanos, bem como para avaliar suas condições ecológicas e a diversidade de habitats. Diante do exposto, este estudo teve como objetivo identificar a degradação ambiental nos córregos urbanos de Caxias, MA.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

A área de estudo está localizada no perímetro urbano da cidade de Caxias, no estado do Maranhão, e encontra-se delimitada pelas coordenadas geográficas 4° 50' 30" a 4° 54' 00" de Latitude Sul e 43° 19' 00" a 43° 23' 00" de Longitude Oeste. A área urbana corresponde a 23,82 km² (Figura 1).

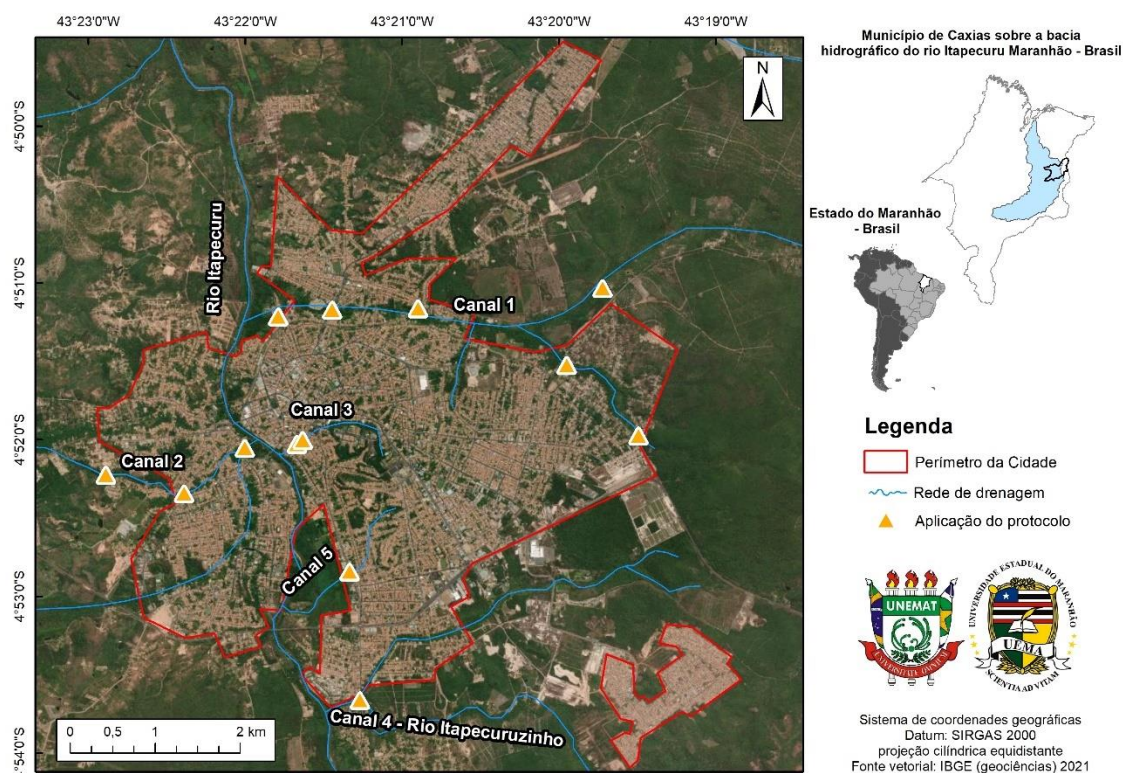


Figura 1: Localização dos canais urbanos em estudo sobre o perímetro urbano de Caxias – MA

Fonte: Organizado pela autora.

2.2 Mapeamento temporal

Por meio da base de dados disponível no MapBiomas, foi possível obter imagens *raster*, na aba *download*, referentes ao uso e cobertura da terra, e avaliar a expansão urbana da cidade de Caxias em uma análise temporal de 36 anos. Para o mapeamento, foram selecionados os anos de 1985, 2003 e 2021.

Após a obtenção dos dados *raster*, todas as classes de uso e cobertura foram removidas, exceto a classe 24, que representa a infraestrutura urbana. Esse procedimento foi repetido para os três anos previamente mencionados. Em seguida, a área segmentada foi convertida em feição e, posteriormente, em vetor com a extensão *.shp. Esse processo permitiu a quantificação da área em quilômetros quadrados (km²).

2.3 Protocolos

Os impactos associados aos tipos de uso e ocupação da terra foram analisados por meio dos Protocolos de Avaliação Rápida propostos por Carvalho, Bitoun e Corrêa (2010) e Callisto *et al.* (2002).

Os protocolos foram aplicados em trabalho de campo em cinco canais urbanos, sendo o córrego São José identificado como Canal 1. Para os demais, não foi possível determinar a topomínia, mesmo após questionamentos aos moradores. Dessa forma, apenas o primeiro canal apresenta denominação específica na descrição. O critério adotado para a aplicação dos protocolos foi a análise dos canais fluviais em relação à malha urbana da cidade de Caxias.

Foi realizada uma pesquisa de dados secundário das cartas topográficas da Diretoria de Serviço Geográfico do Exército (DSG), porém não foram encontradas as toponímias dos demais córregos. Destaca-se, ainda, que, na literatura regional, o córrego São José é definido como riacho. Do mesmo modo, Sanches, Moreira e Razky (2018) afirmam que não há uma designação lexical homogênea para essa feição morfológica. Assim, adotou-se o termo *córrego*, conforme descrito por Christofolletti (1980), a fim de padronizar as discussões em âmbito nacional.

2.4 Avaliação de protocolo utilizando a matriz de tipologias

A seguir, apresenta-se a proposta de Carvalho, Bitoun e Corrêa (2011), que estabelece parâmetros para a análise das características morfológicas, do solo e do uso das margens do córrego urbano, considerando os pontos de acesso abordados ao longo do canal fluvial mencionado (Quadros 1 a 4).

Quadro 1: Nível 1 – Características Morfológicas do Canal e Valores Referência utilizados na Matriz de Tipologias

Trecho Canal	Características Morfológicas do Canal			Referência
Canal	Não Alterado			NA (100)
	Alterado	Aberto	Retificado	AL (200)
			Retificado e Canalizado	MA (300)
		Fechado		MA (300)

Fonte: Carvalho, Bitoun e Corrêa (2011).

Quadro 2: Nível 2 – Uso do Solo nas Margens e Valores de Referência Utilizados na Matriz de Tipologias

Trecho Canal	Uso do solo nas margens	Referência
Canal	Vegetação preservada	BAIXO (10)
	Vegetação residual	BAIXO (10)
	Urbanização fraca	MÉDIO (20)
	Urbanização média	ALTO (30)
	Urbanização intensa	ALTO (30)

Fonte: Carvalho, Bitoun e Corrêa (2011).

Quadro 3: Nível 3 – Uso do Solo nos Interflúvios e Valores Referência utilizados na Matriz de Tipologias

Trecho Canal	Uso do solo nos interflúvios	Referência
Canal	Vegetação preservada	BAIXO (1)
	Vegetação residual	BAIXO (1)
	Urbanização fraca	MÉDIO (2)
	Urbanização média	ALTO (3)
	Urbanização intensa	ALTO (3)

Fonte: Carvalho, Bitoun e Corrêa (2011).

Do mesmo modo, durante a observação *in loco* e com o protocolo em mãos, foram analisadas as características morfológicas do canal, o uso do solo nas margens e nos interflúvios, registrando-se os valores de referência conforme seu estado e em relação ao entorno. A soma desses valores permitiu a classificação dos canais, comparando-os à matriz de tipologias.

Por fim, empregou-se a matriz de tipologias proposta por Carvalho, Bitoun e Corrêa (2011), a qual define os impactos decorrentes das alterações e da degradação dos canais fluviais em perímetros urbanos. Essa matriz estabelece níveis que variam desde canais sem alterações, porém com baixo impacto decorrente da ocupação antrópica, até aqueles profundamente modificados em sua morfologia e sujeitos a impactos significativos no manejo do solo (Quadro 4).

Quadro 4: Matriz de Tipologias

Nível 1	Nível 2	Nível 3	Combinação	Tipologia
100	10	1	111	A – Canal sem alterações e com baixo impacto pelo uso do solo
100	10	2	112	A – Canal sem alterações e com baixo impacto pelo uso do solo
100	10	3	113	B – Canal sem alterações e com impacto pelo uso do solo
100	20	1	121	A – Canal sem alterações e com baixo impacto pelo uso do solo
100	20	2	122	B – Canal sem alterações e com impacto pelo uso do solo
100	20	3	123	B – Canal sem alterações e com impacto pelo uso do solo
100	30	1	131	C – Canal sem alterações e com significativo impacto pelo uso
100	30	2	132	C – Canal sem alterações e com significativo impacto pelo uso
100	30	3	133	C – Canal sem alterações e com significativo impacto pelo uso
200	10	1	211	D – Canal alterado e com baixo impacto pelo uso do solo
200	10	2	212	D – Canal alterado e com baixo impacto pelo uso do solo
200	10	3	213	E – Canal alterado e com impacto pelo uso do solo
200	20	1	221	D – Canal alterado e com baixo impacto pelo uso do solo
200	20	2	222	E – Canal alterado e com impacto pelo uso do solo
200	20	3	223	E – Canal alterado e com impacto pelo uso do solo
200	30	1	231	F – Canal alterado e com significativo impacto pelo uso
200	30	2	232	F – Canal alterado e com significativo impacto pelo uso
200	30	3	233	F – Canal alterado e com significativo impacto pelo uso

300	10	1	311	G – Canal muito alterado e com baixo impacto pelo uso
300	10	2	312	G – Canal muito alterado e com baixo impacto pelo uso
300	10	3	313	H – Canal muito alterado e com impacto pelo uso do solo
300	20	1	321	G – Canal muito alterado e com baixo impacto pelo uso
300	20	2	322	H – Canal muito alterado e com impacto pelo uso do solo
300	20	3	323	H – Canal muito alterado e com impacto pelo uso do solo
300	30	1	331	I – Canal muito alterado e com significativo impacto pelo uso
300	30	2	332	I – Canal muito alterado e com significativo impacto pelo uso
300	30	3	333	I – Canal muito alterado e com significativo impacto pelo uso

Fonte: Carvalho, Bitoun e Corrêa (2011).

2.5 Protocolo de Avaliação Rápida da Diversidade de Habitats

No Quadro 5, a seguir, encontram-se as variáveis utilizadas como parâmetros à aplicação dos protocolos para avaliação do habitat dos canais urbanos de Caxias, situados no médio curso da bacia do rio Itapecuru, conforme a proposta de Callisto *et al.* (2002)

Quadro 5: Protocolo de Avaliação Rápida da Diversidade de Habitats de Bacias Hidrográficas. Adaptado do Protocolo de Callisto *et al.* (2002)

Parâmetros	Pontuação		
	4 pontos	2 pontos	0 pontos
1. Tipo de ocupação das margens do corpo d'água (principal atividade)	Vegetação natural	Campo de pastagem/ Agricultura/ Monocultura/ Reflorestamento	Residencial/ Comercial/ Industrial
2. Erosão próxima e/ou nas margens do rio e assoreamento do seu leito	Ausente	Moderado	Acentuada
3. Alterações antrópicas	Ausente	Alterações de origem doméstica (esgoto, lixo)	Alteração de origem industrial/urbana (fábricas, siderurgias, canalização do curso do rio)
4. Cobertura vegetal no leito	Parcial	Total	Ausente
5. Odor da água	Nenhuma	Esgoto (ovo podre)	Óleo/ Industrial

6. Oleosidade da água	Ausente	Moderado	Abundante
7. Transparência da água	Transparente	Turva (cor de chá forte)	Opaca ou colorido
8. Odor do sedimento (fundo)	Nenhuma	Esgoto (ovo podre)	Óleo/ Industrial
9. Oleosidade de fundo	Ausente	Moderado	Abundante
10. Tipo de fundo	Pedras/ Cascalho	Lama/areia	Cimento/ canalizado

Fonte: Callisto *et al.*, (2002).

O Quadro 5 foi preenchido em campo, considerando as variáveis da diversidade de habitats naturais nos afluentes do rio Itapecuru, dentro do perímetro urbano de Caxias. Os parâmetros analisados incluíram erosão, alteração antrópica, cobertura vegetal, odor, oleosidade e transparência da água, além do tipo de fundo, odor e oleosidade no sedimento. A pontuação foi atribuída conforme a condição ambiental observada: natural (4 pontos), moderado (2 pontos) e alterada (0 pontos). Posteriormente, os resultados do Protocolo da Diversidade de Habitats foram combinados com os do Protocolo de Avaliação Rápida das Condições Ambientais (Quadro 6).

Quadro 6: Protocolo de Avaliação Rápida das Condições Ambientais

Parâmetros	5 pontos	3 pontos	2 pontos	0 pontos
11. Tipos de fundo	Mais de 50% com habitat diversificado: pedaços de troncos e cascalhos.	30 a 50% de habitat diversificado: adequado para a manutenção da vida aquática.	10 a 30% de habitat diversificado: disponibilidade de habitat insuficiente: substrato modificado	Menos de 10% de habitat diversificado: ausência de substrato rochoso instável para fixação dos organismos.
12. Tipo de substrato	Seixos abundantes (prevalecendo em nascentes).	Seixos abundantes: cascalho comum.	Fundo onde predomina cascalho: alguns seixos presentes.	Fundo pedregoso: seixos ou lamoso.
13. Deposição de lama	Entre 0 a 25% do fundo coberto por lama.	Entre 25 a 50% do fundo coberto por lama.	Entre 50 a 75% do fundo coberto por lama.	Mais de 75% do fundo coberto por lama.
14. Depósitos sedimentares	Menos de 5% do fundo com deposição de lama: ausência de deposição nos remansos.	Evidência de modificação no fundo como: aumento de cascalho, areia ou lama; 5 a 30% do fundo afetado: suave deposição nos remansos.	Deposição moderada de cascalho novo, área ou lama nas margens: 30 a 50% do fundo afetado: deposição moderada nos remansos.	Grandes deposições de lamas nas margens: mais de 50% do fundo modificado: remansos ausentes por falta de deposição de sedimentos.
15. Alteração no canal do rio	Canalização ou drenagem ausente ou mínima: córrego normal	Canalização presente próxima de pontes: evidência de alterações há mais de 10 anos.	Modificações presente nas duas margens: 40 a 80% do córrego modificado.	Margens modificadas acima de 80% do córrego.
16. Características	Relativamente igual em toda a largura	Lâmina da água acima de 75% do	Lâmina de água entre 25 a 75% do	Lâmina da água escassa e

do fluxo de água	do rio: baixa quantidade de substrato exposto.	córrego ou menor de 25% do substrato exposto.	canal maior parte do substrato nos rápidos exposto.	presente apenas nos remansos.
17. Presença de mata ciliar	Acima de 90% com vegetação ripária nativa (árvores, arbustos macrófitas) baixa evidência de desmatamento; plantas atingindo altura normal.	Entre 70 e 90% com vegetação ripária normal: desmatamento evidente, mas não afetando o desenvolvimento da vegetação.	Entre 50 e 70% com vegetação ripária normal: desmatamento óbvio: trechos com solos expostos; menos da metade das plantas atingindo a altura.	Menor a 50% da mata ciliar nativa desmatamento muito acentuado.
18. Estabilidade das margens	Margens estáveis: evidência de erosão mínima ou ausente; potencial baixo para problemas futuros menos de 5% da margem afetada.	Moderadamente estável: poucas áreas de erosão; frequentes entre 5 a 30% da margem com erosão	Moderadamente instável: entre 30 a 50% da margem com erosão; risco elevado de erosão.	Instável: muitas áreas com erosão frequentes áreas descobertas nas curvas do leito; erosão óbvia entre 60 a 100%
19. Extensão da mata ciliar	Largura da vegetação ripária maior que 18 m: sem influência de atividade antrópica.	Largura da vegetação ripária entre 12 e 18 m influência antrópica	Largura da vegetação ripária entre 6 e 12 m: influência antrópica intensa.	Largura da vegetação ripária menor que 6 m: vegetação restrita devido às atividades antrópicas.
20. Presença de resíduos sólidos	Ausente	Moderado	Moderado/ Alto	Abundante

Fonte: Callisto et al, (2002).

Após a aplicação dos parâmetros ambientais – incluindo tipos de fundo, substrato, deposição de lama e sedimentos, mudanças no canal, fluxo, mata ciliar, margens e sua extensão e, além da presença de resíduos sólidos – por meio de observação *in loco*, os resultados foram somados. De acordo com Callisto *et al.* (2002), esses valores indicam o grau de preservação das condições ambientais do trecho estudado. Pontuações entre 0 e 40 classificam o ambiente como "impactado"; entre 41 e 60, como "alterado" e acima de 61, como "natural".

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise temporal da expansão de área urbana, entre os anos 1985 a 2021 na cidade de Caxias, MA

Em 1985, a cidade de Caxias possuía uma área urbana de 13,60 km². Em 2003, essa área aumentou para 20,29km², representando uma expansão de 33%. No ano de 2021, o mesmo território atingiu 27,97km², com um crescimento de 28% em relação a 2003. Dessa forma, ao longo de 36 anos, a malha urbana da cidade expandiu-se em 61%.

Estudos realizados por Pereira, Nunes e Araújo (2021) sobre a análise multitemporal do uso, ocupação e cobertura da terra na Zona Leste da cidade de Caxias constataram que o processo de ocupação nessa região, bem como nas zonas Norte, Sul e Oeste, ocorreu de forma desordenada. A expansão urbana desorganizada acarreta diversos problemas para os moradores, como a ocupação de encostas e áreas próximas aos cursos d'água, o que pode resultar em movimentos de massa e inundações durante o período chuvoso.

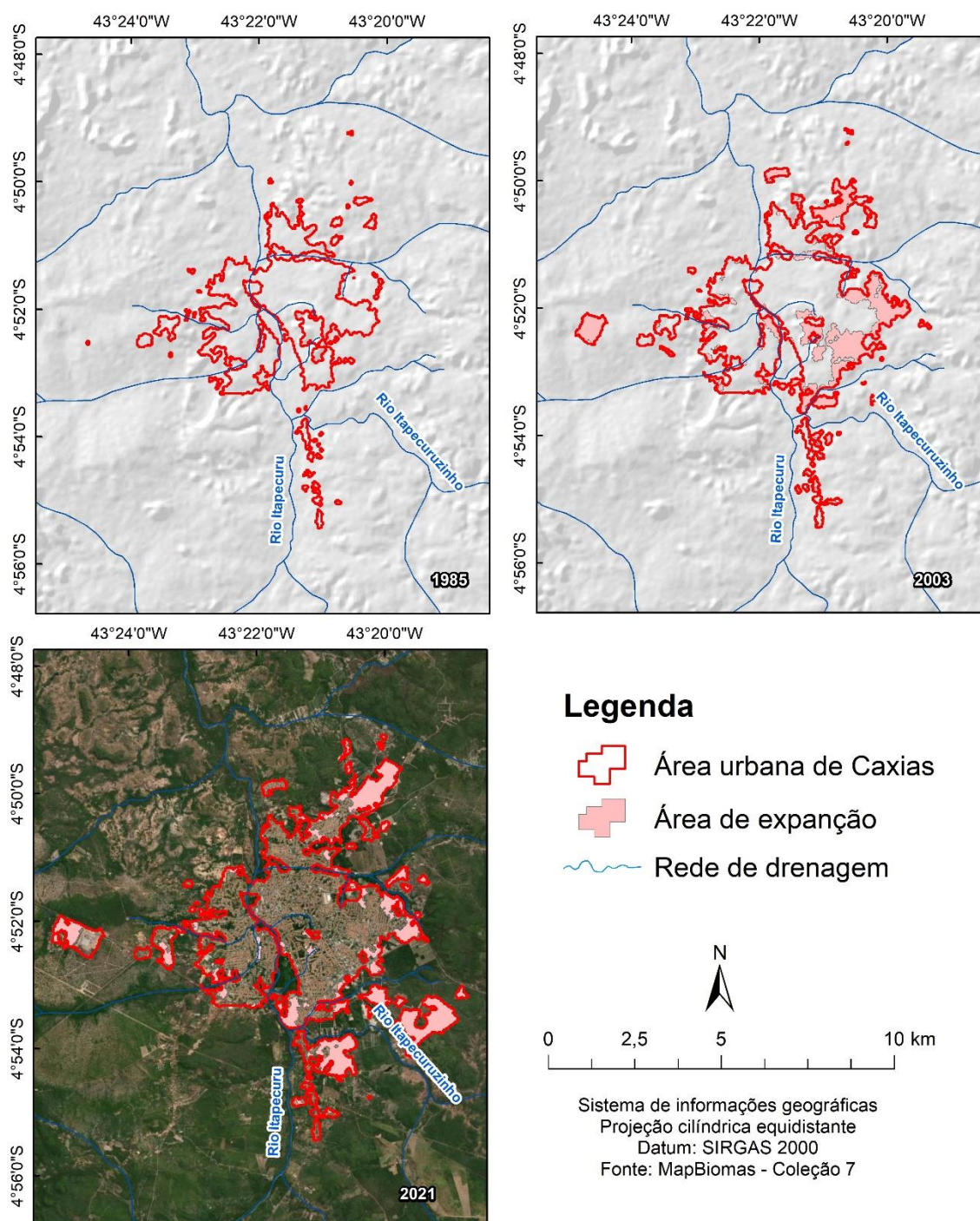


Figura 2: Área de expansão urbana entre os anos 1985, 2003 e 2021

Fonte: Organizado pela autora.

Durante o trabalho de campo, constatou-se que a cidade de Caxias encontra-se em processo de expansão, com a incorporação de novos bairros. Para tanto, estão sendo realizadas atividades como aterramento de canais para construção, estrangulamento, retificação, e outras intervenções nos canais urbanos. No entanto, esse crescimento ocorre sem planejamento e sem a devida consideração pelos cursos d'água, que acabam sendo transformados em receptores de esgoto. O desenvolvimento urbano desordenado compromete a qualidade dos recursos naturais, intensificando os impactos ambientais.

A Lei nº 1.637, de 2006, estabelece diretrizes para a proteção, preservação e recuperação do meio ambiente. Os dados obtidos por meio da aplicação dos protocolos poderão servir como subsídio para futuros planejamentos em escala local.

3.2 Descrição dos protocolos em canais fluviais urbanos na cidade de Caxias, MA

Os córregos localizados no perímetro urbano de Caxias apresentam alto grau de degradação. As matas ciliares foram completamente removidas, as margens foram aterradas e ocupadas por construções residenciais e comerciais. A maioria dos canais encontra-se canalizada, com diversos pontos de estrangulamento, como manilhas e pontes. Além disso, detritos e dejetos são lançados diretamente no leito.

A interferência nos canais urbanos, a remoção da vegetação, o aterramento e a ocupação de áreas de nascente para a construção de residências resultam em alagamentos durante o período chuvoso, conforme relatado por moradores.

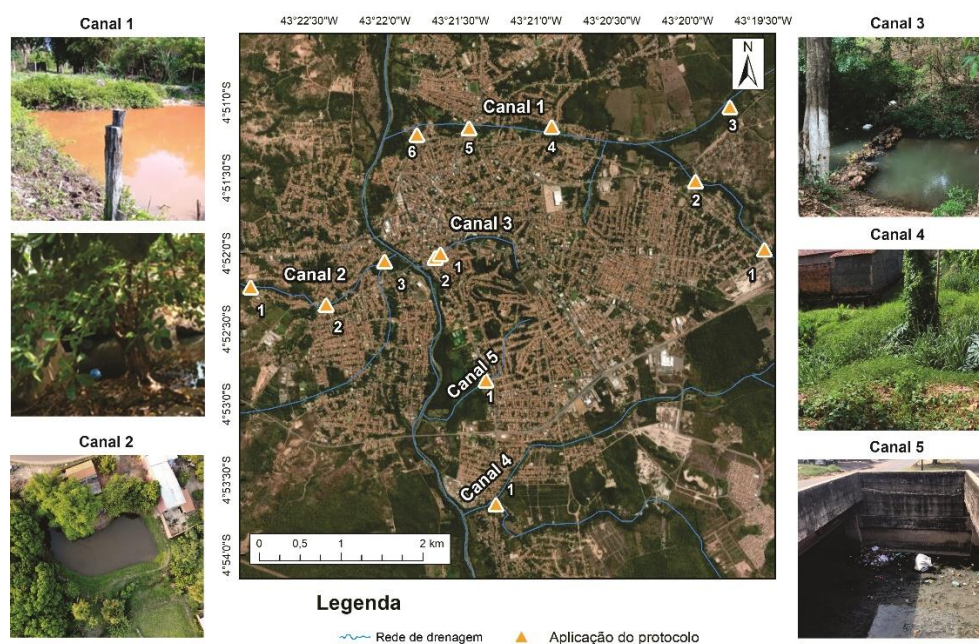


Figura 3: Mapa de localização dos pontos de aplicação de protocolos, em Caxias, MA
Fonte: Elaborado pela autora.

3.2.1 Canal 1

O córrego São José, tributário da margem direita do rio Itapecuru, foi um dos selecionados para avaliação. O monitoramento abrangeu seis pontos ao longo do canal, no sentido longitudinal, de montante a jusante (Figura 4 e Tabela 1).

Os resultados obtidos na aplicação do PAR, apresentados na Tabela 1, com base na matriz tipológica desenvolvida por Carvalho, Bitoun e Corrêa (2010), indicam que os pontos 2, 3 e 6 configuram-se como canais sem alteração, com baixo impacto decorrente do uso do solo. Essa informação demonstra que esses trechos apresentam relativa preservação, conforme os critérios do PAR. Em contrapartida, os pontos 1, 4 e 5 correspondem a canais alterados, sujeitos a impacto significativo pelo uso do solo, caracterizado por intensa pressão antrópica sobre as margens, incluindo construções de alvenaria, despejo de efluentes e deposição de resíduos sólidos.

Em contraste com os resultados apresentados anteriormente, o PAR de Avaliação das Condições Ecológicas e da Diversidade de Hábitats, conforme Callisto *et al.* (2002), demonstrou que, na maioria dos pontos, o canal é classificado como impactado, com exceção dos trechos 3 e 6, que foram considerados alterados. Este protocolo evidencia que até mesmo ações antrópicas mínimas ao longo do canal prejudicam significativamente a qualidade ecológica do ambiente. Com base nas observações feitas em campo, pode-se inferir que todos os pontos analisados apresentam condições insalubres para a diversidade biológica, impactando tanto os organismos aquáticos quanto os moradores que se estabeleceram nas proximidades dos canais.

Tabela 1: Resultados da aplicação do protocolo sobre matriz de tipologias no canal fluvial urbano (1) em Caxias - MA, com base em Carvalho, Bitoun e Corrêa (2010)

Pontos	Nível 1 Características do canal	Nível 2 Uso do solo margens	Nível 3 Uso do solo nos interflúvios	Combinação	Tipologias
Ponto 1	AL (200)	MÉDIO (20)	MÉDIO (2)	222	E – Canal alterado e com impacto pelo uso do solo.
Ponto 2	NA (100)	BAIXO (10)	MÉDIO (2)	112	A – Canal sem alterações com baixo impacto pelo uso do solo
Ponto 3	NA (100)	BAIXO (10)	BAIXO (1)	111	A – Canal sem alteração e com baixo impacto pelo uso do solo.
Ponto 4	NA (200)	ALTO (30)	ALTO (3)	233	F – Canal

					alterado e com significativo impacto pelo uso.
Ponto 5	NA (200)	ALTO (30)	ALTO (3)	233	F – Canal alterado e com significativo impacto pelo uso.
Ponto 6	NA (100)	ALTO (30)	ALTO (3)	133	C – Canal sem alterações e com baixo significativo impacto pelo uso.

Fonte: Adaptado de Carvalho, Bitoun e Corrêa (2011).

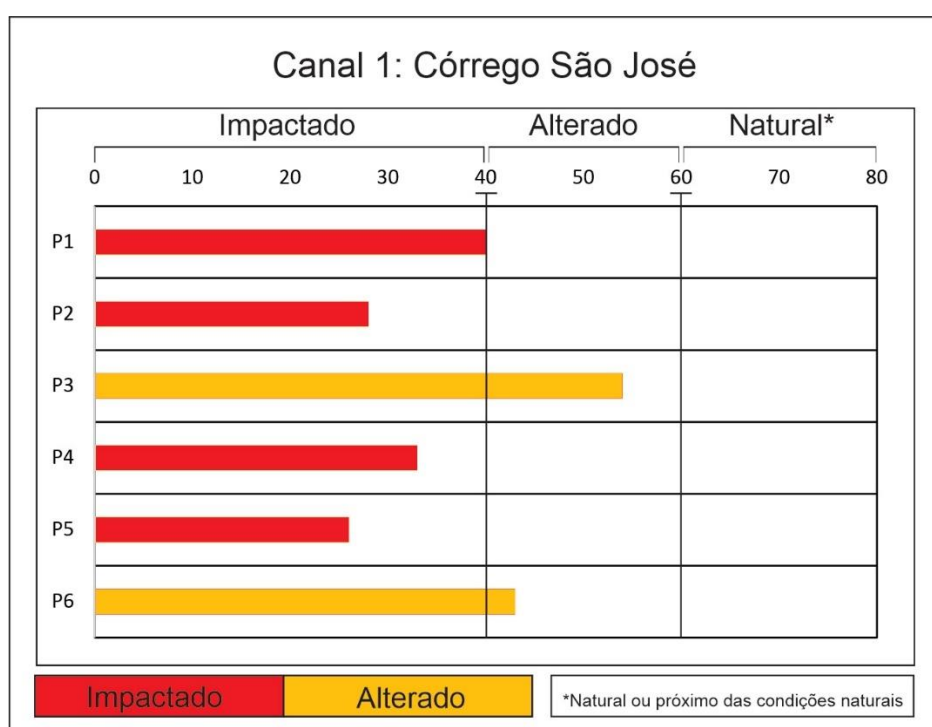


Figura 4: Protocolo de Avaliação das Condições Ecológicas e da Diversidade de Hábitats no Canal 1

Fonte: Adaptado de Santana (2017).

3.2.1.1 Ponto 1 – Montante do Córrego São José

O ponto 1 foi localizado na nascente do Córrego São José, na Vila Conquista. De acordo com relatos de moradores, a área é considerada uma invasão territorial, onde foram construídas casas para moradia. O local dispõe de energia elétrica e água encanada, entretanto, não há saneamento básico. Durante a visita, foi registrado o acúmulo de lixo doméstico e entulhos nas imediações.

Observou-se que a área da nascente está impactada devido à presença de residências, aterros realizados para a construção de uma avenida próxima, e à presença

de animais (cabritos) soltos ao redor da área. A vegetação nativa foi completamente removida, sendo registrados apenas remanescente de alguns pés de buriti, cajá e babaçu. No local da nascente, foi observada uma pequena lâmina d'água, em razão da construção de um açude a jusante, que impede o fluxo natural da água, sendo utilizado para abastecer os animais. Também foi notada a presença de um tanque desativado para criação de peixes (Figura 5).



Figura 5: Presença de animal solto em área de nascente e tanque de peixe desativado
Fonte: Fotografada pela autora (2021).

Os registros do ponto 01 constataram características morfológicas do canal alterado. Os usos das margens foram classificados como de urbanização fraca, e o uso nos interflúvios também indicou urbanização fraca. O canal, no trecho estudado, corresponde à tipologia E, canal alterado, com impacto devido ao uso do solo.

A avaliação rápida da diversidade de habitats e das condições ambientais no ponto 01 registrou que os parâmetros analisados sobre os tipos de ocupação ao entorno indicaram a presença de residências e comércios. Além disso, foi observada erosão moderada nas proximidades do canal. As alterações antrópicas registradas são de origem doméstica (lixo). Não foi detectado odor na água e nem presença de oleosidade. Com base nos parâmetros analisados, o ponto 01 é classificado como um canal impactado.

Morais *et al.* (2015 p.203), ao utilizarem o PAR adaptado de Callisto *et al.* (2002) em estudos sobre a avaliação da integridade ambiental de um trecho urbano do córrego Sussuapara, no Tocantins, destacam que a aplicação dos protocolos proporciona resultados rápidos. Os autores ressaltam que “isto mostra a sensibilidade do PAR como

instrumento de monitoramento das alterações antrópicas em uma microbacia urbana” (Figura 6).



Figura 6: Área de nascente impactada e barramento do fluxo no canal
Fonte: Fotografada pela autora (2021).

3.2.1.2. Ponto 2 – Avenida Samuel Barbosa

No ponto 2, a vegetação predominante consiste, em sua maioria, de buritis e vegetação rasteira. Foram registradas pequenas plantações de mandioca, banana, milho, cana-de-açúcar e caju próximas à margem esquerda do canal. Segundo relatos dos moradores, a área é considerada uma invasão, por se tratar de uma antiga fazenda onde foram construídas residências próximas ao córrego. Com o tempo, o local foi se tornando um espaço urbano, com instalação de energia elétrica e abastecimento de água, porém ainda sem pavimentação asfáltica.

O córrego São José, onde foi aplicado o protocolo, era amplamente utilizado para banho pelos moradores locais, além de servir como fonte de água para outras famílias. Contudo, devido à degradação das áreas de nascente, observou-se uma redução significativa no volume de água, tornando inviável seu uso para banho nos dias atuais.

A jusante do ponto estudado, registrou-se a presença de um aterro construído para a implantação da ferrovia, o que contribuiu para o barramento do fluxo do canal, alterando sua morfologia. Além disso, na rua ainda não pavimentada, foi realizado um aterro sobre o canal para viabilizar o acesso ao loteamento Vila Conquista (Figura 7).



Figura 7: Pés de Buritis na planície fluvial do córrego São José

Fonte: Fotografada pela autora (2021).

Os dados registrados no ponto 2 demonstraram que as características do canal não apresentam alterações, conforme os parâmetros do protocolo. O uso do solo na margem foi classificado como vegetação residual, e a urbanização foi considerada pouco expressiva. Assim, a tipologia para esse ponto foi identificada como: A – Canal sem alterações.

A avaliação rápida da diversidade de habitats e das condições ambientais no ponto 02 revelou que os tipos de ocupação registrados foram residuais. A erosão foi classificada como acentuada, e as alterações antrópicas identificadas são de origem doméstica, com forte odor perceptível na água. Além disso, constatou-se moderada oleosidade e baixa transparência, sendo a água classificada como turva. Dessa forma, conforme o protocolo, o canal foi considerado impactado.

Segundo Tucci (2008, p. 97), “o mundo está se tornando cada vez mais urbano em razão do desenvolvimento econômico, gerando pressão sobre o ambiente ocupado pela urbanização”. Nesse contexto, os estudos sobre canais urbanos tornam-se cada vez mais essenciais para subsidiar a elaboração de planos diretores e a gestão do planejamento urbano, contribuindo para uma relação socioambiental equilibrada (Figuras 8 e 9).



Figura 8: Tipos de uso e ocupação das margens e entorno

Fonte: Fotografada pela autora (2021).

Cruz e Souza (2016), ao estudarem o desenvolvimento urbano e suas implicações nos canais de drenagem, ressaltam que:

As questões ambientais voltadas aos recursos hídricos na cidade perpassam por contextos sociopolíticos, econômicos e culturais, ou seja, o processo de ordenamento territorial urbano e suas implicações nos canais de drenagem são socialmente produzidos no âmbito de um conjunto de ações que transformam o espaço urbano e que acarreta, a perda da qualidade ambiental dos sistemas fluviais urbanos, tanto quantitativo quanto qualitativamente (Cruz; Souza, 2016, p.125).



Figura 9: Linha férrea transnordestina, a jusante do ponto 2

Fonte: Fotografada pela autora (2021).

3.2.1.3. Ponto 3 – Povoado São José do Mesquita

O ponto 3 foi analisado a montante da bifurcação do canal. Após a desativação da fábrica, os proprietários venderam as terras, enquanto as famílias que já residiam nas proximidades permaneceram no local, porém sem o direito de usufruir da área. Segundo relatos, ocorreram diversos conflitos durante as tentativas de desocupação. Atualmente, a área pertence à Fazenda Ramires.

Nesse ponto, não há influência direta da urbanização. A vegetação encontra-se parcialmente preservada, com a presença de buritis, mangueiras, coqueiros e árvores de pequeno porte. Moradores locais relataram que o córrego era amplamente utilizado para banhos aos finais de semana e mantinha um volume significativo de água, mesmo nos períodos de seca; no entanto, os moradores não utilizam mais o canal para esse fim. Durante as pesquisas de campo, foi registrada a presença de animais, como cavalos, que acessam diretamente a água do córrego (Figura 10).



Figura 10: Fotografia do canal principal, ponto 3

Fonte: Fotografada pela autora (2021).

Em pesquisas de campo, foram identificados alguns pontos de erosão ao longo do percurso até o canal principal, resultado da declividade do terreno. Durante o período chuvoso, esse fator contribui para o transporte de sedimentos, que são depositados no canal principal.

As características morfológicas do canal no ponto 3 não apresentam alterações. O uso do solo nas margens e nos interflúvios foi identificado como vegetação residual, indicando uma menor intervenção antrópica. Assim, conforme os parâmetros estabelecidos no protocolo, o ponto foi classificado como: A – Canal sem alteração e

com baixo impacto do uso do solo, conforme descrito na Tabela 1.

No ponto 3 foi constatada vegetação natural. A erosão foi classificada como moderada, e as alterações antrópicas observadas foram de origem doméstica, com presença de lixo. A cobertura vegetal no leito foi considerada total. Não foram registrados odor nem oleosidade na água. De acordo com os parâmetros de análise, o canal é classificado como alterado, conforme demonstrado na Tabela 2 (Figura 11).



Figura 11: Tanque de peixe desativado

Fonte: Fotografada pela autora (2021).

3.2.1.4. Ponto 4 – Bairro São Francisco

Neste ponto, o canal sofre interferência urbana direta, sendo registrada a presença de asfalto, uma ponte e residências nas proximidades das margens. Durante a observação de campo, foi possível verificar a presença de sacolas plásticas no interior do canal, sacolas de lixo nas margens e um cano de esgoto sendo despejado diretamente no canal principal (Figura 12).



Figura 12: Descarga de esgoto diretamente no canal principal

Fonte: Fotografada pela autora (2021).

No ponto 4, as características morfológicas do canal foram alteradas. O uso do solo nas margens foi classificado como urbanização média, enquanto o uso do solo nos interflúvios indicou urbanização intensa. De acordo com os parâmetros analisados, a tipologia do canal é classificada como F – Canal alterado, com impacto significativo causado pelo uso, conforme apresentado na Tabela 1.

Os parâmetros analisados, com base na avaliação rápida da diversidade de habitats e das condições ambientais no ponto 4, indicaram que os tipos de ocupação observados são residuais. A erosão foi classificada como acentuada, e as alterações antrópicas têm origem doméstica relacionadas ao descarte de lixo e esgoto.

A cobertura vegetal foi registrada de forma parcial ao longo do perfil longitudinal do canal. Trensandava um odor característico de esgoto na água, além da presença de oleosidade moderada e coloração turva, atribuída à influência do uso doméstico; logo, o canal foi considerado impactado tanto pelo uso direto quanto pelo indireto.

Carvalho, Bitoun e Corrêa (2010, p. 73) destacam que: “a partir da análise dos usos do solo é possível fazer apontamentos sobre o grau de impacto gerado e a urgência da presença de instrumentos normativos e ações do poder público no trato desses corpos d’água”. Portanto, compreender os sistemas (canais urbanos) de maneira integrada, sob a ótica socioambiental, pode contribuir para o desenvolvimento de novos planejamentos para a cidade de Caxias, MA. Casas estão construídas muito próximas das barreiras no interflúvio, o que acarreta risco de desmoronamento durante o período das chuvas, devido ao solo exposto e às construções em locais inadequados (Figura 13).



Figura 13: Diferentes tipos de uso do solo na planície e ao entorno do canal principal

Fonte: Fotografada pela autora (2021).

3.2.1.5 Ponto 5 – Avenida Santos Dummont

O ponto 5 foi localizado na ponte da Avenida Santos Dummont, uma via de intenso fluxo. Na margem direita do canal, encontramos pés de banana, bambu e vegetação rasteira. Observou-se, ainda, a tubulação de esgoto proveniente das residências, despejando-o diretamente no canal. Constatou-se, também, a grande quantidade de lixo tanto no leito quanto nas margens. A declividade do terreno contribui para que, durante o período de chuvas, a água seja direcionada para o canal. Além disso, as obras de engenharia, como os bueiros, fazem toda a água da avenida ser escoada para o canal, conforme ilustrado na Figura 14.



Figura 14: Pés de banana na margem direita do canal principal

Fonte: Fotografada pela autora (2021).

No ponto 5, as características morfológicas do canal estão alteradas. O uso do solo nas margens evidenciou uma urbanização intensa, enquanto nos interflúvios também foi observada uma urbanização significativa. Portanto, de acordo com a matriz tipológica, o canal foi considerado como F – canal alterado, com impacto significativo devido ao uso, conforme apresentado na Tabela 1.

Os parâmetros analisados, com base na avaliação rápida da diversidade de habitats e das condições ambientais no ponto 5, indicaram que os tipos de ocupação registrados foram residuais e comerciais. A erosão foi classificada como acentuada, e as alterações antrópicas observadas tiveram origem doméstica, relacionadas ao esgoto e ao lixo. Além disso, verificou-se a presença de várias sacolas plásticas e garrafas PET descartadas nas margens e no entorno do canal principal.

A vegetação no leito foi registrada de forma parcial. A jusante do ponto, constatou-se na margem direita a derrubada da vegetação e o aterro para construção, realizados muito próximos ao canal principal, o que influencia na dinâmica e morfologia do canal. Em determinados trechos, o canal encontra-se completamente desprotegido pela vegetação ciliar, sendo recoberto apenas por capim.

Estudos realizados por Silva e Conceição (2011, p.17), no município de Caxias, MA, destacaram que os “cursos d’água urbano foram bastante utilizados em anos anteriores como ponto de atração para diversão de jovens, para pesca, lavadeiras de roupa e, atualmente, encontram-se abandonados, servindo apenas como evacuadores de esgoto da cidade”.

Conforme demonstrado na Figura 15, a urbanização avança sobre a planície, alcançando o leito do canal urbano. As setas indicam alterações como a remoção da vegetação e o aterramento. O crescimento das edificações e a expansão da cidade têm resultado no estrangulamento do canal, no soterramento de suas nascentes e na modificação de sua morfologia. Esse processo de expansão, sem a devida preocupação com a preservação dos canais urbanos, causa alterações significativas nessas estruturas.



Figura 15: Retirada da vegetação na margem esquerda e aterro na planície
Fonte: Google Earth Pro (2021).

Durante o trabalho de campo, constatou-se um forte odor de esgoto proveniente do despejo direto no canal. A oleosidade da água foi registrada em abundância e sua transparência apresentou-se turva, com coloração semelhante a chá verde, em razão da grande quantidade de esgoto. Assim, de acordo com os parâmetros analisados, o canal foi classificado como *impactado*, conforme indicado na Tabela 2 e Figura 16.

Estudos realizados por Pereira, Nunes e Araújo (2021), sobre análise multi-temporal de uso, ocupação e cobertura da terra na zona Leste da cidade de Caxias, MA, ressaltaram que:

Os impactos socioambientais ocorridos nas áreas são dos mais diversos, predominando a grande retirada de vegetação para a construção de moradias, mesmo em locais impróprios (próximo a encostas), despejos de dejetos domésticos em áreas onde estão localizadas uma vegetação preservada. Além disso, a poluição dos efluentes nos corpos riachos, o que acarreta perdas de sua flora e fauna, e, principalmente, o assoreamento no leito e nas margens (Pereira; Nunes; Araújo, 2021 p.1.426).



Figura 16: Condições ambientais no canal e entorno

Fonte: Fotografada pela autora (2021).

3.2.1.6 Ponto 6 – Rua Siqueira Campos

No ponto 6, há depósitos de lixo na margem direita do canal. A vegetação presente é arbórea e esparsa, com exemplares de mangueiras e árvores da espécie sete-copas próximos à margem. Durante as pesquisas de campo, constatou-se a presença de moradores em situação de rua sob a ponte. Além disso, em conversas com residentes da região, foi relatado que o local é frequentemente utilizado para banho por essas pessoas (Figura 17).



Figura 17: Ponto 6, jusantes da ponte

Fonte: Fotografada pela autora (2021).

Os dados registrados indicaram que as características morfológicas do canal

permanecem inalteradas. O uso do solo nas margens foi classificado como de urbanização intensa, assim como nos interflúvios do canal. Apesar do impacto observado em campo, de acordo com o protocolo, a tipologia do canal enquadra-se na classificação C – Canal sem alterações e com baixo impacto pelo uso.

A ocupação das margens é predominantemente residencial e comercial. A erosão das margens foi classificada como acentuada, e as alterações antrópicas identificadas têm origem doméstica, especialmente relacionadas ao descarte de lixo. A cobertura vegetal no leito foi registrada como parcial. Observou-se um forte odor proveniente da água, além de presença moderada de oleosidade e coloração turva. Assim, segundo os parâmetros analisados, o canal foi classificado como *alterado*, conforme indicado na Tabela 2.

3.2.2 Canal 2

O canal 2, sem denominação popular ou registro em base cartográfica, configura-se como único canal tributário no perímetro urbano do lado esquerdo, no sentido montante-jusante. Nele, foram aplicados os PARs em três pontos distintos ao longo de seu percurso.

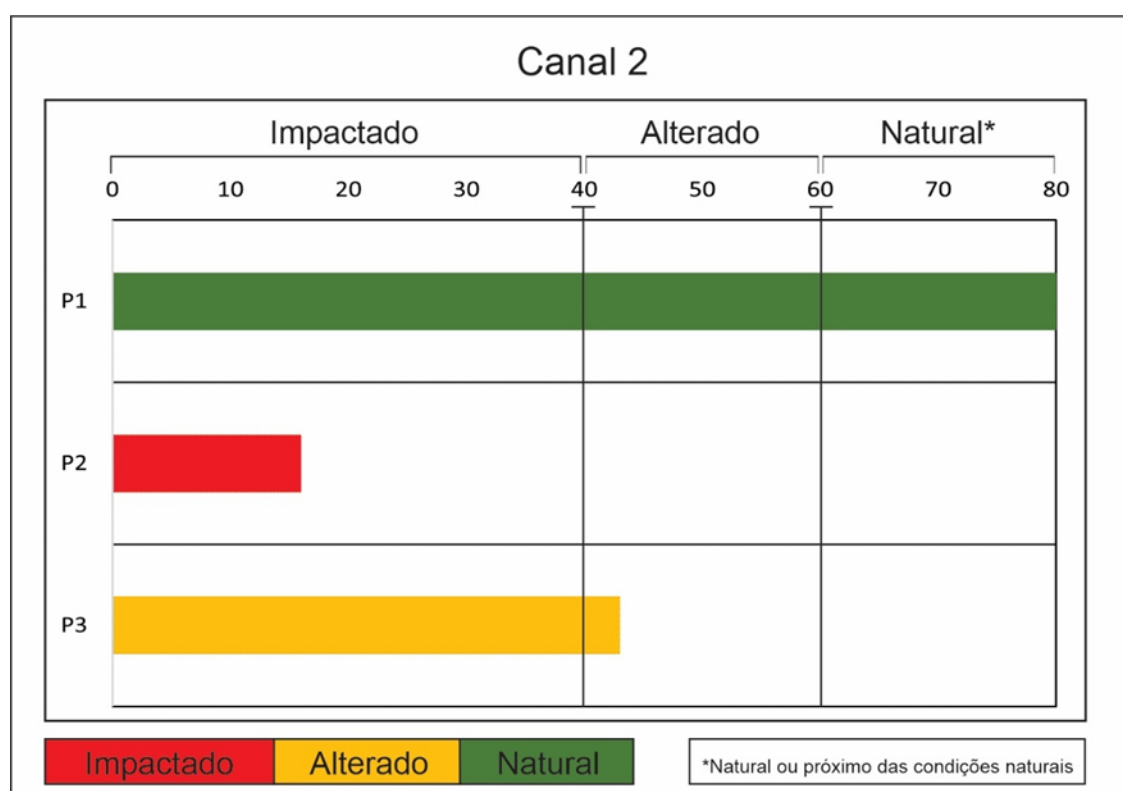
Os resultados indicaram que, no âmbito do protocolo de matrizes tipológicas, durante a primeira etapa de análise, os pontos 1 e 3 apontam para a preservação do canal, enquanto o ponto 2 apresenta alterações. Na segunda etapa, verificou-se que os pontos 1 e 3 exibem atividades de uso nas margens classificadas como médias. No entanto, ambos apresentam alto uso do solo nos interflúvios, resultando, ao final, em uma classificação majoritariamente como canal sem alteração. Em contrapartida, o ponto 2 foi o único a apresentar impacto significativo decorrente do uso, conforme indicado na Tabela 2.

Ao aplicar o Protocolo de Índice de Qualidade Ambiental (PAR) para avaliar as condições ecológicas e a diversidade de habitats, constatou-se que o ponto 1 mantém características próximas às condições naturais, sendo classificado como natural. Em contraste, o ponto 2 foi identificado como *impactado*, enquanto o ponto 3 foi considerado *alterado*. Portanto, embora o ponto 1 apresente um nível de preservação mais próximo do estado natural, o canal, como um todo, revela impactos significativos nas condições ecológicas, conforme evidenciado na Figura 18.

Tabela 2: Resultados da aplicação do protocolo sobre matriz de tipologias no canal 2

Pontos	Nível1 Características do canal	Nível 2 Uso do solo nas margens	Nível 3 Uso do solo nos interflúvios	Combinação	Tipologias
Ponto 1	NA (100)	MÉDIO (20)	ALTO (3)	123	A – Canal sem alteração, com impacto pelo uso do solo.
Ponto 2	MA (300)	ALTO (30)	ALTO (3)	333	I – Canal muito alterado e com significativo impacto pelo uso.
Ponto 3	NA (100)	MÉDIO (20)	ALTO (3)	123	B – Canal sem alteração, com impacto pelo uso do solo.

Fonte: Adaptado de Carvalho, Bitoun e Corrêa (2010).

**Figura 18:** Protocolo de Avaliação das Condições Ecológicas e Diversidade de Habitats, Canal 2

Fonte: Adaptado de Santana (2017).

3.2.2.1 Ponto 1 – Área de nascente

No ponto 1, registrou-se a presença de uma área de nascente, caracterizada por solo úmido e disponibilidade de água. Em conversas com moradores locais, foi relatado que, durante o período chuvoso, a concentração de água aumenta. O ponto analisado está situado em uma propriedade privada (sítio), onde foi constatada a presença de animais soltos, como cavalos, na área da nascente. Além disso, observou-se a presença

de vegetação composta por buritis, palmeiras e arbustos (Figura 19).



Figura 19: Área de nascente, ponto 1

Fonte: Fotografada pela autora (2021).

As informações obtidas indicaram que as características morfológicas do canal permanecem inalteradas. Quanto ao uso do solo nas margens, constatou-se a presença de vegetação preservada, enquanto nos interflúvios foi observada vegetação residual. Dessa forma, o canal é classificado como B – Canal sem alteração, com impacto devido ao uso do solo, conforme demonstrado na Tabela 3.

Os parâmetros analisados, incluindo a avaliação rápida da diversidade de habitats e das condições ambientais no ponto 1, indicaram que os tipos de ocupação registrados correspondem à vegetação natural. Nas margens, não foi observada erosão, e as alterações antrópicas foram inexistentes. Não foram detectados odor ou oleosidade na água, embora a coloração estivesse turva, devido a à influência de animais que utilizam o local para dessedentação diretamente do canal. Portanto, de acordo com os parâmetros analisados, o canal é classificado como *natural* (Figura 20).



Figura 20: Compactação do solo em área de nascente

Fonte: Fotografada pela autora (2021).

3.2.2.2 Ponto 2 – Travessa São José

No ponto 2, foram registrados pés de banana nas margens do canal, além de acúmulo de lixo, como sacolas plásticas, colchões, entre outros itens. Existe um tubo lançando esgoto diretamente no canal e esgoto escorrendo a céu aberto na calçada. Não foi identificado fluxo no canal, devido ao barramento realizado para a construção de tanques de peixe a montante (Figura 21).

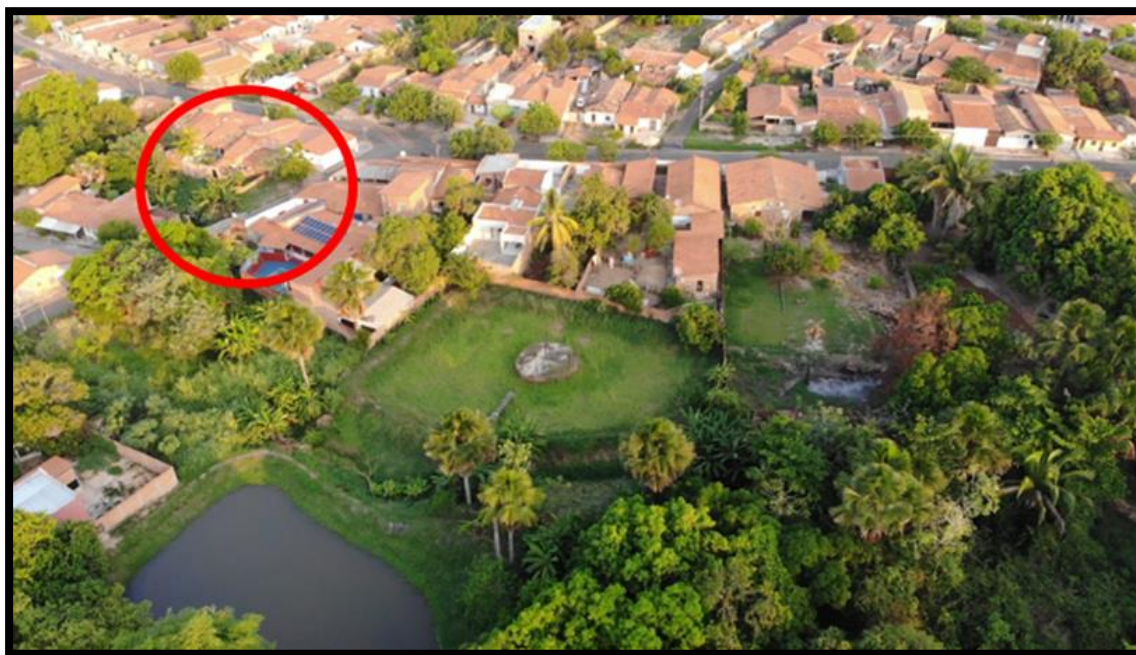


Figura 21: Travessa São José

Fonte: Fotografada pela autora (2021).

Os dados registrados indicaram que as características morfológicas do canal foram alteradas. O uso do solo nas margens foi classificado como de urbanização intensa, e o uso do solo nos interflúvios também apresentou urbanização intensa. Dessa forma, o canal é classificado como I – Canal muito alterado, com impacto significativo devido ao uso, conforme a Tabela 3.

Os parâmetros analisados, incluindo a avaliação rápida da diversidade de habitats e das condições ambientais no ponto 2, indicaram que os tipos de ocupação nas margens são de origem residencial e comercial. A erosão nas margens foi classificada como acentuada, e as alterações antrópicas observadas têm origem doméstica, com presença de esgoto e lixo. A cobertura vegetal foi registrada como parcial, e um intenso odor característico de esgoto exalava da água, junto a uma abundante oleosidade. Portanto, o canal foi classificado como impactado (Figura 22).



Figura 22: Diferentes tipos de uso no sentido longitudinal do canal. Aterro para residências no antigo canal, o círculo mostra acumulo de água.

Fonte: Fotografada pela autora (2021).

Durante as pesquisas de campo, foi registrado, a montante do ponto, a ocorrência de queimadas nas margens do canal principal. Na planície, observou-se uma intensa interferência no canal, resultante da construção de casas, o que ocasionou a compactação do leito, alteração da morfologia e perda do fluxo contínuo, entre outros problemas decorrentes da expansão urbana sem planejamento. Verificou-se a ausência de fluxo no canal, com apenas pequenas poças de água ao longo do sentido longitudinal, conforme ilustrado na Figura 22. A intensa compactação do solo em áreas de nascentes pode resultar na migração do lençol freático.

3.2.2.3 Ponto 3 – Avenida Rodrigo Otávio

O ponto 3 foi analisado a partir da ponte localizada na Avenida Rodrigo Otavio, que possui 340 metros de largura. Na margem direita do canal, foram registrados pés de manga, mamona e arbustos. Observou-se que as residências estão próximas ao leito, e os moradores descartam resíduos sólidos e esgoto doméstico diretamente no canal (Figura 23).



Figura 23: Ponto a montante da ponte de concreto

Fonte: Fotografada pela autora (2021).

Os dados registrados indicaram que as características morfológicas do canal não sofreram alterações. O uso do solo nas margens foi classificado como de urbanização fraca, enquanto nos interflúvios foi registrada uma urbanização intensa. Assim, a tipologia do canal se enquadra na categoria B – Canal sem alteração, porém com impacto devido ao uso do solo, conforme consta na Tabela 3.

A análise dos parâmetros, com base na avaliação rápida da diversidade de habitats e das condições ambientais no ponto 3, constatou que a ocupação nas margens é predominantemente residencial e comercial. A erosão foi classificada como moderada, e as alterações antrópicas identificadas são de origem doméstica, resultantes do descarte de esgoto e lixo. A cobertura vegetal no leito apresentou-se parcial, e verificou-se odor intenso proveniente da água, decorrente do lançamento de esgoto. Além disso, a oleosidade foi considerada moderada e a transparência da água revelou uma coloração turva. Dessa forma, de acordo com os parâmetros analisados, o canal é classificado como alterado (Figura 24).



Figura 24: Ponte de concreto em cima do canal principal e esgoto a céu aberto
Fonte: Fotografada pela autora (2021).

Conforme apontado por Bersot, Menezes e Andrade (2015), em pesquisa sobre a aplicação do Protocolo de Avaliação Rápida de Rios (PAR) na bacia hidrográfica do rio Imbé, RJ, utilizando a metodologia de Callisto *et al.* (2002), os resultados foram distribuídos em seis pontos ao longo do canal, classificando-se em três categorias: impactado, natural e alterado.

3.2.3 Canal 3

O terceiro canal avaliado por meio dos PARs, também sem toponímia, está localizado na margem direita do rio Itapecuru, no perímetro urbano da cidade de Caxias, MA. Com uma extensão aproximada de 1,60 km, foi possível observar impactos significativos das atividades antrópicas.

A aplicação do PAR sobre a matriz tipológica indicou que todos os pontos apresentam um alto grau de impacto devido ao uso do solo (Tabela 3). O mesmo

resultado foi observado na análise das condições ecológicas, na qual os pontos foram classificados como impactados, conforme apresentado na Figura 25.

Tabela 3: Resultados da aplicação do protocolo sobre matriz de tipologias no canal (3)

Pontos	Nível1 Características do canal	Nível 2 Uso do solo margens	Nível 3 Uso do solo nos interflúvios	Combinação	Tipologias
Ponto 1	MA (300)	ALTO (30)	ALTO (3)	333	I – Canal muito alterado e com significativo impacto pelo uso.
Ponto 2	MA (300)	ALTO (30)	ALTO (3)	333	I – Canal muito alterado e com significativo impacto pelo uso.
Ponto 3	AL (200)	ALTO (30)	ALTO (3)	233	F – Canal alterado e com significativo impacto pelo uso.

Fonte: Adaptado de Carvalho, Bitoun e Corrêa (2011).

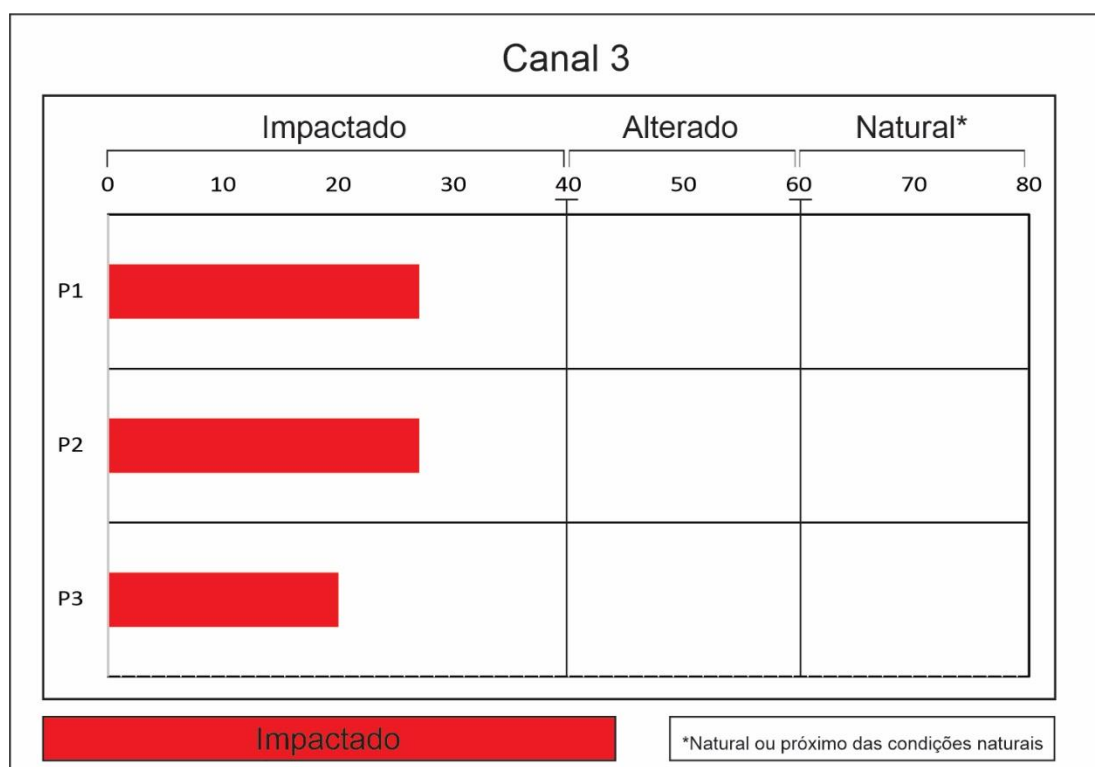


Figura 25: Protocolo de Avaliação das Condições Ecológicas e Diversidade de Hábitats
Fonte: Adaptado de Santana (2017).

3.2.3.1 Ponto 1 – Próximo da Travessa das Lages

No ponto, 1 foram há construções na margem do canal, além de um aterro com manilha a montante para a construção de uma rua. A vegetação das margens inclui algumas árvores frutíferas, como tamarindeiros, bananeiras e cajueiros (Figura 25).



Figura 26: Canal com influência antrópica

Fonte: Fotografada pela autora (2021).

As áreas de nascentes foram soterradas com restos provenientes de construções. Ambas as margens apresentam acúmulo de entulhos e resíduos descartados pelos moradores. O canal não apresentou fluxo a montante, sendo observada apenas uma área úmida coberta por capim (Figura 26).



Figura 27: Influência da urbanização na margem direita do canal

Fonte: Fotografada pela autora (2021).

Os dados registrados demonstraram que as características morfológicas do canal

encontram-se altamente alteradas, com um impacto significativo decorrente do uso. O uso do solo nas margens foi classificado como de urbanização intensa, e assim como nos interflúvios do canal. Dessa forma, a tipologia do canal é caracterizada como "Canal muito alterado e com significativo impacto pelo uso", conforme apresentado na Tabela 3.

Conforme os parâmetros analisados, constatou-se que os tipos de ocupação nas margens são predominantemente residenciais. A erosão nas margens e em áreas próximas foi classificada como acentuada, enquanto as alterações antrópicas identificadas são de origem doméstica (esgoto e lixo). Além disso, a cobertura vegetal no leito do canal foi registrada como ausente. Emanava um odor forte na água, bem como era visível a presença de oleosidade moderada. A água apresentou coloração turva, decorrente do esgoto despejado diretamente das residências no canal principal. Assim, segundo os parâmetros analisados, o canal foi classificado como impactado, conforme a Tabela 6.

Santana (2017), ao analisar as alterações nos canais urbanos e a degradação ambiental na bacia hidrográfica do córrego Sangradouro, em Cáceres, Mato Grosso, destacou que a urbanização promoveu mudanças significativas na paisagem da bacia. Dentre essas transformações, destacam-se a canalização do córrego, incluindo alargamento, aprofundamento e realinhamento do canal, além da instalação de galerias fluviais. Também foram registradas a edificação de pontes e o aterramento para a construção de loteamentos.

Constatou-se, portanto, que essas obras também contribuíram para alterações permanentes no canal 3, incluindo a redução da área de drenagem e a modificação do comportamento hidrossedimentológico dos canais, comprometendo seu equilíbrio (Figuras 27 e 28; Tabela 3).



Figura 28: Aterro e construção de casas na planície do canal

Fonte: Fotografada pela autora (2021).

Oliveira e Vestena (2017, p.11) ressaltam em seus estudos sobre canais urbanos a mudança na morfologia do canal principal e destacaram que:

A forma de ocupação do espaço urbano pode potencializar a ocorrência de inundações e alagamentos, que podem ocasionar ou intensificar prejuízos de ordem econômica e social como (mortes por afogamentos, destruição de imóveis, além de comprometer a mobilidade urbana) (Oliveira; Vestena, 2017, p. 11).

3.2.3.2 Ponto 2 – Rua Sinésio Santos

No ponto 2, o canal encontra-se canalizado, tornando-se visível apenas na área da ponte. Ao longo de seu percurso, foram registrados manilhamento, acúmulo de lixo e intensa urbanização. Não há presença significativa de vegetação no leito, exceto capim. A jusante da ponte, observou-se a ausência de canalização, com o registro de vegetação frutífera e ornamental (Figura 29).



Figura 29: Canal com alterações na morfologia (retificado e canalizado)

Fonte: Fotografada pela autora (2021).

Os dados registrados demonstraram que o canal encontra-se retificado e canalizado. O uso do solo nas margens constatou urbanização intensa, assim como nos interflúvios do canal. Dessa forma, a tipologia do canal classifica-se como II – Canal muito alterado e com significativo impacto de uso, conforme Tabela 5. Oliveira e Vestena (2017, p.11), ao estudarem a canalização em trechos fluviais, destacam que: “Com a expansão da urbanização, houve aumento das seções canalizadas, que por sua vez, desencadeou alterações da dinâmica hidrológica local com alterações de compactação/impermeabilização dos sistemas: encosta/fluvial”.

Conforme os parâmetros analisados, verificou-se que os tipos de ocupação nas margens são de origem residencial e comercial. Não foi constatada erosão nas margens, e as alterações antrópicas identificadas são de origem urbana, decorrentes da canalização do curso d’água; não há cobertura vegetal no leito. Além disso, a água tresandava odor forte e desagradável, com presença de moderada oleosidade, enquanto a transparência da água manteve-se elevada. Dessa forma, o canal-foi classificado como impactado, conforme Tabela 6.

Oliveira e Vestena (2017, p.12), ao conduzirem um estudo de caso sobre a expansão urbana e a canalização de trechos fluviais na cidade de Guarapuava, Paraná,

destacaram que: “O crescimento das cidades é um fato que não se pode conter, entretanto, essa expansão precisa ser planejada de forma que as ações antrópicas alterem o menos possível a funcionalidade dos sistemas fluviais em meio”. Em suas análises, os autores relataram as modificações significativas na morfologia dos canais estudados.

3.2.3.3 Ponto 3 – Rua Bom Pastor

No ponto 3, constatou-se que as características morfológicas do canal estão alteradas e retificadas. O uso do solo nas margens apresentou urbanização intensa, assim como nos interflúvios. Portanto, a tipologia desse canal foi classificada como F – Canal alterado e com significativo impacto de uso, conforme Tabela 5 (Figura 30).



Figura 30: Vegetação frutífera na margem do canal principal

Fonte: Fotografada pela autora (2021).

Conforme os parâmetros analisados, verificou-se que a ocupação das margens é predominantemente residencial e comercial. A erosão nas margens e em áreas adjacentes foi classificada como acentuada. As alterações antrópicas decorrem da canalização urbana, e não há cobertura vegetal no leito. Além disso, o odor forte na água empestava o ambiente, além da presença moderada de oleosidade. A água apresentou coloração turva, influenciada pelo despejo direto de esgoto no canal principal. Assim, de acordo com os parâmetros analisados, o canal foi classificado como impactado (Figura 31).



Figura 31: Entulho depositado no leito do canal principal

Fonte: Fotografado pela autora (2021).

Observou-se que o leito do canal encontra-se aterrado com resíduos de construção civil. Além disso, registrou-se uma grande quantidade de lixo acumulado, incluindo garrafas PET, sacolas plásticas e outros materiais descartados de forma inadequada.

3.2.4 Canais 4 e 5

A avaliação, por meio da aplicação dos Índices de Qualidade Ambiental (PARs) nos canais 4 e 5, foi conduzida em um único ponto de cada canal urbano, devido a limitações logísticas de acesso. Dessa forma, analisou-se o canal 4, correspondente ao rio Itapecuruzinho, e o canal 5, desprovido de toponímia.

O rio Itapecuruzinho nasce a sudeste da cidade de Caxias, em uma área de cerrado preservada. Reconhecido como um importante afluente à direita do rio Itapecuru

(Silva; Conceição, 2011), seu canal possui uma extensão longitudinal de 24 km, estendendo-se até a sua confluência com o rio Itapecuru. Esse curso d'água drena uma ampla área, abrangendo tanto regiões naturais quanto o perímetro urbano de Caxias.

Os resultados obtidos por meio dos PARs foram semelhantes, indicando que o canal 4 (rio Itapecuruzinho) apresenta características naturais e baixo impacto. Em contrapartida, o canal 5 foi classificado como muito alterado, com significativo impacto pelo uso (Tabela 4).

Tabela 4: Resultados da aplicação do protocolo sobre matriz de tipologias no canal fluvial urbano (4) e (5)

Pontos	Nível1 Características do canal	Nível 2 Uso do solo margens	Nível 3 Uso do solo nos interflúvios	Combinação	Tipologias
CN 4	NA (100)	BAIXO (10)	BAIXO (1)	111	A – Canal sem alterações e com baixo impacto pelo uso.
CN 5	MA (300)	ALTO (30)	ALTO (3)	333	I – Canal muito alterado e com significativo impacto pelo uso.

Fonte: Adaptado de Carvalho, Bitoun e Corrêa (2011).

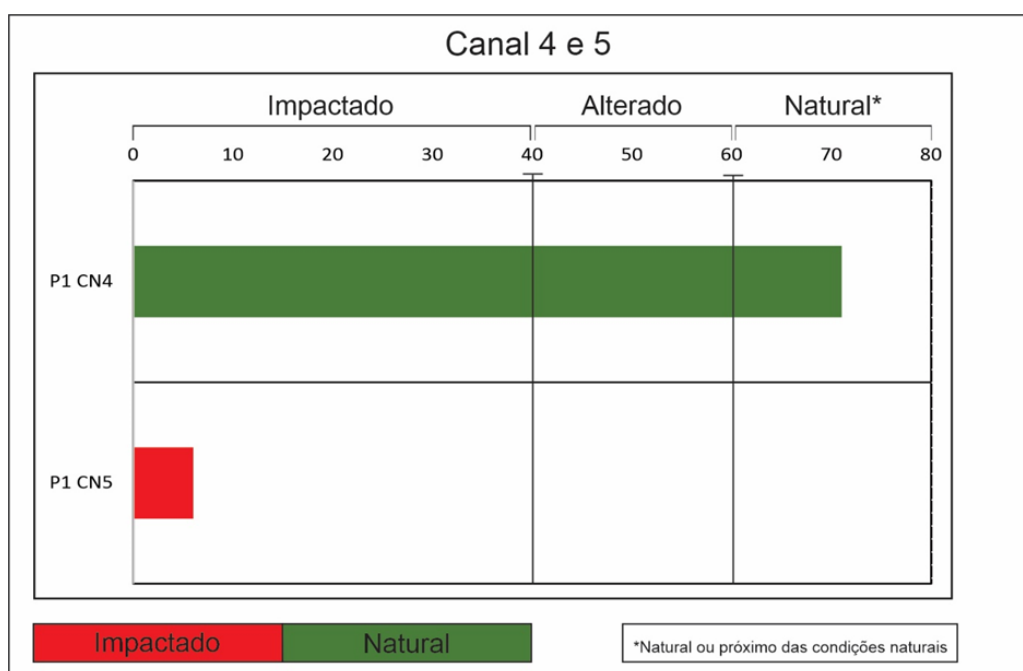


Figura 32: Protocolo de Avaliação das Condições Ecológicas e da Diversidade de Habitats, Canal (4) e (5)

Fonte: Adaptado, Santana (2017).

3.2.4.1 Canal 4

O ponto 1 do canal 4 está localizado na ponte da Rua do Fio, na Rodovia MA-034. Não foi constatado acúmulo de lixo nas margens do canal. O uso direto observado refere-se à construção de um barramento de rochas no canal principal. No sentido longitudinal, registrou-se a presença de vegetação arbórea e arbustiva (Figuras 32, 33 e Tabela 4).



Figura 33: Barramento de rochas e assoreamento no canal (4)

Fonte: Fotografada pela autora (2021).

Os dados registrados, por meio dos protocolos, demonstraram que as características morfológicas do canal não se encontram alteradas. Contudo, foi identificado assoreamento no canal. O uso do solo nas margens apresentou vegetação residual, assim como nos interflúvios do canal. Portanto, a tipologia do canal se caracteriza como: A – Canal sem alterações e com baixo impacto de uso.

Conforme os parâmetros analisados, verificou-se que o tipo de ocupação das margens corresponde à vegetação natural. A erosão nas margens e em áreas próximas foi classificada como moderada, e não foram identificadas alterações antrópicas no canal. A cobertura vegetal no leito apresentou-se parcial. Além disso, não foram registrados odor ou oleosidade na água, cuja transparência foi considerada alta. Dessa forma, o canal foi classificado como natural.

3.2.4.2 Canal 5

O ponto analisado no canal 5 está localizado na Avenida Edson Lobão. Durante a pesquisa de campo, foram identificados acúmulos de resíduos sólidos descartados diretamente no canal, incluindo garrafas, sacolas plásticas e latinhas. Esse cenário contraria a política de saneamento estabelecida pelo Plano Diretor Municipal, conforme a Lei nº 1.637, e o Código Municipal de Meio Ambiente, instituído pela Lei nº 1.624. Ambos os dispositivos legais preveem a coleta e o tratamento de esgoto sanitário, bem como a gestão adequada dos resíduos sólidos produzidos no município (Caxias, 2006a; Caxias, 2006b).

O canal foi retificado para viabilizar a construção de casas, ruas e estabelecimentos comerciais. Até a Avenida Édson Lobão, ele permanece canalizado, mas, a partir desse ponto, retoma sua dinâmica natural.



Figura 34: Canal 5, Avenida Edson Lobão

Fonte: Fotografada pela autora (2021).

Os dados registrados neste ponto demonstraram que as características morfológicas do canal encontram-se retificadas e canalizadas. O uso do solo nas margens revelou urbanização intensa, assim como nos interflúvios do canal. Portanto, a

tipologia do canal caracteriza-se como: I – Canal muito alterado e com significativo impacto de uso.

Conforme os parâmetros analisados, registrou-se que os tipos de ocupação das margens são predominantemente residenciais e comerciais. A erosão nas margens e, especialmente, a jusante da canalização, constatou-se acentuada. As alterações antrópicas identificadas são de origem urbana, relacionadas à canalização do curso do canal. A cobertura vegetal no leito apresentou-se ausente. Além disso, foi registrado odor característico de esgoto na água, bem como abundante oleosidade. A transparência da água revelou-se turva, com coloração semelhante a chá forte. Dessa forma, conforme os parâmetros analisados em campo, o canal é classificado como impactado, conforme Tabela 8.

Masullo *et al.* (2019, p. 1.062) registraram que as alterações observadas na dinâmica da paisagem da bacia hidrográfica do rio Itapecuru evidenciam a necessidade de um planejamento voltado ao ordenamento territorial, visando “[...] bem como otimizar os mecanismos e instrumentos de gestão para a conservação e proteção do ambiente natural e sociocultural”.

Costa e Guedes (2020), ao estudarem a análise tipológica de canais fluviais urbanos na cidade de São Rafael, Rio Grande do Norte, destacaram em suas pesquisas que:

Os estudos dos aspectos físicos (relevo, hidrografia, vegetação, uso e ocupação e fatores climáticos), associados a análises morfológicas (largura e profundidade de canais fluviais), contribuem para o planejamento preventivo, diagnosticando possíveis impactos socioambientais em áreas urbanas (Costa; Guedes, 2020, p. 3).



Figura 35: Canal canalizado e retificado, com resíduos sólidos

Fonte: Fotografada pela autora (2021).

Estudos realizados por Masullo *et al.* (2019), sobre alterações na dinâmica da paisagem na bacia do rio Itapecuru, destacaram que:

As alterações são decorrentes da ocupação desordenada do alto ao baixo curso que se configuram em diferentes modelos. Ressalta-se que a fragmentação e destruição de áreas de florestas, decorrentes do aumento de áreas de pastagens, de cultivos agrícolas (principalmente monoculturas) e da expansão urbana influenciaram diretamente a perda de habitat e, consequentemente, o isolamento e diminuição da oferta de recursos (Masullo et al., 2019, p. 1.059).

Costa e Guedes (2020) destacaram que, em áreas urbanas, os canais fluviais desempenham um papel crucial no escoamento e na infiltração das águas pluviais, especialmente durante períodos chuvosos. No entanto, alertam que o uso e a ocupação inadequados dessas áreas podem gerar impactos diretos e indiretos, prejudicando tanto a funcionalidade dos canais quanto a qualidade ambiental das regiões afetadas.

4 CONCLUSÃO

A aplicação dos protocolos destacou-se como uma excelente ferramenta de

pesquisa, proporcionando análises quali-quantitativas detalhadas dos canais fluviais urbanizados e periurbanos na cidade de Caxias, MA. Esses protocolos permitiram identificar as características morfológicas dos canais, o uso do solo nas margens e nos interflúvios. Além disso, o protocolo de avaliação rápida da diversidade de habitats e a avaliação das condições ambientais da bacia hidrográfica forneceram uma visão clara sobre os níveis de intensidade de impacto nos canais analisados, evidenciando as alterações causadas pela urbanização e atividades humanas.

No canal 1, verificou-se que os pontos 1, 2, 4 e 5 apresentam impactos ambientais, enquanto os pontos 3 e 6 foram classificados como alterados. No canal 2, o ponto 1 foi identificado como natural, pois está afastado da área central e localizado em uma propriedade particular. Já o ponto 2 foi caracterizado como impactado, e o ponto 3, como alterado. No canal 3, todos os pontos analisados (1, 2 e 3) foram considerados impactados. No canal 4, o ponto 1 foi classificado como natural por estar em uma região periurbana, distante da área central. Por fim, no canal 5, o ponto 1 foi registrado como impactado em razão da canalização e retificação do curso d'água.

Por meio das pesquisas de campo realizadas nos cinco canais urbanos analisados, constatou-se a predominância de impactos ambientais decorrentes da intensa pressão da urbanização sobre os cursos d'água. Entre os principais fatores de degradação observados, destacam-se a canalização, o desmatamento, a deposição de resíduos sólidos urbanos e domésticos, além do lançamento de efluentes sem tratamento adequado. Ademais, foi possível identificar impactos diretos e indiretos sobre os canais, incluindo a existência de canais “invisíveis” que atravessam a cidade sob edificações residenciais, estabelecimentos comerciais e outras construções.

Dessa forma, a expansão urbana de Caxias, MA, conduzida sem a devida preocupação com os impactos sobre os ambientes fluviais distribuídos pela cidade, tem modificado e alterado os canais fluviais. Em pleno século XXI, não é crível que órgãos públicos de proteção e regulamentação do meio ambiente e cidadãos não consigam olhar a cidade como elemento integrado da sociedade e fazer cumprir a legislação. Somente dessa maneira será possível efetivar uma nova abordagem de sustentabilidade, fundamentada nos princípios de reflexão, redução, reutilização, reciclagem, respeito, reparação, responsabilidade e transmissão de conhecimento.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, M. A. D.; ROSER, H. M. P.; CLERECI, A. M. C.; GONTIJO, E. S. J.

Monitoramento ecológico na ecorregião do Ribeirão do Carmo (MG/Brasil) em época de seca: uma instrumentalização da educação ambiental para o ensino fundamental. **Educação Ambiental em Ação**, 2022. Disponível em: <https://www.revistaeea.org/artigo.php?idartigo=1468>. Acesso em: 10 mar. 2023.

BERSOT, M. R. O. B.; MENEZES, J. M.; ANDRADE, S. F. Aplicação do Protocolo de Avaliação Rápida de Rios (PAR) na bacia hidrográfica do rio Imbé, RJ. **Ambiência Guarapuava (PR)**, v. 11, n. 2, p. 277-294, 2015. ISSN 1808-0251 (Print) - Ambiência ISSN 2175-9405 (Online). QUALIS-CAPES 2017-2020: B4. Disponível em: <https://revistas.unicentro.br/index.php/ambiencia/article/view/3303>. Acesso em: 14 jan. 2024.

BRANCO JR, A. C.; SOUZA, L. L.; SAMPAIO, T. M.; FARIAS, A. K. S. R.; MIRANDA, K. H. F.; PEÇANHA NETO, J. L.; RODRIGUES, S. F. Protocolo de avaliação rápida como ferramenta de gestão de recursos hídricos urbanos. **Revista Mineira de Recursos Hídricos**, Belo Horizonte, v. 1, n. 2, 2020. DOI: 10.59824/rmrh.v1i2.197. Disponível em: <https://periodicos.meioambiente.mg.gov.br/NM/article/view/197>. Acesso em: 11 dez. 2023.

CALLISTO, M.; FERREIRA, W. R.; MORENO, P.; GOULART, M.; PETRUCIO, M. Aplicação de um protocolo de avaliação rápida da diversidade de habitats em atividades de ensino e pesquisa (MG-RJ). **Acta Limnologica Brasiliensia**. Rio Claro, v.14, n.1, p.92-98, 2002. Disponível em: <https://jbb.ibict.br/handle/1/708>

Acesso em: 18 mar. 2024.

CAMPOS, C. J. C., NUCCI, J. C. Protocolo de avaliação rápida: uma proposta para rios urbanos. **Revista Geografar, Curitiba**, 14, 267-286, 2019. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/geografar/article/view/59176>. Acesso em: 01 set. 2024.

CARVALHO, L. E. P.; BITOUN, J.; CORRÊA, A. C. B. Canais fluviais urbanos: proposta de tipologias para a região metropolitana do Recife (RMR). **Revista de Geografia (Recife)**, [S. l.], v. 27, n. 3, p. 66–80, 2011. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/revistageografia/article/view/228899>. Acesso em: 14 maio 2025.

CAXIAS. **Lei 1.637 – Plano Diretor da Cidade de Caxias, estado do Maranhão**. 2006a. Disponível em: <https://caxias.ma.gov.br/wp-content/uploads/2017/08/docs/Lei-1637-aprova-plano-diretor-do-municipio.pdf>. Acesso em: 23 abr. 2024.

CAXIAS. **Lei 1.624 – Código municipal de meio ambiente, de Caxias, estado do Maranhão e dá outras providências**. 2006b. Disponível em: <https://caxias.ma.gov.br/wp-content/uploads/2017/07/Lei-1624-codigo-Municipal-de-Meio-Ambiente.pdf>. Acesso em: 04 dez. 2024.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Blucher, 1980.

COSTA, G. S.; GUEDES, J. A. Análise tipológica de canais fluviais urbanos na cidade de São Rafael (Rio Grande do Norte). **GEOFRONTER**, v. 6, 2020. Disponível em: <https://periodicosonline.uems.br/index.php/GEOF/article/view/4003>. Acesso em: 03 jun. 2022.

COSTA, M. A. B.; FALCÃO, C. L. C. Áreas verdes urbanas: urbanização da margem esquerda do rio Acaraú na cidade d Sobral, CE. **Revista Homem, Espaço e Tempo**. p. 1-30. 2011. Disponível em: <https://rhet.uvanet.br/index.php/rhet>. Acesso em: 11 dez. 2023.

CRUZ, J. S.; SOUZA, C. A. A questão urbana na bacia do Alto Paraguai: desenvolvimento urbano e suas implicações nos canais de drenagem em Cáceres/MT (períodos de 1945 a 2013). **Boletim de Geografia**, v. 34, n. 3, p. 111-128, 2016.

Disponível em: <https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/BolGeogr/article/view/22360>. Acesso em: 14 jan. 2024.

CUNHA, S. B. da. Morfologia dos canais urbanos nos trópicos úmidos: a experiência no Brasil. **Anais... VI Seminário Latino-Americano de Geografia Física II Seminário Ibero-Americano de Geografia Física** Universidade de Coimbra, 2010. Disponível em: https://www.academia.edu/68568553/VI_Seminario_Latino_Americano_e_II_Seminario_Ibero_americano_de_Geografia_FC3ADsica. Acesso em: 04 maio 2024.

FELIX, R. R. O. M.; ALVES, V.; LIMA, J. P. Gestão do uso do solo no entorno do Rio Sapucaí em Itajubá (MG). **Urbe-Revista Brasileira de Gestão Urbana**, Curitiba, v.11, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/urbe/a/MkxjYDNnnBwCkX3YZRw8zVM/>. Acesso em: 18 mar. 2024.

FUNARO, J. S.; SOUZA, C. A.; LEANDRO, G. R. S. Médio curso da bacia hidrográfica do córrego Piraputangas, no município de Cáceres–Mato Grosso: uso da terra e alterações ambientais. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S. l.], v. 15, n. 6, p. 2831–2852, 2022. DOI: 10.26848/rbgf.v15.6.p2831-2852. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/view/254265>. Acesso em: 14 mar. 2025.

GUERRA, A. T.; CUNHA, S. B. Degradação Ambiental. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Org.). **Geomorfologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1966.

LEITE, E. F. **Caracterização, diagnóstico e zoneamento ambiental: o exemplo da Bacia Hidrográfica do Rio Formiga, TO**. 2011, 228 f. Orientador: Prof. Dr. Roberto Rosa. Tese (Doutorado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia. Instituto de Geografia. Universidade Federal de Uberlândia, UFU, MG, 2011. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/15941/1/t.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2023.

MACHADO, A. P. F. **Adaptação de um protocolo de avaliação rápida de rios e sua utilização como recurso didático em educação ambiental no ensino médio**. 2019. 68 f. Orientador: Prof.º Dr. Leandro Caixeta Salomão. Dissertação (Mestrado em Conservação de Recursos Naturais do Cerrado) – Programa de Pós-Graduação em Conservação de Recursos Naturais do Cerrado. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Urutaí, Urutaí, GO, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ifgoiano.edu.br/handle/prefix/385>. Acesso em: 20 jan. 2024.

MASULLO, Y. A. G.; SOARES, L. S.; CASTRO, C. E.; PINHEIRO, E. A. L. L. Dinâmica da paisagem da bacia hidrográfica do rio Itapecuru - MA. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S. l.], v. 12, n. 3, p. 1054–1073, 2019. DOI: 10.26848/rbgf.v12.3.p1054-1073. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/view/239807>. Acesso em: 14 mar. 2023.

MENDONÇA, F.; LEITÃO, S. A. M. Riscos e vulnerabilidade socioambiental urbana: uma perspectiva a partir dos recursos hídricos. **GeoTextos**, [S. l.], v. 4, 2009. DOI: 10.9771/1984-5537geo.v4i0.3300. Disponível em: <https://periodicos.ufba.br/index.php/geotextos/article/view/3300>. Acesso em: 14 mar. 2023.

MINATTI-FERREIRA, D.D.; BEAUMORD, A.C. Adequação de um protocolo de avaliação rápida de integridade ambiental para ecossistemas de rios e riachos: aspectos físicos. **Health and Environmental Journal**, 7:39-47, 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ambiaqua/a/mLWK9JGvphxF8PzdcRqhcxsl/>. Acesso em: 20 dez. 2023.

MORAIS, P. B.; MARQUES, O. B.; BESSA, G. F.; SOUSA, F. M. P.; MELO, W. G. P. O

- uso de Protocolo de Avaliação Rápida (PAR) para avaliação da integridade ambiental de um trecho urbano do Córrego Sussuapara, Tocantins, Brasil. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 6, n. 2, p. 192-205, 2015. DOI: 10.6008/SPC2179-6858.2015.002.0014. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/319089486_O_uso_de_Protocolo_de_Avaliacao_Rapida_PAR_para_avaliacao_da_integridade_ambiental_de_um_trecho_urbano_do_Corrego_Sussuapara_Tocantins_Brasil. Acesso em: 03 jun. 2024.
- OLIVEIRA Jr., E. S.; LIMA, T. E.; POQUIVQUI, A. S.; TAVARES, C. C.; MACHADO, C. S. D.; CARVALHO, C. S. CARVALHO, L. R.; MIRANDA, P. R.; SOUZA, C. A. Aplicação de protocolos de avaliação rápida como ferramenta robusta na qualificação ambiental em dois córregos urbanos que desaguam no rio Paraguai. **RAEGA – O Espaço Geográfico em Análise**, [S. l.], v. 50, p. 231–252, 2021. DOI: 10.5380/raega.v48i0.69215. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/raega/article/view/69215>. Acesso em: 23 abr. 2023.
- OLIVEIRA, E. D.; VESTENA, L. R. Expansão Urbana e a Canalização de Trechos Fluviais: Estudo de Caso da Cidade de Guarapuava, PR. **Perspectiva Geográfica**, [S. l.], v. 12, n. 16, p. 2–13, 2017. Disponível em: <https://e-revista.unioeste.br/index.php/pgeografica/article/view/17326>. Acesso em: 14 mar. 2023.
- PEDROSO, L. B.; COLESANTI, M. T. M. Aplicação do protocolo de avaliação rápida de rios durante período de estiagem em trechos da bacia hidrográfica do ribeirão da Areia, Goiás. **Revista de Geografia** [S. l.], v. 35, n. 3, p. 248–268, 2018. DOI: 10.51359/2238-6211.2018.229351. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/revistageografia/article/view/229351>. Acesso em: 20 maio 2023.
- PEREIRA, P. B.; NUNES, H. K.; ARAÚJO, F. A. Análise multitemporal de uso, ocupação e cobertura da terra na zona Leste da cidade de Caxias/ Maranhão/ Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, p. 1415-28, 2021. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/20view/244598/38834>. Acesso em: 29 jun. 2024.
- PONTINI, V. V. **Degradação de ambientes fluviais por ação antropogênica: novos cenários na bacia de drenagem do Rio Novo (ES)**. 2020. 187f. Orientador: Prof. Dr. André Luiz Nascentes Coelho. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia. Centro de Ciências Humanas e Naturais. Universidade Federal do Espírito Santo, Ufes. Vitória, ES, 2020. Disponível em: http://portais4.ufes.br/posgrad/teses/tese_14854_DISSERTACVINICIUSPONTINI.pdf. Acesso em: 20 jan. 2024.
- PONTINI, V. V.; COELHO A. L. N. Emprego de protocolo de avaliação rápida no diagnóstico ambiental de sistemas fluviais: estudo de caso em áreas urbanas de Iconha e Piúma (ES). **GeoTextos**, [S. l.], v. 15, n. 2, 2019. DOI: 10.9771/geo.v15i2.32409. Disponível em: <https://periodicos.ufba.br/index.php/geotextos/article/view/32409>. Acesso em: 14 mar. 2025.
- ROSA, N. M. G.; MAGALHÃES Jr, A. P. Aplicabilidade de Protocolos de Avaliação Rápida (PARs) no diagnóstico ambiental de sistemas fluviais: o caso do Parque Nacional da Serra do Gandarela (MG). **Caderno de Geografia**, Belo Horizonte, 29, 441-464, 2019. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/>. Acesso em: 20 maio 2023.
- SANCHES, R. D.; MOREIRA, S. T.; RAZKY, A. Designações para riacho/ córrego na região Norte do Brasil. **EntreLetras**, [S. l.], v. 9, n. 2, p. 466–479, 2018. DOI: 10.20873/uft.2179-3948.2018v9n2p466. Disponível em: <https://periodicos.ufnt>.

edu.br/index.php/entreletras/article/view/5549. Acesso em: 14 mar. 2025.

SANTANA, M. F. **Alterações nos canais urbanos da bacia hidrográfica do Córrego Sangradouro, no município de Cáceres, Mato Grosso**. Orientadora: Prof.^a Dra. Sandra Baptista da Cunha Coorientadora: Prof.^a Dra. Célia Alves de Souza. 2017. 149f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia. Faculdade de Ciências Humanas. Campus Cáceres. Universidade do Estado de Mato Grosso, UNEMAT, Cáceres, MT, 2017. Disponível em: <https://portal.unemat.br/media/files/ppggeo2015-3-maxsuel.pdf>. Acesso em: 03 jun. 2024.

Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Naturais – SEMA. **Plano Estadual de Recursos Hídricos do Maranhão**: Relatório Síntese/ Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Naturais – SEMA, São Luís, MA, 2020. Disponível em: <https://www.sema.ma.gov.br/programas-ou-campanhas/manuais-e-publicacoes>. Acesso em: 20 ago. 2023.

SILVA, A. O.; BOTELHO, R. G. M. Diagnóstico das condições ambientais e uso público na trilha do Peito do Pombo por meio de Protocolo de Avaliação Rápida. **RITUR – Revista Iberoamericana de Turismo** [S. l.], v. 11, n. 2, p. 177–195, 2021. DOI: 10.28998/10.28998/RITURitur.V11.N2.A12019pp.177-19512019. Disponível em: <https://www.seer.ufal.br/index.php/ritur/article/view/12019>. Acesso em: 14 mar. 2025.

SILVA, D. J.; CONCEIÇÃO, G. M. Rio Itapecuru: caracterização geoambiental e socioambiental, município de Caxias, Maranhão, Brasil. **Scientia Plena**, [S. l.], v. 7, n. 1, 2011. Disponível em: <https://www.scientiaplenu.org.br/sp/article/view/50>. Acesso em: 14 mar. 2025.

SILVA, R. V.; ALVES, V. D. S.; NETO, A. V.; BATISTA, R. M.; SOUZA, C. A. Aplicação de um protocolo de avaliação rápida nas margens do rio Paraguai, Cáceres/MT, Brasil. **Revista de Estudos Ambientais**, 23(2), 23–34. <https://doi.org/10.7867/1983-1501.2021v23n2p23-34>. Acesso em: 20 jan. 2024.

SOUZA, V. C. B. Gestão da drenagem urbana do Brasil: desafios para a sustentabilidade. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, [S. l.], v. 1, n. 1, p. 58–72, 2013. DOI: 10.9771/gesta.v1i1.7105. Disponível em: <https://periodicos.ufba.br/index.php/gesta/article/view/7105>. Acesso em: 14 mar. 2025.

TUCCI, C. E. M. Águas urbanas: desenvolvimento urbano. **Estudos Avançados**, São Paulo, Brasil, v. 22, n. 63, p. 97–112, 2008. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/eav/article/view/10295>. Acesso em: 14 mar. 2025.

USEPA. United States Environmental Protection Agency. **Surface water monitoring: A framework for change**. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water, Office of Policy Planning and Evaluation. Washington. 1987. Disponível em: <https://connect.rad.com/remote-asset-monitoring-solution-for-water-and-wastewater>. Acesso em: 01 set. 2023.

ZAMBONI, M. **Aplicação do protocolo de avaliação rápida de rios como subsídio para análise da influência da urbanização no Lajeado Passo dos Índios, Chapecó/SC**. Orientador: Andrey Luis Binda. 2019. 61 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso, TCC) – Licenciatura em Geografia. Universidade Federal da Fronteira Sul, UFFS, Chapecó, SC, 2019. Disponível em: <https://rd.uffs.edu.br/handle/prefix/3146>. Acesso em: 18 set. 2023.

CAPÍTULO VI – HIDRODINÂMICA NO MÉDIO CURSO DO RIO ITAPECURU, NA CIDADE CAXIAS, MARANHÃO

RESUMO

O estudo sobre a hidrodinâmica em bacias hidrográficas é de extrema relevância, pois proporciona uma análise detalhada das características do sistema fluvial e da disponibilidade hídrica. A pesquisa foi realizada no médio curso do rio Itapecuru, situado no município de Caxias, no estado do Maranhão, Brasil. O principal objetivo foi analisar as variáveis hidrodinâmicas no médio curso da bacia hidrográfica do rio Itapecuru. A metodologia empregada para a realização da pesquisa incluiu etapas de trabalho de gabinete, trabalho de campo e trabalho laboratorial. No trabalho de gabinete, foi elaborada a base teórica, construída a base cartográfica, definidas as seções a serem monitoradas, além da tabulação de dados e redação do texto. No trabalho de campo, foram coletados dados hidrodinâmicos no médio curso do rio Itapecuru, com medições em quinze seções transversais distribuídas ao longo do canal. As coletas ocorreram nos períodos de cheia e de estiagem, abrangendo a área de montante a jusante. Para a aferição da batimetria (largura e a profundidade do canal), utilizou-se o ecobatímetro GARMIN. A velocidade do fluxo foi medida com o molinete fluviométrico, enquanto a turbidez foi obtida por meio do turbidímetro. Os sedimentos foram coletados utilizando a draga do tipo Van Veen (mostrador de mandíbulas). As vazões foram calculadas com base nas medições realizadas. Adicionalmente, registros fotográficos foram feitos tanto com câmeras convencionais quanto com um veículo aéreo não tripulado (VANT), pilotado remotamente. O trabalho laboratorial teve como objetivo a análise dos tipos de sedimentos transportados e depositados no canal fluvial, sendo realizada a análise granulométrica por meio do método de pipetagem com dispersão total para o fracionamento do material de fundo. Após a secagem em estufa, as partículas foram classificadas em três categorias: areia, silte e argila. Os resultados obtidos apresentaram variações significativas ao longo do ano. Durante o período de estiagem, as áreas das seções variaram entre 16,32 m² a 158,00 m². As profundidades médias oscilaram entre 1,10 m a 3,10 m, enquanto as larguras do canal variaram de 24 m a 51 m. As velocidades médias dos fluxos variaram entre 0,242 ms⁻¹ a 0,824 ms⁻¹, com as vazões nas seções variaram de 13,45 m³s⁻¹ a 41,75 m³s⁻¹. A turbidez apresentou valores entre 14,00 UNT a 21,30 UNT. Durante o período de cheia, as áreas das seções aumentaram, variando de 152,81 m² a 310,96 m². As profundidades médias ficaram entre 4,13 m a 6,76 m e as larguras do canal variaram entre 27 m a 51 m. As velocidades médias dos fluxos oscilaram entre 1,12 ms⁻¹ e 1,223 ms⁻¹, com as vazões variando de 89,69 m³s⁻¹ a 287,45 m³s⁻¹ e os índices de turbidez ficaram entre 30,40 UNT a 39,40 UNT. Quanto à granulometria dos sedimentos, observou-se a predominância de areia fina em ambos os períodos (cheia e estiagem). Durante a estiagem, a concentração de areia fina variou entre 93,2% a 99,15%, enquanto na cheia, essa variação foi de 65,95% a 99,7%.

Palavras-Chave: Rio Itapecuru, Caxias (MA), Hidrodinâmica, Sedimentos de fundo.

ABSTRACT

The study of hydrodynamics in river basins is extremely important, as it provides a detailed analysis of the characteristics of the river system and water availability. The research was carried out in the middle course of the Itapecuru River, located in the municipality of Caxias, in the state of Maranhão, Brazil. The main objective was to analyze the hydrodynamic variables in the middle course of the Itapecuru River basin. The methodology used to carry out the research included desk work, field work and laboratory work. In the desk work, the theoretical basis was developed, the cartographic basis constructed, the sections to be monitored defined, in addition to the tabulation of data and writing of the text. In the field work, hydrodynamic data were collected in the middle course of the Itapecuru River, with measurements in fifteen cross sections distributed along the channel. The collections occurred during the flood and dry seasons, covering the area from upstream to downstream. A GARMIN echo sounder was used to measure the bathymetry (channel width and depth). Flow velocity was measured with a fluvimetric vane, while turbidity was obtained using a turbidimeter. Sediments were collected using a Van Veen dredge (jaw display). Flow rates were calculated based on the measurements taken. Additionally, photographs were taken using both conventional cameras and a remotely piloted unmanned aerial vehicle (UAV). The laboratory work aimed to analyze the types of sediments transported and deposited in the river channel, and granulometric analysis was performed using the pipetting method with total dispersion to fractionate the bottom material. After drying in an oven, the particles were classified into three categories: sand, silt and clay. The results obtained showed significant variations throughout the year. During the dry season, the cross-section areas ranged from 16.32 m² to 158.00 m². Average depths ranged from 1.10 m to 3.10 m, while channel widths ranged from 24 m to 51 m. Average flow velocities ranged from 0.242 ms⁻¹ to 0.824 ms⁻¹, with discharges in the sections ranging from 13.45 m³s⁻¹ to 41.75 m³s⁻¹. Turbidity values ranged from 14.00 UNT to 21.30 UNT. During the flood season, the cross-section areas increased, ranging from 152.81 m² to 310.96 m². The average depths ranged from 4.13 m to 6.76 m and the channel widths varied from 27 m to 51 m. The average flow velocities ranged from 1.12 ms⁻¹ to 1,223 ms⁻¹, with discharges ranging from 89.69 m³s⁻¹ to 287.45 m³s⁻¹ and turbidity indices ranged from 30.40 UNT to 39.40 UNT. Regarding the sediment granulometry, a predominance of fine sand was observed in both periods (flood and dry season). During the dry season, the concentration of fine sand varied from 93.2% to 99.15%, while during the flood season, this variation was from 65.95% to 99.7%.

Keywords: Itapecuru River; Caxias; Hydrodynamics.

1 INTRODUÇÃO

A bacia de drenagem constitui uma unidade geomorfológica de grande relevância, pois nela interagem diversos fatores físicos, biológicos, econômicos e sociais. Sob o ponto de vista do autoajuste, pode-se afirmar que as bacias hidrográficas integram uma visão holística sobre o comportamento de condições naturais e das atividades humanas nelas desenvolvidas. Mudanças significativas em qualquer uma dessas unidades pode gerar alterações, como impactos a jusante, bem como modificar os fluxos energéticos, como destaca Cunha (2008).

O estudo foi realizado no médio curso do rio Itapecuru, localizado no município de Caxias, no estado do Maranhão. O município está localizado na região Nordeste do Brasil e, geograficamente, na porção a leste do Maranhão. Encontra-se na mesorregião Leste maranhense e na microrregião do Itapecuru, ocupando uma área de 5.313,10 km². Com população de 155.129 mil habitantes, a cidade está a 365 quilômetros de distância da capital do estado, São Luiz (IBGE, 2010).

De acordo com o relatório CODEVASF (2019), a toponímia da bacia hidrográfica do rio Itapecuru é de origem indígena e seu nome quer dizer “caminhos de pedra grande”. O rio possui as principais nascentes localizadas no Parque Estadual Mirador e se estende por 897, 24 km²², sendo a segunda maior bacia hidrográfica do Maranhão e de significativa importância econômica e social para o estado.

Segundo Souza (2004), os rios são componentes sensíveis na paisagem, apresentando rápidas alterações em resposta às perturbações que ocorrem na bacia ou dentro do próprio canal. Essas modificações podem impactar o regime de fluxo, a carga de sedimentos transportados, intensificando o desequilíbrio do canal. Pereira e Cunha (2022, p.124) ressaltam que o estudo da geomorfologia fluvial é essencial para compreender e gerenciar os rios, além de desenvolver estratégias para o desenvolvimento sustentável; logo, “a aplicabilidade dos estudos geomorfológicos pode apresentar abordagens para a prevenção de inundações, manutenção de rios, restauração da várzea, entre outros”.

Cunha e Guerra (2009) destacam que os processos de erosão, transporte e deposição de sedimentos são definidos pela dinâmica do fluxo, caracterizado pela velocidade e turbulência presentes em cada trecho do rio. Quando a velocidade do fluxo diminui, caracteriza-se como laminar, diminuindo os processos erosivos e reduzindo o transporte de sedimentos, transportando apenas partículas pequenas e finas. Em contrapartida, o fluxo turbulento altera a dinâmica dentro da seção, transportando

fragmentos maiores ao longo de uma seção transversal, definindo as áreas propensas à erosão e à deposição das partículas transportadas.

Rocha et al. (2001, p.161), em seus estudos sobre a evolução da hidrodinâmica, enfatizam “a importância do entendimento funcional dos sistemas fluviais, dos aspectos hidrodinâmicos e das variáveis que mantem o equilíbrio dinâmico, como as que se relacionam com a estabilidade das margens, principalmente em ambientes tropicais”. Pesquisas realizadas por Magalhães Júnior e Barros (2020, p.29) sobre os fatores controladores da dinâmica fluvial indicaram que “as variações nos níveis de base são de grande importância para a configuração de estilos e padrões fluviais já que condicionam os processos erosivos e fluviais”. Para Santos e Leal (2018, p.99), os “estudos que abordam a dinâmica fluvial em bacias hidrográficas são considerados de extrema importância por discutir seu funcionamento natural ou alterado por ações antrópicas”.

Cunha (2013, p. 227) destaca que a dinâmica das vazões provoca, de imediato, ajustes em diversas variáveis dentro do canal:

[...] a velocidade das águas de um rio depende de fatores como: declividade do perfil longitudinal, volume das águas, forma da seção transversal, coeficiente de rugosidade do leito e viscosidade da água, esses diferentes fatores faz a velocidade ser dinâmica dentro de uma seção transversal (Cunha, 2013, p. 227).

No trecho estudado do rio Itapecuru, o leito pode ser classificado como leito misto-rochoso, devido à morfologia de fundo ser controlada por embasamento rochoso, que fica visível no período da estiagem. Conforme Lima (2010 p.340), nas últimas décadas, as pesquisas sobre essa temática têm se intensificado. No Brasil, no entanto, são escassos os estudos sobre canais misto-rochoso. “A expressão *canal misto rochoso-aluvial* foi, inicialmente, utilizada e analisada por Howard, Dietrich e Seidl (1994) e posteriormente aprofundada pelos pesquisadores Whipple e Tucker (1999; 2002)”, como aponta Lima (2010).

Em contextos práticos, é frequente observar variações temporais e espaciais nas condições de fluxo (Cunge; Holly; Verwey 1980). Nesse sentido, é fundamental compreender que os cursos de água fluviais apresentam vazão, que corresponde ao volume de água que atravessa uma seção específica do rio por unidade de tempo. Essa vazão é determinada pelas variáveis de profundidade, largura e velocidade do fluxo, sendo usualmente expressa em metros cúbicos por segundo (m^3s^{-1}) conforme parâmetros do Sistema Internacional de Unidades (SI) (Carvalho, 2006). A intensidade

dessas vazões é influenciada por características locais associadas ao clima, ao transporte de sedimentos e à intervenção humana no leito fluvial (Sorooshian; Gupta, 1995).

A carga sedimentar presente nos cursos fluviais compreende tanto a originada pela erosão, que é simultaneamente causa e consequência dos próprios fluxos de vazão no canal, quanto aquela proveniente de outras fontes. Essas fontes podem incluir a erosividade das chuvas, a proteção natural proporcionada pela cobertura vegetal, a inclinação do relevo, o tipo de solo, o substrato rochoso e as atividades antrópicas, como o uso e cobertura da terra (Mccan; Ford, 1996, apud Magalhães Junior; Barros, 2020).

Conforme apontado por Cunha (2013), a deposição é um desdobramento do processo fluvial, que se inicia com a erosão e o transporte, configurando-se como processo interdependente. A autora ressalta a importância de considerar, no fenômeno da sedimentação, a influência dos materiais envolvidos. No caso de partículas muito pequenas, como silte e argila, a velocidade de decantação está relacionada às diferenças de densidade entre as partículas e o fluido. Quando se trata de materiais maiores, como a areia, a velocidade de decantação torna-se independente da viscosidade do fluido.

Diversos estudos sobre dinâmica fluvial foram realizados em nível internacional. Leopold e Maddock Jr. (1953), por exemplo, realizaram medições quantitativas de fatores hidráulicos que determinam a forma dos canais de fluxo naturais. Os autores apresentaram a dinâmica geométrica fluvial no médio curso dos rios selecionados por agências de engenharia locais. Stankov *et al.* (2023) realizaram pesquisas sobre o médio curso do rio Danúbio, na Bulgária, enquanto Liu *et al.* (2024) investigaram as mudanças morfológicas e os padrões de fluxos no médio curso Rio Yangtze, na China.

Carvalho (2008) relata que as pesquisas sobre sedimentologia, problemas antrópicos e mau uso do solo têm aumentado no Brasil, especialmente no que tange à erosão e ao transporte de sedimentos nos rios, resultando no assoreamento em lagos e rios. Rocha *et al.* (2001) abordaram a evolução da hidrodinâmica e os processos erosivos marginais nos canais do sistema de inundação do Alto Rio Paraná, na região Centro-Sul do Brasil. Oliveira (2003) investigou os aspectos hidrodinâmicos e sedimentológicos do baixo São Francisco (AL/SE) e Leandro (2020) analisou as interações hidromorfodinâmicas na bacia hidrográfica do rio Sepotuba, no Alto rio Paraguai, Mato Grosso, nas últimas décadas.

Pesquisas locais foram elaboradas por Souza e Silva (2022), que apresentaram dados sobre a densidade de drenagem do médio curso do rio Itapecuru, enquanto Silva

(2023) realizou uma análise da hidrodinâmica do rio Itapecuru na área periurbana de Colinas, Maranhão.

Para abordar a questão do consumo de recursos hídricos, é essencial estudar no município de Caxias: componentes ambientais, uso e cobertura da terra, dinâmica fluvial e condições dos canais urbanos. Este projeto de doutorado está vinculado ao projeto de pesquisa intitulado *Aporte de sedimentos, mudanças morfológicas e qualidade da água no médio curso, entre as cidades de Colinas e Caxias* – FAPEMA/CNPq, iniciado em 2021, e coordenado pelas professoras Célia Alves de Souza e Quésia Duarte da Silva (Souza; Silva, 2021).

Dessa forma, o objetivo deste estudo foi analisar as variáveis hidrodinâmicas no médio curso da bacia hidrográfica do rio Itapecuru, no município de Caxias, no estado do Maranhão, Brasil.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo abrange o médio curso do rio Itapecuru, em Caxias, Maranhão. As amostras foram coletadas no quadrante de coordenadas geográficas: latitude Sul entre 4° 49' 30" a 4° 56' 00", e longitude Oeste entre 43° 21' 00" a 43° 23' 00". A extensão longitudinal do trecho é de 14,15 quilômetros (Figura 1).

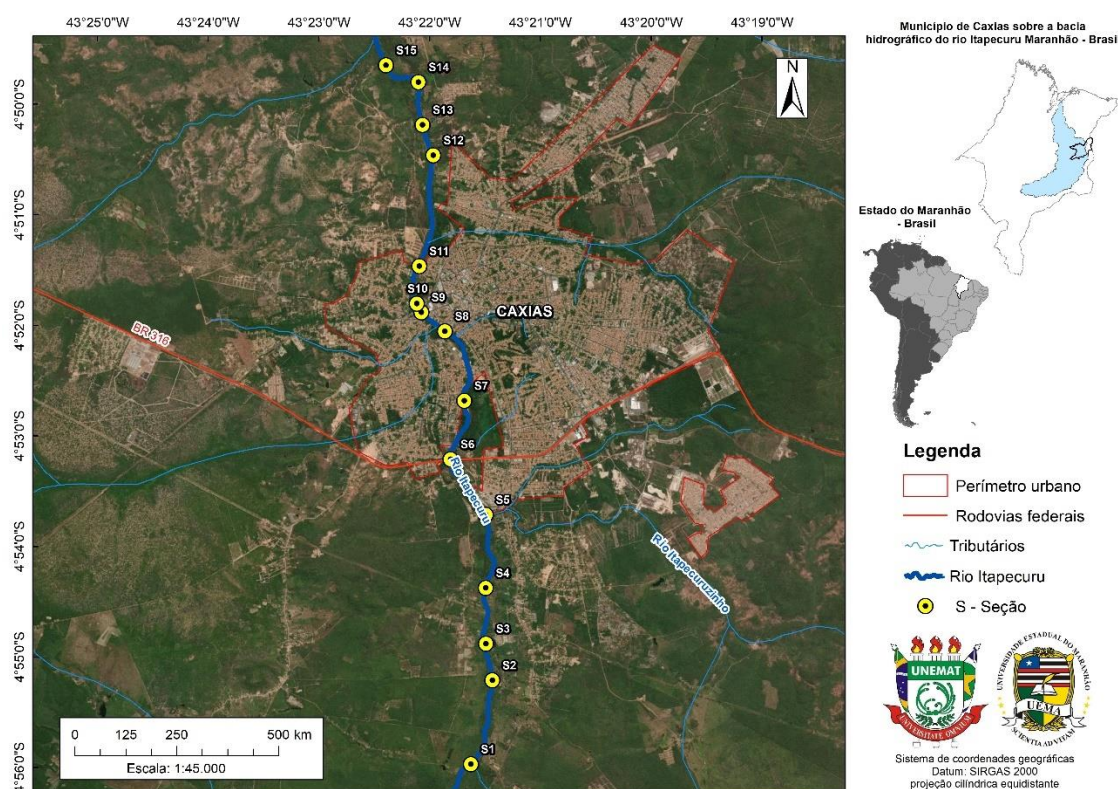


Figura 1: Localização dos pontos de coleta na área de estudo.

Fonte: Elaborado pela autora.

Quadro 1: Localização das seções monitoradas

DIREÇÃO DO FLUXO	Seções	Localização	
		Latitude	Longitude
Montante  Jusante	1	4°55'56.20"S	43°21'35.50"O
	2	4°55' 11.90"S	43°21' 25.30"O
	3	4°54' 52.20"S	43°21' 28.90"O
	4	4°54' 21.90"S	43°21' 29.00"O
	5	4°53' 42.33"S	43°21' 29.20"O
	6	4°53' 12.20"S	43°21' 48.30"O
	7	4°52'40.40"S	43°21'40.90"O
	8	4°52' 2.70" S	43°21' 51.50"O
	9	4°51' 52.40"S	43°22' 4.30"O
	10	4°51' 47.70"S	43°22' 6.83"O
	11	4°51' 27.40"S	43°22' 5.50"O
	12	4°50' 27.20"S	43°21' 58.10"O
	13	4°50' 10.80"S	43°22' 3.90"O
	14	4°49' 47.60"S	43°22' 6.20"O
	15	4°49' 38.40"S	43°22' 23.80"O

Fonte: Elaboração pela autora.

2.1 Procedimentos metodológicos

A definição e execução dos procedimentos metodológicos gerais para a realização da pesquisa firmaram-se nos trabalhos de gabinete, de campo e laboratorial.

2.1.1 Trabalho de gabinete

O procedimento metodológico teve início com a construção do referencial teórico, seguido pelo levantamento e tabulação de dados e análise estatística. De acordo com Lakatos e Marconi (2003), é fundamental construir uma base teórica sólida sobre o tema proposto. Desse modo, a pesquisa e a revisão da produção acadêmica, pertinente ao tema, serviram como base sólida para o desenvolvimento das etapas pré e pós trabalho de campo, bem como para a análise laboratorial.

A tabulação de dados foi realizada por meio da análise da vazão, com base nas medições efetuadas em campo. Esse processo envolveu o conhecimento e o planejamento para a coleta de informações sobre a distância entre as margens, a profundidade e a velocidade de fluxo hídrico.

Conforme Cunha (2009), após as coletas dos dados em campo, foram realizados os cálculos da área na seção transversal no nível das margens plenas e da área da seção molhada, adotando-se a fórmula: $A = L * P$, em que A representa a área da margem, considerando a morfologia da calha. Para determinar a vazão, foi utilizada a seguinte fórmula: $Q = V * A$.

$$A = L * P$$

A: Área da seção
L: Largura do canal;
P: Profundidade

$$Q = V * A$$

Q: Vazão;
V: Velocidade;
A: Área da seção transversal

2.1.2 Análise estatística exploratória de dados quantitativos multivariados

Para compreensão temporal e espacial, foi utilizada a aplicação estatística de análise exploratória de dados, a qual permite sistematizar as principais características de um conjunto de dados quantitativos multivariados, possibilitando a inserção de dados coletados em campo para identificar os agrupamentos por meio de cluster e realizar a análise de fatores e variáveis. Conforme Jelihovschi (2014), a análise exploratória de dados quantitativos multivariados baseia-se na mensuração de uma variável nos componentes da amostra, que devem ser recolhidos de forma a espelhar a dinâmica do objeto de estudo. Em outras palavras, as variáveis selecionadas estabelecem as informações a serem obtidas, direcionando a compreensão do fenômeno em estudo.

Para a execução dos procedimentos, os dados foram tabulados e organizados em planilhas eletrônicas utilizando o software Statistica 12, versão de teste, válida por trinta dias, versão 12.5.192.7, com arquitetura de 64 bits compatível com o sistema operacional Windows 11. A base de dados utilizada nas planilhas foi proveniente das coletas de campo realizadas ao longo do rio Itapecuru, desde a montante até a jusante, em quinze seções transversais, com a cidade de Caxias (MA) posicionada no centro desse segmento longitudinal.

Posteriormente, os dados foram convertidos de números naturais para logaritmos, a fim de garantir uma representação mais precisa das variáveis analisadas. As seções em que não houve coletas foram excluídas, correspondendo, no período de estiagem (outubro de 2021), às seções 4, 6 e 10; e, no período de cheia (março de 2022), às seções 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11 e 13. A exclusão desses dados resultou na redução do volume da nuvem de pontos inicialmente esperada para a análise, restando dezessete casos para análise. Entretanto, as tendências observadas nos resultados ainda permitem uma interpretação das variações temporais e espaciais, reforçando a relevância dos procedimentos adotados.

Antes de realizar as análises temporal e espacial, os dados foram submetidos à análise por agrupamento (*cluster analyses*), que permite agrupar as variáveis com base na distância euclidiana, exibindo possíveis correlações entre elas. Conforme Fernandes (2020), o método de classificação hierárquica, também chamado de *análise por*

agrupamento, é uma técnica estatística multivariada que possibilita a agregação de dados com base em suas similaridades em um contexto espacial.

2.1.2.1 Análise temporal

A análise temporal identificou as variações hidrosedimentares, classificando as seções em dois períodos distintos: estiagem e cheia. Cada período apresentou diferentes probabilidades de ocorrência ao longo do tempo. O procedimento metodológico seguiu a sequência de etapas descrita a seguir:

Statistcis → multivariate exploratory techniques → factor analysis¹

Em seguida, foram selecionadas as variáveis presentes na planilha eletrônica, a saber: velocidade, profundidade média, largura do canal, área da seção, vazão, turbidez, areia grossa, média e fina, silte e argila. O número de fatores extraídos foi limitado a dois cujos autovalores (*eigenvalues*) apresentaram valores máximos de 0,60. Os resultados da análise fatorial indicaram que a variância total explicada pelo fator 1 foi de 52,59%, enquanto o fator 2 apresentou uma variância total de 18,14%, resultando em uma variância acumulada de 70,73%.

A seguir, são apresentados os dados da pontuação fatorial, obtidos por meio da análise exploratória, os quais, posteriormente, foram utilizados para gerar o gráfico de dispersão (*Scatterplottes*), ilustrando a dispersão das seções em relação as variáveis hidrossedimentológicas (Tabela 1).

Tabela 1: Pontuação fatorial (*fator score*) da análise temporal

Case	Factor 1	Factor 2	Case	Factor 1	Factor 2
1	0,70272	0,21008	10	0,89467	-0,38806
2	1,10531	-0,01259	11	0,37766	0,35356
3	0,87766	-0,57351	12	-0,99024	0,80409
4	0,68198	-0,32350	13	-0,77195	0,57560
5	0,64119	-0,32226	14	-1,44956	-3,46015
6	0,69378	0,15362	15	-1,55538	0,43918
7	0,35841	0,61534	16	-1,21345	0,67251
8	0,85598	0,09808	17	-1,61741	1,06104
9	0,40863	0,09698			

Fonte: dados tabulados pela autora (2024).

¹ Statistcis → Técnicas exploratórias multivariadas → Análise fatorial.

2.1.2.2 Análise espacial

Foram selecionadas apenas as seções 1, 2, 7, 12, 14 e 15 para a análise espacial, uma vez que as demais apresentavam apenas um único dado na planilha eletrônica, o que impedia a identificação de correlação espacial.

O propósito principal desta análise foi identificar a presença de variáveis hidrossedimentológicas em cada seção transversal ao longo do canal longitudinal do rio Itapecuru, dentro da área de estudo. Para alcançar esse objetivo, foi realizado o mesmo procedimento mencionado anteriormente na Tabela 1 com o intuito de obter o sumário dos fatores carregados, que apresentou os mesmos dados da análise temporal. No entanto, os valores da pontuação fatorial, apresentados na Tabela 2, são distintos, correspondendo aos seguintes resultados:

Tabela 2: Pontuação fatorial (*fator score*) da análise espacial.

Case	Factor 1	Factor 2	Case	Factor 1	Factor 2
1	0,70272	0,21008	10	0,35841	0,61534
2	-0,99024	0,80409	11	0,85598	0,09808
3	1,10531	-0,01259	12	-1,55538	0,43918
4	-0,77195	0,57560	13	0,40863	0,09698
5	0,87766	-0,57351	14	0,89467	-0,38806
6	0,68198	-0,32350	15	-1,21345	0,67251
7	0,64119	-0,32226	16	0,37766	0,35356
8	-1,44956	-3,46015	17	-1,61741	1,06104
9	0,69378	0,15362			

Fonte: Dados tabulados pela autora (2024).

2.1.2.3 Representação gráfica dos dados

Após a análise dos dados, foram gerados gráficos de dispersão (*Scatterplots*) para ilustrar a tendência das variáveis em relação à temporalidade e à espacialidade. Segundo Moore, Notz e Flinger (2013), os gráficos de dispersão ilustram a conexão entre duas variáveis quantitativas avaliadas para os mesmos sujeitos. Os dados de uma variável são apresentados no eixo horizontal, ao passo que os da outra variável são apresentados no eixo vertical. Cada ponto no gráfico simboliza um sujeito nos dados.

Para a criação dos gráficos, foi necessário adicionar linhas e colunas complementares na planilha eletrônica do *software Statistica 12*. Essas novas células contiveram os valores obtidos do sumário dos fatores carregados. Após o tratamento dos dados na planilha, foi realizado o procedimento descrito abaixo para as análises temporal e espacial.

Graphs -> Scatterplots -> selecionar variáveis -> Graph type: multiple

Depois da geração dos gráficos de dispersão (scatterplots), foram realizados ajustes estéticos para aprimorar a visualização, além da inserção de legendas para facilitar a interpretação da distribuição dos dados. Esses ajustes foram baseados nas representações propostas por Weisberg (2005).

2.1.2 Trabalho de campo

As atividades de campo incluíram as seguintes atividades: coleta de dados de vazão (batimetria, monitoramento da velocidade e turbidez), coleta de sedimentos de fundo e registros fotográficos, realizadas no período de estiagem (7 de outubro em 2021) e de cheia (31 de março de 2022), no município de Caxias, Maranhão. Foi no período de estiagem que ocorreu a validação em campo dos mapas de caracterização ambiental, abrangendo uso e cobertura do solo, geologia, geomorfologia, solos e vegetação (Figura 2).

As quinze seções de coleta de hidrodinâmica foram selecionadas com base em imagens de satélite, ao longo do perfil longitudinal do rio Itapecuru e foram distribuídas ao longo do perfil longitudinal, de montante para jusante da cidade de Caxias. Velocidade do fluxo, profundidade média do fluxo, largura do canal, área da seção, vazão e turbidez, apresentando as mudanças sazonais (estiagem e cheias), foram as variáveis analisadas. Além disso, foram elaborados croquis transversais utilizando fichas de anotação de campo e papel milimetrado. Posteriormente, os croquis foram digitalizados e importados para o *software* Corel Draw 2020, onde foi possível incorporar elementos gráficos para distinguir os componentes da paisagem, como mata ciliar, solo, sedimento, canal fluvial e lajeado.



Figura 2: Coleta em campo.

Fonte: Fotografada pela autora (2021).

2.1.2.1 Coleta de dados de vazão

Para o monitoramento da batimetria (largura e a profundidade do canal), foi utilizado o ecobatímetro GARMIN Echomap 50s, que permitiu obter as coordenadas geográficas das seções transversais juntamente com a profundidade de cada seção, medida em três pontos: margem esquerda, margem direita e centro do canal. A largura do canal foi aferida por meio de imagens de satélite dos períodos de seca e cheia, obtidas no *Google Earth Pro*, com datas aproximadas às das campanhas de campo. A hidrodinâmica foi aferida nas seções transversais distribuídas ao longo do canal, com coletas realizadas de montante para jusante.

Para medir a velocidade do fluxo, foi utilizado um molinete fluviométrico, modelo MLN 7 – 200.09.15. Esse instrumento é composto por uma hélice equipada com um ponto magnético que, a cada rotação, entra em contato com a base do contador de pulsos digital, modelo CPD – 20, registrando um pulso a cada interação. Assim, quanto maior a velocidade do fluxo na seção do rio, mais pulsos serão registrados pelo contador. Posteriormente, o número de pulsos foi dividido por dez, valor correspondente ao tempo de captação, ou seja, dez segundos. O valor obtido pela divisão foi, então, validado com a tabela fornecida pelo próprio fabricante, o que permitiu determinar a variação do fluxo

e, conseqüentemente, a velocidade do fluxo em metros por segundo (ms^{-1}) no local da coleta (Figura 3).

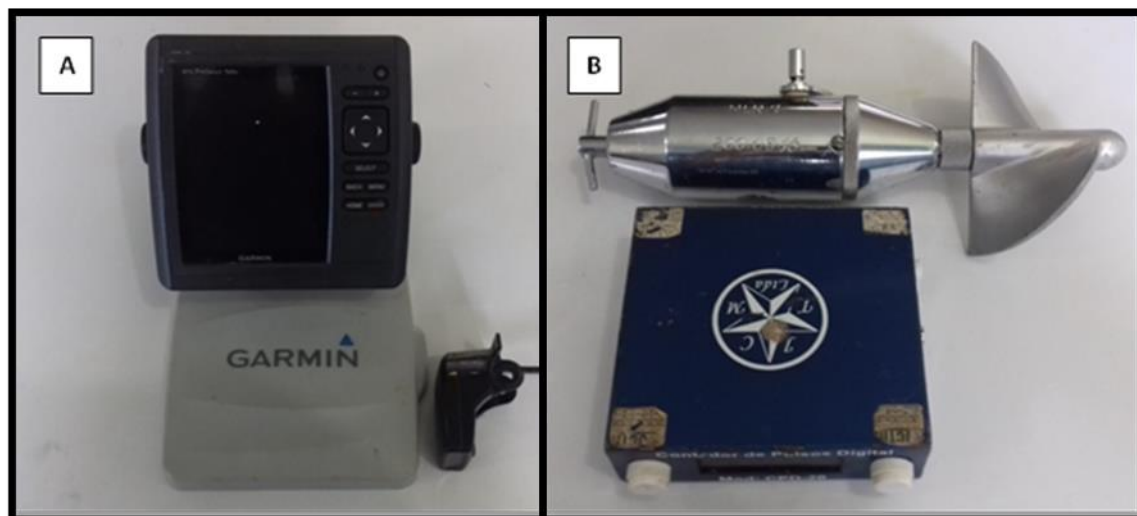


Figura 3: A) Ecobatímetro GARMIN echomap 50s; B) molinete fluviométrico, modelo MLN 7 – 200.09.15 e contador de pulsos, modelo CPD – 20.

Fonte: Silva (2017).

A equação para calibração e obtenção da velocidade do rio, de acordo com a tabela disponibilizada pelo fabricante do molinete fluviométrico, está disposta da seguinte maneira:

$$Eq^1 \left(\frac{m}{s} \right) = 0,02023923 + 0,27453669 * N(rps)$$

A precisão do molinete fluviométrico, segundo o certificado de calibração disponibilizado pelo fabricante, segue uma regressão linear, expressa pela Eq⁽¹⁾: $R^2 = 1.0000$; a equação de calibração e a precisão dos dados obtidos, conforme o monitoramento realizado durante os de ensaios de calibragem, atingiram 100%.

Os dados de turbidez das seções transversais foram aferidos por meio do turbidímetro de marca Policontrol, modelo AP 2000 WT (Policontrol, 2023). A utilização desse equipamento justifica-se pela sua capacidade de medir a característica turva da água, que interfere diretamente na penetração da luz na coluna d'água. Os fatores que condicionam esse aspecto incluem partículas orgânicas e inorgânicas em suspensão, sedimentos, organismos microscópios, plâncton etc., (Figura 4).



Figura 4: Turbidimetro AP 2000.

Fonte: Policontrol (2023).

2.1.2.2 Coleta de sedimentos de fundo

Para a coleta de sedimentos de fundo, foi utilizada a draga do tipo Van Veen, caracterizada por seu mecanismo de mandíbulas. O processo consistiu no lançamento da draga, com a mandíbula aberta até atingir a calha do rio. Em seguida, aplicou-se força no sentido contrário ao movimento inicial, promovendo o fechamento da mandíbula, que raspou a superfície do leito e coletou o material sedimentar (Silva, 2015) (Figura 5). Foi determinado que as coletas seriam efetuadas a partir do afloramento localizado na primeira seção do rio. Essa escolha deu-se pela impossibilidade do barco ultrapassá-lo, devido à correnteza intensa e formações de encachoeiramento na região.

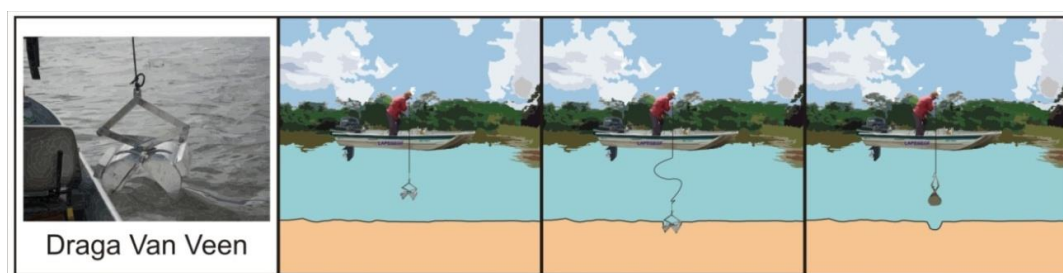


Figura 5: Draga Van Veen e coleta de sedimentos de fundo.

Fonte: Silva (2015).

2.1.2.3 Registros fotográficos

Os registros fotográficos em nível de solo, foram realizados utilizando câmera fotográfica Nikon D7500, equipada com lente 18-140 mm ED VR, com sensor CMOS, resolução da imagem 20.9 megapixels e sensibilidade ISO variando de 100 a 1640000.

As fotografias em nível de topo, ou seja, panorâmicas foram obtidas com o auxílio de uma aeronave remotamente pilotada (RPA), que contém o registro nº PR 270819870 junto ao Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA).

As fotografias aéreas foram obtidas com o uso de um drone modelo *Mavic Air*, fabricado pela *Dji* e licenciado sob o número de série OK1UF3400D0054. O equipamento possui uma câmera acoplada, dotada de sensor CMOS de 1/2,3 polegadas, com tecnologia HDR e uma lente de abertura F/2.8 com distância focal de 24 mm (equivalente a 35 mm). Esse sensor permite capturar fotografias com resolução de 12 megapixels (MP) e gravar vídeos com resolução em 4K (3.840 x 2.160 pixels) com cobertura de 360°. As imagens foram registradas em formato panorâmico e por meio de vídeos em 360°, viabilizando uma análise detalhada do entorno (Figura 6).



Figura 6: Aeronave remotamente pilotada – *Mavic Air* (*Dji*).

Fonte: Oliveira (2021).

2.1.3 Trabalho laboratorial

Para identificar os tipos de sedimentos transportados e depositados no canal fluvial, foi realizada uma análise granulométrica. A distribuição granulométrica dos sedimentos de fundo foi obtida por meio de análises físicas realizadas em laboratório.

O fracionamento do material de fundo seguiu o método de pipetagem, com dispersão total, conforme a proposta de Embrapa (1997). As partículas foram classificadas em areia, silte e argila, após sua secagem em estufa modelo TE-394/2. O processo de peneiramento utilizou um agitador eletromagnético, equipado com peneiras padronizadas, organizadas em ordem decrescente abertura – da maior (2.00 mm) para

a menor (0,75 mm). As amostras previamente secas foram agitadas por cinco minutos. O material retido em cada peneira foi pesado separadamente, permitindo a determinação das 3 frações de areia grossa, areia média e areia fina, conforme proposto por Suguio (1973) (Figura 7).

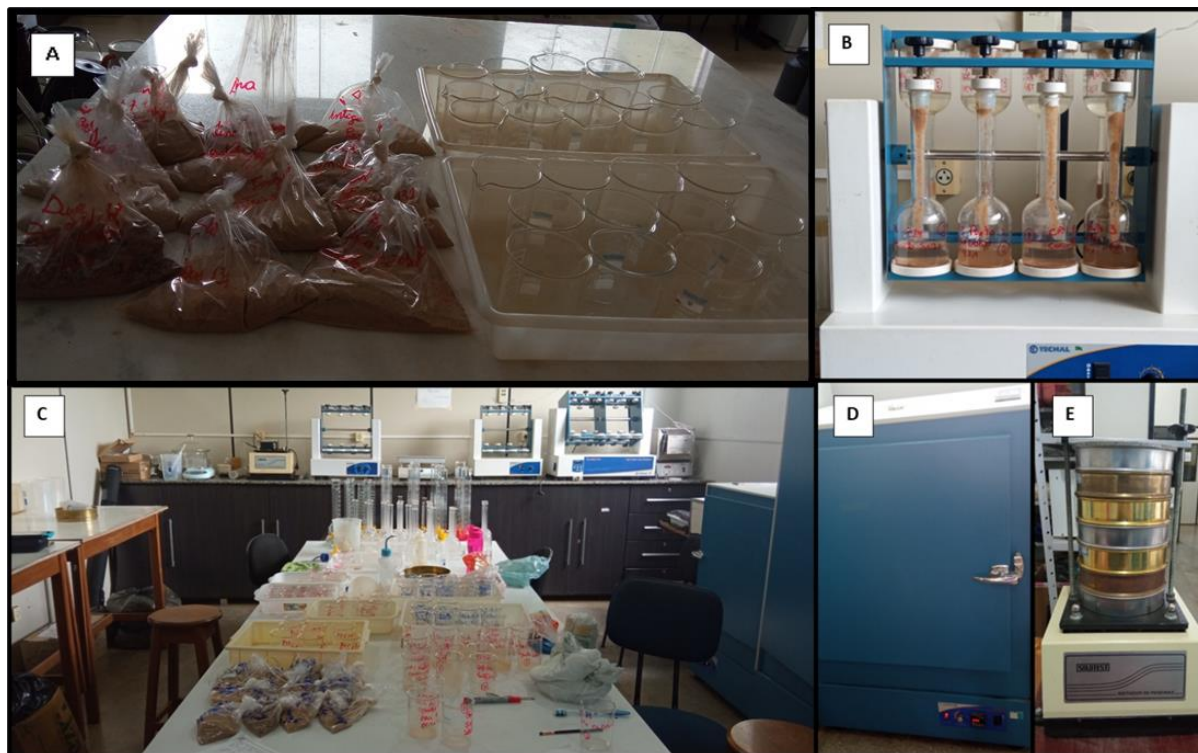


Figura 7: A) Béqueres com sedimentos de fundo; B) Agitador de Wagner; C) Pipetas para extração de silte e argila; D) Estufa modelo TE-394/2 a 105° C; E) Agitador eletromagnético de série 8102.

Fonte: Fotografado pela autora (2021).

Para determinar o tamanho e a forma das partículas maiores, as amostras foram separadas e medidas manualmente. Utilizou-se a tabela de classificação granulométrica (em milímetros) proposta por Giannini e Melo (2009), em conjunto com a classificação de Pomerol *et al.* (2013). Esse método é amplamente empregado para a análise de determinar sedimentos grosseiros (Tabela 3).

Tabela 3: Classificação dos sedimentos de maior granulometria transportados no leito do canal.

Tamanho (mm)	Sedimentos	Classe
> 256	Matacão	Ruditos
256 – 64	Bloco ou calhau	
64 – 4,0	Seixo	
4,0 – 2,0	Grânulo	

Fonte: Adaptado de Giannini e Melo (2009) e Pomerol *et al.* (2013).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados são apresentados em tabelas e análises subsequentes, abrangendo quinze seções amostrais ao longo do perfil longitudinal do rio Itapecuru, no perímetro urbano de Caxias, Maranhão, com ênfase na hidrodinâmica.

O canal fluvial do rio Itapecuru, no trecho analisado apresenta predominantemente uma mata ciliar parcialmente preservada, composta por espécies arbustivas e arbóreas. Observam-se afloramentos rochosos em diversos pontos ao longo do leito. Além disso, registram-se processos erosivos nas margens, possivelmente relacionados ao escoamento superficial, à dragagem e à ocupação dessas áreas, incluindo construções como residências, quiosques e restaurantes.

Em algumas áreas próximas à malha urbana de Caxias, observa-se que a vegetação ciliar foi parcialmente substituída por pastagens, residências e estradas. Na planície de inundação, identificam-se represas e tanques destinados à piscicultura. A urbanização é marcada pela disposição inadequada de resíduos sólidos nas proximidades do canal. Destaca-se que a captação de água para o abastecimento da cidade ocorre a aproximadamente 200 metros da estação de tratamento e distribuição, evidenciando a interação complexa entre fatores ambientais e sociais no contexto fluvial analisado.

Os dados de velocidade monitorados *in loco* evidenciaram que, durante o período de estiagem, 10 seções apresentaram um padrão predominante, de maior velocidade no centro do canal. No entanto, no período de cheia, verificou-se que todos os pontos monitorados apresentaram velocidades mais elevadas, também concentradas, majoritariamente, no centro do canal (Tabela 3). De acordo com Cunha (2013, p. 233), “os canais de leito simétrico, em geral de padrão retilíneo, a velocidade máxima ocorre no centro do canal diminuindo em direção às margens”.

Tabela 4: Informações das variáveis hidrodinâmicas no rio Itapecuru

Seções	Período	Velocidades Médias (ms^{-1})	Profundidades (m)	Larguras do Canal (m)	Áreas das seções (m^2)	Vazões (m^3s^{-1})	Turbidez (NTU)
Seção 1: Jusante da corredeira	Estiagem	0,60	1,10	48	52,80	31,68	18,50
	Cheia	1,11	4,70	55	258,50	287,45	30,40
Seção 2: Draga	Estiagem	0,43	1,73	27	46,71	19,90	17,00
	Cheia	0,91	5,16	30	154,80	141,18	37,70
Seção 3: Balneário Veneza	Estiagem	0,45	2,33	27	62,91	28,44	17,00
	Cheia	0,58	5,36	29	155,44	89,69	33,90

Seção 4: Jusante Balneário Veneza	Estiagem	0,47	1,96	26	50,96	23,75	14,70
	Cheia	0,98	5,76	27	155,52	152,10	32,50
Seção 5: Condomínio Village	Estiagem	0,54	1,43	35	50,05	27,13	16,20
	Cheia	0,90	4,73	37	175,01	158,03	35,30
Seção 6: Rodovia 136 (Ponte)	Estiagem	0,48	2,30	32	73,60	35,62	17,00
	Cheia	0,92	5,80	37	214,60	197,43	35,30
Seção 7: Meandro antes da ponte	Estiagem	0,40	2,60	34	88,40	35,09	18,50
	Cheia	0,79	4,13	37	152,81	120,11	39,40
Seção 8: Ponte Luiz Sales	Estiagem	0,47	2,36	31	73,16	34,31	20,40
	Cheia	0,99	5,16	35	180,60	178,79	33,40
Seção 9: Nereu Bittencourt	Estiagem	0,82	1,93	24	16,32	13,45	17,90
	Cheia	0,96	5,46	31	169,26	163,17	33,80
Seção 10: Estrada de ferro	Estiagem	0,46	2,13	33	70,29	32,19	19,70
	Cheia	1,22	4,60	40	184,00	225,03	37,30
Seção 11: Porto do Galeão	Estiagem	0,24	3,10	51	158,10	38,26	18,80
	Cheia	0,74	5,20	51	265,20	197,04	34,10
Seção 12: Rua do Matadouro	Estiagem	0,39	2,40	26	62,40	24,21	21,30
	Cheia	0,82	4,36	31	135,16	110,29	34,60
Seção 13: Psicultura	Estiagem	0,57	2,10	35	73,50	41,75	18,80
	Cheia	0,92	6,30	36	226,80	208,66	37,60
Seção 14: Próximo ao Conjunto Sabiá	Estiagem	0,47	2,00	28	56,00	26,60	17,30
	Cheia	0,71	4,46	38	169,48	119,99	37,60
Seção 15: Jusante do Cotovelo	Estiagem	0,61	1,76	37	65,12	39,85	19,40
	Cheia	0,78	6,76	46	310,96	242,86	34,90

Fonte: dados tabulados pela autora (2024).

Na análise granulométrica, os sedimentos de fundo apresentaram areia grossa, areia média, areia fina, silte e argila, com predominância de areia fina em todas as seções nos dois períodos analisados (Tabela 4).

Tabela 5: Dados granulométricos dos sedimentos de fundo no canal principal

Seções de coletas	Período	Areia Grossa (%)	Areia Média (%)	Areia Fina (%)	Silte (%)	Argila (%)
Seção 1: Jusante da corredeira	Estiagem	0	1,70	98,00	0,23	0,08
	Cheia	0,05	0,10	99,70	0,05	0,10
Seção 2: Draga	Estiagem	0	0,90	98,85	0,20	0,05
	Cheia	0,10	3,30	96,50	0	0,10
Seção 3: Balneário Veneza	Estiagem	0	0	99,00	0,90	0,10
	Cheia	-----	-----	-----	-----	-----

Seção 4: Jusante Balneário Veneza	Estiagem	-----	-----	-----	-----	-----
	Cheia	-----	-----	-----	-----	-----
Seção 5: Condomínio Village	Estiagem	0,75	2,85	95,6	0,70	0,10
	Cheia	-----	-----	-----	-----	-----
Seção 6: Rodovia 136 (Ponte)	Estiagem	-----	-----	-----	-----	-----
	Cheia	-----	-----	-----	-----	-----
Seção 7: Jusante da ponte BR-136	Estiagem	0	0,10	99,00	0,80	0,10
	Cheia	2,95	0,90	79,40	16,25	0,50
Seção 8: Ponte Luiz Sales	Estiagem	0	0,35	99,40	0,20	0,05
	Cheia	-----	-----	-----	-----	-----
Seção 9: Nereu Bittencourt	Estiagem	-----	-----	-----	-----	-----
	Cheia	-----	-----	-----	-----	-----
Seção10: Estrada de ferro	Estiagem	-----	-----	-----	-----	-----
	Cheia	-----	-----	-----	-----	-----
Seção 11: Porto do Galeano	Estiagem	0,30	1,10	98,4	0,15	0,05
	Cheia	-----	-----	-----	-----	-----
Seção12: Rua do Matadouro	Estiagem	0	0,70	99,15	0,10	0,05
	Cheia	9,75	25,15	65,95	0,10	0,05
Seção 13: Próximo à piscicultura	Estiagem	0,45	2,05	97,25	0,15	0,10
	Cheia	-----	-----	-----	-----	-----
Seção 14: Conjunto Sabiá	Estiagem	0	0,75	97,95	1,25	0,05
	Cheia	1,80	18,15	79,95	0	0,10
Seção 15: Jusante do Cotovelo	Estiagem	0,15	6,20	93,20	0,40	0,05
	Cheia	0,55	19,85	79,40	0,10	0,10

Fonte: Elaboração pela autora.

A areia fina predominante no leito indica uma capacidade de transporte insuficiente para deslocar, de forma contínua, partículas maiores, como cascalho ou areia grossa. Esse fenômeno pode ser atribuído à velocidade relativamente baixa do fluxo ou a um gradiente muito suave no leito do rio.

Além disso, o autor destaca que a geologia da bacia hidrográfica e a disponibilidade de materiais erodíveis também influenciam a predominância de sedimentos mais finos. Os rios com correntes mais calmas e fluxos menos intensos tendem a depositar partículas finas, como a areia fina, em seus leitos (Christofolletti, 1981).

Ainda de acordo com Christofolletti (1981), a velocidade da correnteza é diretamente influenciada pelo gradiente dos canais, que também afeta a capacidade do rio de transportar sedimentos. Uma corrente mais rápida, geralmente, origina correntes mais rápidas, capaz de transportar partículas maiores, como cascalho e areia grossa. Em contrapartida, gradientes mais suaves tendem a produzir correntes mais lentas que transportam sedimentos mais finos, como silte e argila, enquanto promovem a deposição de materiais como areia fina.

3.1 Seção 1 – Jusante da Corredeira

A primeira seção situa-se a montante da cidade de Caxias (Figura 1) e, nesse trecho, a mata ciliar encontra-se preservada. No leito do rio Itapecuru, observou-se a presença de um afloramento rochoso na margem esquerda e no sentido transversal, favorecendo a ocorrência de corredeira e o barramento em parte do fluxo.

Na margem direita, a vegetação apresenta preservação parcial, com destaque para a presença de *Attalea speciosa* (babaçu) e vegetação arbustiva, que se estendem, em média, por 15 metros, a partir da calha do rio. Identificaram-se processos erosivos na área, assim como tanques construídos na planície de inundação, situados a aproximadamente 170 metros da margem, destinados à piscicultura.

Na margem esquerda, há o mesmo tipo de vegetação, assim como afloramentos de blocos de arenito, cada um com cerca de 2,30 metros de comprimento, perfazendo 48 metros de extensão. O local é utilizado para a realização de cerimônias religiosas. No trecho conhecido como Recanto São Gerônimo, localizado na margem esquerda do canal, constatou-se o desmatamento da mata ciliar.

A montante da seção, o canal apresenta uma largura de 27 metros. A jusante do afloramento de arenitos da Formação Motuca, a largura do canal aumentou para 48 metros. O afloramento presente no leito gera um fluxo turbulento, ocasionando erosão na margem direita e favorecendo a deposição dos sedimentos erodidos na margem esquerda, conforme registrado na Seção 01 e ilustrado na Figura 8.



Figura 8: Afloramento rochoso no centro do canal.

Fonte: Fotografado pela autora (2021).

Segundo Stevaux e Latrubesse (2017), o canal que o rio constrói é considerado uma estrutura dinâmica e utilizado para escoar água e os materiais transportados.

Sua extensão quanto à geometria da seção (largura e profundidade), padrão (arranjo areal dos canais) e perfil longitudinal (pendente) dependem não apenas das características do fluxo (magnitude, velocidade e regime), mas também do tipo de substrato (rochoso ou aluvial) e da natureza (carga de fundo, suspensa ou dissolvida) e da quantidade do material por ele transportado. Os canais podem ser classificados como aluviais ou rochosos e o completo arranjo do canal se dá em diferentes escalas temporais e espaciais (Stevaux; Latrubesse, 2017, p.169).

A jusante da corredeira, na margem esquerda, há estreitos afloramentos de arenito, configurados em forma de grandes fragmentos, bem como em formato de laje, estendendo-se desde a margem até o canal. A montante, observa-se um encachoeiramento decorrente do afloramento rochoso, conforme mencionado anteriormente. Compreende-se que a faixa de arenito na margem constitui a continuação da estrutura rochosa, caracterizando-se como um fator ambiental determinante para as particularidades hidrológicas e sedimentológicas dessa área específica.



Figura 9: (A) Blocos de rocha; (B) Margem esquerda do Rio Itapecuru (Seção 01).

Fonte: Fotografado pela autora (2021).

Para Cunha (2013) as áreas de máxima turbulência demonstram as variações verticais que ocorrem no leito, como “as ondulações e os desníveis representados pelas soleiras, depressões e obstáculo, como tronco de árvores e blocos de rochas, sendo ladeadas em geral por uma zona de máxima velocidade”.

Os dados coletados durante a pesquisa de campo possibilitaram uma

compreensão mais detalhada da configuração da seção transversal do canal fluvial durante o período da estiagem. Nesse intervalo, constatou-se que o fluxo hidráulico concentra-se predominantemente na porção esquerda do canal, uma vez que o centro e a margem direita são majoritariamente ocupados por afloramentos rochosos compostos por material arenoso, proveniente de depósitos aluvionares. O canal fluvial apresenta uma profundidade de 4 metros, com baixa acumulação de sedimentos, conforme ilustrado na Figura 10.

Durante a período de cheia, quando o rio atinge níveis mais elevados, a profundidade aumenta para 6 metros, o que intensifica o transporte e a deposição de sedimentos em uma área mais extensa, conforme indicado no croqui. Esse comportamento sazonal evidencia a dinâmica do canal fluvial, destacando a influência significativa marcante das variações de volume do rio sobre os processos de carregamento e sedimentação.

O afloramento transversal ao canal influencia a hidrodinâmica do transporte, resultando em processos de erosão e deposição dos sedimentos nessa seção. A dinâmica fluvial local é condicionada pelo controle estrutural dentro do canal. A força das águas intensifica a erosão na margem direita, enquanto favorece a deposição na margem esquerda, contribuindo para a formação de uma barra de sedimentos submersa ao longo da margem esquerda durante o período da estiagem.

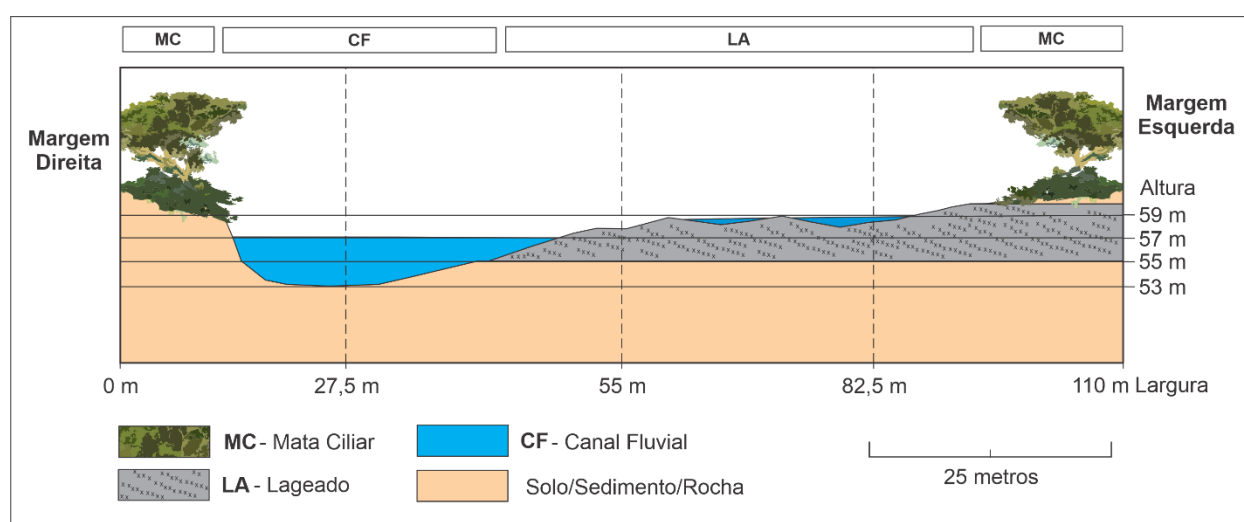


Figura 10: Croqui da Seção Transversal 1 no período de estiagem (Solo/Sedimento/Rocha).

Fonte: Elaborado pela autora.

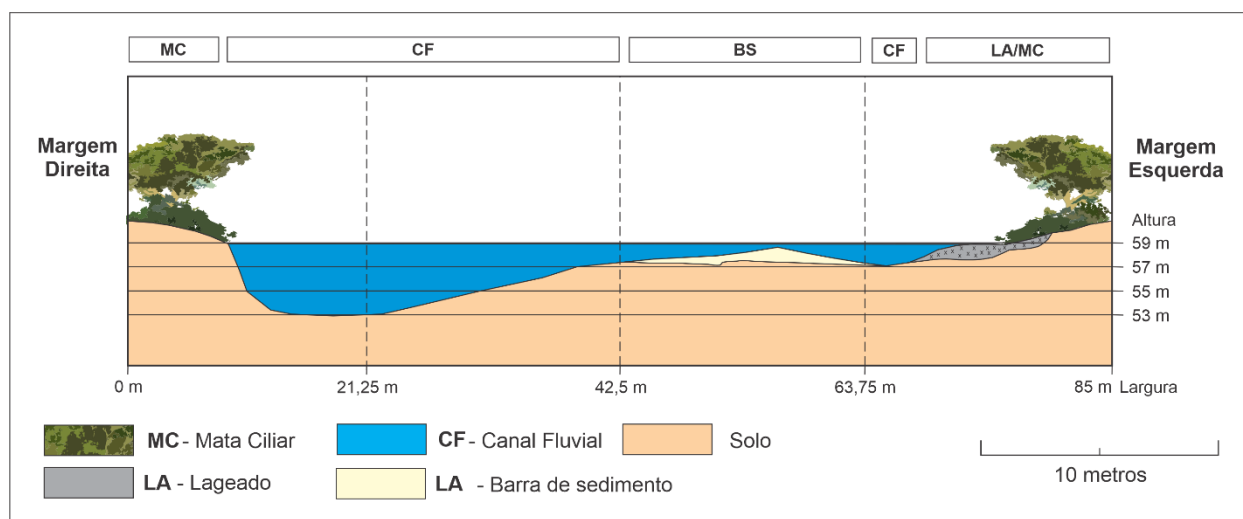


Figura 11: Croqui da Seção Transversal 1 no período de cheia

Fonte: Elaborado pela autora.

Na primeira seção, durante o período de estiagem, a área da seção transversal foi calculada em 52,80 m², aumentando para 258,50 m² no período de cheia. A profundidade média variou de 1,10 m na estiagem para 4,70 m na cheia. A largura do canal apresentou aumento, passando de 48 m na estiagem e passa para 55 m na cheia. A velocidade média do fluxo foi de 0,60 ms⁻¹ na estiagem, elevando-se para 1,11 ms⁻¹ na cheia. A vazão medida alcançou 31,68 m³s⁻¹ na estiagem e 287,45 m³s⁻¹ no período de cheia. No que tange à turbidez, registrou-se um valor de 18,5 UNT durante a estiagem, aumentando para 30,40 UNT na cheia (Tabela 01). No período de cheia, a água da chuva abastece as lagoas adjacentes ao canal principal, evidenciando a interação entre os corpos d'água locais e o regime hidrológico do rio.

Segundo Lima (2010, p. 341) “Durante os períodos de alta vazão (vazão geomorfologicamente dominante), os rios de leito misto rochoso-aluvial erodem seu substrato mesmo nos trechos aluviais, devido à mobilização da carga sedimentar”. Assim, durante o período de cheia, a dinâmica das águas sofre alterações significativas. A corredeira central, observada em outros momentos, não aparece enquanto a erosão na margem direita se intensifica, influenciada pela morfologia do fundo do canal. A estrutura rochosa de arenito desempenha um papel determinante no controle do fluxo nessa seção, direcionando a correnteza e amplificando o impacto da velocidade elevada da água na margem direita, o que resulta no aumento da erosão. Além disso, a forte velocidade do fluxo na área analisada dificultou a coleta dos sedimentos de fundo, evidenciando os desafios associados à investigação hidrossedimentológica em condições de cheia. devido à forte velocidade do fluxo.

Cunha (2013) aborda em seus estudos que, ao longo de um perfil transversal de um rio, a velocidade e a turbulência das águas são dinâmicas, definindo os locais de erosão e de deposição das partículas ao longo do canal.

Conforme Lima (2010), os canais fluviais rochosos, ou canais de leito rochoso, também denominados canais mistos rochoso-aluviais, são mais adequadamente caracterizados por sua interação entre substratos rochosos e depósitos sedimentares. A erosão nesses canais é controlada pela potência do escoamento ou pela tensão de cisalhamento aplicada ao leito, fatores que determinam a taxa de remoção de sedimentos. Assim, o fluxo de sedimentos não apenas influencia o processo erosivo por abrasão, mas também afeta a suscetibilidade do leito ao arranque, conforme demonstrado na Tabela 2. Esses fatores evidenciam a complexa dinâmica entre as forças hidrodinâmicas e os materiais constituintes do canal fluvial.

A análise granulométrica dos sedimentos de fundo revelou que, no período de estiagem, os valores foram de 1,70% de areia média, 98,00% de areia fina, 0,23% de silte e 0,08% de argila. Durante o período de cheia, os registros indicaram 0,05% de areia grossa, 0,1% de areia média, 99,70% de areia fina, 0,05% de silte e 0,10% de argila. Os dados demonstraram que, em ambos os períodos, a areia fina apresenta predominância significativa nessa seção do canal fluvial (Tabela 2).

De acordo com Vestena e Komineckios (2021), é de suma importância compreender as dinâmicas e as características morfológicas do leito ao longo do percurso de um rio. As informações e os resultados obtidos por meio dos estudos em canais fluviais podem subsidiar projetos voltados à evolução morfológica das bacias hidrográficas, além de contribuir para ações de restauração ou revitalização de canais, análise de habitats, avaliação do desempenho de vazões e garantia da estabilidade das encostas.

Estudos realizados pelo CPRM (2010) no rio Araguaia, no município de Araguaiana (MT), indicam uma vazão média de aproximadamente 1.080 m³/s, com um valor máximo registrado de 4.664 m³/s, sendo a maior contribuição fluvial ditada pelos tributários de sua margem direita.

Oliveira, Souza e Sousa (2018) pesquisaram sobre a hidrodinâmica e o transporte de sedimentos na bacia do rio Branco, analisando os compartimentos de alto, médio e baixo curso, relatando variações significativas na vazão do canal principal ao longo das estações. No alto curso, a vazão foi de 0,626 m³/s no período de estiagem e atingiu 6,62 m³/s na época das chuvas. No médio curso, foram registrados 2,838 m³/s no período de

estiagem e 42,30 m³/s na estação chuvosa. No baixo curso, a vazão alcançou 4,861 m³/s na estiagem, elevando-se para 126,42 m³/s na época das chuvas.

Leandro (2020, p. 177) analisou a bacia hidrográfica do Sepotuba, no Mato Grosso, focando nos aspectos sedimentares e nas mudanças morfológicas no baixo curso da bacia, dividida em três compartimentos. O autor observou características distintas nas calhas fluviais. No Setor Geomorfológico A, foi identificada a presença de assoalho e leito rochoso. No Setor Geomorfológico B, a calha fluvial está encaixada na margem esquerda, com um assoalho de características mistas e coesas, contendo seixos, matacões, areia grossa. No Setor Geomorfológico C, o material predominante é aluvial, com predominância de areia. Leandro concluiu que a “diferença e a distribuição das frações granulométricas são nítidas quanto aos setores geomorfológicos”.

3.2 Seção 2 – Jusante da draga

A Seção 2 está localizada em uma área de sítios e chácaras no município de Caxias, apresentando uma estreita faixa de mata ciliar, composta por vegetação arbórea e arbustiva; no entanto, observou-se a presença de dragas utilizadas para extração de areia do leito do rio, além de processos erosivos nas margens (Figura 12).



Figura 12: Draga de areia para fins comerciais.

Fonte: Fotografado pela autora (2022).

Na margem direita, que apresenta inclinação, observa-se a presença de mata ciliar composta por árvores e arbustos. À medida que se afasta da calha do rio, a vegetação torna-se rasteira, e há um depósito de areia resultante da dragagem no rio Itapecuru. Além disso, foram registrados processos erosivos na margem, os quais podem estar associados à dragagem e ao escoamento superficial.

Segundo Almeida, Cunha e Nascimento (2012), a vegetação é um importante indicador geoambiental, desempenhando um papel crucial na estabilização do solo ao protegê-los dos processos erosivos. Além disso, ela contribui para a infiltração e acumulação de águas pluviais, promovendo o equilíbrio das condições climáticas no ambiente.

Na margem esquerda, observa-se a presença de vegetação arbórea esparsa, com várias palmeiras de babaçu. Além disso, registrou-se um avanço do desmatamento, que tem se estendido, em média, por 200 metros em direção à calha do rio, visando à implementação de loteamentos.

Na estiagem, a área da seção foi de 46,71 m², aumentando para 154,80 m² na cheia. A profundidade média foi de 1,73 m na estiagem e 5,16 m na cheia. A largura do canal variou de 27 m na estiagem para 30 m na cheia, e a velocidade média do fluxo foi 0,43 ms⁻¹ na estiagem, aumentando para 0.912 m/s na cheia. A vazão registrada no período da estiagem foi de 19,90 m³s⁻¹, enquanto na cheia atingiu 141,18 m³s⁻¹. A turbidez variou de 17,00 UNT na estiagem para 37,70 UNT na cheia (Tabela 1).

Durante as pesquisas de campo, observou-se que a draga instalada inicialmente na margem direita, foi removida do local e fixada mais a montante do ponto de estiagem. Foi constatado que estava em pleno funcionamento, retirando sedimentos do canal e acumulando-os próximo da planície.

Em conversa com alguns moradores que residem nas proximidades do canal pesquisado, foi relatado que, no período da estiagem, os responsáveis pela dragagem deslocam a balsa com a draga por vários pontos do canal. Os moradores expressaram descontentamento com a realização dessa dragagem perto dos locais utilizados para banho, lavagem de roupas e outras atividades domésticas. Uma moradora relatou que, anteriormente, havia muita areia na margem direita, onde as crianças brincavam. Após realizarem a dragagem em frente à sua casa, o banco de areia desapareceu e a profundidade aumentou, o que dificultou a descida para lavar a louça diretamente no canal principal, como ilustrado na Figura 13.



Figura 13: Rio Itapecuru sendo utilizado para atividades domésticas.

Fonte: Fotografado pela autora (2021).

A análise granulométrica dos sedimentos de fundo (coletados no período de estiagem) revelou 0,90% de areia média, 98,85% de areia fina, 0,20% de silte e 0,05% de argila. No período de cheia, foram registrados 0,01% de areia grossa, 3,3% de areia média, 96,5% de areia fina, 0,0% de silte e 0,10% de argila. Os dados demonstram que, em ambos os períodos, predomina areia fina nessa seção (Tabela 2).

3.3 Seção 3 – Beneário Veneza

A Seção 3 está localizada em frente ao Balneário Veneza, na margem direita do rio Itapecuru. Nessa área, há pouca vegetação ciliar na margem direita, além da presença de uma construção de alvenaria próxima à margem. Também foi registrada uma piscicultura na margem direita, utilizada exclusivamente na modalidade “pesque e pague” (Figura 14). Na margem esquerda, a vegetação se encontra parcialmente preservada e é um ponto utilizado para a prática de pesca. Observou-se a presença de uma canoa de madeira, utilizada por moradores.



Figura 14: Margem direita do rio, instalado o Balneário Veneza.

Fonte: Fotografado pela autora (2021).

O Balneário Veneza está localizado a seis quilômetros do centro da cidade de Caxias. Licenciado sob o Alvará nº1842/76 do Ministério de Minas e Energia, o registro atesta que o balneário possui uma área de cinquenta hectares, com 1.000 metros de comprimento e 500 m de largura. O Balneário Veneza originou-se do Sítio Carreiro, que pertencia ao Sr. João Lima Carneiro, e era ocupado por uma pequena lavoura de cana-de-açúcar. Posteriormente, a propriedade foi adquirida pela indústria Altino Bittencourt, que a renomeou de Sítio Veneza. Ao longo dos anos, passou por vários proprietários e, por último, ao senhor Francisco Raimundo Vilanova, que expandiu a plantação de cana-de-açúcar e instalou um engenho a vapor, uma fábrica de rapadura e aguardente, que operou na região por 21 anos (Caxias, 2013).

Segundo estudos críticos sobre a região, o Balneário Veneza é muito conhecido por seu lago, cujas águas possuem uma lama escura com propriedades medicinais, atribuídas ao alto teor de enxofre, que pode contribuir no tratamento de doenças de pele. A eficácia terapêutica dessa lama foi confirmada por uma análise química, realizada em 1929 por um laboratório de Paris. Em 1943, a análise química da água foi repetida, dessa vez, por técnicos do Ministério de Minas e Energia, os quais constataram a presença de 27 elementos químicos na água (Caxias, 2013).

Na estiagem, a área da seção foi de 62,91 m², com profundidade média de 2,33

m. A largura do canal registrou 27 m, e a velocidade média do fluxo alcançou $0,45 \text{ ms}^{-1}$. A vazão obtida no período da estiagem perfaz $28,44 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ e a turbidez, 17,00 UNT. No período da cheia, a área da seção chegou a $155,44 \text{ m}^2$, com profundidade média de 5,36 m. A largura do canal ficou em 29 m, e a velocidade média do fluxo foi de $0,58 \text{ ms}^{-1}$. A vazão registrada na cheia foi $89,69 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ e a turbidez 33,90 UNT (Tabela 1).

Durante o período de cheia, a água atinge áreas próximas às casas do balneário. As residências localizadas nas proximidades da foz do riacho, que deságua na margem direita do canal, foram construídas com pilares de concreto para que a água não adentre os imóveis. Além disso, foi construída uma escada que proporciona acesso do balneário até uma queda de água, que é utilizada para banho por turistas e banhistas que frequentam o local.

As famílias que residem há mais de 40 anos em casas localizadas na margem direita do rio Itapecuru possuem quiosques com bares e restaurantes, que nos finais de semana servem almoço e vendem bebidas no balneário Veneza. O prato especial muito servido nos finais de semana é o “pirão de parida”, tradicionalmente conhecido no Nordeste. O prato é preparado no fogão a lenha: o cliente escolhe um frango caipira (criado pelos moradores em cercados), que é abatido e preparado para a refeição. Foi observada também a construção de um muro e a canalização da água que represada no balneário, que é posteriormente despejada na margem direita do rio Itapecuru (Figura 15).



Figura 15: Influência antrópica na margem direita do rio Itapecuru.

Fonte: Fotografada pela autora (2021).

A análise granulométrica dos sedimentos de fundo realizada no período de estiagem indicou que 99% do material era composto por areia fina, 0,9% de silte e 0,01% de argila. No período de cheia, no entanto, não foi possível realizar a coleta de sedimentos de fundo, devido à profundidade elevada, à forte correnteza e ao fluxo turbulento das águas. Além disso, processo de remoção da draga, utilizada para a extração de areia nessa seção, também pode ter interferido na profundidade do canal,

dificultando a coleta dos sedimentos de fundo.

3.4 Seção 4 – Jusante do balneário Veneza

A Seção 4 encontra-se a jusante do balneário, apresentando a presença de fragmentos de rochas no canal. Na margem direita, a mata ciliar foi praticamente substituída por pastagens, residências e estradas. Na planície de inundação, observou-se a presença de represas e tanques de piscicultura, que, embora tragam benefícios econômicos, apresentam um possível risco de introdução de espécies invasoras no rio Itapecuru durante o período de cheia, devido ao transbordamento do canal fluvial. Na margem esquerda, a vegetação se encontra parcialmente preservada, com a presença de babaçus e outras espécies de vegetação arbórea. No campo, foi possível observar uma área de agricultura familiar, com pequenas plantações de quiabo, situada próxima à margem (Figura 16).



Figura 16: Imagem de tanques de piscicultura

Fonte: Google Earth Pro (2021).

No período de estiagem, a área da seção registrou $50,96 \text{ m}^2$, com profundidade média de $1,96 \text{ m}$. A largura do canal alcançou 26 m , enquanto a velocidade média do fluxo foi de $0,466 \text{ m/s}$. A vazão obtida no período da estiagem foi de $23,75 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ e a turbidez apresentou um valor de $14,70 \text{ UNT}$.

Durante o período de cheia, a área da seção atingiu $155,52 \text{ m}^2$, com profundidade média $5,76 \text{ m}$. A largura do canal foi de 27 m , e a velocidade média do fluxo alcançou

$0,99 \text{ ms}^{-1}$. A vazão calculada durante a cheia foi $152,10 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, enquanto a turbidez foi de 32,50 UNT, conforme demonstrado na Tabela 1. Não foi possível realizar a coleta de sedimentos de fundo nessa seção em ambos os períodos, devido à característica lajeada² do fundo do canal. Observações realizadas em campo indicaram a presença de turbulência no centro do canal, aspecto característico de leitos rochosos, conforme demonstrado na Figura 17.



Figura 17: Fotografia do período de cheia.

Fonte: Fotografado pela autora (2022).

3.5 Seção 5 – Condomínio Village

A Seção 5 localiza-se em área periurbana. Na margem direita, há uma estreita faixa de vegetação, parcialmente suprimida para a construção do condomínio, com as edificações avançando em direção ao rio, reduzindo a faixa de proteção natural. Nessa margem, o rio Itapecuruzinho deságua no rio principal após receber efluentes ao longo de seu percurso. Na margem esquerda, a vegetação está parcialmente preservada (Figura 18).

² **Lajeado** – afloramento de rocha sã na superfície do solo, constituindo uma área de extensão variável (Guerra; Guerra, 1993).



Figura 18: Imagem da área do rio Itapecuru e o condomínio Village.

Fonte: Fotografado pela autora (2021).

No período de estiagem, a área da seção chegou a 50,96 m², com profundidade média de 1,43 m. A largura do canal atingiu 35 m, e a velocidade média do fluxo foi de 0,54 ms⁻¹. A vazão obtida durante a estiagem foi de 27,13 m³s⁻¹, enquanto a turbidez alcançou 16,20 UNT. Durante o período de cheia, a área da seção totalizou 175,01 m², com profundidade média 4,73 m. A largura do canal registrou 37 m e a velocidade média do fluxo atingiu 0,90 ms⁻¹. A vazão observada nesse período foi 158,03 m³s⁻¹, com turbidez de 35,30 UNT (Tabela 01).

A análise granulométrica dos sedimentos de fundo no período de estiagem indicou 0,75% de areia grossa, 2,85 % de areia média, 95,6% de areia fina, 0,70% de silte e 0,10% de argila. No período da cheia, entretanto, não foi possível realizar a coleta nessa seção.

Estudos realizados por Leandro (2020), referentes ao comportamento hidrológico do rio Sepotuba, constataram que, em relação ao padrão de circulação analisado no presente estudo, os sedimentos de fundo apresentaram intervalos granulométricos distintos entre os setores geomorfológicos delimitados no sistema rio-planície de inundação.

A análise de imagens do *Google Earth* de 2004 mostrou que não havia construções na área mencionada. Contudo, o local já apresentava características favoráveis à construção de um condomínio próximo ao canal principal. Em 2021, a área foi totalmente ocupada, com construção de casas e ruas totalmente habitadas (Figura 19).



Figura 19: Expansão da urbanização para a margem direita do rio Itapecuru (2004 e 2021).

Fonte: Google Earth Pro.

3.6 Seção 6 – ponte no Rodovia 136 (BR-136)

A Seção 6 está localizada a jusante da ponte na BR-136. Nessa área, a mata ciliar foi quase totalmente retirada, e o rio é fortemente impactado pela urbanização. Foi constatada a presença de resíduos sólidos como garrafas PET e sacolas plásticas), descartados de forma inadequada nas proximidades do canal.

A coleta de água destinada ao abastecimento da cidade de Caxias ocorre a aproximadamente 200 m da ponte (Figura 20). O Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE) é uma autarquia pública municipal, responsável pelo fornecimento de água, bem como pela coleta e o tratamento de esgotos no município, conforme estabelecido pela Lei nº 474/1961, atualmente alinhada à Lei Federal nº 11.445/2007 (Caxias, 2021).



Figura 20: Coleta de água no rio Itapecuru.

Fonte: Fotografado pela autora (2022).

Na margem direita, foi encontrado um lajeado de arenito que moradores utilizam como acesso ao rio para banho. No período de estiagem, a área da seção registrou 73,60 m², com profundidade média de 2,30 m. A largura do canal alcançou 32 m, enquanto a velocidade média do fluxo foi de 0,48 ms⁻¹; a vazão obtida na época de estiagem foi de 35,62 m³s⁻¹ com turbidez de 17,00 UNT. Na estação das cheias, a área da seção chegou a 214,60 m², com profundidade média 5,80 m. A largura do canal computou 37 m e a velocidade média do fluxo foi de 0,92 ms⁻¹. A vazão calculada nesse período foi 197,43 m³s⁻¹, enquanto a turbidez atingiu 35,30 UNT, conforme demonstrado na Tabela 01.

Não foi possível realizar a coleta de sedimento de fundo nessa seção em ambos os períodos devido ao caráter lajeado do fundo do canal. Em pesquisas de campo, no entanto, registraram-se as influências de afloramentos de arenito da Formação Motuca na margem esquerda do canal, com evidências de estratificação cruzada. Esses afloramentos podem influenciar a morfologia de fundo do canal, conforme ilustrado na Figura 21.

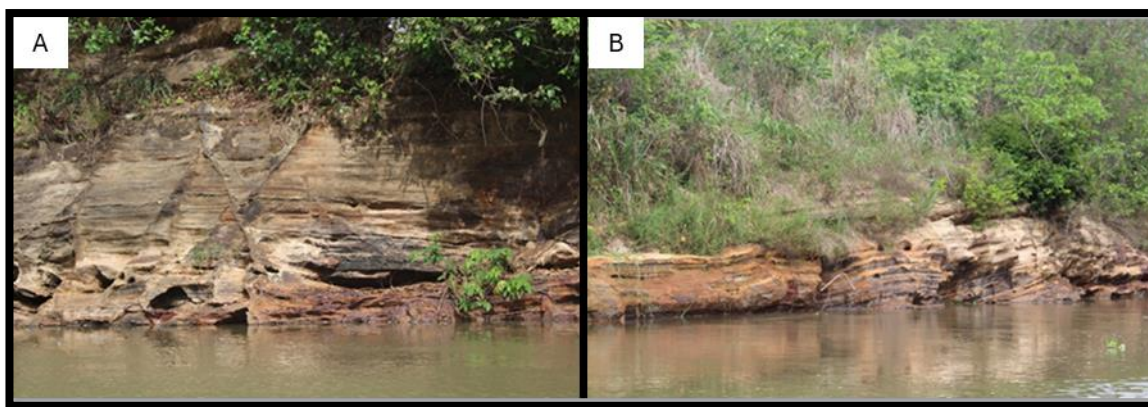


Figura 21: Afloramento rochoso de arenito a montante da seção.

Fonte: Fotografado pela autora (2021).

Pesquisas de campo identificaram a influência de afloramentos de arenito e argilito na margem esquerda do canal, aspectos que afetam diretamente a morfologia do canal fluvial e contribuem para o encaixe do leito. Vale destacar que essas rochas pertencem ao período Permiano e corresponde à Formação Motuca, inserida no domínio das coberturas sedimentares e vulcanos-sedimentares mesozoicas e paleozoicas. Essas formações são pouco a moderadamente consolidadas, associadas a grandes e profundas bacias sedimentares do tipo sinéclise relacionadas a ambientes deposicionais variados, como continental, marinho e desértico (IBGE, 2021). Conforme demonstrado na Figura 21, as características desse ambiente ficam evidentes na litologia do rio estudado.

Segundo Vestena e Komineckios (2021), os rios de leito rochosos são considerados rígidos e apresentam maior nível de resistência. Possuem uma dinâmica morfológica específica, com ajustamento mais lento, normalmente em função de controles tectônicos ou mudanças na litologia, que podem resultar em trechos fluviais mais vulneráveis à erosão, transporte e deposição de sedimentos.

De acordo com Christofolletti (1971), os meandros encaixados, condicionados pelo controle estrutural, são característicos de cursos fluviais que se destacam pela grande velocidade e por apresentarem planícies aluviais pequenas e estreitas. As sinuosidades desses rios se formaram antes da escavação, sendo influenciadas pela topografia do relevo e pelo embasamento de rochas resistentes.

Rocha (2010), ao estudar os indicadores de alteração hidrológica no Alto Rio Paraná, destaca os estudos de Fernandez e Souza Filho (1995), que registraram que, na região de planície do Alto Rio Paraná, nem todas as cheias causam inundações, devido ao rio encontrar-se ligeiramente encaixado.

3.7 Seção 7 – Meandro antes da ponte

A vegetação encontra-se antropizada (abertura de algumas clareiras) e, nessa seção, constatou-se uma intensa interferência urbana nas margens do rio. Na margem direita, identificou-se a presença de árvores frutíferas, como mangueiras próximas ao canal, além de pequenas plantações de mandioca e quiabo. Em média, a uma distância de 200 metros dessa margem foram encontrados seis tanques para criação de peixes construídos na planície.

Na Seção 7, a mata ciliar foi retirada; acompanhada pela presença de espécies exóticas invasoras e frutíferas, como mangueiras, ingazeiros e cajueiros, ao longo das margens. Além disso, foram observadas pequenas plantações de mandioca e quiabo. A aproximadamente 200 metros da margem esquerda, existem seis tanques para criação de de peixe, construídos na planície de inundação.

Durante o trabalho de campo, tresandava forte odor de esgoto na área. A água apresentava mudanças em sua coloração, exibindo um aspecto oleoso, com a presença de vários resíduos sólidos, como garrafas PET, sacolas plásticas e outros materiais, acumulados na margem direita do canal. A montante dessa seção, na mesma margem, identificou-se o ponto de lançamento direto de efluentes no rio Itapecuru (Figura 22).



Figura 22: Efluentes despejados no rio Itapecuru.

Fonte: Fotografado pela autora (2021).

Na estiagem, a área da seção perfez 88,40 m², com profundidade média de 2,60 m. A largura do canal atingiu 34 m, enquanto a velocidade média do fluxo foi de 0,40 ms⁻¹. A vazão calculada nesse período foi de 35,9 m³s⁻¹ e a turbidez registrou 18,50 UNT. Na época das cheias, a área da seção computou 152,81 m², com profundidade média 2,60 m. A largura do canal alcançou 37m, enquanto a velocidade média do fluxo foi de 0,79 ms⁻¹. A vazão calculada nesse período foi de 120,11 m³s⁻¹ e a turbidez atingiu 39,40 UNT (Tabela 01).

A análise granulométrica dos sedimentos de fundo no período de estiagem revelou a ausência de areia grossa (0,0%), 0,10% de areia média, 99,00% de areia fina, 0,70% de silte e 0,10% de argila. Na época de cheia, registraram-se 2,95% de areia grossa, 0,90% de areia média, 79,40% de areia fina, 16,25% de silte e 0,50% de argila; contudo, na cheia não foi possível coletar sedimentos no centro do canal devido ao fluxo turbulento, sendo realizada próximo à margem esquerda, explicando a elevada concentração de silte na amostra, caracterizando a margem esquerda como área predominante de deposição de sedimentos.

Assim, no período de cheia, a água ocupa o leito maior na planície, alcançando locais onde foram construídas casas muito próximas do canal. Além disso, as áreas utilizadas para plantação de “estiagem” nas margens encontram-se totalmente cobertas pela água durante esse período. A margem esquerda é considerada uma área de deposição de sedimentos, favorecendo a riqueza de nutrientes durante o período de estiagem, o que incentiva os moradores ribeirinhos a utilizarem as planícies aluviais do rio Itapecuru para o cultivo de alimentos, como quiabo, abóbora e outros produtos agrícolas (Figura 23).



Figura 23: Planície de inundação do rio Itapecuru.

Fonte: Fotografada pela autora (2022).

3.8 Seção 8 – Ponte Luiz Sales

A Seção 8 situa-se na área urbana de Caxias, nas proximidades da Ponte Luiz Sales. A mata ciliar está parcialmente preservada em ambas as margens, embora exista acúmulo de restos de materiais de construção. Além disso, há uma obra de engenharia destinada à construção da orla ao longo do rio Itapecuru (Figura 24).



Figura 24: Ponte Luiz Sales sobre o rio Itapecuru.

Fonte: Fotografado pela autora (2021).

Nessa seção, foi possível registrar o lançamento de efluentes diretamente no canal, alterando a cor da água, emitindo um odor forte. No local, também há acúmulo de resíduos sólidos nas margens, como televisores, garrafas PET e sacolas plásticas, atraindo animais domésticos e aves de rapina em busca de alimentos. Na margem esquerda, identificou-se a presença de macrófitas, sendo o único registro feito ao longo do perímetro urbano.

Na estiagem, a área da seção registrou 73,16 m², com profundidade média de 2,36 m. A largura do canal atingiu 31 m, enquanto a velocidade média do fluxo foi de 0,47 ms⁻¹. A vazão foi de 34,31 m³s⁻¹ e a turbidez computou 20,40 UNT. No período da cheia, a área da seção perfiz 180,60 m², com profundidade média de 5,16 m. A largura do canal registrou 35 m, e a velocidade média do fluxo foi de 0,99 ms⁻¹. A vazão foi 178,79 m³s⁻¹ e a turbidez, 33,40 UNT (Tabela 1).

A análise granulométrica dos sedimentos de fundo no período de estiagem não encontrou areia grossa, 0,35 % de areia média, 99,4 % de areia fina, 0,2 % de silte e 0,5 % de argila. Durante a cheia, não foi possível realizar a coleta dos sedimentos, devido à forte correnteza e à profundidade, que impedia que a draga atingisse o fundo do rio de forma adequada. Várias tentativas foram realizadas, mas sem sucesso. O lixo que estava nas margens (na estiagem) foi transportado para o interior do canal no período da cheia

(Figura 25).



Figura 25: Foto do período de cheia, Ponte Luiz Sales.

Fonte: Fotografado pela autora (2022).

Nesse trecho de pontes, no período da cheia, o rio se torna impróprio para embarcações de grande porte devido à altura da água. O condutor do barco confirmou a nossa constatação, relatando que o rio estava ainda mais elevado. Além disso, devido às fortes chuvas na região, algumas casas próximas do canal principal sofreram com a rapidez da subida do nível das águas.

Em seus estudos hidrodinâmicos e sedimentológicos do baixo São Francisco, Oliveira (2003 p. 4) indica que as oscilações climáticas afetam as precipitações nas regiões do Alto e Médio curso da bacia do rio São Francisco, determinando o nível das vazões naturais do rio. “E as intervenções antrópicas na bacia hidrográfica e calha do rio, produzem perdas de água, por evaporação ou evapotranspiração e modificam a sua distribuição espacial temporal”.

3.9 Seção 9 – Ponte Nereu Bittencurt

A Seção 9 está localizada a jusante da Ponte Nereu Bittencurt, na área urbana da cidade de Caxias. A região conta com infraestrutura, incluindo ponte, ruas, comércios e residências; porém, como nas demais seções situadas na área urbana, há efluentes líquidos e sólidos despejados nas ruas e diretamente no rio Itapecuru, comprometendo a qualidade da água. Em ambas as margens do rio, a vegetação está parcialmente preservada, com ocorrência de *Bambusoideae* (bambu) na margem direita (Figura 26).



Figura 26: Ponte Nereu Bittencurt sobre o rio Itapecuru.

Fonte: Fotografado pela autora (2021).

Segundo Cunha (2013, p. 235), o equilíbrio longitudinal de um canal pode alterar-se com a interferência da atividade humana em um trecho do rio, como retirada da vegetação ciliar, para a transformação em terras cultivadas e a ampliação do processo de urbanização.

Pereira e Cunha (2022, p. 124), ao estudarem a geomorfologia e a gestão de risco de inundação, ressaltam que “a concentração populacional nas grandes cidades e os graves problemas causados por falta de moradia adequada vêm se agravando e, hoje, processos de risco associados à dinâmica fluvial têm gerado perdas econômicas e preocupações à gestão pública”. Portanto, estudar a dinâmica fluvial integrada à paisagem urbana contribui para um planejamento em diferentes escalas, levando em consideração as condicionantes ambientais ali presentes.

Na estiagem, a área da seção registrou $16,32 \text{ m}^2$, com profundidade média de $1,93 \text{ m}$. A largura do canal fez 24 m , enquanto a velocidade média do fluxo foi de $0,82 \text{ ms}^{-1}$. A vazão obtida no período da estiagem foi de $13,45 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, e a turbidez computou $17,90 \text{ UNT}$.

No período de cheia, a área da seção chegou a $169,26 \text{ m}^2$, com profundidade média de $5,46 \text{ m}$. A largura do canal atingiu 31 m e a velocidade média do fluxo foi de $0,96 \text{ ms}^{-1}$. A vazão calculada na cheia foi de $163,17 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, e a turbidez fez $33,80 \text{ UNT}$, conforme demonstrado na Tabela 1. Não foi possível realizar a coleta de sedimentos de fundo nessa seção em ambos os períodos (cheia e estiagem), devido ao

fundo do canal ser considerado lajeado, além da presença de corredeiras. No período da cheia, o fluxo do canal nessa seção apresenta-se turbulento, com rebojo em forma de redemoinho e, por esse motivo, é considerado pelos moradores que navegam no rio como um lugar perigoso, onde a embarcação pode virar a-durante a cheia.

Durante as pesquisas de campo, foi possível registrar que, no período da cheia, as copas das árvores localizadas na margem estavam voltadas para dentro do canal, cobrindo parcialmente sua extensão e fazendo o canal parecer mais estreito, conforme pode ser observado na Figura 27.



Figura 27: Ponte Nereu Bittencurt no período de cheia.

Fonte: Fotografado pela autora (2022).

3.10 Seção 10 – Estrada de ferro

A Seção 10 está localizada a montante da ponte da Estrada de Ferro (Figura 28). Há uma estreita faixa de vegetação nas margens do canal, com cerca de cinco metros, mas as árvores de maior porte foram removidas. As residências e os prédios comerciais estão situados próximo ao rio e observou-se a presença de tubulação de esgoto na margem esquerda, com despejo de resíduos diretamente no canal.



Figura 28: Fotografia do período de cheia.

Fonte: Fotografado pela autora (2022).

Nesse ponto, foi observada a canalização de esgoto na margem esquerda do canal, com o despejo de resíduos diretamente no rio. Durante as pesquisas de campo no período da estiagem, foi possível sentir o forte odor no momento de coleta de sedimentos de fundo (Figuras 29 e 30).



Figura 29: Efluentes despejados na margem esquerda do rio Itapecuru.

Fonte: Fotografado pela autora (2022).



Figura 30: Feição morfológica em formato de barra de sedimentos.

Fonte: Fotografado pela autora (2021).

Em pesquisas de campo realizadas no período de estiagem, registrou-se, na margem esquerda, a montante da seção, a presença de um barramento composto por tijolos e concreto, destinado à sustentação do cano de esgoto que é despejado diretamente no leito do rio. Observou-se que esse barramento influencia a dinâmica de erosão e o transporte de sedimentos. Esse elemento provoca maior velocidade na margem direita, com os sedimentos transportados sendo depositados na margem esquerda do canal, conforme demonstra na Figura 29. A jusante, foi registrada a presença de afloramento na margem esquerda (Figura 31).

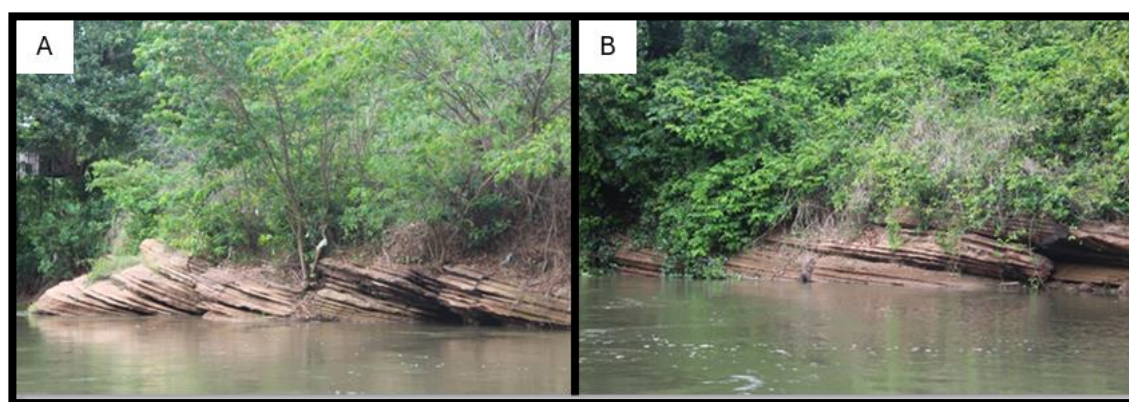


Figura 31: Afloramento rochoso na margem esquerda do rio Itapecuru.

Fonte: Fotografado pela autora (2021).

A jusante dessa seção, na margem esquerda, foi observada, durante as pesquisas de campo, a presença de rochas da Formação Corda (arenito e folhelho), rochas que apresentam faturas moderadas, resultantes da ação de intemperismo físico e químico, tanto de baixa quanto de alta intensidade, na vertical (CPRM, 2013). A estrutura rochosa presente na margem influencia na morfologia do canal, e nesse trecho do rio, pode ser considerá-lo retilíneo.

No período de estiagem, a área da seção computou 70,29 m², com profundidade

média de 2,13 m. A largura do canal atingiu 33 m, a velocidade média do fluxo foi de $0,46 \text{ ms}^{-1}$. A vazão obtida no período da estiagem foi de $32,19 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ e a turbidez alcançou 19,70 UNT.

No período de cheia, a área da seção alcançou $184,00 \text{ m}^2$, com profundidade média de 4,60 m. A largura do canal mediu 40 m e a velocidade média do fluxo foi de $1,22 \text{ ms}^{-1}$. A vazão presente na cheia foi de $225,03 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ e a turbidez 37,30 UNT, conforme demonstrado na Tabela 1. Não foi possível realizar coletas de sedimentos de fundo nessa seção em ambos os períodos.

3.11 Seção 11 – Rua Galeano

A Seção 11 está localizada próxima à Rua Galeano e, nessa área, a vegetação ciliar em ambas as margens foi retirada, devido ao intenso processo de urbanização. Na margem direita, as casas estão situadas a cerca de 20 metros do rio, mas os quintais das residências se estendem até a margem, onde é possível observar a presença de árvores frutíferas (mangueiras, bananeiras, pés de mamão, entre outras espécies). Na margem esquerda, as casas ficam, em média, a 40 metros de distância da calha do rio (Figura 32).



Figura 32: Rio Itapecuru sendo utilizado para recreação (banho).

Fonte: Fotografado pela autora (2021).

No decorrer das pesquisas de campo, observou-se que esse ponto é utilizado pela população local para recreação nos finais de semana; porém, existe o risco de contaminação devido aos afluentes lançados no rio Itapecuru e seus afluentes, o que contraria a política de controle de poluição e manejo dos recursos hídricos previstos na Lei nº 1.624 de 2006. Na margem esquerda, há blocos de rochas e um lajeado de arenito,

onde também está presente o controle estrutural conforme demonstrado na Figura 33.



Figura 33: Lajeado de arenito, controle estrutural na margem esquerda do canal.

Fonte: Fotografado pela autora (2021).

Quando da coleta de sedimentos de fundo, foi constatada a presença de matéria orgânica no fundo do canal (folhas secas e restos de madeira em decomposição). A jusante desse ponto, o canal se torna mais largo e sinuoso. A partir dessa área, observou-se que o canal é mais propício para navegação de barcos de maior porte. Conforme indicado no croqui, a partir desse ponto o rio se alarga, e, no período da cheia, a água chega próximo às casas (Figura 34)

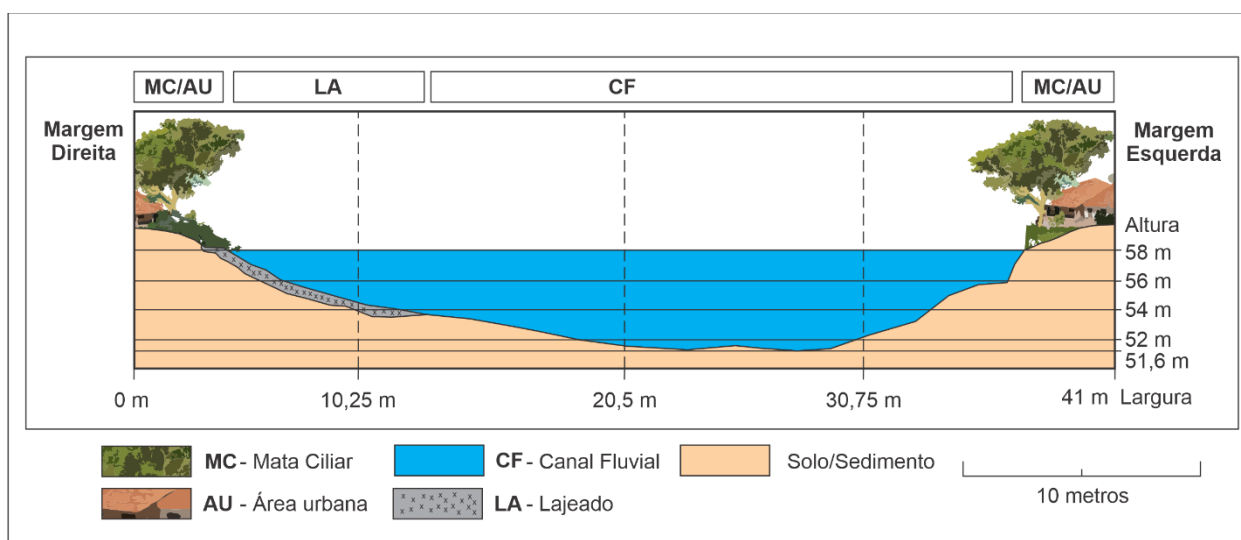


Figura 34: Croqui de representação do canal da Seção 11 no período de cheia.

Fonte: Elaborado pela autora

Na estiagem, a área da seção perfeit 158,10 m², com profundidade média de 3,10

m. A largura do canal atingiu 51 m, e a velocidade média do fluxo foi de $0,24 \text{ ms}^{-1}$. A vazão obtida no período da estiagem foi de $38,20 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ e a turbidez totalizou 18,80 UNT. No período de cheia a área da seção chegou a $265,20 \text{ m}^2$, com profundidade média de 5,20 m. A largura do canal mediu 51 m e a velocidade média do fluxo foi de $0,74 \text{ ms}^{-1}$. A vazão registrada durante a cheia foi de $197,04 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ e a turbidez, 34,10 UNT, conforme demonstrado na Tabela 1.

A análise granulométrica dos sedimentos de fundo no período de estiagem revelou 0,30 % de areia grossa, 1,10 % de areia média, 98,4 % de areia fina, 0,15% de silte e 0,05% de argila. No período de cheia, não foi possível realizar a coleta dos sedimentos de fundo nessa seção.

Em meio às pesquisas de campo, foi possível constatar a presença de um riacho que deságua na margem esquerda do canal no período da cheia. A água cobriu completamente o lajeado da margem esquerda, apresentando forte turbulência no canal. Na margem direita, a água estava aproximadamente a 30 metros de distância das casas, conforme demonstrado na Figura 35.



Figura 35: Seção 11 no período de cheia.

Fonte: Fotografado pela autora (2022).

3.12 Seção 12 - Matadouro

A Seção 12 está localizada próxima ao antigo matadouro bovino. Em ambas as margens, há uma pequena faixa de mata ciliar. A margem esquerda é rampeada, e nela está presente o *Bambusoideae* (bambu) e processos erosivos. Na margem direita, existe

vegetação rasteira, em função do afloramento rochoso de arenito (Figura 36).

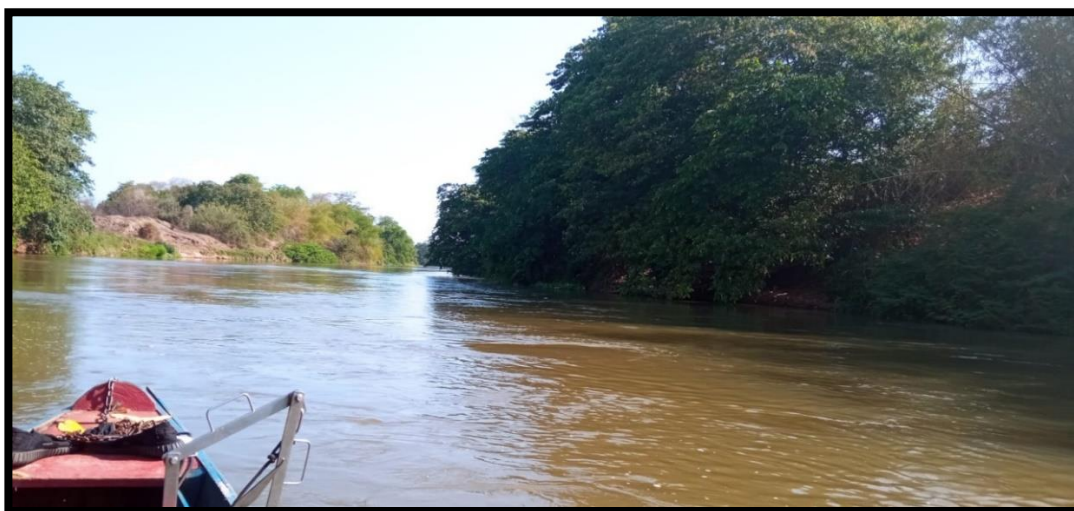


Figura 36: Seção de coleta de amostras.

Fonte: Fotografado pela autora (2022).

Durante as pesquisas de campo, foi possível constatar que a margem esquerda é rampeada e apresenta alguns pontos de erosão. Observou-se que devido à falta de vegetação ciliar, o processo de erosão foi acelerado. Na margem direita, encontram-se blocos de rochas e laje.

Na estiagem, a área da seção computou $62,40 \text{ m}^2$, com profundidade média de 2,40 m. A largura do canal foi de 26 m, e a velocidade média do fluxo foi de 0,388 m/s. A vazão obtida no período da estiagem foi de $24,21 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ e a turbidez registrou 21,30 UNT. No período de cheia, a área da seção registrou $135,16 \text{ m}^2$, com profundidade média de 4,32 m. A largura do canal mediu 31 m, e a velocidade média do fluxo foi de 0,816 m/s. A vazão obtida na cheia foi $110,29 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, e a turbidez 34,60 UNT, conforme demonstrado na Tabela 1.

A análise granulométrica dos sedimentos de fundo no período de estiagem registrou 0,0 % de areia grossa, 0,70% de areia média, 99,15% de areia fina, 0,1% de silte e 0,05% de argila. No período de cheia, os valores registrados foram 9,75 % de areia grossa, 25,15% de areia média, e 65,95 % de areia fina, 0,10% de silte e 0,05 % de argila. A predominância dos sedimentos de fundo nessa seção foram os sedimentos finos. Em pesquisas de campo, foi possível observar uma pequena sinuosidade no canal: o fluxo não apresentou características turbulentas, e foram registrados pequenos pontos de erosão nas margens. Ao longo do canal há uma grande quantidade de resíduo sólidos (como sacolas plásticas e garrafas de polietileno tereftalato – PET) acumulados na vegetação dentro do canal, conforme demonstrado na Figura 37.

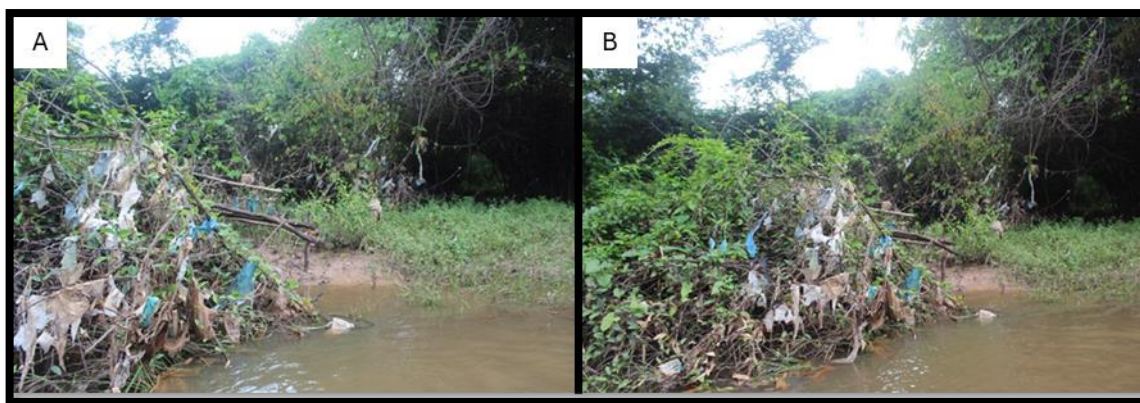


Figura 37: Vegetação coberta por lixo.

Fonte: Fotografado pela autora (2021).

3.13 Seção 13 - Piscicultura

Na Seção 13, a mata ciliar foi parcialmente retirada em ambas as margens, que são rampeadas com processos erosivos (Figura 38).



Figura 38: Margem esquerda rampeada do rio Itapecuru.

Fonte: Fotografado pela autora (2021).

Encontrou-se uma bomba para captação de água, na margem direita, dentro do canal, em pleno funcionamento, levando água do rio para abastecimento doméstico nas proximidades. Não foi detectado acúmulo de lixo nas margens. Ao mesmo tempo, mediante imagens obtidas por meio de drone, a partir da margem direita planície, a uma distância média de 20 m da margem, há 13 tanques para criação de peixes (piscicultura), com a vegetação da planície suprimida (Figura 39).



Figura 39: Piscicultura na margem esquerda do rio Itapecuru.

Fonte: Fotografado pela autora (2021).

Na estiagem, a área da seção perfaz 73,50 m², com profundidade média de 2,10 m. A largura do canal chegou a 35 m; a velocidade média do fluxo, 0,57 ms⁻¹, a vazão obtida nesse período foi de 41,75 m³s⁻¹ e a turbidez, 18,80 UNT. Na estação das cheias, a área da seção totalizou 226,80 m², com profundidade média de 6,30 m. A largura do canal foi de 36 m e a velocidade média do fluxo alcançou 0,92 ms⁻¹. A vazão registrada na cheia foi 208,66 m³s⁻¹ e a turbidez 37,60 UNT (Tabela 01).

A análise granulométrica dos sedimentos de fundo no período de estiagem registrou 0,45 % de areia grossa, 2,05 % de areia média, 97,25 % de areia fina, 0,15% de silte e 0,01% de argila. No período da cheia, não foi possível realizar a coleta de fundo devido à profundidade na seção.

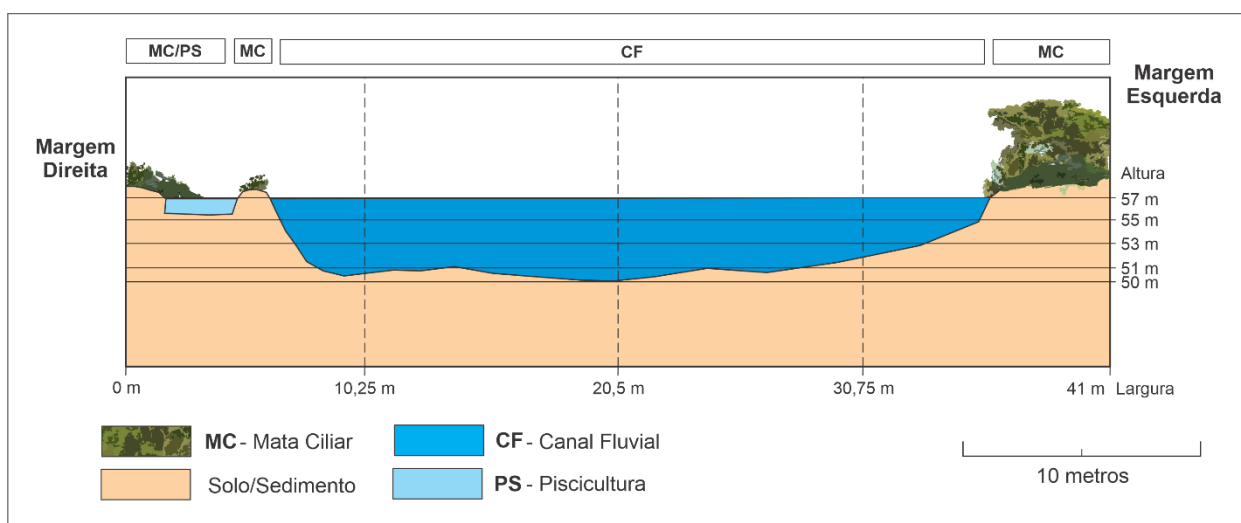


Figura 40: Croqui de profundidade no período da cheia, Seção 13.

Fonte: Elaborado pela autora.



Figura 41: Seção 13 no período de cheia.

Fonte: Fotografado pela autora (2022).

3.14 Seção 14 – Próxima ao conjunto habitacional Sabiá

A Seção 14 encontra-se próxima ao Conjunto Habitacional Sabiá. Nesse trecho, o rio apresenta uma curva acentuada e, em ambas as margens, a faixa de vegetação está estreita. O conjunto Habitacional Sabiá está localizado na margem direita, a cerca de 300 metros da calha do rio (Figura 42). Na margem esquerda, existe um curral (armadilha de madeira) utilizado para capturar peixes, um método muito utilizado pelos pescadores locais.

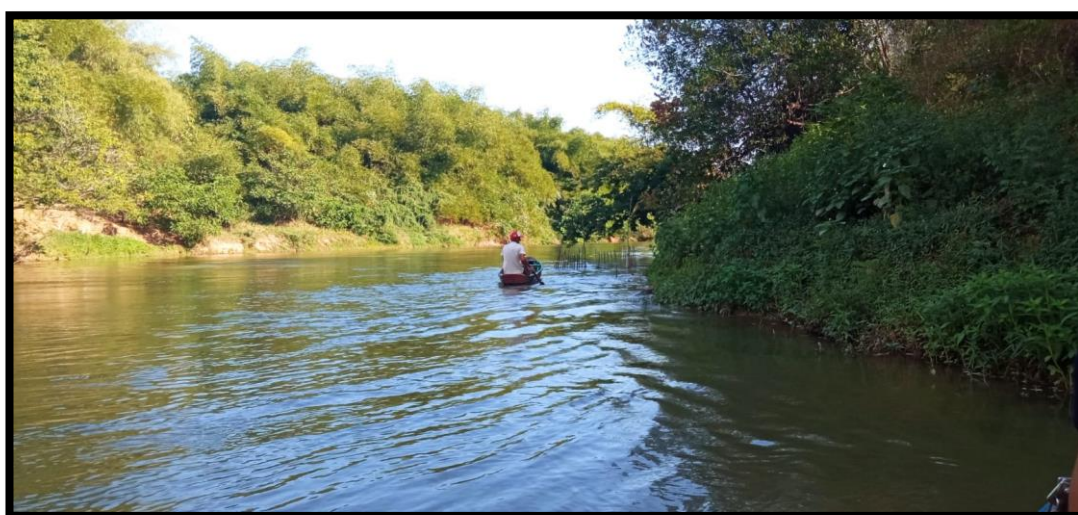


Figura 42: Curral para peixe na margem esquerda do rio Itapecuru.

Fonte: Fotografado pela autora (2021).

Na estiagem, a área da seção foi de 56,00 m², com profundidade média de 2,00

m. A largura do canal totalizou 28 m, e a velocidade média do fluxo foi de $0,47 \text{ ms}^{-1}$, a vazão obtida no período da estiagem $26,60 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ e a turbidez computou 17,30 UNT. No período da cheia, a área da seção registrou $169,48 \text{ m}^2$, com profundidade média de 4,46 m. A largura do canal mediu 38 m e a velocidade média do fluxo foi de $0,71 \text{ ms}^{-1}$. A vazão alcançada na cheia foi $119,99 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ e a turbidez 37,60 UNT, conforme demonstrado na Tabela 1.

A análise granulométrica dos sedimentos de fundo no período de estiagem não foi encontrada areia grossa, 0,75 % de areia média, 97,95 % de areia fina, 1,25% de silte e 0,05 % de argila. Na época da cheia, os resultados foram de 1,80 % de areia grossa, 18,15 % de areia média, 79,95 % de areia fina, 0,0 % de silte e 0,10 % de argila. A predominância dos sedimentos de fundo foi areia fina.

Nessa seção, há uma diferença em relação às demais: a montante, o rio faz uma curva de 90° graus, e a morfologia do canal não apresenta influência de corredeira. Em campo, constatou-se que, no período de cheia, algumas árvores caíram na margem direita, devido ao processo de erosão nas margens. Também foi registrada, na margem direita do canal, a presença de rede para pesca.

Durante a coleta de campo, no período da cheia, foi possível constatar a presença de seixos sendo transportados no fundo do canal. Os seixos coletados variaram entre 2,5 cm a 1cm (Figura 43). Foram coletados juntamente com os sedimentos de fundo na seção transversal, o que demonstra a capacidade de transporte por arraste dos sedimentos. Segundo Souza (2004 p. 116): “a caracterização da textura é de suma importante, pois, a composição granulométrica dos sedimentos influencia o tipo e grau de erosão nas margens”.

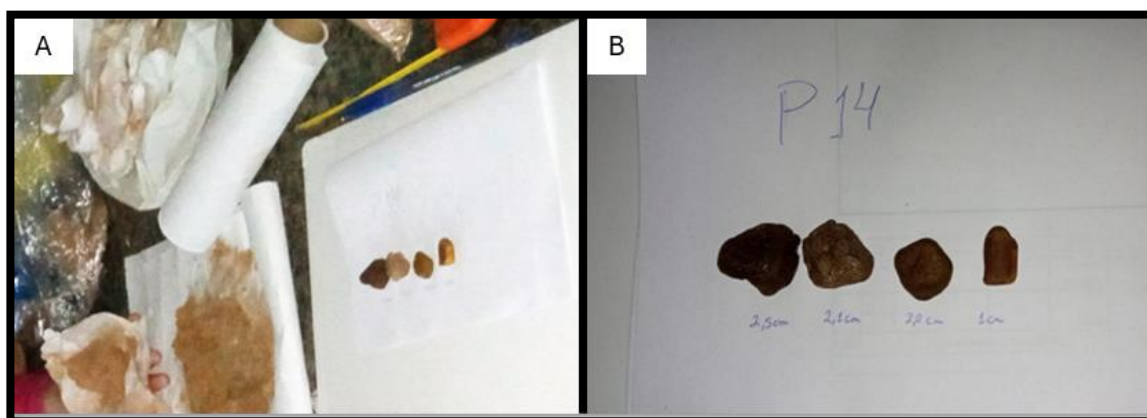


Figura 43: Seixos coletados junto com sedimentos de fundo.

Fonte: Parâmetros extraídos de Giannini e Melo (2009), Pomerol et al. (2013). Fotografado pela autora (2022).

Oliveira (2021 p. 297) realizou monitoramento em oito sub-bacias do rio Branco pelo período de 18 meses, coletando amostras de sedimentos em suspensão, além de medições da velocidade do fluxo e da batimetria. Ressaltou que esse monitoramento foi de suma importância para entender como as características ambientais e o uso interferem na dinâmica dos canais de drenagem. Concluiu em sua pesquisa que “os resultados demonstram que cada bacia hidrográfica possui sua dinâmica própria e que os fatores naturais e antrópicos influenciam na hidrodinâmica e carga de sedimentos dos canais de drenagem”.

3.15 Seção 15 – Jusante do cotovelo

A Seção 15 está localizada a jusante da cidade de Caxias, MA (no Cotovelo³ do rio Itapecuru), na zona rural do município. A mata ciliar encontra-se parcialmente preservada, sendo que diversas clareiras foram abertas devido à supressão da vegetação nas proximidades do canal. A vegetação predominante é o babaçu (*Attalea ssp*) (Figura 44). Na margem direita, foi registrado um pequeno plantio de manga destinado ao comércio.



Figura 44: Planície do rio Itapecuru, vestígios de alteração antrópica em andamento.

Fonte: Fotografada pela autora (2021).

Na estiagem, a área da seção alcançou 65,12 m², com profundidade média de

³ *Cotovelo de captura* – ângulo de rede hidrográfica, causado pela concorrência entre dois rios ou duas bacias hidrográficas, resultando na captura de um pelo outro. Tem grande significação morfológica, pois pode indicar a existência de uma captura ou fratura de rochas. A denominação "cotovelo de captura" foi dada pelo geógrafo americano W. Morris Davis (Guerra; Guerra, 1993).

1,76 m. A medida da largura do canal totalizou 37 m, a velocidade média do fluxo foi de $0,61 \text{ ms}^{-1}$, a vazão obtida no período da estiagem foi de $39,85 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ e a turbidez contabilizou 19,40 UNT. No período de cheia, a área da seção registrou $310,96 \text{ m}^2$, com profundidade média de 6,76 m. A largura do canal perfiz 46 m e a velocidade média do fluxo foi de $0,78 \text{ ms}^{-1}$. A vazão computada na cheia foi $242,86 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ e a turbidez 34,90 UNT, conforme demonstrado na Figura 40, e apresentada na Tabela 1.

Estudos realizados por Souza (2004), no Mato Grosso, referentes à vazão média do rio Paraguai estimada para 27 anos (1968 a 1995) constataram que a vazão oscilou de 249 a $1.019 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ na estação fluviométrica de Cáceres, enquanto na estação fluviométrica da fazenda Descalvado a variação foi de 339 a $921 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Os dados analisados indicaram que a maior vazão média mensal, registrada nas duas estações, ocorre nos meses de janeiro, fevereiro, março, abril e dezembro.



Figura 45: Período de cheia.

Fonte: Fotografado pela autora (2021).

Quando da análise granulométrica dos sedimentos de fundo, durante a estiagem, encontraram-se os seguintes percentuais: 0,15% de areia grossa, 6,20 % de areia média, 93,20% de areia fina, 0,40 % de silte e 0,05 % de argila. Na época da cheia, os valores registrados foram 0,55% de areia grossa, 19,85% de areia média, 79,40% de areia fina, 0,10% de silte e 0,10% de argila.

Estudos realizados por Leandro (2020, p. 179) sobre as interações

hidromorfodinâmicas na bacia hidrográfica do rio Sepotuba, Alto Paraguai, constataram que as características granulométricas dos sedimentos de fundo, no Setor Geomorfológico A, “indicam que a calha fluvial encaixou sua drenagem em depósitos pré-atuais, enquanto, que nos Setores Geomorfológicos B e C, o rio Sepotuba percorre trechos encaixados em terraços fluviais e em depósitos de sedimentos atuais, predominantemente arenosos”.

Rocha (2010 p.191), ao estudar os indicadores de alteração hidrológica no Alto Rio Paraná e as intervenções humanas e suas implicações na dinâmica do ambiente fluvial concluiu que, “as mudanças hidrológicas alteraram o comportamento erosivo-deposicional, o transporte de sedimentos e produção primária no rio e planície fluvial adjacente”.

3.16 Análise exploratória de dados

Identificam-se dois conjuntos de variáveis, que podem ser interpretados em termos do trecho longitudinal estudado. O primeiro agrupamento está relacionado à presença e à velocidade da água no canal fluvial, que sinalizam o segmento a montante por apresentarem trechos encaixados e de alta velocidade, com presença de processos erosivos nas margens, transportando areia grossa, areia média, silte e argila (Figura 46).

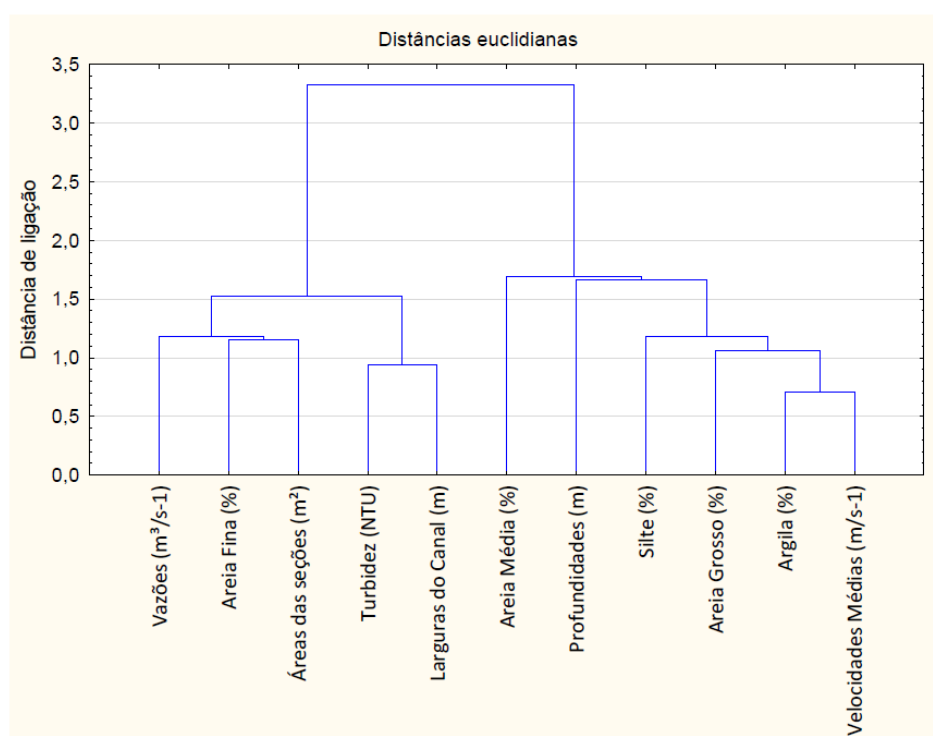


Figura 46: Análise de agrupamento de variáveis hidrossedimentológicas.

Fonte: Dados analisados em laboratório (2021 e 2022), organizados pela autora (2024).

O segundo agrupamento está relacionado à jusante, onde se observa a correspondência entre as variáveis na área da seção, largura do canal, vazão, areia fina e turbidez. Em outras palavras, as características da largura do canal influenciam a turbidez, enquanto a área da seção facilita o transporte de areia fina.

É necessário esclarecer que o recorte espacial em questão está localizado no município de Caxias, MA, situado no médio curso do rio Itapecuru, com um leito misto-rochoso. Essa dinâmica pode influenciar determinadas variáveis, em detrimento de outras que poderiam estar associadas a diferentes pares.

O que resultado obtido nesse agrupamento assemelha-se ao descrito por Siqueira e Henry-Silva (2011) quando afirmam que o ecossistema fluvial é constituído por ambientes lóticos complexos, resultado da adaptação biótica às condições físicas ao longo de um padrão longitudinal.

3.16.1 Análise temporal e espacial

Os resultado obtidos demonstraram que sete variáveis em CP1⁴ são relevantes, ou seja, apresentam valores superiores 0,50. Estas variáveis estão correlacionadas negativamente com velocidade média, profundidade, área da seção, vazão, areia grossa, areia média, enquanto uma (1) variável, areia fina, apresenta correlação positiva. Os dados indicam também a correlação negativa de CP2⁵ apenas para duas variáveis, silte e argila.

Tabela 6: Sumário dos fatores carregados, em negrito valores descritos como relevante.

Variáveis	CP1	CP2
Velocidade Média (ms ⁻¹)	-0,784865	0,052336
Profundidade (m)	-0,875195	0,137988
Largura do Canal (m)	-0,391935	0,241393
Área da seção (m ²)	-0,869961	0,195935
Vazão (m ³ /s ⁻¹)	-0,935617	0,145883
Turbidez (NTU)	-0,948894	-0,039734
Areia Grosso (%)	-0,684562	-0,231203
Areia Média (%)	-0,634283	0,368228
Areia Fina (%)	0,792137	0,097384

⁴ CP1 (Componente Principal 1): é o primeiro eixo principal da análise de componentes principais (Principal Component Analysis – PCA), ou seja, a combinação linear das variáveis originais que explica a maior parte da variância dos dados.

⁵ CP2 (Componente Principal 2): é o segundo componente, ortogonal ao primeiro, que explica a segunda maior parcela da variância.

OBS: no gráfico de dispersão, CP1 e CP2 são os eixos X e Y respectivamente, facilitando a visualização de padrões, agrupamentos e outliers.

Silte (%)	-0,154154	-0,966419
Argila (%)	-0,441130	-0,849786

Fonte: Dados tabulados, organizados pela autora (2024).

Os dados revelam uma forte tendência temporal, claramente visível na Figura 47. Em outubro de 2021, durante o período de estiagem, observa-se uma maior probabilidade positiva em CP1 para o transporte de areia fina. Em março de 2022, no período de cheia, nota-se uma forte tendência negativa associada ao aumento da velocidade do fluxo, profundidade, área da seção, vazão e turbidez, favorecendo o transporte de areia grossa e média. Da mesma forma, em CP2, há uma maior predisposição negativa para o transporte de silte e argila, o que está em consonância com os altos níveis de turbidez observados em CP1.

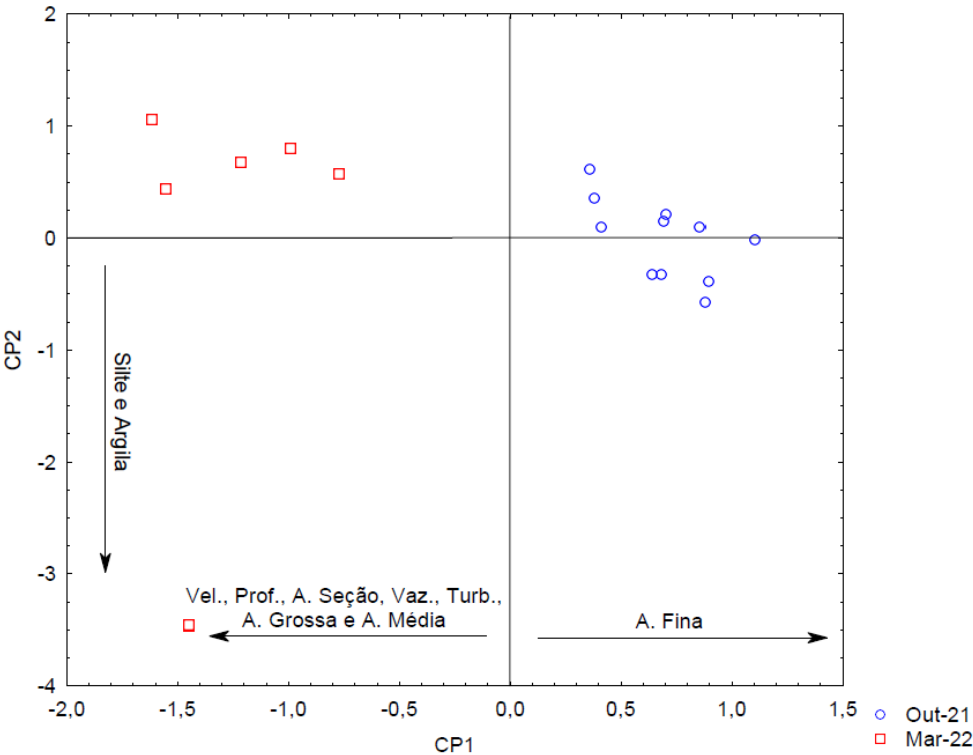


Figura 47: Distribuição temporal dos dados hidrológicos e de sedimentação no rio Itapecuru, referente ao recorte da área de estudo. As esferas azuis correspondem à temporalidade de outubro de 2021 (estiagem), enquanto o símbolo gráfico de quadrado corresponde à sazonalidade de cheia, em março de 2022.

Fonte: Dados tabulados, organizados pela autora (2024).

Na análise exploratória espacial, observa-se que na seção S1 não houve tendência para todas as variáveis em CP1 e CP2 (Figura 48). Esse mesmo padrão se repete em S2. Esses pontos estão localizados a montante da cidade de Caxias e apresentam margens preservadas. Na seção S7, não há tendência para variáveis como

velocidade, profundidade, área da seção, vazão, turbidez, e para areia grossa, média e fina, mas para silte e argila. A particularidade dessa seção é sua localização, que está sob forte influência da malha urbana, principalmente devido à recepção de efluentes, o que pode afetar tanto o volume da vazão quanto a turbidez da água.

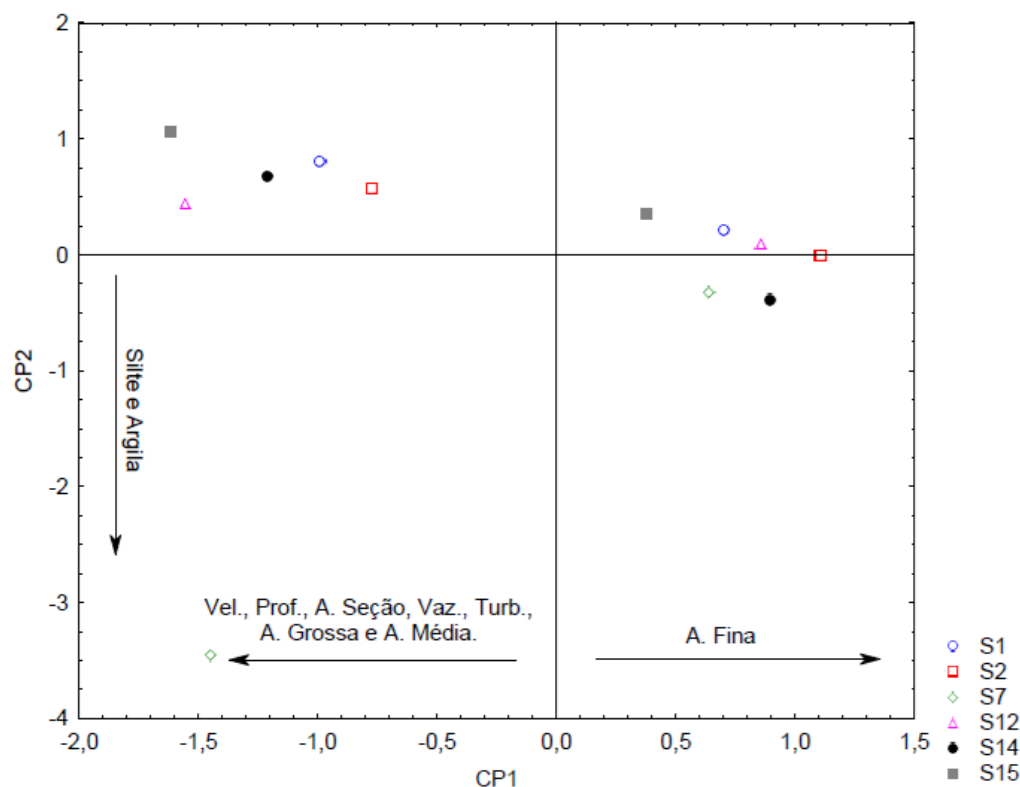


Figura 48: Distribuição espacial dos dados hidrológicos e de sedimentação no rio Itapecuru, sobre o recorte da área de estudo. O "S" na legenda do gráfico corresponde às seções de coleta de dados, e os números indicam sua respectiva localização, de montante a jusante.

Fonte: Dados tabulados, organizados pela autora (2024).

A Seção 12 também não apresenta tendência nem distribuição espacial clara para as variáveis analisadas. Esse ponto está localizado dentro da malha urbana de Caxias, porém em uma área menos urbanizada, com margens conservadas. As seções S14 e S15 apresentam semelhanças com as mencionados S1, S2 e S12. Embora a quantidade de pontos obtidos seja pequena para definir um padrão consistente, os dados disponíveis revelam algumas tendências que contribuem para a compreensão do trecho estudado.

4 CONCLUSÃO

O estudo da hidrodinâmica nos períodos de cheia e estiagem permitiu analisar a variação da área da seção transversal, da velocidade do fluxo e suas implicações na vazão. Os dados de sedimentação evidenciaram a capacidade do rio de transportar

sedimentos de fundo.

A mata ciliar a montante está preservada ao longo de 5,77 km de sua extensão, até atingir o perímetro urbano da cidade de Caxias, onde existem apenas alguns fragmentos de mata ciliar. A jusante da cidade, a vegetação ciliar permanece conservada por uma extensão de 5,49 km.

Na estiagem, os dados hidrodinâmicos apresentaram modificações. As áreas das seções oscilaram entre 16,32 m² e 158,00m². A profundidade alternou de 1,10 m a 3,10 m. A largura do canal variou entre 24 m e 51 m. A velocidade média do fluxo ficou entre 0,24 ms⁻¹ a 0,82 ms⁻¹. A vazão registrada entre as seções foi de 13,45 m³s⁻¹ a 41,75 m³s⁻¹ e a turbidez variou entre 14,00 UNT a 21,30 UNT. O aumento da turbidez em algumas seções pode estar relacionado ao despejo de dejetos no canal principal.

Na cheia, a área das seções oscilou entre 152,81 m² a 310,96 m². A profundidade alternou entre 4,13 m a 6,76 m. A largura do canal foi de 27 m a 51 m. A velocidade média do fluxo esteve concentrada entre 1,12 ms⁻¹ a 1.223 ms⁻¹. A vazão registrada variou entre 89,69 m³s⁻¹ a 287,45 m³s⁻¹. E a turbidez apresentou valores entre 30,40 UNT a 39,40 UNT.

A análise granulométrica registrou a predominância de areia fina em ambos os períodos (cheia e estiagem). Na estiagem, a variação de areia fina foi de 93,2% a 99,15%. Na cheia, esse valor oscilou entre 65,95% a 99,7%.

As variações observadas em ambos os períodos (cheia e estiagem) podem estar relacionadas a diferentes fatores, como a interferência humana, tanto direta quanto indiretamente, no canal fluvial, além da geologia e da geomorfologia presentes na área de estudo, que também influenciam a morfologia do canal fluvial.

Nas seções monitoradas, foram diagnosticados diversos problemas ambientais, como, a ausência de vegetação ciliar nas margens, o processo de urbanização nas proximidades do canal e o lançamento de esgotos diretamente no leito do rio, sem tratamento prévio, entre outros fatores. Além disso, a falta de vegetação ciliar nas margens contribuiu para o agravamento do processo de erosão das margens, especialmente durante o período de cheia.

A análise temporal e espacial revelou padrões claros de transporte de sedimentos e influência das variáveis ambientais. Identificaram-se dois agrupamentos de variáveis que refletem as diferenças entre as seções a montante e jusante. A montante, predomina o transporte de areia grossa, média, silte e argila, devido à maior velocidade e erosão das margens. A jusante, observou-se uma relação entre a largura do canal e a turbidez,

favorecendo o transporte de areia fina. A influência da malha urbana, especialmente no ponto S7, reforça a necessidade de considerar o impacto dos efluentes sobre a vazão e a turbidez da água. Embora alguns pontos apresentem tendências menos definidas devido à quantidade reduzida de dados, as correlações temporais e espaciais identificadas fornecem um entendimento sólido da dinâmica sedimentar e hidrológica da área.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, N. V.; CUNHA, S. B.; NASCIMENTO, F. R. A cobertura vegetal e sua importância na análise morfodinâmica da bacia hidrográfica do rio Taperoá: nordeste do Brasil/ Paraíba. **Revista Geonorte**, [S. l.], v. 3, n. 6, p. 365–378, 2012. Disponível em: [//www.periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/article/view/1953](http://www.periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/article/view/1953). Acesso em: 28 dez. 2022.
- CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia prática**. 2. ed. atual. ampl. Rio de Janeiro: Interciência, 2008. 600 p.
- CARVALHO, T. M. **Transporte de carga sedimentar no médio rio Araguaia entre os rios Crixás-Açú e Javaés**. 87 f. 2006. Orientador: Dr. Edgardo Manuel Latrubesse. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Geografia. Instituto de Estudos Socioambientais, Universidade Federal de Goiás (UFG), Goiânia, GO. 2006. Disponível em: <https://posgeoantigo.iesa.ufg.br/n/4455-2006-thiago-morato>. Acesso em: 28 dez. 2022.
- CAXIAS. **Balneário Veneza**. Disponível em: <http://caxiasmaranhaoma.blogspot.com/2013/01/balnearioveneza-o-balneario-veneza-e-um.html>. Acesso em: 15 nov. 2022.
- CAXIAS. SAAE – Serviço Autônomo de Água e Esgoto. Disponível em: <http://saae.caxias.ma.gov.br/a-insituicao/>. Acesso em: 15 nov. 2021.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Notícia geomorfológica**. Campinas-SP. v. 11. n. 22. 1971.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia fluvial**. São Paulo: Edgard Blucher, 1981.
- CODEVASF. **Plano Nascente Itapecuru**: plano de preservação e recuperação de nascentes da bacia hidrográfica do rio Itapecuru. Brasília: Codevasf, 2019. Disponível em: <https://www.codevasf.gov.br/aceso-a-informacao/institucional/biblioteca-geral-rocha/publicacoes/planos/plano-nascente-itapecuru.pdf/view>. Acesso em: 15 nov. 2021.
- CPRM. **Projeto estudos de regionalização de vazões nas bacias hidrográficas brasileiras regionalização da Q95% na sub-bacia 24 – Alto Araguaia**. Rio de Janeiro. 2010. Disponível em: https://rigeo.sgb.gov.br/bitstream/doc/10988/1/Relatorio%20Final_ProjRegionalizacaoQ95_2009_2010_verfinal.pdf. Acesso em: 12 set. 2021.
- CPRM. **Geodiversidade do estado do Maranhão**. NASCIMENTO, I. C. (Org). Teresina: CPRM, 2013. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/14761>. Acesso em: 25 nov. 2021.
- CUNGE, J.A., HOLLY, F. M., VERWEY, A. **Practical Aspects of Computational River Hydraulics**. Boston: Pitman, 1980.
- CUNHA, S. B. Geomorfologia fluvial. In: GUERRA, J. T; CUNHA, S. B (Org.)

Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos. 8. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2008.

CUNHA, S. B. Bacias hidrográficas. *In*: CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. (Org.). **Geomorfologia do Brasil**. 5. ed. Rio de Janeiro: Editora Bertrand do Brasil, 2009. p.229-265.

CUNHA, S. B. Geomorfologia fluvial. *In*: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia:** uma atualização de bases e conceitos organização. 12. ed, Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2013.

CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. (Org.). **Geomorfologia do Brasil**. 5. ed. Rio de Janeiro: Editora Bertrand do Brasil, 2009. p.229-265.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análises de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997. 212 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/330804/1/Manualdemetodosdeanalisedesolo2ed1997.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2021.

FERNANDES, M. R. **Relação entre variáveis limnológicas de canais fluviais da UGRHI-22 e do uso e cobertura da terra**. 2020, 112 f. Orientadora: Dr^a. Renata Ribeiro de Araújo. Dissertação (Mestrado Profissional em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Mestrado Profissional em Geografia. Campus Presidente Prudente. Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (Unesp), 2020. Disponível em: https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UNSP_b605b6bb_3e2a8750a7f169934fc68c6c/Description. Acesso em: 20 set. 2021.

FERNANDEZ, O. V. Q.; SOUZA FILHO, E. E. Efeitos do regime hidrológico sobre a evolução de um conjunto de Ilhas no Rio Paraná. **Boletim Paranaense de Geociências** v. 43, p.161-171, UFPR, 1995. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/303298400_Efeitos_do_regime_hidrologico_sobre_a_evolucao_de_um_conjunto_de_ilhas_no_rio_Parana_PR. Acesso em: 20 set. 2021.

GIANNINI, P. C. F.; MELO, M. S. Do grão à rocha sedimentar: erosão, deposição e diagênese. *In*: TEIXEIRA, W.; FAIRCHILD, T. R.; TOLEDO, M.C. M. de; TAIOLI, F. (org.). **Decifrando a Terra**. 2. ed. São Paulo: Nacional. 2009, p. 240 - 277. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/001823675>. Acesso em: 18 mar. 2021.

GUERRA, A. T.; GUERRA, A. L. T. **Dicionário geológico-geomorfológico**. 1993. 446p.

HOWARD, A.D.; DIETRICH, W.E.; SEIDL, M.A. Modeling fluvial erosion on regional to continental scales. *J. Geoph. Research*, v. 99 (B7), p. 13971-13986, 1994. Disponível em: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/94jb00744>. <https://doi.org/10.1029/94JB00744>. Acesso em: 18 mar. 2021.

IBGE CIDADES. **Urbanização de vias públicas**: IBGE, Censo Demográfico 2010. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ma/caxias/panorama>. Acesso em: 09 nov. 2022.

IBGE. Instituto brasileiro de Geografia e estatística. **Geociências**: Geomorfologia. Base de dados. 2021, em: 30 de jun. 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/geomorfologia.html>. Acesso em: 15 jul. 2023.

JELIHOVSCHI, E. **Análise exploratória de dados usando o R**. Ilhéus, BA: Editus, 2014.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Fundamentos de metodologia científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

LEANDRO, G. R. S. **Interações hidromorfodinâmicas na bacia hidrográfica do rio Sepotuba, Alto Paraguai, Mato Grosso, Brasil**. 2020. 287 f. Orientador: Dr. Paulo Cesar Rocha. Tese (Doutorado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia. Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (Unesp), Campus Presidente Prudente, SP. 2020. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/items/37a088d6-6552-44d8-bd90-ea96d165f6b1>. Acesso em: 23 abr. 2024.

LEOPOLD, L. B.; MADDOCK, T. **The hydraulic geometry of stream channels and some physiographic implications**. US Government Printing Office, 1953. 64 p.

LIMA, A. G. Rios de leito rochoso: aspectos geomorfológicos fundamentais Bedrock Rivers: fundamental geomorphologic aspects. **Ambiência**, v. 6, n. 2, p. 339-354, 2010. Disponível em: <https://pubs.usgs.gov/publication/pp252>. Acesso em: 18 mar. 2021.

LIU, X.; XIA, J.; DENG, S.; ZHOU, M.; MAO, B.; BLANCKAERT, K. Hydrodynamic and morphological adaptation of two consecutive sharp bends of the Middle Yangtze River to upstream damming. **Water Resources Research**, v. 60, n. 1, p. e2023WR034990, 2024. Disponível em: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2023WR034990>. <https://doi.org/10.1029/2023WR034990>. Acesso em: 15 jul. 2023.

MAGALHÃES JUNIOR, A. P.; BARROS, L. F. P. Bases teóricas e fatores controladores da dinâmica fluvial. *In*: MAGALHÃES JUNIOR, A. P.; BARROS, L. F. P.

Hidromorfologia (2020). Disponível em: <https://www.ifmg.edu.br/sic/edicoes-antiores/2022/ciencias-exatas-e-da-terra/condicionantes-da-configuracao-de-bacias-hidrograficas-assimetricas-na-bacia-do-alto-rio-jequitinhonha-serra-do-espinhaco-meridional.pdf>. Acesso em: 23 abr. 2024.

MOORE, D. S.; NOTZ, W. I.; FLINGER, M. A. **The basic practice of statistics (6th ed.)**. New York, NY: W. H. Freeman and Company. 2013. 14 f. Disponível em:

<https://www.meble-pabud.pl/sites/default/files/webform/attachments/pdf-the-basic-practice-of-statistics-david-s-moore-william-i-notz-michael-a-fligner-pdf-download-free-book-4defe01.pdf>. Acesso em: 23 abr. 2024.

OLIVEIRA, A. M. Estudo hidrodinâmico-sedimentológico do baixo São Francisco, estuário e zona costeira adacente – AL/SE. **Projeto GEF São Francisco**. 2003. 35p. Disponível em: <https://cdn.agenciapeixe vivo.org.br/media/2019/06/Estudo-Hidrodin%C3%A2mico-Sedimentol%C3%B3gico-do-Baixo-SF.pdf> / Acesso em: 23 abri 2024.

OLIVEIRA, J. D. **Unidades geoambientais, uso e ocupação da terra, cobertura pedológica e dinâmica fluvial na bacia hidrográfica do Rio Branco, contribuinte do Pantanal Mato-Grossense**. 2021. 358 f. Orientadora: Dr^a Célia Alves de Souza. Tese (Doutorado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais. Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT), Campus Cáceres, 2021. Disponível em: https://sigaa.unemat.br/sigaa/public/programa/defesas.jsf?lc=pt_BR&id=655 Acesso em: 04 maio 2024.

OLIVEIRA, J. D.; SOUZA, C. A.; SOUSA, J. B. Hidrodinâmica e transporte de sedimentos na bacia do rio Branco, afluente do rio Paraguai, Pantanal Mato-Grossense. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 9, n. 1, p. 223-238, 2018. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/8030/0eba6a2d2cb3fae07da556cdf7ab57780b6d.pdf>. Acesso em: 15 jul. 2023.

PEREIRA, C. R. P. P.; CUNHA, S. B. Geomorfologia fluvial e gestão de risco de inundações. *In*: CARVALHO JUNHO, O. A.; GOMES, M. C. V.; GUIMARÃES, R. F.;

GOMES, R. A. T. (Org.). **Revisões de literatura da geomorfologia brasileira**. Brasília: Universidade de Brasília, 2022. 1057 p.: il. Disponível em: <https://livros.unb.br/index.php/portal/catalog/download/376/593/6638?inline=1>
Acesso em: 15 jul. 2023.

POLICONTROL. **AP 2000 WT**. Sítio eletrônico de vendas. Disponível em: <https://policontrol.com.br/product/ap-2000/>. Acesso em: 04 maio 2023.

POMEROL, C.; LAGABRIELLE, I.; RENARD, M.; GUILLOT, S. **Princípios de geologia**: técnicas, modelos e teorias. 14. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

ROCHA, P. C. Indicadores de alteração hidrológica no Alto Rio Paraná: intervenções humanas e implicações na dinâmica do ambiente fluvial. **Sociedade & Natureza**, v. 22, p. 191-211, 2010. Disponível em: https://seer.ufu.br/index.php/sociedade_natureza/article/view/9820/5898. Acesso em: 15 jul. 2023.

ROCHA, P. C.; SOUZA FILHO, E. E.; COMUNELLO, E.; CORREA, G. T. Evolução hidrodinâmica e processos erosivos marginais nos canais do sistema de inundação do Alto Rio Paraná, Região Centro-Sul do Brasil. **Pesquisas em Geociências**, v. 28, n. 2, p. 161-170, 2001. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/article/view/20283>. Acesso em: 14 jan. 2023.

SANTOS, L. C. A.; LEAL, A. C. Gerenciamento de recursos hídricos no estado do Maranhão-Brasil. **Observatorium: Revista Eletrônica de Geografia**, [S. l.], v. 5, n. 13, 2018. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/Observatorium/article/view/45684>. Acesso em: 28 dez. 2024.

SILVA, C. Análise da evolução espaço/temporal das feições morfológicas e transporte de sedimentos no rio Paraguai entre a foz do rio Jauru e a ilha Tucum Cáceres, Mato Grosso. 2015. 33f. XI SINAGEO. Maringá, PR, 2016. **Anais...** Disponível em: <https://www.sinageo.org.br/2016/trabalhos/3/3-144-1204.html>. Acesso em: 10 mar. 2024.

SILVA, D. M. **Análise da hidrodinâmica do rio itapecuru na área periurbana de Colinas, Maranhão**. Orientadora: Dr^a Quésia Duarte da Silva. 2023. 120 f.

Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Natureza e Dinâmica do Espaço (PPGEO) Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, MA. 2023. Disponível em: https://sis.sig.uema.br/sigaa/public/programa/noticias_desc.jsf?lc=pt_BR&id=940¬icia=17036033. Acesso em: 05 fev. 2024.

SIQUEIRA, R. M. B.; HENRY-SILVA, G. G. A bacia hidrográfica como unidade de estudo e o funcionamento dos ecossistemas fluviais. **Boletim da Associação Brasileira de Limnologia**, v. 39, n. 2, p. 1-15, UFERSA – Universidade Federal do Semiárido, 2011. Disponível em: <https://ccbs.ufersa.edu.br/laboratorios/limnoaqua/limnoaqua-publicacoes/>. Acesso em: 10 fev. 2024.

SOROOSHIAN, S., GUPTA, V. Model Calibration. *In*: Singh, V. P. **Computer Model of Watershed Hydrology**, WRP, Highlands Ranch, p. 23-68, 1995. Disponível em: DOI: 10.1142/9789814307987_0003. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/282399177_Model_calibration_in_watershed_hydrology. Acesso em: 23 abr. 2024.

SOUZA, C. A.; SILVA, Q. D. Bacia hidrográfica do rio Itapecuru, Maranhão: aporte de sedimentos, mudanças morfológicas e qualidade da água no médio curso, entre as cidades de Colinas e Caxias. **Projeto de pesquisa submetido FAPEMA para pleito da Bolsa PDCTR, pesquisador A**. 2021.

SOUZA, C. A.; SILVA, Q. D. Médio curso da bacia hidrográfica do rio Itapecuru, Maranhão: características geológicas, geomorfológicas, pedológicas e densidade de drenagem. **Ciência Geográfica. Associação dos Geógrafos Brasileiros (AGB), Seção Bauru, SP**, v. XXVI (1), jan./dez., 2022. DOI: <https://doi.org/10.18817/26755122.26.01.2022.2873>. Disponível em: <https://ppg.revistas.uema.br/index.php/cienciageografica/article/view/2873>. Acesso em: 04 maio 2023.

SOUZA, C. **Dinâmica do corredor fluvial do rio Paraguai entre a cidade de Cáceres e a Estação Ecológica da ilha de Taiamã, MT**. 2004, 173 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia. Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza, Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, Rio de Janeiro, RJ. 173 f. 2004.

STANKOV, S.; BREUGEM, W. A.; DAMOVA, M.; KOUTROUVELI, T.; DECROP, B. TELEMAC hydrodynamic models over time: A case study with the Danube. **Anais... 29th TELEMAC User Conference**. Karlsruhe, Germany, 11-13 October, 2023. Disponível em: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/112837>. Acesso em: 04 dez. 2023.

STEVAUX, J. C.; LATRUBESSE, E. M. **Geomorfologia fluvial**. Oficina de Textos, 2017.

VESTENA, L. R.; KOMINECKI, A. Hidrogeomorfologia em confluência fluvial obtusa, Guarapuava, Paraná. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 04, p. 2131-2148, 2021. DOI: 10.26848/rbgf.v14.4.p2131-2148. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/354365670_Hidrogeomorfologia_em_confluencia_fluvial_obtusa_Guarapuava_Parana. Acesso em: 02 fev. 2024.

WEISBERG, S. Scatterplots and Regression. In: WEISBERG, S. **Applied Linear Regression**. 3rd ed. 2005. 330 f. Disponível em: <https://www.stat.purdue.edu/~qfsong/teaching/525/book/Weisberg-Applied-Linear-Regression-Wiley.pdf>. Acesso em: 04 dez. 2023.

WHIPPLE, K.X. & TUCKER, G.E. Dynamics of the stream-power river incision model: Implications for height limits of mountain ranges, landscape response timescales, and research needs. **J. Geoph. Research**, v. 104, p. 17661–17674, 1999. DOI: <https://doi.org/10.1029/1999JB900120>. Disponível em: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/1999JB900120>. Acesso em: 04 dez. 2023.

WHIPPLE, K.X. & TUCKER, G.E. Implications of sediment flux dependent river incision models for landscape evolution. **J. Geoph. Research**. v.107, n.B2, Disponível em: <https://doi.org/10.1029/2000JB000044>. Acesso em: 04 dez. 2023.

CONCLUSÃO GERAL

A pesquisa realizada no médio curso do rio Itapecuru, no município de Caxias, possibilitou conhecer os aspectos físicos-ambientais da área de pesquisa (clima, geologia, geomorfologia, solo e vegetação) para melhor conhecer e analisar a pesquisa. Os dados geomorfológicos, apresentados na Folha de Caxias (SB.23-X-B), registram que as feições morfológicas da região estão diretamente relacionadas aos fatores paleoclimáticos e litológicos regionais. O levantamento dessas informações constitui como um subsídio valioso em escala regional para orientar futuros planejamentos ambientais.

A análise morfométrica da área de estudo possibilitou compreender os parâmetros da rede de drenagem, cuja extensão corresponde a 3.429,65km². O número total de canais identificados foi de 183 canais (109 canais de primeira ordem, 41 de segunda ordem, 28 de terceira ordem, 4 de quarta ordem e 1 canal de quinta ordem), sendo o rio Itapecuru classificado como um canal de quinta ordem. Os índices de fator de forma, coeficiente de compacidade e índice de circularidade, indicam que a rede de drenagem apresenta forma ovalada, com tendência mediana a enchentes. Além disso, o índice de sinuosidade registrado indicou uma tendência a canal retilíneo, devido ao controle estrutural presente no leito fluvial do rio Itapecuru.

A análise das mudanças das feições morfológicas estudadas ao longo do médio curso do rio Itapecuru, revelou uma evolução contínua de feições ao longo da calha fluvial. Tais feições emergem e desaparecem de acordo com as condições ambientais que moldam a paisagem. O estudo temporal, realizado para o período de 2010 a 2020 demonstrou que as transformações morfológicas estão relacionadas aos condicionantes ambientais (clima, geologia, geomorfologia, solo, declividade e a intensa interferência humana direta e indireta no rio e planície). Foram identificadas a ocorrência e a evolução das seguintes feições: barra de sedimentos, canal artificial e lagoas. A pesquisa constatou, também, o aumento no número de canais artificiais na planície e o desaparecimento de lagoas, que foram sendo transformadas em canais artificiais. O índice de sinuosidade registrado para o canal corroborou a tendência a canais retilíneos o que justifica poucas barras de sedimentos na área de estudo.

O estudo do uso e da cobertura da terra no médio curso da bacia hidrográfica do rio Itapecuru, no município de Caxias, MA, propiciou a compreensão das transformações espaciais decorrentes das interações socioeconômicas na região. A análise dessas mudanças, ao longo de 36 anos (1985 a 2021) revelou forte transformação em

substituição a classe de Formação Florestal e Savânica por Pastagem plantada. A análise dessas mudanças, ao longo de 36 anos (1985-2021), revelou uma expressiva substituição da classe de Formação Florestal e Savânica por pastagens plantadas.

A dinâmica de uso do solo na área de estudo apresenta uma interdependência entre as áreas rurais e urbanas, evidenciando que a ocupação agrícola e pecuária interage diretamente com a expansão urbana. A ocupação rural, incluindo a agricultura e a criação de gado, compete com o crescimento urbano, que frequentemente exige expansão e mudanças na paisagem. Diante disso, torna-se fundamental a adoção de um planejamento integrado, que considere as interações entre os diferentes usos da terra, com vistas à sustentabilidade dos recursos naturais e à mitigação dos impactos ambientais.

A aplicação de Protocolos de Avaliação Rápida em canais urbanos na cidade de Caxias, MA, revelou-se um mecanismo metodológico eficaz para compreensão de habitats e a avaliação do grau de degradação ambiental decorrente da ocupação das margens fluviais. Os dados coletados indicam que o crescimento urbano do município tem exercido pressão sobre os ambientes fluviais, resultando em modificações na rede hidrográfica. A pesquisa constatou que os cinco canais urbanos analisados apresentaram impactos diretos e indiretos decorrentes da ocupação desordenada e da ausência de planejamento ambiental adequado.

A análise dos dados de hidrodinâmica, no médio curso do rio Itapecuru, em Caxias, Maranhão, indicou variações significativas entre os períodos de cheia e de vazante. O estudo permitiu constatar diferentes condicionantes ambientais que influenciam a dinâmica fluvial da área, principalmente a litologia. Contudo, outros fatores como a ocupação do solo e antropização espacial também exercem influência sobre hidrodinâmica da bacia. Portanto, é de suma importância estudos nos sub-sistemas do rio Itapecuru, considerando os trechos de alto, médio e baixo curso para fazer uma análise integrada dos condicionantes ambientais da bacia hidrográfica. Ademais, é fundamental avaliar os impactos dos diferentes tipos de uso na bacia hidrográfica e das intervenções humanas nos sistemas fluviais, contribuindo para a formulação de estratégias eficazes de gestão e conservação dos recursos hídricos.